

MÜHENDİSLİKTE ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER

Ekim 2022

Editörler

Doç. Dr. Selahattin BARDAK

Doç.Dr. Vedat Çavuş

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel
Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı
Editör / Editor • Doç. Dr. Selahattin BARDAK
Doç.Dr. Vedat ÇAVUŞ
Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2022
ISBN • 978-625-430-450-7

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.

Citation can not be shown without the source, reproduced in any way
without permission.

Gece Kitaplığı / Gece Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR

Telefon / Phone: +90 312 384 80 40

web: www.gecekitapligi.com

e-mail: gecekitapligi@gmail.com



Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

Mühendislikte Araştırma ve Değerlendirmeler

Ekim 2022

Editörler

Doç. Dr. Selahattin BARDAK

Doç.Dr. Vedat ÇAVUŞ

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNE GİRİŞ

Arif Furkan Mendi 1

Bölüm 2

İKLİM VE YAPILI ÇEVRE İLİŞKİSİ

Büşra Babacan 21

Uğur Özcan 21

Bölüm 3

ISI DESTEKLİ İŞLEME YÖNTEMİNDE ALTERNATİF BİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK TIG TEKNİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Atakan UĞRAŞ, Fırat KAFKAS 61

Bölüm 4

ELEKTROEĞİRME VE NANOFİBER TEMELLİ YÖNTEMLER İLE ENKAPÜLASYON UYGULAMALARI

Sercan DEDE, Mustafa DİDİN..... 83

Bölüm 5

ANİ TABAN DÜŞÜLÜ ENERJİ KIRICILARDA OLUŞAN DALGA TİPİ AKIM KARAKTERİSTİKLERİ

Nihat EROĞLU 111

Bölüm 6

BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALARDA MİKROALG KULLANIMI

Canan BİRİNCİ AĞLAMAZ..... 129

Eylem AYDEMİR ÇİL..... 129

Bölüm 7

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TAŞIT AĞIRLIĞININ AZALTI MASINDA KULLANILAN MALZEMELER

Gülşah ÖNER 163

Bölüm 8

PİRAMİT HUNİ ANTEN KAZANCININ YAPISAL PARAMETRELERE GÖRE HASSASİYET ANALİZİ

Onur Can PİLTAN 175

Ahmet KIZILAY 175

Bölüm 9

GÖVDE BORU TIPLI ISI EŞANJÖRLERİNDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISIL PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Sedanur YAZAR, Tolga DEMİRCAN 189

Bölüm 10

MİKRODENETLEYİCİ TABANLI KONTROL VE VERİ TABANI UYGULAMASI

Kenan ALTUN, Didem ALTUN 203

Bölüm 11

TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARI: JEOTERMAL ENERJİNİN OLUŞUMU, DAĞILIMI, POTANSİYELİ VE KULLANIM SAHASI ÜZERİNE GENEL BİR DEĞERLENDİRME

Gürol YILDIRIM 215

Bölüm 12

TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARI: KOZAKLI (NEVŞEHİR) SAHASI JEOTERMAL ENERJİ KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Gürol YILDIRIM 233

Bölüm 13

FONKSİYONEL BİR BİLEŞEN: B-GLUKAN

Ali CİNGÖZ 257

Mehmet GÜLDANE 257



BÖLÜM 1

BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNE GİRİŞ

Arif Furkan Mendi¹

¹ Dr., HAVELSAN Bilgi ve İletişim Teknolojileri, Ankara, TÜRKİYE

Ostim Teknik Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

ORCID NO: 0000-0002-0750-4012

e-posta adresi: afmendi@havelsan.com.tr , ariffurkan.mendi@ostimteknik.edu.tr

1. Blokzincir Teknolojisinin Tanımı

Blokzincir teknolojisi tüm işlemlerin bloklar üzerinde şifrelenerek tutulduğu, alıcı ve satıcı tarafların herhangi bir üçüncü tarafın onaylamasına gerek olmaksızın kendi aralarında güvenli bir şekilde alışveriş yapmasına olanak tanıyan “merkezi olmayan işlemsel veritabanı teknolojisidir”. Blokzincir ağında gerçekleşen tüm işlemler, sistemdeki tüm kullanıcıların erişimine açık olan açık muhasebe defterine kaydedilir. Bankacılık sistemi, kaynak yönetim sistemi gibi klasik merkezi veri tabanlarında, verinin kontrolü ve yönetimi veri tabanı yöneticilerinde iken, blokzincir teknolojisinin getirmiş olduğu dağıtık veri tabanı yönetimi anlayışı ile birlikte veritabanının kontrolü merkezi olarak yürütülmemektedir. Yapılan işlemlerin tamamı açık muhasebe defterine kaydedilir ve bu defterin birer kopyası tüm katılımcılara dağıtılır. Bu sayede verilerin merkeziyetsizliği sağlanarak, veri tahribatının önüne geçilir. Blokzincir teknolojisini diğer merkezi veri tabanı yönetim teknolojilerinden devrim niteliğindeki avantajları; güvenlik, aracısız işlem ve şeffaflıktır. Blokzincir ağında sürekli büyüyen işlemler, bloklar halinde tutulmaktadır. Her blok bir zaman damgası ve bir önceki bloğa bir bağlantı içerir, kriptografik sayesinde çalınma ve değiştirilme gibi manipülasyonlara karşı koruma sağlanır (Nakamoto, 2008).

Son dönemde, Bitcoin kripto parasının öngörülme-yen şekilde değer kazanması ve bununla birlikte çok fazla kripto paranın ortaya çıkması neticesinde, bu kripto para birimlerinin temelindeki teknoloji olan blokzincir teknolojisinin popülerliği de ciddi oranda artmıştır. Fakat, kripto paraların popülerliğinin bazen yanlış algıya sebep olduğu, Bitcoin ve blokzincir kavramlarının birbirine karıştırıldığı sıklıkla gözlemlenmektedir. “Satoshi Nakamoto” lakaplı gizli bir yazarın 2008 yılında önerdiği Bitcoin dijital parası; blokzincir teknolojisi kullanılarak oluşturulmuş olan bir kripto para birimidir. Blokzincir ise, Bitcoin gibi pek çok kripto para biriminin temelinde yer alan teknolojidir. Blokzincir teknolojisi sadece finansal alanda değil, veri transferi ve yönetiminin yapıldığı pek çok alanda kendisine yer bulabilecek, devrimsel avantajlar sunmaktadır. 1991 yılında bulunan Blokzincir teknolojisinin kullanımının 2008 yılında Bitcoin ile hızlanmaya başladığı görülmektedir. Bu teknolojiye olan ilginin temel sebebi herhangi bir merkezi yönetime ihtiyaç duyulmaksızın tarafların güvenli işlem yapabilmesine imkân bulmasıdır.

Sağlayıcı ve istemci tarafları arasındaki alışverişin güvenli bir şekilde yapılabilmesi için, sistem üzerindeki tüm hareketler dağıtık bir veri tabanında tutulur. Bu dağıtık veri tabanının birer kopyası tüm katılımcılarda mevcuttur. Sistem üzerinde herhangi bir değişiklik veya ekleme yapılabilmesi için sistemdeki tüm katılımcıların verilerinde değişiklik yapılması gerekir. Ayrıca, herhangi bir şekilde zincire yapılacak bir siber

saldırının başarılı olabilmesi için sistemdeki katılımcıların veri tabanlarının %50'sinin üzerinde doğrulanması gerekir ki saldırı başarılı olsun. Bu da siber saldırı başarısını neredeyse imkânsız seviyesine getirmektedir. Güvenlik, şeffaflık, aracısız işlem yapabilme imkânı gibi avantajlar blokzincir teknolojisini öne çıkarmakta, tercih sebebi yapmaktadır.

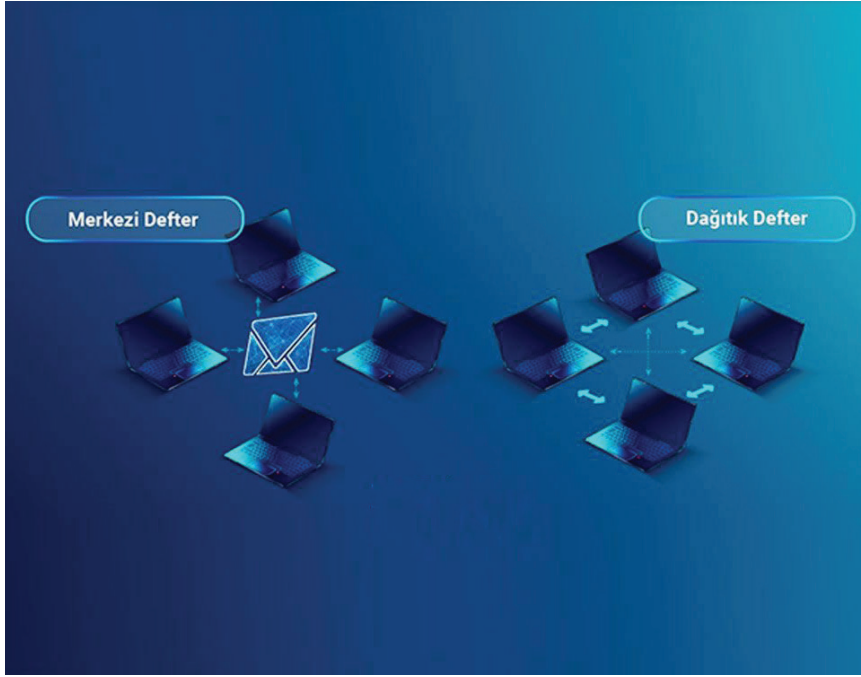
2. Blokzincir Teknolojisinin Bileşenleri

Blokzincir teknolojisinin sunmuş olduğu merkesiyetsizlik prensibi mekanizmasındaki bileşenleri üç sınıfta incelememiz mümkündür:

- Sistem Mimarisi
- Blok Yapısı ve Zincir Oluşumu
- Fikir Birliği Mekanizması

2.1. Sistem Mimarisi

Blokzincir teknolojisini öne çıkaran veri yönetim altyapısının temelinde “Dağıtık(Açık) Muhasebe Defteri” bulunmaktadır (Xu et al., 2016). Ağ üzerinde yapılan işlemlerin tamamı bu deftere kaydedilir ve tüm katılımcıların erişimine sunulur. Klasik veri tabanı yönetim sistemlerinde ve uygulamalarında veri yönetimi için bir dahil tarafından gerçekleştirilirken; blokzincir, bu yönetim anlayışına boyut değiştirerek tüm katılımcılar tarafından yönetilmesi ve denetlenmesi prensibini getirmektedir (Şekil 1). Blokzincir tabanlı bir sistemde, açık muhasebe defterinin birer kopyası tüm kullanıcılarda bulunmaktadır. Bu kayıtların herhangi bir şekilde değiştirilmesi, kriptografik şifreleme ile belirlenen kayıt özetlerinin değiştirilmesine sebep olacağı için, sistemde katılımcılar tarafından tanınmayan kayıtlar ortaya çıkmış olacaktır. Böylelikle bu değiştirilen kayıtlar kolaylıkla tespit edilecektir. Dağıtık veri tabanı mimarisi ve getirmiş olduğu merkezi olmayan yaklaşım blokzinciri diğer teknolojilerden öne çıkarmaktadır.



Şekil 1. Blokzincir Veri Tabanı Yapısı (Bitexen, 2020)

2.2. Blok Yapısı ve Zincir Oluşumu

Blokzincir ağında tüm katılımcılar birbirleriyle aynı ağ üzerinde bağlı olarak yer almaktadır. Sistem üzerinden gerçekleştirilen her bir işlem ilgili katılımcı tarafından kendi kriptografik anahtarı ve zaman damgası ile şifrenip blok haline getirilir. Oluşturulan şifrenilmiş blok ağa yayınlanır (Verma & Garg, 2010). Bu şifreleme sayesinde ağ üzerinde güvenilmeyen işlem yapılmasına engel olunmakta, verinin tutarlılığı ve güvenliği sağlanmaktadır. Ağ üzerinde yapılan her bir işlem bloklar üzerinde tutulur ve bu bloklar birbiri arkasına gelecek şekilde zincirler haline getirilir. Sistem üzerinde tek bir zincir bulunmakta ve her blok birbiri arkasına eklenmesi prensibiyle zincirler oluşmaktadır. Zincir üzerindeki her blok, bir önceki bloğun şifrenilmiş blok referansını tutar, böylelikle zincirin tutarlılığı sağlanır (Şekil 2).



Şekil 2. Blok Yapısı (Naprawa, 2021)

Blokzincir mimarisinde merkezi bir otorite olmadığı için uçlar arası(P2P) veri güvenliğinin sağlanması için farklı bir mimariye ihtiyaç duyulmaktadır. Buradaki en önemli konu, tarafların birbirine güvenmesine ihtiyaç duymayacağı bir mimari ve sistem işleyişine ihtiyaç duyulmasıdır. Sistem üzerindeki verilerin güvenliği, tutarlılığı gibi güvenlik konuları kriptolama algoritmaları ile sağlanmaktadır. Ağ üzerinde gönderim veya alım işlemi yapılabilmesi için katılımcının açık ve özel anahtar prensibiyle kriptografik şifreleme mekanizması ihtiyacı bulunmaktadır. Verinin ağ üzerinde yayılması için özel anahtar ile şifrelenmesi yani dijital imzalama işlemi gerçekleştirilir. Açık anahtar ise, özel anahtara bağlı bir anahtar olmakla beraber, bir nevi adres görevi görmektedir. Gönderici tarafın açık anahtarı tüm ağa açık olmakta, böylelikle sistem üzerinde gönderilen blokların diğer katılımcılar tarafından kontrolü sağlanmaktadır. Gönderici tarafın özel anahtarı ile imzaladığı blok, açık anahtar ile açılmıyorsa doğru bir iddiada bulunulmadığı ortaya çıkar ve işlem talebi geçersiz kılınır. Açık anahtar aynı zamanda ilgili tarafın adresi görevini görmekte, başka bir kullanıcı yapacağı gönderi işleminde bu adresi kullanmaktadır.

Göndericinin kendi özel anahtarı ile imzaladığı işlem, sadece alıcıya değil tüm ağa yayınlanır. Mesajları alan katılımcılar işlemin doğru, geçerli ve kurallara uygunluğunu denetler. Uygun olması durumunda, bağlı olan tüm katılımcılara yayar. Böylelikle, transfer işlemi kısa süre içerisinde tüm ağa ulaşmış olur. Mesajın ulaştığı düğümler, göndericinin açık anahtarını kullanarak mesajı desryp eder, yani mesaj içeriğini açar. İşlem uygunluğu ağ üzerinde onaylandıktan sonra, zincirin en sonuna blok olarak eklenir.

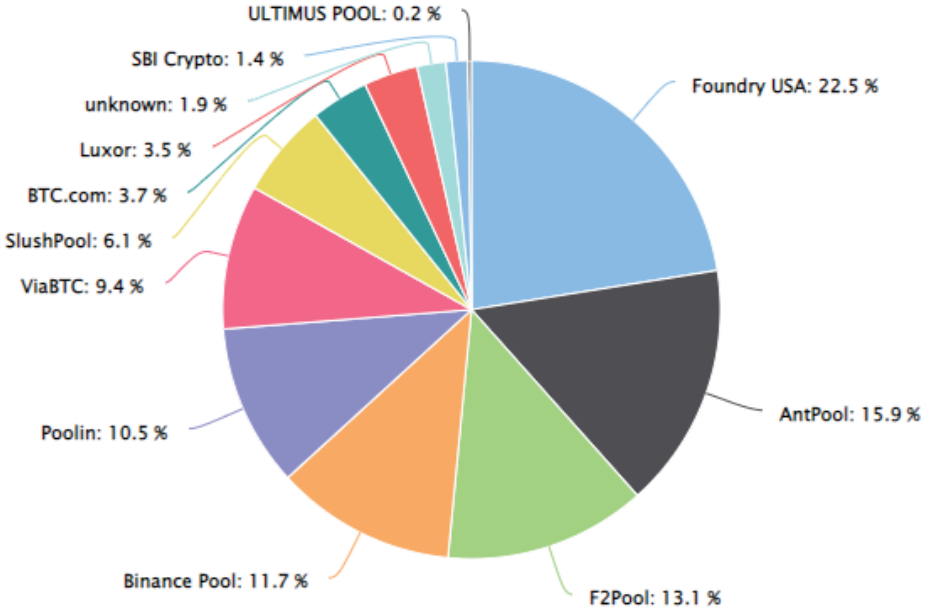
2.3. Fikir Birliği Mekanizması

Blokzincir ağındaki işlemlerin doğrulanıp, zincire eklenmesi için “fikir birliği” mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru, geçerli ve kurallara uygunluğu başarılı bulunmuş işlemler “madenci” adı verilen düşümlerde “teyit edilmemiş işlem havuzu” listesine alınır. Madenciler, bu havuz liste içerisinde belirli bir büyüklüğü aşmamış “blok” listesini oluşturmak için birbirleri ile yarışır. Her bir blok için, için o bloğun içine konulan tüm işlemlere bağlı olarak değişen ve bir önceki geçerli bloğa da referans veren, standart bir formülle hesaplanamayan ancak çok fazla sayıda deneme ile bulunabilecek özel bir koşul olan “Hash” kodunu bulmaya çalışır. Bu hash değerini ilk bulan yeni bloğunu, blok için bulunduğu hash değerini ve bu hash’e ulaşmak için yaptığı deneme yanımlar sonunda o hash’e ulaşmasını sağlayan “Nonce” adı verilen bir başka sayısal değeri ağa yayımlar. Bu işlemi ilk bitirip işlem kuyruğundaki ilk bloğu zincire ekleyen madenci fikir birliği işlemini tamamlamış olur ve işlemin ödülünü alır. Madencilerin gerçekleştirmiş olduğu bu hesaplama yoğun işleme “madencilik” adı verilir. Bu işlem çok fazla işlemci gücü gerektirdiği ve geçerli bir hash ve nonce bulunması yapılan doğrulama çalışmasının ispatı niteliğinde olduğu için “Proof of Work (PoW)” olarak nitelenir (Tasca & Tessone, 2017).

Ağ üzerinde fikir birliği için pek çok mekanizma yer almaktadır. PoW, özellikle Bitcoin’de kullanılan fikir birliği mekanizması olması sebebiyle en bilindik olanıdır. Fakat bunun dışında ihtiyaca göre farklı avantajlar ve dezavantajlar getiren fikir birliği mekanizmaları bulunmaktadır (Mattila, 2016). Finansal işlemlerde kullanılan bir diğer popüler fikir birliği mekanizması da Proof of Stake (PoS) yöntemidir. Yeni nesil bir fikir birliği mekanizması olan PoS yönteminde, madencilik yapılmamakta, üretim için bir hesaplama sürecine girilmemektedir. Bu sebeple madencilik olarak değil, kripto üretim olarak nitelendirilmektedir. Bu metot ile üretim yapabilmek için elektronik cüzdanlarda kripto varlık bulundurulması gerekmektedir. Kazanılacak ödül, cüzdandaki kripto varlık miktarı ile doğru orantılıdır.

PoW metodunda, ne kadar blok kazma işlemi yapılırsa katılımcının kazanacağı ödül de o kadar fazla olur. İlgili bloğun ağa eklenmesi için gerekli algoritmayı çözen ilk kişi ödülü alır, sonradan çözenler için herhangi bir ödül tahsis edilmemektedir. Bu yöntem ile katılımcıların veri bloklarını doğrulamak için aktif bir şekilde sistem içerisinde yer almasını sağlar. Blok algoritmasını çözmek için yüksek işlemci gücü gerektiğinden dolayı, katılımcılar arasında en yüksek işlemci gücüne sahip katılımcıların ödül alma ihtimalleri diğerlerine göre daha yüksektir. Kripto varlıkların, özellikle kripto paraların değerinin giderek arttığı günümüzde bu ödülü almak için katılımcıların çok ciddi bir rekabet içerisinde olduğu

görülmektedir. Hatta bu madencilik işlemlerinin kurumsallaşmaya başladığı, milyonlarca yüksek kapasiteli işlemcinin bulunduğu madencilik çiftliklerinin kurulduğu görülmektedir. Bitcoin madencilik havuzunun güncel dağılımı Şekil 3’de görülmektedir. Ağın büyük çoğunluğu madencilik havuzları tarafından tutulmaktadır. Katılımcıların bireysel cihazları ile doğrulama yapabilmesi mümkün olmamakta, bu da da Bitcoin gibi birçok kripto paranın ilk çıkış fikri olan bir merkeziyetsizlik prensibini günden güne zedelemektedir.



Şekil 3. Bitcoin Madencilik Havuzu (“Bitcoin Pool Stats,” 2022)

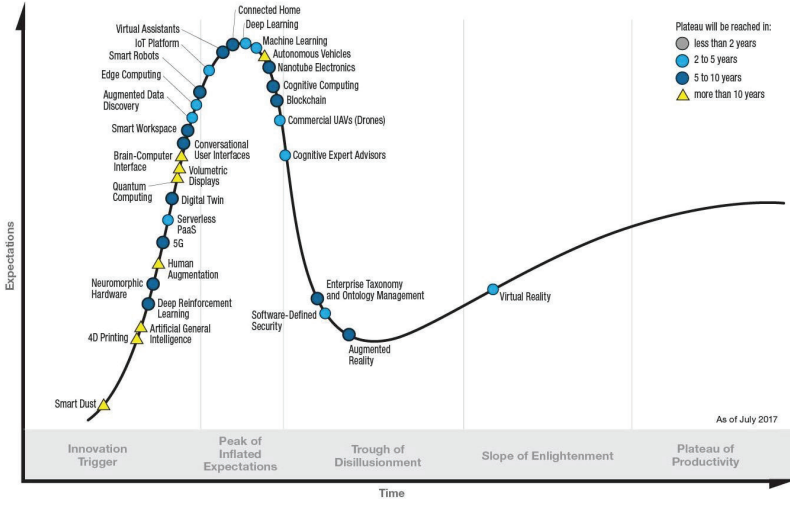
PoS yöntemi, madencilik işlemi gerektirmediği için özellikle elektrik tasarrufu noktasında PoW yöntemine göre binlerce kez daha çok tasarruf sağlamaktadır. PoS yönteminde elektrik tüketim maliyeti sıfıra yakındır. Ayrıca, katılımcıların daha yüksek ödül kazanabilmesi için cüzdanlarında daha fazla kripto varlık tutması teşvik edilmektedir. PoS metodunun ilk olarak 2012 yılında bazı alternatif kripto paralar ile kullanılmaya başlandığı görülmektedir. En büyük kripto para birimlerinden biri olan Ethereum, yıllardır PoS fikir birliği mekanizmasına geçiş hazırlığı yapmaktadır. Ethereum 2.0 yükseltmesi ile Ethereum blokzinciri PoW (proof of work) sisteminden PoS (proof of stake) sistemine geçiş yapması hedeflenmektedir (Kurt, 2022). Benzer şekilde birçok kripto paranın PoS metoduna geçiş yönünde çalışmalar yaptığı bilinmekte, ayrıca piyasaya çıkan yeni kripto paraların bir kısmı bu yöntemi seçmektedir.

Finansal uygulamalarda genellikle PoW ve PoS yöntemleri tercih edilirken, diğer uygulamalar için ihtiyaçlarda farklılık gösterdiği için alternatif fikir birliği yöntemleri ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu yönde ortaya çıkan fikir birliği yöntemlerinden biri yetki kanıtı (PoA) yöntemidir. PoA ile düğümlerin blokları doğrulamak için karmaşık matematiksel bulmacaları çözmesi gerekmemektedir. Algoritma, belirli katı kurallara göre işlemleri doğrulamaktan sorumlu sınırlı sayıda düğüm seçer. Bu düğümler, ağı çalışmasını sağlamaktan sorumlu olan tek kişi haline gelir. Böylelikle PoA algoritması, ağı korumak için bir dizi “yetkili” kullandığından, ölçeklenebilir blokzincir elde edilebilmesine olanak tanır.

Bu üç popüler yöntemin dışında, blokzincir uygulamaları için başka konsensüs metodları da bulunmaktadır. Tercih edilecek fikir birliği metodu belirlenirken, faaliyet alanı, uygulama mimarisi ve gereksinimler göz önünde bulundurulmalı, sisteme uygun yöntem tercih edilmelidir.

3. Teknolojinin Gelecek Öngörülleri

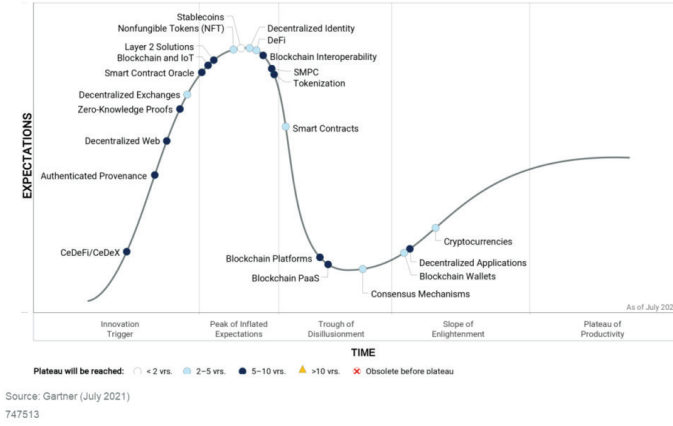
Gartner’ın geliştirmekte olan teknolojiler için hazırlamış olduğu raporda; yeni nesil teknolojinin beklentilere karşı zamanı eksenindeki durumunu ve tahminlemesini gösteren “Hypecycle” eğrisine baktığımız zaman (Şekil 4), blokzincir teknolojinin “Beklentilerin Zirvesi” fazını geçtiğini ve “Çözülme” fazına doğru ilerlediğini görmekteyiz (Kasey Panetta, 2017). Teknolojinin verimlilik alanına ulaşması için 5-10 yıl arası bir süreye ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Çözülme fazında olması kaçınılmazı gereken bir teknoloji olduğu anlamını taşımamaktadır. 5-10 yıl içerisinde yapılacak olan çalışmalar ile birlikte teknolojinin anlaşılması, eksiklerinin giderilmesi ve verimlilik fazına ulaşması beklenmektedir. Bu noktada en önemli konulardan biri uygulama alanlarının sayısının arttırılması, böylelikle bilgi düzeyinin (Know-how) genişletilerek teknolojinin kapalı taraflarının keşfedilmesinin sağlanmasıdır.



Şekil 4. Gartner Hypecycle (Kasey Panetta, 2017)

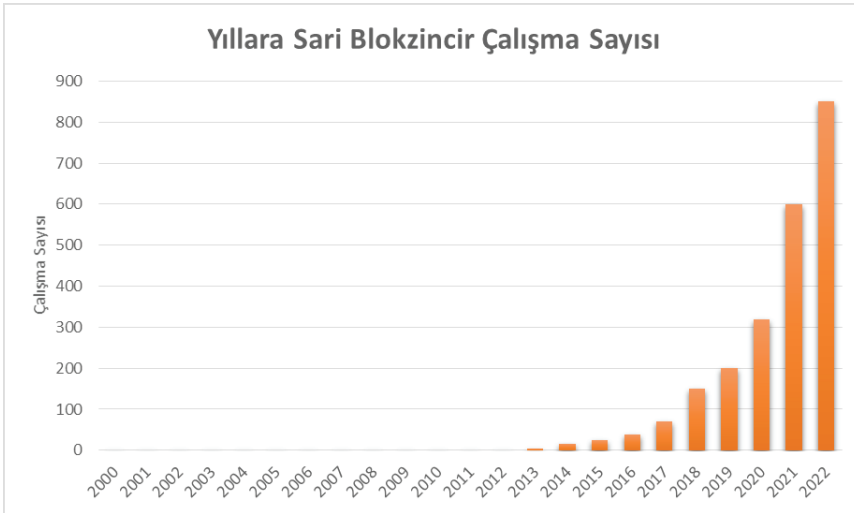
Gartner'ın blokzincir teknolojisi hakkında 2021 temmuz ayında yapmış olduğu araştırmayı incelediğimizde ise, özellikle açık blokzincir uygulamalarının yeterli sayıya ulaştığı, fakat izinli/özel blokzincir uygulama sayısının ise düşük seviyede olduğu görülmektedir (Şekil 5). Kurumsal seviyedeki ihtiyaçların açık blokzincir ağları ile nasıl karşılanabileceği ve olgunluk seviyelerinin yukarıya doğru nasıl çıkarılabileceğinin çalışılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Kapalı/izinli blokzincir ağlarının benimsenmesinin çok daha yavaş ilerlediği görüşmektedir. Özellikle, tedarik zinciri yönetimi ve kimlik doğrulama uygulamalarında uygulama örneklerinin sayısının ve olgunluğunun yüksek olduğu görülsede, birçok kullanıcının bu devrimsel teknoloji için doğru uygulama alanını belirlemekte sorun yaşadığı da görülmektedir. Finansal kurumsal blokzincir uygulamalarının ve kripto para kullanımının yaygınlaşabilmesi noktasında ise önemli konulardan biri küresel düzeyde regülasyonların ve muhasebesel uygulama standartlarının oluşması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hype Cycle for Blockchain, 2021



Şekil 5. Gartner Blokzincir Hypecycle (Litan, 2021)

Blokzincir teknolojisi 2008 yılında Bitcoin ile kullanılmaya başlanmış olsa da Bitcoin'in popülerliğinin gölgesinde kaldığını söyleyebiliriz. blokzincir ile ilgili 2015 yılına kadar olan belirli çalışmaları incelediğimizde çalışmaların 2012 yılında başladığı ve 2013 yılından sonra popülerliğinin gittikçe artmaya başladığını söyleyebiliriz (Şekil 6). Uygulama sayısının artışı ile birlikte bu ivmenin de aynı oranda yükseleceğini öngörebiliriz.



Şekil 6. Kripto Paraları Dışında Blokzincir Çalışmalarının Yıllara Dağılımı

Blokzincir teknolojisi kripto para birimlerindeki uygulamalarla sınırlı değildir. Bunun yerine, bir açık muhasebe defteri ve merkezi ol-

mayan ortam fikri ile farklı endüstrilerdeki çeşitli diğer uygulamalara uygulanabilmektedir. Aşağıda bazı uygulama alanları listelenmektedir:

- Akıllı Sözleşmeler
- Nesnelerin İnterneti
- Coğrafi Bilgi Sistemleri

3.1. Akıllı Sözleşmeler

Akıllı sözleşmeler tüm bu uygulamaların temelini teşkil ettiği için onu bir uygulama alanı yerine uygulama platformu olarak düşünmek daha doğru olacaktır. Akıllı sözleşmeler fikri ilk olarak Nick Szabo tarafından 1997 yılında önerilmiştir (Szabo, 2018). Fakat Mülkiyetin sahipliğini ve transferini izlemek için Bitcoin blokzinciri kullanma fikri ilk olarak “Smart Property” hakkındaki yazısında Mike Hearn tarafından tarif edilmiştir (Mike Hearn, 2018). Ethereum, Bithalo gibi popüler akıllı sözleşme altyapıları kullanıcılarına çeşitli akıllı sözleşmeler yapabilmelerine ve kendi uygulamalarını geliştirmelerine imkân vermektedir. Bunların yanında, blokzincir teknolojisinin temel problemlerinden biri olan standardın oluşmaması sorununun çözümü için “Linux Açık Kaynak Kod Topluluğu” desteği ile IBM, Cisco, Fujitsu gibi büyük teknoloji firmalarının da dâhil olduğu bir şirketler birliği “Hyperledger” adında bir oluşum ortaya çıkarmıştır. Hyperledger grubu blokzincir uygulamalarının geliştirilmesi için farklı konfigürasyon imkanlarıyla bir altyapı sunmaktadır. Kullanıcılar bu altyapıyı kullanarak çeşitli uygulamalar geliştirmektedir. Bu uygulamaların sayısının önümüzdeki dönemde giderek artacağı öngörülmektedir. Kullanıcılar akıllı sözleşme altyapısını kullanarak; akıllı mülkiyet yönetimi, nesnelerin interneti çözümleri, dijital içerik dağıtım sistemleri, kullanıcıların kullanmadıkları disklerini kiralamalarına imkân sağlayan uygulamalar gibi geniş bir yelpazede uygulama geliştirilebilmektedirler.

3.2. Nesnelerin İnterneti

Nesnelerin interneti gelecek dönemin popüler teknolojilerinin başında gelmektedir. Bu popülerliğinin yanında, çözülmesi gereken sorunları da mevcuttur. Sistem içerisinde yer alan akıllı cihaz sayısının fazlalığı sebebiyle tüm cihazların senkron bir şekilde tutulması, merkezi sunucu da yaşanabilecek herhangi bir sorundan etkilenme, “Denial-of-service (DOS)” saldırıları gibi siber tehditlere karşı dayanıklı olma, sistemin sürdürülebilirlik maliyeti gibi konuların çözümü için blokzincir teknolojisi öne çıkmaktadır.

IBM yayınlamış olduğu Nesnelerin interneti çalışmasında, blokzincir IoT ilişkilerini merkezi olmayan IoT vizyonları için cihazlar arası ile-

tişim kurma ve koordinasyon noktasında bir çerçeve olarak görmektedir (Brody & Pureswaran, 2015). Her bir akıllı cihaz kendi rollerini ve davranışlarını yönetmesi sonucu “Merkezi Olmayan Otonom Nesnelerin İnterneti” kavramının ortaya çıkacağını vurgulamaktadır. Bu sayede dijital dünyanın demokratikleşmesi sağlanabilecektir.

IoT platformlarındaki merkezi yaklaşımı ile birlikte artan sürdürülebilirlik maliyetini azaltmak için blokzincir sistemi önerilebilir. Önerilen sistem ile üreticiler hazırlamış oldukları en son donanım yazılımı güncellemelerini akıllı sözleşmeleri ile ağ üzerinde gönderir. Cihazlar bu bilgiyi alırlar, sözleşme sorgulatarak uygunluk durumuna göre edinebilir. Belli bir süre sonunda üretici donanım yazılımını vermeye durdurabilir. Tüm bu işlemler ağ üzerinden herhangi bir kullanıcı etkileşimi olmadan gerçekleştirilir.

Ayrıca, Airbnb gibi otel, ev, akıllı cihazların kiralaması için üçüncü parti dahillerin ortadan kaldırıldığı sistemlerde kullanılması muhtemel olduğu öngörülebilir. Yine benzer şekilde UBER uygulaması ile birlikte kullanılabileceği de söylenebilir.

3.3. Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulamaları

Özellikle arazi kayıt sistemlerinin blokzincir coğrafi bilgi sistemi uygulamalarından en önemlilerinden olduğunu söyleyebiliriz. Şu ana kadar Brezilya, Honduras, İsveç gibi ülkelerde pilot bölgelerde kullanımı yapılmış olan arazi kayıt sistemlerinin gelecek dönemde popülerliğini arttıracığını ve dünya genelinde geniş bir yelpaze de kullanım imkânı bulacağını öngörebiliriz. Aynı zamanda elde edilen konumsal verinin kullanılması ve yönetilmesi anlamında pek çok uygulama olabileceği öngörülmektedir. Bitki örtüsü, mevsimsel veri değişimi gibi arazi parselleri üzerindeki değişikliklerin takibi ve yönetimi dâhil olmak üzere arazi parselleri hakkında nasıl daha verimli ve gerçek zamanlı bilgi sağlayabileceğini değerlendirmek için uygulamalar geliştirilmektedir. Gerek teknolojinin yeni olması, gerekse uygulamanın birçok dâhil içermesi göz önünde bulundurulduğunda arazi kayıt uygulamalarının olgunluğa ulaşması için bir süre gerekmektedir.

4. Teknoloji Hazırlık Seviyesi (THS)

4.1. Güncel THS

Blokzincir teknolojisinin Bitcoin ve diğer kripto para birimlerinde kullanımına rağmen diğer uygulamalarının çoğunun prototip veya literatür araştırması seviyesinde olması göz önünde bulundurulduğunda Güncel teknoloji hazırlık seviyesinin 4 ile 6 arasında olduğu söylenebilir.

4.2. 15-20 Yıllık Zaman Dilimi içinde THS

Önümüzdeki 15-20 yıllık zaman diliminde uygulama sayılarının artacağı, bununla birlikte teknolojinin de olgunluğa ulaşacağı dolayısıyla teknoloji hazırlık seviyesinin 8-9 bandına ulaşacağı öngörülmektedir.

5. Teknolojinin Getirdiği Dezavantajlar

Blokzincir teknolojisinde çözülmesi gereken konular üzerine araştırmalar yapılması gerektiğini söyleyebileceğimiz bazı alanlar mevcuttur. Bu teknik zorlukları sekiz kategoride toplayabiliriz (Swan, 2015):

- **Verim:** Bitcoin ağında saniye başına 7 işlem (7tps) yapılabilir. Fakat VISA (2.000tps) ve Twitter (5,000tps) gibi diğer işlem işlem ağlarında bu sayı oldukça yüksektir. blokzincirdeki işlemlerin sıklığı benzer seviyelere yükseldiğinde, blokzincir ağının veriminin artırılması gerekmektedir.

- **Gecikme:** Bir Bitcoin işlem bloğunun güvenli bir şekilde oluşturulabilmesi için şu anda yaklaşık olarak 10 dakika gerekmektedir. Etkin bir güvenlik elde edilebilmesi için, bir blok için 10 dakika gibi uzun bir zaman harcanması gerekiyor ki aynı anda yapılan harcama(double-spending) saldırılarına karşı daha güvenli hale gelmek için bu zaman gereklidir. Aynı anda yapılan harcama(double-spending), aynı paranın birden fazla kez harcanması durumudur (Bitcoinwiki, 2018a). Bitcoin, işlemin girdilerinin önceden harcanmamış olmasını sağlamak için blok zincirine eklenen her bir işlemi doğrulayarak çift harcamalara karşı koruma sağlar. Bu durum, şu anda blokzincirde gecikmenin büyük bir sorun olmasına sebep olmaktadır. Bir blok oluşturma ve işlemin onaylanması güvenlik sırasında birkaç saniye içinde gerçekleşmelidir. Örnek olarak, VISA işlemlerinin gerçekleşmesi yalnızca birkaç saniye almaktadır ki bu da blokzincire kıyasla büyük bir avantajı sebep olmaktadır.

- **Boyut ve Bant Genişliği:** Bitcoin ağındaki bir zincirin boyutu 80 MB'nin üzerindedir. İşlem verimliliği VISA seviyelerine yükseldiğinde, blokzincir her yıl 214PB büyüyebilir. Bitcoin topluluğu, bir bloğun boyutunun 1 MB olduğunu ve her on dakikada bir blok oluşturulduğunu varsayar. Bu nedenle, ele alınabilecek işlem sayısında bir sınırlama vardır (bir blokta ortalama 500 işlem). Özellikle finansal alandaki uygulamalarda, blokzincirin daha fazla işlemi kontrol etmesi gerekiyorsa, boyut ve bant genişliği sorunları çözülmelidir.

- **Güvenlik:** Mevcut blokzincir ağları %51'lik bir saldırıda ele geçirilme ihtimali taşımaktadır. %51'lik bir saldırıda, tek bir varlığın ağına madencilik hash oranının büyük çoğunluğunu tam olarak kontrol etmesi ve blokzinciri manipüle edebilmesi mümkün olacaktır. Bu sorunun giderilebilmesi için güvenlik konusunda daha fazla araştırma gereklidir.

• **Kaynak İsrafi:** Bitcoin madenciliği, büyük miktarda enerji harcamaktadır (Günlük yaklaşık 15 milyon dolar). Bu enerji israfının sebebi PoW fikir birliği yönteminin kullanılmasıdır. Bu konuda PoS ve PoA gibi alternatif yöntemler mevcuttur. Blokzincirde daha verimli madenciliğe sahip olmak için kaynak israfı sorunu çözülmelidir.

• **Kullanılabilirlik:** Uygulama geliştirimi için sunulmuş olan Bitcoin API'sini kullanmak zordur. Blokzincir için daha geliştirici dostu bir API geliştirmeye ihtiyaç vardır. Blokzincirin sunmuş olduğu avantajlarının yanında, teknolojinin uygulama noktasında henüz standartların oluşmaması ciddi bir sorun teşkil etmektedir.

• **Versiyonlama, Keskin Çatallı Blok Yolları, Çoklu Zincirler:** Zincir boyutu ne kadar küçük olursa, siber saldırılar ile sistemin çoğunluğunun ele geçirilmesi ihtimali o kadar artacaktır. Dolayısıyla, az sayıda düğümden oluşan küçük bir zincire yapılacak, % 51'lik bir saldırı olasılığının daha yüksek olduğu görülmektedir. Başka bir sorun, zincirlerin yönetim veya sürüm oluşturma amacıyla ayrılmalarıyla ortaya çıkmaktadır.

• **Mahremiyet:** Blokzincirde işlemler kriptografi kullanılarak şifrelenir ve güvenlik üst seviyededir. Sistemdeki bir kullanıcı, bir çift genel ve özel anahtar ile sağlanır: özel anahtar, işlem imzalamak için kullanılırken, genel olan sistemde adres olarak kullanılır. Yani işlemler için gerçek dünya ile ilgili bir doğrulama adresi gerekmemektedir. "Pseudonymity" olarak adlandırılmaktadır. Veri şeffaflığı, pseudonymity ile sağlanmaktadır. Sistemde yapılan tüm işlemler ve akışları tüm katılımcılar tarafından görülebilir. Bu şeffaflık, gizlilik ile ilgili bazı problemlerle sebebiyet vermektedir. Düğümler kimliklerle ilişkili özel bilgileri göremese dahi tüm işlem akışını görebilirler. Gönderenin ve alan adreslerinin açık isimler yerine açık anahtarlar olsa bile bu açık adresten yola çıkarak herhangi bir katılımcının işlemlerini takip etmek teorik olarak mümkündür. Bu sorunun çözümü için birçok çalışma yapılmakta; çeşitli adres karıştırma protokolleri, ara katman uygulamaları önerilmektedir. Anonimlik blokzincir için üzerine düşünülmesi ve çözülmesi gereken alanlardan biridir.

6. Türkiye'de Blokzincir

Türkiye'de blokzincir kavramı incelendiğinde ilk olarak Merkez Bankasının(TCMB) blokzincir için oluşturmuş olduğu çalışma grubu dikkat çekmektedir. Bankacılık Düzenleme Denetleme Kurumu, Sermaye Piyasası Kurulu ve Hazine Bakanlığı'nın dâhil olduğu çalışma grubu çeşitli faaliyetlerde bulunmaktadır. Nisan 2018'de TÜBİTAK'ın gerçekleştirmiş olduğu 1. Ulusal Blokzincir Çalıştay'ına anasponsor olarak destek vermiştir. Merkez bankasının bu ilgisi zaman içerisinde somutlaşmaya başlamış 2021 yılında Merkez Bankası; HAVELSAN, TÜBİTAK-BİLGEM ve Aselsan arasında ikili mutabakat zabıtları imzalamış ve "Dijital

Türk Lirası İşbirliği Platformu” oluşturmuştur (TCMB, 2021). Bu proje ile Merkez Bankası, mevcut ödemeler altyapısını tamamlayıcı nitelikte dijital Türk lirasının tedavülünün potansiyel katkılarını araştırmayı ve gerçekleştirilecek ARGE projesi ile kavram ispat çalışmasının tamamlanması ile başlayan süreç, teknoloji paydaşlarının katılımı ile bir sonraki aşamaya taşınması hedeflenmektedir. Projeye ilişkin stratejik ve kritik teknolojilerin ön uygulama testlerinin yapılacağı birinci faz bulguları ışığında, platformun yeni katılımlarla genişletilmesi planlanmaktadır.

TÜBİTAK Türkiye’deki blokzincir çalışmalarına öncülük etmektedir. 2017 yılında Türkiye’deki ilk blokzincir araştırma laboratuvarını Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi (BİLGEM) bünyesinde kurmuştur. Burada blokzincir teknolojisi çalışılmakta; altyapı, kurulum, güvenlik ve mahremiyet analizi, iş modelleri, kitle fonlama yaklaşımları ve muhtelif teknik detayları üzerine ARGE faaliyetleri yürütülmektedir. Ülkemizde blokzincir teknolojisinin bilinirliğinin ve uygulama sayısının artırılması noktasında gerçekleştirdikleri faaliyetler büyük öneme sahiptir (TÜBİTAK, 2017).

2018 yılının başında AKBANK Türkiye’de bir ilk olarak Ripple firması yardımıyla blokzincir teknolojisini kullanarak para transfer işlemini gerçekleştireceğini duyurmuştur. Firma yetkilileri, blokzincir teknolojisinin Bitcoin’den ibaret olmadığını vurgulayarak, sağlamış olduğu avantajların farkında olduklarını ve böylesine büyüleyici bir teknolojiye kayıtsız kalmadıklarını, çalışmalar yapmak olduklarını ve en kısa sürede kullanmayı hedeflediklerini açıkladılar (Akbank, 2018).

BKM, blokzincir teknolojisini birden çok alanda ve bazı teknoloji ortaklarıyla birlikte; dijital kimlik, akıllı sözleşmeler ve dağıtık kayıt defteri konularında blokzincir temelli çalışmalar yapmaktadır. Bu kapsamda “Keklik” adında bir şifrelenmiş para birimi de oluşturmuş. Deneyisel olan bu projeye 200 özel kullanıcının erişimi vardır ve bu kullanıcılar P2P keklik transferi ve mağazalardan ürün alma gibi işlemler yapılabilmektedir. Sistem Android ve iOS uygulamalarıyla kapalı devre çalışmaktadır. İlerleyen dönemde Hyperledger’in yeni versiyonu ve Ethereum platformları üzerinde de çalışmalar planlamaktadırlar. Yayınlamış oldukları “Blockchain 101” adlı kitaplarında blokzincir ile ilgili yapmış oldukları çalışmalar detaylı olarak anlatılmaktadır (Usta & Doğantekin, 2019).

Blokzincir teknolojisini telif hakkı korumasında kullanan Copyrobo, elektronik servis hizmet sağlayıcılarının zaman damgalarıyla mobil ortamda ve birçok ülkede delil üretmektedir. Yaklaşık 3 yıldır sürdürmekte oldukları çalışmalar neticesinde Bitcoin/Etherium blokzincir teknolojisi ve nitelikli zaman damgası kullanılarak delil üreten Copyrobo, bu tek-

nolojinin sunduğu avantaja dayanarak kendini “küresel noter” olarak konumlandırmayı hedeflemektedir (Usta & Doğantekin, 2019).

7. Değerlendirme

Teknolojiyle yakından ilgilenmemesine rağmen finansal yatırım yapanların belki de en çok ilgi gösterdiği ve merakla takip ettiği teknolojinin blokzincir olduğunu söylersek abartmış olmayız. Hiç şüphesiz bunun temel sebebi 2010 yılından sonra ortaya çıkan, blokzincir teknolojisi kullanılarak geliştirilen kripto paraların öngörülemez şekilde değer kazanmış olmasıdır.

2008 yılında çıkan Bitcoin’in, 2010 yılı sonrası beklenmedik şekilde değer kazanması akabinde birçok kripto para birimi üretilmesi ile kripto para borsasının oluştuğunu görüyoruz (Şekil 7). Kripto para borsası alternatif yatırım arayanların uğrak yeri olmaya başlamış, hatta finans uzmanları da bu alternatif borsaya yönelik talebi göz önünde bulundurarak kripto paralarla ilgili finansal analizler gerçekleştirmeye başlamıştır.



Şekil 7. Blokzincir Borsası (Magnates, 2018)

Blokzincir teknolojisi 1992 yılında ortaya çıkmasına rağmen, popülerliği Bitcoin’den sonra inanılmaz bir seviyeye ulaşmıştır. Bu popülerlik sonrası pek çok organizasyon blokzincir teknolojisine yatırım yapmaya, bu alanda ürünler/çözümler üretmeye başlamıştır. İlginin bu denli yüksek olması teknolojinin ilerlemesi için önemli bir avantaj olabileceksen, blokzincir teknolojisinde bu durumun tam tersinin yaşandığını ve ne yazık ki popülerliğin teknolojinin gelişimini olumsuz etkilediğini görüyoruz. Teknolojinin sundukları tam olarak anlaşılmadan yatırım yapılması ile karşılanması mümkün olmayan beklentiler oluşmaktadır. Bunun neticesinde teknolojinin imajı zarar görmekte, olumsuz sonuçlar elde ediliyor olması teknolojiyi hayal kırıklığına sürüklemektedir. Oysaki blokzincir teknolojisi abartılmış veya “balon” bir teknoloji değil; aksine sundukları sayesinde alışkanlıklarımızı değiştirecek, kalıpları yıkacak bir potansi-

yele sahiptir.

2020 yılında hepimizin malumu, küresel ölçekte yaşanan COVID-19 salgını neticesinde günlük fiziki yaşam büyük oranda kısıtlanmış, insanlar fiziki başvuru ve efor gerektiren işler yapamayacak duruma gelmiştir. Bu küresel salgın dijitalleşmenin önemini bize bir kez daha göstermiştir. Blokzincir teknolojisi dijitalleşmenin en güvenli, hızlı ve üçüncü aracı gerektirmeyen örneğidir. İçinde bulunduğumuz teknoloji çağı ve geleceğin bizlere getireceklerini düşündüğümüzde konvansiyonel çözümlerin dışına çıkarak yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliğini bu doğal afet vesilesiyle bir kez daha somut olarak tecrübe etmiş olduk.

Sadece blokzincir teknolojisi özelinde değil, hangi teknoloji olursa olsun yatırım yapılmadan önce artılarının ve eksilerinin araştırılıyor olması beklentilerin somut ve sağlam bir şekilde belirlenmesini ve karşılığının alınmasını sağlayacaktır. Aksine, yalnızca popülerliğinden etkilenecek bir teknolojiye yatırım yapıldığı durumda ise olumlu sonuçların elde edilmesi hayal olacaktır.

8. Sonuç

Bitcoin ile ilgili birçok akademik ve endüstriyel çalışma bulunmasına rağmen blokzincir ile ilgili çalışmalara baktığımızda 2012 yılından itibaren çalışılmaya başlandığını söyleyebiliriz. Bu tarihte itibaren artan çalışma sayısı bize teknoloji konusunda dünya üzerindeki ilginin giderek arttığını göstermektedir. İlginin ivmelenerek arttığını görmemize rağmen, teknolojinin üretkenliğe ulaşabilmesi için uygulama sayısının arttırılması gerekmektedir.

Siber savunmayla ilgili her türlü veri bütünlüğünü sağlamak ve verilerin güvenliğini arttırmak için blokzincirin kullanılabileceğini söyleyebiliriz. Özellikle nesnelerin interneti ve blokzincir kullanımının cihazların senkron tutulması, güvenlik ve merkezi kontrol ihtiyacının dağıtık veri tabanı sayesinde sistem üzerinden yayılması gibi önemli avantajlar sayesinde sistemlerin demokratikleşmesine yapacağı katkı ile birlikte önemli bir yer edinebilecektir. Bunun yanında, seçim sistemleri, enerji yönetimi, patent koruma sistemleri gibi kullanım alanlarında çalışmaların geliştirilebileceği değerlendirilmelidir.

2020 yılında hepimizin malumu, küresel ölçekte yaşanan COVID-19 salgını neticesinde günlük fiziki yaşam büyük oranda kısıtlanmış, insanlar fiziki başvuru ve efor gerektiren işler yapamayacak duruma gelmiştir. Bu küresel salgın dijitalleşmenin önemini bize bir kez daha göstermiştir. İçinde bulunduğumuz teknoloji çağı ve geleceğin bizlere getireceklerini düşündüğümüzde konvansiyonel çözümlerin dışına çıkarak yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliğini bu doğal afet vesilesiyle bir kez

daha somut olarak tecrübe etmiş olduk. Blokzincir teknolojisi dijitalleşmenin en güvenli, hızlı ve üçüncü aracı gerektirmeyen örneğidir. Güvenlik, aracısız işlem, şeffaflık gibi avantajların blokzincir teknolojisini diğer teknolojilerden farklılaştırmakta ve hatta kullanım yerine göre öne geçirmektedir.

KAYNAKÇA

- Akbank. (2018). Blockchain Teknolojisi Türkiye’de İlk Kez Akbank’ta. Retrieved June 14, 2018, from Akbank website: <https://www.akbanklab.com/tr/guncel/basinda-biz/blockchain-teknolojisi-Turkiyede-ilk-kez-akbankta>
- Bitcoin Pool Stats. (2022). Retrieved July 9, 2021, from BTC.com website: <https://btc.com/stats/pool>
- Bitexen. (2020). Dağıtık Defter Sistemi (Distributed Ledger System) Nedir? Retrieved July 13, 2022, from Bitexen website: <https://research.bitexen.com/post/dagitik-defter-sistemi-distributed-ledger-system-nedir>
- Brody, P., & Pureswaran, V. (2015). Device democracy: Saving the future of the Internet of Things IBM. *IBM Global Business Services Executive Report*. Retrieved from <http://m2mworldnews.com/download/white-papers/IBM-Saving-the-future-of-IoT.pdf>
- Kasey Panetta. (2017). Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017 - Smarter With Gartner. Retrieved March 2, 2020, from <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>
- Kurt, Ö. (2022). Ethereum 2.0 ne zaman tamamlanacak? Yükseltmeye dair kapsamlı analiz. Retrieved July 14, 2022, from Koin Medya website: <https://koinmedya.com/ethereum-20-ne-zaman-tamamlanacak/>
- Litan, A. (2021). Hype Cycle for Blockchain 2021; More Action than Hype. Retrieved July 13, 2022, from Gartner website: <https://blogs.gartner.com/avivah-litan/2021/07/14/hype-cycle-for-blockchain-2021-more-action-than-hype/>
- Magnates, F. (2018). Bitcoin, Litecoin, Ethereum, and Ripple: Price Analysis. Retrieved July 8, 2022, from Finance Magnates website: <https://www.financemagnates.com/cryptocurrency/news/bitcoin-litecoin-ethereum-and-ripple-price-analysis/>
- Mattila, J. (2016). The Blockchain Phenomenon The Disruptive Potential of Distributed Consensus Architectures. *ETLA Working Papers*, 38(38), 26. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2016.0036>
- Mike Hearn. (2018). Smart Property - Bitcoin Wiki. Retrieved March 31, 2018, from https://en.bitcoin.it/wiki/Smart_Property
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *Bitcoin*, 9. <https://doi.org/10.1007/s10838-008-9062-0>
- Naprawa, C. (2021). Blockchain Disruption Is Coming: How Businesses Can Prepare. Retrieved July 8, 2022, from Forbes Business Council website: <https://www.forbes.com/sites/forbesbusinesscouncil/2021/04/30/blockchain-disruption-is-coming-how-businesses-can-prepare/?sh=2827c6492c60>

- Swan, M. (2015). Blueprint for a new economy. In *O'Reilly Media, Inc.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Szabo, N. (2018). The Idea of Smart Contracts. Retrieved March 31, 2018, from <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/idea.html>
- Tasca, P., & Tessone, C. J. (2017, May 31). Taxonomy of Blockchain Technologies. Principles of Identification and Classification. Retrieved June 28, 2021, from arXiv website: <http://arxiv.org/abs/1708.04872>
- TCMB. (2021). Merkez Bankası Dijital Türk Lirası Ar-Ge Projesi Hakkında Basın Duyurusu. Retrieved July 13, 2022, from <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Duyurular/Basin/2021/DUY2021-40>
- TÜBİTAK. (2017). Blokzincir Araştırma Laboratuvarı. Retrieved December 10, 2019, from <https://bilgem.tubitak.gov.tr/tr/urunler/blokzincir-arastirma-laboratuvari>
- Usta, A., & Doğanterkin, S. (2019). Blockchain 101. In *BKM*.
- Verma, A. K., & Garg, M. A. (2010). Blockchain: An Analysis on Next-Generation Internet. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(8), 429–432. Retrieved from <http://ijarcs.info/index.php/Ijarcs/article/view/4769/4195>
- Xu, X., Pautasso, C., Zhu, L., Gramoli, V., Ponomarev, A., Tran, A. B., & Chen, S. (2016). The blockchain as a software connector. *Proceedings - 2016 13th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture, WICSA 2016*, 182–191. <https://doi.org/10.1109/WICSA.2016.21>



BÖLÜM 2

İKLİM VE YAPILI ÇEVRE İLİŞKİSİ

Büşra Babacan¹

Uğur Özcan²

1 Yüksek Mimar, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Yüksek Lisans Programı, İstanbul, Türkiye, e-posta: mimbusrababacan@gmail.com (ORCID: 0000-0002-5520-6335)

2 Dr. Öğr. Üyesi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye, e-posta: uozcan@fsm.edu.tr (ORCID: 0000-0003-0002-4478)

GİRİŞ

Mimarlık ve iklim, birbirinden tamamen farklı iki ayrı çalışma alanı olarak görülebiliyor olmasına rağmen aslında, insan eylemlerine karşılık olarak doğanın geri bildirimine dayanan bir döngü içerisinde, daima bir-biri ile ilişkili olmuştur. Mimarlığın temel amaçlarından biri, içinde yaşadığımız fiziksel, sosyal ve iklimsel çevreyi şekillendirerek bir barınak sağlamaktır. İklim ise geçmişten bu yana yapı çevrenin oluşumu ve gelişimini yönlendiren ana unsurlardan biri olmuştur. Böylece, yapı çevre iklim üzerinde değişiklikler meydana getirerek bölgeye özgü mikroklimayı oluştururken, iklim de yapı çevrenin tasarımında etkili olmaktadır. Geleneksel mimari de iklimsel zorunlulukların etkisi altında, deneme-yanılma yöntemi ile uzun bir süreç içerisinde gelişmiş ve yapı çevrede, farklı yerlere özgü mimari çeşitliliğin oluşumunda önemli bir rol almıştır. Ancak modern zamanlarda, gelişen teknoloji ve ucuz yakıt, mimarlara iklimsel verileri göz ardı etme seçeneği sunduğu için iklim ve yapı çevre arasındaki etki döngüsü gizlenmiştir (Pearlmutter, 2007). Ancak, küresel iklim değişikliği etkilerinin dünya çapında görülmeye başlanması sebebi ile iklim ve yapı çevre arasındaki karşılıklı etkileşimin kurulması ve iklimle uyumlu mimari tasarım konuları tekrar önem kazanmıştır.

1. İKLİMİN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Genel anlamıyla iklim, “ortalama hava durumu” veya daha kesin olarak “aylardan binlerce veya milyonlarca yıla kadar değişen bir süre boyunca, ilgili miktarların ortalamasının ve değişkenliğinin istatistiksel tanımı” olarak tanımlanmaktadır. Bu değişkenlerin ortalamasının alınması için klasik süre, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından tanımlandığı üzere 30 yıldır. İlgili miktarlar çoğunlukla sıcaklık, yağış ve rüzgâr gibi yüzey değişkenleridir (IPCC, 2014).

İklim ve hava koşulları mimariyi olduğu gibi toplumu ve toplumsal faaliyetleri de etkileyebilmektedir. Bir yerin iklimini, hava ve atmosfer koşullarını incelemek iklimle uyumlu tasarım aşamalarının ilkinin meydana getirmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), değişen iklime en iyi şekilde nasıl uyum sağlanacağına dair yaptığı çalışmalarda iklim, iklimin çeşitleri-aşırılıkları ve iklimin insan sağlığı, güvenliği ve refahını kapsayan çeşitli faaliyetler üzerindeki etkileri üzerine çalışmaktadır (Url-1). Herhangi bir bölgede hakim olan iklimin tespit edilmesi ve iklimle uyumlu tasarımın gerçekleştirilebilmesi, iklim elemanlarının bilinmesi ve atmosfer hareketlerinin uzun süre incelenmesi ile mümkün olabilmektedir.

1.1. İklim Elemanları

1.1.1. Dış Hava Sıcaklığı

Atmosfer ile ilgili özellikler incelenirken, birbiri ile ilişkili olan ısı ve sıcaklık kavramları doğru tanımlanmalı ve ayırt edilebilmelidir. Isı, bir cismin kütlesi içerisinde sahip olduğu moleküllerin hareket etmesini sağlayan toplam enerjinin miktarıdır. Kütle içerisindeki molekül hareketlerinin titreşim hızı, cismin sahip olduğu ısı enerjisi ile doğru orantılıdır. Isı enerjisinin artışı, cismin kütlesi içerisinde yer alan molekül başına düşen kinetik (hareket) enerjisinin ve çevreye yayılan elektromanyetik dalgaların artışına sebep olmaktadır. Elektromanyetik dalgaların çevreye yaptığı etkiye ise sıcaklık denilmektedir. Isı enerjisi doğrudan hissedilemez ancak sıcaklık yardımı ile ölçülebilmektedir. Bu nedenle iklim bilimi (klimatoloji) ısı enerjisinin kendisinden çok etkilerini, yani sıcaklığı, incelemektedir. Atmosferin ve yeryüzünün ısı kaynağı güneştir. Güneşin meydana getirdiği ısı enerjisi ve sıcaklık değeri, yerküre üzerinde bulunan çeşitli noktalarda farklılık gösterebilmektedir. Bölgenin dünya üzerinde bulunduğu konum, yıl içerisinde değişiklik gösteren güneş ile arasındaki uzaklık ve güneş ışınlarının bölgeye geliş açısı gibi özellikler, sıcaklık değerinin her bir bölgede farklılık göstermesine sebebiyet vermektedir.

Aynı enlemde bulunmasına rağmen yıllık sıcaklık ortalaması farklılık gösteren yerleşim alanları görülmektedir. Uzun (1997)' a göre bunun sebebi güneş radyasyonunun şiddeti, güneş enerjisinin atmosferden geçerken değişiminin etkisi, zeminin niteliği; yerküre ve atmosfer arasındaki ilişki, buharlaşma, ergime, donma gibi olaylardaki enerji değişim miktarları, hava hareketleri ve deniz akıntılarının yönü ve şiddeti, konveksiyon ve türbülansla enerjinin dikey nakli, yükseklik'tir (Uzun, 1997).

1.1.2. Güneş Işınımı

Güneş, ısı ve ışık kaynağı olarak, dünya için en önemli ve sınırsız enerji kaynağıdır. Aynı zamanda güneşten enerji elde edilmesi esnasında çevreye karşı kirlilik, gürültü vb. gibi etkileri olmaması sebebi ile de en temiz yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Güneşin etrafa yaydığı elektromanyetik dalgalara güneş ışınımı denilmektedir. Kızılötesi ışınlar, görünür ışık ve morötesi ışınlar olarak yayılan güneş ışınları, yapılı çevrede bulunan yüzeylere doğrudan, yaygın ve yansımış ışınımın toplamı olarak etki etmektedir. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerji, dünyanın farklı yerlerinde farklı değerlerde etki göstermektedir. Bu farklılık, iklimsel etmenlerin ve güneş ışınımı şiddetinin her bir bölgede değişiklik göstermesine sebebiyet vermektedir.

Güneş ışınlamının atmosfer dışındaki niceliklerinin değişmesine ve veryüzüne farklı şiddetlerde ulaşmasına etki eden faktörler Çizelge 1.1'de sınıflandırılmıştır.

Çizelge 1.1: Güneş ışınlamı şiddetinde etkili olan faktörler (Akın, 2001).

Astronomik Etmenler	Coğrafi Etmenler	Geometrik Etmenler	Fiziksel Etmenler	Meteorolojik Etmenler
Güneş değişmezi (solar constant)	Bulunulan bölgenin enlemi	Güneşin yükseliş açısı	Kuru havanın geçirgenliği	Bulutluluk
Yer ve güneş arasındaki uzaklık	Bulunulan bölgenin boylamı	Güneşin azimut açısı	Yoğuşturulabilir su kalınlığı	Yeryüzünün yansıtıcılığı
Güneşin sapma açısı (deklınasyon)	Deniz seviyesinden yükseklik	Yüzeyin azimut açısı	Ozon kalınlığı	
Zaman açısı		Yüzeyin eğim açısı	Tozluluk	

Astronomik, coğrafi, geometrik, fiziksel ve meteorolojik etmenler dışında yapıllı çevre dokusu da bina yüzeyleri üzerinden elde edilen güneş ışınlamı kazancını etkilemektedir. Çevrede bulunan komşu binaların yükseklikleri, peyzaj gibi fiziksel öğeler bina yüzeylerine etki eden güneş ışınlamına engel olabilmektedir. Bu nedenle bina tasarım aşamasında, güneş ışınlamından faydalanma veya korunma ihtiyacına göre, oluşturulacak pasif sistemlerde yapıllı çevre özellikleri de göz önünde bulundurulması gereken etmenlerdendir.

1.1.3. Rüzgâr

Atmosferdeki basınç farklılıklarından dolayı, yüksek basınçlı bölgelerden alçak basınca sahip bölgelere doğru yatay hava hareketi gözlenmektedir. Gözlenen bu hava akımına rüzgâr denir. Hava kütleleri arasındaki basınç farkı arttıkça rüzgâr hızı da artış göstermektedir. Rüzgâr hızı anemometre ile ölçülmektedir. Rüzgârın hızı ve özellikleri atmosferde bulunan hava kütleleri arasındaki basınç farkına, dünyanın günlük yörünge hareketine, bölgenin çevresine, arazi koşulları ve topoğrafyaya, rüzgârların günlük, mevsimlik, yıllık değişimine ve yerel hava koşullarına göre değişim göstermektedir. Rüzgâr yönü ve şiddeti yapı içindeki mekânlar arası organizasyon, yapı ve yapının çevresi ile arasında kurulacak düzen ve açık alanlardaki konfor düzeyi açısından mimari tasarım kararlarını etkilemektedir. Binanın boyutu ve biçimi gibi yapısal özellikleri, binaların rüzgârı kesme ve yönlendirme durumu, bina aralıkları, rüzgâr kontrol elemanlarının kullanımı gibi kararlara rüzgâr verilerine göre karar verilmelidir.

Rüzgârdan korunma veya faydalanma gereksinimi iklim bölgesine göre değişiklik göstermektedir. Düşük enlemlerde rüzgâr gereksinimi yıl boyunca önem kazanırken; yüksek enlemlerde korunmayı gerektirir

(Akın, 2001). Planlama ve tasarım yapılırken sıcak ve nemli iklim özellikli yerler için serinletici rüzgârdan faydalanılmalı, soğuk ve kuru iklim özellikli yerlerde ise rüzgârı şiddetlendirici etkiden kaçınılmalıdır. Yerleşme formu oluşturulurken rüzgâr iyi yönlendirilmeli, mikroklimatik etkiler oluşturulmamalıdır (Akbaba, 2020).

1.1.4. Dış Hava Nemliliği

Ekvatordaki yağış miktarı ve farklı kaynaklardan gerçekleşen su kaybının havada oluşturduğu su buharına nem denir. Bağıl nem ile mutlak nem de iklim verilerinin temininde kullanılan iki ölçüttür. Nem, iç ortamın hava kalitesini ve buna bağlı olarak konfor koşullarını etkilemesinin yanı sıra, bina kabuğuna etki etmesi durumunda bina kabuğunun zarar görmesine ve buna bağlı olarak malzeme bileşenlerinin işlevini yerine getirememesine sebep olabilmektedir. Birçok ülkede iç hava kalitesi parametrelerine ilişkin önerilen sınır değerler, iç mekânda iklimsel konfor sağlanması adına, standartlar haline getirilmiştir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2: Standartlarda önerilen bağıl nem değerleri (İlten vd., 2017).

Standart	Bağıl Nem (%)
ASHRAE-62 (ABD)	% 30-60
DIN-15251 (Almanya)	% 30-70
HKGCC (Hong Kong)	% 40-70

Bir ortamda bağıl nem oranının sınır değerlerin üstüne çıkması konfor koşullarını olumsuz yönde etkilemekte ve çalışma verimliliğinin düşmesine sebep olmaktadır. Havadaki nem miktarının artışı, hava sıcaklığının mevcut durumdan daha düşük veya daha yüksek değerde olarak algılanmasına yol açmaktadır. Sıcaklık, hava basıncı ve rüzgâr gibi iklimsel etmenlerin yanı sıra bölgedeki peyzaj öğeleri de nem oranını etkilemektedir. Yapılı çevre düzenlenirken, bölgedeki güneş ışınlamı ve rüzgâr etkilerinin göz önünde bulundurulduğu gibi nem oranı da dikkate alınmalı ve tasarım bu koşullara göre şekillenmelidir. Nem oranının fazla olduğu bölgelerde yapılacak binalar pasif havalandırma sistemleri dâhil edilerek tasarlanmalı; düşük nem oranına sahip bölgelerde ise peyzajda su öğelerine yer vermek gibi çözümlere gidilerek hava kalitesi iyileştirilmeye çalışılmalıdır.

1.2. İklim Elemanlarını Etkileyen Unsurlar

1.2.1. Güneş Işınlamalarının Geliş Açısı

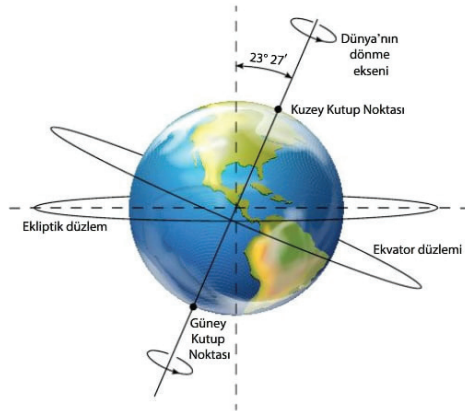
Güneş ışınlamalarının yeryüzüne düşme açısı, iklim elemanlarının niceliklerini ve ısı enerjisinin yeryüzüne yayılımını etkileyen en temel unsurdur. Güneş ışınlamalarının yeryüzüne düşme açısının dik veya dike yakın olduğu durumlarda sıcaklık yüksek, dar olduğu durumlarda ise düşük

değerlerde olmaktadır. Yeryüzündeki herhangi bir noktaya düşen güneş ışınlarının geliş açısı dört faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir;

- **Dünyanın şekli:** Dünyanın geoit şeklinden kaynaklı olarak dünya üzerindeki her enlemin güneş ışınlarını alışı açısı farklıdır. Ekvatordan kutuplara doğru gidildikçe güneşin yeryüzüne düşme açısı daralmaktadır. Ekvatora yakın bölgelerde güneş daha dik açılarla, kutuplara yakın bölgelerde ise nispeten daha eğik açılarla yere düşmektedir. Dik gelen güneş ışınlarının ısı enerjisi dar gelen güneş ışınlarına kıyasla daha fazladır. Bu nedenle, kutup bölgelerine kıyasla, ekvatora yakın bölgelerde yıl boyunca sıcaklık, daha yüksek değerlerde ölçülmektedir.

- **Eksen Hareketi:** Dünya kendi eksenini etrafında 24 saat süre ile dönerek günlük hareketini tamamlamakta ve dünyanın farklı bölgelerinde karanlık ve aydınlık tarafların oluşmasına sebep olmaktadır. Günlük hareket boyunca güneş ışınlarının yere düşme açısı farklılık göstermekte, bu nedenle de günün farklı saatlerinde farklı sıcaklık değerleri ölçülmektedir. Güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı yaklaşık saat 14:00'den itibaren daralmaya başlamaktadır. Günün sıcaklık değeri en yüksek vakti güneşlenme süresinin en uzun olduğu 13:00 ve 14:00 saatlerinin arasındadır. Geceleri ise güneşten ısı enerjisi alınmadığı için yeryüzü soğur. Bu nedenle günün sıcaklık değeri en düşük vakti güneşin doğuşundan hemen önceki vakittir.

- **Eksen Eğikliği Açısı:** Dünyanın yörünge etrafındaki yıllık hareketi esnasında, ekvator düzlemi ile ekliptik düzlem arasında $23^{\circ} 27'$ kadar bir açı meydana gelmektedir (Şekil 1.1). Bu nedenle, yılın farklı zaman dilimlerinde ve dünyanın farklı bölgelerinde, güneşin yeryüzüne düşme açısı farklılık göstermektedir. Güneş ışınlarının dik veya dike yakın açılarda alındığı bölgelerde sıcak dönem görülürken, eğik açılarda alındığı bölgelerde soğuk dönem hakim olmaktadır.



Şekil 1.1: Eksen eğikliği (Url-2).

- Eğim ve Bakı: Yeryüzünde herhangi bir noktanın güneş ışınlarına göre konumu ve eğimi bakıyı etkilemektedir. Güneşe dönük yamaç bölgelerin sıcaklık değerlerinin, güneş ışınlarını daha dik açılar ile aldıklarından dolayı, güneşe dönük olmayan yamaçlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Dağların kuzey yarım kürede güneye bakan yamaçları, güney yarım kürede ise kuzeye bakan yamaçları güneş ışınlarını daha dik açılar ile almaktadır.

1.2.2. Yükselti

Dünya üzerinde yükselti değiştikçe yoğunluk, nem oranı ve kalınlık gibi atmosfer özellikleri değişiklik göstermektedir. Yükseltisi fazla olan bölgeler az olan bölgelere kıyasla güneşten daha fazla ısı enerjisi alırken, ışıma yolu ile de daha fazla enerji kaybetmektedir. Yükseltide görülen her 100 m artış için sıcaklık değeri yaklaşık 0,5 °C kadar düşüş göstermektedir.

1.2.3. Güneşlenme Süresi

Gün süresinin uzunluğu güneşlenme süresi ile doğrudan ilişkilidir. Bir bölgede güneşlenme süresi artış gösterdikçe güneşten alınan ısı enerjisi ve bölgede görülen sıcaklık değeri de artış göstermektedir. Bulutluluk oranı ve yağışın fazla olması sebebi ile ekvatora yakın bölgelerde güneşlenme süresi kısa iken, kutup bölgeleri ve çevresinde güneşlenme süresi daha uzun olmaktadır. Ancak güneş ışınlarını dar açılarla alması sebebi ile kutup bölgelerinde, sıcaklığın düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

1.2.4. Kara ve Denizlerin Dağılışı

Kara ve denizlerin, molekül yapılarının farklılığı sebebi ile, öz ısıları gibi yapısal özelliklerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle güneşten aynı miktarda ısı enerjisi almaları durumunda karalar, denizlere göre daha fazla sıcaklık değerine ulaşmaktadır. Isı enerjisi almadıkları durumda ise yine karalar, denizlere göre daha kısa sürede soğumaktadır.

Kuzey yarımkürede karalar % 39, denizler % 61 oranında; güney yarımkürede karalar % 19, denizler % 81 oranında yer kaplamaktadır (Url-3). Bu nedenle kuzey yarımkürenin yıllık ortalama sıcaklığı güney yarımküreden daha yüksek değerdedir. Denize yakın bölgelerde günlük ve mevsimlik sıcaklık değerleri az miktarda farklılık gösterir iken, karaların denize uzak kısımlarında sıcaklık farklılıkları daha yüksektir.

1.2.5. Okyanus Akıntıları

Okyanus akıntıları, geçtikleri denizlerin sıcaklıklarını farklı bölgelere taşımakta ve ulaştıkları enlemde görülen ortalama sıcaklık değerinin artmasına veya düşmesine sebep olabilmektedir.

Ekvator çevresinde ve kutuplarda iklim özellikleri belirgin farklılıklar taşımaktadır. Bu nedenle ekvatorndan kutuplara doğru gerçekleşen akıntılar sıcaklık değerini ve yağışı arttırmakta, kutuplardan ekvatora doğru gerçekleşen akıntılar ise sıcaklık değerini ve yağışı azaltmaktadır.

1.2.6. Nemlilik

Atmosferde bulunan nem güneşten gelen ısı enerjisini tutarak koruyucu bir tabaka işlevi görmekte, ısıma yolu ile gerçekleşen ısı kaybını azaltmaktadır. Nem oranının az olduğu denizden uzak ve yüksek bölgelerde, ısı kaybının fazla olması nedeni ile, günlük ve mevsimlik sıcaklık farkları yüksek; denize yakın ve alçak kesimlerde, ısı kaybının az olması nedeni ile, sıcaklık farkı çok yüksek olmamaktadır.

1.2.7. Rüzgârlar

Hava akımları ortaya çıktıkları bölgenin sıcaklık ve nemlilik gibi özelliklerini farklı bölgelere taşımaktadırlar. Kuzey yarımkürede kuzeyden gelen hava akımları sıcaklık değerini düşürürken, güneyden gelen hava akımları sıcaklık değerini arttırmakta; Güney yarımkürede kuzeyden gelen hava akımları sıcaklık değerini arttırırken, güneyden gelen hava akımları sıcaklık değerini düşürmektedir.

1.2.8. Bitki Örtüsü

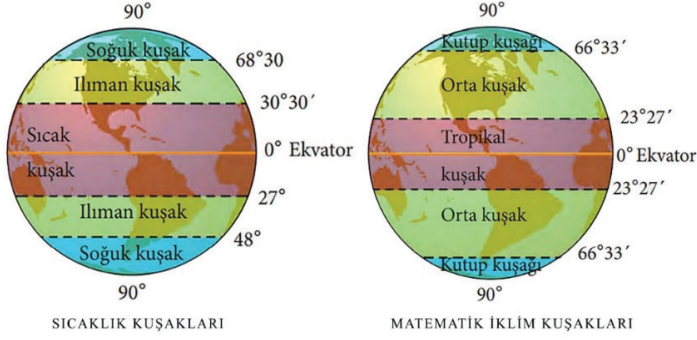
Bitki örtüsü gündüz vakitlerinde güneş ışınlarını emerek fazla ısınmayı, gece vakitlerinde ise ısıma yolu ile gerçekleşen ısı kaybını azaltarak fazla soğumayı önleyen, koruyucu bir tabaka işlevi görmektedir. Bitki örtüsü hava koşullarının dengelenmesinde ve günlük sıcaklık farklarının azalmasında etkili olmaktadır.

1.2.9. Basınç

Sıcaklığın artması basıncın düşmesine neden olurken, sıcaklığın azalması basınç değerinin yükselmesine neden olmaktadır. Dünyanın kendi eksenini etrafında dönüşü esnasında oluşan merkezkaç kuvveti, hava kütlelerinin bazı enlemlerde yığılıp sıkışmasına ve basıncın artmasına, bazı enlemlerde ise basıncın azalmasına neden olmaktadır. Böylece yeryüzünde basıncı değiştirerek sıcaklık farkı oluşturmaktadır (Yüceer, 2015).

1.3. İklim Kuşakları

İklim bölgeleri, dünya çapında kuşakları oluşturmak için doğu-batı doğrultusunda uzanan paralel enlem çizgileri tarafından sınıflandırılmış, farklı iklim parametrelerine sahip alanlardır. Her bir iklim bölgesi, küresel ölçekte önemli fiziksel iklim özellikleri ile dünya üzerindeki bir başka iklim kuşağı üzerinde bulunan alandan veya bölgeden ayrılmaktadır. İklim, matematik iklim kuşakları ve sıcaklık kuşakları olmak üzere iki farklı şekilde incelenmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Sıcaklık ve matematik iklim kuşakları (Url-4).

İklim bölgeleri modern anlamda ilk kez 1879 yılında Alexander Ge-
org Supan tarafından sınıflandırılmıştır (Oliver, 2005). Bazı değişiklikler
ile bugün halen yaygın olarak kullanılmaya devam edilen iklim kuşakları
ise 1884 yılında Wladimir Köppen tarafından oluşturulmuştur. Köppen,
aylara bağlı olarak değişiklik gösteren sıcaklık ortalamalarını, yağış mik-
tarlarını ve bölgede görülen yaygın bitki örtüsünü değerlendirme aracı
olarak ele almış ve iklim bölgelerini sınıflandırmıştır.

Çizelge 1.3: Seçili örnekler üzerinden farklı sıcaklık bölgesi sınıflandırmaları
(Oliver, 2005).

a) Suppan'ın termal kuşakları (1879)

	Yıllık ortalama sıcaklık		En sıcak ayın ortalama sıcaklığı	
	°C	°F	°C	°F
Sıcak	20 üstünde	68 üstünde	10 üstünde	50 üstünde
Ilıman	20 altında	68 altında	10 üstünde	50 üstünde
Soğuk	20 altında	68 altında	10 altında	50 altında

b) Köppen'in termal kuşakları (1884)

	Kritik sıcaklıklarda ay cinsinden süre		
	20°C üstü (68°F üstü)	10-20°C (50-68°F)	10°C altı (50°F altı)
Tropikal	12	-	-
Kurak	4-11	1-8	-
Ilıman	4'den az	4-12	4'den az
Soğuk	-	1-4	8-11
Kutupsal	-	-	12

c) Herbertson'ın termal ve ekonomik kuşakları (1905)

Ekonomik kuşak	Sıcaklık limiti (°C)
Mahsul yok	<10
Çok az mahsul	0-10
Ilıman iklim mahsulü	10-20
Tropikal mahsul	<20

d) Miller'in termal kuşakları (1951)

43°F veya daha sıcak olan ayların sayısı	
Sıcak ılıman	12
Serin ılıman	6-12

Soğuk	3-5
Arktik	1-2
Kutupsal	0

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Sıcaklık, yağış, basınç veya rüzgâr gibi iklim değişkenlerinin istatistiklerinde birkaç on yıl veya daha uzun süre devam eden sistematik değişiklikler iklim değişikliği olarak tanımlanmaktadır. İklim değişkenlerinde görülen istatistiksel değişimler doğal dış faktörlerden kaynaklı veya insan kaynaklı olabilmektedir.

İklim değişikliğini etkileyen doğal dış faktörler şu şekilde sıralanabilir (Altomonte, 2008);

- Dünyanın yörüngesinin ve hareketlerinin değişmesi,
- Güneş radyasyonu yoğunluğundaki değişim (“güneş sabiti” olarak adlandırılır),
- Gezegenin jeolojik dengesindeki kayma (kıtaların şekli veya konumu gibi),
- Okyanus akıntılarının dengesindeki değişim, Dünya’nın albedosunun (yani gezegen yüzeyinin ve atmosferin yansıtıcılığının) değişmesi.

İklim üzerindeki insan etkisi açıktır ve mevcut iklim değişikliğinin insan ve doğal sistemler üzerinde yaygın ve hayati etkileri olmuştur. Nüfus ve ekonomide görülen büyüme sebebi ile sayısı her geçen gün artış gösteren binalar, sanayi ve ulaşım gibi fosil yakıt kullanan sektörler ve bu sektörlerin faaliyetleri küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarının büyük ölçüde insan kaynaklı olduğunu göstermektedir. Fosil yakıtların kullanılması ile karbondioksit, karbon monoksit, azot oksit, kükürt dioksit gibi yanma sonucu oluşan gazlar atmosfere salınmaktadır. Fosil yakıtların aşırı kullanımı ile bu gazlar atmosferde birikerek bir tabaka haline gelmekte ve filtre görevi görmektedir. Atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşan kısa dalga boylu güneş ışınları, uzun dalga boylu ışınlar olarak geri yansımaktadır. Yansıyan bu ışın atmosferde biriken gaz molekülleri tarafından tutulmakta ve atmosfere geri bırakılmaktadır. Bu duruma sera etkisi denilmekte ve sera etkisinin doğal sonucu olarak yerküre ısınmakta ve küresel ısınma meydana gelmektedir.

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları sanayi döneminden bu yana artış göstermekte ve şuan her zamankinden daha yüksek mertebeye ulaşmaktadır. Bu durum, en az son 800.000 yılda eş benzeri olmayan atmosferik karbondioksit, metan ve azot oksit konsantrasyonlarına yol açmıştır. 1950’lerden bu yana gözlemlenen değişikliklerin

çoğu daha önceki on veya bin yıllara kadar görülmemiştir (IPCC, 2014).

İklim değişikliğini etkileyen insan kaynaklı faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Hızlı nüfus artışı,
- Ekonomik, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler,
- Kentsel yaşam tarzı ve kentleşme,
- Fosil yakıt kaynaklı enerji kullanımı,
- Çevresel etkileri olan arazi kullanım biçimleri.

Doğal nedenlerle karşılaştırıldığında, antropojenik nedenlerle karbon konsantrasyonundaki artış hızı daha yüksektir. Binaların dünya genelinde nihai enerji tüketimindeki payı % 30'u, küresel elektrik tüketimindeki payı ise % 50'yi geçmiş olup küresel karbon emisyonlarının üçte birinden binalar sorumludur (Kabakçı, 2016). Bu nedenle, hızlı artış gösteren nüfusun taleplerine cevap verebilmek adına yapılı çevreyi tasarlayan ve inşa eden mimarlar ekolojik dengenin korunması üzerinde önemli bir role sahiptir.

İklim değişikliğinin en güçlü kanıtları doğal sistem üzerinde gözlenen değişikliklerdir. Sıcaklık artışının yanı sıra sel, kuraklık ve kasırgalar gibi aşırı hava olaylarının görülmeye başlanması da iklim değişikliğinin sonuçlarındandır. Hemen her bölgede değişen yağış miktarı, okyanuslardaki asit oranının artışı, deniz ve okyanus seviyelerinde yükselme, eriyen kar ve buzlar ekolojik döngüyü değiştirmekte, canlı türlerinin yaşamlarını ve ekosistemi tehlikeye sokmaktadır. Özellikle son yıllarda etkileri daha sık görülmeye başlayan iklim ve çevre problemlerinin ardından, bu durumun önüne geçebilmek ve etkilerini azaltabilmek adına, dünya çapında bilinçlendirme hareketleri başlatılmıştır.

3. İKLİM KRİZİ, ÇEVRE VE EKOLOJİ KAVRAMLARININ ULUSLARARASI BOYUTU

Sanayi devriminden itibaren değişim gösteren insan faaliyetleri aşırı hava olayları, hava kirliliği, gürültü kirliliği, su kaynaklarının tükenmesi gibi iklim ve çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir. İnsan faaliyetleri ve tüketimi çevre kirliliğine; atmosferde bulunan sera gazı miktarındaki artış yeryüzünde sıcaklık artışına sebep olmaktadır.

İklim ve çevre sorunları, birçok milletin faaliyetlerinin ortak sonucu olarak ortaya çıkmış olduğu gibi, bu sorunların çözümü de ancak uluslararası anlamda işbirliği ile çözülebilmektedir. Herhangi bir ülke, iklim ve çevre sorunlarına karşı bireysel önlemler ile tek başına mücadele ederek sorunların ortaya çıkardığı olumsuz etkilerin önüne geçememekte ve ken-

dini bu olumsuz etkilerden izole edememektedir. Bu nedenle bütün devletlerin işbirliği ile küresel anlamda bilinçlendirme faaliyetleri yürütülmelidir. İklim ve çevre sorunlarının olumsuz etkilerine karşı alınabilecek önemler değerlendirilmeli ve standartlar haline getirilmelidir. Hızla artan iklim ve çevre sorunlarına karşı önlemler alınmadıkça, bu sorunların meydana getirdiği olumsuz etkiler, dünya üzerindeki canlılar tarafından gün geçtikçe daha çok hissedilmekte ve canlıların yaşamlarını daha olumsuz şartlara sürüklemektedir. Bu durum karşısında dünya çapında birçok bilinçlendirme hareketi başlatılmıştır. Düzenlenmekte olan uluslararası etkinlikler ve yayınlanmakta olan bildiriler bilinçlendirme hareketini destekler niteliktedir. İklim krizi, çevre ve ekoloji konuları üzerine yapılan bazı önemli uluslararası çalışmalar şunlardır;

3.1. Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı (1972)

1972'de Stockholm'de düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı (UNEP) küresel anlamda çevreyi önemli bir konu olarak ele alan ilk konferanstır. 113 ülkenin katıldığı konferansın sonucunda ortaya çıkan ana ürünler şunlardır (Brisman, 2011);

- Stockholm Eylem Planı,
- Birleşmiş Milletler Çevre Programı,
- Stockholm Deklarasyonu.

Stockholm Deklarasyonu'nun ilk maddesinde, insanların şimdiki ve gelecek nesiller için çevrenin korunması ve iyileştirilmesi konularında sorumluluk taşıdığı, sağlıklı ve temiz bir çevrede yaşamının insanların temel hakkı olduğundan bahsedilerek “sürdürülebilir kalkınma” kavramının temellerinin atılmasına yardımcı olunmuştur (Brisman, 2011). 26 ilkededen oluşan Stockholm Deklarasyonu'nun diğer ilkelerinde ise; çevreyi koruma hakkı, doğal, yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynakların yönetimi, vahşi yaşamın korunması, deniz ve çevre kirliliğinin kontrol altına alınması, ekonomik ve sosyal gelişme, çevre politikaları, kaynakların yönetimi ve nükleer silahların yasaklanması gibi konular ele alınmıştır.

3.2. Barcelona Sözleşmesi (1976)

Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı (UNEP) kapsamında, Akdeniz'in korunmasını hedefleyen bir karar olarak MAP (Mediterranean Action Plan) oluşturulmuş ve 1976 yılında, Akdeniz'in Kirliliğe Karşı Korunmasına İlişkin Sözleşme (Barselona Sözleşmesi) adı ile yasal olarak imzaya açılmıştır. 21 Akdeniz ülkesi ve Avrupa Birliği tarafından kabul edilmiştir. 1995 yılında bazı yeni protokoller eklenerek Barselona Sözleşmesi, Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı'nda alınan kararlara bağlı kalınarak, Akdeniz kıyıları da sözleşmeye dahil edilecek şekilde tekrar

düzenlenmiş ve ismi Akdeniz Deniz Çevresinin ve Kıyı Bölgesinin Korunmasına İlişkin Sözleşme olarak güncellenmiştir. Sözleşme protokolleri şunlardır (Url-5);

- Damping Protokolü: Akdeniz'in gemi ve uçaklar tarafından boşaltılan atıklar ile kirlenmesinin önlenmesine dair protokol,

- Önleme ve Acil Durum Protokolü: Akdeniz'in petrol ve diğer zararlı maddelerle kirlenmesine karşı mücadelede, olağanüstü bir durumun ortaya çıkması halinde, işbirliğine ilişkin protokol,

- Kara Kaynakları Protokolü: Akdeniz'in kara kaynaklarından kaynaklanan kirliliğe karşı korunmasına ilişkin protokol,

- Özel Korunan Alanlar ve Biyolojik Çeşitlilik Protokolü: Akdeniz'in özel koruma alanlarına ilişkin protokol

- Açık Deniz Protokolü: Akdeniz'in kıta sahanlığı, deniz yatağı ve toprak altı arama ve işletmesinden kaynaklanan kirliliğe karşı korunmasına ilişkin protokol,

- Tehlikeli Atıklar Protokolü: Akdeniz'in, tehlikeli atıkların sınır ötesine taşınması ve imha edilmesi ile, kirlenmesinin önlenmesine dair protokol,

- Bütünleşmiş Kıyı Bölgesi Yönetim Protokolü (ICZM Protocol).

3.3. Dünya İklim Konferansı (1979)

Dünya iklim konferanslarının ilki 1979 yılında, UNEP ve WMO tarafından, Cenevre'de düzenlenmiştir. Konferansta iklim değişikliği ve sera gazı emisyonları ana konu olarak ele alınmış; fosil yakıt tüketimine bağlı olarak atmosferde artış gösteren karbondioksit oranı ve bu artışın meydana getireceği muhtemel olumsuz sonuçlara ilişkin uzlaşma sağlanmıştır. İklim değişikliğine karşı yürütülen uluslararası ilk bilinçlendirme faaliyeti olan Dünya İklim Konferansı, iklim değişikliği sebebi ile meydana gelebilecek olumsuz senaryolar ve bu senaryoların önüne geçebilmek için alınabilecek önlemler üzerine konuşulmasını sağlamıştır. Aynı zamanda Dünya İklim Programı (WCP), Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin kurulmasına sebep olmuştur.

3.4. Brundtland Raporu (1987)

Ortak Geleceğimiz olarak da bilinen, Birleşmiş Milletler'in "Brundtland Raporu" adını verdiği rapor 1987'de, Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından hazırlanmıştır. Raporun hedefleri şunlardır (WCED, 1987);

- 2000 yılı ve sonrasında sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmak için uzun vadeli çevresel stratejiler önermek,
- Çevreye olan ilginin, gelişmekte olan ülkeler ve ekonomik /sosyal kalkınmanın farklı aşamalarındaki ülkeler arasında daha fazla işbirliğine dönüştürülebileceği; insanlar, kaynaklar, çevre ve kalkınma arasındaki karşılıklı ilişkileri dikkate alan, ortak ve karşılıklı olarak destekleyici hedeflere ulaşmasını sağlayacak yollar önermek,
- Uluslararası toplumun çevre sorunlarıyla daha etkili bir şekilde başa çıkabileceği yolları ve araçları düşünmek,
- Uzun vadeli çevre sorunlarına ilişkin ortak algıları; çevreyi koruma ve geliştirme sorunlarıyla başarılı bir şekilde başa çıkmak için gereken uygun çabaları; önümüzdeki on yıllar boyunca eylem için uzun vadede yapılacakları ve dünya toplumu için arzu edilen hedefleri tanımlamaya yardımcı olmaktır.

3.5. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (1988)

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1988 yılında, iklim değişikliği, iklim değişikliğinin sebep olabileceği etkiler ve gelecekte oluşturabileceği riskler hakkında düzenli olarak bilime dayalı değerlendirmeler yapmak; iklim değişikliğine uyum sağlamak ve iklim değişikliği etkilerini sınırlandırmak için birtakım yöntemler öne sürmek üzere oluşturulmuştur. Dünya Meteoroloji Örgütü'nün (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (UNEP) oluşturduğu panel farklı düzeylerdeki hükümetlere, iklim değişikliği etkilerine karşı bazı yöntemler geliştirebilmeleri için bilimsel bilgiler sağlamakta ve bu bilgiler doğrultusunda sentez raporu hazırlamaktadır. Birleşmiş Milletler ve Dünya Meteoroloji Örgütü üyelerinden olan 195 ülke, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne üye olmuştur. Dünyanın her yerinden binlerce insan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin çalışmalarına katkıda bulunmaktadır. Uzmanlar, iklim değişikliğine sebep olan etkenler ve bu etkenlerin gelecekte ortaya çıkaracağı riskler üzerine kapsamlı çalışmalar yapmakta, iklim değişikliğine nasıl uyum sağlanabileceği ve iklim değişikliği etkilerinin nasıl azaltılabileceği hakkında her yıl yayınlanan binlerce bilimsel makaleyi değerlendirmek üzere gönüllü olarak zaman ayırmaktadırlar. Dünya çapında uzmanlar ve hükümetler tarafından açık ve objektif bir inceleme sunması sebebi ile Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, iklim krizi ile ilgili yapılan uluslararası etkinliklerin önemli bir parçasıdır.

3.6. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu (1988)

1988 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'na, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Konvansiyonu oluşturulması için teklif

sunulmuş, 1992 yılında ise Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda (Rio Konferansı-Dünya Zirvesi) devletlerin onayına sunulmuştur. 1994 yılında uygulamaya koyulmuştur. Sözleşme iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya yönelik ilk uluslararası çevre konvansiyonu olması sebebi ile önem taşımaktadır. Sözleşmenin esas amacı, iklim üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilecek, insan kaynaklı faaliyetler sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun iklim sistemine müdahale etmeyecek bir seviyede sabit tutulmasıdır.

3.7. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (1992)

Dünya Zirvesi veya Rio Konferansı olarak da bilinen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı (UNCED) 1992 yılında, Rio de Janeiro'da düzenlenen, 100'den fazla devlet başkanının katıldığı, ilk Uluslararası Dünya Zirvesi'dir. Zirvenin bazı ilkeleri şunlardır (Keating, 1993);

- İnsanların doğayla uyumlu, sağlıklı ve üretken bir yaşam sürmeye hakları vardır,

- Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için çevrenin korunması ve kalkınma süreci ayrılmaz bir bütünün parçalarını oluşturmali ve birbirinden ayrı düşünülmemelidir,

- Tüm devletler ve tüm insanlar yaşam standartlarındaki eşitsizliklerin azaltılması, dünya halkının ihtiyaçlarının karşılanması ve sürdürülebilir kalkınma için vazgeçilmez bir gereklilik olan yoksulluğun ortadan kaldırılması için işbirliği yapacaklardır,

- Devletler, dünya ekosisteminin sağlığını ve bütünlüğünü korumak, yaşatmak ve eski haline getirmek için küresel bir ortaklık ruhu içinde işbirliği yapacaklardır,

- Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak ve tüm insanlara daha iyi yaşam koşulları sunmak için devletler, sürdürülemeyen üretim ve tüketim modellerini azaltmalı ve ortadan kaldırmalıdır,

- Devletler, çevresel bozulma sorunlarını daha iyi ele almak ve tüm ülkelerde ekonomik büyümeyi ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemek için işbirliği yapmalıdır,

- Devletler, ciddi çevresel bozulmaya neden olan veya insan sağlığına zararlı olduğu tespit edilen herhangi bir faaliyet ve maddenin başka devletlere taşınmasını caydırmak veya önlemek için etkin bir şekilde işbirliği yapmalıdır,

- Devletler, çevreleri üzerinde ani zararlı etkiler yaratabilecek doğal afetler veya başka acil durumlar ile karşılaştıklarında derhal diğer devlet-

lere bildireceklerdir. Uluslararası toplum, bu şekilde mağdur olan devletlere yardım etmek için her türlü çabayı gösterecektir,

- Kadınların çevre yönetimi ve kalkınmasında hayati bir rolü vardır. Bu nedenle, sürdürülebilir kalkınmaya ulaşmak için tam katılımları şarttır,

- Savaş, doğası gereği sürdürülebilir kalkınma için yıkıcıdır. Devletler, bu nedenle, silahlı çatışma zamanlarında çevrenin korunmasını sağlayan uluslararası hukuka saygı gösterecek ve gerektiğinde, daha da geliştirilmesi için işbirliği yapacaklardır,

- Barış, kalkınma ve çevrenin korunması birbirine bağlı ve bölünmezdir,

- Devletler, tüm çevresel anlaşmazlıklarını Birleşmiş Milletler Şartı uyarınca barışçıl bir şekilde ve uygun araçlarla çözeceklerdir.

Dünya Zirvesi şu belgeler ile sonuçlanmıştır;

- Rio Deklarasyonu: Gelecekteki sürdürülebilir kalkınmada ülkelere rehberlik etmeyi amaçlayan ilkeler.

- Gündem 21: Ortak çıkarlar, karşılıklı ihtiyaçlar ve paylaşılan sorumluluklar üzerinde küresel iş birliği yolu ile sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasını amaçlamaktadır.

- Orman İlkeleri: Her türlü ormanın korunması ve sürdürülebilir kalkınmasına ilişkin yasal bağlayıcılığı olmayan belge.

Aynı zamanda Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi ve Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi gibi hukuki bağlayıcılığı olan önemli anlaşmalar imzaya açılmıştır.

3.8. Kyoto Protokolü (1997)

Kyoto Protokolü, bütün dünyanın karşı karşıya olduğu, uluslararası toplumun en önemli sorunlarından biri olan iklim değişikliğinin sorumlusu, insan kaynaklı sera gazı (GHG) emisyonlarının sınırlandırılmasını hedeflemekte; sanayileşmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarının, özellikle de fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının sınırlandırılmasını gerektirmektedir. Altı sera gazı emisyonunun “taahhüt dönemi” olarak adlandırılan 2008-2012 yılları sırasında, 1990 yılındaki seviyelerinin % 5,2 altına düşürülmesi hedeflenmiştir (Url-6). Atmosferdeki oranı düşürülmesi hedeflenen altı sera gazı şunlardır (Url-7);

- Karbondioksit (CO₂),
- Metan (CH₄),
- Nitroz oksit (N₂O),

- Hidroflorokarbonlar (HFC),
- Perflorokarbonlar (PFC),
- Kükürt heksaflorür (SF₆).

Protokol, bu hedeflere ulaşmak için çeşitli yollar önermektedir:

- Emisyonları azaltmak için ulusal politikaların hızlandırılması veya tanıtılması (enerji verimliliği ve sürdürülebilir tarım biçimlerinin teşvik edilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, iklim dostu enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması vb.),

- Protokole taraf olan diğer ülkeler ile işbirliği yapılması (deneyim veya bilgi alışverişi, ortak uygulama vb.).

3.9. Paris İklim Sözleşmesi (2015)

Kyoto Protokolü, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki statik farklılaşmaya dayanmakta ancak sadece gelişmiş ülkeler için bağlayıcı emisyon azaltma hedefleri içermektedir. Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ekonomilerde sürekli artan emisyonlarla birlikte IPCC, yalnızca gelişmiş ülkelerdeki emisyonların azaltılmasının yeterli olmayacağını belirtmiştir. Aynı zamanda yıllar içinde, Kyoto Protokolü'nün arkasındaki siyasi irade de önemli ölçüde azalmıştır (Savaresi, 2016). Kyoto Protokolü'nün sonuçları, iklim ile ilgili gerçekleştirilen görüşmeler döngüsünün nihai bir sonuca bağlanmasını gerekli kılmıştır. Paris İklim Değişikliği Konferansı, tüm taraflar için geçerli olacak bir protokol ve yasal bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır. Paris Anlaşması, iklim değişikliği konusunda yasal olarak bağlayıcılığı olan, 196 ülkenin üzerinde uzlaştığı uluslararası bir anlaşmadır. 2015 yılında kabul edilen anlaşma, 2016 yılında uygulanmaya başlanmıştır.

Paris Anlaşması'na göre ülkeler;

- 2020 yılına kadar, ulusal olarak belirlenmiş olan iklim eylemlerine katkı sağlayacak planlarını (NDC), sera gazı emisyonlarını azaltmak için yapacakları eylemleri ve yükselen sıcaklıkların etkilerine karşı uyum sağlamak veya dayanıklılık oluşturmak için yapacakları eylemleri bildirirler,

- 2020'ye kadar, uzun vadeli düşük sera gazı emisyonu geliştirme stratejilerini (LT-LEDS) formüle eder ve bildirirler,

- 2024'ten itibaren, iklim değişikliğinin azaltılması, uyum önlemleri, sağlanan veya alınan destekler konusunda atılan adımlar ve ilerlemeler hakkında şeffaf bir şekilde rapor (ETF) verirler.

Paris Anlaşması'nın uzun vadeli hedefleri şunlardır (Ceyran, 2021);

- İçinde bulunduğumuz yüzyılda, küresel sıcaklık artışını 2 °C ile sınırlandırmak için sera gazı salınımını büyük oranda azaltmak,
- İklim değişikliği sebebi ile ortaya çıkabilecek tehlikeleri ve olumsuz etkileri önemli ölçüde azaltacağından, sıcaklık artışını 1,5 °C ile sınırlandırmayı hedeflemek,
- İklim değişikliğini azaltmak, iklim değişikliği etkilerine karşı dayanıklılığı arttırmak ve uyum sağlama yeteneklerini geliştirebilmek için gelişmekte olan ülkelere finansman sağlamak.

Sera gazı emisyonlarını azaltmak, değişen iklime uyum sağlamak ve değişen iklimin olumsuz etkilerini azaltmak için alınacak önlemler büyük ölçüde yatırım gerektirmektedir. Paris Anlaşması, gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerin teknoloji ve kapasite geliştirme eylemlerine desteğin artırılmasını, gelişmiş ülkelerin finansman ve rehberlik anlamında bu ülkeleri desteklemesi gerektiğini vurgulamaktadır.

4. İKLİM VE KONFOR İLİŞKİSİ

Çevresel koşullar insanların fiziksel ve zihinsel durumu ile doğrudan ilişkilidir. İnsanların kendini konforlu hissettiği çevre koşullarında daha aktif, daha üretken ve daha sağlıklı olduklarına, konforlu hissetmediği çevre koşullarında ise kendilerini daha depresif hissettikleri, fiziksel ve zihinsel enerjilerinin azaldığına işaret edilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, insanların zamanlarının ortalama % 80-90'ını kapalı ortamlarda geçirmesi nedeniyle iç ortamda hissedilen konfor düzeyi önem kazanmaktadır (Akköse, 2019). Fiziksel ve zihinsel açıdan insan sağlığının korunabilmesinin yanı sıra binaların enerji tüketiminin azaltılmasına da katkıda bulunması nedeni ile en önemli konfor şartlarından biri iklimsel konfordur. İklimsel konfor, bir mekân içerisindeki havanın sıcaklık değeri, nem oranı, hava akış hızı ve yapma çevreye ait yüzeyler ile insan vücudu arasında, yüzeylerin sıcaklık farkından dolayı, ışıyım yolu ile gerçekleşen ısı alışverişine bağlıdır. Mekânın kullanıcıları iç iklim bileşenlerinin mekân içerisinde oluşturduğu etki altında rahatsızlık duymuyor ise mekân için iklimsel konfor şartları sağlanmış demektir.

İklim gibi bireyin içinde bulunduğu çevre ile ilişkili değişkenlerin yanı sıra kullanıcılara ait bazı değişkenler de iç mekânda hissedilen iklimsel konfor düzeyinin değişkenlik göstermesine sebep olabilmektedir. Bu değişkenlik kullanıcıların vücutlarının metabolik ısı üretimine, üretilen ısıнын çevreye aktarılmasına bu aktarıma bağlı olarak vücutta oluşan sıcaklık değişimleri, soluk alıp verme düzeyleri ve terleme gibi fizyolojik olaylara vücudun uyum sağlayabilme düzeyine bağlıdır (Özcan, 2013). İç mekânda hissedilen iklimsel konfor veya konforsuzluğun bağlı olduğu

çevre ile ilişkili değişkenler ve kullanıcı ile ilişkili değişkenler Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1: *İklimsel konforun bağlı olduğu değişkenler (Özcan, 2013).*

Çevresel Değişkenler	Kullanıcılara Ait Kişisel Değişkenler
Hava sıcaklığı	Bireyin yaşı ve cinsiyeti
Işınım yolu ile ısı alış-verişi	Bireyin kronik hastalık durumu
Bağıl nem	Bireyin hareket durumu
Hava hareketi hızı	Bireyin mekân içerisinde bulunduğu konum
İç ortam hava kalitesi (yapı içinde ve dışında kirlilik oluşturan bileşenlerin etkisi)	Bireyin giysilerinin ısı direnci ve kalınlığı

5. YAPILI ÇEVRE VE İKLİMSEL KONFOR

Yapıda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı, iç mekânda kullanıcı konforunu sağlayabilmek için kullanılmaktadır. Yapının tasarım ve inşaat aşamasında çevre ve iklim verilerinin doğru analiz edilmesi, bu analizler doğrultusunda uygulanacak bir takım tasarım stratejilerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Böylece yapılarda iklimsel konfora bağlı olarak kullanıcı konforu sağlanırken aynı zamanda ısıtma-soğutma için harcanacak olan enerjiden de tasarruf edilmektedir.

İklim ve konfor ilişkisinin doğru bir şekilde kurulabilmesi için yapılar, bulunduğu çevrenin yerel özelliklerine ve iklim verilerine cevap verebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Çevreye ve iklime duyarlı yapı tasarımları, minimum doğal kaynak tüketimi ve minimum atık ile konforlu binaların inşa edilmesini sağlamaktadır. 1972'den itibaren kendini göstermeye başlayan iklim ve enerji krizi, enerji tüketiminin azaltılmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik yöntemlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Isıtma-soğutma, havalandırma ve güneş enerjisi gibi iklimlendirme öğeleri yapılara entegre edilebilen pasif ve aktif bazı sistemler ile kontrol altına alınabilmekte, böylece her türlü iklim koşullarında konforlu iç mekanlar sağlanabilmektedir.

5.1. Pasif Sistemler

İklim değişikliği ile baş edebilmek ve konforlu alanlar sağlamak için, bina tasarımında iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltma veya iklim değişikliğine adapte olma stratejileri geliştirilmesi gerekmektedir. Pasif tasarımda, binaların içerisinde konforlu alanlar yaratabilmek için, çevre koşullarından faydalanarak doğal ısıtma, soğutma ve havalandırma yöntemleri geliştirilmekte, herhangi bir mekanik veya elektrik sistemi içermemektedir. Termal kütle oluşturulması, güneşe göre yönelim, yüksek performanslı pencere ve camların kullanılması, iklime uygun yalıtım ve malzeme seçimi pasif tasarımın ana bileşenlerindendir. Yerleşme yeri ve bina ölçeğinde geliştirilen tasarım stratejileri, iç mekân konforu ve binaların performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir.

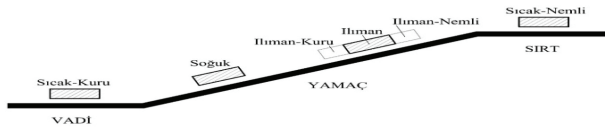
5.1.1. Doğrudan Pasif Sistemler

5.1.1.1. Yer Seçimi

Bina konumunun seçiminde arazinin yönü, eğimi ve iklimsel verileri etkili olmaktadır. Bu parametrelerin doğru değerlendirilmesi sonucunda pasif sistem uygulamaları ile ısıtma, soğutma ve doğal havalandırma sağlamak mümkündür. Yapının tasarım aşamasından önce, çevresel veriler analiz edilerek yapılan yer seçiminde şu kriterler öne çıkmaktadır;

- Endüstri yapıları gibi çevre için kirletici fonksiyonlara sahip yapıların, yerleşim yerlerine olan zararlı etkilerinin engellenmesi,
- Konforlu, sağlıklı ve güvenli açık alanların oluşturulması,
- Isıtma, soğutma ve havalandırma ihtiyaçlarının büyük ölçüde çevre ve iklim özelliklerinden faydalanarak giderilmesi, böylece yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının ve hava kirliliğinin minimize edilmesi.

Farklı termal kuşaklarda yer alan bölgelerde, güneş veya rüzgâr etkisinden korunma veya faydalanma yönünde, farklı yerleşme dokuları ortaya çıkmaktadır. İklim bölgelerine göre yerleşme dokuları Şekil 5.1.'de gösterilmiş, Çizelge 5.1.'de de açıklanmıştır.



Şekil 5.1: İklim bölgelerine göre uygun yerleşme konumları

(Umaroğulları ve Cihangir, 2019).

Çizelge 5.1: Farklı iklim bölgelerine göre yerleşme dokuları (Akın, 2001).

İklim Tipleri	Yerleşme Dokusu
Soğuk İklim	Tasarım rüzgârın etkisine mani olacak biçimde düzenlenir. Büyük bina üniteleri gruplandırılır iken güneşten maksimum faydayı sağlayacak mekânlar oluşturulmalı. Konutlarda minimum taban alanı ile ısı kaybı azaltılmalı. Kentin genel yapısı yoğun/kompakt bir biçimde tasarlanmalıdır. Güneş ısısından faydalanmak ve rüzgârdan korunmak için güneşe bakan yamaçların alt bölümlerine yerleşilmelidir.
İlman İklim	Doğayla uyumlu ve doğayla bütünleşen açık ve serbest düzenlemeler yapılabilir. Kent dokusu serbest düzenlemenin tüm olanaklarından yararlanabilir.

Sıcak-Kuru İklim	Isıya karşı korunacak bir biçimde gölgeli ve yoğun yerleşmeye gidilmelidir. Evlerin duvarları ve bahçeler dış yaşama göre sağlanmalı. Konut üniteleri veya grupları arasında yaya yolları oluşturulmaya çalışılmalı. Güneş ışıınının aşırı etkilerini azaltmak ve rüzgârdan korunabilmek amacı ile vadi tabanlarına yerleşilmelidir.
Sıcak-Nemli İklim	Konutlar hava akımlarından faydalanacak biçimde ayırık nizamda olmalıdır. Genelde gölgeli bir çevre aranan bir özelliktir. Şehir dokusu, hava akımlarından yararlanabilmek için, dağınık ve gevşek bir karakterde olmalıdır.

5.1.1.2. Bina Biçimi, Aralıkları ve Yükseklikleri

Bazı durumlarda binalar, yüksekliklerine ve aralarındaki mesafeye bağlı olarak, birbirlerinin güneş ışıınıını veya rüzgârını engelleyecek şekilde konumlandırılmakta, güneşten elde edilebilecek ısı kazancını veya rüzgârdan elde edilebilecek serinliği sınırlandırmaktadır. Aynı zamanda bina aralıkları ve yüksekliklerindeki artış yüzey alanını da arttırmaktadır. Bu artış, ısısal konforu sağlamak için kullanılacak olan enerjinin de artması anlamına gelmektedir.

Sıcak ve kuru iklim bölgelerinde, binalar birbirlerini gölgeleyecek şekilde yakın konumlandırılmalıdır. Binaların iç içe olduğu yoğun yerleşim alanları binaların güneş etkisinden olabildiğince korunmasını sağlarken, sokakların yüksek duvarlar ile çevrenmesi de sokakların ve binaların gölgelenmesini sağlamaktadır.

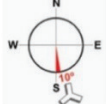
Sıcak ve nemli iklim bölgelerinde, rüzgârın serinliğinden ve doğal hava sirkülasyonundan faydalanmak için binalar olabildiğince birbirlerinden ayrı konumlandırılmalıdır. Hakim rüzgâra açık yüzeyli, dar uzun cephe, dikdörtgene yakın bina formları tercih edilmelidir.

Soğuk iklim bölgelerinde, rüzgâra az yüzey veren ve girinti-çıkıntısı olmayan, dış yüzey alanı minimize edilmiş, kompakt yapı formları tercih edilmelidir. Doğal aydınlatmadan ve güneş ısısından faydalanması koşulu ile binalar birbirine bitişik olarak da konumlandırılabilir. Kompakt kütleler olarak tasarlanan bu yapılar, birbirlerine yakın veya bitişik konumlarının sonucu olarak ısı kayıplarını ve rüzgârın olumsuz etkilerini minimize ederken, güneşten faydalanılmasını da sağlamaktadır. Nitelikli yalıtım önlemleri alınarak toprağa gömülen yapılar da ısı kaybının azaltılmasında etkilidir.

Ilıman kuru iklim bölgelerinde kareye yakın, kompakt ve rüzgâra kapalı yapılar; ılıman nemli iklim bölgelerinde ise güneş kontrolü ve doğal havalandırma sağlanması şartı ile rüzgâra geniş yüzeyi verilen, dikdörtgen veya serbest planlı formlar tercih edilmelidir.

5.1.1.3. Bina Yönlendiriliş Durumu

Bina yönlendiriliş durumunu etkileyen ana faktörler güneş ışıını ve hakim rüzgâr yönüdür. Bina yönlendiriliş durumu belirlenirken kışın güneş ışıınından kazanılacak ısıının maksimum, soğuk rüzgâr sebebi ile gerçekleşecek ısı kayıplarının minimum; yazın ise güneş ışıınından kazanılacak ısıının minimum, rüzgârdan sağlanan soğutma etkisi ve doğal havalandırmanın maksimum düzeyde olması sağlanmalıdır. Güneş ışıınından pasif olarak yararlanabilme, hakim rüzgârdan soğutma veya havalandırma amaçları ile faydalanabilme gibi amaçların yanı sıra manzaraya açılma, gürültüden uzaklaşma ve mahremiyet sağlama da bina yönlendiriliş durumunu etkileyen faktörlerdir.

İKLİM BÖLGESİ	BİNA FORMU	BİNA YÖNLENDİRİLİŞİ (optimum yön)
SICAK NEMLİ (Pilot şehir: Antalya)	Rüzgara açık yüzeyli, uzun dikdörtgene yakın 	
SICAK KURU (Pilot şehir: Diyarbakır)	Avlulu, kare tabanlı, avlulu mekana açık yüzeyli 	
İLİMLİ KURU (Pilot şehir: Ankara)	İstmanın istendiği dönemde rüzgara kapalı, kareye yakın kompakt 	
İLİMLİ NEMLİ (Pilot şehir: İstanbul)	İstmanın istenmediği dönemdeki rüzgara geniş yüzeyli, dikdörtgen ya da serbest planlı 	
SOĞUK (Pilot şehir: Erzurum)	Rüzgara az yüzey veren, dış yüzeyi minimize eden, kompakt, kare vb. tabanlı 	

Şekil 5.2: Farklı iklim bölgelerine göre uygun bina formları ve optimum yönlendiriliş durumları (Yasan, 2011).

5.1.1.4. Mekân Organizasyonu

Enerji verimliliğinin sağlanmasında, doğru planlama yapılması koşulu ile, büyük ölçüde etkili olan bir diğer unsur mekan organizasyonudur. Yapıda, gün içerisinde daha çok vakit geçirilen ortak alanlarda ısısal açıdan konforlu hissetmeye daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bir konut yapısı örnek olarak ele alınırsa, gün içerisinde en çok vakit geçirilen ve ısıtmaya ihtiyaç duyulan alanlar yemek odası ve oturma odası gibi mekânlardır.

Dolayısı ile bu mekânlar güney, güney batı veya güney doğu yönlerinde konumlandırılmalıdır. Sirkülasyon alanları, hol, garaj, wc, banyo ve çamaşır odası gibi çok fazla ısıtma ihtiyacına gerek duyulmayan alanların ise kuzey yönünde konumlandırılması, mekân organizasyonu bakımından daha uygun olmaktadır. İzlenilen bu tür mekân organizasyonu stratejileri, binalarda enerji verimliliği sağlanmasında etkili olmaktadır. Daha çok ısıtma gereksinimi duyulan iç mekânlar ile dış ortam arasında, ısı farklılıkları nedeni ile, ısıtma ihtiyacı daha az olan veya ısıtma ihtiyacı olmayan (kış bahçesi, rüzgârlık, garaj, depo gibi) alanlar konumlandırılarak tampon bölge oluşturulabilmektedir. Tampon bölgelerin yaz mevsiminde iç mekânları gölgelemesi, kış mevsiminde ise dış ortam koşulları ile iç mekân arasındaki doğrudan etkileşimi engellemesi sebebi ile kışın ısıtma, yazın ise soğutma için harcanan enerjiden yüksek oranda verim elde edilebilmesi sağlanmaktadır. Bu sistemin verimli bir şekilde işleyebilmesi için tampon bölge ile ana mekânlar arasında ayırıcı işlev gören duvarlara uygulanacak yalıtım, binanın içinde bulunduğu iklim koşulları göz önünde bulundurularak, detaylı bir şekilde hesaplanmalı ve titizlikle uygulanmalıdır. Zemin ile sürekli kullanılan iç mekânları ayıran bodrum katları ve iç mekânlar ile dış ortamı ayıran çatılar diğer tampon bölgelerdir. Kış aylarında, yaz aylarına oranla toprak ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı çok daha fazladır. Bodrum katında uygulanan kaliteli yalıtım, iç mekânın dış ortam sıcaklığından daha az etkilenmesini sağlamaktadır. Benzer şekilde, çatı katında uygulanan yalıtımın kaliteli ve özenli olması da iç mekânın dış ortam sıcaklığındaki farklılıklardan daha az etkilenmesini sağlamaktadır.

Mekân organizasyonu yapılırken odaların karşılıklı olarak konumlandırılması doğal hava sirkülasyonunu sağlamaktadır. Böylece iç mekân konforunun sağlanmasında ve enerji harcamalarının azaltılmasında etkili olabilecek önemli bir planlama kararıdır.

1.5.1.1.5. Bina Kabuğunun Özellikleri

Bina kabuğunda bulunan kapı-pencere boşlukları ile tavan, döşeme ve zemin, binanın iç ve dış ortamını birbirinden ayıran, içeri ya da dışarı hava akışına ve ısı enerjisi geçişine olanak veren yapı elemanlarıdır. Binalarda ısı kayıplarının % 40'ı dış hava ile temaslı duvarlardan, % 30'u pencerelerin bünyesinden, % 7'si çatıdan, % 6'sı bodrumdan, % 17'si ise dış kapı ve pencere boşluklarından hava sızması yolu ile meydana gelmekte ve bina kabuğunun enerji tüketimi ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Arınç, 2021).

Bina kabuğunun yapım maliyeti toplam inşaat maliyetinin % 15-40'ına tekabül ederken, yaşam dönemi maliyetlerine katkısı, özellikle enerji maliyetine, % 60 civarındadır (Bayraktar ve Yılmaz, 2007). Bu

nedenle binalarda, ısı iletkenlik katsayısı (λ) düşük yalıtım malzemeleri kullanılarak ısı kaybı önlenmelidir. Özellikle ısıtma ihtiyacının fazla olduğu iklim bölgelerinde, kuzey yönüne bakan pencere alanlarının kuzey cephe alanına oranı mümkün olduğunca az olmalı, güneye yönlendirilmiş pencereler ile güneşten ısı kazancı sağlanmalıdır.

Bina kabuğu, iç mekân ile dış ortam arasında bir bariyer görevi görmektedir. İç mekândaki kullanıcı için konfor ve emniyet sağlayabilmesi adına bina kabuğu, bazı işlevlere uygun olmalıdır.

Bina kabuğunun taşıması gereken bazı özellikler şunlardır;

- Dış ortam ile görüş açısını engellememe,
- Rüzgârın yapı üzerinde oluşturduğu yüklerden korunma,
- Yapının kendi sabit yükünü ve kullanıcıdan kaynaklı hareketli yükleri taşıma,
- Doğal aydınlatma stratejileri uygulanarak yapay aydınlatmaya duyulan gereksinimi azaltma,
- Güneş kontrolü sağlama,
- Gürültü denetimi sağlama,
- Yağmurdan ve nemden koruma.

Binalarda dış hava ile temaslı duvarlardan sonra en çok ısı kaybı % 30 oran ile pencerelerin bünyesinden ve % 17 oran ile pencere boşluklarından hava sızması yolu ile gerçekleşmektedir. Pencerelerin bünyesinden ve boşluklarından gerçekleşen ısı kaybının önlenmesi için uygun pencere ve cam seçimi önemli bir yer tutmaktadır. Doğrama tipi, cam tipi, cam katmanları arası boşluğun genişliği ve camların kaplamalı olup olmaması gibi pencere özellikleri, ısıl geçirgenlik katsayısını (U) etkilemektedir. Pencerelerin ısıl geçirgenlik kat sayısı mümkün olduğunca düşük değerde olmalıdır. TS-825'e göre farklı pencere sistemlerinin ısıl geçirgenlik katsayılarındaki (U) değişim Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2: Bazı pencere sistemlerinin u değeri (TS-825).

Türkiye'de ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılmak üzere hazırlanmış pencere ısı geçirgenlik (Up) katsayıları		TEK CAMLI PENCERE	ÇİFT CAMLI PENCERE (KAPLAMASIZ CAM)		ÇİFT CAMLI LOW-E KAPLAMALI PENCERE	
			ARA BOŞLUK (mm)		ARA BOŞLUK (mm)	
			12	16	12	16
D O Ğ R A M A	DOĞRAMASIZ	6,7	2,9	2,7	1,6	1,3
	AHŞAP DOĞRAMA	4,57	2,64	2,5	1,74	1,53
	PVC DOĞRAMA (2 ODACIKLI)	4,73	2,79	2,65	1,89	1,68
	PVC DOĞRAMA (3 ODACIKLI)	4,63	2,7	2,56	1,8	1,59
	PVC DOĞRAMA (4 ODACIKLI)	4,6	2,67	2,53	1,77	1,56
T i P i	PVC DOĞRAMA (5 ODACIKLI)	4,57	2,64	2,5	1,74	1,53
	PVC DOĞRAMA (6 ODACIKLI)	4,54	2,61	2,47	1,71	1,5
	ALÜMİNYUM DOĞRAMA	5,62	3,68	3,55	2,79	2,58
	ALÜMİNYUM DOĞRAMA (YALITIM KÖPRÜLÜ)	4,73	2,79	2,65	1,89	1,68

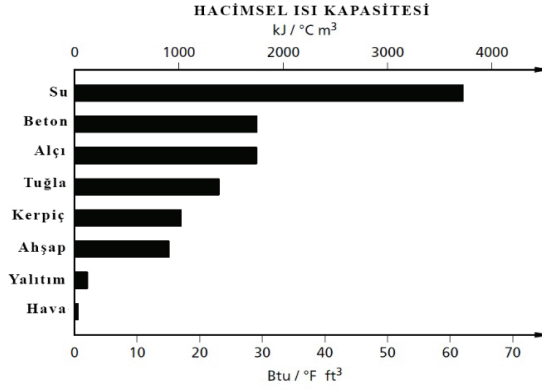
5.1.2. Dolaylı Pasif Sistemler

5.1.2.1. Trombe Duvarları

Trombe duvarları, binayı pasif olarak ısıtmak için binalara entegre edilebilen bir dolaylı pasif sistem türüdür. Trombe duvarlarının binalara dahil edilmesi, binaların yakıtlar veya diğer ısıtıcılar gibi geleneksel yöntemlerle ısıtma ihtiyacının ve ısıtmak için kullanılan enerji miktarının azaltılmasını sağlamaktadır. Trombe duvarları, soğuk dönemlerde meydana gelen ısı kayıplarını en aza indirirken, güneşten toplam ısı kazanımını en üst düzeye çıkaracak şekilde; sıcak dönemlerde ise ısı kazancına engel olacak şekilde inşa edilmelidir.

Trombe duvarları dışta güneşe yönelen cam bir yüzey, içte siyaha boyanmış beton, kerpiç, taş veya dolu tuğla gibi ısı depolamaya uygun masif kütle, aralarında ise hava boşluğu bulunduran bir sistemden meydana gelmektedir. Trombe duvarları güneş ışınlamalarının toplanması, depolanması ve dağıtılması fonksiyonlarını gerçekleştiren bir sistem ile çalışmaktadır. Güneşten yayılan kısa dalga boylu ışınlar cam yüzeyden geçerken içeride bulunan ısı kütle tarafından tutularak ısı enerjisine dönüşmekte ve uzun dalga boylu ışınlar olarak geri yansımaktadır. Cam yüzeyden geri çıkamayan uzun dalga boylu ışınlar, sera etkisi olarak adlandırılan, iç mekânda sıcaklık artışını ortaya çıkarmakta ve temel olarak küçük bir sera gibi çalışmaktadır (Şekil 5.3). Gün boyunca ısı depolayan masif kütle, güneş enerjisinden faydalanılamayan gece saatlerinde, içerisinde depoladığı ısı enerjisini iç ortama aktarmaktadır (Şekil 5.4). Trombe duvarlarında içeri

yüksek bir ısı emme oranına sahip olduğu için mükemmel bir ısı depolama malzemesi olarak kullanılabilir. Suda, doğal konveksiyon akımları ve iletim, ısının tüm kütleyle taşınmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 5.6: Su, hava ve yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin ısı kapasiteleri (Lechner, 2015).

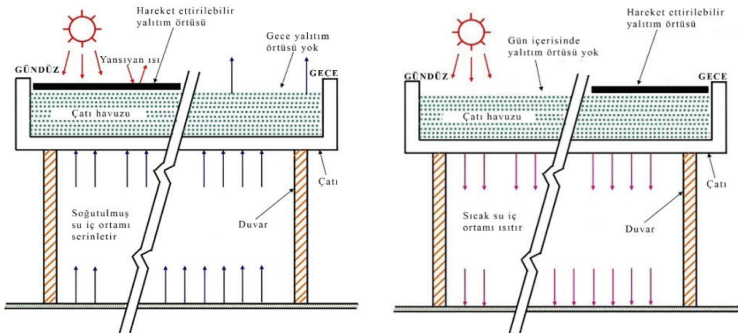
Su kapları olarak çelik borular veya tanklar kullanılıyorsa, ısı toplaması amacı ile, cam tarafı koyu renge boyanmalıdır. Çelik tankların korozyonu, suya pas oluşmasını engelleyecek katkı maddeleri eklenerek önlenmektedir. Gün içerisinde güneş enerjisinden elde edilen ısı bidonlar içerisinde bulunan sıvı akışkan tarafından depolanmakta, depolanan ısı gece boyunca ısıtma ve taşınım yolu ile iç mekâna verilmeye devam etmektedir. Yazın gün içerisinde aşırı ısınmayı, kışın ise depolanan ısının dışarıya verilerek kaybedilmesini engellemek için trombe duvarlarında alınması gereken önlemler, su duvarlarında da dikkate alınmalıdır.

5.1.2.3. Çatı Havuzları

Binaların doğrudan güneşe maruz kalan dış yüzey alanları arasında çatı yüzeyleri önemli bir yer tutmaktadır. Çatı yüzeylerinden ısı kazancı elde edilebileceği gibi, uygun yalıtım uygulanmadığı durumlarda yüksek miktarda ısı kayıpları da meydana gelebilmektedir. Bu nedenle bina çatıları binaların enerji performansını doğrudan etkilemektedir. Isıl kütle olarak su ögesini kullanan çatı havuzları, güneşten aldığı ısı enerjisini depolayarak iç mekânı ısıtma veya buharlaşma etkisi ile iç mekânı soğutma gibi işlevlerde kullanılabilir. Bu sistemin dezavantajı, beton veya metal tavanın maliyeti ve su yalıtımıdır.

Buharlaşmadan kaynaklanan soğutma etkisi, bir binanın çatısını ve dolayısı ile bina içerisini soğutmak için de kullanılabilir. Bu teknik, dolaylı evaporatif soğutmanın bir örneğidir ve ana avantajı, nem oranı artmadan iç ortam havasının soğutulmasıdır. Evaporatif soğutma esnasın-

da, buharlaşma ısısının soğutulacak olan alandan alınması gerekmektedir. Bu nedenle çatı havuzlarının soğutma etkisinden faydalanılmak istenen zaman dilimlerinde, çatı havuzu doğrudan güneş ışınlarına maruz kalmamalı, çeşitli sistemler ile üzeri kapatılmalıdır. Su buharlaştıkça havuz soğumakta ve tavan yapısıyla birlikte binanın iç kısmı için bir ısı emici görevi görmektedir. Gece vakitlerinde ise çatı havuzu sisteminin üzeri açılmakta ve sıcaklık değeri düşen su, iç ortamdaki sıcaklığı çekerek dış ortama aktarmaktadır. Kış aylarında ise gün içerisinde üzeri açık olan çatı havuzu, gün boyunca güneşe maruz kalarak içerisinde ısı depolamakta ve depoladığı ısı enerjisini iç ortama aktararak iç ortam sıcaklığının artmasını sağlamaktadır. Gece vakitlerinde ise çatı havuzunun üzeri kapatılarak ısı kayıpları önlenmektedir (Lechner, 2015).



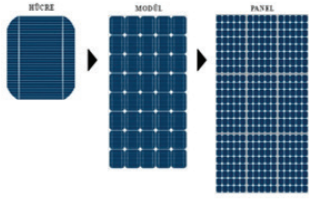
Şekil 5.7: Çatı havuzu sistemi ile yaz aylarında soğutma ve kış aylarında ısıtma (Url-8).

5.1.2.4. Termosifon Sistemleri

Termosifon sistemleri, bir iç ortamın ısıtılması için fizik ilkelerini temel alan dolaylı pasif sistem çeşididir. Isınan hava veya akışkanın yükselerek soğuk hava veya akışkan ile yer değiştirmesi prensibine dayalı olarak, ortamda sürekli hava dolaşımının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Termosifon sistemlerde güneş enerjisini ısı kazancına dönüştürebilecek bir sistem elemanı olarak toplayıcı panellere ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisini emerek ısıya dönüştüren toplayıcı panel sistemleri, üst ve alt kısımlarında menfezler bulundurmaktadır. Toplayıcı panel, hava dolaşım kanalları vasıtası ile, içerisinde ısınan havayı üst menfezden iç ortama iletmektedir. İç ortamda sıcaklık değeri düşen hava, alt menfezden tekrar toplayıcı panele iletilmektedir (Şekil 5.8).

kuzey enlemlerinde bile, fotovoltaik paneller bir binanın elektrik talebinin tamamını veya bir kısmını karşılamak için yeterli gücü üretebilmektedir. Örneğin Oxford Ecohouse çatısında, evin elektrik faturalarını yüzde 70 oranında düşürmek için yeterli enerjiyi üretebilen 48 fotovoltaik panel içermektedir (Roaf vd., 2001).

Paneller boş arazilerde konumlandırılabilirdikleri gibi, farklı şekil ve formlarda uygulanabiliyor olması sebebi ile, güneş enerjili çatı kiremitleri, eğimli veya düz çatılar, giydirme cepheler ve diğer birçok yapı ürününde kolaylıkla kullanılabilir (Şekil 5.11).



Şekil 5.9: Güneş paneli oluşumu (Url-10).



Şekil 5.10: Oxford ecohouse (Url-11).



Şekil 5.11: İtfaiye istasyonu cephesinde fotovoltaik hücre uygulaması, Houten, Hollanda (Url-12).

Enerji kaynağı olarak fotovoltaik panellerin avantajları şunlardır (Roaf vd., 2001);

- Temiz bir yeşil enerji kaynağıdır. Az düzeyde CO_2 , NO_x veya SO_2 emisyonları üretmektedir.
- Enerji geri ödemesi (fotovoltaik panellerin kurulum maliyetinin karşılanması için gereken kadar enerji üretme süresi) 2-5 yıldır, bir fotovoltaik panelin çalışma ömrü ise 20 yıldan fazla olabilmektedir.
- Enerji, sahada üretilir, bu nedenle, uzun tedarik hatlarına dayanan uzaktan üretilen kaynakların aksine, nakliyyede çok az kayıp olmaktadır.
- Güvenilirdir. Panel garantileri yaklaşık olarak 20 yıldır.
- Sessizdirler.
- Az bakım gerektirmektedirler. Kurulduktan sonra, özellikle tozlu ortamlarda, yüzeylerinin temizlenmesini gerektirmektedir.
- Şebekeden uzak yerlerde elektrik sağlayabilmektedirler.
- Taşınabilir bir teknolojidir ve binalar arasında taşınabilmektedir.
- Elektrik kesintilerinde güç sağlayabilmektedirler.

Fotovoltaik panel sistemlerinde istenilen yüksek verimin elde edilebilmesi için sistem oluşturulurken dikkat edilmesi gereken bazı kritik noktalar şunlardır;

- Güneşten istenilen verimin elde edilebilmesi için binalarda olduğu gibi fotovoltaik panellerde de sistemin kurulacağı bölgenin enlemi, hava koşulları ve güneşe yönelimi gibi faktörler önem taşımaktadır. Bu nedenle fotovoltaik panel sisteminin kuzey yarım kürede güneye, güney yarım kürede ise kuzeye yönlendirilmesi gerekmektedir.

- Düz alanlarda konumlandırılacak fotovoltaik panellerin en az % 10 eğimli olacak şekilde yerleştirilmesi önerilmektedir. Panellerin eğim açısı, güneş ışınımının daha dik açılar ile alınarak panellerin daha yüksek verim ile çalışmasını ve aynı zamanda fazla ısınma sebebi ile çalışma sisteminde ortaya çıkabilecek performans düşüşünün de önüne geçilmesini sağlamaktadır.

- Paneller arasında birbirleri üzerine gölge düşürmeyecek şekilde geniş aralıklar bırakılmalıdır.

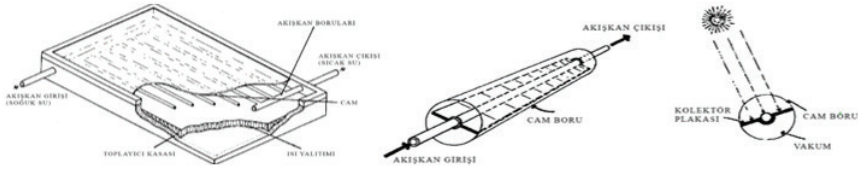
- Fotovoltaik panel yüzeylerinin kirlenmesi, panellerin veriminin düşmesine sebep olabilmektedir. Bu nedenle panel yüzeylerinin temiz tutulması da dikkat edilmesi gereken bir diğer husustur.

5.2.2. Güneş Enerjili Sıcak Su Sistemleri (Güneş Kolektörleri)

Çoğu bina kullanım sıcak suyuna ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle çoğu aktif sistem, ısı transferi ve depolama ortamı olarak hava yerine su kullanmaktadır. Bu tür su bazlı sistemler, alan ısıtma için de kolaylıkla kullanılabilir. Güneş enerjili sıcak su sistemleri, güneş radyasyonunu toplayarak yoğunlaştırmakta ve ısıya dönüştürmekte, daha sonra sıcak hava veya su şeklinde kullanılacağı ya da daha sonra kullanılmak üzere depolanacağı yere dağıtılmaktadır. Güneş enerjili sıcak su sistemleri, güneş kolektörü (toplayıcı), sıcak su depolama birimi, pompa ve iletim borularından oluşmaktadır. Güneş kolektörlerinin en büyük sorunları, kış aylarında yaşanan donma olayı ve taşınım yolu ile gerçekleşen ısı kayıplarıdır. Toplayıcı, depolama birimi ve iletim borularında yapılacak yalıtım ile bu tür sorunların önüne geçilebilmektedir. Güneş enerjili sıcak su sistemleri;

- Düzlemsel güneş enerjisi kolektörleri,
- Vakum tipli güneş enerjisi kolektörleri,
- Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri olarak ayrılmaktadır.

Düzlemsel güneş enerjisi kolektörleri, en yaygın olarak kullanılan güneş kolektörü türü olmakla birlikte, geniş yüzeyli cam örtüsü sebebi ile, taşınım yoluyla büyük miktarda ısı kayıplarını meydana getirmektedir. Vakum tipli güneş kolektörleri ise, ısı kaybını azaltarak yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Tüm konvektif ve iletken kayıplar, vakum tipli kolektörün en dışındaki saydam cam boru ve içerisindeki siyaha boyalı boru arasında yaratılan vakum ile ortadan kaldırılmaktadır.



Şekil 5.12: Düzlemsel ve vakum tipi güneş kolektörü (Lechner, 2015).

5.2.3. Rüzgâr Türbinleri

Rüzgâr türbinleri, dişli kutusu ve jeneratörün içinde bulunduğu bir makine bölümü, pervane kanatları, pervane göbeği ve şaftın içinde bulunduğu bir çark (rotor), çark sistemini taşıyan bir kütle veya kule gö-revi gören yüksek bir yapı ve kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. Çark sisteminin kanatlarına çarpan rüzgâr pervaneleri döndürmekte ve havada bulunan kinetik enerjinin bir kısmı yakalanarak rotorda düşük hızda mekanik enerjiye çevrilmektedir. Dişli kutusu vasıtası ile çarkın dönme mili hızlandırılarak yüksek hıza ulaştırılmakta ve jeneratöre aktarılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Rüzgâr türbinleri binaya eklenmiş veya binaya entegre edilmiş rüzgâr türbinleri olarak iki farklı şekilde uygulanabilmektedir. Binaya eklenmiş rüzgâr türbinlerinde bina, bir kule işlevinde kullanılmakta, rüzgârın yönünü ve şiddetini büyük ölçüde etkilememektedir. Bu rüzgâr türbinleri binalara sonradan da dahil edilebilmektedir.

Binaya entegre rüzgâr türbinlerinde ise henüz mimari tasarım aşamasında türbinler, bina formu ile bir bütün olarak ele alınmakta ve rüzgâr enerjisinin en verimli şekilde kullanılmasını amaçlayarak tasarıma dahil edilmektedir. Bina formu, rüzgârın yönünü, hızını ve şiddetini değiştirerek, rüzgâr enerjisinden elde edilecek verimi artırmaya yönelik olarak, rüzgâr türbinlerini destekleyici rol oynamaktadır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13: Binaya entegre edilmiş rüzgâr türbinleri örneği: COR, Oppenheim Architects (Url-9).

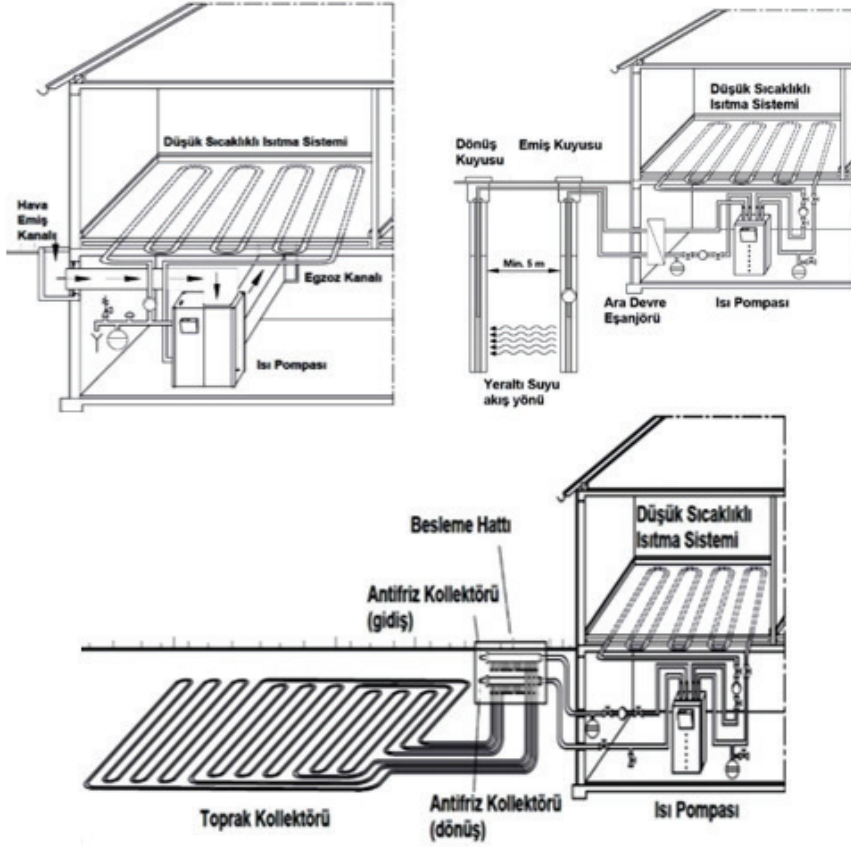
5.2.4. Isı Pompaları

1973 yılında yaşanan petrol krizinden sonra, ısıtma ve soğutma amacı ile ısı pompası kullanılmaya başlanmıştır. Isı pompasından elde edilen ısı ile havuz suyu, duş suyu ve döşemeden ısıtma suyu ısıtılabilir. Güneş enerji sistemlerinin yanı sıra, düşük karbon emisyonuna sahip bir diğer ısıtma sistemi ısı pompalarıdır. Bu nedenle çevre dostu bir sistem olarak da ısı pompaları kullanılmaktadır. Yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve iklim değişikliğinin önlenmek istenmesi, ısı pompası sistemlerinin tercih edilmesinin başlıca nedenlerindendir. Müstakil evler, apartmanlar, oteller, okullar, iş merkezleri ve hastanelerde kullanılabilir. Isı pompalarında bölgeye, bölgenin çevresel özelliklerine ve amaca yönelik kaynak seçimleri yapılmaktadır. Önemli olan, ısı kaynağının sıcaklık değerinin değişen çevre ve hava koşullarında bile stabil değerde olmasıdır. Isı pompalarının yararlanabileceği ısı kaynakları şunlardır;

- Hava: Kolaylıkla bulunabilir. İlk yatırım maliyeti düşüktür. Günün saatlerine ve mevsimlere göre dış hava sıcaklığı değiştiğinden, elde edilen ısı stabil değildir. Düşük dış hava sıcaklıklarında takviye enerji kaynağı gerektirmektedir.

- Toprak: Yeni binalarda en çok tercih edilen ısı kaynağıdır. Yüksek verime sahiptir. 1,5 m derinlikte toprağa borular yerleştirilmektedir. Yaklaşık 1,5-2 m derinlikte toprak tüm yıl boyunca 7°-13° aralığında sabit sıcaklıkta kalmaktadır. Derinlik arttıkça 30- 40 m'de 1° sıcaklık artmakta, ancak yatırım maliyeti de artış göstermektedir. Toprağın cinsine göre ısı çekme kapasitesi değişmektedir.

- Su: Kapalı sistem yüzey suyu, açık sistem kuyu suyu, açık sistem deniz, nehir, göl ve yeraltı suları kaynaklı olarak farklı uygulama çeşitleri vardır. Kış aylarında, en soğuk hava şartlarında bile yeraltı suyu sıcaklık değeri 7° ile 12° arasında olmaktadır. Kuyu suları da 5° ile 25° arasında sabit olduklarından verimlidir. Deniz, nehir ve göl kaynaklı uygulamalarda su kalitesine göre eşanjör gerektirebilir. Genel olarak yüksek verimlidir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14: Hava, toprak ve su kaynaklı ısı pompası (Arıncı, 2021).

- Atık ısı: Fabrika çevreleri, kanalizasyon suları veya bulaşık-çamaşır makinelerinin atık sularından elde edilebilen ısılardır. Kolaylıkla bulunabilmesine karşın, miktarı ve sıcaklık değerinin yetersiz olması nedeni ile tercih edilmemektedir.

6. İKLİMİLE UYUMLU KONUT VE EKOLOJİK KONUT TASARIMI

18. yüzyılda gerçekleşen endüstri devrimi ile birlikte teknolojiye kaydedilen ilerlemeler, insanların daha konforlu yaşam sürmek istemesine ve buna bağlı olarak fosil yakıt tüketimine, kontrolsüz yapılaşmaya, nüfus artışına ve beraberinde yeşil alanların yerini zamanla yapılar bırakmasına yol açmıştır. Bu gelişmeler ile birlikte doğadaki ekolojik denge zarar görmeye başlamıştır.

Dünyada tüketilen enerjinin büyük bir bölümünün binalarda kullanılması, enerji kaynaklarının aşırı tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan çevre sorunlarına karşı ekolojik tasarımı, mimari tasarımın gündemine taşımaktadır. Özellikle son yıllarda ortaya çıkan salgın hastalıklar, doğal felaketlerde görülen artış, ekolojik denge üzerinde bozulmaya sebep olan küresel ısınma ve iklim krizi, birçok alanı etkilediği gibi mimari tasarım alanını da etkilemiş ve ekolojik yapı kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Ekolojik yapı yaklaşımı, güneşten edilgen olarak yararlanma temeline dayanmaktadır. Bu nedenle farklı iklim bölgelerinde bulunan ekolojik mimari uygulamaları incelendiğinde, yapıların tasarım parametrelerinin birbirinden çok farklı olduğu ve her bir yapının özgün tasarım özellikleri taşıdığı görülmektedir. Bölgesel farklılıklar ve yerel iklim, ekolojik mimari tasarımda çeşitliliği ortaya çıkarmaktadır.

Bölgesel iklim koşullarına uyumluluk, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, yerel dokuya ve topografyaya uyum sağlanması gibi kriterleri ile ekolojik yapı tasarımı ve iklimle uyumlu yapı tasarımı birbiri ile bütünleşmektedir. Ekolojik yapı tasarım parametreleri, mimari çevrenin, bina kabuğunun ve bina geometrisinin tasarlanması, yapı içerisindeki mekânların organizasyonunun yapılması, yapı malzemesinin seçimi ve iklimlendirme sistemlerinin planlanması gibi iklimle uyumlu konut tasarım parametrelerini kapsamakta, bunun yanı sıra sürdürülebilir tasarım ilkelerini ve atık yönetimini de içermektedir. Böylece ekolojik konutlar aynı zamanda iklimle uyumlu konut olarak değerlendirilebilirken, iklimle uyumlu konutlar ekolojik konutların bazı alt parametrelerini taşımaktadır. Yeryüzündeki yapı stokunun çoğunluğunu konut yapılarının oluşturması, ekolojik ve iklimle uyumlu yapı tasarımı ilkelerinin, bölgesel veriler doğrultusunda değerlendirilip, özellikle konut yapılarında uygulanmasının önemini ortaya koymaktadır.

7. SONUÇ

İklim, iklim elemanları olarak adlandırılan dış hava sıcaklığı, güneş ışınlamı, rüzgâr ve dış hava nemliliği olarak dört ana bileşen tarafından oluşmaktadır. Bu dört ana iklim elemanı ve özellikleri incelendiğinde güneş ışınlamının geliş açısı, yükselti, güneşlenme süresi, kara ve denizlerin dağılışı, okyanus akıntıları, nemlilik, rüzgârlar, bitki örtüsü ve basınç gibi birçok coğrafi ve bölgesel özellik tarafından etkilendiği görülmektedir. İklim elemanları ve iklim elemanlarını etkileyen özellikler, dünya üzerinde bulunduğu noktaya göre farklı bölgelerde farklı iklim tiplerinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Benzer iklim şartlarına sahip alanlar ise büyük iklim kuşaklarını meydana getirmiştir.

Nüfus ve ekonomide görülen büyüme sebebi ile sayısı her geçen gün artış gösteren binalar, sanayi ve ulaşım gibi fosil yakıt kullanan sektörler

ve bu sektörlerin faaliyetleri sonucu iklim özelliklerinde görülen değişim, çevre ve insanlar üzerinde olumsuz etki göstermiş ve göstermeye devam etmektedir. İklim krizi olarak ele alınan olumsuz gelişmeler, uluslararası boyutta farklı sözleşme ve toplantıların gerçekleştirilmesine zemin hazırlamış, uluslararası bilinçlendirme faaliyetlerini ortaya çıkarmıştır. Bu faaliyetlerde, yapılı çevrenin iklim değişikliği üzerinde büyük oranda etkili olduğu ifade edilmiştir. Gerçekleştirilen sözleşme ve toplantılarda belirlenen ilkeler doğrultusunda mimarinin, iklim üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik uygulamalar yapılmasına teşvik edilmiştir.

Yapılı çevrede iklimsel konfor, zihinsel ve fiziksel açıdan insan sağlığını etkileyen önemli unsurlardan ve enerji tüketiminin başlıca nedenlerinden biri olmuştur. Binalarda iklimsel konforun sağlanması, fosil yakıt tüketimi ve dolayısı ile iklim değişikliğinin önüne geçilebilmesi için doğal veya mekanik ve elektrik sistemleri desteği ile bazı tasarım stratejileri geliştirilmiş ve bu stratejiler pasif sistemler ve aktif sistemler olarak sınıflandırılmıştır. Binanın içinde bulunduğu bölgenin iklim tipine göre uygun sisteme karar verilip uygulanması, iklimle uyumlu yapılı çevre tasarımının temelini oluşturmuştur. Yapı stokunun büyük bir bölümünü konut yapılarının oluşturması, iklimle uyumlu tasarım uygulamalarının özellikle konut yapılarında uygulanmasını önemli hale getirmiştir.

KAYNAKÇA

- Akbaba, S.** (2020). Yerleşme Formu ve Enerji Verimliliği İlişkisi Ankara-Çankaya Örneği. Ö. Y. Ercoşkun içinde, *Enerji Etkin Kent Tasarımı* (s: 103-151). Ankara: Iksad Publications.
- Akın, C. T.** (2001). *Doğal Çevre Etmenlerine Bağlı Olarak, Yerleşme ve Bina Ölçeğinde İklimle Dengeli Konut Tasarım Denetleme Modeli* (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akköse, G.** (2019). *Architectural Design for Climate Change Mitigation and Adaptation Strategies in Existing Buildings* (Master's Thesis). Middle East Technical University, Ankara.
- Altomonte, S.** (2008). Climate Change and Architecture: Mitigation and Adaptation Strategies for a Sustainable Development. *Journal of Sustainable Development*, 1(1), p.p. 97-112.
- Arınç, Ü. D.** (2021). *Enerji Verimli Binalar Ders Notları*. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Bayraktar, M., & Yılmaz, Z.** (2007). Bina Enerji Tasarrufunda Pasif Akıllılığın Önemi. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Teknolojik Araştırma Bildirisi*, (s: 115-128). İzmir.
- Brisman, A.** (2011). Stockholm Conference, 1972. in D. K. Chatterjee, *Encyclopedia of Global Justice* (p.p. 1039-1040). Dordrecht: Springer.
- Ceyran, E.** (2021). Küresel İklim Krizi: Yaklaşımlar ve Mücadele. C. Aytun içinde, *Kriz Dönemlerinde Piyasa ve Devlet* (s: 203-219). Ankara: İksad Yayınevi.
- Demircan, R. K., & Gültekin, A. B.** (2017). Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10(1), s: 36-51.
- IPCC** (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland.
- İlten, N., Selici, A. T., & Caner, İ.** (2017). İç Ortamlarda Sıcaklık ve Bağlı Nem Parametrelerinin Sosyo-Ekonomik Yapı ile İlişkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), s: 52-61.
- Kabakçı, O. K.** (2016). SBE16 İSTANBUL – Uluslararası Sürdürülebilir Yapılı Çevre Konferansı. *Enerji Verimliliğinde Akıllı Şehirlerin Rolü, Beklentiler Ve Trendler* (s: 208-212). İstanbul: Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği.
- Keating, M.** (1993). *The Earth Summit's Agenda for Change: A Plain Language Version of Agenda 21 and the Other Rio Agreements*. Geneva: Centre for Our Common Future.
- Lechner, N.** (2015). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*. John Wiley & Sons. Hoboken.

- Oliver, J. E.** (2005). Climate Zones. in J. E. Oliver, *Encyclopedia of Earth Sciences Series* (p.p. 270-272). Dordrecht: Springer.
- Özcan, U.** (2013). *Konutlarda Sürdürülebilir Mimarlık Açısından İklimsel Konfor Kriterlerinin Değerlendirilmesi İçin Bir Model Önerisi* (Doktora Tezi). Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özcan, U., & Erol, H.** (2018). Yüksek ve Sürdürülebilir. *Yapı* (435), s: 52-57.
- Pearlmutter, D.** (2007). Architecture and Climate: The Environmental Continuum. *Geography Compass*, 1(4), p.p. 752-778.
- Roaf, S., Fuentes, M., & Thomas, S.** (2001). *Ecohouse: A Design Guide*. Architectural Press.
- Savaresi, A.** (2016). The Paris Agreement: A New Beginning? *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 34, p.p. 16-26.
- TS-825** (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Umaroğulları, F., & Cihangir, C.** (2019). Toplu Konutların İklimsel Konfor Tasarım Parametrelerine Göre Değerlendirilmesi: “Ilıman Nemli İklim Bölgesi: Edirne Binevler (1.Kısım) Konut Yapı Kooparetifi Örneği”. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 4(1), s: 105-122.
- Uzun, T.** (1997). *Mimari Tasarıma Ekolojik Yaklaşım; Adana’da Bir Tasarım Denemesi* (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- WCED** (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford University Press.
- Yasan, A. S.** (2011). *Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yüceer, N. S.** (2015). *Yapıda Çevre ve Enerji*. Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Url-1**<<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate>>, (erişim tarihi 18.10.2021).
- Url-2**<<https://www.eokultv.com/mevsimlerin-olusumu-8-sinif-fen-bilimleri/49771>>, (erişim tarihi 14.11.2021).
- Url-3**<<https://www.cografya.gen.tr/diger/uzay/kitalar-okyanuslar.htm>>, (erişim tarihi 10.11.2021).
- Url-4**<<https://www.kariyermemur.com/matematik-iklim-kusaklari-ve-sicaklik-kusaklari-cografya-ders-notlari-h56679.html>>, (erişim tarihi 19.03.2022).
- Url-5**<<https://www.unep.org/unepmap/who-we-are/barcelona-convention-and-protocols>>, (erişim tarihi 21.11.2021).
- Url-6**<https://unfccc.int/kyoto_protocol>, (erişim tarihi 28.11.2021).

Url-7<tr.wikipedia.org/wiki/iklim_değişikliğini_hafifletme>, (erişim tarihi 25.03.2022).

Url-8<<https://www.re-thinkingthefuture.com/sustainable-architecture/a3992-what-are-passive-design-strategies/>>, (erişim tarihi 25.12.2021).

Url-9<<https://www.archdaily.com/87063/cor-oppenheim-architecture-design>>, (erişim tarihi 02.01.2022).

Url-10<<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/pv-cells-101-primer-solar-photovoltaic-cell>>, (erişim tarihi 15.12.2021).

Url-11<<https://ecohouse.live/2020/11/29/the-oxford-ecohouse/>>, (erişim tarihi 29.12.2021).

Url-12<<https://www.archdaily.com/875552/fire-station-in-houten-sam-yn-and-partners>>, (erişim tarihi 14.12.2021).



BÖLÜM 3

ISI DESTEKLİ İŞLEME YÖNTEMİNDE ALTERNATİF BİR ENERJİ KAYNAĞI OLARAK TIG TEKNİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Atakan UĞRAŞ¹, Fırat KAFKAS²

1 Öğr. Gör. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, Porsuk MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, atakanugras@eskisehir.edu.tr ORCID: 0000-0002-8934-6125

2 Doç. Dr., Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, fkafkas@gazi.edu.tr ORCID: 0000-0003-3257-7413

1. GİRİŞ

Isı destekli işleme (IDİ) yöntemi, iş malzemesinde talaş kaldırılacak bölgenin ön ısıtmaya tabi tutulması ve ardından bu bölgenin kesici takım ile işlenmesi prensibine dayanmaktadır. Isı destekli işlemede, iş malzemesindeki sıcaklık artışı mekanik özelliklerin zayıflamasına neden olur. İş malzemesinin akma dayanımı, sertliği ve gerinim sertleşmesi sıcaklık artışıyla birlikte düşer ve gevrek özellikte olan malzemeler sünek davranış gösterir. Bazı malzemelerin çekme dayanımları düşük sıcaklıklarda bile düşme eğilimindedir, bu da işlenebilirliği olumlu yönde etkiler. Böylece işlenmesi zor malzemeler düşük güçlerde daha kolay işlenebilir. IDİ yönteminde talaş kaldırma oranının (TKO) artması beraberinde verimlilik artışı sağlar. IDİ yöntemi kesme kuvvetlerinin düşmesine, yüzey kalitesinin iyileşmesine ve takım ömrünün artmasına katkı sağlar. Günümüzde IDİ uygulamalarında farklı özelliklere sahip enerji kaynakları kullanılabilir. Bunlar oksî-gaz alevi, indüksiyon akımı, plazma arkı, lazer ve elektrik akımıdır. Bu bölümün sonunda IDİ yönteminde ön ısıtma için kullanılan enerji kaynakları arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

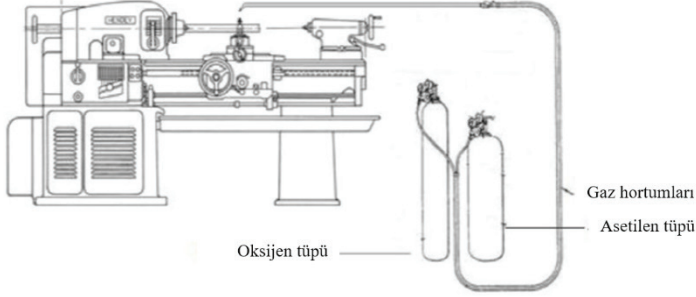
Talaşlı imalat işleminde elbette ki uygun kesici takımı ve ideal kesme parametreleri kombinasyonunu kullanmak gerekir. IDİ yönteminde kesme hızı (V) ve ilerleme oranındaki (f) değişim ısı girdisine etki eder. İş malzemesinin ya da enerji kaynağının hızı artırıldığında iş malzemesine birim zamanda giren ısı miktarı azalır (Venkatesh vd., 2014). Kesme derinliği (a_p) değeri düşük tutulduğunda işlenmiş yüzeyde ısıya bağlı renk değişimleri görülebilir (Leshock vd., 2001).

Isı desteği alınarak yapılan talaş kaldırma işleminde enerji kaynağını etkili bir biçimde kullanmak gerekir. IDİ uygulamalarında kullanılan enerji kaynağının aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir:

- Ön ısıtmayı dar bir bölgede yapabilmeli (ısıtma derinliği $< a_p$) (Davami ve Zadshakoyan 2008),
- İş malzemesinin işlenmiş yüzeyinde sertlik ve mikro yapı değişimine neden olmamalı (Ukar vd., 2010),
- Güç ayarı hassas bir şekilde yapılabilmesi (Uğraş ve Kafkas, 2020),
- Otomasyona uygun olmalı (Opderbecke ve Guiheux, 2009),
- Takım tezgahına ve kesici takıma zarar vermemeli (Navas vd., 2013),
- Ulaşılabilir ve ekonomik olmalı, bakım ve işletme maliyetleri düşük olmalıdır.

2. ISI DESTEKLİ İŞLEME YÖNETİMİNDE KULLANILAN ENERJİ KAYNAKLARI

2.1. Oksi-Gaz Alevi

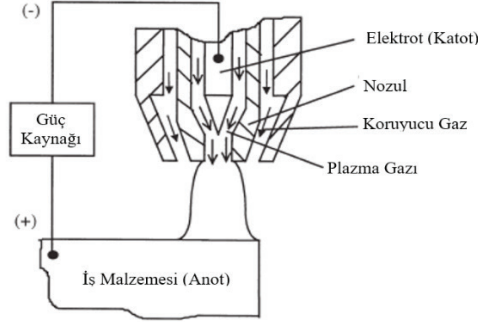


Şekil 1. Oksi-gaz alevi ile işleme (Makwana ve Prajapati, 2014)

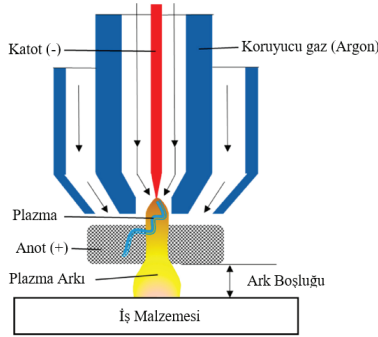
Günümüzde, IDİ için akla ilk gelen enerji kaynağı oksi-gaz alevidir (Şekil 1). İşlenmesi zor malzemelerin ve sertleştirilmiş parçaların işlenmesinde, bu tür malzemeler üzerine kanal veya punta deliklerinin açılmasında uzun yıllardır kullanılmaktadır. IDİ yöntemi takım ömrünün artmasını ve yüzey kalitesinin iyileşmesini sağlamaktadır. IDİ için ulaşılması kolay, en ekonomik ve basit yöntemdir. Alevin etki alanının geniş olması bu metodun en büyük dezavantajıdır. Bu nedenle bileşenin bütün yüzeyleri ısının etkisi altında kalır.

2.2. Plazma Arkı

Plazma arkı yönteminde, oluşturulan plazmanın yüksek sıcaklığı malzemeyi bölgesel olarak eritebilir ve yüksek basınçlı gaz erimiş malzemeyi ortamdan uzaklaştırır. Plazma arkı iki farklı tipte oluşturulur. İlki Şekil 2’ de gösterildiği gibi transfer ark (taşınan ark) yöntemidir. Ark torç ile iş malzemesi arasında meydana gelir. İkincisi, Şekil 3’ de gösterilen transfer edilemeyen ark yöntemidir. Bu yöntemde plazma, nozul ile elektrot arasında oluşturulur ve plazma torç ucundan alev şeklinde çıkar. Bu metod iletken olmayan malzemelerin işlenmesinde yaygın olarak kullanılır.



Şekil 2. Transfer ark yönetiminde plazma arkının üretimi (Leshock vd., 2001)



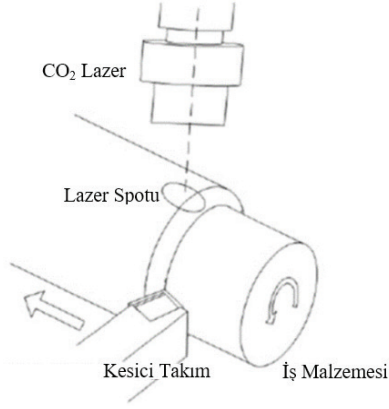
Şekil 3. Transfer edilemeyen ark yönetiminde plazma arkının üretimi (Lee ve Lee, 2019)

Plazma arkı yöntemi, lazer yardımcı IDİ sistemine benzerlik göstermektedir ve lazerden daha güçlü bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, kesme bölgesinde arzu edilen sıcaklıklara daha kolay ulaşılabilir. Ancak lazer yardımcı IDİ sistemi kadar bölgesel ısıtmada hassas değildir ve daha geniş bir bölgeyi ısıtır. Ayrıca yöntemin uygulanması yüksek maliyetlidir.

2.3. Lazer

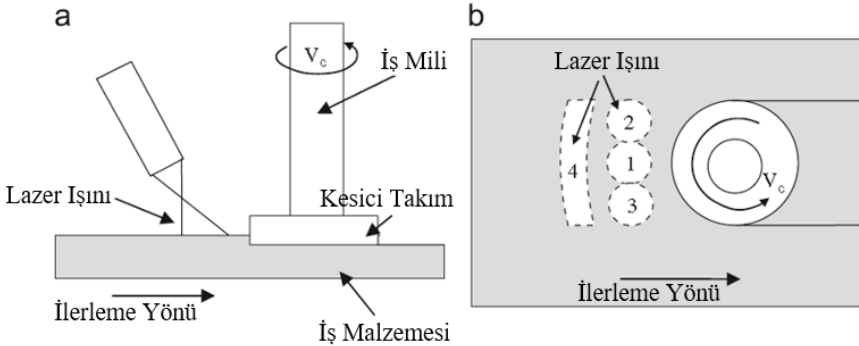
Lazer ünitelerinin torna, freze veya taşlama tezgâhlarına adapte edilmesiyle geleneksel ve modern imalat yöntemleri birleştirilmiş hibrid imalat makineleri ortaya çıkmıştır. Lazer yardımcı IDİ lazer ışınının kesici takıma göre belli bir açı ve uzaklıkta iş malzemesinin işlenecek yüzeyine konumlanarak ön ısıtmayı gerçekleştirmesi, ardından kesici takımın bu bölgeyi işlemesi prensibine dayanmaktadır. Lazer yardımcı IDİ yönteminin maksimum verimi almak kesme parametrelerine ve lazer parametrelerine hâkim olmayı gerektirir. En etkin lazer parametreleri ise lazer gücü (W), lazer ışınının iş malzemesi üzerinde oluşturduğu profil (spot biçimi ve boyutu) ve lazer ile iş malzemesi arasındaki mesafedir. Lazerin takım tezgâhlarına entegrasyonu birçok yönden verimlilik artışı sağlar. Noktasal kesme ve kesici takımın sabit olmasından dolayı torna tezgâhına lazer ışı-

nını entegre etmek basittir. Lazer destekli tornalama ile ilgili çalışmaların çoğunda, Şekil 4’ de gösterildiği gibi lazer ışını iş malzemesi yüzeyine dik olarak uygulanır.



Şekil 4. Lazerin torna tezgâhında uygulanaşı (Dandekar ve Shin, 2013)

Frezeleme işleminin doğası gereği lazer ışınının freze tezgâhına entegrasyonu tornaya göre daha zordur. Genellikle lazer ışını kesici takımdan bağımsız olarak hareket edebilir veya tezgâh fener miline direkt bağlanarak konumlandırılabilir. Düzlem frezeleme için en kolay yol Şekil 5’ de gösterildiği gibi ilerleme doğrultusunda takım önüne ışını konumlandırmaktır. Lazer spot boyutunun dar olması nedeniyle pek çok uygulamada kesme genişliğinin tamamını kapsamaz. Bu yüzden, ışın sadece kesme genişliğinin bir parçasını ısıtır. Şekil 5’ de verilen nokta lazer spotlarından (1, 2, 3) biri ya da birkaçı kesme bölgesinde bulunabilir. Ya da yüksek güçteki çizgi lazer (4) tamamını kapsayabilir.



Şekil 5. Lazerin frezeleme işleminde kesici takımla entegrasyonu; yandan görünüş (a), üstten görünüş (b) (Sun vd., 2010)

Spot boyutunun ayarlanabilmesi ve yüksek güce sahip olmaları nedeniyle talaş kaldırılacak bölgenin çok hızlı ısıtılabilmesi ve ısının kontrol edilebilmesi lazerin en büyük avantajıdır. Bu özellikleri sayesinde, araştırmacılar lazeri mikro kesme işlemlerinde de kullanabilmişlerdir (Shelton ve Shin, 2010). Oksi-gaz alevi, plazma arkı ve indüksiyon akımı ile karşılaştırıldığında lazerin kontrolü daha kolaydır ve lazer ile çok dar bir bölgeyi ısıtmak mümkündür. Yüksek maliyetli olmalarına rağmen bu avantajlar lazerin tercih edilmesini sağlamıştır. Ayarlanabilen spot boyutu ve yüksek güç yoğunluğu sayesinde ısıdan etkilenmiş bölge ve ısıl çarpımların görülme olasılığı azdır. Ancak ilk yatırım maliyetinin yüksek olması bu yöntemin uygulanabilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca lazer sistemleri bakım maliyeti yüksek enerji kaynaklarıdır. Yüksek radyasyon (yoğunlaştırılmış enerji kaynağı) problemi; operatör, takım-tezgâhı ve çevre için zararlı etkiler oluşturabilir. Bu problemler gerekli güvelik tedbirlerinin tam olarak alınmasını gerektirir.

2.4. İndüksiyon Akımı

İndüksiyon akımı ile ısıtma, tornalama ve frezeleme işlemlerinde IDİ uygulamaları için kullanılan ilk yöntemlerden biridir. Yöntem Şekil 6' da görüldüğü gibi iş malzemesinin indüksiyon akımı ile ısıtılması prensibine dayanmaktadır. Ayrıca bu yöntem, elastomerlerin işlenmesinde kesici takımın ısıtılmasında da kullanılabilir (Luo vd., 2005). İşlenecek malzemelerin elektrik iletkenliğine sahip olması ve işlenecek yüzeye özel indüksiyon halkası yapılması gerekliliği, bu yöntemin dezavantajlarıdır. Ayrıca, oksi-gaz alevinde olduğu gibi takımın işleyeceği bölgeden daha geniş bir alan ısıtılır. Dolayısıyla, parçada işlenmeyecek bölgelerde ısı etkisi altında kalır ve ürün kalitesinde olumsuzluklar ortaya çıkabilir.



Şekil 6. İndüksiyon akımı ile frezeleme (Lajis vd., 2009)

2.6. TIG Tekniği

IDİ yönteminde kullanılabilecek diğer bir enerji kaynağı TIG tekniğidir. Diğer ısı kaynaklarına nazaran TIG kaynak makinesine ulaşım daha kolaydır. Lazer ve plazmaya göre daha ekonomiktir. Noktasal kesmeye uygundur ve iş malzemesinin dar bir kısmını ısıtma kabiliyetine sahiptir. Kesici takım elektrot olarak kullanılmadığı için elektrik akımı ile işlemede görülen kesici takım hasarları burada görülmemektedir. TIG tekniğinde ısıtma için gerekli akım şiddeti (I) hassas bir şekilde ayarlanabilir. Literatürde IDİ çalışmalarında enerji kaynağı olarak TIG tekniğinin kullanıldığı çalışmalar kısıtlıdır. TIG tekniği IDİ için diğer enerji kaynaklarına göre önemli bir alternatiftir. Ulaşılabilir olması, ekonomikliği ve düşük bakım maliyetleri önemli bir avantajdır. Yöntemin en büyük dezavantajı işlenecek malzemelerin elektrik iletkenliğine sahip olması gerekliliğidir.

2.7. Isı Destekli İşleme Yönteminde Kullanılan Enerji Kaynaklarının Karşılaştırılması

Tablo 1, IDİ yönteminde kullanılan enerji kaynaklarının özelliklerini ve bu yöntemlerin belirli kriterlere göre karşılaştırılmasını gösterir.

Tablo 1. IDİ yönteminde kullanılan enerji kaynakların genel karşılaştırması

Enerji kaynağının özelliği	Oksi-gaz tekniği	Plazma tekniği	Lazer tekniği	İndüksiyon akımı tekniği	Elektrik akımı tekniği	TIG tekniği
İlk yatırım maliyeti	1	3	4	2	2	2
Bakım maliyeti	1	3	4	1	1	1
Otomasyona uygunluk	1	2	4	1	3	3
Enerji yoğunluğu	1	4	3	2	2	2
Enerji girişinin kontrolü	1	3	4	2	3	3
Dar bir bölgeyi ısıtma kabiliyeti	1	2	4	1	4	3
Kullanılabilecek malzeme grubu	Tüm mühendislik malzemeleri			Elektrik iletkenliğine sahip malzemeler		

Derecelendirme: Düşük (1), orta (2), yüksek (3), çok yüksek (4)

3. TIG ESASLI ISI DESTEKLİ İŞLEME YÖNTEMİNDE ET-KİN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

TIG tekniğinde birçok parametre bulunmaktadır. Öncelikle hangilerinin IDİ için etkin parametreler olduğunun belirlenmesi gerekir. Bunun için, deneysel sonuçların değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşımlar kullanılabilir. Parametrelerin çokluğu nedeniyle deney tasarımı da Tarama (Screening) yöntemi yaygın kullanılan bir yaklaşımdır. Bu aşamada talaş kaldırma işlemi yapılmaksızın, sadece ön ısıtma yapılarak işlem parametrelerinin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Uğraş ve Kafkas, 2019). Tablo 2' de işlem parametreleri ve bunların seviyeleri gösterilmektedir.

Tablo 2. Tarama yöntemine göre tasarlanmış deneyler için deney faktörleri ve seviyeleri

İşlem Parametreleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Akım Şiddeti (I)	Amper	40	80	120
Elektrot Uç Açısı	°	15	30	45
Ark Mesafesi	mm	2	3	4
Gaz Debisi	lt/dak	9	12	15
Bekleme Süresi	sn	5	7,5	10
Kesme Hızı (V)	m/dak	32	63	89
İlerleme Oranı (f)	mm/dev	0,08	0,20	0,32

Deneylerde Ø40x50 mm ölçüsünde, iyi bir tokluğa sahip olan ve yaygın kullanılan bir çelik türü olan AISI 4140 ıslah çeliği kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 8' de gösterilmektedir. Deneyler, 5 KW-2000 dev/dak kapasitesindeki universal bir torna tezgâhında yapılmıştır. Enerji kaynağı olarak alternatif veya doğru akımda çalışabilen 200 Amperlik invertör tip TIG kaynak makinesi kullanılmıştır. İş malzemesi özel bir malafaya bağlanarak işlenmiş ve TIG kaynak torcu iş malzemesi üzerine özel bir bağlama aparatı ile konumlandırılmıştır. İş malzemesinin daha iyi ısınmasını sağlamak ve kızıl ötesi termometre ile daha sağlıklı veriler alabilmek için belirli bir bekleme süresi (sn) kadar ön ısıtma yapılmış, daha sonra torca ilerleme verilmiştir. Yüzey sıcaklıkları KIMO KIRAY 300 kızılötesi termometre ile ölçülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 8. TIG esaslı ısı destekli işleme deney düzeneği (a), torç tutucu aparat (b)

Tablo 3' de deney numuneleri yüzeyinden ölçülen sıcaklıklar yer almaktadır. En yüksek ön ısıtma sıcaklığı 3 numaralı deneyde elde edilmiştir. 3 numaralı deneye ait parametreler incelendiğinde en yüksek sıcaklığın maksimum akım şiddeti (I), minimum kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) şartlarında elde edildiği görülür. Kesme parametrelerinin değerleri düşüktüğü işleme süresi uzamakta ve ısı girdisi artmaktadır. İşlem parametrelerinin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerini belirleyebilmek için ANOVA tablolarından ve etki grafiklerinden yararlanılabilir.

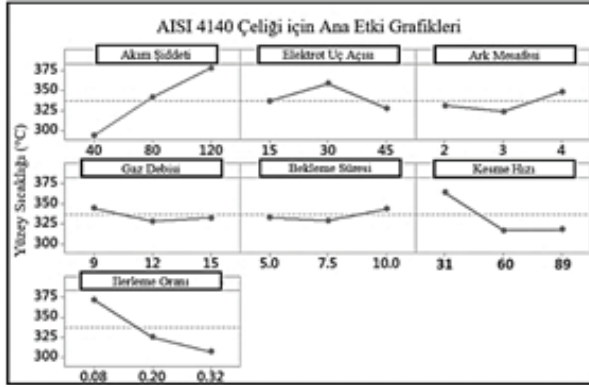
Tablo 3. Tarama yöntemi deney tasarımı ve iş malzemesi yüzeyinden ölçülen sıcaklıklar

Deney Nu:	İşlem Parametreleri (Faktörler)							Ölçülen sıcaklık(°C)
	Akım şiddeti-I (Amper)	Elektrot uç açısı (°)	Ark mesafesi (mm)	Gaz debisi (lt/dak)	Bekleme süresi (sn)	Kesme hızı-V (m/dak)	İlerleme oranı-f (mm/dev)	AISI 4140
1	80	45	4	15	10	89	0,32	305
2	80	15	2	9	5	31	0,08	406
3	120	30	4	9	10	31	0,08	501
4	40	30	2	15	5	89	0,32	262
5	120	15	3	9	10	89	0,32	329
6	40	45	3	15	5	31	0,08	328
7	120	45	4	12	5	89	0,08	385
8	40	15	2	12	10	31	0,32	287
9	120	15	2	15	7,5	89	0,08	381
10	40	45	4	9	7,5	31	0,32	294
11	120	45	2	9	5	60	0,32	317
12	40	15	4	15	10	60	0,08	320
13	120	45	2	15	10	31	0,2	380
14	40	15	4	9	5	89	0,2	281
15	120	15	4	15	5	31	0,32	354
16	40	45	2	9	10	89	0,08	285
17	80	30	3	12	7,5	60	0,2	314

Tablo 4’ de verilen ANOVA tablosunda AISI 4140 çeliği iş malzemesinin yüzey sıcaklığına en çok etki eden işlem parametresinin %44,23 katkı oranı ile akım şiddeti (I) olduğu görülür. Şekil 9’ da verilen etki grafiklerine göre AISI 4140 çeliğinin yüzey sıcaklığına en çok etki eden işlem parametreleri, sırasıyla; akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızıdır (V). Akım şiddeti (I) artırıldığında daha fazla enerji harcandığı için iş malzemesi sıcaklığı buna bağlı olarak artar. İlerleme oranı (f) ve kesme hızındaki (V) artış ise ısıtma süresini kısalttığından iş malzemesi sıcaklığı azalır. Sıcaklık artışı üzerinde kesme hızı (V) ilerleme oranı (f) kadar etkili değildir. Çünkü ilerleme oranı (f) azaldıkça birim zamanda harcanan enerji miktarı artmaktadır. Bu yüzden ilerleme oranı (f) sıcaklık artışında kesme hızından (V) daha etkin bir kesme parametresi olarak karşımıza çıkar. Akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızı (V) dışında kalan işleme parametrelerinin katkı oranlarının çok düşük olması nedeniyle bu parametrelerin sabit alınması uygundur.

Tablo 4. İş malzemesi yüzey sıcaklığına etki eden parametrelere ait ANOVA tablosu

İşlem Parametreleri	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	Katkı Oranı (%)
Lineer Model					
Akım Şiddeti	1	24813,7	24813,7	33,50	44,23%
Elektrot Uç Açısı	1	295,3	295,3	0,40	0,53%
Ark Mesafesi	1	1037,2	1037,2	1,40	1,85%
Gaz Debisi	1	502,8	502,8	0,68	0,90%
Bekleme Süresi	1	394,3	394,3	0,53	0,70%
Kesme Hızı	1	74336	7433,6	10,04	13,25%
İlerleme oranı	1	14963,5	14963,5	20,20	26,67%
Hata	9	6665,8	740,6		11,88%
Toplam	16				100,00%



Şekil 9. İşlem parametrelerinin yüzey sıcaklığı üzerine etkileri

4. TIG ESASLI ISI DESTEKLİ İŞLEME YÖNTEMİNİN GÜÇ TÜKETİMİ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Enerji kaynağı olarak TIG tekniğinin kullanıldığı bir IDİ sistemi kurulduktan sonra IDİ yönteminin kesme işleminde harcanan güç (P_c , kW), yüzey pürüzlülüğü (R_a , μm) ve talaş oluşumu üzerine etkileri araştırılmıştır (Uğraş ve Kafkas, 2021). Deneylerde CVD kaplamalı karbür kesici takım kullanılmıştır. Çevrim içi olarak kesme işleminde harcanan güç (P_c) ve malzeme yüzeyinden talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ölçülmüştür. Deney planı tam faktöriyel deney yaklaşımı ile hazırlanmıştır. Kesme işleminde harcanan güç (P_c) değerini belirlemek için güç ölçer kullanılmıştır. Talaş oluşumları incelenmiş ve yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ölçülmüştür. Deney parametrelerinin kesme işleminde harcanan güç (P_c), yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve talaş oluşumu ile ilişkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Ayrıca TIG tekniğinin IDİ için uygulanabilirliği araştırılmış ve deneylerden elde edilen sonuçları değerlendirmek için istatistiksel yöntemler kullanılmıştır.

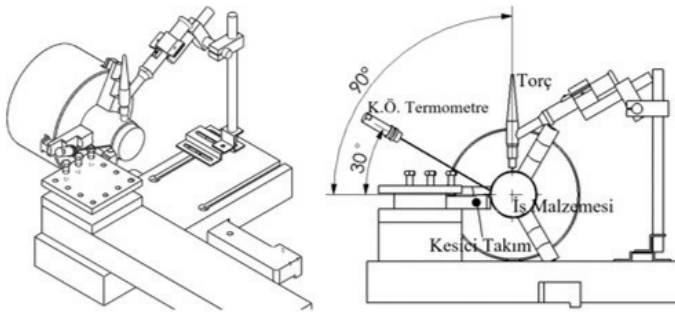
4.1. Materyal ve Yöntem

Tablo 5 deneylere ait işlem parametreleri ve bunların seviyelerini göstermektedir. Kesme parametrelerinden kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) farklı seviyelere sahipken kesme derinliği (a_p) 1 mm olarak sabit tutulmuştur.

Tablo 5. İşleme parametreleri ve seviyeleri

Parametreler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Kesme Hızı (V)	m/dak	275	305	335
İlerleme Oranı (f)	mm/dev	0,11	0,18	0,24
İşleme Yöntemi	-	Konvansiyonel	TIG	
Kesme Derinliği (d)	mm	1		

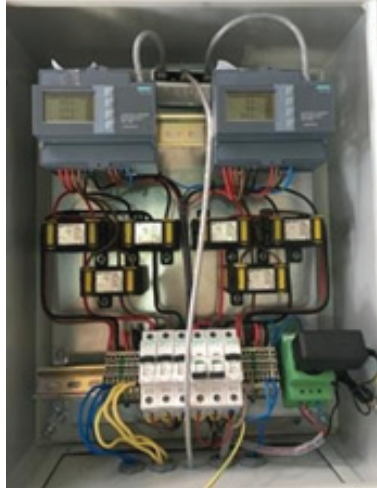
Çalışmada AISI 4340 çeliği kullanılmıştır. Numuneler üç farklı kesme hızı (V) değerine göre 90,5-100-110 mm çaplarında hazırlanmıştır. Deneyler maksimum devir sayısı 1000 dev/dak olan, 7 kW gücündeki universal bir torna tezgâhında yapılmıştır. Deneylerde ön ısıtmayı gerçekleştirmek için maksimum 200 Amper akım şiddetinde çalışabilen hava soğutmalı bir TIG kaynak makinesi kullanılmıştır. Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ölçümleri için 250-1400 °C aralığında ölçüm yapabilen Raytek MI3 kızıl ötesi termometre kullanılmıştır. TIG torcunun kesici takıma ve kızıl ötesi termometreye göre konumu Şekil 10' da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. TIG tekniği kullanılan IDİ sisteminin şematik görünümü

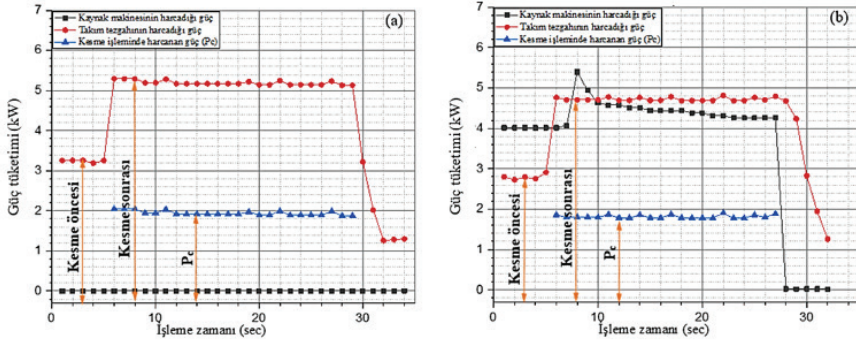
Elektrot ucu ile iş malzemesi arasındaki ark mesafesi 2 mm olarak belirlenmiştir. Deneylerde Sandvik firmasının SNMG 120408-QM 4225 kodlu kaplamalı karbür kesici takım kullanılmıştır. Kesici takımı bağla-

mak için PSBNR2525M12 kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Isı girdisini artırmak için ilerleme oranı (f) değerleri düşük alınmıştır. Kesme işleminde harcanan gücü (P_c) belirlemek için Şekil 11’ de verilen üç fazlı güç ölçer sistemi kullanılmıştır. Güç verileri Ethernet bağlantısı kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 11. Deneylerde kullanılan enerji ölçer sistemi pano görünümü

Torna tezgahında ölçülen güç tezgâhın harcadığı toplam gücü ifade etmektedir. Torna tezgâhının harcadığı gücün bir kısmı ayna devri ve otomatik ilerleme gibi mekanik hareketler için harcanmaktadır. Kesici takım talaş kaldırmaya başladığında bu güçten başka ilave bir güce ihtiyaç vardır. Kesme işleminde harcanan güç (P_c), kesmeye başladıktan sonra ölçülen güç değeri ile kesmeye başlamadan önceki güç değeri arasındaki farktan belirlenir. Torna tezgâhının, TIG kaynak makinesinin ve kesme işleminde harcanan güç (P_c) tüketimlerini gösteren grafikler Şekil 12 (a) ve Şekil 12 (b)’ de verilmiştir. P_c değerinin hesaplanmasına bir örnek verilecek olursa, kesme öncesi enerji ölçerde okunan güç tüketimi 3,25 kW’ dır, kesici takım kesmeye başladıktan sonra güç tüketimi 5,17 kW’ a çıkar, iki değer arasındaki fark alınacak olursa P_c değeri 1,92 kW olarak gerçekleşir. P_c değeri güç grafiğinde verinin stabil olduğu 5 saniyelik zaman dilimindeki güç verisinin aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir. TIG kaynak makinesinin harcadığı gücün tamamı ısıtma akımını oluşturmak için kullanılır. TIG kaynak makinesinin kaynak arkı oluşturmadan önce harcadığı sabit enerji miktarı çok düşük olduğu için dikkate alınmamıştır.



Şekil 12. AISI 4340 çeliği için güç ölçümleri ($V=275\text{m/dak}$, $f=0,11\text{ mm/dev}$) konvansiyonel işleme (a), IDİ (b)

Talaş kaldırma oranı (TKO) araştırmacılara ve imalatçılara kesme işleminin başarısı ile ilgili fikir vermektedir. TKO (cm^3/dak) kesme parametrelerinin (V , f , a_p) çarpımından elde edilen bir orandır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde TKO artışına bağlı gerçekleşen değişimler değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü cihazı kullanılmıştır. Talaşların fotoğrafları takım mikroskopunda 60 kat büyütülerek çekilmiştir.

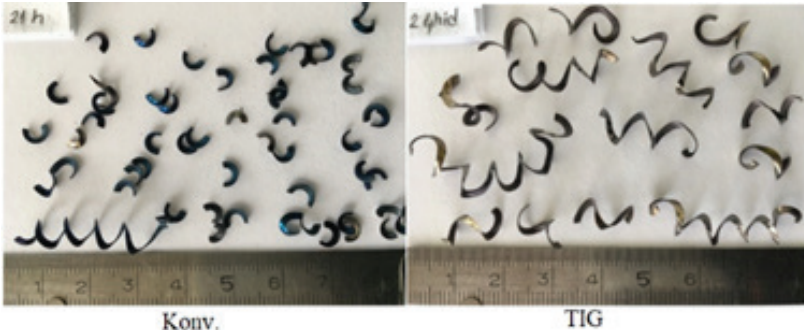
4.2. Bulgular

Tablo 6, kesme işleminde harcanan güç (P_c), yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ile bu değerlerdeki iyileşme oranlarını ve talaş kaldırma sıcaklıklarını (T_{mr}) göstermektedir. TIG tekniği kullanılan IDİ ile yapılan tüm işlemlerde talaş kaldırma sıcaklığındaki (T_{mr}) artışının etkisiyle iş malzemesinin akma dayanımı ve sertliği azalmıştır. Böylece konvansiyonel işlemeye kıyasla IDİ yönteminde kesme işleminde harcanan güç (P_c) daha düşük gerçekleşmiştir. IDİ yönteminde plastik deformasyonun kolaylaşması sayesinde aynı kesme şartlarında konvansiyonel işlemeye göre kesme işleminde harcanan güçte (P_c) %19,38 azalma sağlandığı görülmüştür. IDİ sayesinde daha düşük güçler kullanılarak aynı TKO değerinde talaş kaldırılmıştır. Talaş kaldırma sıcaklığında (T_{mr}) artış talaş oluşumunu kolaylaştırmış, böylece TIG tekniği kullanılan IDİ yönteminde daha düşük yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerlerinde IDİ yöntemi ile birlikte %17,63 azalma sağlanmıştır.

Tablo 6. Deneylerde elde edilen veriler

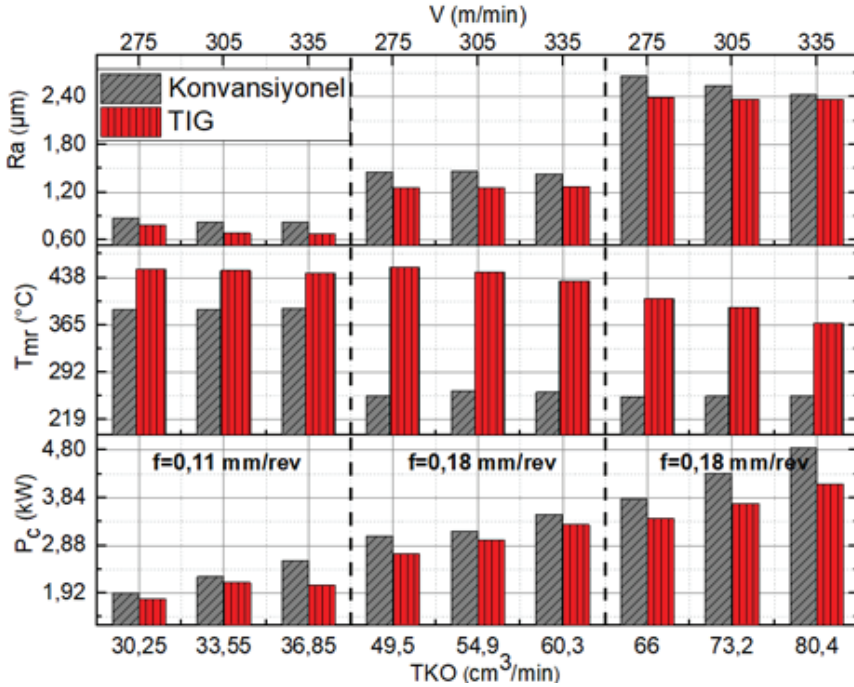
Deney No	V (m/dak)	f (mm/dev)	TKO (cm ³ /dak)	İşleme Yöntemi	T _{mr} (°C)	P _c (kW)	P _c % İyileşme	Ra (μm)	Ra % İyileşme
1	275	0,11	30,25	Konv.	388	1,92		0,871	
2				TIG	451	1,81	5,73%	0,787	9,64%
3		0,18	49,5	Konv.	256	3,07		1,454	
4				TIG	455	2,71	11,73%	1,254	13,76%
5	305	0,24	66	Konv.	255	3,81		2,655	
6				TIG	405	3,42	10,24%	2,388	10,06%
7		0,11	33,55	Konv.	389	2,25		0,827	
8				TIG	449	2,13	5,16%	0,684	17,29%
9	335	0,18	54,9	Konv.	263	3,16		1,459	
10				TIG	446	2,98	5,64%	1,261	13,57%
11		0,24	73,2	Konv.	255	4,33		2,542	
12				TIG	392	3,72	14,09%	2,371	6,73%
13	335	0,11	36,85	Konv.	390	2,57		0,817	
14				TIG	445	2,07	19,38%	0,673	17,63%
15		0,18	60,3	Konv.	261	3,5		1,432	
16				TIG	433	3,3	5,82%	1,268	11,45%
17		0,24	80,4	Konv.	256	4,85		2,429	
18				TIG	368	4,11	15,30%	2,366	2,59%

Bu çalışmada görüldüğü gibi düşük ilerleme oranında (f) daha yüksek ısı girdisi sağlanmaktadır. Düşük ilerleme oranında (f) yapılan işlemlerde, işleme süresinin uzaması ve buna bağlı olarak ısı girdisinin artması nedeniyle daha yüksek talaş kaldırma sıcaklıkları (T_{mr}) elde edilmiştir. Şekil 13’ de talaş kaldırma sıcaklığının (T_{mr}) kesme işleminde harcanan güç (P_c) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) ile ilişkisi açıklanmıştır. Konvansiyonel işlemlerde TKO arttıkça talaş kaldırma sıcaklığının (T_{mr}) düştüğü görülmüştür. Talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) arttıkça kesme işleminde harcanan güç (P_c) düşmüştür. Yüksek talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ve düşük kesme işleminde harcanan güç (P_c) değerlerinde daha hassas yüzeyler elde edilebilir. Düşük ilerleme oranı (f) değerlerinde daha yüksek talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ve daha düşük kesme işleminde harcanan güç (P_c) elde edilirken, yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

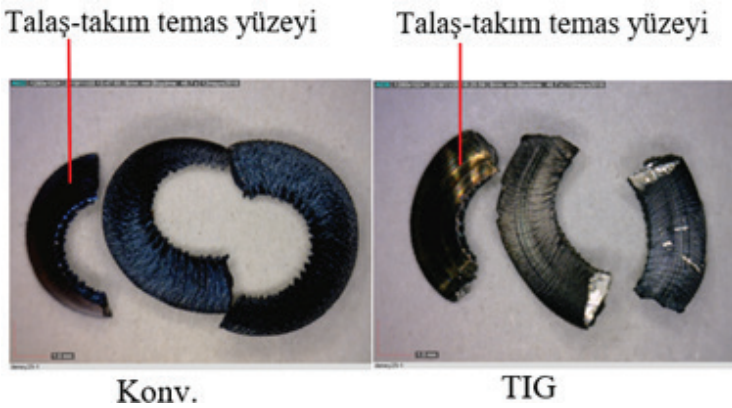


Şekil 13. Güç (P_c) ve sıcaklık (T_{mr}) değerlerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki etkisi

IDİ yönteminde, konvansiyonel işlemeye göre gerçekleşen sıcaklık artışı kesme işleminde harcanan güç (P_c) değerinin düşmesine neden olur. Talaş oluşumu buna bağlı olarak kolaylaşır. Şekil 14’ de IDİ yönteminde talaşın daha düz ve sürekli olma eğiliminde olduğu görülebilir. Şekil 15’ de konvansiyonel işlemede talaşların talaş-takım temas yüzeyinin meneviş renginde, TIG kullanılan IDİ yönteminde plastik deformasyon daha kolay gerçekleştiği için talaşların talaş-takım temas yüzeyinin daha metalik bir renkte olduğu görülebilmektedir.



Şekil 14. Talaş oluşumları ($V=305$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev)



Şekil 15. Talaş-takım temas yüzeyleri ($V=305$ m/dak, $f=0,24$ mm/dev)

TIG esaslı IDİ yönteminde ısınan talaşın düzleşmesi Şekil 16’ da gösterildiği gibi talaş kontrolünü zorlaştırır. Talaşın elektrot ile iş malzemesi arasına girmesi Şekil 17’ de verilen örnekteki gibi elektrot ucunun bozulmasına ve işlemenin yarım kalmasına neden olur. Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ve torcun doğru konumlandırılması bu olumsuzlukların azalmasını sağlayabilir. Yüksek sıcaklıktaki talaş ve uzun süreli kullanımlarda UV ışınları operatörü olumsuz yönde etkileyebilir. Bunlar, TIG esaslı IDİ yönteminin dezavantajlarıdır.



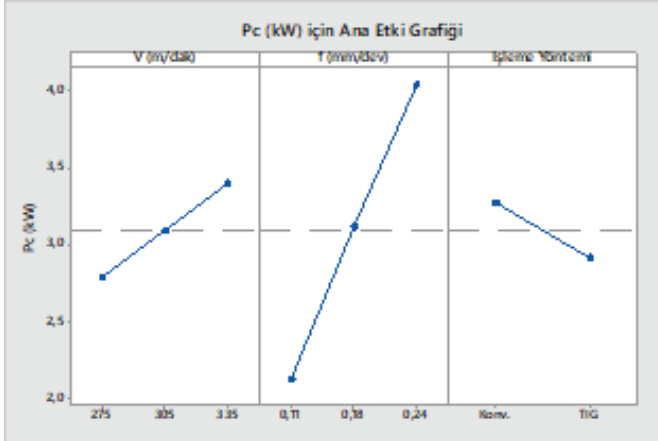
Şekil 16. Yüksek ısı nedeniyle talaş düzleşmesi



Şekil 17. Kısa devre nedeniyle bozulan elektrot ucu

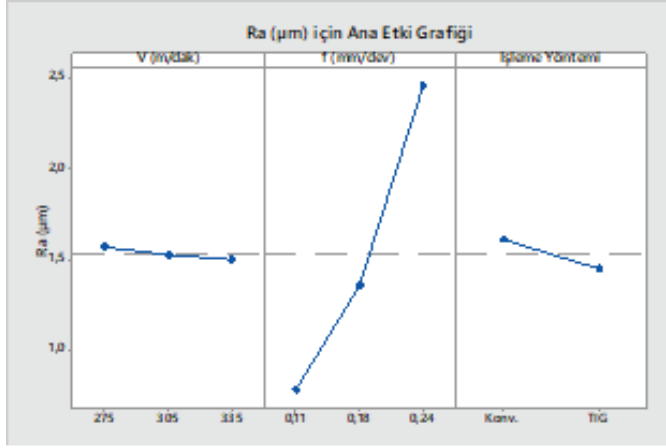
4.3. İstatistiksel Analiz

Şekil 18, işlem parametrelerinin kesme işleminde harcanan güç (P_c) üzerine etkilerini gösteren etki grafiklerini göstermektedir. Konvansiyonel işlemeye göre IDİ yönteminin kesme işleminde harcanan gücün (P_c) azalmasında etkili olduğu görülür. Daha yüksek akım şiddeti (Amper) değerlerinin kullanılması durumunda, kesme işleminde harcanan gücün (P_c) buna bağlı olarak önemli düzeyde düşeceği değerlendirilebilir. Kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) artışının kesme işleminde harcanan gücü (P_c) artırdığı görülür. Kesme işleminin doğası gereği kesme hızı (V) arttıkça kesme kuvveti düşer, ilerleme oranı (f) arttıkça kesme kuvveti artar. Grafikler, kesme işleminde harcanan güç (P_c) yönünden değerlendirilecek olursa ilerleme oranı (f) artışının daha etkili olduğu görülür. Kesme hızı (V) ve ilerleme oranı (f) arttığında işleme süresi kısalmır, dolayısıyla ısıtma süresi azalır. Buna bağlı olarak, TIG tekniği ile sağlanan ısı girdisi azalır.



Şekil 18. Deney parametrelerinin P_c üzerindeki etkisi

Şekil 19' da ki etki grafikleri işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerine etkilerini gösterir. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerinde en çok etkiye sahip olan parametre ilerleme oranıdır (f). Kesme hızının (V) etkisi ise önemsizdir. Bu grafiklerden, TIG esaslı IDİ yönteminin yüzey pürüzlülüğünü (R_a) düşürecek etkiye sahip olduğu söylenebilir. TIG esaslı IDİ yönteminde daha yüksek akım şiddeti (Amper) değerleri kullanılması'nın yüzey pürüzlülüğündeki (R_a) iyileşmeyi artıracak değerlendirilebilir.



Şekil 19. Deney parametrelerinin Ra üzerindeki etkisi

Tablo 7' de verilen ANOVA tablosuna göre işlem parametrelerinin kesme işleminde harcanan güç (P_c) üzerindeki etki düzeyleri, sırasıyla ilerleme oranı (f), kesme hızı (V) ve işleme yöntemidir. Tablo 8' de verilen ANOVA tablosuna göre işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerine etkisi incelenecek olursa, etki düzeyi en yüksek parametrenin ilerleme oranı (f) olduğu bunu işleme yönteminin takip ettiği söylenebilir. Kesme hızının (V) Ra üzerindeki etkisi ise önemsizdir.

Faktörler	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
V (m/dak)	2	1,12	0,56	20,76	0,0001	8,57%
f (mm/dev)	2	11,01	5,50	204,72	0,0000	84,55%
İşleme Yöntemi (Konv. & TIG)	1	0,57	0,57	21,29	0,0006	4,40%
Hata	12	0,32	0,03			2,48%
Toplam	17					100,00%

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması

Tablo 7. P_c (kW) için ANOVA sonuçları

Tablo 8. Ra (μm) için ANOVA sonuçları

Faktörler	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	Katkı Oranı (%)
V (m/dak)	2	0,02	0,01	3,86	0,0507	0,17%
f (mm/dev)	2	8,76	4,38	2213,72	0,0000	98,28%
İşleme Yöntemi (Konv. & TIG)	1	0,11	0,11	57,72	0,0000	1,28%
Hata	12	0,02	0,00			0,27%
Toplam	17					100,00%

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada IDİ için alternatif bir enerji kaynağı olarak TIG tekniği kullanılmış, konvansiyonel işleme ve TIG esaslı IDİ deneyleri ile yöntemin uygulanabilirliği, avantajları ve dezavantajları araştırılmıştır. Tarama ve tam faktöriyel deney tasarımı yöntemlerine göre hazırlanmış deney planları çerçevesinde deneyler yapılmıştır. Çevrimiçi ölçümlerde kesme işleminde harcanan güç (P_c) ve talaş kaldırma sıcaklığı (T_{mr}) ölçülmüştür. Çevrimdışı ölçümlerde yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve talaş oluşumları incelenmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar tartışılmış ve istatistiksel analizi (ANOVA, etki grafikleri) yapılmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Yapılan çalışmalar, TIG tekniğinin IDİ için uygun bir enerji kaynağı olduğunu gösterir. Bu bakımdan, TIG tekniği, lazer ve plazmanın yanında, IDİ için kullanılabilecek alternatif bir enerji kaynağıdır.
- Yüzey sıcaklığı üzerine en çok etki eden parametreler, sırasıyla; akım şiddeti (I), ilerleme oranı (f) ve kesme hızıdır (V).
- TIG esaslı IDİ yöntemi konvansiyonel işlemeye göre kesme işleminde harcanan güçte (P_c) %19,38 azalma sağlar.
- İşlem parametrelerinin kesme işleminde harcanan güç (P_c) üzerindeki değişime etkisi, sırasıyla; ilerleme oranı (f), kesme hızı (V) ve işleme yöntemi şeklindedir.
- IDİ yönteminde ön ısıtmanın etkisiyle talaş oluşumu kolaylaşır. Plastik deformasyon daha kolay gerçekleştiği için IDİ yönteminde çıkan talaşların talaş-takım temas yüzeyleri daha parlak olur.
- Talaş oluşumunun kolaylaşması nedeniyle TIG esaslı IDİ yönteminde konvansiyonel işlemeye göre yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerinde %17,63'e varan iyileşme sağlanır.
- Yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerindeki değişime etki eden en önemli parametre ilerleme oranıdır (f). TIG esaslı IDİ yöntemi, yüzey pürüzlülüğünü (R_a) iyileştirecek düzeyde bir etkiye sahiptir.
- TIG esaslı IDİ yönteminde, kesme hızının (V) yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki etkisi önemsizdir.
- Yüksek sıcaklık nedeniyle talaşın düzleşmesi, uzun ve sürekli talaş oluşumu talaş kontrolünü zorlaştırır.
- Kesme derinliğinin (a_p) artırılması talaş düzleşmesi nedeniyle yaşanan sorunlar giderebilir ve bu sayede daha yüksek TKO değerlerinde kesme işlemleri gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Dandekar, C. R. ve Shin, Y. C. (2013). Experimental evaluation of laser-assisted machining of silicon carbide particle-reinforced aluminum matrix composites. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 66(1):1603–1610. doi: 10.1007/s00170-012-4443-2.
- Davami, M. ve Zadshakoyan, M. (2008). Investigation of tool temperature and surface quality in hot machining of hard-to-cut materials. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 2(10):240–44.
- Kainth, G. S. ve Chaturvedi, M. N. (1975). Theoretical investigation of temperature in hot machining. *International Journal of Machine Tool Design and Research* 15(4):241–56. doi: 10.1016/0020-7357(75)90014-1.
- Lajis, M. A., Amin, A.K.M.N., Karim, A.N.M., Radzi, H.C.D.M. ve Ginta, T.L. (2009). Hot machining of hardened steels with coated carbide inserts. 2(2):421–27.
- Lee, Y. H. ve Lee, C. M. (2019). A study on optimal machining conditions and energy efficiency in plasma assisted machining of Ti-6Al-4V. *Materials* 12(1):1–14. doi: 10.3390/ma12162590.
- Leshock, C.E., Kim, J.N. ve Shin, Y. C. (2001). Plasma enhanced machining of Inconel 718: Modeling of workpiece temperature with plasma heating and experimental results. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 41(6):877–897. doi: 10.1016/S0890-6955(00)00106-1.
- Luo, J., Ding, H. ve Shih, A. J. (2005). Induction-heated tool machining of elastomers - Part 2: Chip morphology, cutting forces, and machined surfaces. *Machining Science and Technology* 9(4):567–588. doi: 10.1080/10910340500398233.
- Makwana, R. ve Prajapati, H. (2014). Experimental investigation on effect of machining parameters on surface roughness in thermally assisted turning of mild steel. *International Conference on Multidisciplinary Research & Practice* 1(8):488–489.
- Navas, V. G., Arriola, I., Gonzalo, O. ve Leunda, J. (2013). Mechanisms involved in the improvement of inconel 718 machinability by laser assisted machining (LAM). *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 74(1):19–28. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2013.06.009.
- Opderbecke, T. ve Guiheux, S. (2009). TOPTIG: Robotic TIG welding with integrated wire feeder. *Welding International* 23(7):523–529. doi: 10.1080/09507110802543146.
- Shelton, J. A. ve Shin, Y. C. (2010). Experimental evaluation of laser-assisted micromilling in a slotting configuration. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 132(2):81–89. doi: 10.1115/1.4001142.
- Sun, S., Brandt, M. ve Dargusch, M. S. (2010). Thermally enhanced machining of hard-to-machine materials-A review. *International Journal of*

Machine Tools and Manufacture 50(8):663–80. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2010.04.008.

Uğraş, A. ve Kafkas, F. (2019). Isı destekli işlemede TIG tekniğinin uygulanabilirliği. *10 th International Congress on Machining*. Antalya. Sayfa: 69–75.

Uğraş, A. ve Kafkas, F. (2020). Sertleştirilmiş AISI 4340 çeliğin ısı -destekli işlenmesinde TIG tekniğinin uygulanabilirliği. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları* 1(2):40–48.

Uğraş, A. ve Kafkas, F. (2021). AISI 4340 çeliğinin ısı destekli işlenmesinde TIG tekniğinin uygulanabilirliği. *11th International Congress on Machining*. Virtual. Sayfa: 245–52.

Ukar, E., Lamikiz, A., López de Lacalle, L. N., Del Pozo, D. ve Arana, J. L. (2010). Laser polishing of tool steel with CO₂ laser and high-power diode laser. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 50(1):115–125. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2009.09.003.

Venkatesh, K.M., Kuppan, P., Senthil K.A., Ramesh K.K. ve John, R. J. (2014). Effect of laser scan speed on surface temperature, cutting forces and tool wear during laser assisted machining of alumina. *Procedia Engineering* 97(1):1647–1656. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.315.

Xu, W., Liu, X., Song, J., Sun, J. ve Zhang, L. (2013). Finite element simulation and experimental research on electric hot machining. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 66(1):407–415. doi: 10.1007/s00170-012-4335-5.



BÖLÜM 4

ELEKTROEĞİRME VE NANOFİBER TEMELLİ YÖNTEMLER İLE ENKAPÜLASYON UYGULAMALARI

Sercan DEDE^{1}, Mustafa DİDİN²*

1 Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Gıda Mühendisliği,
Hatay, Türkiye, 0000-0003-2049-9497.

2 Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği
Bölümü, Hatay, Türkiye. 0000-0001-8444-5725

*Sorumlu yazar: sdede@mku.edu.tr

1. Giriş

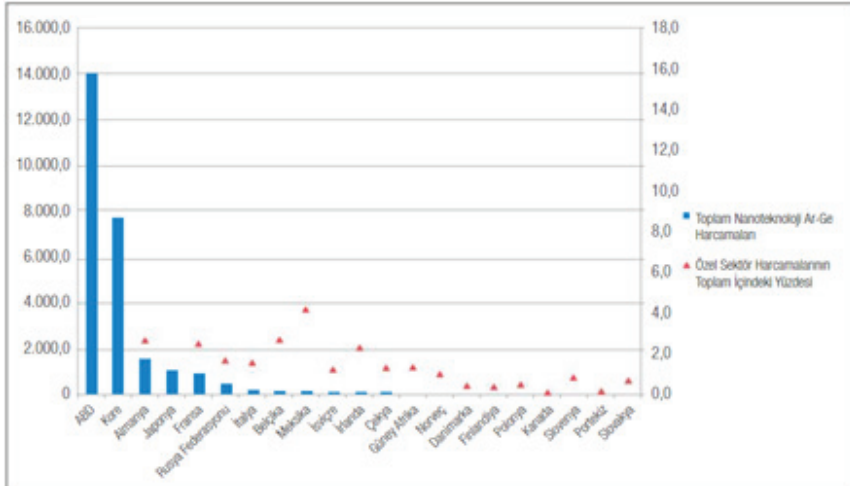
2000’li yıllara yaklaşırken araştırmalarına başlanmış olan nanoteknoloji, 100 nm kadarlık bir ölçekten daha küçük materyallerin incelendiği ve işlendiği bir bilim ve teknoloji alanıdır. ISO (International Organization for Standardization) nanoteknolojiyi; “nanoteknoloji, boyutla alakalı özelliklerin artırılabilirdiği nanoölçekteki materyalden yararlanma ve onun bilimsel kontrollü uygulamalarını kapsamaktadır.” şeklinde tanımlamaktadır. Malzeme bilimi ve mühendisliği, tıbbi ilimler, savunma sanayi, temiz ve yenilenebilir enerji, bilgisayar donanım teknolojileri, farmasötik ve kozmetik, çevre bilimleri ve gıda bilim ve mühendisliği gibi konularda yaygın olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir (Anonymous, 2014).

İlk olarak Richard Feynman, 1959’da atom ve molekülleri kastederek “orada daha çok yer var.” demesi nanoteknolojinin miladı olarak kabul edilmektedir. Daha sonra 1974’de Norio Taniguchi ilk nanoteknoloji terimini kullanmıştır. Sonrasında; Gerd Binnig ve Gerhard Rohrer’in 1981’de geliştirdiği taramalı tünelleme mikroskobu (STM); Eric Drexler’in 1986’da ilk defa basılan “Yaratma Makineleri” isimli nanoteknoloji kitabı ve aynı zamanda üretilen atomik kuvvet mikroskobu (AFM); Sumio Iijima’nın 1991’de karbon nanotüpü üretmesi ve sonrasında da NASA’nın nanoteknoloji üzerine çalışmalar başlatması ile bu alanın akademik dünyaya katılmasının öncülleri olarak ifade edilmektedir (Erkoç, 2007).

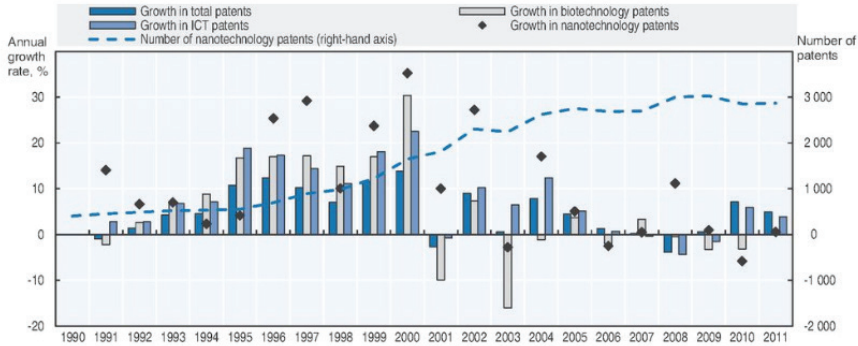
Nanoteknolojinin dünya genelinde sosyo-ekonomik yararları, istihdam olanakları, yüksek katma değere sahip tüketim malzemeleri üretebilme potansiyeli gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin eylem planlarında yerlerini almıştır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Japonya, Almanya, Fransa gibi gelişmiş ülkeler nanoteknolojiyi öncelikli alan olarak ilan etmiş ve bu alana, araştırma-geliştirme faaliyetleri için önemli derecelerde bütçeler ayırmışlardır (Anonim, 2018a). Başta ABD, 2000 yılında Ulusal Nanoteknoloji Girişimi (National Nanotechnology Initiative - NNI)’ni kurarak kurumsallaşmaya gitmiştir. Sonrasında 23 milyar dolarlık bir yatırımla kurulan Koordinasyon Ofisi bütçesi ile yüzlerce bilimsel çalışma, çalıştay, eğitim, patent gibi etkinliklerde bulunan kuruluşun Başkanlık bütçesinden 2013 yılında 1,8 milyar dolar, 2014 yılında 1,7 milyar dolar ayrıldığı, 2018 yılında ise ABD Federal Bütçesi’nden NNI için 1,2 milyar dolardan fazla bütçe ayrıldığı ifade edilmiştir (Anonymous, 2018b). 2007 yılında nanobilim alanını ulusal öncelikli alanlar statüsüne kazandırmak isteyen İsrail, 6 üniversitede gerekli altyapı çalışmalarını başlatmıştır. Devlet, üniversite ve özel kuruluşlar arasında oluşturulan bir üçlü destek programı ile İsrail Ulusal Nanoteknoloji Girişimini (Israel National Nanotechnology Initiative-INNI) kurmuşlardır. Hemen ardından onlarca bilim insanı bu çalışmalara katılmak adına İsrail’e gelmiş, yüzlerce yeni ve genç araştırmacı yetiştirilerek yüksek lisans ve doktora eğitimlerini bu alanda

tamamlamış ve binlerce bilimsel çalışma ortaya konmuştur. Son beş yılda 101 milyon dolarlık bir yatırımın temel ekipman ihtiyacı karşılığı kullanıldığı ve 45 milyon doların da yeni girişimlere yatırıldığı belirtilmiştir (Anonymous, 2018c). Sonrasında Avrupa Birliği (AB), 2011 yılındaki 4. Çerçeve Programı ile nanoteknoloji çalışmalarını desteklemeye başlamıştır. 2014 yılında Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) üyesi ülkeler de bu alanda planlı büyüme stratejilerini belirlemiştir. Nanoteknoloji alanına 2004 yılında ayrılan bütçe 8,6 milyar ABD Doları iken, 2010 yılında bu tutarın 13,8 milyar ABD Dolarına ulaştığı ifade edilmiştir. AB, Horizon 2020 çerçevesinde nanoteknoloji çalışmalarını da kapsayan “Kolaylaştırıcılar ve Endüstriyel Teknolojiler” alanına 13 milyar avrodan fazla bütçe ayırmıştır. Şekil 1’de 2016 yılında ülkelerin nanoteknoloji araştırılması ve geliştirilmesi için yaptıkları toplam harcamaları ve özel sektörün bu alandaki yatırımlarının toplam harcamaların yüzdesi gösterilmiştir (Anonim, 2018a). OECD raporlarına göre 1990-2011 yılları arasında nanoteknoloji çalışmalarının aldığı patentler ve nanoteknolojinin alt alanlarının gelişimi Şekil 2’de verilmiştir (OECD, 2016).

Dünyada nanoteknoloji üzerine çalışmalar yapan özel ve tüzel şirketler bulunmaktadır. Bir gıda şirketi olan Kraft, 1999’da ilk laboratuvarını kurmuştur. Ardından, Nanotek Konsorsiyumun 2000’de 15 üniversite ve ulusal araştırma laboratuvarı ile oluşturulması ile bu alanda ilkleri oluşturmaktadır (Chau ve ark. 2007). Kraft gibi Nestle ve Unilever de sonrasında gıdalarda aroma, lezzet, renk ve tekstürel karakteristikler üzerine nanokapsüllü içecekler, nanopartiküllü sürülebilir emülsiyon ürünler, cips, çikolata ve dondurma gibi ürünler üretme adına birçok nanoteknolojik yöntemi araştırmış ve yararlanmaya başlamışlardır (Süfer ve Karakaya, 2011).



Şekil 1. Ülkelerdeki Nanoteknoloji Ar-Ge Harcamaları ile Sektör Yatırımlarının Yüzdesi (OECD, 2016)



Şekil 2. Nanoteknoloji çalışmalarının 1990-2011 yılları arasında aldığı patentler

Türkiye’de 2003 - 2011 yıllarında kurulan nanoteknoloji Ar-Ge merkezlerine 244 milyon Amerikan doları harcanmıştır. Ayrıca nanoteknoloji temelli projeler ve firmalar devlet tarafından desteklenmişse de bu destek tutarı OECD ülkeleri ortalamasının altında kaldığı ifade edilmiştir. Dünyadaki gelişmeler göz önüne alındığında Türkiye’de özellikle son yıllarda kendine yer edinen Kamu/Üniversite/Sanayi işbirliği ile yapılan çalışmaların nanoteknoloji alanında yapılması oldukça önemlidir (Anonim, 2018a). Türkiye’de bu alanda kurulan bir diğer ulusal kuruluş ise Bilkent Üniversitesi bünyesinde, T.C. Kalkınma Bakanlığı (eski adı ile Devlet Planlama Teşkilatı) desteği ile kurulan Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM) olup, kurulduğu 2006 yılında bu yana toplamda 578 bir-tirme tezine katkıda bulunmuştur. Ulusal (78) ve uluslararası (75) ödüllere layık görülen kurumda 277 proje tamamlanırken, 110 patent ve 1500’den fazla SCI (Science Citation Index) yayın ortaya konulmuştur (Anonim, 2021).

Gıda sektöründe nanoteknoloji uygulamaları, makro boyuttaki karakteristiklerde modifikasyonlar sağlayarak, stabilite, işlenebilirlik, duyuusal ve tekstürel özelliklerde iyileştirme üzerine yoğunlaşmaktadır. Gıda ingredientleri ve katkıları üretimi, biyoaktif bileşen enkapsülasyon ve taşıma sistemleri ve yenilikçi, akıllı ve daha dayanıklı gıda ambalajları üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Dasgupta ve ark. 2015). Ayrıca nanoparçacıkların gıda ambalajlamada kullanımı ile mekanik, termal, kimyasal, mikrobiyal, fungal direnç sağlamış ve biyokimyasal değişimlere karşı duyarlılık özellikleri ile gıdanın tazeliğini korumaya yönelik gıda takip sistemleri geliştirilmiştir (Ranjana ve ark. 2014).

2. Nanomalzemeler

Nanomalzemelerin üretim şekli temelde ya ‘yukarıdan aşağı’ ya da ‘aşağıdan yukarı’ yapıldığından adlandırılması da bu iki şekildedir. Yuka-

rıdan aşağı üretim tekniği; daha çok ticari alanlarda kullanılan; makro boyuttaki molekül ve yapının ezilmesi, öğütülmesi, oyma-baskısı (etching) ya da taş-baskısı (lithography) gibi fiziki olarak parçalanması ile nano ölçekte parçacıkların elde edilmesidir. Aşağıdan yukarı üretim tekniği ise; daha yenice bir teknik olup atomik ölçekteki yapının kendiliğinde dizilimi ile daha makro boyutlu yapıların elde edilmesidir (Moraru ve ark. 2003; Föster ve Konrad, 2003; Sanguansri ve Augustin, 2006). Bu yöntemlerle oluşturulan nano ölçekteki malzemeler, daha geniş yüzey alanına sahip olarak daha fonksiyonel hale gelmektedir.

Nanoteknolojik çalışmalarla geliştirilen gıda ürünlerinde, geniş yüzey alanı ile yüksek su absorpsiyonu sağlanması, arzu edilen lezzet, aroma, renk ve tekstür sağlayıcı maddelerin istenildiği kadar tutulabilmesi ve yine bu yapıdan istenildiği kadar salımı, reaksiyonların katalizlenme hızlarının yükselmesi gibi birçok fonksiyonel özelliğe sahip olma potansiyelleri mevcuttur. Dahası, bu boyutlardaki sahip olunan potansiyeller ile ürünün kalitesinde de kontrol sağlanması çok olanaklı ve önemlidir (Sanguansri ve Augustin, 2006).

Nanokapsül, nanoemülsiyon, biyopolimer yapılı nanoparçacık, nanokompozit, nanotüp, nanosensör ve nanolif çeşitli amaç ve yöntemlerle gıda araştırmalarında kendine yer bulmuştur (Weiss ve ark. 2012). Ayrıca, nanokapsüle ilaçlar ve besin takviyeleri, gıdalarda ve ilaçlarda yüksek biyoyararlılık sağlanması gibi fonksiyonel olarak (Pray ve Yaktine, 2009; Weiss ve ark. 2012); üretiminde 20-200nm damlacık boyutunda nanoemülsiyonların kullanıldığı sistemler ile besinsel öğelerin ve biyoaktif bileşiklerin vücutta kontrollü salımının sağlanması mümkün olmaktadır (İlyasoğlu ve El, 2010). Nanokompozitler, daha çok ambalaj materyallerinin ısı/mekanik karakteristiklerini geliştirmekte kullanılmaktadır. Bu sayede ambalaj içerisine gaz, ultraviyole, nem ve uçucu karakterdeki lezzet ve aromatik bileşenlerin geçişini sınırlamaktadır (Weiss ve ark. 2012). Gıdalarda istenilmeyen patojenik karakterli mikro/makro organizmalar ile kimyevi bileşenlerin daha çabuk tespiti için nanosensörler kullanılmaktadır (Pray ve Yaktine, 2009).

Gıda endüstrisi bazında bakıldığında; titanyumdioksit, nanoölçekte ambalajlama ve depolama prosesinde antimikrobiyel katkı olarak kullanılmaktaydı. Ancak Avrupa Komisyonu, bu maddenin DNA hasarı başlatarak kansere neden olabilecek bir gıda katkı maddesi olarak değerlendirildiğini ifade ederek kullanımını Ocak, 2022'de yasakladı. Gümüş nanopartiküllerin paketlenme ve depolama süreçlerinde, buzdolapları, et tahtası gibi malzemelerde antimikrobiyal amaçlı kullanılması; çinko/çinkooksit kullanımı ile yine gıdaların ambalajlarına antimikrobiyal özellik kazandırılması, silisyum ve karbon nanoparçacıkların ambalajlara mekanik/ısı direnç sağlaması; platin ve altın nanoparçacıkların biyolojik na-

nosensör olarak kullanılması görülen bazı örneklerdir (Sm ve Elneşwy, 2010). Bunların dışında; nanokapsüllü orkinos balık yağları (omega 3 yağ asidi kaynağı), kolesterolün kana geçişini önleyen nanoparçacıklı kanola yağları; yüksek sıcaklıklarda erimeme özellikli titanyum kaplanmış çikolatalar; daha yüksek vitamin alımını sağlayan meyve suları; omega-3 yağ asitli ekmek ve selenyum alımını artırmaya yararlı çay gibi örnekler de mevcuttur (Sekhon, 2010).

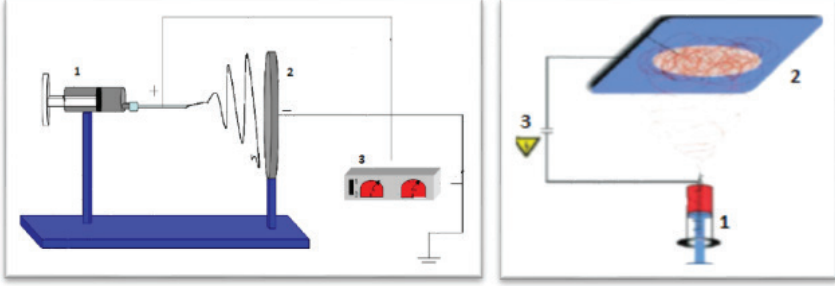
3. Nanolifler ve Elektroeğirme

Reneker ve arkadaşarı 90'larda elektroeğirme isimli yöntemle mikro/nano ölçeklerde sürekli lif materyalleri elde etmişlerdir. Böylece bu teknikle gerçekleştirilen araştırmalar da gitgide artma eğilimine girmiştir (Reneker ve Chun, 1996). Çapları nanometre ölçeğinde değişkenlik gösteren nanoliflerin seramik, elektronik, sensör, doku bilimi ve mühendisliği, biyoloji ve tıp gibi alanlarda oldukça geniş kullanımı mevcuttur (Loh ve ark. 2010). Nanoliflerin ziraat ve gıda endüstrisi dahilinde ise son zamanlarda yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır (Sozer ve Kokini, 2008).

Elektroeğirme yöntemi, nanometreden mikrometrelere kadar çaplarda lif üreten; elektrostatik güç yardımıyla polimer solüsyon, eriyik ya da emülsiyon gibi akışkanları ince jetlere çeviren lif oluşturma teknolojisidir (Reeneker ve Chun, 1996). Elektroeğirme tekniğinin ilk kez kullanımı 1897'de Lord Rayleigh'in polimer damlasını bu yöntemle takip ederek damlanın gösterdiği düzensiz hareketleri incelemesiyle başlamıştır. 1902'de John F. Cooley bu alanda ilk patenti ABD'de almıştır (Andrady 2008; Weiss ve ark. 2012). İlk olarak 1934'de A. Formhals tarafından patenti alınan bu tekniğin tarihi 1745 yılından günümüze kadar devam etmektedir (Formhals, 1934; Reeneker ve Chun, 1996). Sir Geoffrey Taylor, 60'lı yıllarda elektrik alanında hareketlenen polimer jetlerinin teorik prensiplerini ortaya koyarak; elektrik alan şiddetinin polimer çözeltisinin yüzey gerilimine eşit olduğunda konik bir yapının enjektör ucunda oluşacağını ve bu yapının $49,3^\circ$ 'lik bir yarım açığa sahip olduğunu tespit etmiştir (Andrady, 2008).

Elektroeğirme tekniği, diğer nanolif üretim tekniklerine göre oldukça kolay, ucuz ve basit kurulumu sahip olmasının yanı sıra, bu teknikle üretilen nanoliflerin kullanım alanları da oldukça geniştir (Okutan ve ark. 2014). Temelde enjektör ucunda yer alan polimerin damlacığı ile toplayıcı plaka arasına uygulanan bir elektrik alan şiddetinin polimerin yüzey gerilimini aşması ile jetler oluşmaya ve toplayıcı plakaya doğru uzanmaya başlar. İlerledikçe oluşan ince ve uzun jetlerin sahip oldukları yükleri ise kararsız bükülmelere yol açar. Jetler, toplayıcı plakaya ulaşır lif halini alana dek uzar ve incilir (Ponhan ve Maensiri, 2009). Elektroeğirme tekniği ile üretilen lifler, çok gözeneklilik, birim kütleye geniş yüzey alanı, yük-

sek gaz geçirgenliği gibi birçok özellik göstermektedir (Şekil 3; Saeed ve Park, 2010).



Şekil 3. Yatay (solda) ve Dikey (sağda) Elektroegirme düzeneği basit gösterimi (1: Besleme çözeltisi; 2: Toplayıcı plaka; 3: Yüksek voltaj; Kaynak: Kozanoğlu, 2006)

Elektroegirme tekniğinde etkili olan başlıca, işlem parametreleri (elektrik alan şiddeti, toplayıcı plaka mesafesi, debi), çözelti parametreleri (konsantrasyon, viskozite, yüzey gerilimi, elektriksel iletkenlik, dielektrik özellikleri) ve ortam parametreleri (sıcaklık, nem, basınç) etkilidir (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Deitzel ve ark. 2001; Liu ve ark. 2010; Theron ve ark. 2004; Ying ve ark. 2005; Weiss ve ark. 2012). Çözelti konsantrasyonunun minimuma yakın bir uygun değeri vardır. Konsantrasyon arttıkça oluşan lif çapı da tek düzelik de artar (Deitzel ve ark. 2001; Bhardwaj ve Kundu, 2010; Weiss ve ark. 2012). Düşük yüzey gerilimi topaksız oluşumunu sağlasa da tüm düşük yüzey gerilimine sahip çözeltilerden lif oluşamayabilir. Zira Taylor konisinin oluşabilmesi için, uygulanan elektrik alan şiddetinin çözeltinin yüzey gerilimini aşması gerekir. Çözelti yüzey gerilimi arttıkça elektrik alan şiddeti de bu nedenle artırılmalıdır. Genelde elektrik alan şiddeti arttıkça, jetin elektrostatik itici kuvvetlerinin de artmasıyla lif çapı küçülür. Ancak voltaj çok fazla yükseldiğinde, çok fazla püskürtme olacağından hem lif çapında artış olur hem de topak oluşumu söz konusu olacaktır. Taylor konisi oluşuktan sonra oluşan jetin uzayarak toplayıcıya gitmesini sağlayan temel etken Coulombic kuvvettir (Andrady, 2008; Bhardwaj ve Kundu, 2010; Weiss ve ark. 2012). Çözeltinin sahip olduğu minimum elektriksel iletkenlik sayesinde, çözelti toplayıcı plakaya doğru harekete geçmektedir. Coulombic kuvvete tam tersi yönde oluşan kuvvet ise viskoelastik kuvvettir. Viskoelastik kuvvet, genelde viskozite arttıkça artar, haliyle lif çapı ve tekdüzeliğin de artışına sebep olur. Bu nedenle çok viskoz çözeltilerden de jet oluşumu mümkün değildir. Aksi şekilde viskozitesi çok düşük olan çözeltilerden de jet oluşamaz. Kurulum aşamasında ayarlanabilen bir diğer etkili faktör ise debi (mL/dk) olup, debi düşük ol-

duğunda jet oluşumu zorlaşmakta, hatta bazen oluşamamakta iken; debi yüksek olduğunda aynı yüksek voltaj durumunda olduğu gibi püskürtmeden dolayı topak oluşumu söz konusu olacaktır. Bu nedenle besleme hızı ile jet oluşum hızının aynı olduğu debi en ideal orandır (Deitzel ve ark. 2001; Bhardwaj ve Kundu, 2010; Ratanavaraporn ve ark., 2010; Weiss ve ark., 2012).

Andrady (2008), elektroegirirmede etkili olan kuvvetleri aşağıdaki gibi açıklamıştır:

Yer çekimi kuvveti (F_G): Çözelti yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. $F_G = \rho \pi r^2 g$, eşitlikte r elektriksel alandaki damla yarıçapını, ρ çözeltinin yoğunluğunu ve g ise yerçekimi ivmesini göstermektedir. Yer çekimi kuvveti elektriksel alana ters yönde ve toplayıcı plakaya dik olarak etki etmektedir.

Elektrostatik kuvvet (F_E): Toplayıcı plakaya doğru jet oluşumunu sağlayan kuvvettir. Bu kuvvet uygulanan elektrik alana ve materyal özelliklerine göre belirlenmektedir.

Coulomb kuvveti (F_C): Polimer jetinin yüzeyinde oluşan, kararsızlık ve whipping (elektroegirme yönteminde en çok görülen kararsızlık) hareketini tanımlayan kuvvettir. Coulomb kuvvetinin büyüklüğü polimer ve çözücünün özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

Viskoelastik kuvvetler (F_V): Uygulanan elektriksel alan içindeki jetin uzamasına engel olan kuvvettir. Viskoelastik kuvvetler kullanılan polimerin molekül ağırlığı, çözücüye, polimer çeşidine ve ilave edilen diğer maddelere göre değişiklik göstermektedir.

Yüzey gerilim kuvveti (F_S): Polimer jetinin uzamasına karşı oluşmaktadır. Yüzey gerilimi kuvveti kullanılan polimer, çözücü ve katkı maddelerine göre değişiklik göstermektedir. Bir de genellikle ihmal edilebilecek seviyede sayılan: *Sürtünme kuvveti*: Jetin yüzeyinde ve onu çevreleyen hava arasında oluşmaktadır.

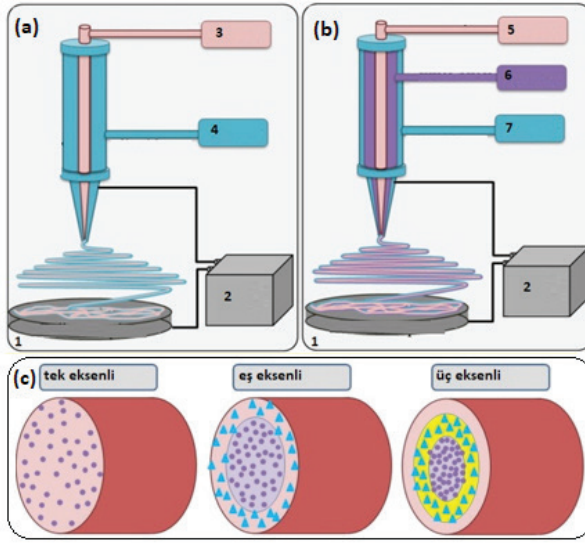
$$\text{Toplam Kuvvet } (F_T) = F_G + F_E + F_C + F_V + F_S$$

Nanolifler üretilirken sentetik ve doğal bir çok polimer kullanılmaktadır. Sentetik olanlar daha ucuz oluşu, kolay bulunuşu ve farklı fonksiyonel karakterleri sebebiyle tercih edilebilirken; poli(kaprolakton)/PCL, poli(glikolik asit)/PGA, poli(D,L – laktik asit)/PLA, poli(etilenoksit)/PEO ve poli(vinilasetat)/PVA en fazla kullanımı raporlanan polimerlerdir (Kriegel ve ark. 2008). Doğal polimerler kullanılarak da nanoliflerin üretilmesi ise sahip oldukları biyo-bozunabilme, hidrofil/hidrofob yapılar, tüketilebilir olmaları ve en önemlisi toksik olmamaları gibi özellikler sayesinde son zamanlarda artma eğilimindedir (Bhattarai ve ark. 2006). Elektroegirme

işlemi sıcaklığında (oda sıcaklığı) jelleşme ya da katılaşma eğilimine sahip polimerler seçilerek, başka polimerler ile akışkan hale gelene dek karıştırılıp sonrasında rahatlıkla elektro-eğirilebildiği ifade edilmiştir (Altay, 2011). Gıda uygulamalarında tercih edilen tüm materyaller arasında en çok kullanılanlar polisakkaritlerdir. Nişasta ve türevleri, membran olarak sıkça kullanılabilir. Ayrıca bitki ekstraktları, gamlar, pektinler ve çözülebilir soya ekstraktları; aljinat ve karagenan gibi deniz ekstraktları; dekstran, kitosan, ksantan ve jellan gibi hayvansal veya mikrobiyal polisakkaritler de kullanılabilir. Doğal ve modifiye polisakkaritler dışında süt ve peynir altı suyu proteinleri, kazeinler, jelâtin ve gluten gibi proteinler ve yağ asitleri, yağ asidi alkoller, vakslar, gliseritler ve fosfolipitler gibi lipidler de enkapsülasyon için uygundur. Bunların dışında kullanılabilen poli(vinilpropilen), parafin, şelaklar ve bazı inorganik materyaller gibi sentetik polimerler de mevcuttur (Kriegel ve ark. 2008; Wandrey ve ark. 2009). Tüm bu doğal polimerler arasında özellikle ve sıklıkla kullanılan: selülozun, kitosanın, aljinatın, kolajenin ve jelatinin başarıyla elektro-eğirilebildiği ve sonunda nanolif yapısında materyal üretilbildiği belirtilmiştir (Bhattarai ve ark. 2006).

Nanoliflerde boyut, kütle, yük, şekil, yapı ve kompozisyon gibi parametrelerle mikroskopik, spektroskopik ve spektrofotometrik birçok yöntemle karakterize edilebilirler (Dion ve ark. 2008). Çalışma sonucu elde edilen nanoliflerin fiziksel karakterizasyonlarında Transmisyon elektron mikroskobu (TEM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM), AFM, nano yapıları görüntüleme, bunların boyutları ve morfolojik özellikleri ile ilgili bilgi edinmek için sıklıkla kullanılırlar (Demir ve ark., 2002; Kriegel ve ark. 2009; Maretschek ve ark. 2008; Bhardwaj ve Kundu, 2010; Tarhan ve ark. 2010). Özellikle 100nm'nin altındaki parçacıkların boyut, şekil ve yapısal özellikleri SAXS (Small-Angle X-Ray Scattering-Küçük açı X-ışını saçınımı) analizi ile belirlenebilmektedir. XRD (X-ışını kırınımı) analizi de nanoparçacıkların atomik yapılarının karakterizasyonunda kullanılabilen bir tekniktir. Kütle spektrometrisi (MS) ile nano yapıların kütsel ve kompozisyonları anlamında tanımlamaları yapılabilmektedir. Ayrıca kimyasal karakterizasyonda Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR), Nükleer manyetik rezonans (NMR), sirküler dikroizm (CD), Dinamik ışık saçınımı (DLS) yöntemleri kullanılmaktadır (Bhardwaj ve Kundu, 2010; Tarhan ve ark. 2010).

Elektroeğirme tekniği kullanılan besleme akışkan türüne göre çözelti, emülsiyon veya süspansiyon kullanılarak enjektör kurulumuna göre tek eksenli, eş eksenli ve üç eksenli ya da iğnesiz (Şekil 4; Streckova ve ark. 2018) olabilmektedir. Ayrıca Çizelge 1'de elektroeğirme işlemi yapılan bazı çalışmalara örnekler verilmiştir.



Şekil 4. Çoklu eksenli elektroegirme şematik gösterimleri (a) eş eksenli, 1: toplayıcı plaka, 2: yüksek voltaj, 3: iç besleme, 4: dış besleme; (b) üç eksenli, 1: toplayıcı plaka, 2: yüksek voltaj, 3: iç besleme, 4: orta besleme; 5: dış besleme; (c) tek, eş ve üç eksenli nanoliflerin şematik gösterimleri (Kaynak: Khalf ve Madihally, 2017)

4. Elektroegirme işlemi ile yapılan bazı çalışmalar

Bu bölümde öncelikle elektroegirme işlemi ile yapılan bazı çalışmalara örnekler verilerek açıklanmış, sonrasında ise bu alanda yapılmış olan çalışmalar toplu halde, Çizelge 1’de sunulmuştur.

Pérez-Masiá ve ark. (2013), elektroegirme tekniği kullanılarak biyopolimerik matrislerde bir faz değişim materyalinin (dodekan) enkapsülasyonu amacıyla ve de akıllı gıda ambalajlama sistemlerinde kullanılmak üzere zein-bazlı ısı yönetim yapıları geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada hem tek eksenli hem de eş eksenli elektroegirme tekniği kullanılmış ve elde edilen sonuçlara göre dodekanın farklı koşullar altında, zein matrisi içinde enkapsüle edilebildiği belirtilmiştir. Tek eksenlide zein:dodekan oranını 90:10; 70:30; 50:50; 30:70 olarak ayarlarken faz değişim materyaline oranla % 10 (v/v) oranında emülsifiyer (Tween 20, Tween 80 veya Span 20) kullanıldığı; eş eksenlide ise %33’lük zein standart çözeltisini bir iğneden (0,9mL/h) verirken diğer iğneden dodekan (0,15 – 0,3 – 0,45 mL/h) olarak ayarlamışlardır. Tek eksenli elektroegirmede besleme çözeltisindeki dodekan miktarı arttıkça viskozitenin arttığı; yüzey geriliminin azaldığı; enkapsülasyon etkinliğinin azaldığı; eş eksenli elektroegirmede ise dodekan miktarı arttıkça lif çap dağılımının düzensizleştiği ancak daha etkin enkapsülasyon (yaklaşık %55 kadar) gerçekleştirilebil-

diği ve 25 J/g'da saklanabileceği belirlenmiştir. Sonuç olarak tek eksenlide zein içinde faz değişim materyalinin farklı polarite ve afinite eksikliği nedeniyle enkapsülasyonunun zor olduğu, ancak eş eksenlide daha rahat ve etkin bir enkapsülasyonun yapılabildiği belirtilmiştir.

Yu, H., ve ark. (2016), elektroëğirilmiş polyester/poilkarbonat nanoliflerin yapısal aktivite farklılıkları üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada üretilen lifler emülsiyon elektroëğirme tekniği ile üretilmiş olup Vancomisin hidroklorid (VCN) model ilacın taşıma sisteminde kapsül materyali olarak PCL ve poli(butilen karbonat) (PBC) kullanmışlardır. Ürettikleri nanolifleri fiziksel özellikleri ve kimyasal parçalanma/salım kinetiği gibi özellikler üzerinden değerlendirmişlerdir. Çalışma sonunda FESEM sonuçlarına göre homojen dağılımlı 283-993 nm çaplarında ve temas açısı sonuçlarına göre $130,2 \pm 5,1^\circ$ (PCL) ve $110,3 \pm 4,8^\circ$ (PBC) temas açılarında sahip nanolifler üretildiği tespit edilmiştir. Ayrıca FTIR analizleri ile de; PBC nin VCN ile yaptığı hidrojen bağlarının fazla olması, daha hidrofil yapıda olduğunu ve bu nedenle de daha hızlı degrade olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, bu çalışmada *in vitro* salım kinetiğinin özellikle ortam/tampon pH'sına ve bileşenlerin içerdiği kimyasal bağlara bağlı olduğunu vurgulamışlardır.

García-Moreno ve ark. (2017), balık yağı enkapsüle edilen pullulan elektroëğirilmiş liflerin oksidatif stabilitesini araştırmışlardır. Çalışmada, ağırlıkça %10-30 arası balık yağı içeren lifler üretilmiş ve yağların bu yapılarda boncuklar içinde toplandığı belirtilmiştir. Ayrıca eklenen balık yağı miktarı arttıkça Newtonyen davranış gösteren pullulan çözeltisi viskozitesinin de arttığı belirtilmiştir. %30 balık yağı içeren örneklerin daha yüksek oksidatif stabilite göstermelerine rağmen, %10 balık yağı içeren örneklerde yapıya δ -tokoferol ve biberiye ekstraktı eklenmesinden dolayı (EE: %88,5) nazaran daha düşük enkapsülasyon etkinliği (EE: 67,1) değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir.

Liu ve ark. (2017), antimikrobiyel uygulamalarda kullanılmak üzere farklı oranlarda (%1-1,5-2-2,5 v/v) tarçın esansiyel yağı kitosan nanoparçacıklara su içinde yağ emülsiyonu şeklinde ve iyonik-jelleşme yöntemi ile enkapsüle edip sonrasında elektroëğirme tekniği ile poli(laktik asit) içerisinde kompozit lif üretimi gerçekleştirmiştir. %1,5 esansiyel yağ içeren liflerin iyi stabilite gösterdiğini ve yağ salımının, Peppas denkleminde uygun şekilde sürekli ve düzenli bir salım kinetiğine sahip olduğunu, haliyle antimikrobiyal aktivitesinin diğer karışım oranlarına kıyasla daha iyi olduğunu belirlemişlerdir. Salım kinetiğinin tespitinde spektrofotometrik yöntemle gerçekleştirirken; FTIR ve SEM yardımıyla morfolojik karakterizasyonu; temas açısı analizi ile yapının hidrofilisitesini belirlemişlerdir. Çalışmada sürekli ve düzenli yağ salımı gerçekleşen tarçın esansiyel yağının, *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri üzerine uzun

sürelili inaktif edebilme yeteneğine sahip olduğu ve gıda ambalajlamada büyük potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır.

Işık ve ark. (2018), yüksek polifenol içeriği sayesinde birçok hastalığa karşı koruyucu etkilere sahip olan vişne suyunu, tek ve eş eksenli olarak akıllı bir polimer olan jelatin ve jelatin-laktalbumin içine enkapsüle ederek sıcaklık, pH, ışık ve oksijene oldukça duyarlı olan polifenollerin son üründe kalabilirliğini arttırmaya çalışmışlardır. Çalışmada kurulan simultane gastrointestinal sistemde gerçekleştirilen *in vitro* salım kinetiği sonuçlarına göre; yapılan enkapsülasyon işleminin normal vişne suyuna kıyasla sekiz kat daha fazla koruma sağladığı ifade edilmiştir. Ayrıca jelatinin laktalbumin ile beraber kullanılması ve eş eksenli elektroegirme tekniği kullanılması polifenollerin biyoerişimlerini daha da geliştirdiğini ifade etmişlerdir.

Kesici Güler ve ark. (2018), su içinde yağ emülsiyonu elektroegirme tekniği ile antibakteriyel polivinilpirolidone (PVP)/tarçın esansiyel yağı nanolifleri üretimi üzerine çalışmışlardır. Besleme çözeltisinde tarçın yağı ve sürfektan miktarı arttığında viskozitenin arttığı, lif çapının genellikle arttığı, ayrıca eğirilebilme yeteneği ve pürüzsüz lif oluşturabilme yeteneğinin belirgin şekilde arttığı ifade edilmiştir. FTIR analizleri ile nanolif içerisinde PVP ve tarçın yağı bulunduğu doğrulanmıştır. Antimikrobiyel (disk difüzyon tekniği) analizlere göre ağırlıkça % 2-3-4 oranında tarçın yağı içeren örneklerin *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, ve *Candida albicans* bakterileri üzerine iyi derecede antibakteriyel özellik gösterebildikleri, ancak *Pseudomonas aeruginosa* olan testlerde ve ayrıca ağırlıkça % 1 oranında tarçın yağı içeren örneklerde inhibisyon zonu oluşmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca antimikrobiyel testlerde kullanılan lif büyüklüğünün artırılması ile antibakteriyel aktivitenin de arttığı belirtilmiştir.

Mamidi ve ark. (2018), doku mühendisliği ve ilaç salımında kullanılmak üzere jelatin ve zein kompozitlerinden kuvvetle bükülmüş fiber hizalanmış iskele yapılar geliştirmek amacıyla 15 güne kadar kontrollü salım gerçekleştirilebilen sağlam ve hidrofobik karakterli yapılar üretmişlerdir. Ürettikleri yapıdaki jelatin ve zein arasındaki muhtemel moleküler etkileşimlerini FT-IR ile gözlemleyen araştırmacılar, tüm liflerde yer alan proteinlerde 1647 cm^{-1} frekansta amid I absorpsiyon bantlarının ve C=O gerilmelerini; 5138 cm^{-1} frekansta ise amid II ve C-N gerilmelerini tespit etmişlerdir. Ayrıca, yaklaşık 2958-2965 cm^{-1} frekansta ise alifatik grupların C-H gerilim titreşimlerinin absorpsiyon piklerini; 1448, 1410-1400, 1239 ve 1086 cm^{-1} frekanslarında ise proteinlerin N-H bükülmeleri ve C-N gerilmelerini belirlemişlerdir. 3100-3500 cm^{-1} frekansta ise N-H gerilme titreşiminden kaynaklı Amid A absorpsiyon pikini belirlemişlerdir. Bu durumun da zein ve jelatin arasında iyi karışabildiğini ve hidrojen bağlanması oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Moydeen ve ark. (2018), tüketilebilir yağ içinde çözünebilen bir model ilaç olan ciprofloksacin (Cipro) içeren PVA ve dekstran sülfat (Deks) karışımlarından oluşturulan emülsiyonları eş eksenli elektroegirme yöntemi ile nanolif üretiminde kullanmışlardır. 120°C gibi sıcaklıklarda su içindeki parçalanmalara karşı kullanılabilecek nanolifler için en uygun PVA/Deks karışımının belirlenmesi için termogravimetrik analizlerle (TGA) degradasyonu sıcaklıkları belirlenmiştir. Nitekim başlangıç karışımında Deks miktarı arttıkça, PVA-Deks arasında gerçekleşen moleküler etkileşimden dolayı başlangıç sıcaklığı ve ağırlık kaybı yüzdesinin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca Deks miktarının artması ile lif çapının da arttığı SEM görüntüleri ile; çekirdek-kabuk yapısının varlığı TEM görüntüleri ile; ilaç salımının önce düzenli ve sürekli gerçekleşirken sonrasında ilaç konsantrasyonundan bağımsız bir oranla Fickyan olmayan difüzyonla ilerlediği *in vitro* ilaç salım testleri ile tespit edilmiştir. Ancak beslemedeki Deks miktarının %10 olması halinde salımın Fickyan difüzyona; daha yukarı konsantrasyonlarda ise polimer aşınmasından dolayı Super Case II taşıma şekline dönüştüğü belirtilmiştir. Genel olarak bu nanoliflerde ilaç salımının Higuchi modeline uygun olduğu; difüzyon şeklinin ise en çok Korsmeyer-Peppas kinetik metoduna uyduğu belirtilmiştir. Çalışmada toksisiteyi önlemek amacıyla hiçbir organik çözücü kullanılmadığı; ayrıca ilaç taşımada kullanılan çekirdek-kabuk nanolif sistemleri üretimi açısından ucuz ve basit bir emülsiyon tekniği olabileceği belirtilmiştir.

Dede ve Lokumcu Altay (2019), yaptıkları çalışmada jelatin, Na-aljinat, polivinil alkol, laktalbümin veya ksantan zatkı kullanarak limonen uçucu yağını tek eksenli elektroegirme yöntemi ile enkapsüle etmiştir. Enkapsülasyon etkinliğinin en fazla PVA ile sağlandığını ifade eden araştırmacılar, 5,5; 20 ve 38,5 °C sıcaklıklarda limonenin salımının kinetiğini Peppas denklemi ile belirleyerek, yarı-Fickian difüzyon şeklinde ortama salındığını belirtmişlerdir.

Dede ve ark. (2022), yaptıkları çalışmada fesleğen yağını zein ve aljinat kullanılarak emülsiyon elektroegirme tekniği ile enkapsüle ederek 676-1429 nm çapında nanolif üretmişlerdir. Fesleğen yağında, GK-KS ile 14 adet uçucu bileşen bulunduğunu ve majör bileşen olan estragolün %33,06 bağıl orana sahip olduğunu, belirlemişlerdir. SEM ile morfolojik, FTIR ile kimyasal karakterizasyonları, ayrıca üretilen nanoliflerin mekanik ve antimikrobiyal özelliklerini inceleyerek %20 oranında fesleğen yağı enkapsüle edilen liflerin diğer liflere kıyasla daha iyi antimikrobiyal ve mekanik özelliklere sahip olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca fesleğen yağının yapay mide ortamında *in vitro* salım kinetiğini inceleyerek Fickyan olmayan taşınım mekanizmasının hakim olduğunu ve taşınımın da difüzyon veya difüzyon-kırılım kontrollü ilerlediğini ortaya koymuşlardır.

Son not: Bu çalışma Sercan DEDE'nin Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında devam ettiği doktora tezi sırasında okuduğu ve incelediği akademik çalışmalardan yalnızca küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Yazar, bu süreç boyunca gösterdikleri fedakârlıklar ve emekler için Prof. Dr. Filiz LOKUMCU ALTAY ve Dr. Mustafa DİDİN hocalarına teşekkürü borç bilir.

Çizelge 1. Elektroçerme işlemi ile yapılan bazı çalışmalar

Yöntem	Beşleme tipi	Beşleme çözeltisi	Beşleme emülsiyonu		Yüzey aktif madde - (miktarı)	Beşleme özellikleri*	İşlem koşulları**	Elektroçerme örneğin Karakterizasyonu	Elde edilen nanofiberin özellikleri***	Kullanım alan(lar)ı	Kaynak
		Polymer Çözgen Karışım oranı	Kesikli faz	Süreklili faz	Karışım oranı						
Tek eksenli	Polimer çözeltisi	Jelatin	Asetik asit (20%, v/v)	7-20% (w/v)	Silyika içinde N6/SiO ₂ , makine yağı [21g N6/(80mL Formik asit+ 20mL Asetik asit)]+ yeterli miktarda SiO ₂ + %10 PVAc (w/v)	Sodyum Dodesil Sülfat (SDS) (%25)	35kV, 0.1 ml/h, 10 cm Oda koşullarında	FESEM, zeta potansiyel, difüzyon katsayısı	Pürüzsüz ve az boncuklu, 45.7-88.1 nm +3.4-22mV, 0.02-1.27 µm ² /sn	Kozmetik ilaç, tip	Okutan ve ark. 2014
Tek eksenli	Emülsiyon (O/W)		Kemik morfogenetik proteini (BMP-2)	PLGA (15% w/v)	Poli(vinil asetat) (PVAc)	-	30 kV, 0.18 mL/h, 8.8 cm, 25°C, %40 RH	FESEM, TEM, X-ışını saçınımı (XRD), Fourier Transform Kızıl ötesi spektroskopisi (FTIR)	170nm	Mikro filtrasyon (MF) membranı	Islam ve ark. 2017
Eş eksenli	Emülsiyon (W/O)		Kemik morfogenetik proteini (BMP-2)	Poli (laktik-ko-glikolik asit) (PLGA)/kloroform	Span 80 (75µl)	-	20 kV, 1.98 ml/h, 15 cm	TEM, SEM, FTIR, temas açısı	Pürüzlü ve şişmiş, 680 ± 130nm, 78.2 ± 2.1°	Kemik Doku Mühendisliği.	Wang, C. ve ark. 2017
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)		Damar endotelial büyüme faktörü	PLGA (15% w/v)	Span 80 (az miktarda)	-	+10, +20, -10 veya -20 kV	TEM, SEM,	<500nm	Damar Doku mühendisliği	Zhao, Q. 2017
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)		Brefeldin A (BFA) ve Paclitaxel (PTX)	PLGA/kloroform ve dimetil formamid (DMF) (5:1)	Span 80 (0.02 mL)	-	18 kV, 10 µL/min, 11 cm, 25°C	TEM, SEM,	Pürüzsüz ve tekdüze, 500-1100nm	Farmasötik ve biyomedikal uygulamalar	Liu, W. ve ark. 2015
			Ağırlıkça 0.5 % BFA + 1.0-12 Ağırlıkça % PTX								

Çizelge 1. (Devam) Elektroegirme işlemi ile yapılan bazı çalışmalar

Yöntem	Beşleme tipi	Polimer	Çözeltisi	Beşleme emülsiyonu	Yüzey aktif madde - (miktar)	Beşleme özellikleri *	İşlem koşulları *	Elektroegirilmiş örneğin Karakterizasyon u	Eilde edilen nanoliflerin özellikleri**	Kullanım alan(lar)ı	Kaynak
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)		Karışım oranı	Kitosan	-	30,13 mN/m	22 kV, 3 µL/min, 10 cm, 25°C, %72 RH	SEM, FTIR/Attenuated Total Reflectance (ATR), temas açısı	Pürüzsüz ve tekdüze, 274,15 ± 121 nm, 68,13°	Tip (Yanık tedavileri), Doku bilimi.	Pal, P. ve ark. 2017a
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)		Karışım oranı	Kitosan	-	30,13 mN/m	22 kV, 3 µL/min, 10 cm, Oda koşulları	TEM, SEM, FTIR/ATR, temas açısı	Pürüzsüz/ tekdüze ve pürüzlü boncuklu, 274,1±121nm, 72°	Tip (Yanık tedavileri), Doku bilimi.	Pal, P. ve ark. 2017b
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)			Peroksida z ve alkanin fosfataz	Tween 20 (%0,4)		12,5 kV, 25 ve 40 µL/min, 10-12 cm, Oda koşulları	TEM, SEM,	300-1300 nm	Tip, ilaç.	Frizzel, H. ve ark. 2017
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)			Lakkaz	F108 [(PEO) ₁₁₃ (PPO) ₅₀ (PEO) ₁₃] (PDLGA içinde Ağırlıkça %10)		10 kV, 1,5 mL/min, 15 cm, 25 ± 1°C, 20 ± 2% RH	FESEM,	Boncuksuz, Sürekli, 350 ± 20 nm	Sudan Bisfenol A ayrıştırma	Dai, Y. ve ark. 2016
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)			Sığır Serum Albumini (BSA)	Span 80 (Ağırlıkça %5)		16 kV, 1mL/h, 10 cm, Oda koşullarında	FESEM, XRD	Tekdüzelikli, 285-790nm	Doku bilimi.	Norouzi, M. ve ark. 2013

Çizelge 1. (Devam) Elektroğirme işlemi ile yapılan bazı çalışmalar

Yöntem	Beceleme tıpt	Beceleme çözeltisi		Beceleme emülsiyonu		Yüzey aktif madde - (miktar)	Beceleme özellikleri*	İşlem koşulları**	Elektroğirilmiş örneğin Karakterizasyonu	Elde edilen nanofillerin özellikleri***	Kullanım alan(lar)ı	Kaynak
		Polimer	Çözgen	Kesikli faz	Süreklili faz	Karışım oranı						
İğnesiz	Emülsiyon (W/O)			Izoforon	Poli akrilonitril (PAN) /DMF (IPDI)			-20kV- +20kV, 25 cm, Oda koşullarında	Optik Mikroskop, SEM, FTIR	Pürüzsüz, 144-3426nm	Kendini onaran kompozitler ve ilaç taşıyıcı sistemler	Zhou, X. ve ark. 2014
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)			Vancomycin hidroklorid (VCN) veya rhodamine B	PCL/DCM ve/veya PBC/DCM			14 kV, 2 mL/h, 14 cm, 25 °C, 40~50% RH	FESEM, konfokal lazer saçınım mikroskopu FTIR, (CLSM), FTIR, temas açısı,	Homojen dağılımlı tekdüze, 238-993nm, 130,2± 5,1°(PCL) ve 110,3±4,8°(PBC)	Kontrollü ilaç taşıyıcı sistemler	Yu, H. ve ark. 2016
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)			Trombosite bağlı büyüme faktörü -BB (PDGF-BB)	PCL/kloroform veya PEO/PCL (30/70 /kloroform)			20 kV, 3 mL/h, 20-50 cm, 25 °C, <50% RH	SEM, konfokal mikroskop, FTIR- ATR, ELISA,	0,4-7,2µm	Kemik Doku Mühendisliği	Briggs, T. ve ark. 2015
Tek eksenli	Polimer çözeltisi	Domiphen/Poli- L-laktik (PLLA)	DCM					15 kV, 1,5±0,2 mL/h, 50 cm, 25±2°C, 60±5% RH	FESEM, lazer taramalı konfokal floresans mikroskop (LSCFM), XRD, diferansiyel termal analiz (DTA), (HPLC-UV).	Lif yüzeyinde faz ayırından kaynaklı az mikro oyuk oluşumu, 462- 904nm	Kontrollü ilaç taşıyıcı sistemler	Wang, H. ve ark. 2018

Çizelge 1. (Devam) Elektroegirme işlemi ile yapılan bazı çalışmalar

Yöntem	Besleme tipi	Besleme çözeltisi	Besleme emilisiyonu		Yüzey aktif madde - (miktarı)	Besleme özellikleri*	İşlem koşulları**	Elektroegirilmiş örneğin Karakterizasyonu	Elde edilen nanofilmlerin özellikleri***	Kullanım alan(lar)ı	Kaynak
		Polimer	Çözgen	Kesikli faz	Süreklili faz	Karışım oranı					
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)			Poli etilen oksit (PEO)	Poli tetra floro etilen (PTFE) (%62 lik sulu çözeltisi)	PEO/PTFE= 0,09-0,12 w/w	-	15 kV, 0,5 mL/h, 15 cm	SEM, DSC, Elektrostatik kuvvet mikroskopu (EFM), FTIR, X-ışın fotoelektron spektroskopu (XPS), (AFM)	Boncaksuz, 1100±200 nm.	Zhao, P. ve ark. 2018
Tek eksenli	Emülsiyon (O/W)			PTFE (%62 lik sulu çözeltisi)	PEO	PTFE/PEO= 0,04-0,07-0,09-0,12 w/w		15 kV, 0,5 mL/h, 15 cm	SEM, DSC, (EFM), FTIR, fotoelektron spektroskopu (XPS), (AFM)	Boncuklu, 500-1100nm	Zhao, P. ve ark. 2018
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)			L-askorbik asit fosfat (ASP)/Poli etilen glükol (PEG)	PCL/DCM	Span 80 (%1,5 w/v)		16,5 kV, 10 mL/h, 14 cm	Faz kontrast mikroskopu, FESEM, UV-Vis spektrofotometre	1-5 µm.	Zhao, X. ve ark. 2014
Tek eksenli	Polimer Çözeltisi	ASP	PCL/DCM-DMF ve Metil alkol	%14 w/v PCL, DCM-DMF (7:3) ve DCM-Metanol (7:3) ile 4,2 mg/mL ASP				16,5 kV, 10 mL/h, 14 cm	Faz kontrast mikroskopu, FESEM, UV-Vis spektrofotometre	1-5 µm.	Zhao, X. ve ark. 2014

Çizelge 1. (Devam) Elektroegirme işlemi ile yapılan bazı çalışmalar

Yöntem	Besleme tipi	Besleme çözeltisi		Besleme emülsiyonu		Yüzey aktif madde - (miktarı)	Besleme özellikleri*	İşlem koşulları**	Elektroegirilmiş örnek karakterizasyonu	Elde edilen nanoliflerin özellikleri***	Kullanım alan(lar)	Kaynak
		Polimer	Çözgen	Kesikli faz	Süreklili faz	Karışım oranı						
Tek eksenli	Emülsiyon (W/O)			İpek fibron/ % 10 luk PCL/hekzaflozo (SF/HA)				15-20 kV, 1.5 mL/h, 12-15 cm,	FESEM, TEM, CLSM, FTIR, Temass açısı	Homojen ve heterojen dağınıklar, iyi faz ayrımı, 316-587nm, 14-94°	Doku Mühendisliği, hücre geçirgenliği	Li. L. ve ark. 2012
				PCL-SF/HA= 10: 0: 0; 5: 5: 0; 5: 5: 1; ve 5: 5: 2 (v/v).				CA: 15kV, CA-SiNPs: 20kV, 1.5 mL/h, 15 cm, 30°C, 30% RH	SEM, TEM, AFM, Kapiler porometresi, temas açısı,	CA: 217,4±65.2 nm, CA-SiNPs: 273,2±86.5 nm, Ortalama yüzey sertlikleri (Ra): PTFE/CA: 681 nm, PTFE/CA-SiNPs: 769 nm, Por - genişliği: PTFE/CA - 0,45 µm, PTFE/CA-SiNPs: 0,47 µm, PTFE/CA: 62,6±0,3° PTFE/CA-SiNPs: 39,9±0,4°		
Tek eksenli	Emülsiyon (O/W)			Selüloz asetat (CA) /2,5 mL aseton ve 15,5mL N-metil-2-pirolidon ve CA-Silika nano parçacıklar (CA-SiNPs)/								
İğnesiz	Polimer Çözeltisi	PVA, trietil fosfit, Ca-Mg nitrat	Sitrik asit					70-75 kV, 60%RH 80 °C/0,5 h + 600 ve 800°C 6 h (10 °C/min)	TG/DSC, SEM,	XRD,	Tip, Gıda, Hücre bilimi	Strečkova, M. ve ark. 2018
				(Ca+Mg)/P= 5:3, PVA= ağırlıkça %10								

Çizelge 1. (Devam) Elektroegirme işlemi ile yapılan bazı çalışmalar

Yöntem	Besleme tipi	Polimer	Besleme çözeltisi	Polimer Çözgen	Besleme emülsiyonu	Yüzey aktif madde - (miktarı)	Besleme özellikleri	İşlem koşulları*	Elektroegirtilmiş örneğin Karakterizasyonu	Elde edilen nanoliflerin özellikleri***	Kullanım alan(lar)ı	Kaynak
					Kesikli faz	Karışım oranı						
Tek eksenli	Emülsiyon (O/W)				Kateşin/Su = % 0,1 - 0,25 - 0,5 w/v PLGA/ kloroform = %10 w/v, 15 - 17 - 20 w/v, W/O= 1/8	Span 80 (% 0,2 w/v)		+15 kV/-2 kV, 10 µL/min, 15cm, 23 ± 2°C, <45% RH	Optik mikroskop, Reometre, SEM, STEM (taramalı geçirmeli elektron mikroskopu), FTIR, WAXS (Geniş X-ışını saçılımı)	Düşük kayma hızında Newtonyen akış davranışı, yüksek kayma hızında karışırma ile incelen özellikte emülsiyonlar Eğirme de düşük viskozite dolayısıyla boncuk oluşumu, WAXS ile kateşinin amorf yapısı, 1.93±0.56µm	Doku mühendisliği ve yaralama tedavilerinde	Ghitescu ve ark. 2018
Tek eksenli	Polimer Çözeltisi	PEG/PLGA	N-N-metasetanin/aseton/kloroform (3:5:2)					13-21 kV, 1-7 mL/h, 20 cm,	Viskozimetre, SEM, Teras açısı,	Akış davranış indeksine göre non-Newtonyen akış, 0.76-0.89 µm, 64±1,4-96=1,3°	Tip, Doku mühendisliği	Zhao, Y. ve ark. 2018
Tek eksenli	Polimer Çözeltisi	TiO ₂ /PVP (polivinil piroolidon)	Asetik asit ve 2-propanol					10-12-15 kV, 0,8 mL/h, 12 cm,	FTIR, Raman, SEM, TEM, Reometre	103-360 nm proses sabit boyunca viskozite.	Membran teknolojileri, doku mühendisliği, güneş pilleri,	Sadeghi, S.M. ve ark. 2018
					% 5 PVP							

**Besleme çözeltisi/emülsiyonu özellikleri sırasıyla: elektriksel iletkenlik: (mS/cm), yüzey gerilimi: (mN/m), viskozite (Pa.s),

**İşlem koşulları sırasıyla: uygulanan voltaj (kV), besleme debisi (mL/h), toplayıcı plakamın besleme ucuna mesafesi (cm), sıcaklık(°C), nem(% RH).

***Elde edilen nanoliflerin özellikleri sırasıyla: yapı, çap (nm), zeta potansiyel (mV), difüzyon katsayısı (µm²/sn).

KAYNAKLAR

- Ajallouecian, F., Tavanai, H., Hilborn, J., Donzel-Gargand, O., Leifer, K., Wickham, A. and Arpanaei, A. 2014. Emulsion Electrospinning as an Approach to Fabricate PLGA/Chitosan Nanofibers for Biomedical Applications. *BioMed Research International*, Volume 2014, Article ID 475280, 13 pages.
- Altay, F. 2011. Elektro üretim yöntemiyle elde edilen nano liflerin özelliklerine etki eden faktörler. *Dünya Gıda*, 2, 74-78.
- Andrady, A. L. 2008. *Science and technology of polymer nanofibers* (1st ed.). John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Anonymous, 2014. IFT International Food Nanoscience Conference: Proceedings. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 13, 190-228
- Anonim, 2018a. Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/09/20170919-23.pdf> Erişim Tarihi: 24.04.2018.
- Anonymous, 2018b. National Nanotechnology Initiative - NNI. <https://www.nano.gov/> Erişim Tarihi: 11.05.2018.
- Anonymous, 2018c. Israel National Nanotechnology Initiative - INNI. <http://www.nanoisrael.org/> Erişim Tarihi: 11.05.2018.
- Anonim, 2021. Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM). <http://unam.bilkent.edu.tr/> Erişim Tarihi: 04.09.2021.
- Bhardwaj, N. and Kundu, S. C. 2010. Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, 28, 325-347.
- Bhattarai, N. and Li, Z., Edmondson, D. and Zhang, M. 2006. Alginate-Based Nanofibrous Scaffolds: Structural, Mechanical, and Biological Properties. *Advanced Materials*, 18, 1463-1467.
- Briggs, T., Matos, J., Collins, G. and Arinzech, T.L. 2015. Evaluating protein incorporation and release in electrospun composite scaffolds for bone tissue engineering applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*: 103A: 3117–3127.
- Chalco-Sandoval, W., Fabra, M.J., Lopez-Rubio, A. and Lagaron, J.M. 2016. Development of an encapsulated phase change material via emulsion and coaxial electrospinning. *Journal of Applied Polymer Science*, 133, 43903.
- Chau, C. F., Wu, S. H. and Yen, G. C. 2007. The development of regulations for food nanotechnology. *Food Science & Technology*, 18, 269-280.
- Dai, Y., Yao, J., Song, Y., Liu, X., Wang, S. and Yuan, Y. 2016. Enhanced performance of immobilized laccase in electrospun fibrous membranes by carbon nanotubes modification and its application for bisphenol A removal from water. *Journal of Hazardous Materials* 317, 485–493.
- Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R. and Kumar, A. 2015. Nanotechnology in agro-food: From field to plate. *Food Research International*. 69. 381-400.

- Dede, S., & Lokumcu Altay, F. 2019. Nanofibre encapsulation of limonene and modelling its release mechanisms. *Acta Alimentaria*, 48(1), 56-64.
- Dede, S., Sadak, O., Didin, M., and Gunasekaran, S. 2022. Basil oil-loaded electrospun biofibers: Edible food packaging material. *Journal of Food Engineering*, 319, 110914.
- Deitzel, J. M., Keinmeyer, J., Harris, D., and Tan, N. C. B. 2001. The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, 42, 261-272.
- Demir, M. M., Yilgor, I., Yilgor, E. and Erman, B. 2002. Electrospinning of polyurethane fibers. *Polymer*, 43, 3303-3309.
- Dion, M., Luykx, A.M., Peters, R.J.B., Van Ruth, S.M. and Bouwmeester, H. 2008. A review of analytical methods for the identification and characterization of nano delivery systems in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 8231-8247.
- Erkoç, Ş. 2007. Nanobilim ve Nanoteknoloji. ODTÜ yayınları. Ankara. s:113. ISBN: 9789944344289.
- Formhals, A. 1934. Apparatus for producing artificial filaments from materials such as cellulose acetate. U.S. Patent 1975504.
- Föster, S. and Konrad, M. 2003. From self-organising polymers to nano and biomaterials. *J Materials Chem*, 13: 2671-2688.
- García-Moreno, P. J., Damberg, C., Chronakis, I. S., and Jacobsen, C. 2017. Oxidative stability of pullulan electrospun fibers containing fish oil: Effect of oil content and natural antioxidants addition. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(12), 1600305.
- Ghitescu, R.E., Popa, A.M., Schipanski, A., Hirsch, C., Yazgan, G., Popa, V.I., Maniura-Weber, K. and Fortunato, G. 2018. Catechin loaded PLGA sub-micron-sized fibers reduce levels of reactive oxygen species induced by MWCNT *in vitro*. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 122, 78–86.
- Hou, D., Wang, Z., Wang, K., Wang, J. and Lin, S. 2018. Composite membrane with electrospun multiscale-textured surface for robust oil-fouling resistance in membrane distillation. *Journal of Membrane Science* 546, 179–187.
- Işık, B. S., Altay, F., and Capanoglu, E. 2018. The uniaxial and coaxial encapsulations of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) concentrate by electrospinning and their *in vitro* bioaccessibility. *Food chemistry*, 265, 260-273.
- Islam, Md. S., McCutcheon, J.R., and Rahaman, Md. S. 2017. A high flux polyvinyl acetate-coated electrospun nylon 6/SiO₂ composite microfiltration membrane for the separation of oil-in-water emulsion with improved anti-fouling performance. *Journal of Membrane Science* 537, 297–309.
- İlyasoğlu, H. ve El, S. N. 2010. Nanoemülsiyonlar: Oluşumları, Yapıları ve Koloidal Salınım Sistemleri Olarak Gıda Sektöründe Kullanım Alanları. *Gıda Dergisi*, 35(2), 143-150.

- Kaltbeitzel, A., Friedemann, K., Turshatov, A., Schönecker, C., Lieberwirth, I., Landfester, K. and Crespy, D. 2017. STED Analysis of Droplet Deformation during Emulsion Electrospinning. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 1600547, 13s.
- Kesici Güler, H., Cengiz Çallıoğlu, F., and Sesli Çetin, E. 2018. Antibacterial PVP/cinnamon essential oil nanofibers by emulsion electrospinning. *The Journal of The Textile Institute*, 1–9.
- Khalf, A. and Madihally, S. V. 2017. Recent advances in multiaxial electrospinning for drug delivery. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 112, 1–17.
- Kozanoğlu, G.S., 2006. Elektrospinning yöntemiyle nanolif üretim Teknolojisi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kriegel, C., Arrechi, A., Kıt, K., McClements, D. J., and Weiss, J. 2008. Fabrication, Functionalization and Application of Electrospun Biopolymer Nanofibers. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 775-797.
- Kriegel, C., Kit, K. M., McClements, D. J., and Weiss, J. 2009. Nanofibers as carrier systems for antimicrobial microemulsions. Part I: fabrication and characterization. *Langmuir*, 25, 1154-1161.
- Kutzli, I., Gibis, M., Baier, S.K. and Weiss, J. 2018. Fabrication and characterization of food-grade fibers from mixtures of maltodextrin and whey protein isolate using needleless electrospinning. *Journal of Applied Polymer Science*, 135, 46328.
- Li, L., Qian, Y., Jiang, C., Lv, Y., Liu, W., Zhong, L., Cai, K., Li, S. and Yang, L. 2012. The use of hyaluronan to regulate protein adsorption and cell infiltration in nanofibrous scaffolds. *Biomaterials* 33, 3428-3445.
- Liu, Y., Ma, G., Fang, D., Xu, J., Zhang, H., and Nie, J. 2010. Effects of solution properties and electric field on the electrospinning of hyaluronic acid. *Carbohydrate Polymers*, 83, 1011-1015.
- Liu, W., Wei, J., Wei, Y. and Chen, Y. 2015. Controlled Dual Drug Release and *in vitro* Cytotoxicity of Electrospun Poly(lactic-co-glycolic acid) Nanofibers Encapsulated with Micelles. *Journal of Biomedical Nanotechnology* Vol. 11, 428–435.
- Liu, Y., Wang, S., Zhang, R., Lan, W., and Qin, W. 2017. Development of Poly(lactic acid)/Chitosan Fibers Loaded with Essential Oil for Antimicrobial Applications. *Nanomaterials*, 7(7), 194. doi:10.3390/nano7070194
- Loh, X. J., Peh, P., Liao, S., Sng, C., and Li, J. 2010. Controlled drug release from biodegradable thermoresponsive physical hydrogel nanofiber. *Journal of Controlled Release*, 143, 175-182.
- Mamidi, N., Romo, I.L., Gutiérrez, H.M.L., Barrera, E.V. and Elías-Zúñiga, A. 2018. Development of forcespun fiber-aligned scaffolds from gelatin–zein composites for potential use in tissue engineering and drug release. *MRS Communications*, 1 of 8.

- Maretschek, S., Greiner, A., and Kissel, T. 2008. Electrospun biodegradable nanofiber nonwovens for controlled release of proteins. *Journal of Controlled Release*, 127, 180-187.
- Moraru, C.I., Panchapakesan, C.P., Huang, Q., Takhistov, P., Liu, S. and Kokini, J.L. 2003. Nanotechnology: a new frontier in food science. *Food Technology*, 57(12): 24-29.
- Moydeen, A. M., Ali Padusha, M. S., Aboelfetoh, E. F., Al-Deyab, S. S., and El-Newehy, M. H. 2018. Fabrication of electrospun poly(vinyl alcohol)/dextran nanofibers via emulsion process as drug delivery system: Kinetics and *in vitro* release study. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116, 1250–1259.
- Norouzi, M., Soleimani, M., Shabani, I., Atyabi, F., Ahvaz, H.H. and Rashidi, A. 2013. Protein encapsulated in electrospun nanofibrous scaffolds for tissue engineering applications. *Polymer International*, 62(8), 1250–1256.
- OECD, 2016. https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/the-next-production-revolution_9789264271036-en#page162 Erişim Tarihi: 31.05.2018
- Okutan, N., Terzi, P. and Altay, F. 2014. Affecting parameters on electrospinning process and characterization of electrospun gelatin nanofibers. *Food Hydrocolloids* 39, 19-26.
- Pal, P., Dadhich, P., Srivas, P.K., Das, B., Maulik, D. and Dhara, S. 2017a. Bi-layered nanofibrous 3D hierarchy as skin rudiment by emulsion electrospinning for burn wound management. *Biomaterial Science*, 5, 1786-1799.
- Pal, P., Srivas, P.K., Dadhich, P., Das, B., Maulik, D. and Dhara, S. 2017b. Nano-/Microfibrous Cotton-Wool-Like 3D Scaffold with Core–Shell Architecture by Emulsion Electrospinning for Skin Tissue Regeneration. *ACS Biomaterials Science & Engineering* 3 (12), 3563-3575.
- Panzavolta, S., Gualandi, C., Fiorani, A., Bracci, B., Focarete, M.L. and Bigi, A. 2016. Fast Coprecipitation of Calcium Phosphate Nanoparticles inside Gelatin Nanofibers by Tricoaxial Electrospinning. *Journal of Nanomaterials* Volume 2016, Article ID 4235235, 7 pages.
- Pérez-Masiá, R., López-Rubio, A., and Lagarón, J. M. 2013. Development of zein-based heat-management structures for smart food packaging. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 182–191.
- Ponhan, W., and Maensiri, S. 2009. Fabrication and magnetic properties of electrospun copper ferrite (CuFe₂O₄) nanofibers. *Solid State Sciences*, 11, 479-484.
- Pray, L. and Yaktine, A. 2009. *Nanotechnology in Food Products*. National Academies Press, Washington, 1, 13-14.
- Ranjan, S., Dasgupta, N., Chakraborty, A.R., Samuel, S.M., Ramalingam, C., Shanker, R. and Kumar, A. 2014. Nanoscience and nanotechnologies in food industries: opprtunities and research trends. *J Nanopart Res.* 16(2464). p:1-23.

- Ratanavaraporn, J., Rangkupan, R., Jeerawatchai, H., Kanokpanont, S., and Damrongsakkul, S. 2010. Influences of physical and chemical crosslinking techniques on electrospun type A and B gelatin fiber mats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 47, 431-438.
- Reneker, D., and Chun, I. 1996. Nanometre diameter fibres of polymer, produced by electrospinning. *Nanotechnology*, 7, 216-223.
- Sadeghi, S.M., Vaezi, M., Kazemzadeh, A. and Jamjah, R. 2018. Morphology enhancement of TiO_2 /PVP composite nanofibers based on solution viscosity and processing parameters of electrospinning method. *Journal of Applied Polymer Science*, 135, 46337.
- Saeed, K., and Park, S. 2010. Preparation and characterization of multiwalled carbon nanotubes/polyacrylonitrile nanofibers. *Journal of Polymer Research*, 17, 535-540.
- Sanguansri, P. and Augustin, M.A. 2006. Nanoscale materials development - a food industry perspective. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 547-556.
- Sekhon, B. S. 2010. Food nanotechnology, An overview. *Nanotechnology Science and Applications*, 3, 1-15.
- Sm, A. and Elneshwy, A. 2010. Use of nanotechnology in food processing, packaging and safety. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, 10(6), 2719-2739.
- Sozer, N. and Kokini, J. F. 2008. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*, 27, 82-89.
- Streckova, M., Sopcak, T., Stulajterova, R., Giretova, M., Medvecky, L., Kovalcikova, A. and Balazsi, K. 2018. Needle-less electrospinning employed for calcium and magnesium phosphate coatings on titanium substrates. *Surface & Coatings Technology* 340. 177–189.
- Süfer, Ö. ve Karakaya, S. 2011. Gıda Endüstrisi ve Nanoteknoloji: Durum Tespiti ve Gelecek. *Gıda Bilimi ve Teknoloji Dergisi*, 9(6), 81-88.
- Tarhan, Ö., Gökmen, V. ve Harsa, Ş. 2010. Nanoteknolojinin Gıda Bilim ve Teknolojisi Alanındaki Uygulamaları. *GIDA*, 35 (3) 219-225.
- Theron, S. A., Zussman, E., and Yarin, A. L. 2004. Experimental investigation of the governing parameters in the electrospinning of polymer solutions. *Polymer*, 45, 2017-2030.
- Wandrey C., Bartkowiak A. and Harding S.E. 2009. Materials for Encapsulation In: Zuidam N.J., Nedovic, V.A. (Eds.) *Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing*, Springer: Dordrecht, The Netherlands, p. 31-100.
- Wang, C., Lu, W.W. ve Wang, M. 2017. Bicomponent Fibrous Scaffolds Made through Dual-source Dual-power Electrospinning: Dual Delivery of rh-BMP-2 and Ca-P Nanoparticles and Enhanced Biological Performances. *Journal of Biomedical Materials Research: Part A* 105(8), 2199-2209.
- Wang, H., Cui, Y., Wen, M., E, Y. and Cheng, B. 2018. Release behavior under proteinase K and existing position of Domiphen in its complexed poly-L

lactic acid micro-fibers electrospun from solution and W/O emulsion. *Journal of Industrial Textiles*, 0(00), 1-20.

- Weiss, J., Kanjanapongkul, K., Wongsasulak, S., and Yoovidhya, T. 2012. Electrospun fibers: fabrication, functionalities and potential food industry applications. In: Q. Huang (Ed.), *Nanotechnology in the food, beverage and nutraceutical industries* (1st ed.). Cambridge (UK): Woodhead Publishing Limited, 13, 362-397.
- Ying, Y., Zhidong, J., Qiang, L., and Zhicheng, G. 2005. "Controlling the electrospinning process by jet current and Taylor cone," CEIDP '05. 2005 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 453-456.
- Yu, H., Jia, Y. and Yao, C. 2016. An Investigation on the Structure-Activity Differences of Electrospun Polyester/Polycarbonate Nanofibers. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16, 6837-6846.
- Zhao, X., Lui, Y.S., Toh, P.W.J. and Loo, S.C.J. 2014. Sustained Release of Hydrophilic L-ascorbic acid 2-phosphate Magnesium from Electrospun Polycaprolactone Scaffold—A Study across Blend, Coaxial, and Emulsion Electrospinning Techniques. *Materials*, 7, 7398-7408.
- Zhao, Q., Lu, W.W: and Wang, M. 2017. Modulating the release of vascular endothelial growth factor by negative-voltage emulsion electrospinning for improved vascular regeneration. *Materials Letters* 193, 1-4.
- Zhao, P., Soin, N., Prashanthi, K., Chen, J., Dong, S., Zhou, E., Zhu, Z., Narasimulu, A.A., Montemagno, C.D., Yu, L. and Luo, J. 2018. Emulsion electrospinning of polytetrafluoroethylene (PTFE) nanofibrous membranes for high-performance triboelectric nanogenerators. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10 (6), 5880-5891.
- Zhao, Y., Zhu, J., Zhang, J., Chen, Z., Li, W., Deng, L., Chen, K., Wan, H., Li, J. and Li, R. 2018. Optimization of biodegradable PEG/PLGA nanofiber mats electrospinning process for anti-adhesion application. *Journal of Applied Polymer Science*, 135, 46282.
- Zhou, Z., Wu, X.-F., Ding, Y., Yu, M., Zhao, Y., Jiang, L., Xuan, C. and Sun, C. 2014. Needleless Emulsion Electrospinning for Scalable Fabrication of Core-Shell Nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*. 131, 40896



BÖLÜM 5

ANİ TABAN DÜŞÜLÜ ENERJİ KIRICILARDA OLUŞAN DALGA TİPİ AKIM KARAKTERİSTİKLERİ

Nihat EROĞLU¹

¹ Doç.Dr.Nihat EROĞLU, Gazi üniversitesi,Müh. Fak. İnşaat Müh. Böl.,
<https://orcid.org/0000-0003-2634-6977> , Email: enihat@gazi.edu.tr

Giriş

Enerji sönümleyicilerin ve düşü havuzlarının dizaynında temel amaç, hidrolik sıçramanın olası tüm kuyruk suyu derinliklerinde oluşabilmesini ve düşü havuzu içinde kalmasını sağlamaktır. Düşü havuzu girişine düşü yaparak veya düşü havuzu çıkışına eşik yaparak hidrolik sıçramayı kontrol altına almak sık kullanılan yöntemlerden birisidir.

Kuyruk suyu derinliğinin hidrolik sıçramanın konjuge derinliğinden büyük olduğu durumlarda boğulmuş hidrolik sıçrama oluşmasını diye ani taban düşüsü kullanılmaktadır. Ani taban düşüsü yapılmış olan düşü havuzlarında oluşan hidrolik sıçramalar yaklaşım Froude sayısına ve kuyruk suyu derinliğine bağlı olarak genelde A-jump veya B-jump formunda oluşur. Ancak deneylerde yapılan gözlemler dalga formunda bir üçüncü akım formunun olduğunu göstermektedir. Bu akım durumunda membadan gelen sel rejimindeki akım eşik üzerinden mansaba doğru duran bir dalga şeklinde bir form oluşturarak nehir rejimine geçmektedir.

Ani taban düşülerinde oluşan akımlara hidrolik sıçramada olduğu gibi bir boyutlu monemtum eşitliği uygulanabilir. Momentum eşitliğinde sürtünme kuvvetleri ihmal edilerek ani taban düşüsüne etki eden kuvvet tahmin edilebilir. Bu kuvvet farklı akım formlarının oluşmasında ana sebebidir.

Ani taban düşülerinde oluşan akımlarla ilgili literatürde bir çok araştırma mevcuttur. Bu araştırmaların bazıları ani taban düşülerine etki eden kuvvetin tahmin edilmesi, oluşan akım tiplerinin tariflenmesi, akım geometrisinin belirlenmesi, basınç ve hız değişimlerinin ölçülmesi, enerji sönümünün belirlenmesi ve kanaldaki diğer kesit değişimlerinin etkisinin belirlenmesi şeklindedir. Bu çalışmalarla ilgili kısa açıklamalar aşağıdaki bölümde yapılacaktır. Dalga Tipi Akım durumunda ani taban düşülerine etki eden kuvvetin belirlenmesi akımın oldukça eğrisel akım çizgilerine sahip olması nedeniyle oldukça zordur.

Ani Taban Düşülü Enerji Kırıcılar

Ani taban düşülü enerji kırıcılarda oluşan hidrolik sıçrama ve hidrolik sıçrama üzerinde oluşan saat yönünün tersindeki döngü kısmen ani taban düşüsü üstünde kısmen de ani düşüsü mansabında oluşabilir. Literatürde bu tür hidrolik sıçrama A tipi hidrolik sıçrama diye anılmaktadır. Eğer kuyruk suyu derinliği azaltılırsa hidrolik sıçrama mansaba doğru kayar ve hidrolik sıçramanın tamamı ve üzerindeki saat yönünün tersinde olan döngü ani taban düşüsünün mansabında oluşur. Bu tür hidrolik sıçrama ise B tipi hidrolik sıçrama olarak anılmaktadır. A ile B tipi hidrolik sıçrama arasında oluşan üçüncü bir akım tipi vardır ki duran dalga görünümünde olduğu için Dalga Tipi Akım olarak anılmaktadır. Bu akım tipinde de

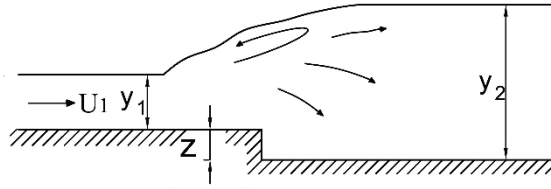
akım sel rejiminden nehir rejimine geçiş yapmaktadır. Ancak A ve B tipi hidrolik sıçramadan farklı olarak bu akım tipinde döngüsel akım saat yönünde ve Dalga Tipi Akımın altında oluşmaktadır. Literatürde bu konuyla ilgili yapılan çalışmaların kısa özeti aşağıda verilmiştir.

Moore and Morgan (1959) ani taban düşülerindeki akımları çalışan ilk araştırmacılarıdır. Ani taban düşülerinin yüzeyinde oluşan basınç dağılımlarını ve akım boyunca olan hız değişimlerini ölçmüşlerdir. A ve B tipi hidrolik sıçrama ve Dalga Tipi Akımların oluşabilmesi için kuyruk-suyu derinliğinin ve Froude sayısının alt ve üst sınırları belirlemişlerdir. Binnie (1975) ani taban düşülerinde oluşan hidrolik sıçramaları deneysel olarak çalışmıştır. Ani taban düşüsünün yüzeyindeki basınç değişimlerini ölçmüşler ve B tipi hidrolik sıçrama ile Dalga Tipi Akım arasında bir geçiş bölgesi olduğunu tespit etmişlerdir. Rajaratnam ve Ortiz (1977) ani taban düşülerinde oluşan B tipi hidrolik sıçramayı ve Dalga Tipi Akımları araştırmışlardır. Akım boyunca hız ve basınç değişimlerini ölçmüşler ve Dalga Tipi Akımın geometrik profilini belirlemişlerdir. Hager ve Bretz (1977) hem ani taban düşülerinde hem de ani taban eşiklerinde oluşan akım tiplerini çalışmışlardır. Yaptıkları deneylerde A tipi hidrolik sıçrama oluştuktan sonra eğer kuyruk suyu derinliği düşürülürse Dalga Tipi Akımın oluştuğunu, Ani taban düşüsü durumunda sel rejiminde gelen akımın mansaba doğru nehir rejiminde, ani taban eşiği durumundaysa akımın mansaba doğru sel rejiminde devam ettiğini göstermişlerdir. Tokyay ve Gür (1990) ani taban düşülerinde oluşan A ve B tipi hidrolik sıçramaları çalışmışlar ve B tipi hidrolik sıçrama durumunda ani taban düşüsünün yüzeyinde negatif basınç oluşabileceğini ve B tipi hidrolik sıçrama ile Dalga Tipi Akım arasında bir geçişli akım bölgesi olduğunu göstermişlerdir. Kawagoshi ve Hager (1990) ani taban düşülerinde oluşan Dalga Tipi Akımları çalışmışlardır. Dalga Tipi Akımların yüksekliği ve uzunluğu gibi geometrik özelliklerle ilgilenmişlerdir. Pagliara (1992) ani taban düşülerinde oluşan Dalga Tipi Akımların karakteristiklerini ve enerji sönümlemesini araştırmışlardır. Seetha Ram ve Prasad (1998) ani taban düşüsü ve genişlemesinin aynı anda olması durumunda oluşan akımların enerji sönümleme kabiliyetlerini ve hidrolik sıçramanın konjuge derinliklerini araştırmışlardır. Armenio vd. (2000) ani taban düşülerinde oluşan akımların altında ki basınç dağılımlarını ölçmüşlerdir. Ferreri ve Nasello (2002) ani taban düşüsü ve genişlemesi durumunda oluşan hidrolik sıçramaları çalışmışlardır. Mossa vd. (2003) ani taban düşülerinde oluşan akım tiplerinin kuyruk suyu derinliğiyle ilişkisini araştırmışlardır. Düşü havuzu dizaynı için bazı tavsiyelerde bulunmuşlar ve dizayn için grafikler önermişlerdir. Tokyay vd. (2008) bir boyutlu Saint-Venant eşitliğini kullanarak yatay bir kanalda oluşan B tipi hidrolik sıçramaları analiz etmişlerdir. Tokyay ve Altan-Sakarya (2011) ani taban düşüsü ve eşiği ol-

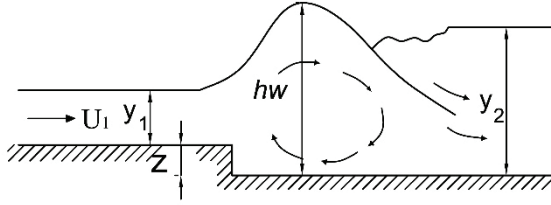
ması durumunda nehir rejimi akımlardaki enerji kayıplarını çalışmışlar ve enerji kaybını hesaplayabilmek için ampirik eşitlikler önermişlerdir. Eroğlu ve Tokyay (2012) ani taban düşülerinde oluşan Dalga Tipi Akımların geometrik özelliklerini istatistiksel olarak araştırmışlar ve Dalga Tipi Akımların geometrik özellikleri belirleyebilmek için ampirik formüller önermişlerdir. Viero ve Defina (2017) sel rejimi bir akım bir engele yaklaşırken oluşan histeriyi araştırmışlardır. menba ve mansap şartlarındaki değişimin histeri oluşumunda farklı sonuçlar doğurduğunu belirlemişlerdir. Eroğlu ve Taştan (2020) ani taban düşülerinde oluşan hidrolik sıçramalardan kaynaklı enerji kayıplarını araştırmışlar ve enerji kaybını yaklaşım kanalı Froude sayısı ve relatif eşik yüksekliği cinsinden ifade etmişlerdir.

Ani Taban Düşülerindeki Dalga Tipi Akımlar

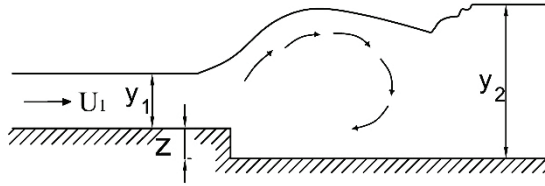
Enerji kırıcı havuzlarda, kuyruk suyu derinliği hidrolik sıçrama için gerekli olan konjuge derinlikten büyük olduğunda, hidrolik sıçrama mansaba doğru hareket eder ve düşü havuzunun ve hidrolik sıçramanın enerji sönmüleme verimliliği azalır. Boğulmuş hidrolik sıçramayı engellemenin tek yolu düşü havuzu girişine taban düşüsü yapmaktır. Fakat yapılan deney göstermiştir ki, taban düşüsü kullanıldığı zaman, düşü havuzunda Şekil 1 de görülen dört farklı akım oluşabilmektedir. Bu akım formlarının oluşması mansap Froude sayısına, yaklaşım kanalı su derinliğine göre göreceli kuyruk suyu derinliğine ve düşü yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Şekil 1 deki y_1 and u_1 sırasıyla yaklaşım kanalı su derinliği ve hız şeklindedir. Buradaki y_2 kuyruk suyu derinliğini, z ise düşü yüksekliğini göstermektedir.



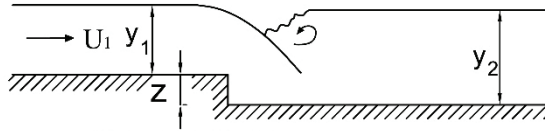
a) A-tipi hidrolik sıçrama



b) Dalga-tipi akım(maksimum dalga)



c) Yukarı yönlü jet (minimum dalga)



d) B-tipi hidrolik sıçrama

Şekil 1. Ani taban düşülerindeki akım tipleri

Bilinen bir menba Froude sayısı F_1 ve göreceli kuyruk suyu derinliği $Y=y_2/y_1$ için, düşünün epey mansap tarafında başlayan ve sonlanan bir hidrolik sıçramayı dikkate alırsak, ani taban düşüsünün böyle bir hidrolik sıçramaya hiç bir etkisi olmayacaktır

Ancak, göreceli kuyruk suyu derinliği Y yi arttırsak, hidrolik sıçrama menbaya ve düşüye doğru ilerlemeye başlayacaktır. Hidrolik sıçrama düşünün olduğu yere ulaştığında ise hidrolik sıçrama düşüden dolayı menbaya daha fazla ilerleyemeyecektir ve hidrolik sıçramanın üzerinde oluşan ve saat yönünün tersinde dönen döngüsel akımı düşü önünde oluşacaktır. Bu hidrolik sıçrama B tipi hidrolik sıçrama olarak anılmakta-

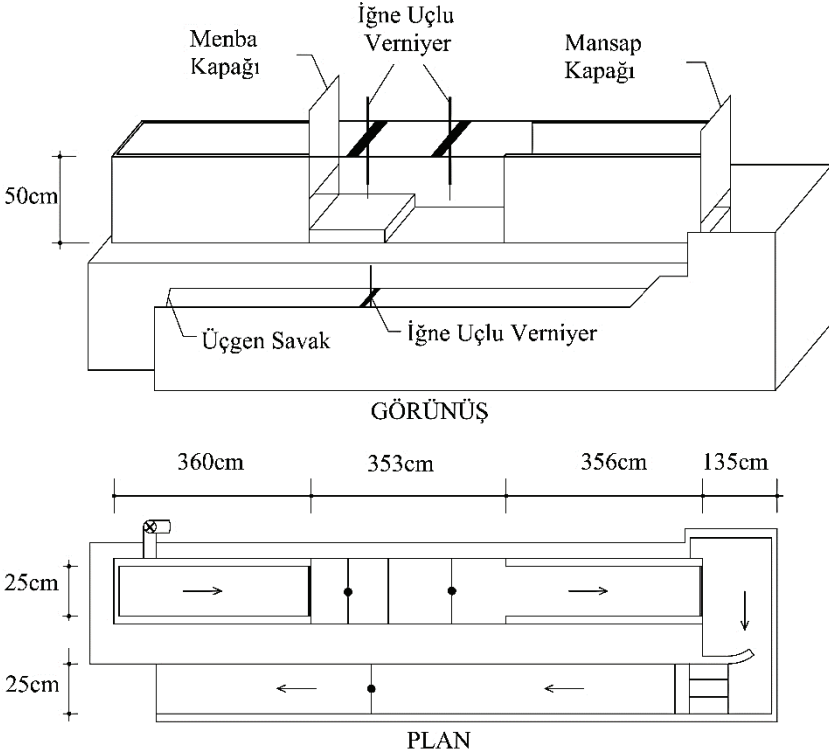
dır. Eğer göreceli kuyruk suyu yüksekliği Y arttırılmaya devam edilirse, hidrolik sıçramanın yapısı bozulmakta, menbadan gelen sel rejimindeki jet akım düşü üzerinden yükselerek bir dalga formuna dönüşmekte ve sel rejimindeki jet akım dalga formuna uyarak ve şeklini koruyarak mansaba geçmektedir. Bu akım tipinde, hidrolik sıçrama üstünde oluşan döngüsel akım dalga formunun altında ve saat yönünde dönerek oluşmaktadır. Eğer göreceli kuyruk suyu derinliği daha da arttırılırsa, dalga formundaki akım bozulmakta ve tekrar hidrolik sıçrama formuna dönmektedir. Bu hidrolik sıçrama ise A tipi hidrolik sıçrama olarak anılmaktadır. Bu hidrolik sıçrama tipinde hidrolik sıçrama üstünde oluşan ve saat yönünün tersinde dönen döngüsel akımın bir kısmı düşünün menbasında bir kısmıysa düşünün mansabında oluşmaktadır.

Ani taban düşülerinde oluşan Dalga Tipi Akımlar oldukça kompleks akımlardır. Oluşmaya başladığı ve bittiği sınırlar çok belirgin değildir. B tipi hidrolik sıçrama ile Dalga Tipi Akım arasındaki sınır Binnie (1975), Tokyay ve Gür (1990) ün araştırmalarında behsettiği gibi çok belirgin olmayıp, bu iki akım tipi arasında geçişli ve dönüşümlü akım durum gözlemlenmektedir. Sözkonusu bu akım formlarını analiz edebilmek için Özgül Kuvvet kavramı ve yöntemi kullanışlı olmaktadır.

Deney düzenegi

Deneyler 10,5 metre uzunluğunda 0,25metre genişliğinde ve 0,5metre derinliğindeki yatay bir kanalda yapılmıştır. Deney düzeneginin şematik gösterimi Şekil 2' de görüldüğü gibidir. Kanal üç farklı kısımdan oluşmaktadır. Menba kısmı betondan yapılmış olup 3,6metre uzunluğundadır ve bu kısmın sonunda sel rejiminde akım oluşturabilmek için bir düşey menba kapağı mevcuttur. Mansap kısımda betondan yapılmış olup bu kısmın sonunda da kuyruk suyu derinliğini ayarlamak için bir düşey mansap kapağı mevcuttur. Kanalın orta kısmı ise deney gözlemlerini yapabilmek için yan duvarları camdan imal edilmiş olup 3,53 metre uzunluğundadır. Su derinliği ölçümleri 0,1mm hassasiyetli iğne uçlu verniyer kullanılarak yapılmıştır.

Ani taban düşüsünü oluşturmak için kullanılan beton bloklar kanal genişliğinde olup betonarme olarak imal edilmiştir.



Şekil 2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Betonarme bloklar 2 metre uzunluğunda ve farklı kalınlıklarda imal edilmiştir. Bu blokların kalınlıkları 23mm, 30mm ve 42mm şeklindedir.

Kanala su girişi sabit yüklü bir tanktan 18mm çapında bir boru ile sağlanmaktadır. Kanal sonundaki kapaktan geçen akım serbest düşü yaparak bir hazneye düşmektedir. Bu haznedeki su bir kanal ile üçgen bir ölçüm savağına iletilmektedir. Bu savak sayesinde 3,25 lt/sn ile 25 lt/sn aralığında 0,01 lt/sn assasiyetle debi ölçümü yapılabilmektedir. Üçgen ölçüm savağından geçen su yeraltındaki depolara inmekte oradan da sabit yüklü tanka pompalanmakta ve kapalı bir sistem şeklinde su devir daim edilmektedir.

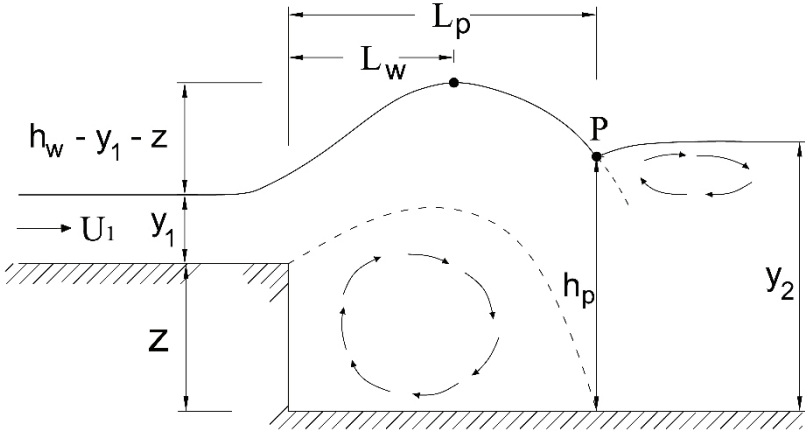
Deneylerin yapılışı

Tüm deneyler yapılırken, öncelikle kanala su verildi ve üçgen savak yardımıyla kanaldan geçen debi ölçüldü. Debi ölçümü deney boyunca ve deney sonunda da ölçülerek kanalda kararlı bir akım olması sağlandı. Kanalda istenilen debi geçişi sağlandıktan sonra menba kapağı kapılarak sel rejimi bir akış oluşturuldu. Ani taban düşülerindeki akışları oluşturabilmek içinse ya mansaptaki kapak ya da menbadaki kapak kullanıldı. Mansap kapasının kullanıldığı durumlarda, istenilen akımı oluşturmak için

kuyruk suyu derinliği ayarlamaları mansap kapağı yardımıyla yapılabildi. Ani taban düşüsü oluşturabilmek için kullanılan betonarme bloklar menba kapağının altına gelecek şekilde yerleştirildi ve menba kapağının 1,0metre önünde ani taban düşüsü oluşturuldu.

Önce menba kapağının önünde A tipi hidrolik sıçrama oluşturuluncaya kadar menba kapağı kapatıldı. Daha sonra mansap kapağı kademe-li olarak açılarak hidrolik sıçramanın mansaba ilerlemesi ve Dalga Tipi Akımın oluşması sağlandı. Dalga tipi akım oluştuğu anda menba, mansap su derinlikleri ve kanaldan geçen debi iğne uçlu verniyerler kullanılarak ölçüldü ve kaydedildi. Şekil 3'de P ile gösterilen notasyon Kawagoshi ve Hager (1990) tarafından tarif edilen Dalma noktası olarak bilinmektedir. Bu noktanın koordinatları (h_p, L_p) aynı zamanda menbadan gelen sel rejimindeki jet akımının kuyruk suyuna saplandığı yerdir. Bu jetin altında saat yönünde dönen yatay bir vorteks akım mevcuttur. Dalga Tipi Akımın zamansal ortalama yüksekliği h_w ve bu yüksekliğin düşüden olan yatay uzaklığı L_w de ölçülerek kaydedildi. Bu geometrik özellik ölçümleri iğne uçlu verniyer ve kanal yan yüzeyine yapıştırılmış olan şeffaf milimetrik kağıt yardımıyla yapıldı.

Deneylerde yapılan gözlemlerde Froude sayısı aralığı ve göreceli düşü yüksekliği aralığı sırasıyla $2.14 < F_1 < 7.89$ ve $0.70 < S < 3.08$ şeklindedir.



Şekil 3. Ani Taban Düşülerinde Oluşan Dalga Tipi Akımların Şematik Gösterimi
Gözlemler

Deneylerde yapılan gözlemlere göre ani taban düşülerinde oluşan akımlar dört farklı gruba ayrılabilir. Bunlar sırasıyla A Tipi hidrolik sıçrama, Dalga Tipi Akım (maksimum dalga), yukarı yönlü jet (minimum dalga) ve B tipi hidrolik sıçrama (bazı araştırmacılar bu akım tipini Minimum B Tipi hidrolik sıçrama şeklinde de tariflemişlerdir). Bu akım form-

larının oluşması yaklaşım kanalı Froude sayısına, relatif kuyruk suyu derinliğine ve relatif düşü yüksekliğine bağlıdır. Deneyler boyunca yapılan gözlemler aşağıda tariflendiği gibidir.

A tipi hidrolik sıçrama: Bu akım tipi kuyruksuyu derinliği çok büyük olduğu durumlarda enerji kırıcı havuzun menbasında ve düşünün üzerinde oluşur. Yatay bir kanalda oluşan klasik hidrolik sıçramaya çok benzer. İki farklı deneyden elde edilmiş olan A tipi hidrolik sıçrama Şekil 4’de verilmiştir. A tipi hidrolik sıçramanın altındaki pamuk ipliklerinin yönleri hidrolik sıçramanın altında döngüsel bir hareketin olmadığını ve akımın türbülanslı ve düzenli olarak menbada mansaba doğru olduğunu göstermektedir.

B tipi hidrolik sıçrama: B tipi hidrolik sıçrama genellikle göreceli olarak düşük kuyruk suyu derinliklerinde oluşmaktadır. Düşü üzerinde aşağı yönlü bir jet görüntüsü karakteristik B tipi hidrolik sıçrama görüntüsüdür. Deneylerde yapılan gözlemlerden elde edilen B tipi hidrolik sıçrama görüntüleri Şekil 5’deki gibidir.

Dalga Tipi Akım: Ani taban düşülerinde oluşan Dalga Tipi Akımlar kendi içinde dört farklı gruba ayrılabilir. Bu akımlardan ikisi geçişli akımlardır. Birisi A tipi hidrolik sıçrama ile Dalga Tipi Akım (maksimum dalga) arasında, diğeri ise B tipi hidrolik sıçrama ile Yukarı yönlü jet (minimum dalga) arasında oluşmaktadır. Yani önce bir Dalga Tipi Akım varken hemen akрасından A veya B Tipi hidrolik sıçramaya dönüşmekte sonra tekrar Dalga Tipi Akıma dönüşmektedir.



Şekil 4. Ani Taban Düşülerinde A Tipi Hidrolik Sıçrama

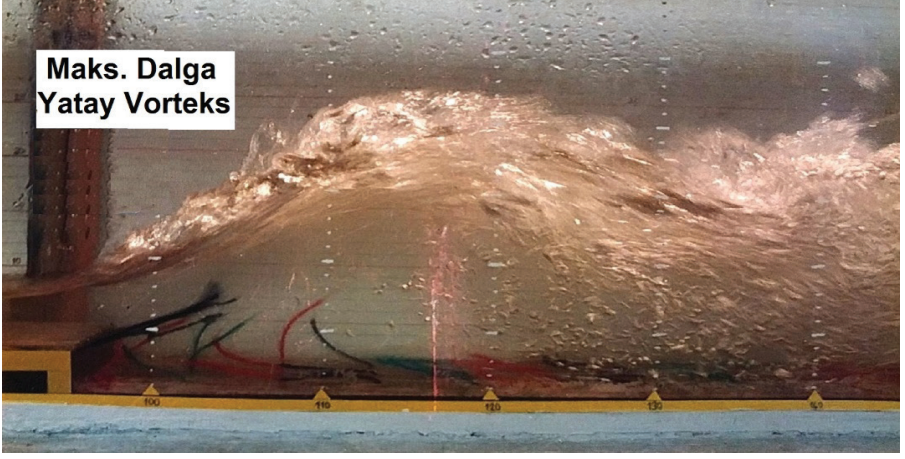


Şekil 5. Ani Taban Düşülerinde B Tipi Hidrolik Sıçrama

B tipi hidrolik sıçramada kuyruk suyu derinliğinin üst sınırında B tipi hidrolik sıçrama düşünün üstüne doğru tırmanmaya başlar. Bu durumdayken su yüzeyi yükselmeye ve yukarı yönlü bir jet (mimimum dalga) oluşmaya başlar. Ancak bu dalga formu stabil değildir ve en yüksek formuna ulaştıktan sonra kırılarak tekrar B tipi hidrolik sıçramaya dönüşür. Sonra tekrar B tipi hidrolik sıçrama düşünün üstüne tımanmaya başlar. Bu geçişli ve kararsız akım formu kuyruk suyu derinliği değiştirilinceye kadar sürekli tekrarlar.

A tipi hidrolik sıçrama ile Dalga Tipi Akım arasında, Kawagoshi ve Hager (1990) maksimum Dalga Tipi Akımı tariflemişlerdir. Maksimum Dalga Tipi Akım öyle bir dalga formu oluşturur ki oluşan dalga maksimum yüksekliğe sahiptir ve kuyruk suyu derinliği biraz daha yükseltirirse maksimum dalganın yapısı bozularak çöker ve A tipi hidrolik sıçramaya dönüşür (Şekil 6). Benzer durum minimum wave içinde geçerlidir. B tipi hidrolik sıçrama ile yukarı yönlü jet arasında geçişli kararsız akım oluştuğu an, eğer kuyruk suyu derinliği biraz daha yükseltirirse gözlemlenen ilk Dalga Tipi Akımın adı Mimimum Dalga olarak anılmaktadır (Şekil 7).

Dalga Tipi Akımın en belirgin karakterlerinden biriside dalganın altında oluşan ve saat yönünde dönen yatay vorteks tir. Bu vorteks formasyonu Şekil 6' da açıkça görülmektedir.



Şekil 6. Ani Taban Düşülerindeki Dalga Tipi Akım (Maksimum Dalga)



Şekil 7. Ani Taban Düşülerindeki Yukarı Yönlü Jet (Minimum Dalga)

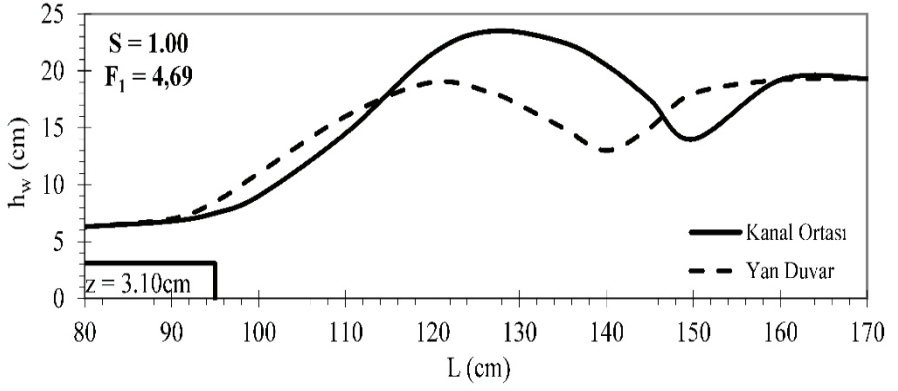
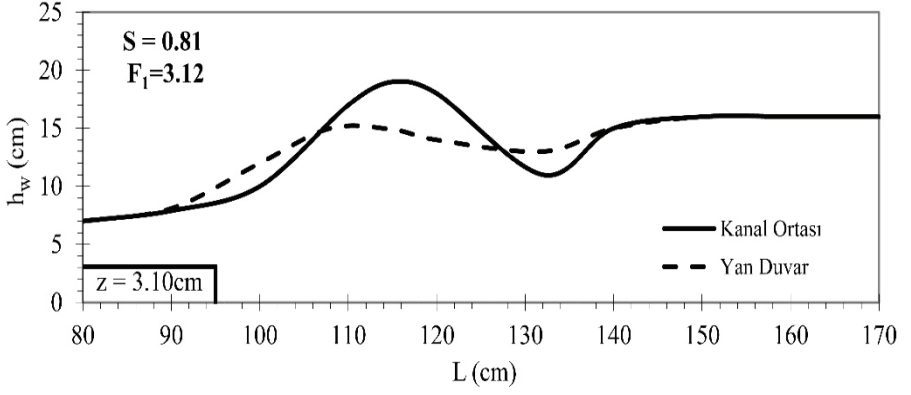
Şekil 6'daki resimlerden de görüleceği gibi kanal tabanına yerleştirilen renkli pamuk iplikler yardımıyla Dalga Tipi Akımın altındaki akım yönleri açıkça görülebilmektedir. Pamuk ipliklerinin yönlerine bakılarak sel rejiminde gelen jetin kuyruk suyu derinliğine saplandığı yer (P noktası) kanal tabanında açıkça görülmektedir. Burada pamuk ipliklerin bazılarına akım yönünde bazılarıysa akıma ters yöne doğru durmaktadır. Benzer durum yukarı yönlü jet akımı içinde geçerlidir ve Şekil 7'ye bakarak yukarı yönlü jetin kuyruk suyu derinliğine daldığı nokta (P noktası) renkli pamuk ipliklerinin yönlerine bakarak anlaşılabilmektedir.

Şekil 6 ve 7'deki resimler incelendiğinde Dalga Tipi Akımın altında saat yönünde dönen yatay bir vorteks olduğunu ve dalga formu akımda membadan gelen sel rejimindeki jetin söz konusu bu yatay vorteksin üstünden geçerek nehir rejimindeki kuyruk suyuna daldığı açıkça görülmektedir. Bu Dalga Tipi Akımlar içinde mühendislik açısından en önemli olanı Maksimum Dalganın geometrik özellikleridir. Bu nedenle Maksimum Dalga formu olduğu andaki dalga formunun geometrik özellikleri (h_w, L_w) kaydedilmiş ve hem kanal ortasındaki hem de kanal yan duvarlarında oluşan dalga formunun su yüzü profilleri çıkarılmıştır (Şekil 8 ve 9).

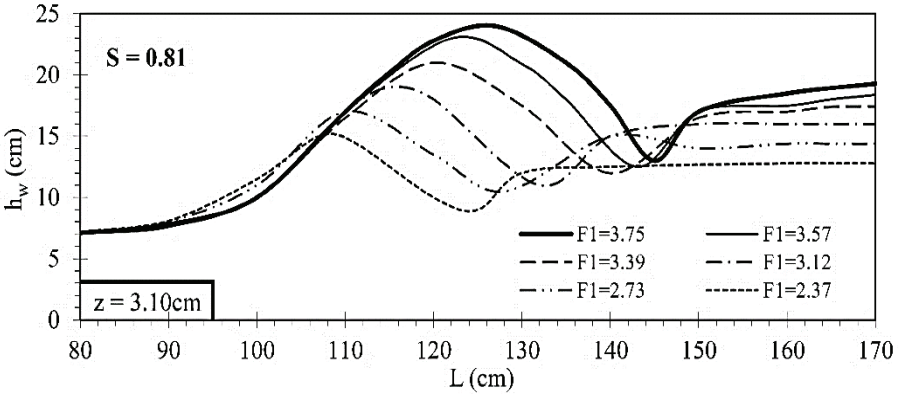
Şekil 6'daki resimler incelendiğinde Maksimum Dalga yüksekliğinin maksimum olduğu yer kanal ortasına denk gelmektedir. Şekil 8'deki profillerden Maksimum Dalga profilinin kanal ortasında maksimum yüksekliğe ulaştığı görülmektedir. Şekil 9'da farklı S ve F_1 değerlerine göre kanal ortasındaki Dalga Tipi Akımın boy profilleri verilmiştir. Bu profiller incelendiğinde bilenen bir S değeri için, Froude sayısı arttıkça Dalga Tipi Akımın yüksekliğinin de (h_w), olduğu mesafenin de (L_w) arttığı açıkça görülmektedir.

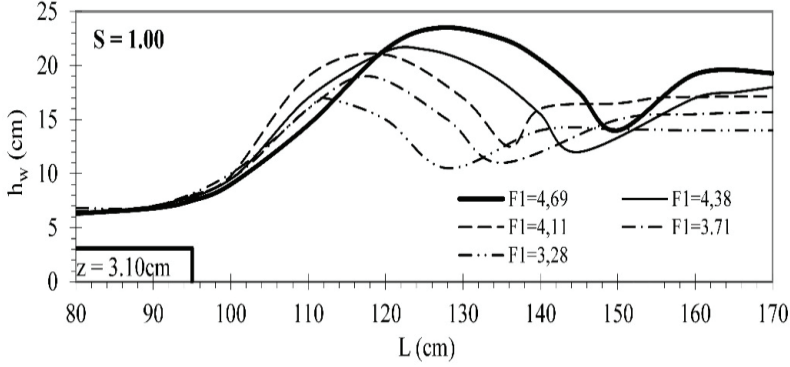
Dalga Tipi Akımın Karakteristikleri

Kawagoshi ve Hager (1990) Dalga Tipi Akım karakteristikleriyle ilgili yaptıkları çalışmada Maksimum Dalga Yüksekliği h_w , Maksimum dalganın olduğu yerin düşü den olan yatay uzaklığı L_w , ve sel rejimindeki jetin kuyruk suyuna saplandığı yerin koordinatları h_p ve L_p nin değişimini ifade edebilmek için iki farklı boyutsuz büyüklük kullanmışlardır. Bu parametrelerden birisi “düşü Froude sayısı”dır ve aşağıda verildiği gibidir.



Şekil 8. Kanal Ortasında ve Kanal Yan Duvarlarında Oluşan Dalga Tipi Akım Profili





Şekil 9. Göreceli Eşik Yüksekliği ve Yaklaşım Kanalı Froude Sayısına Bağlı Olarak Oluşan Maksimum Dalga Profilleri

$$F_d = \frac{u_1}{(g(y_2 - z))^{1/2}} = \left(\frac{y_1}{y_2 - z} \right)^{1/2} F_1 \quad (1)$$

Diğer parametre ise bir çeşit yaklaşım kanalı akımının dinamik yükü olarak tarif edilebilir ve aşağıda verildiği gibidir.

$$f = \frac{u_1^2}{2g} \frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{y_2}{2} \right) F_1^2 \quad (2)$$

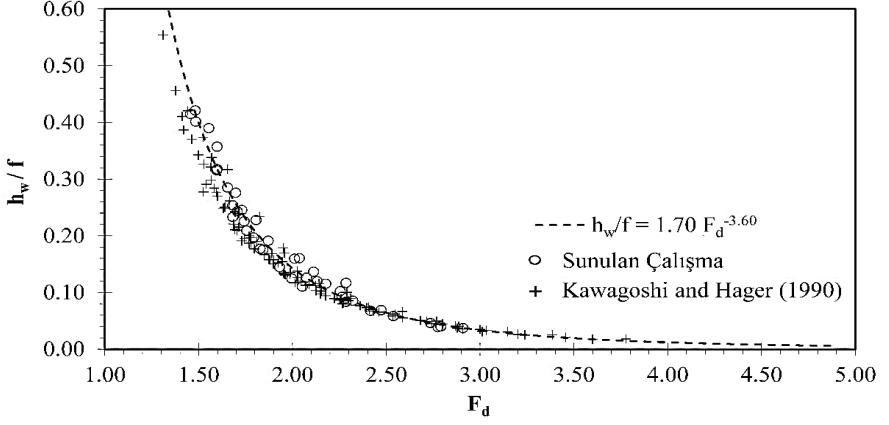
Kawagoshi ve Hager(1990) in tanımladığı “düşü Froude sayısı” ve “dinamik yük” parametresi kullanılarak üretilmiş olan boyutsuz Dalga Tipi Akımların karakteristikleri gösteren grafikler Şekil 10, 11, 12 ve 13’deki gibidir. Bu çalışmadan elde edilen verilerle Kawagoshi ve Hager (1990) nın verileri uyum içindedir. Şekil 10,11,12 ve 13’deki dataların dağılımına en uygun eğri yöntemi kullanılarak çizilmiş olan eğrilerin denklemleri Eşitlik 3,4,5 ve 6’da verilmiştir. Bu eşitlikler Dalga Tipi Akımların karakteristik özelliklerini belirlemek için kullanılabilir.

$$\frac{h_w}{f} = 1.70 F_d^{-3.6} \quad (3)$$

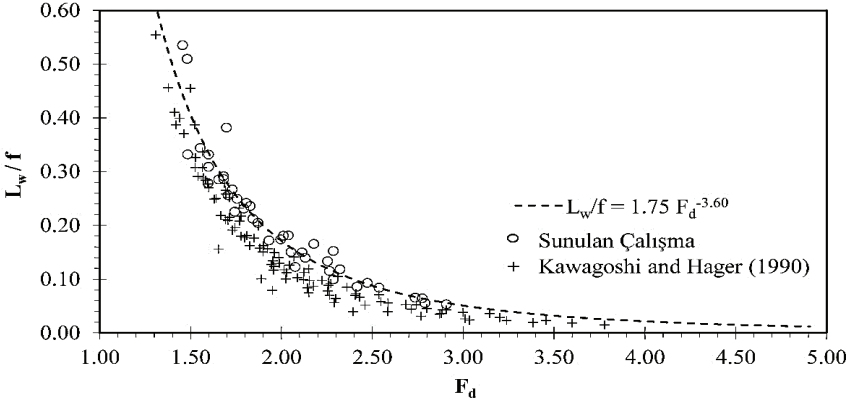
$$\frac{L_w}{f} = 1.75 F_d^{-3.6} \quad (4)$$

$$\frac{h_p}{f} = 1.00 F_d^{-3.6} \quad (5)$$

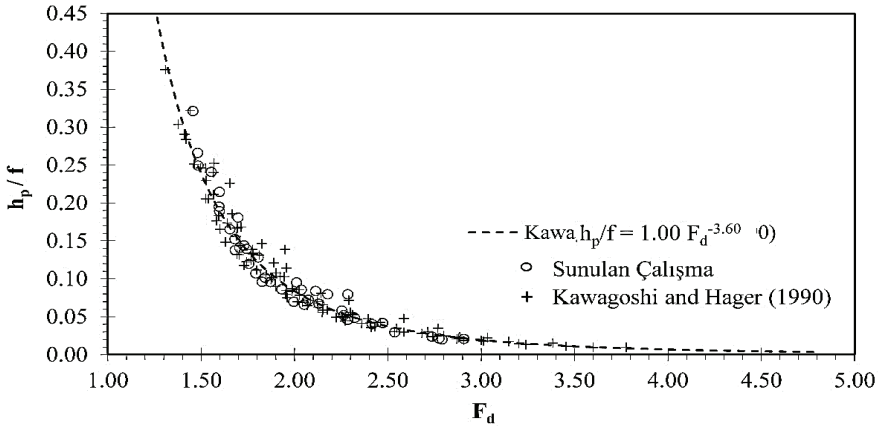
$$\frac{L_p}{f} = 2.90 F_d^{-3.6} \quad (6)$$



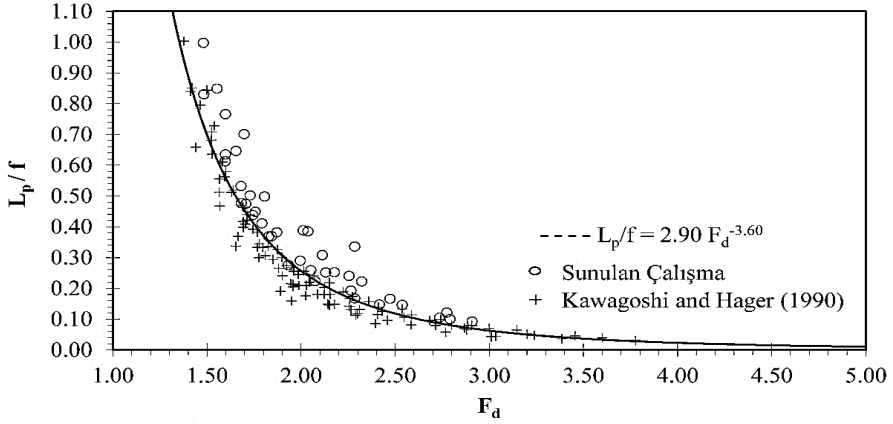
Şekil 10. Maksimum Dalga için h_w/f ile F_d in Değişimi



Şekil 11. Maksimum Dalga için L_w/f ile F_d in Değişimi



Şekil 12. Maksimum Dalga için h_p/f ile F_d in Değişimi



Şekil 13. Maksimum Dalga için L_p/f ile F_d in Değişimi

Sonuçlar

1. Dalga Tipi Akım yaklaşım kanalındaki sel rejimi akımın Froude sayısına, düşü yüksekliğine ve kuyruk suyu yüksekliğine bağlı olarak oluşan ve sel rejimi akımın enerjisini kırarak nehir rejimine dönüştüren bir akım türüdür.

2. Düşü ile dalma noktası arasında oluşan ve saat yönünde dönen yatay vorteks ve bu vorteksin üzerinden dalga görünümü oluşturarak geçen sel rejimindeki yüzeysel jet Dalga Tipi akımın karakteristik görüntüsüdür.

3. Dalga Tipi Akımın geometrik karakteristiklerinden olan Maksimum Dalganın koordinatları (h_w , L_w) ve dalma noktasının koordinatları (h_p , L_p) düşü Froude sayısı F_d ve Düzenlenmiş yaklaşım hızı parametresi f ye bağlı olarak boyutsuz bir şekilde ifade edilebilmektedir. Eşitlik 3-6 Dalga Tipi Akımın geometrik karakteristiklerini belirlemek için kullanılabilir.

4. Dalga Tipi Akımın maksimum dalga yüksekliği kanal ortasında oluşmaktadır. Kanal yan duvarlarında oluşan dalga yüksekliği genellikle kuyruk suyu derinliğinden daha küçüktür.

KAYNAKÇA

- Moore W.L. ve Morgan C.W. (1959)., "The Hydraulic Jump At an Abrupt Drop", Transaction, ASCE, Vol. 124, pp.507-524.
- Binnie, A.M. (1975). "Laboratory experiments on the flow over a downward step in an open channel." *Int. J. Mech. Sciences*, 17, 583-587. [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(75\)900235](https://doi.org/10.1016/0020-7403(75)900235)
- Rajaratnam, N., Ortiz, N.V. (1977). "Hydraulic jumps and wave at abrupt drops." *J. Hydraul. Div., ASCE*, 103(4), 381-394.
- Hager, W.H., Bretz, N.V. (1986). "Hydraulic jumps at positive and negative steps." *J. Hydraulic Res.* 24(4), 237-253. <https://doi.org/10.1080/00221688609499303>
- Tokyay (Denli), N., Gür, Z. (1990). "Hydraulic jump at an abrupt drop", *Turk. J. Eng. Environ. Sci.*, 14, 215-230, 1990.
- Kawagoshi, N., Hager, W.H. (1990). "Wave type flow at abrupt drops." *J. Hydraulic Res.*, 28(2), 235-252. <https://doi.org/10.1080/00221689009499088>
- Pagliara, S. (1992). "Wave type flow at abrupt drops: Flow geometry and energy loss", *Entropy and Energy Dissipation in Water Resources*, Springer Science+Business Media, 9, 469-479.
- Seetha Ram, K.V., Parasad, V. (1998) "Spatial B-Jump at sudden channel enlargements with abrupt drop." *J. Hydraul. Eng.*, 124(6), 643-646. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1998\)124:6\(643\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:6(643))
- Armenio, V., Toscano, P., Fiorotto, V. (2000). "On the effect of a negative step in pressure fluctuations at the bottom a hydraulic jump." *J. Hydraulic Res.*, 38(5), 359-368. <https://doi.org/10.1080/00221680009498317>
- Ferreri, G.B., Nasello, C. (2002). "Hydraulic jumps at drop and abrupt enlargement in rectangular channel." *J. Hydraulic Res.*, 40(4), 491-505. <https://doi.org/10.1080/00221680209499891>
- Mossa M., Petrillo A., Chanson H. (2003). "Tailwater level effects on flow conditions at an abrupt drop." *J. Hydraulic Res.*, 41(1), 39-51. <https://doi.org/10.1080/00221680309499927>
- Tokyay, N.D., Altan-Sakarya, B., Eski, E. (2008) "Numerical simulation of minimum B-jump at abrupt drops", *Int. J. Numer. Methods Fluids*, 56, 1605-1623. <https://doi.org/10.1002/fld.1551>
- Tokyay, N.D., Altan-Sakarya, B. (2011). "Local energy losses at positive and negative steps in subcritical open channel flows." *Water SA*, 37(2), 237-244. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v37i2.65870>
- Eroglu N., Tokyay, N. (2012) "Statistical approach to geometric properties of wave-type flow occurring at an abrupt drop." *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(4), 911-919.

Viero, D.P., Defina, A. (2017). “Extended theory of hydraulic hysteresis in open-channel flow.” *J. Hydraul. Eng.* 143, 06017014. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001342](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001342)

Eroglu N., Tastan K. (2020). “Local Energy Losses for Wave-Type Flows at Abrupt Bottom Changes”. *J. Irrig. Drain Eng.*, , 146(9): 04020029

BÖLÜM 6

BİYOTEKNOLOJİK UYGULAMALARDA MİKROALG KULLANIMI

Canan BİRİNCİ AĞLAMAZ¹

Eylem AYDEMİR ÇİL²

¹ Master Mezunu, Canan BİRİNCİ-AĞLAMAZ (Sağlık Bakanlığı, ORCID: 0000-0002-6732-008X)

² Dr. Öğrt. Üyesi Eylem AYDEMİR-ÇİL (Tez Danışmanı, Sinop Üniversitesi, ORCID: 0000-0003-2405-1155)

Bu Çalışma birinci yazar olan Canan BİRİNCİ'nin ‘ **Biyoteknolojik uygulamalarda Mikroalg Kullanımının Türkiye ve Dünyadaki Yeri**’ isimli Yüksek Lisans Tezi’nin (Yök tez no: 717635; Sinop Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Disiplinlerarası Çevre Sağlığı Anabilim Dalı-2022) bir bölümünden üretilmiştir. Yazar bilgileri;

1. Giriş

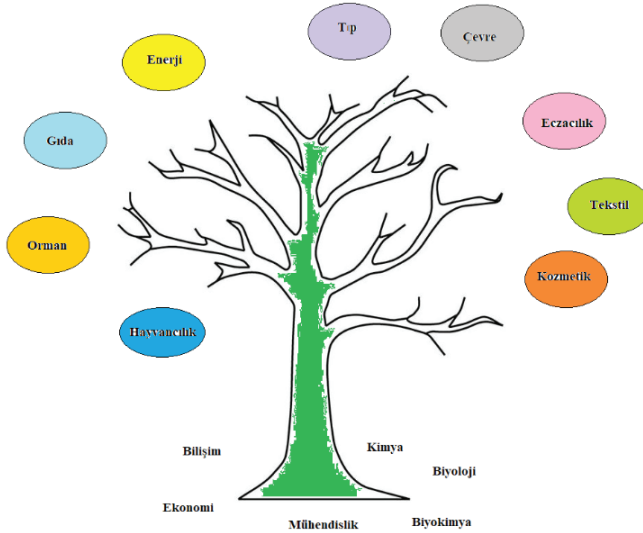
Artan dünya nüfusuna bağlı olarak enerji, yakıt, gıda gibi kaynakların tüketimi büyük oranda artmıştır. Bu artışla beraber kaynakların sonsuz kullanımı mümkün olmamakla birlikte artan kirliliği de beraberinde getirmektedir. Dünyadaki tüm ülkelerin son yıllarda hem fikir olduğu ‘Yeşil Mutabakat’ çerçevesinde dönüştürülebilen çevre dostu ürünlerin yakıt, kirlilik kontrolünde kullanım ıve bu alanlarda biyoteknolojik uygulamaların yaygınlaşması önem arz etmektedir.

Biyoteknoloji; canlıların veya onların ürünlerinin, insana (veya çevresine) yararlı bir ürün haline getirmek veya bir problemi çözmek için kullanılmasıdır (Thieman ve Palladino, 2013). Amerika Birleşik Devletleri Bilim ve Teknoloji Değerlendirme Ofisi tanım olarak biyoteknolojiyi; mahsul üreten veya ona şekil veren, nebat ve hayvan çeşitlerini iyileştiren mikroskobik organizmaları, ayrıcalıklı işlerde kullanılmak üzere geliştirip, yaşayan organizmalarda kullanılabilen duruma getiren metod ya da materyaldir (Renneberg vd., 2008). Biyoteknolojinin uzun bir geçmişi bulunmaktadır. Milyonlarca yıl önce insanlar göç hayatı yaşamışlar, bitkilerle ve hayvan avlama ile yaşamlarını devam ettirmişlerdir. Göç etme yaşamlarını bir süre sonra bırakarak yerleşik bir hayata adapte olmuşlardır. Arkeoloji çalışma sonuçlarına göre topraktan ürün almak için ilk uğraşan popülasyonların Yakın Doğu’da görüldüğü ve şimdiki zaman diliminde Türkiye, İran, Irak, Suriye, Ürdün, Lübnan ve İsrail gibi ülkelerde yetiştirilen arpa, buğday ve çavdar olduğu, mikroorganizmaların yaşamı ve besinlere etkisi 200 yıl kadar önce bulunmuştur. Milattan önce 1800’lü yıllarda Mısır ve Babil halkı mayalı hamuru kullanmışlardır. M.Ö. 4000 yıllarında Çinliler tarafından alfa hidroksipropenoyik asit (laktik asit) ve etanoik asit (asetik asit) bakterileri ile süt ürünü olan yoğurdu ve peyniri ayrıca sirke üretilmiştir. Hollandalı biyolog Anton Van Leeuwenhoek 1680 yılında mikroskopta bira fermentasyonuna çalışmıştır. Maya hücrelerini gözlemleyen Leeuwenhoek tanımlama ve çizimlerini yapmıştır. 1700’lerin başında, alkol üretimine başlanmış, 1883 yılında üreticiler fermentasyonu tanıtlımını yapmışlardır. 1900 ile 1940 senelerinin arasında, ekonomik mayalanma ürünlerini; gliserol, aseton, bütanol, laktik asit, sitrik asit ve ekmek mayasını içine alacak şekilde genişletilmiştir. Modern, multidisipliner biyoteknoloji, 300 yılı aşkın süreçte teknolojik ilerlemeler ve bilimsel buluşların sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Renneberg vd., 2008).

Günümüze kadar uzun yıllar boyunca farklı metodlarla biyoteknoloji kullanılmıştır. Son çeyrek asırda dünyada yaşanan enerji ve yakıt kullanımının artması ile artan kirlilik geri dönülmesi zor bir evreye girmiştir. Enerji ve yakıt olarak kullanılan maddelerin sürdürülebilirliği de mümkün görülmemektedir. Dünya üzerinde kullanılan su kaynakları, fosil yakıtlar gibi bileşenler insanlık için tehlike oluşturmaktadır. Bundan dolayı dünyada enerji ve yakıtta kullanılabilecek alternatif kaynakların arayışı gündemdedir. Özellikle ‘Çevre Dostu’, ‘Yeşil Enerji’ olarak kullanılabilecek ürünlerin değerlendirilmesi önemli hale gelmiştir. Bu çalışmada Su Ürünleri’nden yeni alternatif biyolojik kaynakların bir araya getirilerek, dünyada yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki çalışmaların ortaya konulması amaçlanmıştır. Ayrıca ülkemizde yeni kullanılmaya başlayan biyoteknoloji uygulamalarının ve kriterlerinin ortaya konması, biyoteknolojide kullanılan ve kullanılabilecek alg ve mikroalglerin yapısal özelliklerinin verilmesi, biyoteknoloji de dünyada ve ülkemizde ki durumun ortaya konularak analiz edilmesi amaçlanmıştır.

2. Genel Bilgiler

Biyoteknolojiye farklı birçok disiplinler katkıda bulunurlar. Temel bilimler bütün alanlardaki biyoteknolojinin altyapısı veya ‘temeli’ dir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Biyoteknoloji Temel Bilimler Ağacı

Avrupa Birliği Biyoteknoloji Renk Kodları aşağıdaki gibidir:

- Mavi Biyoteknoloji: Deniz ve sulardaki biyoteknolojik uygulamaları

- Yeşil Biyoteknoloji: Tarım alanındaki biyoteknolojik uygulamaları
- Kırmızı Biyoteknoloji: Tıp ve eczacılık alanındaki biyoteknolojik uygulamaları ifade etmektedir.

Biyoteknoloji; mikrobiyal biyoteknoloji, tarımsal biyoteknoloji, hayvan biyoteknolojisi, adli biyoteknoloji, biyoremediasyon, akuatik biyoteknoloji ve tıbbi biyoteknoloji gibi alt dallarda incelenmektedir. Kirlilik sorunlarının çözümünde biyoremediasyon yoluyla insanlar ve doğal yaşam için daha temiz bir çevre oluşturabilirler (Thieman ve Palladino, 2013).

2.1.Biyoremediasyon

Biyoremediasyon, mikroskobik canlılar aracılığı ile toksik maddeleri zararlı olmayan bileşiklere çeviren bir sürekli işlemler olup, kimyasal sıvıların ve zararlı atıkların ayrıştırılmasında uygulanan bir yöntemdir (Ceyhan ve Esmeray, 2012).

İnsan aktivitelerinin artması, enerji kaynakları, güvensiz tarım uygulamaları ve hızlı sanayileşme ile çevresel kirlilik artmaktadır. Kirliliğe neden toksisiteler; ağır metaller, nükleer atıklar, böcek ilaçları, sera gazları ve hidrokarbonlardır. Çevre dostu özelliklerinden dolayı etkili ve güvenilir olması nedeni ile kirlenilmiş alanlar, mikrobiyal süreç (biyoremediasyon) ile iyileştirilebilmektedir (Azubuike vd., 2016).

Biyoremediasyonda mikroorganizmalar fungus, maya ve bakteriler rol oynamaktadır (Frazar, 2000). Bakteriler zararlı atıkları, zararsız yan ürünlere dönüştürürler ve sayıları normal popülasyon düzeyine ulaşır veya ölürler (Alexander, 1999). Ayrıca, arazilerde bulunan mikroskobik canlıların tespiti ile toprak iyileştirilmesinde ideal şartlar oluşturabilmektedir (Ceyhan ve Esmeray, 2012).

Biyoremediasyonda kirleticiler maddeleri parçalayan ve onları zararsız mahsullere çeviren mikroorganizmalar kirleticilere maruz bırakıldığında maddeleri yıkmak yönünde eğilim gösterirler. Zararlı maddeyi bozunuma uğratarak enerji sağlayan suşlar ön plana çıkmaktadır (Alexander, 1999).

Biyodegradasyon veya biyolojik bozunum, bu organizmaların farklı kirleticilerin parçalanmasında kullanılmasıdır (Hamutoğlu vd., 2012). Biyodegradasyon doğal bir işleyiş olmasına karşın bozunabilen bazı organik maddeler tabiatta bozunmadan bulunmaktadır. Bunun nedeni çevresel koşulların bu süreçteki etkileridir (Alexander, 1999).

Bu etkiler:

- Kimyasal madde yoğunluğunun mikroorganizmaya zararlı etki yapacak seviyeye ulaşması ile uyum sorunu oluşması,

- Mikroorganizma çeşitliliğinin bozunma için yetersiz ve elverişli olmaması,
- Aşırı asidik ve bazik çevre şartları,
- Besin içeriği olarak petrol ve petrokimyasal atık maddelerinin bozunması için gerekli N, P, S vb. iz elementlerin bulunmaması,
- Elverişsiz nem durumu
- Enerji kaynağı olarak kimyasal atıkları kullanan mikroorganizmaların O_2 ve NH_3 gibi elektron alıcılarının bulunmaması da bu etkiler arasındadır (Ceyhan ve Esmeray, 2012).

2.1.1.Biyoremediasyonun avantajları

- Çevresel olarak güvenli ve doğal bir işlemdir.
- Besin maddesi olarak kirleticilerin bulunması halinde ortamda bulunan mikroorganizmalar artış göstermektedir. Kirletici azlığında ise mikroorganizma miktarı doğal olarak azalmaktadır.

Biyobozunumdan genellikle karbondioksit, su, yağ asitleri gibi zararsız bileşikler çıkar. Doğal kirleticiden daha zararlı bir mahsul oluşturulması azdır.

- Kirleticiler bir ortamdaki başka bir ortama transfer yapılmadan hedefteki kimyasal maddeler tamamen bertaraf edilmektedir.
- Ayrıca tehlikeli atıkların ortadan kaldırılması için sık kullanılan tekniklere göre daha ucuzdur ve atıkların taşınması pek tercih edilmez.

2.1.2.Biyoremediasyonun dezavantajları

- Biyoremediasyonun arıtım teknolojisi şeklinde kullanımını mevcut sınırlamalar engellemektedir.
- Biyoremediasyona başlamadan iyi bir araştırma yapılması gerekmektedir. Kirletici karışımı için bu alanlarda biyoteknoloji mühendisi, ortamdaki mikroorganizmaların yalıtımı ile ilgili mikrobiyoloji uzmanlarına, bozunum yollarının belirlenmesi için biyokimya uzmanlarına ihtiyaç vardır.
- Biyoremediasyon tekniğinde temizleme, yakma ve toprağın alınıp taşınması ile karşılaştırıldığında daha uzun zamana yayılmaktadır.
- Zararlı madde yan ürünlerin oluşabilmesine karşı tedbirli olmak gereklidir (Alexander, 1999).

2.1.3.Biyoremediasyon teknikleri

Biyoremediasyon; In-situ arıtım, Ex-situ arıtım ve kombine arıtım teknikleri olarak 3 sınıfta incelenir (Keshav vd., 2010).

a) In-Situ arıtım

Yeraltı ve yüzey sularınının arıtımını kapsayan bir tekniktir. Hava-daki oksijenden yararlanıldığı için yüzey arıtımında oksijenin eldesi kolaydır. Yeraltı remediasyonunda ise kirli maddeye oksijen veya su ilave edilerek arıtım yapılır (Alexander, 1999).

b) Ex-Situ arıtım

Kontamine bölgelerinden alınarak arıtım tesisindeki su ile karıştırılıp kesiksiz oksijen eklemesi ile suyun içinde bulunan organik maddenin bozunumu gerçekleştirilir (Alexander, 1999).

c) Kombine arıtım

Tehlikeli atıklar için önerilen bir tekniktir. Tıbbi atıkları, radyoaktif atıklar, arıtım çamurlarının bırakıldığı alanlar tehlikeli atık alanlarıdır. Bu alanlar kolaylıkla bozunuma uğramayan karmaşık ve inorganik bileşik karışımları içerir ve sadece kombine arıtım ile temizlenirler (Alexander, 1999). In-situ ve Ex-situ arıtım tekniklerinde fitoremediasyon teknolojisi öne çıkmaktadır. Fitoremediasyon teknolojisini anlamak için tanımını ve tekniklerini bilmek gereklidir. Bu nedenle fitoremediasyona bir göz atmak gerekir.

Fitoremediasyon

Bitki anlamına gelen “phyto” ile ıslah anlamındaki “remediation” kelimelerinin biraraya getirilmesi ile terminolojiye 1991 yılında girmiş olan “phytoremediation”, “bioremediation”, “botanical remediation” ve “green remediation” şeklinde debilinmektedir. Dilimizde “Yeşil Islah” olarak ifade edilen bitki temelli, çevre ıslahında kullanılan teknolojidir. Bu teknoloji sayesinde organik ve inorganik maddelerin oluşturduğu kirlilik bitkiler kullanılarak yok edilebilmektedir (Vanlı, 2007).

Fitoremediasyon tekniğinde çevresel kirleticileri içine alan, bünyesinde biriktirip belirli aşamalardan sonra bertaraf hale getiren hiperakümülatörler kullanılmaktadır (Raskin vd., 1997). Farklı ıslah yöntemleriyle kıyaslandığında daha düşük maliyetli, uygulamanın basit ve sürecin kısa olması gibi avantajları bulunmaktadır (Glass, 1999).

Fitoremediasyon, hiperakümülatörlerin arazi ve/veya su ortamından organik ve/veya inorganik kirlenleri alarak,

- Kök kısmında hareketsizleştirerek,
- Kök ve bitkinin yukarı kısımdaki organlarının içlerine alarak depo ederek,

- Köklerin yardımı ile bitkinin üst organ kısımlarına taşınarak gövde ve yapraklarında metabolize ederek buharlaştırıp ortamların temizlenmesini sağlayan bir teknolojidir.

Bitkiler aracılığı ile bulunduğu ortamdan alınma potansiyeli olan kirleticiler, elementler, metaloidler, radyonükleidler, ametaller ve pestisitler gibi maddeleri içermektedir (Vanlı, 2007).

Fitoremediasyon tipleri

Fitoremediasyon tipleri kirleticilerine göre sınıflandırılmıştır. Kirleticiler metal ise; fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon ve rizofiltrasyon, organik ise; fitodegradasyon, rizodegradasyon ve fitovolatilizasyon olmak üzere altı farklı sınıfa (Tablo 2.1) ayrılmıştır (Aybar vd., 2015)

Tablo 2.1. *Fitoremediasyon Teknolojilerinin Kirletici Çeşitlerine Göre Sınıflandırılması (Aybar ve ark, 2015).*

Metal Kirleticilerde Kullanılan Yöntemler	Organik Kirleticilerde Kullanılan Yöntemler
Fitoekstraksiyon	Rizodegradasyon
Fitostabilizasyon	Fitodegradasyon
Rizofiltrasyon	Fitovolatilizasyon

Fitoekstraksiyon

Toprak kirlenmesine neden olan metal kirleticilerin bitki kökleri yardımı ile alınmasına verilen isimdir. Bitkiler topraktaki toksik maddeleri alma konusunda değişik özelliklere sahiptirler. Bu sebeple kirleticiler için hiperakümülatör bitkiler kullanılmalıdır. Zn, Cu ve Ni gibi ağır metal barındıran bileşikler bu teknik ile fitoekstrakte edilebilmektedirler. Bitkiler zararlı metalleri kökleri vasıtasıyla alarak farklı organlara dağıtırlar. Ağır metalleri barındıran bitkiler hasat edilerek yakılırlar veya farklı uygulama işlemlerine tabi tutulurlar (EPA, 1995).

Rizofiltrasyon

Bu yöntem için kullanılması düşünülen bitkilerde süzme işlevini yapan gelişmiş bir kök sistemine gereksinim vardır. Daha çok kirlenmiş sudaki ağır metallerin sudan uzaklaştırması için uygulanmaktadır. Kirleticiler bitkilerin köklerinin yüzeyinde emilir veya köklerden emilerek bitkinin diğer organlarına taşınır (EPA, 1995).

Fitostabilizasyon

Fitostabilizasyon toprak kaymalarının olduğu alanlardaki kaymaları engellemek, kirleticilerin yer altı suyuna karışmasını ve toprakla doğ-

rudan etkileşimi engelleyebilmek için kullanılır. Bu yöntemde toprak üzeri ortama uygun hiperakümülatör bitkiler ile kapatılmaktadır (Bert vd., 2005).

Bu yöntem daha çok toprak, sediment ve çamurların ıslahında kullanılır. İyileştirme çalışmaları kirlenmiş topraklarda hibrit kavaklar ve Hindistan hardalı gibi bitkilerle yapılmış çalışmaların başarıyla sonuçlandığı gözlemlenmiştir (EPA, 2000).

Fitodegradasyon

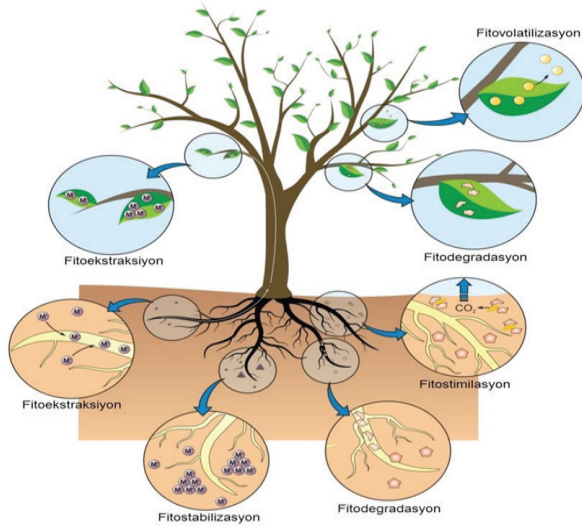
Fitodegradasyon yönteminde hiperakümülatör bitkiler aracılığı ile ortamdan toplanan kirleticilerin yapısı değiştirilir. Bu da enzimatik reaksiyonların gerçekleşmesi ile bozunuma uğrayıp daha küçük parçalara ayrıştırılan moleküller bitkiler ile metabolik olarak farklı şekilde değerlendirilecek hale getirilerek bitki dokuları ile birleşmiş bir hal alırlar. Bu metodile birçok farklı kirletici ıslah edilebilir. Örneğin; yeraltı sularındaki çözücüler, topraktaki petrol ve aromatik bileşikler ve havadaki uçucu bileşikler gibi (Newman ve Reynolds, 2004).

Rizodegradasyon

Bu teknikte bitkiler toprak mikroorganizmaları aracılığı ile organik kirleticileri aktif olmayan duruma getirmesidir. Organizmaların enerji ihtiyaçlarının temini için gerekli olan besinleri üreten mikroorganizmalar, kök sistemleri ile toksik maddelerin yapılarında değişiklikler oluştururlar. Bu durum yaşamsal faaliyetlerin devamı için mikroorganizmaları en uygun seviyede tutar ve zararlı kirleticilerin sürekli parçalanmasını sağlayarak organik kirleticilerin bozunmuş hallerini bünyelerinde biriktirirler (Söğüt vd., 2002).

Fitovolatilizasyon

Bitkisel buharlaştırma; organik kirleticiler ve ağır metal bulunan suyun büyük bir miktarını kökler aracılığı ile bünyesine alan ağaçlarda oluşur. Bu yöntemde tutulan kirleticiler çok uçucu olmayan formlar haline getirilerek transpirasyon ile tabiata bırakılmaktadır. Bu sayede kirleticiler, havaya terleme ile gaz haline dönüşerek karışmaktadır (Ghosh ve Singh, 2005). Fitoremediasyon tiplerinin şematik görünümü Şekil 2.2. de verilmiştir.



Şekil 2.2. Fitoremediasyon Tiplerinin Şematik Gösterimi (Favas vd., 2014)

Fitoremediasyonun kullanım alanları

Son dönemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan fitoremediasyon çalışmaları değişik metal ve organik kirleticilerle farklı ülkelerde denenmiş ve olumlu verilere ulaşılmıştır (Türkoğlu, 2006). Tablo 2.2’de farklı fitoremediasyon sınıflarına göre kirleticileri ortamları ile kullanılan farklı bitkiler verilmiştir (Hamutoğlu vd., 2012).

Tablo 2.2. Fitoremediasyon tekniklerinin farklı kirletici ve ortamlarda kullanım alanları (Hamutoğlu vd., 2012).

Mekanizma	Ortam	Hedef Kirleticiler	Bitkiler
Fitoekstraksiyon	Toprak sediment ve çamur	Metaller, metalloidler ve radyonükleidler	Hindistan hardalı, Alyssum, Ay çiçeği, Hibrit, kavaklar
Rizofiltrasyon	Yüzey ve yeraltı suyu	Metaller, radyonükleidler	Ay çiçeği, Hindistan hardalı, Su sümbülü
Fitostabilizasyon	Toprak, sediment ve çamur	As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn	Hindistan hardalı, hibrit kavaklar, çimler
Rizodegradasyon	Toprak, yeraltısuyu	Organik bileşikler	Kırmızı dut, imler
Fitodegradasyon	Toprak, sediment ve çamur, yeraltısuyu, yüzey suyu	Organik bileşikler, klorinat çözücüler, herbisitler, fenoller	Alg, hibrit kavaklar, Siyah söğüt, Servi
Fitovolatilizasyon	Toprak, sediment ve çamur, yeraltısuyu	Klorinat çözücüler, bazı inorganikler (Se, Hg, As)	Kavaklar, Yonca, Hindistan hardalı

2.2. Algler

Algler fotosentez sonucu olarak; karbonhidrat, protein ve lipid üreten, prokaryotik veya ökaryotik organizmalardır (Richmond, 2004). Ekolojik

olarak algler yeryüzünün her yerinde yayılım gösterirler. Tatlı su, deniz ve karasal ortamlarda bulunabilirler, fakat %70'nin yayılım gösterdiği alanlar; denizler, göller ve nehirlerdir. Karada nemli ortamlarda, toprak, ağaç ve kayalara tutunarak yaşayabilirler. İçlerinde plankton olanları bulunduğu gibi epifitik, epizoik, episammik, epilitik olanları, bitki dokularının intersellüler boşluk kısımlarında kısmen parazit yaşayanları, hayvan ve bitkilerde simbiyotik yaşayanları bulunmaktadır. Fotosentez yapmak için ışık bulabildikleri her yerde yaşayabilmektedirler (Gümüş, 2006).

Algler su ortamının primer üreticileridir ve besin zincirinin temelini oluştururlar (Cirik ve Cirik, 2011). Yapılarındaki bulunan renk maddeleri yardımı ile CO_2 ve H_2O 'yu ışık yardımıyla karbondihidratlara çevirerek sucul yaşamadaki besin miktarı ve oksijen artışına sebep olurlar (Demiriz, 2008).

Denizlerin, akarsu ve göllerin önemli canlılarından olan alglerden gıda, tarım, kozmetik, tıp, eczacılık ve endüstri alanlarında yararlanılmaktadır. (Gümüş, 2006; Cirik ve Cirik, 2011). Algler, karbondioksiti potansiyel biyoyakıta, yiyeceklerle, hayvan yemine ve yüksek değerli biyoaktiflere dönüştüren güneş enerjisini kullanan canlılardır. Arazi ve suda bulunan kirliliğin bertarafında ve biyogübre içinde nitrojen tutulumuna destek olmaktadır (Chisti, 2007).

Alglerin sınıflandırılması ve genel özellikleri

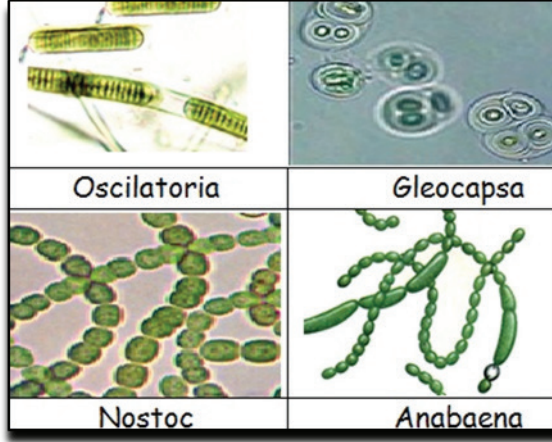
Mikroorganizmaların sınıflandırılmasında, biçim değiştirme (suş); bir mikroskobik canlının başka alt türlerinin birbiri arasında değişik genetik gruplarını, tür; aynı soydan gelen ve benzerlik gösteren mikroorganizmaları, cins; biraraya gelen birbirine benzeyen büyük popülasyonları belirtmektedir (Elcik ve Çakmakçı, 2017).

Algler yapı bakımından prokaryot ve ökaryot olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Bu sınıflar arasında sitolojik, morfolojik, biyokimyasal özellikleri, üremeleri ve hayat döngüleri açısından farklılıklar görülmektedir (Bowen, 1966). Çeşitli alg gruplarına ait örnekler Şekil 2.3 ve Şekil 2.6 aralığında verilmiştir.

Alglerin sınıflandırılmasında günümüzde göz önünde bulundurulacak özellikler şunlardır:

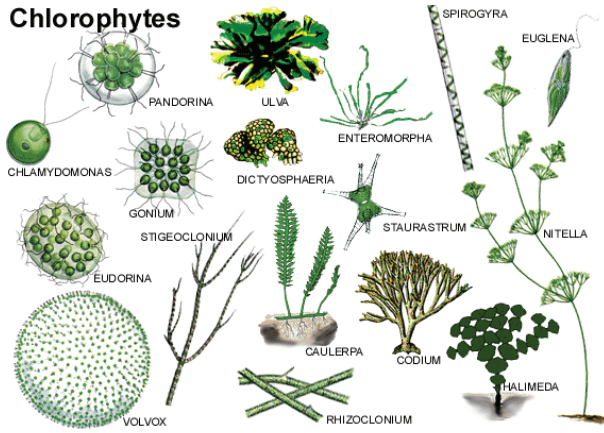
- a- Plastidlerindeki pigmentler
- b- Fotosentez sonunda oluşan besin depo maddeleri
- c- Hareketli üreme hücrelerinin kamçı yapıları
- d- Hücre çeperinin kimyasal yapısı
- e- Çekirdeğin zar yapısı ve çekirdek materyalinin özellikleri

f- Üreme organları ve üreme biçimleri ile hayat devreleri (Yurdakulol ve Cansaran, 2004).



Şekil 2.3. *Cyanophyta* ait cinsler (Anonim, 2022 a)

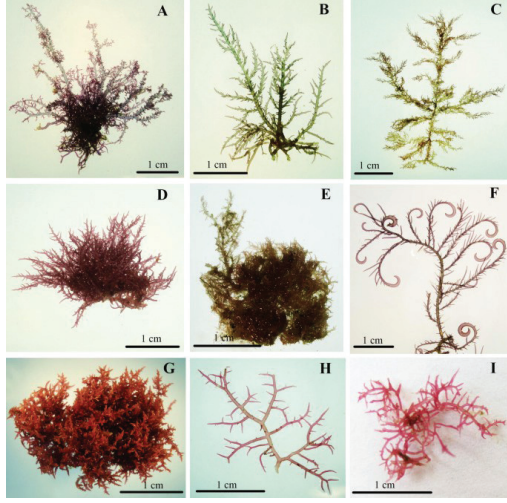
Chlorophytes



Şekil 2.4. *Chlorophyta* ait cinsler (Anonim, 2022b)



Şekil 2.5. *Phaeophyta* ait cinsler (Anonim, 2022c)



Şekil 2.6. *Rhodophyta* ait cins (a) *Hypnea Brasiliensis*, b) *H. Cervicornis*, c) *H. cryptica*. d) *H. Edeniana*, e) *H. flava*, f) *H. pseudomusciformis*, g) *H. spinella*, h) *H. yokoyana*, i) *H. wynnei*; Anonim, 2022d)

Mavi yeşil algler (Cyanobacteria) canlılar için protein, karbonhidrat, lipit, vitamin, enzim ve diğer biyoaktif bileşenleri bakımından değerlidirler (Pinotti ve Segato, 1991).

Bazı türler fotosentezle birlikte azot bağlanması da yapabilirler. Bazı türlerin nörotoksin üretme yeteneği bulunmaktadır. Fotosentez kabiliyetleri, protein içeriklerinin fazla olması ve basit besiyerlerde hızlı çoğalabilmeleri besin kaynağı olarak kullanım alanına sahiptirler (Elliot vd., 1982). Ökaryotik alg Chlorophyta (yeşil algler) grubu alglerde karbonhidrat ve yağ üretiminin artması nedeni ile besin değerleri yüksektir (Demiriz, 2008). Chlorophyta'dan *Chlorella vulgaris* (Şekil 2.8.) en zengin klorofil kaynağına sahiptir. Klorofil, zarar görmüş dokuların iyileşmeyi hızlandırdığı bilinmektedir. Klorofil sindirim sistemine, pis koku oluşturan bakterileri bertaraf ederek yardımcı olmaktadır. Ayrıca hemoglobine benzer yapısından dolayı kan yapımını arttırdığı düşünülmektedir. Nükleik asitler yardımı ile hızlı bir şekilde çoğalarak kendine has hücrelerini gençleştirmektedir (Demiriz, 2008).



Şekil 2.7. *Chlorella vulgaris* (Anonim, 2022f).

2.2.1.Mikroalg

Su ortamında büyüyen, tek hücreli ve çok hücreli yapılarda bulunabilen, basit heterotrofik ve/veya ototrofik fotosentetik mikro organizmalardır (Zhu, 2015). Prokaryotik veya ökaryotik yapıda bulunabilen mikroalgler, ivedi olarak çoğalabilmekte ve tek hücreli veya basit çok hücreli yapıları özellikleri ile uygun olmayan şartlara adapte olarak da yaşayabilmektedirler. Mikroalglerin 50000'den fazla türü bulunduğu düşünülmektedir, fakat yaklaşık 30000 kadar türü belirlenebilmiştir (Mata vd., 2010). Mikroalglerin yapısında lipitler (%4-55) (Miao vd. 2004; Becker, 2007), karbonhidrat (%6-57) (Yeh vd., 2010; Hariskos vd., 2014), protein (%10-63) (Miao vd. 2004; Becker, 2007) gibi birçok bileşen bulunmaktadır. Mikroalglerin bazılarında %70'den (kuru ağırlık) fazla lipit içerdiği bildirilmiştir (Suali ve Sarbatly 2012; Bahadar vd., 2013). Bazı mikroalglerin yapısındaki bileşenlerin yüzdelik oranları Tablo 2.3 de verilmiştir.

Tablo 2.3. Bazı mikroalg türlerinin yapısındaki bileşenlerin kuru ağırlık yüzdelik oranları (Elcik ve Çakmakçı, 2017)

Mikroalg	Karbonhidrat	Protein	Lipit
<i>Chlorella vulgaris</i>	6-10	25-30	30-40
<i>Scenedesmus obliquus</i>	10-17	50-56	12-14
<i>Spirulina platensis</i>	8-14	46-63	4-9
<i>Pavlova lutheri</i>	11,7	28,8	37
<i>Isochrysis sp.</i>	26,7	21,5	31,9

<i>Chlorella protothecoides</i>	15,4	10,2	55,2
<i>Prymnesium parvum</i>	25-33	28-45	22-38
<i>Dunaliella salina</i>	32	57	6
<i>Porphyridium cruentum</i>	40-57	28-39	9-14
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	17	48	21
<i>Chlamydomonas</i> sp.	33,2	17,9	41,1

Heterotrofik ve mikсотrofik gelişimde, genellikle organik karbon kaynağı için glikoz, galaktoz, mannoz, fruktoz, sükröz ve laktoz kullanılmaktadır (Abreu vd., 2012). Organik karbondan elde edilen enerji, hücre sentezinde kullanılmakta, ışık enerjisinden elde edilen kimyasal enerji ise depolanmaktadır (Kim vd., 2013).

Mikroalglerin izolasyonu

Literatürde, doğadan numune toplama ile ilgili belirlenmiş bir prosedür yoktur. Numuneler, kaya yüzeylerinden veya dip sedimentlerden kazıma, ayırma, fırçalama ile alınabilmektedir. Fırçalama yöntemi etkili bir yöntem olmakla birlikte, mikroalgal hücreler zarara uğramadan alınabilmektedir. Derin tatlı su göllerinden ve barajlardan numune alımı ise, en az üç farklı derinlik bölgesinden numune alınarak, farklı ışıklandırma seviyelerine toleranslı türler seçilebilmektedir (Mutanda, 2011). Toplanan mikroalg türlerinin izolasyonunda farklı yöntemler tercih edilmektedir. Bunlar: Mikropipet kullanarak tek hücre izolasyonu, agar yöntemi ile seyreltme tekniği ve ağırlığa göre ayırma, bilinen izolasyon teknikleridir. İzolasyon işleminde izlenen yol genel olarak: (1) tabiattan alınan örneklerin laboratuvara getirildikten sonra iri boyuttaki uygun olmayan türlerin, filtre yardımıyla ayrıştırılması, (2) filtre edilen numuneden seyreltme yöntemi ile aşamalı bir şekilde hücre sayısının azaltılması, (3) seyreltilen numune mikroskopta incelenerek, istenilen mikroalg türünün petri kaplarında hazırlanan agar besiyerine ekilmesi, (4) agar besiyerinde belirlenen büyüme şartları altında (Sıcaklık 20-30°C, ışık 20-200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) üretilen mikroalgler mikroskop altında incelenerek iğne uçlu öze yardımı ile sıvı besiyerine ekilmesi adımlarından oluşmaktadır (Elcik ve Çakmakçı, 2017). Mikroalglerin izolasyonu kullanım amacına göre değişmektedir. Doğru mikroalg türünün belirlenebilmesi için belli başlı parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Bunlarda; sıcaklık, ışık, pH, besin miktarı, karbon miktarı ve bakteriyel kontaminasyon gibi çevresel değişimlere direnç parametreleridir (Rashid vd., 2014). Özellikle biyoyakıt üretiminde büyük

ölçekli mikroalg üretiminde başarılı olabilmek için o bölgenin çevresel ve iklimsel koşullarına adapte olmuş mikroalg türleri tercih edilmelidir (Rawat, 2013). Ayrıca, birçok mikroalg türünün temin edilebildiği kültür koleksiyonlarından istenilen türler satın alınarak çoğaltılabilmektedir. Yaygın olarak bilinen mikroalg kültür koleksiyonları (Tablo 2.4.); ABD’de UTEX, Portekiz’de ACOI, Avustralya’da ANACC, İngiltere’de CCAP, Japonya’da NIES, Almanya’da SAG (Elcik ve Çakmakcı, 2017). The University of Texas Algal Culture Collection (UTEX), Texas Üniversitesi’nde 1953 yılında kurulmuş, koleksiyonda 2300 değişik mikroalg suşu bulundurmaktadır. Coimbra collection of algae (ACOI), Coimbra Üniversitesinde kurulan koleksiyonda 4000’in üzerinde suş ve 1000’in üzerinde tür bulundurmaktadır. 1920 senesinde Goettingen Üniversitesinde kurulan SAG koleksiyonunda hemen hemen 2213 suş ve 1273 tür mevcuttur (Mata, 2010). Kültür koleksiyonlarında yetiştirilen mikroalg türleri belirli şartlar altında ve kontrollü bir şekilde üretildiklerinden zaman içinde çoğalma kabiliyetleri ve çevreye olan adaptasyonları ve direnç gibi özelliklerini kaybedebilmektedir (Zhu vd., 2013). Bu nedenle, o bölgenin çevresel koşullarına uyum sağlamış yeni türlerin tabiattan izole edilmesi daha doğrudur.

Tablo 2.4.Yaygın olarak bilinen mikroalg kültür koleksiyonları (Elcik ve Çakmakcı, 2017)

Koleksiyon Adı	Ülke	Algal suş sayısı
Coimbra Collection of Algae (ACOI),	Portekiz	4000
Australian National Algae Culture Collection (ANACC),	Avustralya	1149
Culture Collection of Algae at the University of Cologne (CCAC)	Almanya	1370
Culture Collection of Algae and Protozoa (CCAP),	İngiltere	2500
Provasoli-Guillard National Center for Marine Algae and Microbiota (CCMP),	ABD	2799
Freshwater Algae Culture Collection, Chinese Academy of Sciences (FACHB),	Çin	1138
Korea Marine Microalgae Culture Center (KMMCC),	Kore	1299
Microbial Culture Collection at National Institute for Environmental Studies (NIES),	Japonya	2159
Sammlung von Algenkulturen at University of Goettingen (SAG),	Almanya	2041
Scandinavian Culture Collection of Algae & Protozoa (SCCAP),	Danimarka	1033
The Culture Collection of Algae at the University of Texas Austin (UTEX),	ABD	2300

Mikroalgal biyokütle tarihsel gelişimi ve üretimi

Mikroalglerin laboratuvar şartlarında yetiştirilmesi hemen hemen 140 yıl, ticari olarak üretimi ise 60 yıllık bir zamanı içermektedir. 1850 yılında ilk kültür çalışması *Haematococcus pluvialis* ile yapılmış, sonrasında yeşil alglardan *Chlorococcum infusionum* ve *Desmococcus olivaceus* kültür ortamında üretilmiştir. Alg yetiştirme yöntemleri için büyük çaplı çalışmalar 1948-1950 yılları arasında Stanford Araştırma Enstitüsü’nde

başlamıştır (Borowitzka vd., 2013). 1951-1960 yılları arasında laboratuvar çalışmalarında dış ortamlar kullanılarak *Chlorella* üretimi için araştırmalar Cambridge gerçekleştirilmiş, Kaliforniya Üniversitesinde biyokütle üretimi, atıksu arıtımı için büyük ölçekli alg üretimi çalışmalarına başlanmıştır (Oswald vd.,1957; 1960).

1960-1970 yıllarında Çin Cumhuriyeti ve Japonya'nın ticari nedenlerle besin maddesi olarak *Chlorella* yetiştirilip geliştirilmesini takiben bazı Orta Asya ülkeleri ve Avrupa ülkelerinde de mikroalg yetiştirilmeye başlanmıştır. 1970'li yılların başında İlk *Spirulina* üretim tesisi Meksika'da Texcoco gölü üzerine kurulmuş, 1995 yılına kadar faaliyet göstermiştir. 1980 yılında ABD'de geliştirilen yarış pisti benzeri havuzlarda *Spirulina* yetiştirilmiştir. (Borowitzka vd., 2013). 1980 yıllarında İsrail, ABD ve Avustralya *Dunaliella salina* türünün β karoten kaynağı olması nedeni ile ticari olarak üretimini yapmıştır. Günümüzde Avustralya ve İsrail'de yıllık bintondan fazla kuru *Dunaliella* biyokütle üretimi yapılmakta, yapısındaki β -karoten tıp alanında kullanılmaktadır. Modern mikroalg biyokütle çalışmaları Beijerinck tarafından *Chlorella vulgaris* ile başlamış (Borowitzka vd., 2013), zengin lipid içeriğine sahip mikroalgler, besin ve yakıt üretiminde kullanılabilmesi durumu önerilmiştir (Harder vd., 1942a;1942b). Milner (1951), ise alglerden fotosentetik yağ üretiminin elde edilebileceğini ifade etmiştir. Aach (1952), tarafından yağ üretimi ile ilgili araştırma *Chlorella pyrenoidosa* ile yapılmıştır. (Borowitzka vd., 2013).

Mikroalg üretiminde etkili olan faktörler

Mikroalgler yaşadıkları çevre ile etkileşim halindedir. Mikroalgler için ışık, sıcaklık, besin ve pH etkili parametrelerdir (Tablo 2.5.). Mikroalglerin en uygun üretimi bu parametrelerin en uygun seviyelerde olmasıdır. Bu parametreler fotosentez ve verimliliği dışında ayrıca; hücresel aktivite ve kompozisyonunu da etkilerler (Oktor, 2018).

Tablo 2.5. Mikroalglerin ortalama üretim şartları (Eliçin vd., 2009)

Parametreler	Sınır değerleri	Optimum şartlar
Sıcaklık (°C)	16 – 40	18 – 24
Tuzluluk (g/l)	12 – 40	20 – 24
Işık yoğunluğu (lux)	1000 – 10000	2500 – 5000
Işıklanma süresi (Gündüz: gece h) 24:0 maksimum	-	16: 8 minimum

a) Işık

Işık, mikroalg gelişimindeki fotosentez olayında önem olarak ilk sırada gelir. Genellikle 400/700 nm dalga boyundaki ışık kullanılır. Soğurulan dalga boyu türe göre değişebilmektedir. Örneğin, yeşil mikroalgler 630/675 nm aralığında ışığı soğurabilirken, fotosentez olayında ise

klorofilleri ile 450-475 nm ki ışığı soğurabilmektedirler. Aşırı ışık şiddeti hücrelere zarara uğratarak mikroalg gelişimini, düşük ışık seviyesi ise büyümeyi etkilemektedir. Ayrıca ışıklanma seviyesine göre büyüme hızı ve lipid üretimi farklılık gösterebilmektedir (Oktor, 2018).

b) Sıcaklık

Her canlı da olduğu gibi sıcaklık mikroalgler için de önemlidir. Hücre morfolojisi ve fizyolojisini etkileyen yüksek sıcaklıklar metabolizma aktivitesini hızlandırırken düşük sıcaklıklar büyümeyi kısıtlamaktadır. Mikroalg türlerinin optimal sıcaklık değerleri değişmekle birlikte endüstriyel açıdan dikkat mikroalg türleri için 20-30 °C^C aralığındadır. Hücrenin lipid kompozisyonunu, besin maddesi ve karbon alımını ayrıca büyüme hızını etkileyen sıcaklık; önemli bir stres faktörüdür (Oktor, 2018).

c) Besin Maddesi

Mikroalgler yaklaşık %50 karbon, %10 azot ve %2 fosfor içerdiklerin dolayı temel besin maddeleri karbon, azot ve fosfordur. Potasyum, magnezyum, demir, çinko, kalsiyum, molibden, kobalt, selenyum ve nikel gibi mineraller az miktarda gereklidir. CO₂/O₂ dönüştürücüsü olan fotosentetik canlılar olmaları nedeni ile karbondioksiti atmosferden veya sanayi tesislerinden temin edebilirler. Azot diğer canlılarda olduğu gibi mikroalglerin büyüme, çoğalma ve fizyolojik aktivitelerinde kritik bir besindir. Mikroalg türleri, azotu nitrat, nitrit, amonyum ve üre formunda kullanmaktadırlar. Genellikle öncelik sırasına göre amonyum, üre, nitrat ve nitriti kullanırlar. Fosfor, hücre gelişimi ve mikroalg metabolizması için gerekli olup enerji transferi, hücresel sinyal iletimi, fotosentez ve solunum gibi aşamalarda rol oynamaktadır. Fosforun lipid üretiminde etkili olduğu ve düşük fosfor miktarında mikroalglerin lipid içeriklerinin ve lipid üretimlerinin arttığı belirlenmiştir (Oktor, 2018).

d) pH

Mikroalglerin beslenme ve metabolik faaliyetleri için pH değeri önemlidir. Karbondioksit ve nitrat alınırken pH yükselir, amonyak alımında ise düşmektedir. Mikroalglerin gelişiminde uygun pH aralığı 7-9' dur. Yüksek pH seviyelerinde, hücresel faaliyetlerin bozulmasından dolayı ve kültürün yapısının çökmesi nedeni ile kültürlerin pH miktarının uygun seviyede tutulması çok önemlidir (Oktor, 2018).

e) Karıştırma

Harmanlama işlemi; mikroalg hücrelerinin çökmesini engelleyerek, ortamdaki hücrelerin ışık ve besin öğeleri ile teması sağlar ayrıca ısı nakline olanak sağlanarak katmanlaşma engellenir, kültür ile hava arasındaki gaz değişimi sağlanır. Yüksek yoğunluklu mikroalg yetiştirilmesin-

de ışık iletimi azalır, çözünmüş karbondioksit tüketimi, çözünmüş oksijen miktarı ve kültür sıcaklığı artar. Bu sebeple mikroalg yetiştirme sistemlerindeki üretkenlik üzerinde karıştırma kilit bir parametrelerdendir (Oktor, 2018).

2.2.2. Mikroalglerin Biyosorpsiyon Mekanizması

Metal soğurum çalışmaları, *Chlorella* sp., *Cladophora* spp., *Scenedesmus* spp., *C. Reinhardtii*, kahverengi alglerden *Sargassum natans*, *Fucus vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria japonica*, *Microcystis aeruginosa* ve *Oscillatoria* ile yapılmaktadır. Yeşil makroalg ve bunların alginat türevleri, birçok metal iyonu için yüksek oranda çekim sergilerler (Davis vd., 2003). Kahverengi makroalgal suşların metal biyosorpsiyonundaki potansiyel rolü açısından hücresel yapı, depo polisakaritleri, hücre duvarı ve hücre dışı polisakaritleri ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde; aljinatın kahverengi alglerin metal biyosorpsiyonunda kritik bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Aljinat iyon değişimine ve kompleks yapıya katılır, ağır metallerin bu polimerle bağlanmasına neden olur. Kahverengi alglerin adsorpsiyon kapasitesi doğrudan alginat içeriği, bulunabilirliği ve spesifik makromoleküler düzenlenmesi ile ilişkilidir (Fourest ve Volesky, 1995).

Canlı mikroalgler aracılığı ile ağır metallerin soğurum çalışmalarının çoğu yüksek pH değerlerinde ve 7gün ile 13 günlük kitle kültürlerde yapılmaktadır. Ayrıca ağır metaller, asit olan nitriloasetik asit, fulvik asit ve metal iyonları ile kimyasal olarak birbirine geçmiş tanımlanamayan maddeler barındırmaktadır. Bu maddeler, alglerin aktif gruplarının metallerle yarışması sebebi ile alg temelli arıtım sistemlerinin etkinliğini düşürebilmektedir. Arıtım zamanını düşürmek ve gelişen mikroalglerin etkinliğinin artırılması için kirletici ve metal girişi sürekliliğinde metallerin absorbe sürecinin etkinleştirilmesi önerilmektedir (Peña-Castro vd., 2004).

Değişken alg türlerindeki ağır metal iyonlarının toksik seviyesi, spesifik olabilir ve bu nedenle, belirli bir algal suş kullanılarak potansiyel iyileştirme kapasitesi kullanılır. *Desmodesmus pleiomorphus*'un iki suşunu kullanarak kadmiyum iyonu uzaklaştırılması araştırılmış ve 'ACOI 561' suşları kullanarak kadmiyum biyosorpsiyon kapasitesi arasında %25'lik bir fark bulunmuştur. Romera vd. (2007)'nin tür farklılıkları bakımından yapmış olduğu çalışmada farklı makroalg türlerin farklı bakır tutma kapasite sahip olduklarını bulmuşlardır. Buna göre bakır tutma kapasiteleri *Codium vermilara* < *Spirogyra insignis* < *Asparagopsis armata* < *Chondrus crispus* < *Ascophyllum nodosum* < *Fucus spiralis* şeklinde sıralanmıştır.

Mikroorganizmalar tarafından ağır metal iyonu birikimi genellikle iki fazda meydana gelir (Monteiro vd., 2011; 2012). Birinci faz, hücre yüzeyi üzerinde gerçekleşir ve hücrenin metabolizmasından tamamen bağımsız olan hızlı inaktif biyolojik emilimden oluşur. İkinci safha, ağır metal

iyonlarının algal hücrelerin sitoplazmasına aktif emilmesinden oluşur. Bu faz, hücre metabolizmasına bağlıdır ve hücre içi iyon alımı olarak bilinir (Talebi vd., 2013). Hücre içi iyon alımının ağır metal iyonlarının biyosorpsiyonu ve detoksifikasyonunda büyük katkısı vardır.

Alkalin çökeltme, kimyasal yükseltgenme ve indirgenme, iyon değişimi, elektrokimyasal kaldırım, süzme ve zar teknolojisi ağır metallerin absorpsiyonu için kullanılan ideal teknolojilerdir (Kratochvil ve Volesky, 1998; Çetinkaya-Dönmez vd., 1999; Eccles, 1999; Peña-Castro vd., 2004; Abu Al-Rub vd., 2006; El-Naas vd., 2007). Biyosorpsiyon, aktif olmayan biyokütle veya canlı olmayan algler kullanılarak atık sulardan ağır metal iyonlarını uzaklaştırmak için kullanılan yenilikçi bir teknolojidir. Mikroalgler kolaylıkla kültüre edilebilmekte ve bazıları yüksek oranlarda ticari olarak üretilmektedir. Alglerin metalleri absorbe kabiliyetleri türlere göre değişebilmekte ve rastgele bir metal için aynı türün alt türleri arasında bile değişimler görülmektedir (Mehta ve Gaur, 2005).

Algler, atık sulardaki kirleticiler, ağır metaller, zirai ilaçlar, organik ve inorganik olan zararlı maddeler, radyoaktif maddeler gibi doğal ortam için zararlı kirleticileri bertaraf edebilmeleri nedeni ile atık su arıtımında kullanılan organizmalar içinde önemli bir yer tutar. Alglerin radyoaktif materyalleri bünyelerinde toplama kabiliyetlerinin öğrenilmesini takiben, atık suların biyolojik arıtımındaki önemleri daha da artmıştır.

Düşük maliyetli ekim, yüksek metal iyonu alımı ve metal seçiciliği ve büyük ölçekli üretim için uygun mekanik özellikler algleri atık su biyoremediasyonu için uygun bir aday yapmaktadır. Başarılı biyosorpsiyon prosesleri, ucuz biyomalzemelerin, biyokimyasal yapıya dayanan yüksek metal alımı ve seçiciliği yanı sıra, uygulanan iyileştirme prosedürleri için uygun mekanik özellikler gerektirir (Zeraatkar vd., 2016).

Soğurum çalışmalarında canlı ve ölü hücreler kullanılabilir. Ancak; ölü biyomasın kullanımı önceliklidir. Çünkü yaşayan hücreler canlılıklarının devamı için besine gereksinim duymaktadırlar ve ölü biyomas metal iyonlarının zararlı etkilerinden etkilenmez. Canlı olmayan algal biyokütle, ağır metal katyonlarına adsorbent olarak bağlanabilen, etkin atık su arıtma potansiyeline sahip bir polimer (şekerler, selüloz, pektinler, glikoproteinler vb.) bileşimi olarak kabul edilebilir (Volesky, 2007; Arief vd., 2008). *C. vulgaris*'in nikel metalini soğurmasında canlı ve ölü biyomas arasında benzer olduğu saptanmıştır (Abu Al-Rub vd., 2006).

Alglerde sorpsiyon işlemi, büyüme fazına bağlı olarak büyük değişimler gösterir. Daha spesifik olarak, canlı algler, metal iyonu biyosorpsiyon kapasitesini doğrudan etkileyen çeşitli çevresel faktörlerden etkilenir. Canlı alglerdeki emilim mekanizmaları, canlı olmayan algere göre daha karmaşıktır, çünkü emilim büyüme fazı sırasında gerçekleşir ve ağır me-

tal iyonlarının hücre içi alımları genellikle bu fazda meydana gelir. Buna karşılık, canlı olmayan alg hücreleri, hücre zarı yüzeyinde metal iyonlarının biyosorpsiyonunu absorbe eder ve hücre dışı bir işlem olarak kabul edilir (Godlewska ve Ylkiewicz, 2001).

Alglerin metal absorpsiyon yeteneğinin, diğer arıtıcı kaynaklara göre yüksek olduğu belirtilmiştir. İyon değiştiriciler ve reçinelerin metal kaldırım etkisi alglere göre daha az etkili veya çözünmüş maddedeki metal 10 mg/L derişiminin altındadır. Algler ise düşük metal derişimlerine sahip çözeltilerden metal iyonlarının neredeyse tamamını uzaklaştırabilmektedir. Algal biyomas; endüstri atıklarından ağır metallerin giderimi için kullanılabilir (Mehta ve Gaur, 2005).

Farklı alg türleri için maksimum metal iyonu uzaklaştırma kapasitesini etkileyen fizikokimyasal koşullar Tablo 2.6'da özetlenmiştir. Tablo, metal iyon soğurumunun çoğunun düşük pH'ta (3-5) meydana geldiğini ve bu kurutulmuş algal biyokütlenin canlı alglere kıyasla daha büyük bir metal iyonu biyosorpsiyon kapasitesi sergilediğini göstermektedir. Çözelti pH'ının canlı olmayan alg biyokütle yüzey işlevsel gruplarının ayrışması ve ağır metal iyonlarının çözelti kimyasında ayrışması üzerinde önemli bir etkisi vardır (Pavasant vd., 2006).

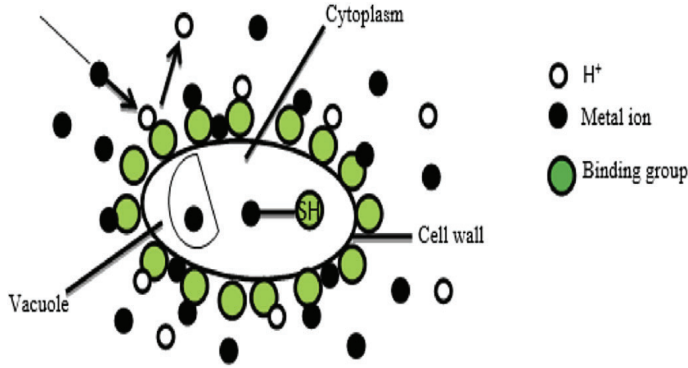
Tutunma yüzeyine tutulacak olan çözünmüş maddeler ilk olarak biyokütle etrafını saran çözücü sıvı film içerisinde geçer ve bu geçişe film difüzyonu denir. Tutunulacak yüzeyine gelen maddelerin gözeneklerin iç kısımlarına girebilmeleri için por difüzyonu adındaki geçişi tamamlamaları gerekir. Bu iki aşamayı geçen çözünmüş maddenin biyosorbent madde üzerine bağlanması ise son işlemdir (Volesky, 2003).

Tablo 2.6. Değişken mikro ve makro algler kullanılarak uygun değer koşullar altında 11 farklı ağır metal iyonunun biyosorpsiyon kapasitesi (Zeraatkar vd. 2016'dan uyarlanmıştır).

Metal	Alg türü	Max. sorpsiyon(mg/g)	pH	Başlangıç metal iyonkonsantrasyonu	Biyomas kons. (mg/L)	Sıcaklık(°C)	Zaman(saat)
Al (III)	<i>L. japonica</i>	75.27	4.5	-	1	-	30
As (III)	<i>U. cylindricum</i>	67.2	6	10	1	20	1
Au (III)	<i>F. vesiculosus</i>	74.05	7	100	1	23	8
Cd (II)	<i>As. nodosum</i>	87.7	6	50	0.5	-	2
	<i>C. vulgaris</i>	86.6	4	150	1	25	-
	<i>Ulva lactuca</i>	29.2	5	10	-	20	1
Cr (III)	<i>C.miniata</i>	41.12	4.5	100	-	25	24
	<i>Rhizoclonium</i>	11.81	4	-	-	-	2
	<i>Spirogyra</i> sp.	30.21	5	50	-	25	3
Hg (II)	<i>U. lactuca</i>	149.25	7	-	-	25	2
	<i>C. reinhardtii</i>	72.2	6	-	-	25	1
Ni (II)	<i>A. nodosum</i>	43.3	6	50	0.5	-	2
	<i>C.miniata</i>	1.367	7.4	-	1	-	24
	<i>C. vulgaris</i>	23.47	5.5	-	0.005	-	0.5
	<i>S. insignis</i>	17.5	6	-	1	25	2

Pb (II)	<i>A. nodosum</i>	178.6	6	50	1	-	2
	<i>F. spiralis</i>	204.1	3	50	-	-	2
	<i>Spirogyra</i> sp.	140	5	200	0.5	25	1.66
Se (IV)	<i>C. hutchinsiae</i>	74.9	5	-	8	20	1
U(VI)	<i>C. vulgaris</i>	14.3	4.4	23.8	0.76	-	0.08
Zn (II)	<i>A. nodosum</i>	42	6	50	0.5	-	2
	<i>S. obliquus</i>	429.6	6-7	75	0.02	25	24
	<i>S. insignis</i>	21.1	6	50	1	-	2

Alg hücre duvarlarında ki polisakaritler ve proteinler ağır metal iyonlarının bağlama yerleri olması nedeni ile biyosorpsiyonda ilk bariyerdir. (Schiewer ve Volesky, 2000). Soğurulan metal iyonları biyoakümülyasyonda ilk adım olarak hareket ederler. Bağlayıcı gruplar; hücre yüzeyi, sitoplazma ve vakuollerde bulunur (Şekil 2.8) (Zeraatkar vd., 2016).



Şekil 2.8. Algal hücre duvarı üzerindeki bağlama alanlarının şematik bir temsili (Zeraatkar vd., 2016).

Metal iyonlarının soğurulma mekanizması, alg hücreleri tarafından iyonların alınarak sitozolik proteinlere bağlanıp metal iyonlarının hücrelere transfer edilmesi aracılığı ile metal iyonlarını toplayan organel olarak kabul edilebilir (Volesky, 2007).

Mikroalg biyosorpsiyonunu etkileyen faktörler

Biyosorpsiyon etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Biyosorpsiyon olayının başlayabilmesi ve devamı için bazı standart şartların oluşması gerekmektedir. Biyosorpsiyon tekniklerinde biyokütleyle bağlanan metal iyonu miktarının yalnız biyokütle türü değil yoğunlaşma, sıcaklık, biyokütle miktarı ve çözeltinin pH'sı gibi faktörlere de bağlı olduğu bildirilmiştir (Volesky, 2003).

Başlangıç metal iyonu konsantrasyonunun etkisi

Alglerin ağır metalleri giderimi ortamdaki ilk metal derişimine bağlıdır. Başlangıçtaki ağır metal derişimi ile biyomas yüzeyi arasında metalin taşınımını engelleyen nakil direncinin aşılması için karşı bir kuvvet gibi davranır (Arief vd., 2008).

Biosorpsiyon, metal iyonunun başlangıç konsantrasyonu arttıkça artar. Mehta ve Gaur (2001), *Chlorella vulgaris* biyokütlesinin, sırasıyla, 2,5 ppm yoğunluğunda Ni (II) ve Cu (II) kasyonlarının %69'unu ve %80'ini soğurabildiği belirtilmiştir. Başlangıçtaki Ni (II) ve Cu (II) yoğunluğunun 10 ppm'e arttığı görülürken, metal absorbe oranı sırasıyla %37 ve %42'ye düşürülmüştür. Shanab ve Essa (2007), cıva, kadmiyum ve kurşun iyonlarının yoğunluklarının *Scenedesmus communis*'in (Şekil 2.9.) büyümesine etkilerini araştırmışlardır. Düşük yoğunlukta kurşun ve kadmiyum iyonlarının (5-20 ppm) klorofil içeriği ve alg oluşumunu arttırdığı, cıva iyonlarının ise algal hücreler üzerinde herhangi bir yoğunlukta toksik bir etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.9. *Scenedesmus communis* (Anonim, 2022e).

b) pH'ın etkisi

Algal biyokütle ile metal iyonu alım kapasitesinin en önemli belirleyici parametrelerinden biri pH'tır (Mata vd., 2009; Mehta vd., 2002; Han vd., 2006; Gupta vd., 2001; Rangsayatorn vd., 2002). Organik asitler düşük pH'da, organik bazlar ise yüksek pH'da daha iyi adsorplanırlar (Weber, 1972).

Çözelti pH'ı da ağır metallerin absorpsiyonunda etkili bir faktördür. Hidroliz, organik ve inorganik ligandlarla karmaşık oluşturma, redoks tepkimeleri ve çökelti gibi ağır metallerin çözelti kimyasını ve biyokütle yüzeyindeki dağılım yerlerini etkilemektedir. (Arief vd., 2008). Asidik çözeltilerde fonksiyonel gruplar protonlanmakta ve kasyonların fonksiyonel gruplara bağlanmasını önlemektedir bu da biyosorpsiyon kapasitesinde bir azalmaya neden olmaktadır (Han vd., 2006; Gupta ve Rastogi, 2008a).

Çetinkaya-Dönmez ve arkadaşları (1999), *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* ve *Synechocystis* sp. cansız biyomaslarıyla sulu çözeltiden Cu^{+2} , Ni^{+2} ve Cr^{+6} un soğurumunu pH, başlangıç metal iyonu ve biyomas yoğunluk faktörleri ile laboratuvar koşulları altında incelemişlerdir

ve pH'nın ağır metallerin soğurumundaki en önemli parametrelerden biri olduğu ve hücre yüzeyindeki metal bağlama noktaları ile sudaki metal kimyasınınüzeyinde etkili olduğunu belirtmiştir.

Algler tarafından maksimum metal iyonu uzaklaştırılması için; biyokütle yüzeyi yükü, iyonlaşma derecesi ve soğurma alanları ile kuvvetli bir ilişim oluşturduğu için en uygun pH'ı bulmak önemlidir. Ağır metal iyonlarının biyosorpsiyon ve biyoakümülyasyon mekanizmasındaki ilk adım, iyonların alg hücre yüzeyine difüzyonudur ve bu, fonksiyonel grupların iyonlaşmasından negatif olarak yüklenmiştir. Negatif yüklü yüzey, karşı iyonları, yani ağır metal iyonlarını, hücre yüzeyinden kaynaklanan çift katmana adsorbe edecektir. Metal iyonlarının emilmesi, ortamdaki (canlı algler için büyüme ortamı) iyonların tükenmesine neden olur ve bu azalma, çift tabakalı kalınlığın genişlemesine neden olan ortamın iyonik kuvvetini düşürür. Bu nedenle ağır metal iyonlarının biyosorpsiyonu seyreltik ortamda daha etkilidir (Ahmadzadeh vd., 2007).

c) Biyokütle konsantrasyonunun etkisi

Bir çözelti fazından çıkan metal iyonlarının miktarı alg biyokütle konsantrasyonuna bağlıdır ve artan biyokütle konsantrasyonları, biyokütlenin gram başına metal iyonu alımını azaltır (Singleton ve Simmons, 1996; Mehta ve Gaur, 2001; Gokhale vd., 2008; Finocchio vd., 2010).

Hücreler arasındaki elektrostatik etkileşimler, algal biyokütle ile metal iyonu alımında belirgin bir etkiye sahiptir. Biyokütle yoğunluklarının metal iyonu biyosorpsiyon kapasitesi üzerinde değişken bir etkisi vardır. Farklı alg soyları ve metal iyonlarının kullanıldığı ve en düşük biyokütle konsantrasyonunda maksimum biyolojik soğurma verimi elde edilebileceği sonuç olarak bildirilmiştir (Romera vd., 2007).

Çetinkaya-Dönmez vd. (1999)'nın bildirdiğine göre *C. vulgaris*, *S. obliquus* ve *Synechocystis* sp.'nin biyomas yoğunluğunu 0,25'den 2 g/L'ye artırıldığında, sulu çözeltiden bakır (II), nikel (II) ve krom (VI)'un soğurma miktarının arttığı da belirtilmiştir.

d) Sıcaklık etkisi

Biyosorbentin yapısındaki ve yüzeyindeki işlevsel gruplarına bağlı olarak, sıcaklık belirli oranda biyosorbsiyonmiktarını etkilemekte, farklı sıcaklıklar soğurma dengesini etkilemektedir. (Arief vd., 2008). Sıcaklık canlı olmayan algal biyokütle ile metallerin biyolojik olarak emilimini de etkiler, çünkü adsorpsiyon denge sürecin ekzotermik veya endotermik doğası ile belirlenir (Gupta ve Rastogi, 2008a).

Sıcaklık, biyosorpsiyonun gerçekleştiği reaksiyonlarda önemli bir parametredir. Sıcaklık artışı ile alglerin metal soğurumunun arışı arasındaki

bağlantı, alglerin metal soğurumunun endotermik bir süreç olduğunu göstermektedir (Mehta ve Gaur, 2005). Endotermik reaksiyonlarda sıcaklık yükselirken biyosorpsiyon azalmaktadır. Biyosorpsiyonun ilk başladığında biyokütleyle bağlanan iyonlar sıcaklık yükselmesi sebebi ile biyokütleden ayrılma eğilimine girerler (Horsfall ve Spiff, 2005; Mungasavalli vd., 2007). Bazı çalışmalarda ise metal soğurumunun ekzotermik bir doğasının da bulunduğu bildirilmektedir. Aksu (2001), 20 °C'den 50°C'ye artırılan sıcaklık ile yaşamayan *C. vulgaris* biyomasının Cd için soğurum kapasitesini 85,3'den 51,2 mg/g'a düştüğünü bildirmiştir.

Bazı alglerin metal iyon alımının ekzotermik olduğunu ve sıcaklığının azalmasıyla alım kapasitesinin arttığı düşünülmektedir (Tuzen vd. 2009; Gupta vd. 2010). Ayrıca biyosorpsiyon yönteminde ekzotermik parametreler incelenmiş, sıcaklık azalınca biyosorpsiyon kapasitesinin arttığı gözlenmiştir (Benefield vd., 1982).

Metal iyonlarının biyosorpsiyon verimliliğinin, sıcaklığa bağlı olarak her alg türü için farklı olduğu ifade edilmiştir (Monteiro vd., 2010; Gupta vd., 2010). Metal ligand kompleksi oluşum sabitleri öncelikli olarak bir sıcaklığın fonksiyonu olmasına rağmen, daha önce yayınlanmış bazı çalışmalar, artmış alg kültürünün sıcaklıklar, oluşum sabitlerinin sıcaklığa göre değişimi dikkate alınmaksızın, metal iyonu biyosorpsiyon kapasitesini potansiyel olarak artırabilir (Sağ ve Kutsal, 2000; Deng vd., 2006; 2007; Gupta ve Rastogi, 2008 b; 2008c; Sari ve Tuzen vd., 2009; Khan vd., 2012).

Deng ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmada sıcaklık yükselişi ile biyosorpsiyonun arttığını ve reaksiyonun endotermik olduğunu bildirmişlerdir. Sıcaklıktaki artışı ile metal biyosorpsiyonun artması, endotermik bir süreç olduğunu gösterirken (Mehta ve Gaur, 2005), bazı çalışmalarda ise alglerin metal soğurumunun ekzotermik bir doğasının olduğu da belirtilmektedir. *Ascophyllum nodosum* biyokütlesi ile Co giderimi yapılan çalışmada, sıcaklık değerini 4°C'den 23°C'ye artırılması ile iyonların soğurulmasının %50-70 arttığını gösterilmiştir. Sıcaklık 40°C olduğunda tutunmanın daha az miktarda olduğunu, 60°C ve üzeri sıcaklıklarda ise biyosorbentin yapısındaki değişimden kaynaklı olarak biyosorpsiyon kapasitesinde biyokütlenin bozulması nedeni ile azalma olduğunu bildirmişlerdir (Kuyucak vd., 1989).

e) Temas süresinin etkisi

Ağır metal iyonu biyosorpsiyonu temas süresine büyük oranda bağlıdır. Hücre yüzeyi üzerinde ağır metal iyonu biyosorpsiyonunun kinetiğini tartışan daha önce yayınlanmış raporlara dayanarak, biyosorpsiyon mekanizması alg suşuna spesifik olduğu bilinmektedir (Lee vd., 2016).

Biyosorpsiyon iki basamakta gerçekleşir;

(1) Alg biyokütlesi için, iyonlar hücre membranına pasif olarak adsorbe olur ve metal iyonlarının biyolojik olarak emilmesi ilk dakika içinde hızla gerçekleşir,

(2) Canlı algler için, ağır metal iyonlarının algal hücrenin içine yavaş yavaş alınması nedeniyle aktif emilim meydana gelir (Vogel vd., 2010).

f) Ağır metal iyon sistemlerinin etkisi

Algal büyüme ortamında çoklu ağır metal iyonlarının bulunması, büyük fizyolojik ve biyokimyasal sonuçları ortaya çıkarmaktadır (El-Sheekh vd., 2005; Bajguz, 2011;). Ağır metal iyon sistemlerinde, metal iyonları algal ligandlarına bağlanmak için rekabet eder ve bazı katyonların varlığı, algal hücreler tarafından diğer metal iyonlarının alımını önemli ölçüde etkiler (El-Naas vd., 2007; Bayo, 2012).

3. Sonuç ve Öneriler

Ticari mikroalglerin istenilen kalitede üretilmesi önemli bir konu olmakla birlikte, ekonomik yönden faydaları düşünüldüğünde, fitobiyoreaktörler ve tasarım modelleri geniş çaplı olarak incelenmelidir. Mikroalg üretimi üzerine yapılan çalışmalar da mikro yosunların üretimi açısından, her çeşit ölçekte ticari üretime dayalı olarak; gıda, tıp, eczacılık, kozmetik, yem sanayisi ve gübre gibi sahalarda farklı üretim modelleri geliştirilmektedir. Ülkemizde enerji üretimi için mikroalglerin geliştirilmesi ve kullanılmasının gelecekte fosil yakıtlara alternatif olma olasılığı yüksektir. Ülkemizde mikroalglerden elde edilen ürünler artarken, alglerin biyokütle üretimi için kolay kontrol edilebilen, verimli, kontaminasyondan uzak ve düşük maliyetli teknolojilerle üretilen sistemlerin kurulumlarının gerçekleştirilmesi ile dış ülkelere bağımlılık azaltılarak ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır. Bu kapsamda yapılan büyük çaplı üretimler için uygun sistemler geliştirilmeye çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abreu A.P., Fernandes B., Vicente A.A., Teixeira J., Dragone G., (2012). Mixotrophic cultivation of *Chlorella vulgaris* using industrial dairy waste as organic carbon source, *Bioresour. Technol.*, 118, 61-66.
- Abu Al-Rub, F.A., El-Naas, M.H., Ashour, I., Al-Marzouqi, M., (2006). Biosorption of Copper on *Chlorella vulgaris* from Single, Binary and Ternary Meta Aqueous Solutions. *Process Biochemistry*, 41, 457-464.
- Ahmadzadeh, H. Prescott, M., Muster, N., Stoyanov, A., (2007). Revisiting electroosmotic flow: an important parameter affecting separation in capillary and microchip electrophoresis. *Chem. Eng. Commun.* 195 (2), 129-146.
- Akman, Y., (1993). Bitki Biyolojisine Giriş (Botanik), *Palme Yayınları*, Ankara.
- Aksu, Z., (2001). Equilibrium and Kinetic Modelling of Cadmium (II) Biosorption by *C. vulgaris* in a Batch System: Effect of Temperature. *Separation and Purification Technology*, 21, 285-294.
- Alexander, M., (1999). Biodegradation and bioremediation second edition, *Academic Press New York*. S:453.
- Anonim, (2022a). <https://biologigonz.blogspot.com/2010/04/species-gang-gang-biru.htmlhtml> (Erişim Tarihi: 21-09-2022).
- Anonim, (2022b). <https://alchetron.com/Chlorophyta> (Erişim Tarihi: 21-09-2022).
- Anonim, (2022c). <https://plantlet.org/divisions-euglenophyta-phaeophyta-chrysophyta/>(Erişim Tarihi: 21-09-2022).
- Anonim, (2022d). <https://link.springer.com/article/10.1007/s40415-019-00544-z> /
- Anonim, (2022e). https://planktonnet.awi.de/sci_images_detail.php?itemid=64900 (Erişim Tarihi: 21-09-2022).
- Anonim, (2022f). <https://www.micropia.nl/en/discover/microbiology/chlorella-vulgaris/>(Erişim Tarihi: 21-09-2022).
- Arief, V.O. Trilestari, K., Sunarso, J., Indraswati, N., Ismadji, S., (2008). Recent progress on biosorption of heavy metals from Liquids using low cost biosorbents: characterization., *Biosorption Parameters and Mechanism Studies*, *Clean* 2008,36(12), 937-962.
- Aybar, M. Bilgin, A. Sağlam, B., (2015). Fitoremediasyon Yöntemi ile Topraktaki Ağır Metallerin Giderimi. *Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2): 59-65.
- Azubuikwe, C.C., Chiker, C.B. Okpokwasili, G.C., (2016). Bioremediation techniques classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World J Microbiol Biotechnol* (2016) 32.180 DOI 10.1007/ S:11274-016-2137-x

- Bahadar, A., Khan, M.B. (2013). Progress in energy from microalgae: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 27, 128-148. DOI.org/10.1016/j.rser.2013.06.029
- Bajguz, A., (2011). Suppression of *Chlorella vulgaris* growth by cadmium, lead, and copper stress and its restoration by endogenous brassinolide. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 60 (3), 406-416.
- Bayo, J., (2012). Kinetic studies for Cd (II) biosorption from treated urban effluents by native grapefruit biomass (*Citrus paradisi* L.): the competitive effect of Pb (II), Cu (II) and Ni (II). *Chem. Eng.* 191 (0), 278-287.
- Becker E.W., (2007). Micro-algae as a source of protein, *Biotechnol. Adv.*, 25 (2), 207-210.
- Benefield, L.D, Judkins, J.R.J.F., Weand, B.L., (1982). Process chemistry for water and wastewater treatment. *New Jersey: Englewood Cliffs*; 433-5.
- Borowitzka M.A., Moheimani N.R., (2013). Algae for Biofuels and Energy, *Cilt 5, Springer*, 978-94-007-5479-9, India.
- Bowen H.J.M., (1966). Trace Elements in Biochemistry, *Academic Press*, London and New York.
- Ceyhan N. Esmeray, E., (2012). Petrol Kirliliği ve Biyoremediasyon. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 5 (1): 95-101, 2012. ISSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132.
- Chisti Y., (2007). Biodiesel from microalgae, *Biotechnol. Adv.*, 25 (3), 294-306. DOI.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001.
- Cirik Ş., Cirik S., (2011). Su bitkileri I-Deniz Bitkilerinin Biyolojisi, Ekolojisi ve Yetiştirme Teknikleri, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları*, 58, 135-145.
- Çetinkaya-Dönmez G., Aksu Z., Öztürk A., Kutsal T., (1999). A Comparative Study on Heavy Metal Biosorption Characteristics of Some Algae. *Process Biochemistry*, 34, 885-892.
- Davis T.A., Volesky B., Mucci A., (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res.* 37 (18), 4311-4330.
- Demiriz T., (2008). Bazı Alglerin Antibakteriyal Etkileri, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Deng, L., Su, Y., Su, H., Wang X., Zhu, X., (2006). Biosorption of copper (II) and lead (II) from aqueous solutions by nonliving green algae *Cladophora fascicularis*: equilibrium, kinetics and environmental effects. *Adsorption* 12 (4), 267-277.
- Deng L., Su Y., Su H., Wang X., Zhu X., (2007). Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophora fascicularis*. *J. Hazard. Mater.* 143 (1-2), 220-225.

- Eccles H., (1999). Treatment of Metal-Contaminated Wastes: Why Select a Biological Process? *Trends in Biotechnology*, 17, 462-465.
- Elcik H., Çakmakcı M., (2017). Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*,32:3,795-820.
- Elliot W., Stoching C.R., Barbour M.G., Rost T. L., (1982). Botany, An Introduction to Plant Biology, 6 nd. Ed., *John Wiley and Sons*, Singapore.
- El-Naas M.H., Al-Rub F.A., Ashour I., Al Marzouqi M., (2007). Effect of competitive interference on the biosorption of lead (II) by *Chlorella vulgaris*. *Chem. Eng. Process.* 46 (12), 1391-1399.
- El-Sheekh M.M., El-Shouny W.A., Osman M.E.H., El-Gammal E.W.E., (2005). Growth and heavy metals removal efficiency of *Nostoc muscorum* and *Anabaena subcylindrica* in sewage and industrial wastewater effluents. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 19 (2), 357-365.
- EPA, (1995). Contaminants and remedial options at select metals-Contaminated Sites, *EPA/540/R-95/512.6*.
- EPA, (2000). Environmental Protection Agency, Introduction of phytoremediation, *epa/600/R-99/107*, Cincinnati, Ohio, U.S.A. 2000.72.
- Favas P.J.C., Pratas J., Varun M., D'Souza R., Poul M.S., (2014). Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: potential of native flore, Environmental Risk Assessment of Soil Contamination'nın içinde (Hernandez-SorianoM.C., Ed.), *InTech Press*, 485-517.
- Finocchio E. Lodi, A. Solisio, C., Converti, A., (2010). Chromium (VI) removal by methylated biomass of *Spirulina platensis*: the effect of methylation process. Vol.156 No.2 pp.264-269.
- Fourest E., Volesky B., (1995). Contribution of sulfonate groups and alginate to heavymetal biosorption by the dry biomass of *Sargassum fluitans*. *Environ. Sci. Technol.* 30 (1), 277-282.
- Ghosh M., Singh S.P., (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Biomass and Waste Management Laboratory, School of Energy and Environmental Studies, Faculty of Engineering Sciences, Devi Ahilya University, Indore – 452017, India.
- Glass D.J., (1999). Economic potential of phytoremediation, Phyforemediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment, (Raskin I., Ensley B.D., Eds.), *John Wiley&Sans*, New York, 15-31.
- Godlewska Z., Yłkiewicz B., (2001). Analytical applications of living organisms for preconcentration of trace metals and their speciation. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 31 (3), 175-189.
- Gokhale S.V., Jyoti K.K., Lele S.S., (2008). Kinetic and equilibrium modeling of chromium (VI) biosorption on fresh and spent *Spirulina platensis/Chlorella vulgaris* biomass. *Bioresour. Technol.* 99 (9), 3600-3608.

- Gupta V.K., Rastogi A., (2008a). Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species: kinetics and equilibrium studies. *J. Hazard. Mater.* 152 (1), 407-414.
- Gupta V. K., Rastogi A., (2008b). Equilibrium and kinetic modelling of cadmium (II) biosorption by nonliving algal biomass *Oedogonium* sp. from aqueous phase. *J. Hazard. Mater.* 153 (1), 759-766.
- Gupta V.K., Rastogi A. (2008c). Sorption and desorption studies of chromium (VI) from nonviable cyanobacterium *Nostoc muscorum* biomass. *J. Hazard. Mater.* 154 (1-3), 347-354.
- Gupta V.K., Rastogi A., Nayak A., (2010). Biosorption of nickel onto treated alga (*Oedogonium hatei*): application of isotherm and kinetic models. *J. Colloid Interface Sci.* 342 (2), 533-539.
- Gupta V.K., Shrivastava A.K., Jain N., (2001). Biosorption of Chromium (VI) from Aqueous solutions by green algae *spirogyra* species. *Water Res.* 35 (17), 4079-4085.
- Gümüş G., (2006). Deniz Marulunun Kimyasal Kompozisyonunun Araştırılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. İzmir.
- Hamutoğlu R., Dinçsoy A.B., Duman D., Aras S., (2012). Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, *Türkiye Hijyen ve Deneyisel Biyoloji Dergisi* 69.
- Han X., Wong Y.S., Tam N.F., (2006). Surface complexation mechanism and modeling in Cr (III) biosorption by a microalgal isolate, *Chlorella miniata*. *J. Colloid Interface Sci.* 303 (2), 365-371.
- Harder R., von Witsch H., (1942a). Bericht über Versuche zur Fettsynthese mittels autotropher Microorganismen, *Forschungsdienst Sonderheft*, 16, 270-275.
- Harder R., von Witsch H., (1942b). Die Massenkultur von Diatomeen, *Ber Deutsch Bot Ges*, 60, 146-152, Hariskos I., Posten C., Biorefinery of microalgae- opportunities and constraints for different production scenarios, *Biotechnol. J.*, 9 (6), 739-752, 2014.
- Horsfall M.J., Spiff A.I., (2005). Effects of temperature on the sorption of Pb+2 and Cd+2 from aqueous solution by *Caladium bicolor* (Wild Cocoyam) biomass. *Electron J Biotechn*, 2005; 8: 143–50.
- Keshav P.S., Nand K.S., Shivesh S., (2010). Bioremediation: Developments, current practices and perspectives, *Genetic Engineering and Biotechnology Journal*, GEBJ-3.
- Khan M.A., Ngabura M., Choong T.S., Masood H., Chuah L.A., (2012). Biosorption and desorption of Nickel on oil cake: batch and column studies. *Bioresour. Technol.* 103 (1), 35-42.

- Kim S., Park J.-e., Cho Y.-B., Hwang S.-J., (2013). Growth rate, organic carbon and nutrient removal rates of *Chlorella sorokiniana* in autotrophic, heterotrophic and mixotrophic conditions, *Bioresour. Technol.*, 144, 8-13.
- Kuyucak N., Volesky B., (1989). Accumulation of cobalt by marine algae. *Biotechnol Bioeng*, 1989; 33 (7): 809-14.
- Lee H., Shim E., Yun H.-S., Park Y.-T., Kim D., Ji M.-K., Kim C.-K., Shin W.-S., Choi J., (2016). Biosorption of Cu (II) by immobilized microalgae using silica: kinetic, equilibrium, and thermodynamic study. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23 (2), 1025-1034.
- Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S., (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 14 (1), 217-232.
- Mata Y.N., Blazquez M.L., Ballester A., Gonzalez F., Munoz J.A., (2009). Biosorption of cadmium, lead and copper with calcium alginate xerogels and immobilized *Fucus vesiculosus*. *J. Hazard Mater* 163 (2-3), 555-562.
- Mehta S. K., Gaur J.NP., (2001). Removal of Ni and Cu from single and binary metal solutions by free and immobilized *Chlorella vulgaris*. *Eur. J. Protistol.* 37 (3):261-271.
- Mehta S. K., Gaur J. P., (2005). Use of Algae for Removing Heavy Metal Ions from Wastewater: Progress and Prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25, 113-152.
- Miao X., Wu Q., (2004). High yield bio-oil production from fast pyrolysis by metabolic controlling of *Chlorella protothecoides*, *J. Biotechnol.*, 110 (1), 85-93.
- Monteiro C., Castro P.L., Malcata F.X., (2010). Cadmium removal by two strains of *Desmodesmus pleiomorphus* cells. *Water Air Soil Pollut.* 208 (1-4), 17-27.
- Monteiro C., Castro P.L., Xavier Malcata F., (2011). Biosorption of zinc ions from aqueous solution by the microalga *Scenedesmus obliquus*. *Environ. Chem. Lett.* 9(2), 169-176.
- Monteir, C.M., Castro P.M.L., Malcata F.X., (2012). Metal uptake by microalgae: Underlying Mechanisms and Practical Applications, *Biotechnol. Prog.*, 2012, Vol. 28, No. 2, DOI 10.1002/btpr.1504
- Mungasavalli D.P., Viraraghavan T., Jin Y.C., (2007). Biosorption of chromium from aqueous solutions by pretreated *Aspergillus niger*: Batch and Column studies. *Colloid Surface A: Physicochem Eng Asp*; 301: 214-23.
- Mutanda T., Ramesh D., Karthikeyan S., Kumari S., Anandraj A., Bux F., (2011). Bioprospecting for hyper-lipid producing microalgal strains for sustainable biofuel production, *Bioresour. Technol.*, 102 (1), 57-70.
- Newman L.A., Reynolds C.M., (2004). Phytodegradation of organic compounds, *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 225-230.

- Oktor K., (2018). Mikroalglerin Çevre Teknolojilerindeki Yeri, Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Mühendisliği Bölümü, *Çevre Bilim Ve Teknoloji*, s.330-344.
- Oswald W.J., Golueke C.G., (1960). Biological transformation of solar energy, *Adv. Appl. Microbiol.*, 2, 223-262, Oswald W.J., Gotaas H.B., Golueke C.G., Kellen W.R., *Algae in waste treatment, Sewage Wastes*, 29, 437-457, 1957.
- Pavasant, P., Apiratikul, R., Sungkhum, V., Suthiparinyanont P., Wattanachira, S., Marhaba, T.F. 2006. Biosorption of Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , and Zn^{2+} using dried marine green macroalga *Caulerpa lentillifera*. *Bioresource Technology*, cilt 97(18), s. 2321-2329.
- Peña-Castro J. M., Martínez-Jerónimo F., Esparza-García F., Cañizares- Villanueva R.O., (2004). Heavy Metals Removal by the Microalgal *Scenedesmus incrassatulus* in Continuous Cultures. *Bioresource Technology*, 94, 219-222.
- Pinotti M.H. P., Segato R., (1991). Economic importance of Cyanobacteria. *Semina Londrina*, 12(4), 179-211.
- Rangsayatorn N., Upatham E.S., Kruatrachue M., Pokethitiyook P., Lanza G.R., (2002). Phytoremediation potential of *Spirulina (Arthrospira) platensis*: biosorption and toxicity studies of cadmium. *Environ Pollut* 119,45–53. doi:10.1016/S0269-7491(01)00324-4.
- Rashid N., Ur Rehman M.S., Sadiq M., Mahmood T., Han J.-I., (2014). Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 40, 760-778.
- Rawat I., Ranjith Kumar R., Mutanda T., Bux F., (2013). Biodiesel from microalgae: A critical evaluation from laboratory to large scale production, *Appl. Energy*, 103, 444-467.
- Renneberg R., Berkling V., Loroeh V., (2008). Biotechnology for Beginners. *Academic Press*, e Book ISBN: 9.780.128.012.734, 23. December
- Richmond A., (2004). Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. *Blackwell Science Ltd*. S:125.
- Romera E., Gonzalez F., Ballester A., Blazquez M.L., Muñoz J.A., (2007). Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. *Bioresour. Technol.* 98 (17), 3344-3353.
- Sağ Y., Kutsal T., (2000). Determination of the biosorption heats of heavy metal ions on *Zoogloea ramigera* and *Rhizopus arrhizus*. *Biochem. Eng. J.* 6 (2), 145-151.
- Sari A., Tuzen M., (2009). Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies on aluminum biosorption from aqueous solution by brown algae (*Padina pavonica*) biomass. *J. Hazard. Mater.* 171 (1-3), 973-979.

- Shanab S., Essa A., (2007). Heavy metal Tolerance, biosorption and bioaccumulation by some microalgae (Egyptian isolates). *New Egypt. J. Microbiol.* 17 (1), 76- 88.
- Singleton I., Simmons P., (1996). Factors affecting silver biosorption by an industrial strain of *Saccharomyces cerevisiae*, *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 1996,65,21-28.
- Söğüt Z., Zaimoğlu B.Z., Erdoğan R., Doğan S., (2002). Su Kalitesinin Arttırılmasında Bitki Kullanımı (Yeşil İslah Phytoremediation), Türkiye'nin Kıyı ve Deniz alanları IV. Ulusal Konferansı, 5-8 Kasım, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, *Bildiriler Kitabı. II. Cilt*, 1007-1016.strain of *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 65 (1), 21-28.
- Suali E., Sarbatly R., (2012). Conversion of microalgae to biofuel, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 16 (6), 4316-4342.
- Talebi A.F., Tabatabaei M., Mohtashami S.K., Tohidfar M., Moradi F., (2013). Comparative salt stress study on intracellular ion concentration in marine and salt-adapted freshwater strains of microalgae. *Not. Sci. Biol.* 5 (3)309-315.
- Thieman ve Palladino, (2013). Biyoteknolojiye Giriş, Çeviri Editörü Mücella Tekeoğlu, 3.Baskı, *Palme Yayıncılık*, Ankara.
- Tuzen M., Sarı A., Mendil D., Uluozl, O.D., Soylak M., Dogan M., (2009). Characterization of biosorption process of As (III) on green algae *Ulothrix cylindricum*. *J. Hazard. Mater.* 165 (1-3), 566-572.
- Vanlı Ö., (2007). Pb, Cd, B Elementlerinin Topraklardan Şelat Destekli Fitoremediasyon Yöntemiyle Giderilmesi Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ziraat Müh.Böl, İstanbul.
- Vogel M., Gunther A., Rossberg A., Li B., Bernhard G., Raf, J., (2010). Biosorption of U(VI) by the green algae *Chlorella vulgaris* in dependence of pH value and cell activity. *Sci. Total Environ.* 409 (2), 384-395.
- Volesky B., (2003). Sorption and Biosorption. Montreal, Kanada: BV Sorbex, Inc, 2003; 316.
- Volesky B., (2007). Biosorption and me. *Water Res.* 41 (18), 4017-4029.
- Weber J.R., (1972). Physicochemical processes for water quality control. *Wiley-Interscience*; 640
- Wong J.P.K., Wong Y.S., Tam N.F.Y., (2000). Nickel Biosorption by Two *Chlorella* Species, *C. Vulgaris* (a commercial species) and *C. Miniata* (a local isolate), *Bioresource Technology* 73 (2000) 133-137.
- Yeh K.-L, Chang J.-S., Chen W.-m., (2010). Effect of light supply and carbon source on cell growth and cellular composition of a newly isolated microalga *Chlorella vulgaris* ESP-31, *Eng. Life Sci.*, 10 (3), 201-208.
- Yurdakulol E., Cansaran D., (2004). Tohumuz Bitkiler- *I Laboratuvar Kılavuzu*, S: 11.

- Zeraatkar A.K., Ahmadzadeh H., Talebi A.F., Moheimani N.R., McHenry M.P., (2016). Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review, *Journal of Environmental Management* 181, 817-831.
- Zhu J., Rong J., Zong B., (2013). Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel, *Chin. J. Catal.*, 34 (1), 80-100.
- Zhu L., (2015). Biorefinery as a promising approach to promote microalgae industry: An innovative framework, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 41, 1376-1384.



BÖLÜM 7

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TAŞIT AĞIRLIĞININ AZALTILMASINDA KULLANILAN MALZEMELER

Gülşah ÖNER¹

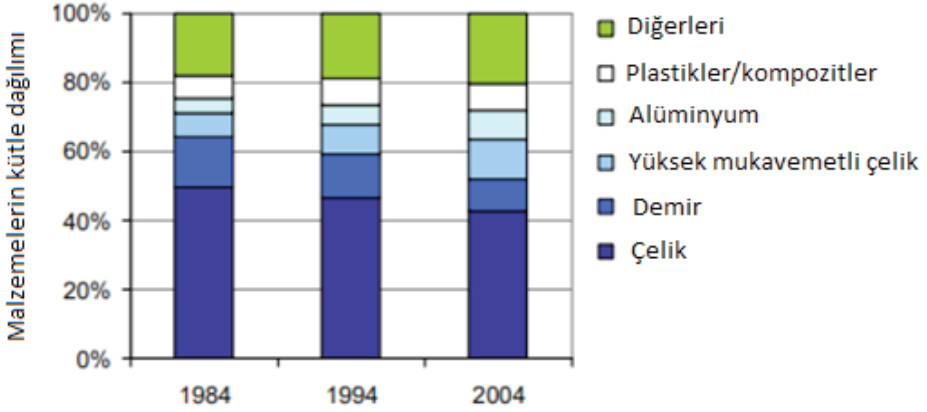
GİRİŞ

Otomobiller hayatımızı kolaylaştıran en önemli makinelerdir. Tekerleğin icadıyla başlayan ilk araç fikri günümüzün tasarım harikası otomobilleri ile taçlandırılmıştır. Otomobillerde güvenlik, konfor ve tasarım açısından kullanılan malzemelerin ne olduğu büyük önem arz etmektedir. Araç yaşam döngüsü boyunca karşılaşılan her tür statik ve dinamik yüklerle dayanacak şekilde tasarlanır. Aracın gövdesi ve diğer dış yapı bileşenleri aerodinamik yapıya uygun bir şekilde dizayn edilmiştir. İç mekân, yolcuları rahatça barındırmak için yeterli alan sağlamaktadır. Süspansiyonla birlikte araç gövdesi, yol titreşimlerini ve aerodinamiği en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır. Bütün bu özelliklere ilaveten araç yapısı, bütünlüğünü korumak ve çarpışmalarda yeterli koruma sağlamak üzere dizayn edilmiştir.

Bir binek otomobil ve spor arazi aracı, araç gövdesi, gövde üstü çerçeve, ön sacdan ve ayrıca, çarpışma durumunda yaralanmayı en aza indirmek için özel olarak tasarlanmış bir yolcu hücrelerinden meydana gelmektedir. Araç gövdesi, eğilme ve burulmada araç rijitliğinin çoğunu sağlar. Aynı zamanda şasinin çerçevesi, motoru, şanzımanı, aktarma organlarını, süspansiyonu ve aksesuarları destekler. Önden çarpışmada, çerçeve ve ön sac, plastik deformasyon yoluyla çarpışma enerjisinin çoğunu emer. Üç yapısal modül, araç yapısını oluşturmak için birbirine civatalanmıştır. Araç gövdesi, yüksek frekanslı titreşimlerden korunmak için şok emici gövde takozları ile şasiye bağlanır. Tüm bu yoğun ve yüksek yüklere dayanıklı malzeme seçimi konusunda özellikle, kullanılan çelik malzemeler son yetmiş yılda milyonlarca aracın ekonomik olarak seri üretimine izin vermiştir. Gövde yapısı malzemeleri için temel gereksinimler, iyi şekillendirilebilirlik, korozyon direnci ve geri dönüştürülebilirliği içermektedir. Gövde malzemelerinin, aynı zamanda, çarpışma enerjisini absorbe etmek için yeterli dayanıma ve yük altında kontrollü deformasyonlara sahip olması istenmektedir (Du Bois et al., 2004).

Araç üretimi yapılırken, üretim maliyetlerini azaltacak daha emniyetli tasarımlar yapılması amaçlanır. Maliyeti azaltmak için araç ağırlığının azaltılması önem arz etmektedir. Araçların ağırlığını azaltmanın birkaç yolu vardır. İlki hafif malzeme kullanılması, ikincisi ağırlığı azaltmak için aracın yeniden dizayn edilmesi ve son olarak da boyutların küçültülmesi, optimizasyon ve parça eksiltme şeklinde düşünülmektedir. Bir aracın ağırlığının $\frac{3}{4}$ 'ü aktarma organları, şase ve gövde gibi ağır demir metallerden oluşmaktadır. Fazla malzeme kullanımı ile daha yüksek maliyetli ve daha emniyetli tasarımlar yapılabilir. Hedeflenen yüksek emniyete karşın ağırlık artışına bağlı olarak maliyetin ve yakıt tüketiminin artacağı bilinmektedir. Benzer şekilde maliyetleri düşürerek emniyetli olmayan tasarımlar da yapılabilir. Ağırlıktan kazanç ile düşünülen taşıtta

yakıt tasarrufu sağlanmasına karşın emniyetsiz bir taşıt tasarlanmış olur ki burada ideal olan en optimum şartları taşıyabilen en iyi tasarımı yakalayabilmektir. Bir taşıt üretilirken birçok malzeme taşıtın farklı yerlerinde kullanılmaktadır. Şekil 2’de ise ABD’deki ortalama bir otomobilin malzeme bileşimleri görülmektedir (Bush, Sousanis, Zajac, Norris, & L. Scott, 2012; Pruez, Shoukry, Williams, & Shoukry, 2013).



Şekil 1. Amerika da ortalama bir araç için malzeme dağılımları (Bush et al., 2012).

Araçlar, güç aktarma organları, şasiler, araç iç ve dış aksamaları, elektrik/elektronik devre sistemleri, ısı ve enerji sistemlerini de kapsayan büyük ve önemli makinelerdir. Araçlarda ağırlık azaltma teknolojilerinde ekonomik sebeplerden dolayı artık geleneksel yöntemler yerine daha hızlı ve etkin olan mikrohücresele köpük işlemleri kullanılmaktadır. MuCell teknolojisi (mikhühüresel köpük teknolojisi) plastik enjeksiyon işleminde parça ağırlığını azaltmak için kullanılan yöntemlerden biridir. MuCell işleminde, süper kritik nokta üzerindeki basınç ve sıcaklıklardaki gazın termostatik malzeme içerisine enjekte edildiği mikrohücresele köpük üretim yöntemidir. Bu işlem sayesinde, tasarımda büyük değişiklikler yapılmaksızın parça ağırlığı %6-8 oranında azaltılabilmektedir. Otomobil üreticilerinin birçoğu MuCell teknolojisi ile araç ağırlıklarını azaltmayı başarmışlardır. Bu yöntemi ilk araştıran ve bu alanda çalışmalara katkı yapan Ford Firmasıdır. Bileşen ağırlığını azaltmak için MuCell mikro hücreli köpük enjeksiyonlu kalıplama işlemi ile ağırlık azaltma, yakıt tüketimini düşürmeye yardımcı olmak gibi önemli çalışmalara önderlik etmiştir (Congress, 2011; Kaya, Çelik, & Altun).

MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilen ve patenti alınan ve şu anda Trexel Inc.'e ait olan MuCell, tek tip konfigürasyonlarda milyonlarca mikron boyutunda boşluk veya kabarcık oluşturmak için enjeksiyon kalıplama işleminde süper kritik durumda (SCF),

CO₂ veya nitrojen gibi bir gazın yüksek düzeyde kontrollü kullanımını içerir. Boşluklar, tek fazlı bir polimer ve gaz çözeltisi enjeksiyon kapısından kalıba geçtiğinde meydana gelen homojen çekirdeklenmenin bir sonucu olarak oluşturulur. Tek fazlı çözüm, tek fazlı bir çözüm oluşturulmasına izin verecek şekilde değiştirilmiş geleneksel bir enjeksiyon kalıplama makinesinin çalıştırılmasıyla oluşturulur. Trexel, sistemdeki önemli değişikliklerin, kütle akış ölçüm ilkelerine dayalı olarak özel enjektörlere SCF iletmek için hassas bir SCF dağıtım sisteminin kullanılmasını içerdiği belirtilmektedir. SCF daha sonra özel olarak tasarlanmış bir vida aracılığıyla polimer ile karıştırıldığı namluya enjekte edilir. Bir kapatma nozulu, tek fazlı çözeltiyi korurken, enjeksiyon kalıplama vidası, erken köpürmeyi veya tek fazlı çözeltinin iki fazlı çözeltiye geri dönmesine izin verecek olan basınç kaybını önlemek için her zaman yeterli geri basıncı korur. Ford araştırma denemelerinde, mikroskobik kabarcıklar, boyutsal bütünlük veya dayanıklılıktan ödün vermeden ve görünmeyen bir parça için gerekli tüm özellikleri korurken aynı zamanda bileşen ağırlığını %10'a kadar azalttığını tespit etmişlerdir. MuCell teknolojisinin kullanılması, kalıplama/soğutma işleminde (çarpmayı gidermek için) paketleme ve bekletme sürelerini de ortadan kaldırarak döngü sürelerini azaltmıştır. MuCell ile, denemeler sırasında bir parçayı kalıplamak için tipik süre 30 ila 60 saniye arasında değiştiği için, bu da %50'lik bir zaman iyileştirmesine yol açmıştır. MuCell prosesi ayrıca daha az kenetleme kuvveti gerektirir ve enjeksiyon presi boyutunda %50'ye varan bir azalmaya izin verir; azaltılmış döngü süreleri ve kapama kuvvetleri, üretimle ilişkili enerji tasarrufu ve azaltılmış CO₂ emisyonları anlamına gelir (Congress, 2011).

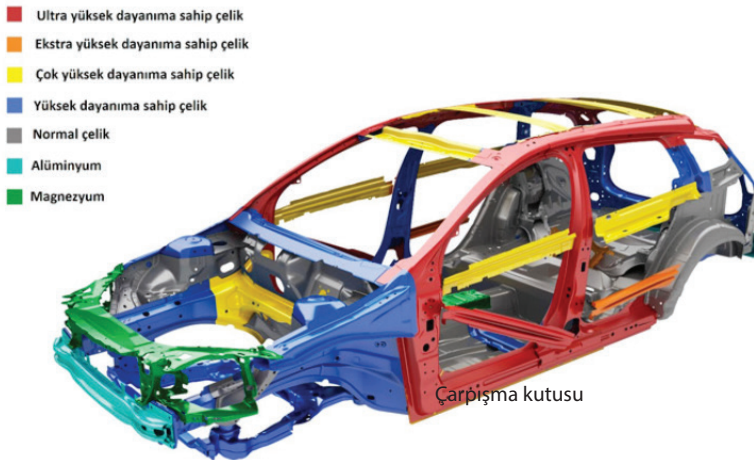
Volkswagen firması bu yöntemle otomobillerin iç kapı plastik parçalarında ağırlık azaltma çalışmaları yaparak Parça kalınlığında %50 azalma ile parça ağırlığında %40 azalma elde edilmiştir. Yine aynı otomobil firması Hava yastığı koruması üretiminde Mucell yöntemini kullanarak %9 azalma elde etmişlerdir. Ford Firması ön panellerde parça başına 450 gr ağırlıkta azalma ve Makina çevrim zamanında %15 azalma, Makina klemp kuvvetinde %45 azalma ve özellikle maliyetlerde de azalma elde edildiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde Şekil 2'de görülen Motor Fan Koruma sistemlerinde BMW Firması bu yöntemle ağırlıktan %11 kazanç elde etmiştir (Kaya et al.).



Şekil 2. BMW Motor Fan Koruması (Kaya et al.)

Metal köpük üretiminde alüminyum çoğunlukla kullanılmakta olup, nikel ve biyomedikal alanlar için de titanyum ve tantal tercih edilmektedir. Otomotiv sanayi, uzay sanayi, demiryolu araçları, asansör, savunma sanayi, yapı sektörü, v.b. gibi alanlarda hafiflik önem arz etmektedir. Alüminyum köpüklerin üstün enerji sönümlemeleri ve düşük maliyetleri ile otomotiv sektöründe tercih edilen malzemelerin başında geldiği söylenebilir. Metal köpüklerin hacminin %5-%30'u metal, geri kalan kısmı da havadır. Malzemenin karakteristik özelliği olan düşük yoğunluk köpük formu sayesinde kazanılmış olur (Güven, 2011).

Alüminyum köpük malzemeler otomobillerin motor kısmında, iyi ısı ve ses yalıtımı sağlamaları ve düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek enerji emilimi gibi özelliklere sahip olmaları sebebiyle tercih edilmektedirler (Çakan, Ensarioğlu, & ÇAKIR, 2019). Trenlerde ve otomobillerde güvenliği artırmak için şase ve tampon arasındaki çarpışma kutusu, tampon ve kapılarda dolgu malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Şekil 3'te, otomobillerde kullanılan malzemelerin dağılımı görülmekte olup, açık yeşil renkte görülen çarpışma kutuları yeni teknolojilerde alüminyum köpük malzemelerden imal edilerek araç ağırlığının azaltılmasına katkı yapılmaktadır (Kantur, 2021). Çarpışma kutuları geri dönüştürülebilir, yüksek sönümleme kabiliyeti ve minimum ağırlığa sahip olması istenen parçalardan olup, son yıllarda alüminyum köpük malzemelerden üretilerek araçlarda ağırlık azaltılması sağlanmıştır (Ateş, Bakırcı, Günaydın, Ensarioğlu, & Çakır, 2022). Rijitlik/yoğunluk oranının önem arz ettiği havacılık sektöründe de Alüminyum köpükler kullanılmaktadır. Yüksek maliyetli bal peteği kompozitlerinin yerine Alüminyum köpükten üretilmiş olan sandviç paneller tercih edilmektedir (Güven, 2011).



Şekil 3. Otomobilde kullanılan malzemelerin dağılımı (Kantur, 2021)

Düşük yoğunluğa sahip köpük alüminyum malzemeler korozyona karşı dirençli ve daha hafif oldukları için denizcilik alanında tercih edilmektedir. Talebe göre farklı tasarımların yapıldığı gemicilik sektöründe, kolay şekillendirilebilme özelliği ile alüminyum köpükler sıklıkla kullanılmaktadır. (Özer & Ekerim, 2009; Polat, Keleş, & Taptık, 2010) (Polat vd., 2010; Ekerim ve Özer, 2009).

Alüminyum ve yüksek mukavemetli çelik, çeşitli alternatif hafif malzemelerden ikisidir. Araçtaki daha ağır çelik ve demirin yerini almak için kullanılabilir. Diğer malzeme adayları ise cam, karbon-fiber takviyeli termosetler ve termoplastikler gibi polimer kompozitler ve magnezyumdur. Bu malzemelerin uygun olan özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (Pruez et al., 2013). Yüksek mukavemet, sertlik, korozyon direnci ve hafiflik gibi malzeme özelliklerinden dolayı Termoset ve termoplastik kompozit malzemeler metalik malzemelere kıyasla başta otomotiv, denizcilik ve havacılık alanlarında büyük ilgi görmektedir (Kazan, 2019; Küçükoğlu et al., 2020).

Tablo 1. Otomobillerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri (Pruez et al., 2013)

Malzeme	Yoğunluk(g/cm ³)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Elastisite Modülü (GPa)
Yumuşak çelik	7,86	200	300	200
Yüksek Mukavemetli çelik	7,87	345	483	205
Demir	7,10	276	414	166
Alüminyum	2,71	275	295	70
Magnezyum	1,77	124	228	45
Kompozit	1,57	Eğilme :200	810	190
-Karbon Fiber				
-Cam Fiber				

Yüksek Mukavemetli Çelik

Araç yapılarında tipik olarak kullanılan çelik malzemeler iyi şekillendirilebilirlik, yüksek korozyon direnci, süneklik, düşük maliyet, geri dönüştürülebilirlik, özellikle gövde malzemelerinde yeterli dayanıma sahip olmak ve çarpışma enerjisini sönmek gibi önemli özelliklerine sahip malzemelerdir. Bu sebeple bir çarpışma anında yolcunun korunabilmesi için yeterli yaşama alanının oluşmasına fırsat verebilecek yük kontrolüne sahiptir. Son altmış yılda seri üretilen araç gövdelerinin çoğu presli çelik bileşenlerden üretilmiştir. Üreticiler, kompozit malzemelerden ve alüminyumdan yalnızca birkaç sınırlı üretim ve özel araç gövdesi tasarlamışlardır. 1900'lerde tamamen çelik bir gövde için bir patent verilmesine rağmen, 1920'lere kadar otomobil üreticileri, çelik braketlerle birleştirilmiş ahşap panellerin bir bileşiminden araç gövdeleri yapmışlardır. Boyayı

yüzeyde uzun süre tutabilecek daha iyi bir yüzey sağlamak amacıyla panellerin üzerine çelik saclar eklemişlerdir. Ayrıca bu süreçte çelik sacların şekillendirilebilirliği iyileştirilmiştir. Dayanıklı malzemeler, dayanıklı kalıplar üretildikçe ve büyük gövde yapılarının birleştirilmesine imkân veren kaynak teknolojileri ile tamamen çelik araç gövdesi üretimleri gerçekleştirilmiştir. Dodge, 1924'te tamamı çelikten oluşan bir araç gövdesi üretmiştir (Du Bois et al., 2004)

Alüminyum

Alüminyum iyi mukavemet özellikleri ile uzay ve havacılıkta tercih edilirken, dikkat çekmiş ve taşıtlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Taşıtlarda geçmişte yoğun çelik kullanımı yerini günümüzde alüminyum alaşımlarına bırakmıştır. Çoğunlukla hafif malzeme olarak alüminyum alaşımları geleneksel çeliklerin yerine taşıtlarda tercih edilmektedir. Alüminyum ağırlık tasarrufu açısından araçlarda tercih edilen ideal malzemelerden biridir. Ancak aerodinamik kaputların, tamponların ve kaportaların karmaşık şekilleri nedeniyle kullanımı sınırlıdır (Çağlayan, 2020).

Buna karşın, Amerika'da Alüminyum Derneği tarafından yapılan son araştırmalar, otomobil üreticilerinin yakıt ekonomisini artırmak, emisyonları azaltmak ve güvenliği artırmak için giderek daha fazla alüminyum kullanıldığından söz etmişlerdir. 2010 yılında Almanya'daki Motorlu Araç Enstitüsü tarafından yürütülen bir araştırmada ise, hem çelik hem de alüminyum için daha fazla potansiyel veya ağırlık azaltma sınırlarını değerlendirmek için otomotiv bileşenleri analiz edilmiştir. Yüksek mukavemetli çelik kullanılarak ağırlık azaltma potansiyeli yaklaşık % 11 ile sınırlı iken, alüminyumda bu oran analiz edilen bileşenler için % 14 ila % 49 arasında değişen önemli bir ağırlık tasarruf miktarını ortaya koymuştur. Ayrıca yakıt ekonomisi ve çelikten daha fazla sönümleme özelliği ile araç boyutunu küçültmeden araç ağırlığını güvenle azaltılabileceğini belirlemişlerdir. Bu çalışma ile ağırlığı azaltılmış araçlar daha az emisyon üretebilir ve çalışması için daha az yakıt kullanabilir sonucuna varılmıştır (Pruez et al., 2013).

Otomotiv sektöründe döküm yönteminin önemi büyüktür. Şanzıman diye adlandırılan manuel ya da otomatik olan bu sistemler güç aktarma organlarında aracın ihtiyacı olan moment ya da hızı dönüştürmede kullanılırlar. Gövde alüminyum alaşımdan döküldüğü bilindiğinden imalat sürecinde alüminyumun eritilmesi ve dökülme yöntemi önemli bir parametredir. Alüminyum alaşımların otomotiv sektöründe tercih edilme nedenleri arasında hafiflik ön sıralarda yer almakla beraber, dayanıklılık, uzun ömürlü oluşları da önemli bir parametredir. Kokil kalıp olarak adlandırılan kalıcı kalıplara dökülme esnasında, hava ile tepkimelerine dikkat edilmeli, erime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa çıkarılarak dö-

küm yapılmalı, ergiyik üzerindeki cüruf gibi tortuların döküme girmesi engellenmelidir. Genelde 2 parçadan oluşan şanzıman gövdesi sızdırmazlık açısından conta ile desteklenmelidir. Kullanılan yağın aşırı ısınması yağın köpürmesi gibi olumsuzluklara yol açacağından Alüminyumun ısı transfer etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Yüksek sıcaklıkta gaz basıncı ile süperplastik (SPF :Superplastic Forming) hale gelen, ince taneli 5083 alüminyum malzemesi havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. General Motors tarafından ince taneli 5083 alüminyum otomotiv bileşenleri için tanıtılmıştır (Verma, Friedman, Ghosh, Kim, & Kim, 1995). SPF, düşük maliyetli bir işlem olmakla birlikte, karmaşık şekiller oluşturma yeteneği ve basitleştirilmiş kalıp tasarımı ile otomotiv üretimi için çok tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Büyük yapılar için SPF levha malzemeleri ve SPF bileşenlerinin saha performansı otomotiv uygulamalarında tercih edilmiştir (Pruez et al., 2013).

2006 yılında yapılan bir araştırmada, ticari kamyon kabinleri için alüminyumdan şekillendirilen süperplastik uygulamaların hem düşük maliyet hem de hafiflik sağlamak maksadıyla sonlu elemanlar programlarını kullanarak simülasyonlar ve mukavemet hesapları yapılmıştır (Pruez et al., 2013).

Magnezyum

Magnezyum en hafif yapısal metallerden biridir. Otomotiv endüstrisindeki kullanımı son 15 yılda yılda % 10-15 artarak ortalama 4,5-6 kg seviyelerine ulaşmıştır. Magnezyumun birincil avantajı, araç ağırlığını azaltma ve performansını artırma yeteneğidir. Magnezyum kritik frekansları ayarlayarak, gürültünün, titreşimin ve sertliğin azaltılmasına katkı sağlar (Pruez et al., 2013).

Magnezyum ince kesitlerde eğilmeye karşı dirençli bir malzemedir. Rijitlik, mukavemet ve sönümlenme özelliklerini açısından iyi bir malzeme olup, aynı zamanda yüksek oranda kütle tasarrufu sağlayabilir (Easton et al., 2008). Magnezyum alaşımları da alüminyum alaşımları gibi sıcak deformasyon özelliklerine sahip oldukları için kalıpta üretilebilir. Kalıpta dövme ve döküm ile nihai parça şekline yakın üretim yapılabilir. İnce sac olarak üretildiği için de kütle tasarrufu sağlayan bir malzemedir. Magnezyum alaşımlı parçaların ergitme kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı yöntemleri ile de üretimi yapılabilir (Watarai, 2006).

Plastikler

Plastik malzemeler kolay şekil alabilen, hafif, mukavemetli malzemeler olduğu için nihai ürünlerde kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle geri dönüşümü olan bir malzeme olması nedeniyle hem günümüzde hem

de gelecekte çok daha fazla öneme sahip olacaklardır. Otomobil sektöründe plastik hammadde kullanımı diğer sektörler ile kıyaslandığında çok daha fazla öneme sahiptir. Son yıllarda gelişen teknolojilere ayak uydurabilme, konfor sistemleri ve yakıt tasarrufu sağlama vb. gibi amaçlarla araçlara eklenen pek çok kompleks donanımın sebep olduğu ağırlığa bağlı olarak oluşan fazla emisyonların günümüzde uygulanmakta olan sıkı egzoz emisyon kısıtlamaları ile tezat oluşturması otomobil sektöründe ciddi ağırlık azaltma çalışmalarına yol açmıştır. Plastik malzemeler sahip oldukları üstün özellikler nedeni ile otomobil ve ağırlığın önemli olduğu tüm alanlarda mühendislik uygulamaları için aranan malzemelerdir (Kayılı & Çelebi, 2020; Vatan, 2002).

Kompozit Malzemeler

Otomobillerde kullanılan bir diğer malzemeler de kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler üstün özelliklere sahip malzemelerdir. Otomobillerde tercih edilmesini sağlayan en can alıcı özelliklerinden birisi hafif olmalarıdır. Otomobillerin iç ve dış parçalarında doğal kompozit materyaller kullanılmaktadır. Mercedes Benz Travego otobüslerinin motor ve şanzıman sistemlerinin koruyucularında ses izolasyonunu sağlamak amacıyla poliesther-keten karışımları kullanılmıştır (Koronis, Silva, & Fontul, 2013). Kompozit malzemeler incelendiğinde daha büyük yapıda olan malzemelerin birbiri üzerine yapışması serilmesi gibi yöntemlerle üretilerek hem mukavemet özelliklerinin artırılması hem de daha hafif malzeme üretimleri sağlanmış olacaktır. Otomobillerde hafif alaşımlı kompozit malzeme kullanılması halinde ağırlık tasarrufunun %50' nin üstüne çıkabilmesi öngörülmüştür (Li, Lin, Jiang, & Chen, 2003; Şimşir & Bayrakçeken, 2018). Ayrıca, ağırlık azalmasının yanı sıra çelik malzemeye nazaran rijitlik performansının da tatmin edici olduğu görülmüştür (Ufuk & Ereke, 2018). Bir başka çalışmada ise araçlarda metal akü taşıyıcı ünitesi yerine sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit akü taşıyıcı geliştirilmiştir. Sanal analizleri yapılarak üretilmiş ve böylece araç başına 0.5 kg ağırlık azaltımı sağlanmıştır (Küçüköğlü et al., 2020).

Sonuç

Dünyayla paralel olarak ülkemizde de gelişmekte olan otomotiv sektörü üretim süreci ile birlikte yeni yeni ivme kazanmaya başlamıştır. Endüstrideki gelişmelere paralel olarak üstün özellikli malzemelere olan talep her geçen gün artmaktadır. Özellikle son zamanlarda, endüstride kullanılan malzemelerin, daha hafif ve yüksek dayanıma sahip olmaları beklenmektedir. Otomobillerin taşınan ağırlığının azaltılması ile yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu azalacaktır. Yeni araç teknolojileri ile yapıdaki karmaşıklığın azalması, önlenen çevre kirliliği daha hafif araçlar ve daha ekonomik-temiz enerjilerin üretilmesi söz konusu olacaktır. Böylelikle

daha çevre dostu malzemeler kullanılarak birim araç üretim maliyetleri azaltılmış ve ülkemizin enerjide dışa bağımlılığı önemli ölçüde azaltılmış olacaktır. Günümüz teknolojileri ile araçlarda ağırlık azaltılması hafif araç, yakıt tasarruflu araç ve kullanılacak doğal malzemelerle birlikte sağlığımızı tehdit etmeyecek, doğa dostu araçların üretilmesi sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ateş, F., Bakırcı, A., Günaydın, A. C., Ensarioğlu, C., & Çakır, M. C. (2022). Otomobil çarpışma kutularında performans artırıcı yaklaşımların incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 830-856.
- Bush, J. W., Sousanis, J., Zajac, P., Norris, R., & L. Scott, S. (2012). *Ward's Motor Vehicle Facts & Figures 2012: Documenting the Performance and Impact of the U.S. Auto Industry* Wards Communications.
- Congress, G. C. (2011). Ford investigating use of MuCell microcellular foam injection molding to reduce vehicle component weight. Retrieved from <https://www.greencarcongress.com/2011/03/ford-investing-use-of-mu-cell-microcellular-foam-injection-molding-to-reduce-vehicle-component-weight.html>
- Çağlayan, R. (2020). *Taşıtlarda Ağırlık Azaltımında Hafif Malzeme Olarak Alüminyum Kullanımı ve Optimizasyon*. Bursa Uludag University (Turkey),
- Çakan, B. G., Ensarioğlu, C., & ÇAKIR, M. C. (2019). Farklı oranlarda alüminyum köpük takviyeli çarpışma-kutularının mekanik performanslarının karşılaştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 295-305.
- Du Bois, P., Chou, C. C., Fileta, B. B., Khalil, T. B., King, A. I., Mahmood, H. F., . . . Belwafa, J. E. (2004). Vehicle crashworthiness and occupant protection.
- Easton, M., Beer, A., Barnett, M., Davies, C., Dunlop, G., Durandet, Y., . . . Beggs, P. (2008). Magnesium alloy applications in automotive structures. *Jom*, 60(11), 57-62.
- Güven, Ş. (2011). Toz metalurjisi ve metalik köpükler. *Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 22-28.
- Kantur, A. (2021). Otomotiv Sektöründe Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kullanımı. Retrieved from <https://muhendisbilir.com/otomotiv-sektorunde-yuksek-mukavemetli-celiklerin-kullanimi/>
- Kaya, M. A., Çelik, İ. B., & Altun, E. Otomotiv sektöründe ağırlık azaltmada önemli bir teknoloji: MuCell. Retrieved from <https://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/2570-otomotiv-sektoeruende-ag-rl-k-a-zaltmada-oenemli-bir-teknoloji->
- Kayılı, M., & Çelebi, G. (2020). Plastik Atıkların ve Yapıda Kullanım Olanaklarının İncelenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(3), 148-157.
- Kazan, H. (2019). *Hybrid Single Shot Manufacturing of Multi-Materials Structure for Automotive Applications*. Clemson University,

- Koronis, G., Silva, A., & Fontul, M. (2013). Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 120-127.
- Küçüköğlu, A., Özyapı, G., Acar, A., Bağrıyanık, A. O., Çolpan, O., Çelik, H., & Yağcı, Y. E. (2020). Çok Bileşenli Kalıplama Yöntemine Uygun Sürekli Elyafli Termoplastik Kompozit Akü Taşıyıcı Parçasının Geliştirilmesi *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1223-1235.
- Li, Y., Lin, Z., Jiang, A., & Chen, G. (2003). Use of high strength steel sheet for lightweight and crashworthy car body. *Materials & design*, 24(3), 177-182.
- Özer, G., & Ekerim, A. (2009). *Alüminyum Köpük Metal Üretiminde Sıcaklığın Köpük Oluşumuna Etkisinin Araştırılması*. Paper presented at the 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye
- Polat, B. D., Keleş, Ö., & Taptık, Y. (2010). metalik köpükler, alüminyum metalik köpük ve üretim yöntemleri. *Metal Dünyası*, 54.
- Pruez, J., Shoukry, S., Williams, G., & Shoukry, M. (2013). *Lightweight composite materials for heavy duty vehicles*. Retrieved from
- Şimşir, E., & Bayrakçeken, H. (2018). *Hafif Alaşimli Kompozit Malzemelerin Otomotiv Sektöründeki Önemi*. Paper presented at the 1 st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials (ISLAC'18) Karabük, Turkey.
- Ufuk, R., & Ereke, M. (2018). Composite material optimization for heavy duty chassis by finite element analysis. *Advances in Automotive Engineering*, 1(1), 41-59.
- Vatan, C. (2002). *Plastik Malzemenin Geri Dönüşümü: Otomotiv Endüstrisinden Örnekler*. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Verma, R., Friedman, P., Ghosh, A., Kim, C., & Kim, S. (1995). Superplastic forming characteristics of fine-grained 5083 aluminum. *Journal of materials engineering and performance*, 4(5), 543-550.
- Watarai, H. (2006). *Trend of Research and Development for Magnesium Alloys-Reducing the Weight of Structural Materials in Motor Vehicles* (1349-3663). Retrieved from



BÖLÜM 8

PİRAMİT HUNİ ANTEN KAZANCININ YAPISAL PARAMETRELERE GÖRE HASSASİYET ANALİZİ

Onur Can PİLTAN¹

Ahmet KIZILAY²

1 Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü. Orcid ID: 0000-0001-9096-0483

2 Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü. Orcid ID: 0000-0002-4743-0775

Giriş

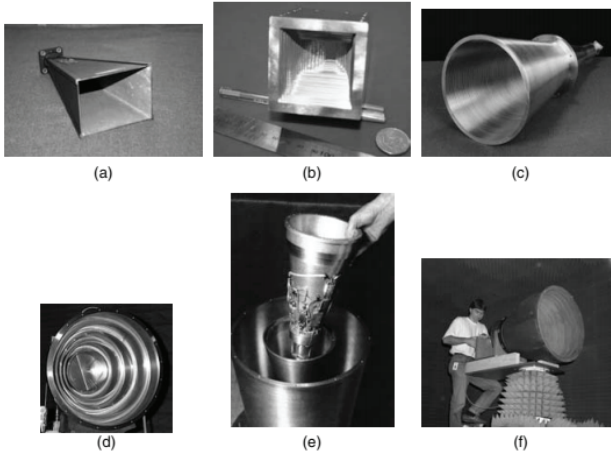
Huni antenler, mikrodalga anten türlerinde, tasarımı basit ve yaygın olarak kullanılan bir anten türüdür. Huni antenler üzerine ilk çalışmalar 1800'li yılların sonunda başlamış ve devam eden süreçte, özellikle İkinci Dünya Savaşından itibaren kullanımı yaygınlaşmıştır [1].

Mikrodalga sistemlerine artan ilgiyle beraber, diğer mikrodalga sistemler gibi huni antenlere üzerine de birçok yayın ve çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların içeriği genellikle huni antenlerin tasarım yöntemleri, ışıma karakteristikleri ve uygulamaları üzerinedir.

Huni antenlerin farklı kullanım alanları vardır. Geniş radyo astronomisi, uydu takibi, radar, test ve besleme gibi farklı amaçlarla sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, yüksek kazançlı antenlerin kazanç ölçüm ve kalibrasyonları için evrensel standart elemanı olarak kullanılır. Huni antenlerin yaygın kullanılmasındaki başlıca sebepler, tasarımın ve uygulanabilirliğin basitliği, çok yönlülüğü, yüksek kazanç ve performans sağlaması olarak açıklanabilir [1].

Yapılan çalışmalar, huninin geometrisinin biçimi, yönü ve sivriltme miktarının antenlerin ışıma karakteristiklerini etkilediğini göstermiştir. Kullanım amacına göre, Şekil 1'de görüldüğü üzere, birçok huni anten tasarımı ortaya çıkmıştır.

Huni anten tasarımlarından en bilineni ve sıklıkla kullanılanı, piramit huni antenlerdir. Piramit huni antenlerin tercih edilmesinin sebebi, diğer huni antenlere göre tasarımının daha kolay olmasıdır.



Şekil 1. Farklı tipte huni antenler: (a) piramit huni; (b) profilli dikdörtgensel huni; (c) dairesel huni; (d) konik huni; (e) koaksiyel huni; (f) profilli oluklu huni [2]

Anten tasarımlarında, antenin davranışı hakkında bilgi veren temel iki parametre, S-parametreleri ve antenin ışıma diyagramıdır. S-parametreleri antenin istenen frekans aralığında çalışıp çalışmadığı hakkında fikir verir. Antenin ışıma diyagramı ise antenin hangi yönde hangi kazançla ışıma yaptığını görmeyi sağlar.

Mikrodalga frekanslarda çalışan antenlerin tasarımları ciddi bir araştırma konusudur. Özellikle üç boyutlu simülasyon araçlarının gelişmesiyle, çeşitli şekillerde ve boyutlarda, yüksek karmaşıklığa sahip anten yapıları ortaya çıkmaya başlamıştır. Anten yapılarının daha karmaşık ve yüksek sayıda değişkene sahip olmaları tasarım süreçlerini zorlaştırmıştır. Özellikle de daha yüksek frekanslarda her bir tasarım değişkenin toplam performansa etkisi daha da arttığından, tasarımlarda optimizasyon çalışmaları kaçınılmaz bir hal almıştır [3-6]. Bu problemin giderilmesi için önerilen tekniklerden son yıllarda en etkin şekilde kullanan yöntem, Yapay Zeka (YZ) tabanlı veri güdümlü modellemedir [7-13].

Yapay zeka tabanlı modellerin gelişimi için en temel aşama, ilgili problemin girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkilerin kurulması için gerekli olan verinin elde edilmesi ve/veya düzenlenmesidir. Bu aşama genel olarak toplam sürecin verimliliğini ciddi anlamda etkileyen en kritik aşamadır. İlgili problemten az miktarda veri olur ise yapay zekanın genelleştirme yeteneği son derece zayıf bir model olarak cevap verirken, çok fazla veri üretilmesi ise toplam sürecin maliyetini ciddi anlamda artırarak yapay zeka modelleme tekniğinin diğer klasik yöntemlerden üstünlüğü ortadan kaldıracaktır. Dolayısıyla yapay zeka modeller için uygun miktarda veri oluşturulması ciddi bir önem taşımaktadır.

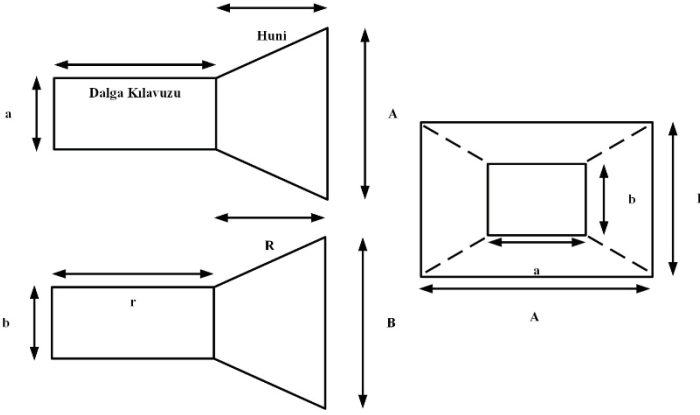
Bu çalışma kapsamında örnek bir huni anten tasarımı için hangi tasarım parametrelerinin ne sıklıkta ve ne aralıkta alınması gerektiğine dair bir inceleme yapılmıştır. Bu inceleme ışığında tasarım parametrelerinden yeterli uzunlukta ve sıklıkta örnek noktaların çıkarılması için bir yöntem sunulacaktır. Bu yöntem ile yapay zeka modelleri için ideal sayıda veri üretilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın diğer bölümünde, X bant huni antenin geometrik parametrelerinin değişiminin kazançla olan etkisi incelenecektir.

Piramit Huni Anten

Piramit huni anten tasarımlarında, anten iki parça olarak düşünülebilir: Dalga kılavuzu (besleme) kısmı ve huni kısmı.

Şekil 2’de piramit huni antenin dalga kılavuzu kısmı ve huni kısmı ile birlikte ilgili kısımların parametreleri verilmiştir.



Şekil 2. Piramit huni antenin parametreleri

Şekil 2’de görüldüğü üzere, dalga kılavuzu parametreleri a , b ve r huni parametreleri A , B , ve R ’dir. Dalga kılavuzu parametreleri olan a , b ve r sırasıyla, dalga kılavuzunun genişliğini, yüksekliğini ve uzunluğunu verir. Huni parametreleri olan A , B , ve R ise sırasıyla huninin genişliğini, yüksekliğini ve uzunluğunu verir.

Bu parametrelerin hesabında, bir dizi analitik çözümler gerekmektedir. Bu tasarım parametreleri için çeşitli yöntemler mevcuttur.

Bu yöntemlerin en bilinenleri, iterasyon yöntemi kullanılan C. Balanis’in “Antenna Theory and Design” kitabına dayanır [1]. Diğeri ise K.T. Selvan’nın “Accurate Design Method for Optimum Gain Pyramidal Horns” isimli makalesindeki eski ve yaklaşık çözüm üreten yöntemdir [14].

Farklı frekans bantları ve kazanç değerleri için antenin geometrik yapısı değişecektir. Bu durum, belirli bir frekans bandında tasarlanmış antenin, geometrik parametrelerinin değişimlerine göre anten kazancının hassasiyet analizinin yapılmasına olanak sağlar.

Tasarım

Piramit huni anten tasarlanırken, antenin dalga kılavuzu ve huni kısmının parametreleri hesaplanırken, ilk olarak antenin hangi frekans bandında çalışacağı ve istenen kazanç değeri belirlenmelidir.

Bu çalışma için huni antenin X bantta çalışması istenmektedir. X bant aralığı, 8 -12 GHz arasında çalışan sistemler için tanımlanmış, genellikle askeri teknolojiler için kullanılan bant aralığıdır. Sürekli dalga, darbe, tek polarizasyon, çift polarizasyon sentetik açıklıklı radar ve fazlı diziler de dahil olmak üzere radar uygulamalarında kullanılır. X-bant radar frekans alt bantları, sivil, askeri ve devlet kurumlarında hava durumu izleme, hava trafik kontrolü, deniz aracı trafik kontrolü, savunma takibi ve kolluk kuvvetleri için araç hız tespitinde kullanılmaktadır [15].

Farklı bant aralığında çalışan sistemler için tasarlanacak dalga kılavuzlarının boyutları, uluslararası standartlar ile belirlenmiştir. X bant içinde belirlenmiş boyutlara göre tasarım yapılmıştır.

X bant sistemler için WR90 dalga kılavuzu kullanılmaktadır [16]. Tablo 1.1’de WR 90 dalga kılavuzunun çalışma frekansı aralığı, genişliği (a) ve yüksekliği (b) verilmiştir.

Dalga kılavuzu	Çalışma frekansı [GHz]	a inç [mm]	b inç [mm]
WR 90	8.20 – 12.40	0.9 [22.86]	0.4 [10.16]

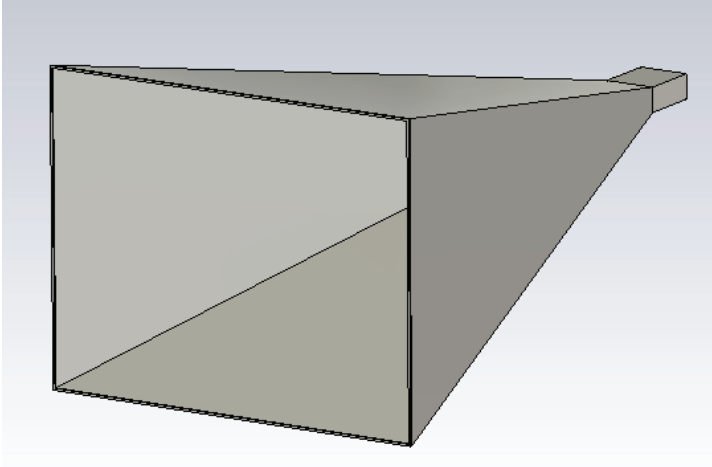
Tablo 1. WR90 dalga kılavuzu [16]

WR90 dalga kılavuzunun parametreleri belirlendiğine göre, huni kısmının parametreleri hesaplanmalıdır. Bunun için ise gerekli parametreler, antenin kazancı ve merkez frekansı.

X bant için merkez frekans yaklaşık $f = 10$ GHz olarak alınabilir. Kazanç olarak ise $G = 200$ (yaklaşık $G = 23,01$ dB) istenmektedir. İlgili kaynakta [17], bu değerler için huni kısmının parametreleri hesaplanmış olup, parametrelerin değerleri Tablo 2’ de, antenin şekli ise Şekil 3’te gösterilmiştir.

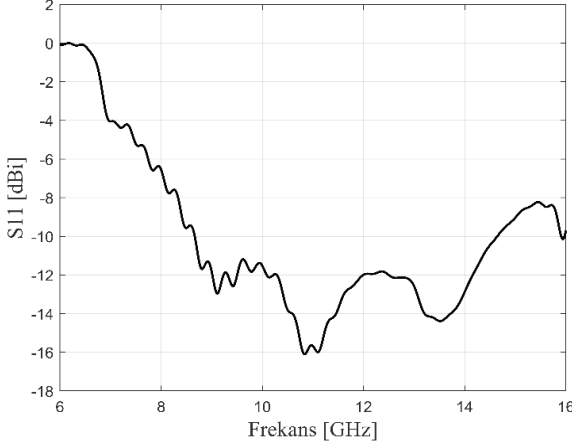
	A [mm]	B[mm]	R [mm]
Tasarım	192.4	152.1	342.8

Tablo 2. Huni kısmının parametre değerleri



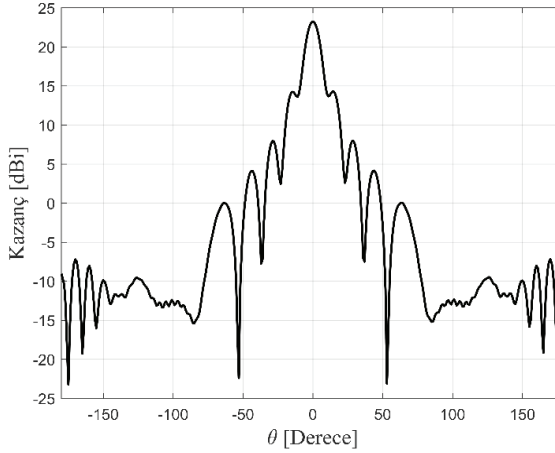
Şekil 3. Tasarlanan X bant huni anten

Parametre değerleri hesaplanan huni anten üç boyutlu simülasyon programları aracılığıyla, Şekil 3’deki gibi tasarlanmıştır. Tasarlanan antenin S parametre grafiği Şekil 4’de gösterilmiştir. Şekil 5’de ise huni antenin kazancının açıya göre gösterilmiştir.



Şekil 4. X bant piramit huni antenin S- parametresi

Grafik incelendiğinde, tasarlanan anten X bant aralığında çalıştığı gözlemlenebilir. Bu durum, antenin kazancına odaklanmamıza olanak sağlar.



Şekil 5. X bant huni antenin açıya göre kazanç dağılımı

Huni açıklığının doğrultusunda, merkez frekansta, kazanç $G = 22.9$ dB olarak hesaplanmıştır. Bu durum, analitik olarak hesaplanan parametre değerleriyle tasarlanan antenin, istenen sonuçları verdiğini göstermektedir.

Çalışmalar

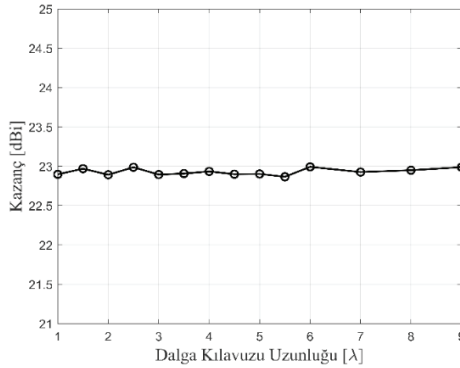
Bu bölümde, ilgili antenin yapısal parametreleri kullanılarak hassasiyet analizi yapılacaktır.

Önceki bölümlerde görüldüğü üzere, huni antenin yapısal parametreleri, a , b , A , B ve R olarak tanımlanmaktadır. İlave olarak, dalga kılavuzunun uzunluğu (l) tanımlanabilir.

Bu çalışmada hassasiyet analizi yapılırken, merkez frekans $f = 10 \text{ GHz}$, dalga boyu ise $\lambda = 30 \text{ mm}$ olarak alınmıştır. Aynı zamanda, hassasiyet analizi incelenirken kullanılan yapı, denklem 1’de gösterilmiştir:

$$d = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (1)$$

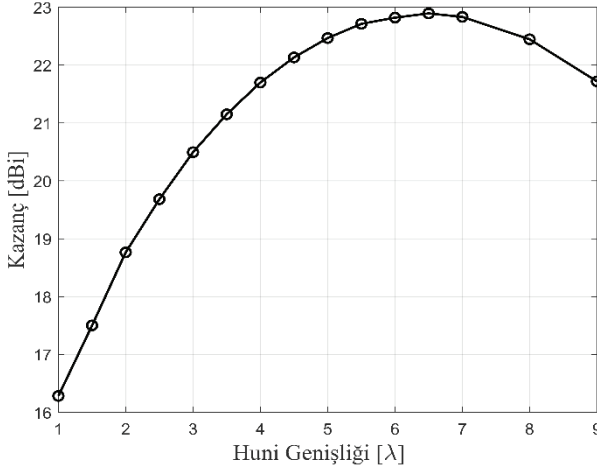
İlk olarak dalga kılavuzu parametreleri incelenmiştir. Dalga kılavuzu parametreleri olan a ve b , X bant için WR90 dalga kılavuzunun boyutlarıyla aynı değerlere sahiptir. Dolayısıyla, sadece dalga kılavuzu uzunluğu (r) hassasiyet analizinde kullanılabilir.



Şekil 6. Dalga kılavuzu uzunluğunun (r) kazanç olan etkisi

Şekil 6’ da görüldüğü üzere, dalga kılavuzu uzunluğunun, antenin kazancına bir etkisi yoktur. Dalga boyu cinsinden farklı uzunluklar için yaklaşık olarak aynı kazanç değerlerini vermektedir.

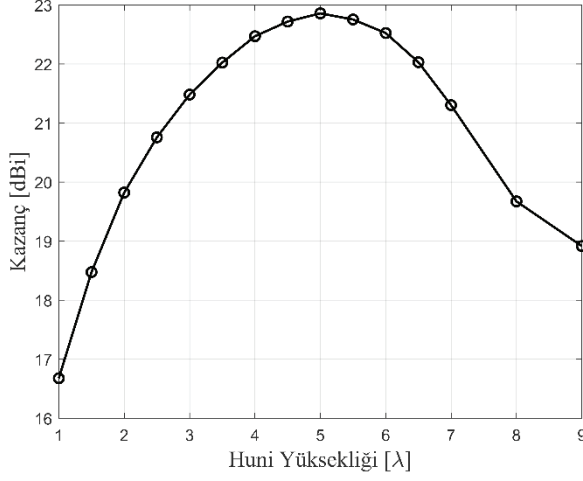
Huni parametreleri olan A , B ve R , dalga kılavuzu parametrelerinden farklı olarak, değişken değerlere sahiptir. Dolayısıyla, her bir parametre kendi içinde farklı bir değer aldığı anda kazanç etkisi olacaktır. Bu durum hassasiyet analizinin yapılmasına olanak sağlar.



Şekil 7. *Huni genişliğinin (A) kazanca olan etkisi*

Şekil 7’de kazancın huni genişliğinin değerine göre değişiminin grafiği gösterilmiştir. Huni genişliğinin değeri artarak, dalga boyunun yedi katına yaklaştıkça, denklem 1’ de ifade edilen d değeri, pozitif ve sıfıra yakınsayan bir eğilim göstermektedir. Bu durum, kazancın tepe değere yakınsadığını gösterir, yani sistem doyuma ulaşmıştır. Daha yüksek değerlere çıkıldığında ise, d değeri negatif olacak ve kazanç azalmaya başlayacaktır.

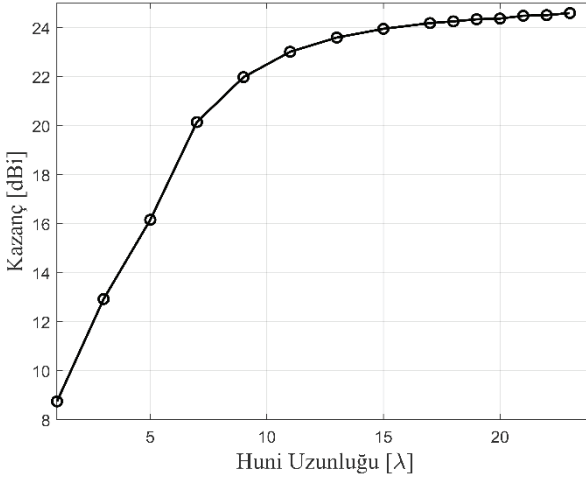
Bu grafikten görüldüğü üzere λ ile 5λ değerleri arası kazancın değişimi yüksek ve artan, 5λ ile 6.5λ arasında kazancın değişim hızı yavaş ve kazanç artan, 6.5λ değerinde ise tepe noktaya yani kazancın en yüksek olduğu değere ulaşmıştır. 6.5λ ile 9λ arasında kazanç değeri azalan bir davranış sergilemiştir. Dolayısıyla, huni genişliği değeri için λ ile 6.5λ arasında noktalar seçmek mantıklı olacaktır. Çünkü diğer noktalarda hem kazanç değeri azalacak hem de antenin boyutu gereksiz biçimde büyüyecektir.



Şekil 8. *Huni uzunluğunun (B) kazanç olan etkisi*

Şekil 8’de kazancın huni yüksekliğinin değerine göre değişiminin grafiği gösterilmiştir. Huni uzunluğunun değeri artarak, dalga boyunun beş katına yakın değerlere yaklaştığında, denklem 1’de ifade edilen d değeri, pozitif ve sıfıra yakınsayan bir eğilim göstermektedir. Bu durum kazancın tepe değere yakınsadığını ifade eder. Daha yüksek dalga boyu değerlerinde, d değeri negatif olacak ve kazanç azalmaya başlayacaktır.

Bu grafikten görüldüğü üzere, λ ile 5λ arasında değişim hızı yüksek ve kazancı artan, 5λ değerinde kazancın en yüksek olduğu değere yani tepe noktasına ulaşılmıştır. 5λ ile 9λ arasında ise kazanç değeri azalan bir davranış sergilemiştir. Dolayısıyla, huni yüksekliği değeri için, λ ile 5λ arasında noktalar seçmek mantıklı olacaktır. Aksi durumda hem kazanç değeri düşecek hem de antenin boyutu gereksiz biçimde büyüyecektir.



Şekil 9. Huni uzunluğunun (R) kazanca olan etkisi

Şekil 9’de kazancın huni uzunluğunun değerine göre değişiminin grafiği gösterilmiştir. Huni uzunluğu arttığında, denklem 1’deki, d değeri pozitif ve sıfıra yakınsayan bir eğilim gösterecektir. Huni genişliğinden ve yüksekliğinden farklı olarak, d değeri negatif bir değer almayacak dolayısıyla kazanç değerinde bir azalma beklenmeyecektir. Şekil 8 incelendiğinde kazancın yaklaşık olarak dalga boyunun on beş katında en yüksek kazanç değerine ulaştığı varsayılabilir. Bunun sebebi, değişimin göz ardı edilebilecek düzeylerde olmasıdır.

Grafik incelendiğinde, λ ile 11λ arasında artış hızı yüksek, 11λ ile 15λ arasında artış hızı azalmış, 15λ ile 23λ arasında ise neredeyse sıfıra yaklaşmıştır. Dolayısıyla, huni uzunluğu için λ ile 15λ arası noktalar seçmek mantıklı olacaktır. Huni uzunluğu değeri 15λ sonrasında kazançtaki değişim neredeyse sıfıra yakın olacağından bu değerlerde nokta almak gereksiz olacaktır. Çünkü antenin boyutu artacak ancak kazançta gözle görülmür bir değişim olmayacaktır.

Sonuçlar

Parametrelerin hassasiyet analizleri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılır:

Dalga kılavuzu uzunluğunun kazanca etkisi göz ardı edilebilir düzeydedir.

Huni parametreleri olan genişlik, yükseklik ve uzunluk değerlerinin kazanca etkisi net bir biçimde görülmüştür.

Hununin genişliği ve yüksekliği, benzer şekilde kazanç değeri bir tepe değere kadar artış, tepe değerden sonra azalış göstermiştir. Huni genişliği

için hassasiyet analizi yapılmaksızın alınan örnek sayısı 15 iken, hassasiyet analizi sonucu 12 adet örneğin yeterli olduğu görülmüştür. Benzer biçimde, huni yüksekliği değeri için alınan örnek sayısı 15 iken, hassasiyet analizi sonucu 9 adet örneğin yeterli olabileceği görülmüştür.

Huni uzunluğu değerinde ise, tepe değeri yerine Şekil 9’ da görüleceği üzere sıfıra yakınsayan bir artış görülmüştür. Hassasiyet analizi sonucu değişimin, yüzde 1’den az olduğu ilk değer olan 151 değerinin, en yüksek huni uzunluğu değeri olduğu kabul edildiğinde, alınan 23 örnek yerine 15 örneğin yeterli olduğu varsayılabilir.

Bunun sonucu, derin öğrenme veya yapay zeka uygulamaları için bir veri seti hazırlanmak istendiğinde, $15 \times 15 \times 23 = 5175$ adet simülasyon yerine, $12 \times 9 \times 15 = 1620$ simülasyon yeterli olacaktır. Hassasiyet analizi kullanılarak, simülasyon adeti üçte bir oranına düşürülmüş olup hem zamandan hem de iş yükünden kazanım elde edilmiştir. Böylelikle, eğitim verilerinde yapı gereksiz verilerden arındırılmıştır.

Öneriler

Daha önceden de bahsedildiği üzere derin öğrenmede veya yapay sinir ağlarında kullanılan modellemeler için, eğitim verilerinde gereksiz veri yüklemesinden kaçınılması gerekmektedir.

Sınırlandırılmış yapısal parametreler kullanılarak, farklı uzunluklarda farklı kazanç değerleri elde edilir. Derin öğrenme veya yapay sinir ağları modellemeleri kullanılarak, istenen boyuta ve kazanca göre anten tasarımları yapılması istenebilir.

Bu durum analitik çözüme göre daha hızlı ve pratik çözümler oluşturur. Farklı frekans bantları ve kazanç değerleri için modellemeler yaparak, huni anten tasarımları yapılmasında bu analizler kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 119N196 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

REFERANSLAR

- [1] Balanis, C. A. (2005). Antenna theory analysis and design, A JOHN WILEY & SONS. Inc., Publication, 811.
- [2] Volakis, J. L. (2007). Antenna engineering handbook. McGraw-Hill Education.
- [3] Mahouti, P., Kızılay, A., Tari, O., Belen, A., & Belen, M. A. (2021, August). Design optimization of ultra wide band vivaldi antenna using artificial intelligence. In 2021 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES) (pp. 1-4). IEEE.
- [4] Mahouti, P. (2019). Design optimization of a pattern reconfigurable microstrip antenna using differential evolution and 3D EM simulation-based neural network model. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 29(8), e21796.
- [5] Güneş, F., Evranos, İ. Ö., Belen, M. A., Mahouti, P., & Palandöken, M. (2021). A compact triband antipodal vivaldi antenna with frequency selective surface inspired director for IoT/WLAN applications. Wireless Networks, 27(5), 3195-3205.
- [6] MOHANTY, J., PATTANAYAK, P., NANDI, A., BAISHNAB, K. L., & TALUKDAR, F. A. (2022). Binary flower pollination algorithm based user scheduling for multiuser MIMO systems. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 30(4), 1317-1336.
- [7] S. Koziel, S., & Pietrenko-Dabrowska, A. (2020). Fast multi-objective optimization of antenna structures by means of data-driven surrogates and dimensionality reduction. IEEE Access, 8, 183300-183311.
- [8] Koziel, S. (2016). Low-cost data-driven surrogate modeling of antenna structures by constrained sampling. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 16, 461-464.
- [9] Koziel, S., Mahouti, P., Calik, N., Belen, M. A., & Szczepanski, S. (2021). Improved modeling of microwave structures using performance-driven fully-connected regression surrogate. IEEE Access, 9, 71470-71481.
- [10] Satılmış, G., Güneş, F., & Mahouti, P. (2021). Physical parameter-based data-driven modeling of small signal parameters of a metal-semiconductor field-effect transistor. International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields, 34(3), e2840.
- [11] Mahouti, P., Belen, M. A., Çalık, N., & Koziel, S. (2022). Computationally Efficient Surrogate-Assisted Design of Pyramidal-Shaped 3D Reflectarray Antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation.

- [12] Koziel, S., & Bekasiewicz, A. (2017). On reduced-cost design-oriented constrained surrogate modeling of antenna structures. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 1618-1621.
- [13] Koziel, S., Çalık, N., Mahouti, P., & Belen, M. A. (2021). Accurate modeling of antenna structures by means of domain confinement and pyramidal deep neural networks. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 70(3), 2174-2188.
- [14] Selvan, K. T. (1999). Accurate design method for optimum gain pyramidal horns. *Electronics Letters*, 35(4), 249-250.
- [15] ESA, Satellite Frequency Bands. Erişim Adresi: www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands.
- [16] EverythingRF, Waveguide Size. Erişim Adresi: www.everythingrf.com/tech-resources/waveguides-sizes
- [17] Orfanidis, S. J. (2002). *Electromagnetic waves and antennas*.



BÖLÜM 9

GÖVDE BORU TIPLİ ISI EŞANJÖRLERİNDE NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISIL PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Sedanur YAZAR¹, Tolga DEMİRCAN²

1 Sedanur Yazar, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,

Orcid No: 0000-0001-8363-5738

2 Dr. Öğr. Üyesi Tolga Demircan, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Orcid No: 0000-0003-4805-6428

1.GİRİŞ

Isı eşanjörleri, farklı sıcaklıklara sahip iki veya daha fazla akışkan akışının birbirine karışmadan birbirlerine ısı transferi yapmasına olanak sağlayan elemanlardır. Isı eşanjörleri genel olarak kazan, kombi, soğutma kulesi, radyatör vb. gibi cihazlarda, ısıtma ve soğutma uygulamalarında ısı aktarılması amacıyla kullanılırlar. Günümüzde plakalı eşanjörler ve borulu eşanjörler yaygın olarak tercih edilen eşanjör tipleridir. Eşanjörlerde aktarılan ısı transfer miktarını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Eşanjör geometrisi, kullanılan akışkanların tipi, debisi, giriş sıcaklığı vb. parametrelerin değişimi ısı transferini etkilemektedir. Bu nedenle araştırmacılar bu parametrelerin değişimini inceleyerek, optimum eşanjör geometrisi ve optimum çalışma parametrelerini belirleyerek maksimum ısı performansın sağlanması üzerine çalışmalar yapmaktadırlar. Isı transfer akışkanı olarak nanoakışkan kullanımının ısı transferini artıracığı, dolayısıyla eşanjörün ısı performansını olumlu yönde etkileyeceği öngörülmektedir. Bu nedenle ısı eşanjörlerinde nanoakışkan kullanımı üzerine yapılacak olan çalışmalar önem arz etmektedir.

Nanoakışkanlar baz olarak belirlenen bir akışkanın içerisine, belli bir hacimsel karışım oranında nano partikül ilave edilmesi ile oluşturulan yeni akışkan tipleridir. Baz akışkan içerisine nano partikül ilavesi ile, oluşturulan yeni nanoakışkanın ısı iletkenlik, yoğunluk, özgül ısı, viskozite vb. gibi özellikleri istenilen değerde tutulabilmektedir. Özellikle ısı transfer uygulamalarında, ısı iletkenliği daha yüksek bir akışkanın kullanımı enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Örneğin, ısı eşanjörlerinde geleneksel bir ısı transfer akışkanı kullanılması yerine, geleneksel akışkandan daha yüksek bir ısı iletkenliğe ulaşmış olan bir nanoakışkanın kullanımı ısı performansını olumlu yönde etkileyebilmektedir. Bu kapsamda literatür detaylı olarak taranmış, ısı eşanjörleri ve nanoakışkan kullanımı üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Literatürde ısı eşanjörleri üzerine yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda eşanjör tipi, geometrisi, boru sayısı, boru dizilimi, akışkan tipi, akışkan giriş hızı, debisi vb. parametrelerin değişiminin ısı performans üzerindeki etkileri üzerinde durulduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmalardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Dilki (2020) iç içe geçmiş borulu bir ısı eşanjöründe Al_2O_3 ve SiO_2 ilaveli nanoakışkanların kullanılması durumunda, ısı eşanjörün ısı ve hidrolik performansını incelemiştir. Isı eşanjöründe sıcak akışkan olarak su, soğuk akışkan olarak ise farklı oranlarda etilen glikol-su kullanmıştır. Ayrıca soğuk akışkana farklı oranlarda nano partikül eklemiştir. Analizlerinin sonucunda, zıt akışlı ısı eşanjörünün ısı performansının paralel akışlı olana göre daha iyi olduğunu belirtmiştir. Nanoakışkan

kullanımı ile Nusselt sayısında artış sağlandığını gözlemlemiştir. Al_2O_3 ilaveli nanoakışkan kullanımının, SiO_2 ilaveli nanoakışkan kullanımına göre eşanjörün ısı performansını daha fazla artırdığını belirlemiştir. Karataş (2019) gövde boru tipli bir ısı eşanjöründe hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yardımıyla ısı ve akış analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, gövde borunun içine şaşırtma levhaları eklemiş ve farklı akış hızları için analizler yapmıştır. Çalışmasının sonucunda, akış hızının artmasıyla basınç düşümünün, çıkış sıcaklığının ve gerçekleşen ısı transfer miktarının arttığını gözlemlemiştir. Gövdeye yerleştirilen şaşırtma levhaların sayısının artması ile ısı transferinin de arttığını belirtmiştir. Canbaz (2011) kanatlı tipte bir ısı değiştiricisinde, 3 farklı lamel tipi için ısı transferi ve basınç kayıplarını sayısal olarak incelemiştir. İncelenen farklı lamel tipleri için, en yüksek ısı transferinin patlamalı lamelde gerçekleştiğini belirtmiştir.

Büyükaşık (2020) inovatif geometriye sahip bir ısı eşanjöründe gerçekleşen ısı ve akış yapısını sayısal olarak ele almıştır. Bu kapsamda, ısı eşanjöründe sinüzoidal kanallar kullanmıştır. Sinüzoidal dalga şiddeti, duvar kalınlığı gibi parametreleri değiştirerek analizlerini gerçekleştirmiştir. Analizlerden elde ettiği sonuçlar yardımıyla Nusselt sayısının, sürtünme faktörünün ve ısıl iyileştirme sayısının değişimini irdelemiştir. Sonuç olarak sinüzoidal kanal kullanımının, sürtünmeyi ve Nusselt sayısının değerini arttırdığı belirtmiştir. Erdoğan (2018) u borulu bir ısı değiştiricisinin gövdesine faz değişim malzemesi eklendiği durumu sayısal olarak incelemiştir. Analiz sonuçlarını deney sonuçlarıyla desteklemiştir. Sonuç olarak çıkış sıcaklığını $40^{\circ}C$ olarak belirlemiştir. Akışın laminar olmasından dolayı faz değiştiren malzemenin yavaş eridiğini gözlemlemiştir. Ökten (2020) ısı transfer akışkanı olarak $CuO+Al_2O_3$ hibrit nanoakışkanının kullanıldığı plakalı ve eş merkez borulu ısı değiştiricilerinin ısı performansını deneysel olarak incelemiştir. Sonuç olarak, iç içe borulu ısı değiştiricisinde %1 derişim durumunda, ısı transfer katsayısının değerinin paralel akışta %7,4, zıt akışta ise %8 kadar artış gösterdiğini gözlemlemiştir. Benzer olarak %1 derişimde plakalı ısı değiştiricisinde ise, ısı transfer katsayısının değerinde %15,1 oranında artış olduğunu belirtmiştir. Ergün (2019) Al_2O_3/su nanoakışkanın kullanıldığı plaka tipli bir ısı değiştiricisinde, nanoakışkanın kullanımının ısı değiştiricisinin ısı performansı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Farklı akış debileri (3, 4, 5, 6 l/dk) ve farklı giriş sıcaklıkları (40, 45, 50, 55, 60 $^{\circ}C$), zıt ve paralel akış tipleri için incelemeler yapmıştır. Sonuç olarak, plakalı bir ısı eşanjöründe Al_2O_3/su nanoakışkanının kullanımının, eşanjörün ısı performansını olumlu yönde etkilediğini belirtmiştir.

Al-Tameemi (2019) kare şeklindeki bir kanalda nanoakışkan kullanımının ısı transferi üzerindeki etkilerini sayısal olarak ele almıştır.

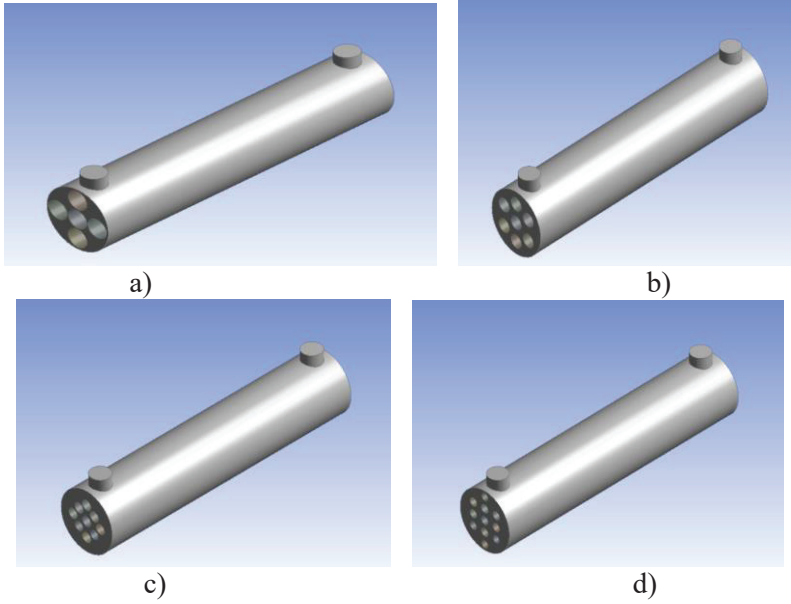
Nanoakışkan hazırlamak için Al_2O_3 , ZnO ve CuO nano partiküllerini kullanmıştır. Farklı Reynolds sayıları, farklı partikül boyutları ve farklı hacimsel karışım oranları için deneyler yapmıştır. Sonuç olarak, Al_2O_3 nanoakışkanının kullanıldığı durumda, Nusselt sayısının değeri daha yüksek çıkmıştır. Nusselt sayısının değerinin, Reynolds sayısının ve nanopartikül hacimsel oranının artışı ile arttığını belirtmiştir. Çetin (2012) eş merkezli iç içe borulu ısı eşanjörlerinde farklı türbülator geometrilerinin (dar, orta ve geniş türbülatorler) kullanımının ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Boru malzemesi olarak bakır kullanmıştır. Sonuç olarak, dar türbülator, orta türbülator ve geniş türbülator sahip ısı değiştiricilerinde, türbülator olmayan ısı değiştiricisine oranla sırasıyla %264, %218, % 196 daha fazla ısı transferi gerçekleştiğini belirtmiştir. Fares ve ark. (2020) dikey bir boruda nanoakışkan kullanımının ısı transfer üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerinde ısı transfer akışkanı olarak grafen nanoakışkanını kullanmışlardır. Farklı giriş hızları ve sıcaklıkları için deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak, inceledikleri ısı eşanjörünün ısı veriminin grafen nanoakışkanının kullanılması ile %13,7 arttığını gözlemlemişlerdir.

Görüldüğü üzere, literatürde ısı eşanjörleri ve nanoakışkanlar üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda nanoakışkan olarak Al_2O_3 , ZnO, SiO_2 , CuO vb. nano partikül ilaveli nanoakışkanların sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışma kapsamında, literatürde sık olarak kullanılmamış olan hBN partikülü katkılı nanoakışkan kullanılmış ve hBN nanoakışkanının hacimsel karışım oranının değişiminin ısı performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, incelenen gövde borulu ısı eşanjörünün boru demetlerinin iç kısmından su, gövde kısmından ise hBN-su nanoakışkanının geçtiği düşünülmüştür. Çalışmadan elde edilen bulgular yardımıyla, hBN nanoakışkanının ısı performans üzerindeki etkilerinin irdelenmesi ve literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, gövde borulu bir ısı eşanjöründe nanoakışkan kullanımının ısı transfer üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gövde borulu ısı eşanjörünün ana ve sıcak akışkanı olarak su, ikincil ve soğuk akışkanı olarak ise nanoakışkan seçilmiştir. Nanoakışkan olarak hBN-su nanoakışkanı kullanılmıştır. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranları %0, %1, %3, %5, %7 olacak şekilde değiştirilerek Fluent paket programı aracılığı ile sayısal analizler yapılmıştır. Suyun giriş sıcaklığı 285K, hBN-su nanoakışkanın giriş sıcaklığı ise 332K olarak alınmıştır. Farklı boru sayılarına ve farklı boru çaplarına sahip eşanjör model geometrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan model geometrilerin boru sayıları 5, 7, 9, 11

olarak belirlenmiştir. Modellerde kullanılan boru çapları ise, modellerde bulunan boru demetinin toplam kesit alanını sabit tutularak belirlenmiştir. Model isimleri boru sayısına göre belirlenmiştir. Boru sayısı 5, 7, 9 ve 11 adet olan geometriler sırasıyla Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 olarak adlandırılmıştır. Oluşturulan bu model geometrilerin izometrik görünümü Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Model geometrilerin izometrik görünümü a)Model 1, b)Model 2, c)Model 3 ve d)Model 4

Bu çalışmada incelenen problemin temel diferansiyel denklemlerinin (Karabulut ve ark., 2018) genel hali aşağıdaki verilmiştir.

Süreklilik Denklemi

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} V_m) = 0 \quad (1)$$

Momentum Denklemi

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} V_m V_m) = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu_{nf} \nabla V_m) \quad (2)$$

Enerji Denklemi

$$\nabla \cdot (\rho_{nf} c_p V_m T) = \nabla \cdot (k_{nf} \nabla T) \quad (3)$$

Yukarıda verilen diferansiyel denklemlerin çözülebilmesi için sınır şartlarının bilinmesi gerekmektedir. Model geometrilerde gövdenin dış yüzeyinin yalıtıldığı düşünülmüştür. Bundan dolayı gövdenin tüm dış yüzeylerinden gerçekleşen ısı akısının sıfır olduğu kabul edilmiştir.

İncelenen model geometriler farklı boru sayılarına sahiptir. Bu modellerde boru demetinin toplam kesit alanı sabit tutulmuş, bundan dolayı her modelde farklı bir boru çapı kullanılmıştır. Tüm modellerde giriş debisi sabit $0,00235 \text{ m}^3/\text{kg}$ olarak kullanılmış ve her modelin kendi boru çapı kullanılarak her modelde kullanılacak olan giriş hızı belirlenmiştir. Sıcak akışkan olan suyun giriş sıcaklığı 285K , soğuk akışkan olan hBN-su nanoakışkanının giriş sıcaklığı ise 332K olarak alınmıştır. Su ve nanoakışkanın çıkış şartları ise atmosfer basıncı ve sıcaklığı olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan nanoakışkanın farklı hacimsel karışım oranları için analizler yapılmıştır. Nanoakışkanın hacimsel karışım oranının değişmesi, termofiziksel özelliklerinin de değişmesine sebebiyet vermektedir. Farklı hacimsel karışım oranları için, nanoakışkanın temel özellikleri aşağıda verilen ampirik denklemler yardımı ile belirlenebilmektedir. Nanoakışkanın ısı iletim katsayısı, viskozitesi, yoğunluğu ve özgül ısı kapasitesi sırasıyla, Eşitlik 4, 5, 6, 7 (Dilki, 2020) kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan sayısal analizlerde çoklu faz yaklaşımı kullanılmış ve analiz edilen hacimsel karışım oranı için nanoakışkanın temel özellikleri kullanılan paket program aracılığı ile elde edilmiştir. Analizlerden elde edilen temel özellikler, aşağıda verilen eşitliklerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve her iki sonucun birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{k_p + 2k_{bf} + 2(k_p - k_{bf})(1 + \eta)^3 \Phi}{k_p + 2k_{bf} - (k_p - k_{bf})(1 + \eta)^3 \Phi} \quad (4)$$

$$\mu_{nf} = \frac{1}{(1 + \Phi)^{2.5}} \mu_{bf} \quad (5)$$

$$\rho_{nf} = (1 + \Phi) \rho_{bf} + \Phi \rho_p \quad (6)$$

$$Cp_{nf} = \frac{(1 + \Phi) \rho_{bf} Cp_{bf} + \Phi \rho_p Cp_p}{\rho_{nf}} \quad (7)$$

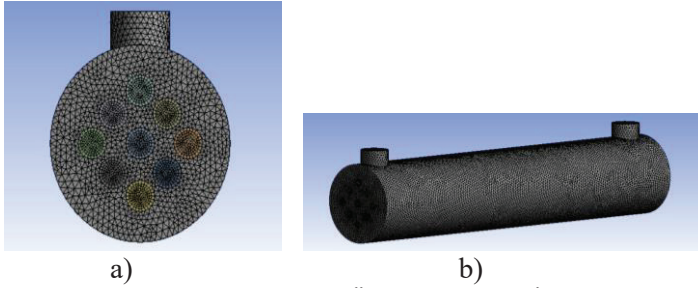
Yapılan sayısal analizlerden elde edilen veriler derlenmiş ve aşağıdaki verilen eşitlikler kullanılarak gövde borulu ısı eşanjöründe hBN nanoakışkan kullanımı için ısı transferine olan etkileri irdelenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, gövde borulu ısı eşanjörünün gövde kısmındaki Reynolds sayısı Eşitlik 8 aracılığı ile hesaplanmaktadır.

$$Re = \frac{\rho_{nf} V D_h}{\mu_{nf}} \quad (8)$$

Burada V akışkanın hızını, D_h hidrolik çapını temsil etmektedir. Akışkanın Nusselt sayısı ise aşağıda verilen eşitlik yardımı ile belirlenebilmektedir.

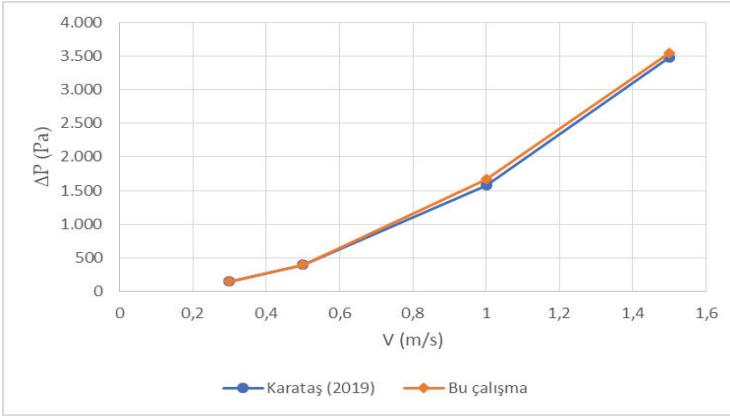
$$Nu = \frac{h D_h}{k_{nf}} \quad (9)$$

Problemin sayısal olarak çözülebilmesi için, problem geometrisi sonlu hacimlere bölünerek bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapısı oluşturulurken, iç boruların iç ve dış yüzeylerine yakın bölgelere çok sık bir ağ yapısı, diğer bölgelere ise daha gevşek bir ağ yapısı oluşmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca her model için, ağ yapısında bulunan element sayısı değiştirilerek farklı element sayısına sahip ağ yapıları oluşturulmuştur. Bu farklı element sayısına sahip ağ yapıları için sayısal analizler yapılarak her model geometri için optimum ağ yapıları belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan tüm analizlerde, belirlenen optimum ağ yapıları kullanılmıştır. 9 adet iç boruya sahip olan Model 3 geometrisi için oluşturulan ağ yapısının görünüşü örnek olması amacıyla Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Model 3'ün ağ yapısı a) Ön görünüş, b) İzometrik görünüş

Çalışma kapsamında yapılan sayısal analizlerin ve elde edilen sonuçların güvenilirliğini test edebilmek amacıyla, literatürde bulunan benzer bir çalışma (Karataş, 2019) kullanılmıştır. Bu kapsamda Karataş (2019) tarafından yapılan çalışmanın geometrik boyutları ve sınır şartları kullanılarak sayısal analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar ilgili çalışmanın sonuçları ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslamaların sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Bu çalışma ve literatür (Karataş, 2019) sonuçlarının karşılaştırılması

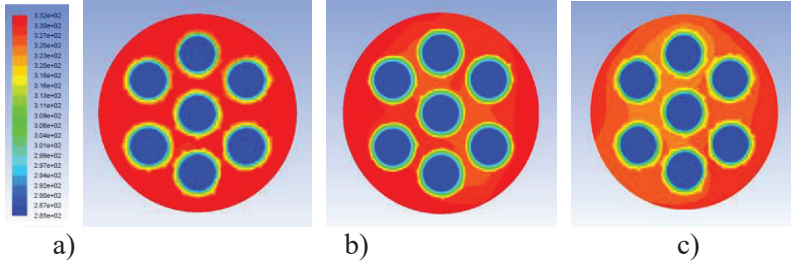
Şekil 3 incelendiğinde, her iki çalışmada da giriş hızı arttıkça basınç düşümünün de arttığı görülmektedir. İki çalışma için çizilen eğrilerin birbirlerine oldukça yakın bir profil izlediği ve büyük oranda örtüştüğü görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmanın analizleri sırasında uygulanan sayısal prosedürün ve analizlerden elde edilen çıktılarının güvenilir bir seviyede olduğu düşünülebilir.

3. Bulgular ve Tartışmalar

Bu çalışmada gövde borulu bir ısı eşanjöründe ısı transfer akışkanı olarak hBN-su nanoakışkanının kullanıldığı durumda, boru sayısının, boru çapının ve hacimsel karışım oranının değişiminin ısı etkileri incelenmiştir. Bu amaçla farklı boru sayılarına sahip dört farklı model geometri belirlenmiştir. Bu model geometrilerde, hacimsel karışım oranının %0, %1, %3, %5, %7 olduğu durumlar için sayısal analizler yapılmıştır. Ek olarak beş adet boruya sahip olan Model 1 geometrisi için, boru sayısı değiştirilmeden boru çapı değiştirilerek üç yeni geometri oluşturulmuştur. Yapılan ek analizler doğrultusunda, boru çapının ısı performansına olan etkileri de incelenmiştir.

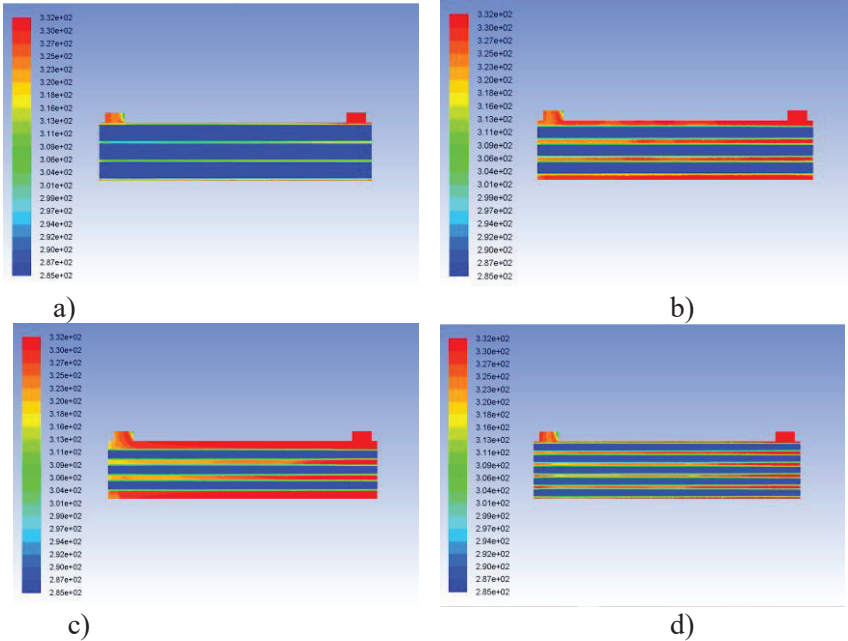
Yedi adet iç boruya sahip olan Model 2 geometrisi ve hacimsel karışım oranı %1 olduğu durum için, eşanjör uzunluğu boyunca alınan farklı kesitler için sıcaklık dağılımları Şekil 5'de görülmektedir. Bu kapsamda eşanjörün girişinde, tam ortasında ve çıkışında alınan kesitler, sırasıyla Şekil'in a, b ve c şıklarında verilmiştir. Şekiller incelendiğinde girişte su sıcaklığının en yüksek seviyede olduğu ve boru boyunca akış ilerledikçe sıcaklığın azaldığı ve çıkışta ise en düşük değerlere ulaşıldığı görülmektedir. Nanoakışkanın sıcaklığı ise, sudan gerçekleşen ısı transferi nedeniyle çıkışa doğru artış göstermektedir. İç boruların yüzeylerine yakın bölgede oluşan ısı sınır tabakalar görülmektedir.

Oluşan ısıl sınır tabakanın kalınlığının, akış boyunca çıkış kesitine doğru kalınlaştığı görülmektedir. Dolayısıyla akış uzunluğu boyunca çıkış yönüne doğru, gerçekleşen ısı transferinin de arttığı söylenebilir.



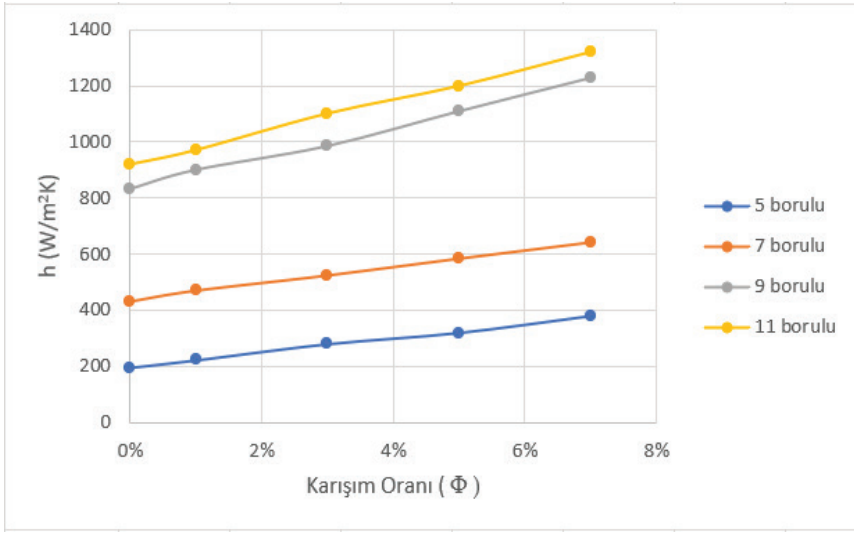
Şekil 4. Model 2 ve hacimsel karışım oranı %1 olduğunda, farklı kesitler için sıcaklık dağılımları a) 0 m, b) 0,35m, c) 0,70m

Şekil 5’de ise hacimsel karışım oranı %3 için, akış yönü boyunca enine alınan bir kesit için sıcaklık dağılımları farklı boru sayılarına sahip model geometrileri için birlikte görülmektedir. Alınan kesitlerden de görüldüğü üzere, farklı model geometrileri için genel olarak benzer bir sıcaklık dağılımı görülmektedir. Tüm modellerde, ısı eşanjörün çıkışına doğru suyun sıcaklığı azalırken nanoakışkanın sıcaklığı ise artış göstermektedir.



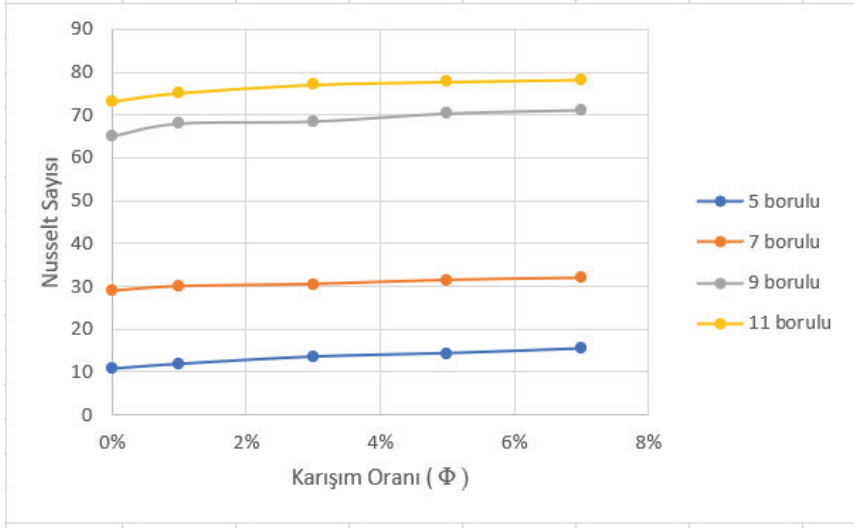
Şekil 5. Hacimsel karışım oranı %3 olduğunda farklı geometri modelleri için sıcaklık dağılımları a)Model 1, b)Model 2, c)Model 3 ve d)Model 4

Şekil 6’da ısı transfer katsayısının hacimsel karışım oranlarıyla değişimi, incelenen farklı modeller için birlikte gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm model geometriler için benzer olarak, nanoakışkanın hacimsel karışım oranının artmasıyla ısı transfer katsayısının değerinin de arttığı görülmektedir. Sabit hacimsel karışım oranı için, ısı eşanjörünün boru sayısının artması ile ısı transfer katsayısının da arttığı görülmektedir. Bu durum incelenen tüm karışım oranları için benzerlik göstermiştir. En yüksek ısı taşınım katsayısı 11 borulu geometride %7 hacimsel karışım oranı olduğu durumda gözlemlenmiştir.



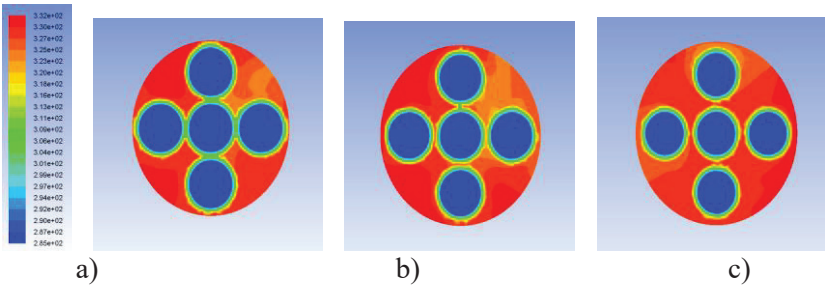
Şekil 6. Farklı boru sayıları için, ısı taşınım katsayısının hacimsel karışım oranı ile değişimi

Şekil 7’de ise Nusselt sayısının hacimsel karışım oranına göre değişimi farklı modeller için verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere hem eşanjörde bulunan boru sayısındaki artış hem de nanoakışkanın hacimsel karışım oranındaki artış, Nusselt sayısının değerini artırmaktadır. Dolayısıyla incelenen parametre aralığı için, bir ısı eşanjöründe boru sayısının ve hacimsel karışım oranının birlikte artırılması ile eşanjörde gerçekleşen ısı transfer miktarının artırılacağı söylenebilir.



Şekil 7. Farklı boru sayıları için, Nusselt sayısının hacimsel karışım oranı ile değişimi

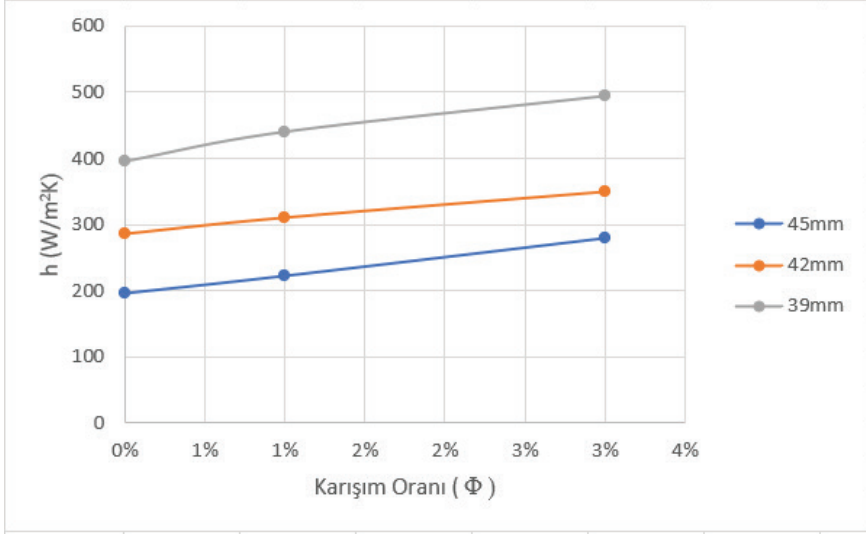
Şekil 8’de beş adet iç boruya sahip gövde borulu bir ısı eşanjörünün tam orta noktasından alınan bir kesit için sıcaklık dağılımları farklı iç boru çapları için birlikte incelenmiştir. Bu kapsamda ısı değiştiricisinin iç boru sayısı sabit tutulmuş, ancak boru çapları değiştirilmiştir. Şekil incelendiğinde boru çapı arttıkça, ısı sınır tabakanın incelmesi ve gövde kısmında bulunan akışkanın sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Model 1 ve %1 karışım oranı için farklı boru çapları için sıcaklık dağılımı a) 45mm b) 42mm, c) 39mm

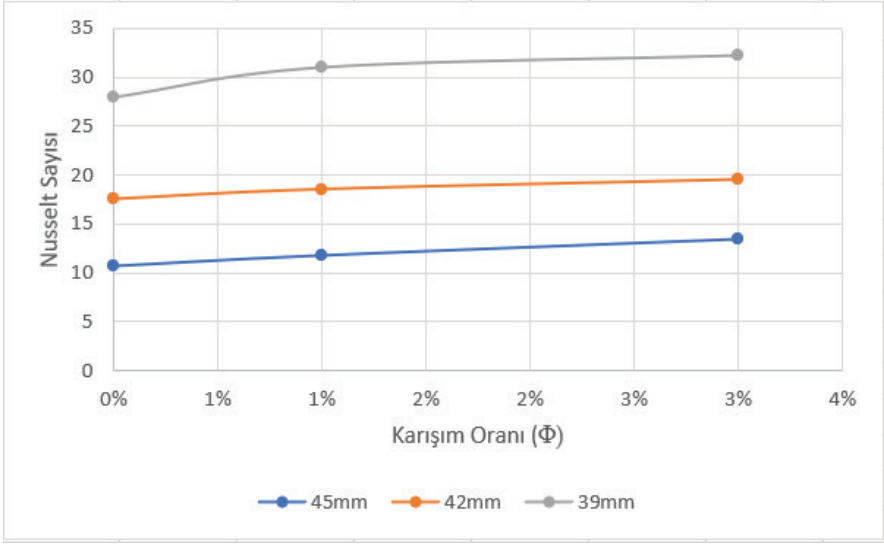
Şekil 9’da beş adet iç boruya sahip gövde borulu bir ısı eşanjöründe ısı taşınım katsayısının hacimsel karışım oranı ile değişimi farklı iç boru çapları için birlikte verilmiştir. Şekil incelendiğinde boru çapı sabit tutulduğunda, hacimsel karışım oranının artırılması ile ısı taşınım katsayısının değerinin arttığı görülmektedir. Benzer olarak, sabit hacimsel karışım oranı için iç borunun çapının azalması ile ısı taşınım katsayısının

değeri artış göstermektedir. Dolayısıyla incelenen parametre aralığında en yüksek ısı taşınım katsayısı değerine, karışım oranının en yüksek olduğu boru çapının ise en küçük olduğu durumda ulaşılmaktadır.



Şekil 9. Model 1 ve farklı boru çapları için, ısı taşınım katsayısının hacimsel karışım oranı ile değişimi

Model 1 geometrisi için, Nusselt sayısının hacimsel karışım oranı ile değişimini gösteren eğriler farklı boru çapları için Şekil 10'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, en büyük çap değeri için çizilen eğri en altta, en küçük çap değeri için çizilen eğri ise en üstte yer almaktadır. Ayrıca sabit boru çapı için, karışım oranı artırıldığı zaman Nusselt sayısının değeri artış göstermektedir. En yüksek Nusselt sayısı, karışım oranının en yüksek iç boru çapının ise en küçük olduğu durumda gerçekleşmiştir. Dolayısıyla incelenen parametre aralığı için, nanoakışkanın hacimsel karışım oranının artırılması ve eşanjörün iç boru çapının azaltılması ile ısı transferinin artırılacağı söylenebilir.



Şekil 10. Model 1 ve farklı boru çapları için, Nusselt sayısının hacimsel karışım oranı ile değişimi

4.Sonuç

Bu çalışmada gövde boru tipli bir ısı eşanjöründe nanoakışkan kullanımının ısı ve akış karakteristikleri incelenmiştir. Isı eşanjörünün içinde yer alan boru demetlerinden su, gövde kısmından ise hBN-su nanoakışkanının geçtiği varsayılmıştır. Boru demetinde yer alan boru sayısı değiştirilerek 4 farklı model geometrisi oluşturulmuştur. Bu model geometrileri kullanılarak, nanoakışkanın hacimsel karışım oranı %0, %1, %3, %5, %7 olduğu durumlar için sayısal analizler yapılmıştır. Ayrıca beş adet iç boruya sahip olan model geometrisi için, boru çapı değiştirilerek üç farklı boru çapında analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda, incelenen parametre aralığı için eşanjörün iç boru sayısı artırıldığı zaman ısı taşınım katsayısının ve Nusselt sayısının arttığı gözlemlenmiştir. Benzer olarak nanoakışkanın hacimsel karışım oranının artırılması ile Nusselt sayısının ve ısı transferinin arttığı belirlenmiştir. Diğer parametreler sabit iken, iç boru çapının artması ile Nusselt sayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, incelenen parametre aralığında iç boru sayısının ve nanoakışkanın hacimsel karışım oranının en fazla olduğu durumda maksimum ısı transferinin gerçekleşebileceği belirlenmiştir.

Kaynakça

- Al-Tameemi, H.R.A., 2019. Numerical analysis of nano-fluid flow and heat transfer in ducts. MSc Thesis, Çankaya University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering, Ankara.
- Büyükaşık, C., 2020. Computational heat and fluid flow analysis of an innovative plate for a plate heat exchanger. MSc Thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Automotive Engineering, Adana.
- Canbaz, H., 2011. Kanatlı borulu bir ısı eşanjöründeki ısı geçişinin sayısal olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çetin, F.D., 2012. Isı eşanjörlerinde ısı transferi iyileştirme yöntemlerinin sayısal ve deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, ANKARA.
- Dilki, S., 2020. Borulu ısı eşanjörlerinde kullanılan nanoakışkanların ısı transfer karakteristiklerinin sayısal olarak incelenmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Erdoğan, A., 2018. Gizli ısı depolamalı U borulu ısı değiştiricilerinin ısı analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Elazığ.
- Ergün, M.E., 2019. Alümina içerikli nano akışkanın plaka tip ısı değiştiricideki performansının deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Fares, M., Al-Mayyani, M., Al-Saad, M., 2020. Heat transfer analysis of a shell and tube heat exchanger operated with graphene nanofluids, Case Studies in Thermal Engineering, 18, 100584.
- Karabulut, K., Buyruk, E., Kılınç, F., 2018. Grafen oksit nanoparçacıkları içeren nanoakışkanın taşınım ısı transferi ve basınç düşüşü artışı üzerindeki etkisinin düz bir boruda deneysel olarak araştırılması, Mühendis ve Makine, 59 (690), 45-67.
- Karataş, T., 2019. Gövde boru tipi ısı değiştiricilerinde HAD uygulaması ile akış ve ısı analizi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Malatya.
- Ökten, M., 2020. Hibrit nanoakışkanın plakalı ve eş merkezli boru ısı değiştiricisindeki performansının deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.



BÖLÜM 10

MİKRODENETLEYİCİ TABANLI KONTROL VE VERİ TABANI UYGULAMASI

Kenan ALTUN¹, Didem ALTUN²

1 Dr. Öğr. Üyesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas, Türkiye. kaltun@cumhuriyet.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-7419-1901>

2 Dr. Öğr. Üyesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Sivas, Türkiye. didemaltun@cumhuriyet.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-1964-3538>

GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi, mikroişlemci tabanlı sistemlerde sadece hız ve kapasitesinin artmasına değil aynı zamanda küçük, kompakt, hafif ve uygun fiyatlı kontrol ünitelerinin oluşmasını sağlamıştır. Mikroişlemcilerin bu hızlı gelişimi ile günlük hayatta karşımıza çıkan kontrol tabanlı birçok uygulamada sanayi, eğitim ve sağlık gibi konularda işimizi kolaylaştırmıştır (Hall, 1986). Mikroişlemciler böylelikle, mikrodenetleyici kontrollü birçok sistem için vazgeçilmez hale gelmiştir. Günümüzde mikrodenetleyiciler ve gömülü sistemlerin temel yapı taşı olan mikroişlemciler günlük hayatımızın hemen her alanında bulunmaktadır. Modern mikrodenetleyiciler ile uzaktan veya yerinden kontrol ile birçok kullanıcı hatası ortadan kaldırılmıştır (Yoo ve ark., 2001). Böylelikle mikrodenetleyiciler otomasyon, kontrol, eğlence vb. alanlardaki çeşitli görevleri çözmek için güçlü, çok yönlü, düşük maliyetli, güvenilir, düşük tüketimli üniteler olarak karşımıza çıkmaktadır (Jerraya ve ark., 2004).

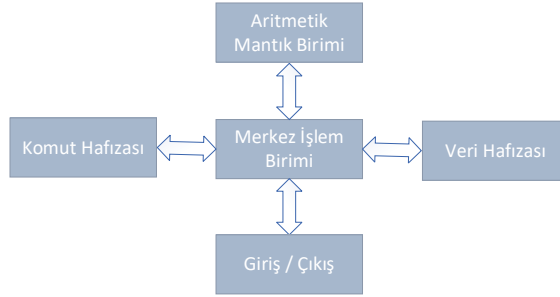
Mikroişlemci, bilgisayarın CPU'ya benzer bilgi işleme ve karar verme yeteneklerine sahip programlanabilir bir elektronik çiptir. Mikrobilgisayarların temel yapısını oluşturan mikroişlemciler belli işlem kapasitelerine sahiptir. Mikroişlemciler günümüzde cep telefonu, yazıcı, ev aletleri vb. hemen her tür elektronik cihazda kullanılmaktadır (Kawahara ve ark., 2009, Cesario ve ark., 2002). Mikroişlemci yapılar ayrıca birçok askeri uygulamada radarlar, uydular ve uçuşlar gibi gelişmiş alanlarda da kullanılmaktadır (Riedl, 1976, Ceruzzi, 2021). Mikroişlemci teknolojisindeki hızlı gelişmeler endüstride önemli bir maliyet düşüşüne ve uygulamalarının artmasını neden olmaktadır (Milla ve ark., 2006).

Bir mikroişlemcinin yapısında, komut işlemek için kontrol birimiyle birlikte aritmetik ve mantık biriminden (ALU) oluşur. Hemen hemen tüm mikroişlemciler, hafıza ünitesine sahip donanımlardır. Hafıza biriminde komutlar, programlar ve kodlar bellek konumlarına sıralı olarak kaydedilir. Bu nedenle bir iş için programlanacak mikroişlemci adım adım programlanmalıdır. Bunun için kullanılacak mikroişlemci üreticisinin tüm protokol ve yönergelerinin bilinmesi gerekir. Ayrıca mikroişlemci programında kullanılan komut setlerinin de detaylı kullanımı bilinmelidir. Genel olarak mikroişlemciler 0 ve 1 ikilik tabanda kodlanır ve işlem yürütür. İkilik tabandaki kodlar kümesine makine dili denir. Bu çalışmada Assembly dili kullanılarak PIC16F877 mikroişlemci kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikrodenetleyici yapısını oluşturan diğer donanım ve aygıtlar ise ünitenin işlem yürüteceği problem için seçilmelidir.

Mikrodenetleyici Yapılar ve Programlanması

Mikroişlemci tasarımcıları daha geniş kelime genişliğine ve adres alanına odaklanırken, bir mikrodenetleyici tasarımcısı gömülü bir ortam-

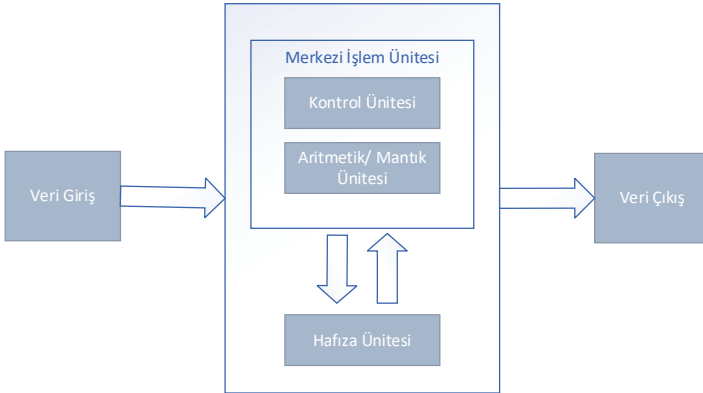
da hızlı kontrolü desteklemek için gereken çevre birimlerini entegre etmeye odaklanır. Basitçe ifade etmek gerekirse, bir mikro denetleyici, en azından eksiksiz bir bilgisayar sisteminin gerekli öğelerini içeren tek bir entegre devredir (Hwang ve ark., 1984). CPU, bellek, bir clock osilatörü ve giriş ve çıkış birimlerinden oluşur. Mikrodenetleyiciler genellikle seri ve zamanlayıcı birimleri gibi ek çevresel modüller içerir. Şekil 1'de Harvard mimarisi blok diyagramı verilmektedir. Buna göre veri ve komutların merkezi işlem birimine bağlantıları ayrı ayrı girilmektedir (Wolf, 2012).



Şekil 1. Harvard Mimarisi blok diyagramı.

Şekil 2'de gösterilen diğer bir mikroişlemci mimarisi olan Von-Neuman mimarisinde ise veri ve komutlar tek birimde oluşan mimari yapıdır. İkisi arasındaki en önemli fark blok diyagramlardan da anlaşılacağı gibi Harvard mimarisinde aynı anda komutlarla veya verilerle işlem yapabilmektedir. Ancak Von-Neuman mimarisinde aynı anda sadece biri için işlem yapabilmektedir (Wolf, 2012).

Aritmetik mantık birimi (ALU) aritmetik ve mantık işlemlerini gerçekleştiren bir yapıdır. ALU yapıları en basit mikrodenetleyicilerden, en karmaşık mikroişlemci yapılarına kadar tüm işlemcilerin temelini oluşturan ALU ise Şekil 3'de verilmektedir (Wolf, 2012).



Şekil 2. Von-Neuman mimarisi blok diyagramı.



Şekil 3. Aritmetik Mantık Ünitesi mimarisi blok diyagramı.

Bir mikrokontrolör olan PIC serisi farklı yöntemlerle programlanabilir. Bunlar; Assembler dili, PIC C, Mikrobasic gibi farklı programlama dilleridir. Uygulamamızda Assembler programlama dili kullanılmıştır. Assembler programa dilinde yalnız 35 komut bulunmakta ve yapılan programımız da bu komutlar ile yapılmıştır. Programımızda genel hatlarıyla sorgulama komutları, yani start, stop ve reset butonlarının sorgulanması ve bu algılamayla ana rutinin devam etmesi sağlanmıştır. Ayrıca uygulama programımızda esas önemli olan program döngümüz gecikme rutini-mizdir. Çünkü yapılan uygulama kronometre temelli bir uygulama olduğundan gerçek zamanda çalışması önemlidir.

Programlamanın ilk başında öncelikle fonksiyonlar tanımlanır. Tanımladığımız fonksiyonlar sırası ile PIC entegresinin dosyalarını tanımlamak, programda kullanacağımız atamalara adres tanımlamak, ana program ve alt programların eklenmesiyle başlar. Fonksiyon tanımından sonra ana programda ilk olarak sayma işlemini ve stop butonuna göre seri iletişim protokolünü (USART) hazırlamak gerekir. Çıkış için kullanılacak port çıkış portu yapılır. Diğer portları kullanılmayacağı için bu portlara bir atama yapılmaz. Daha sonrasında da sonsuz döngü içerisinde seri iletişimden USART_al(); fonksiyonu ile alınan bilgi (start-stop) komutu ile karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilir. Burada seri iletişimden aldığımız bilgi “1” ise PIC’in B portunun 0. bitini logic 1 yapar, “3” ise PIC in B portunun 1. bitini logic 1 yapar, “A” ise PIC’in B portunun 2. bitini logic 1 yapar ve “E” ise PIC in B portunun 4. bitini logic 1 yapar.

Bilgisayar seri iletişim uygulamamızı kullanmak için Visual Basic (VB) arayüz programı kullanılmıştır. Uygulamamızda kullanacağımız arayüz programımız, PIC programlanarak tasarlanan elektronik zamanlama devresinden elde edilen sürenin seri porttan VB’de tasarlanan veri tabanına aktarılarak uygulamamızda kullanılan bilgilere ek olarak bir veri elde etmektir.

Visual Basic ve Seri Haberleşme Protokolü

VB temelleri ilk olarak 1963 yıllarında John G. Kemeny ve Thomas E. Kurtz tarafından Basic dilinin geliştirilmesiyle başlanmıştır (Mutlu ve

ark., 2015). BASIC, “Yeni Başlayanlar İçin Çok Amaçlı Sembolik Talimat Kodu” anlamına gelir. Basic dilinin Windows tarafından kullanılmasıyla Microsoft QBasic ve Microsoft-Dos QBasic gibi sürümleri de kullanıcılar tarafından programlama amaçlı kullanılmıştır. Daha sonra Microsoft tarafından Basic programlama dili görsel olarak geliştirilerek VB adı verilmiştir. VB, BASIC adı verilen önceki DOS sürümünden geliştirilmiş yüksek seviyeli bir programlama dilidir. VB programlamanın kolaylıkları ve sürekli gelişimi ile yüksek hızlı uygulamalardan, SERVER gibi birçok projeyi gerçekleştirebilecek hale gelmiştir. VB, grafik tabanlı bir dil örneğidir. Grafik tabanlı bir dil, kullanıcının doğrudan grafiklerle çalışmasına olanak verir. Öğrenmesi çok kolay bir programlama dilidir. VB programları, Entegre Geliştirme Ortamı’nda (IDE) oluşturulur. IDE, programcının VB programlarını kolayca oluşturmasına, çalıştırmasına ve hatalarını ayıklamasına olanak tanır.

VB’de programlama, bileşenleri veya kontrolleri bir form üzerinde görsel olarak düzenlemenin, bu bileşenlerin niteliklerini ve eylemlerini belirtmenin ve daha fazla işlevsellik için ek kod satırları yazmanın bir birleşimidir. Bileşenler için varsayılan öznelilikler ve eylemler tanımlandığından, programcının birçok kod satırı yazması gerekmeden basit bir şekilde program oluşturulabilir. VB ‘de kullanılan bazı etkileşimli özellikler şunlardır:

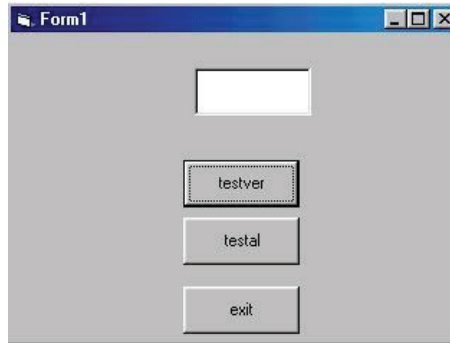
- Tasarım araçlarını kullanarak kullanıcı Arayüzü oluşturulur,
- Formlara çizimler eklenir,
- Formdaki tek tek nesne için özellikler ayarlanır,
- Yürütülebilir bir dosya oluşturulur,
- Uygulamalarda hata ayıklaması yapılır,
- Formlardaki nesneler kontrol edilir,
- Programlardaki veriler kontrol edilir,
- Kod yazarak programın işlevselliği artırılır,
- Projeyi standart EXE programı olarak kaydedilir.



Şekil 4. VB yeni proje başlatma ekranı.

Başlangıçtan VB programı başlatılır. VB simgesi Şekil.4'deki gibi seçilerek iletişim kutusu görüntülenir. Bu menüde yeni bir proje, mevcut bir projenin açılması veya en son açılan programların listesi görüntülenebilir. Açılan yeni proje, uygulamaları oluşturan bir dosya koleksiyonudur. Oluşturabileceğimiz çeşitli uygulama türleri vardır (Ghosh ve ark., 2016).

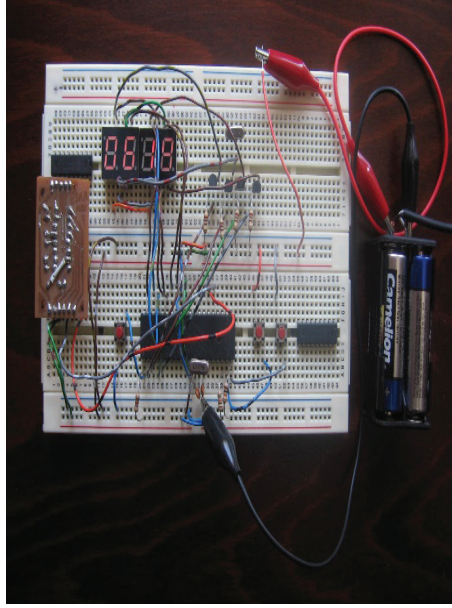
VB ile mikrodnetleyici arasında bilgi alışverişinin sağlanması için veri al veri gönder butonları eklenebilir. Şekil 5 ile Text butonları eklenerek veri transfer örnekleri gerçekleştirilebilir. Böylelikle bilgisayar ile mikrodnetleyici arasında veri transferi iki buton aracılığıyla sekiz bitlik verinin aktarımı sağlanmış olur.



Şekil 5. Text buton penceresi.

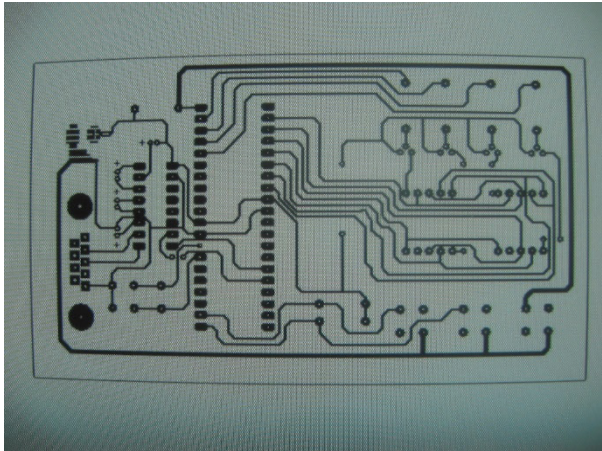
Test butonundan alınan veri seri haberleşme protokolü ile mikrodnetleyiciye bağlanır ve veri transferini gerçekleştirir. Arka planda çalışan bu protokolde iletilecek veya alınacak bilginin baud hızı, bit sayısı ve parity bit ayarları yapılır. Şekil.6 ile verilen pencerede seçili diyalog kutusu seçilerek bu ayarlar yapılır.

yazılan arayüz programıyla istenilen puan hesaplanmıştır. Bu projede verileri bilgisayara seri port ile taşınarak veri tabanına aktarılması yoluyla bilgisayara elle girilen verilerden kaynaklanan kişisel hataların ortadan kaldırılması planlanmıştır. Çalışma için tasarlanan devre ilk olarak board üzerine Şekil 7'deki gibi kurulmuştur. Devrenin kusursuz çalışmasının ardından baskı devreleri hazırlanmıştır (Altun, 2006).



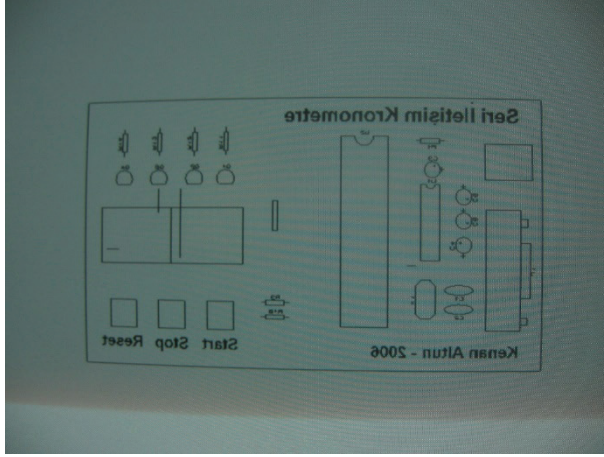
Şekil 7. Devrenin Alt PCB'si.

Şekil.8 ile açık devresi çalışan tasarımın PCB şemasının alt görünümü verilmektedir.



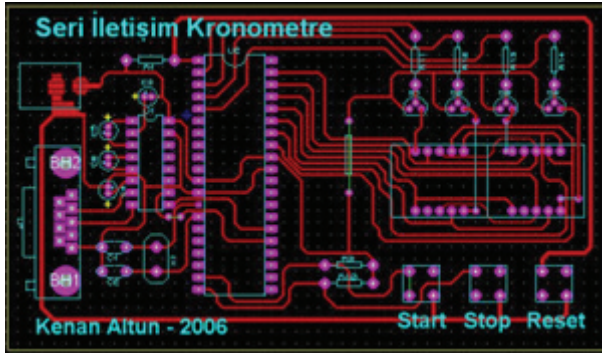
Şekil 8. Devrenin Alt PCB'si.

Şekil.9 ile açık devresi çalışan tasarımın PCB şemasının malzeme dizilişine ait üst görünüm verilmektedir.



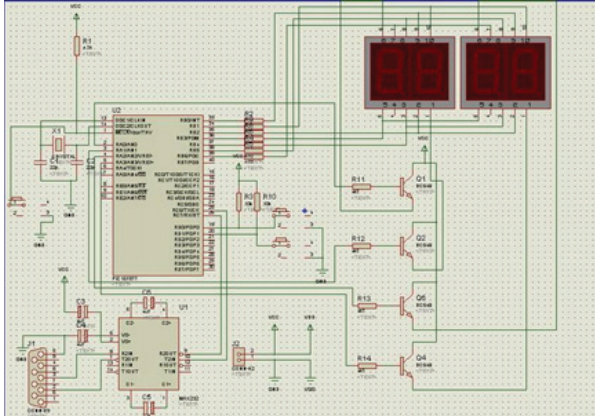
Şekil 9. Devrenin Üst PCB'si.

Şekil.10'da ise Proteus programının baskı devre alt simülasyon programı olan ARES çok katlı görüntüsü verilmektedir.



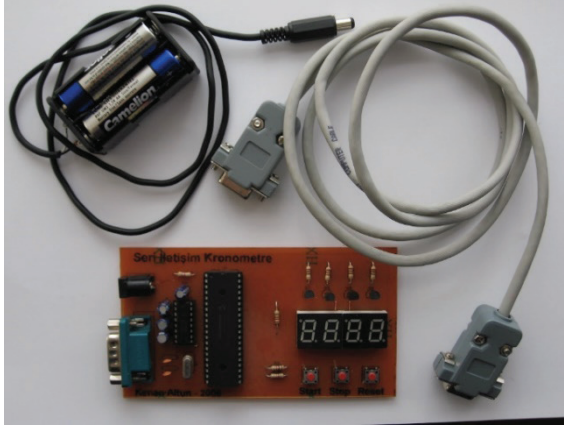
Şekil 10. Devrenin Ares Görüntüsü.

Şekil.10 incelendiğinde baskı devre iki kat planlanmıştır. İlk katı bakır yollarla sağlanmaktadır. İkinci katı ise köprülerle devre elamanlarının olduğu üst PCB kısmında bağlantısı sağlanmıştır. Ayrıca kart ve buton isimlendirmeleri de bu PCB'de verilmektedir.



Şekil 11. Devrenin İsis Görüntüsü.

Açık devre şeması ve baskı devre şeması verilen devrenin simülasyonunun yapıldığı ISI programına ait görsel ise Şekil.11'de verilmektedir.



Şekil 12. Devrenin Genel Görünümü – 1.

Şekil.12'de devrenin son haline ait bir görüntü verilmektedir. Bu görüntüde güç bağlantısının yanında seri port bağlantı kablosu da gösterilmektedir.

154654684 - Not Defteri				
Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım
23.08.2022	19:30:23	0880	475,2	

Şekil 13. Veri tabanı bilgisi.

Tasarımı, devresi ve programlaması yapılan çalışmada süre ölçümü sonrasında veri tabanında hesaplanan puanın veri tabanındaki kayıt metni ise Şekil.13 ile verilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada PIC16F877 mikrodnetleyicisi programlanarak tasarlanan elektronik zamanlama devresi ile alınan veriler gerçek zamanda LCD displaylere aktararak zaman olarak gözlemlenmiştir. Eş zamanlı olarak aynı veriler seri port protokolü ile ve VB’de oluşturulan arayüz yolu ile bilgisayarda gözlemlenmiştir. Ayrıca VB’de kullanılan hesaplama yolu ile elde edilen ham veriler işlenerek veri tabanı oluşturulmuştur. Sonuç olarak elektronik devre tarafından alınan verilerin elle bilgisayara girilmesi sonucunda oluşacak kişisel hatalar, elektronik devreyle bilgisayarın haberleşmesi sonucunda ortadan kaldırılmıştır.

KAYNAKLAR

- Altun, K., 2006. PIC mikrodnetleyicilerin bilgisayar arayüzü ile kontrolü ve veri tabanı uygulaması. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ceruzzi, P. E. (2021). Satellite Navigation and the Military-Civilian Dilemma: The Geopolitics of GPS and Its Rivals. In *Militarizing Outer Space* (pp. 343-367). Palgrave Macmillan, London.
- Cesario, W., Baghdadi, A., Gauthier, L., Lyonnard, D., Nicolescu, G., Paviot, Y., ... & Diaz-Nava, M. (2002, June). Component-based design approach for multicore SoCs. In *Proceedings of the 39th annual Design Automation Conference* (pp. 789-794).
- Ghosh, M., Ghosh, S., Saha, P., & Panda, G. (2016, January). Design and Implementation of PIC16F877A Microcontroller Based Data Acquisition System with Visual Basic Based GUI. In *2016 7th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS)* (pp. 419-423). IEEE.
- Hall, Douglas V. 1986, *The Microprocessor and Interfacing*. New York: McGraw-Hill.
- Hwang, Kai, and Faye A. Briggs. 1984. *Computer Architecture and Parallel Processing*. New York: McGraw-Hill.
- Jerraya, A., & Wolf, W. (2004). *Multiprocessor systems-on-chips*. Elsevier.
- Kawahara, Y., Ryu, N., & Asami, T. (2009). Monitoring daily energy expenditure using a 3-axis accelerometer with a low-power microprocessor. *International Journal on Human-Computer Interaction*, 1(5), 145-154.
- Milla, K., & Kish, S. (2006). A low-cost microprocessor and infrared sensor system for automating water infiltration measurements. *Computers and electronics in agriculture*, 53(2), 122-129.
- Mutlu, K., Sürmeli. "Mikrodnetleyiciler ile Seri İletişim" İstanbul: Kodlab yayınları 2015.
- Riedl, J. L. (1976, November). CCD Sensor Array and Microprocessor Application to Military Missile Tracking. In *Modern Utilization of Infrared Technology II* (Vol. 95, pp. 148-154). SPIE.
- Wolf, M. (2012). *Computers as components: principles of embedded computing system design*. Elsevier.
- Yoo, S., Nicolescu, G., Lyonnard, D., Baghdadi, A., & Jerraya, A. A. (2001, April). A generic wrapper architecture for multi-processor SoC cosimulation and design. In *Proceedings of the ninth international symposium on Hardware/software codesign* (pp. 195-200).



BÖLÜM 11

TÜRKİYE’DEKİ JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARI: JEOTERMAL ENERJİNİN OLUŞUMU, DAĞILIMI, POTANSİYELİ VE KULLANIM SAHASI ÜZERİNE GENEL BİR DEĞERLENDİRME

Gürol YILDIRIM¹

¹ Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı,

Giresun, Türkiye. E-mail: gurol.yildirim@giresun.edu.tr

Bu bölüm, yazarın yüksek lisans tez danışmanlığını yürüttüğü derlemelerden üretilmiştir.

ORCID Number: 0000-0003-1899-5379

GİRİŞ

Nüfusun hızla artması ve gelişen sanayileşmeyle birlikte enerjiye olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Günümüzde enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlardan ve nükleer enerjiden karşılanmaktadır. Petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların yanmaları sonucu ortaya çıkan karbondioksit (CO₂), ormanların da azalmasıyla atmosferde diğer gazlarla birlikte oranı artmakta ve güneş ışınlarını engelleyerek sera etkisine sebep olmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların sonsuz olmadığı ve çokta uzak olmayan bir zaman diliminde de tükeneceği bilinmektedir. Bu nedenle gerek iklim değişikliği, küresel ısınma ve benzeri sebeplerle, gerekse de tükenmeyen enerji kaynağına olan ihtiyaçtan dolayı, tüm dünya ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Güneş, rüzgâr, su, biokütle ve jeotermal enerjiden oluşan yenilenebilir enerjileri, kendi kendilerini yenileyebilen kaynaklar olarak adlandırmak mümkündür.

Türkiye, endüstri devrimi sonrasında birçok alanda gelişim göstermiştir. Jeotermal kaynaklarda bu gelişimlere paralel olarak gelişim göstermiştir. Maden Tetkik Arama (MTA) jeotermal kaynak arama faaliyetlerini 1962 yılında günümüze kadar getirmiştir. 2005 yılından sonra Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının öncülüğünde, MTA tarafından var olan kaynakların gelişimi ve yeni kaynak sahalarının aranması seferberliği sebebiyle, 2009 sonu itibarı ile 71.750 m sondajlı arama sonlandırılarak, 1040 MWt ısı enerjisi ilave edilmiş, ülkemiz görünür ısı kapasitesi %38 artırılmış, 173 adet olan keşfedilmiş jeotermal saha sayısı da sondajlı aramalarla 190 sahaya çıkarılmıştır (MTA, 2012). Günümüze kadar yapılan araştırmalar, ülkemizde 280 alanda jeotermal faaliyetlerin olduğunu göstermektedir. Bunların arasında geliştirilmiş 25 civarı jeotermal alan hala doğrudan amaçlı olarak ya da elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. 1970'li yıllardan sonra ülkemizde dâhil olmak üzere dünyada meydana gelen enerji ihtiyacı tüm ülkeleri, enerji ihtiyacını temin etmek için yeni arayışlar ve anlayışlar içerisine girmiştir. Konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenme aşamasına gelmesi çevre kirliliği, iklim değişikliği ve küresel ısınmanın da hissedilir seviyeye gelmiş olması, tüm ülkeleri yeni enerji kaynakları arayışlarına itmiştir. Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke yeni ve sürdürülebilir enerji kaynakları konusunda önemli mesafeler kat etmişlerdir. Ülkemizin jeotermal enerji bakımında zengin ülkeler arasında yer almaktadır. 1962'den, günümüze MTA tarafından sürdürülen kapsamlı, sistemli ve programlı araştırmalar, sıcak su kaynaklarının envanter çalışmaları ile başlamıştır. İlerleyen yıllarda uygun sahalarda incelenen ayrıntılı etütlerle sıcaklığı 35° C üzerinde 170 adet jeotermal alanın varlığı ortaya konmuştur (Koçak, 2007).

Türkiye'de jeotermal kaynaklar, yeni tektonik hatlar ve volkanik kuşaklar sonrasında oluşan yaklaşık 650 kadar sıcak ve mineralli su kaynağı

ve kaynak sahaları bulunmaktadır. Aynı zamanda bu genç tektonik olaylar grabenlerin oluşumuna sebep neden olmuştur. Jeotermal enerji potansiyelinin önemli bir kısmını genç tektonik hareketlerin faaliyete geçirdiği volkanizmanın yaygın olduğu Ege Bölgesinde bulunmaktadır. Türkiye, jeotermal enerji için birer potansiyel oluşturan dünyadaki genç tektonik hatlar ve volkanizma kuşaklarından Alp-Himalaya kuşağına dâhildir. Türkiye'nin neotektonik yerleri incelendiğinde, bunlardan en çok bilineni hiç kuşkusuz, yerbilimleri ve jeotermal enerji ile ilgili sayısız araştırmaların yapıldığı Batı Anadolu grabenlerinin olduğu bölgedir. Bu bölgede 15-20 milyon yıldan beri süren Ege'nin neotektonik evrimi içerisinde, tansiyon kuvvetlerinin etkisiyle Doğu - Batı yönlü grabenler ve ikincil normal faylar oluşmuş, bunun sonucunda da Kuzey - Güney yönünde en az % 30 yatay uzama göstermiştir (Şengör, 1978. Aktaran: Canik ve diğ., 2000). İnsanoğlu var olduğu günden beri enerjiye ihtiyaç duymuştur. İlk başlarda ısınma amaçlı kullanılan enerji, 1840 sanayi devriminden sonra sanayide yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanılmıştır. Sanayinin ihtiyaç duyduğu enerjide fosil yakıtlardan karşılanmıştır. 1974 yılındaki petrol krizinden sonra ülkeler enerjinin önemini anlamışlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamışlardır. Fosil yakıtların 50-200 yıl içerisinde tükenerek olması da bu yönelişte etken olmuştur.

Ayrıca fosil yakıtlarının havaya saldığı gazların atmosferde sera etkisi yaratarak iklim değişikliklerine sebep olmaya başladığı Birleşmiş Milletlerin iklim değişikliğine yönelik 9 Mayıs 1992 tarihindeki İklim Değişikliğine Yönelik Çerçeve Sözleşmesi ile tescillenmiştir. Sera etkisi yaratan gazları azaltmak için Kyoto protokolü Japonya'nın Kyoto kentinde 11.12.1997'de düzenlenen bir zirvede oluşturulmuştur. Protokol ancak 2005 yılı Şubat ayında 55 ülkenin onay vermesi ile yürürlüğe girebilmiştir. Protokolü Türkiye 06.02.2009'da imzalamıştır. Bu anlaşma gereği sera gazı etkisi yaratan fosil yakıtlardan mümkün olduğunca vazgeçilerek, çevreye zararı olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye başlamışlardır.

ÇALIŞMANIN HEDEFİ VE KAPSAM

Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji; suyun sıcaklığına paralel olarak elektrik üretimi, ısıtma, sağlık turizmi, soğutma sanayisinde proses enerjisi, kimyasal madde eldesi ve ilgili yerlerde yalnız başına ya da entegre olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz bu bağlamda jeotermal zenginlik bakımından dünyada 7. ülke konumundadır. Bu çalışma ve aşağıda birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmaların amacı; jeotermal enerji hususuna dikkat çekmek ve Kozaklı jeotermal potansiyelinin genel, teorik ve kavramsal açıdan değerlendirmektir.

Yüksek sıcaklıktaki çok sayıda sıcak su kaynağının yer alması 1960'lı yıllardan beri dikkatleri Kozaklı yöresi üzerine çekmiştir. Bu çerçevede

MTA Genel Müdürlüğü tarafından da jeotermal potansiyelin ortaya konulmasına ve jeotermal akışkandan yararlanılmasına yönelik olarak araştırmalar yapılmış ve sondaj kuyuları açılmıştır. İlk çalışmalar, Lebrüchner (1953) tarafından yapılan 1/100.000 ölçekli jeolojik harita alımı ile başlamıştır. Serruya (1963), Kozaklı Hamamorta alanında 1/ 25.000 ölçekli jeoloji haritası alımı çalışmalarını gerçekleştirerek, jeolojik istif, yapısal çizgiler üzerinde ayrıntılı olarak durmuştur. Bu kapsamda, 50'den fazla çıkış yerinde gözlediği sıcak su kaynaklarının sıcaklık ve debi ölçümleri ile bunların hidrojeokimyasal analizlerini de yaparak 90°C sıcaklıklı akışkanın 3.000 m derinliklerden yüzeylendiğini savunmuştur.

Tezcan (1963) tarafından Kozaklı strüktürü ile ilgili gravite, rezistivite ve jeotermal gradyan etütlerine ilişkin olarak; gradyan profilleri, strüktür kesitleri, gradyan haritası ve temperatür profilleri, manyetik düşey bileşen haritası, Gravite Bouguer ve ikinci türev haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, sıcak akışkan içeren ana rezervuar kayanın Kozaklı İlçe Merkezi'nin altına isabet eden strüktür üzerinde ve ortalama 500 m derinlikte olabileceği görüşüne yer verilmiştir. Niehoff (1965) yaptığı çalışma ile Kozaklı ve çevresinde 1/ 5.000 ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası alımlarının yanı sıra 1/1.000 ölçekli traverten teşekkülleri haritasını da hazırlamıştır. Yöre ile ilgili olarak jeolojik istifi belirlemiş, genç yapısal özellikler ve rezervuar kaya hakkında görüşler ortaya koyarak, potansiyel belirleme kapsamında ortalama 120 m derinlikli 12 adet sondaj kuyusu önermiştir.

Şamilgil (1965), daha önceki çalışmaların ışığında, ayrıntılı bir jeoloji etüdü gerçekleştirmiştir. Alanın ayrıntılı jeolojik istifinin, yapısal özelliklerinin, havza paleo-coğrafyasının yer aldığı araştırmada; 3.000 m derinliğinde bir araştırma sondajı yapılması durumunda büyük bir olasılıkla buhar elde edilebileceği görüşüne yer verilmiştir. Özbek (1975) Kozaklı yöresinin jeolojik istifi, yapısal özellikleri ve hidrojeolojik nitelikleri hakkında görüşler ortaya koymuş, sahanın koruma alanları haritasını çizmiş ve koruma kurallarına ilişkin önerilerde bulunmuştur. Ayrıca yazar, 1.000 m'den daha derine sondaj kuyusu açılması halinde buhar bulma olanağının olabileceğini savunmuş ve 2.970 m derinlikli jeotermal enerji araştırma sondajı önermiştir.

Hamut ve diğerleri (1992) tarafından Sosyal Sigortalar Kurumu'na ait tesislere sıcak su sağlamak amacıyla 153 m derinlikli SSK-1 sıcak su sondaj kuyusu açıldığı ve kuyudan 93 °C sıcaklıklı ve 95 lt/sn debili akışkan üretimi sağlandığı belirtilmiştir. Erişen ve diğerleri (1993), Orta Anadolu'nun en sıcak noktası olan Kozaklı Jeotermal Alanı'nın kent ve sera ısıtmacılığı ile endüstriyel kullanım açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca yazarlar, sahada ana üretim zonunun 500-600 m derinliklerdeki Kırşehir Masifi'nin ikincil permeabiliteli zonları (kristalize kireçtaşı, mermer, kuvarsit vb.) olabileceğini, beklenen rezervuar sıcaklığının

ise $120 \pm 10^\circ\text{C}$ dolayında bulunabileceğini savunmuşlar, buna bağlı olarak derinlikleri 700 ± 100 m olacak üretim sondaj veya sondajlarına yönelik projelendirme çalışmalarının yapılmasını önermişlerdir.

Göçtü ve diğerleri (1995), jeofizik çalışmaların sonuçlarına dayanarak kaplıca çevresinde temel yükseliminin bulunduğunu, sahada magma sokulumunun göstergesi olabilecek herhangi bir manyetik anomaliye ise rastlanmadığını belirtmişlerdir. Yazarlar ayrıca, elde edilen yeraltı verileri doğrultusunda, olası kırık hatlarını da dikkate alarak belirledikleri lokasyonda 600 m derinlikli bir sondajın yapılmasını savunmuşlardır. Koçak (1997) doktora tezinde; Kozaklı Jeotermal Sistemi'nde sıcak akışkanın kimyasal karakteri, hidrojeokimyasal süreçler, rezervuar sıcaklığı, hidrotermal alterasyon, akışkan mineral dengesi ve ısı kaynağının derinliğine ilişkin araştırmalara yer vermiştir. Yazar, yöredeki rezervuar sıcaklığının 105°C - 125°C dolayında olabileceğini belirlemiş ve bu rezervuara ulaşmak için 1.400 m derinlikli sondaj kuyusu açılmasını önermiştir. Kara (1997) yaptığı çalışma ile, Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifi metamorfitlerini ve bunları uyumsuzlukla örten Alt Eosen-Kuvaterner yaşlı sedimanter ve volkanik birimleri haritalamış ve formasyon isimlendirmeleri yapmıştır. Özgür ve diğerleri (1997), Kozaklı Belediyesi adına kent ve sera ısıtmasına yönelik olarak sıcak su üretiminin sağlanması amacıyla açılan 205 m derinlikli K-1 sıcak su üretim sondaj kuyusundan 90°C sıcaklıklı ve 4-11 lt/sn debili sıcak akışkan üretiminin sağlandığı belirtilmiştir.

JEOTERMAL ENERJİNİN OLUŞUMU

Jeotermal enerji yer kürenin içinde magmaya yakın olan bölgelerdeki sıcak sulardan ve buharlardan elde edilen bir enerji türüdür. Jeotermal rezervler genel olarak sıcak su ve buharın yeryüzüne çıkmasına kaya bloğunun mani olduğu alanlarda ortaya çıkar. Bazı zamanlarda yukarıya doğru çıkan sıcak su, zaman içerisinde mineral çöktürleri bırakarak yeryüzüne doğru giden yolları tıkar. Bu şekilde rezerv hasıl olur. Jeotermal rezervlerin büyük çoğunluğu volkanik faaliyetlerin olduğu yerlerde yer alır. Yeraltındaki sıcak su rezervleriyle, nadir olarak rastlanan buhar rezervleri, ısılarını, direkt veya indirekt biçimde yerkürenin merkezindeki magmadan alırlar. Magma da ısını, yerkabuğundaki kayaların içindeki bulunan radyoaktif maddelerin bozulması sonucu sağlar. Dolayısıyla radyoaktif maddeler jeotermal rezervlerin temel ısı kaynaklarıdır.

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu'nun tanımına göre jeotermal kaynak, "Jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğundaki ısı'nın etkisiyle sıcaklığı devamlı olarak bölgesel atmosferik yıllık ortalama sıcaklığın üstünde olan, etrafındaki sulara oranla daha fazla miktarda erimiş madde ve gaz içeriği olan, doğal bir biçimde çıkan veya çıkarılan su, buhar ve gazlarla yer altına insan düzenlemeleri yardımıyla gönderilerek

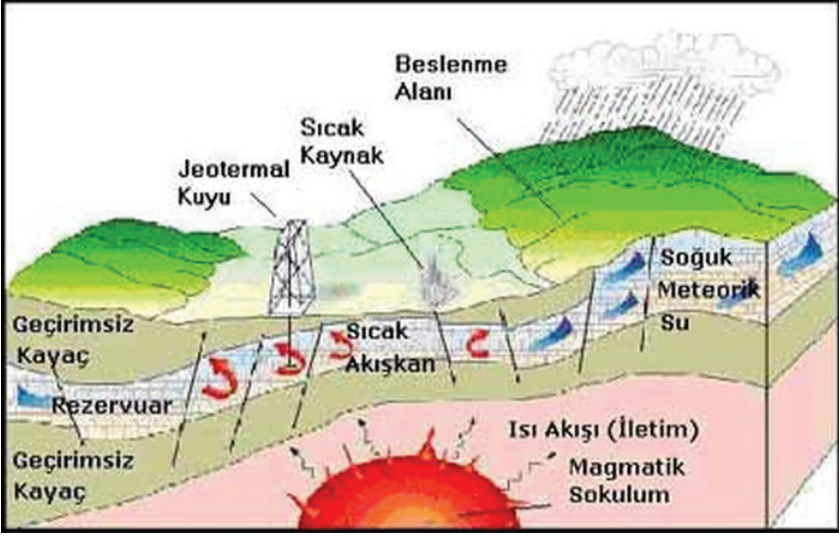
yer kabuğu veya kızgın kuru kayaların ısısıyla ısıtılarak su, buhar ve gazların temin edildiği yerleri ifade eder. Gene aynı kanunda işaret edildiği üzere; doğal mineralli su, yer kabuğunun bazı derinliklerinde, uygun jeolojik şartlarda doğal olarak meydana gelen bir ya da daha çok kaynaktan yeryüzüne doğal olarak çıkan ya da çıkartılan, mineral içeriği ve diğer bileşenleriyle tanımlanan; tedavi, şifa için kullanılan içmece suyu, şifalı su ve benzeri isimlerle anılan soğuk ve sıcak doğal suları ifade eder”.

(13.06.2007 tarih ve 26551 sayılı Resmi Gazete, Kanun No: 5686). Aynı zamanda Hidrotermal sistem olarak da tanınan bu sistemde, akışkan, kırıklar vasıtasıyla yer üstüne vararak termal kaynakları oluşturabileceği gibi sondajla da çıkartılabilir. Yer kabuğunun belirli bir derinliklerinde biriken ısının meydana getirdiği ve sıcaklıkları atmosferik ısının üstünde olan sıcak su, buhar ve gazlar olarak tanımlanmaktadır. Ülkemizdeki tüm kaynakların değerlendirilmesinin petrol eşdeğerinin 9 milyar dolar/yıl olduğu hesap edilmiştir. Yer altı sularının ısınmasıyla, elektrik ve barınacak yerlerin ısıtılması gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır (Aküst, 2007). Jeotermal enerjideki ısının kaynağı ile ilgili en fazla görüş birliğine varılan olasılığın, dünyanın derinliklerinde bulunan “magma” isimli erimiş kayac kütlelerinden geldiği yönündedir. Jeotermalin şematik gösterimi Şekil 1’de; yerkürenin sıcaklık dağılımı da Şekil 2’de gösterilmiştir.

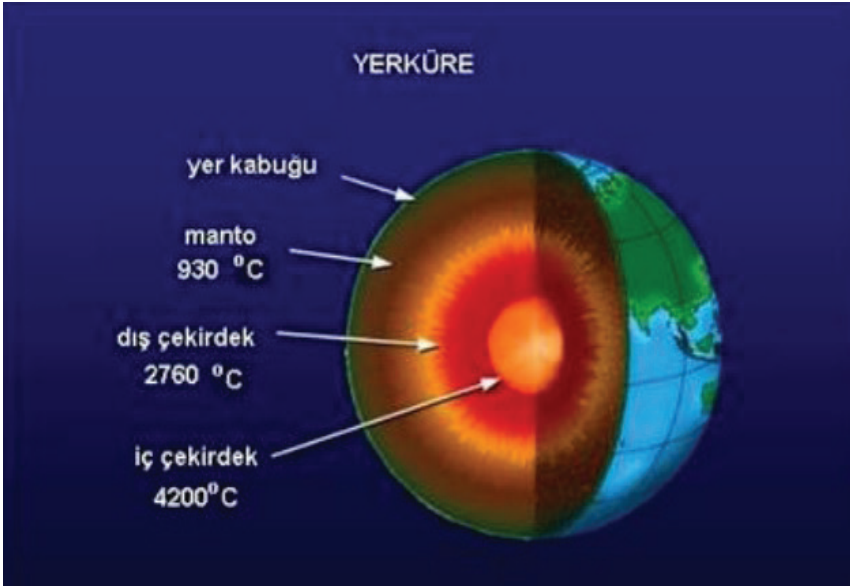
JEOTERMAL ENERJİNİN TARİHÇESİ

Jeotermal’in ilk adımı İtalya’da 1827 yılında, doğal sıcak su kaynağı borik asit eldesinde kullanılmıştır. 1904 yılında G. Conti İtalya’da Larderello’da doğal buhardan ilk elektrik üretimini gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda Larderello’da 1931 yılında ilk jeotermal enerji santrali kurulmuştur. Günümüzde Larderello’da 100’ün üzerinde yapılan sondajdan yılda yaklaşık olarak 26 milyon ton buhar elde edilip elektrik üretildiği tahmin edilmektedir. Daha sonra İzlanda’nın başkent Reykjavik’te 1930’da yılında kenti ısıtmak amacıyla doğal sıcak su kullanılmaya başlanmıştır. Genel olarak jeotermal enerjinin tarihçesine bakıldığında; 20. yüzyılın ortalarından sonra gittikçe yaygınlaştığı görülmektedir.

1949’da Yeni Zelanda’da Wairakei alanında, 1960 yılında Amerika’da, 1961 yılında Meksika’da, 1966 yılında Japonya’da ve 1975 yılında da İzlanda’da jeotermal enerji elektrik üretiminde kullanılmıştır (Canik ve diğ., 2000:3).



Şekil 1: Uygun jeotermal sistemin şematik gösterimi



Şekil 2: Yerküredeki sıcaklık dağılımı

Yıl ve yapılan yer olmak üzere jeotermal enerjinin tarihçesi kısa başlıklar halinde aşağıda gösterilmektedir:

- 1958: Flash metoduyla Yeni Zelanda'da jeotermal elektrik üretimine başlanmıştır.

➤ 1960: ABD'nin Kaliforniya eyaletinde, The Geysers jeotermal sahasında ticari elektrik üretilmesi amacıyla ilk kez kuru buhar kullanılmıştır.

➤ 1963: Ülkemizde ilk jeotermal sondaj kuyusu, İzmir'in Balçova ilçesinde kullanıma açılmıştır.

➤ 1966: Japonya'da ilk jeotermal elektrik santrali kurulmuştur.

➤ 1968: Denizli Kızıldere'de, jeotermal sahanın keşfedilmesiyle birlikte elektrik üretmek amacıyla ilk jeotermal kuyunun inşaatına başlanmıştır.

➤ 1969: İkincil çevrim jeotermal teknolojiler ABD'nin Kaliforniya eyaletinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

➤ 1969: Fransa'da büyük jeotermal ısıtma projeleri başlatılmıştır.

➤ 1970: Çin'de ilk defa elektrik üretimi amacıyla jeotermal akışkandan yararlanılmıştır.

➤ 1975: Kaliforniya'da The Geysers jeotermal alanındaki kaynaklardan 500 MWe'lık elektrik üretimi kapasitesine ulaşıldı.

➤ 1978: ABD'nin Nevada eyaletinde ilk jeotermal gıda kurutma tesisi kurulmuştur.

➤ 1978: ABD'nin New Mexico eyaletinde kızgın kuru kayada jeotermal rezervuar oluşturulup test edilmeye başlanmıştır.

➤ 1979: Endonezya ilk jeotermal elektrik üretimini gerçekleştirmiştir.

➤ 1980: ABD birçok batı eyaletinde yeni jeotermal elektrik santralleri kurulmuştur.

➤ 1981: ABD'nin Hawaii eyaletinin Puna bölgesinde yapılan jeotermal tesisler faaliyete geçmiştir.

➤ 1982: Türkiye'de Aydın'ın Germencik ilçesinde, jeotermal kaynak alanı bulunmuştur.

➤ 1983: Türkiye'de kuyu içi eşanjörlü ilk jeotermal ısıtma sistemi İzmir'in Balçova ilçesinde kurulmuştur.

➤ 1984: Türkiye'de ilk ve Avrupa'da da İtalya'dan sonra ikinci jeotermal enerji santrali (20.4 MW_e kapasiteli) Denizli Kızıldere'de hizmete açılmıştır.

➤ 1984: ABD'nin Oregon eyaletinde mantar yetiştiriciliği alanında jeotermal enerjiden yararlanılmıştır.

- 1985: Dünya genelinde jeotermal elektrik santralleri yaklaşık olarak 2.000 MW'lık elektrik üretim kapasitesine ulaşmıştır.
- 1987: ABD'nin Nevada eyaletinde jeotermal akışkan altın madenciliği alanında kullanılmıştır.
- 1987: Türkiye'nin ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi Balıkesir Gönen'de hizmete açılmıştır.
- 1990: ABD'de jeotermal elektrik üretimi kurulu kapasitesi 3.000 MW_e'e yükselmiştir.
- 1992: Dünya'da 21 ülkede jeotermal elektrik üretimi toplam olarak 6.000 MW_e'e ulaşmıştır.
- 1996: Türkiye'de 15.000 konut ana kapasiteli İzmir'in Balçova ilçesinde merkezi ısıtma sistemi devreye sokulmuştur.
- 2000: Dünya genelinde jeotermal enerjiden yaklaşık olarak 8000 MW_e jeotermal elektrik üretimi ve 17.000 MW_t dolaylarında jeotermal kaynakların doğrudan kullanımı gerçekleştirilmiştir.
- 2001: Türkiye'nin jeotermal kurulu ısıtma kuvveti 493 MW_t'e ulaşmıştır. Türkiye bu şekilde jeotermalin elektrik dışı faaliyetlerde dünyanın en büyük 5. ülkesi konumuna gelmiştir.
- 2009: Türkiye'nin en büyük jeotermal santrali olan (47,4 MW_e) Aydın-Germencik Jeotermal Enerji Santrali'nin devreye alımı gerçekleştirilmiştir.

JEOTERMAL AKIŞKANIN SICAKLIK DERECESESİNE GÖRE KULLANIMI

“Yüksek sıcaklıklı” jeotermal kaynakların (>150 °C) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Düşük sıcaklıklı ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (<150 °C) çok farklı kullanım sahalarına sahiptir. Klasik Lindal diyagramı farklı sıcaklıklara bağlı olarak jeotermal kaynağın kullanılabilir alanlarını göstermektedir.

Bu diyagrama son zamanlarda 85°C'nin üzerindeki jeotermal kaynakların binary cycle santrallerinde elektrik üretiminde kullanılması da eklenebilir. 20°C'nin altındaki jeotermal kaynaklardan ise ısı pompaları ile ısıtma ve soğutmada faydalanılmaktadır”. Yeryüzüne çıkan jeotermal akışkandan İtalya, Amerika, Japonya, Filipinler ve Meksika borikası, amonyum bikarbonat, ağır su (döteryum oksit), amonyum sülfat, potasyum klorür gibi kimyasal maddeler elde etmektedirler. Jeotermal akışkan sıcaklık dereceleri ve kullanım alanları aşağıda verilmektedir:

- 180°C Yüksek Konsantrasyonlu solüsyonun buharlaşması, Amonyum absorpsiyonu ile soğutma,

- 170°C Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması,
- 160°C Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması,
- 150°C Bayer's yolu ile alüminyum eldesi,
- 140°C Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (Konservacilikte),
- 130°C Şeker endüstrisi, tuz eldesi,
- 120°C Temiz su eldesi, tuzluluk oranının arttırılması,
- 110°C Çimento kurutulması,
- 100°C Organik madde kurutma (Yosun, et, sebze vb.), yün yıkama,
- 90°C Balık kurutma,
- 80°C Ev ve sera ısıtma,
- 70°C Soğutma,
- 60°C Kümes ve ahır ısıtma,
- 50°C Mantar yetiştirme, Balneolojik banyolar (Kaplıca Tedavisi),
- 40°C Toprak ısıtma, kent ısıtması (Alt sınır) sağlık tesisleri,
- 30°C Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri,
- 20°C Balıkçiftlikleri.

JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARI

Genelde tektonik levha sınırları olarak tanınan, depremlerin sıklığı ve şiddetli olması ya da volkanik faaliyetler olan bölgelerde, yer kabuğunun bu bölgelerinde oluşan genellikle jeotermal enerji bakımından zengin olan bölgelerdir. Jeotermal enerji kaynaklarını aşağıdaki gibi sınıflandırılması mümkündür. (Türker ve Yıldız, 2008: 104).

a) Normal ısı gradyanlı alanlar: Jeotermal bakımdan yüksek ısı akısı gösteren sahaların dışında kalan yerlerdir. Bu yerlerde ortalama olarak her 100 metrelik mesafelerde sıcaklık 2.5 °C artmaktadır. 150 °C'lik bir sıcaklık elde edilmek isteniyorsa, ortalama olarak 5000 metre derinliğinde bir kuyunun kazılması gerekmektedir. Yapılacak bu uygulamanın maliyetinin yüksek olmasından dolayı bu alanlar günümüzde tercih edilmemektedir.

b) Radyojenik alanlar: Bu tür alanlar, kayaların içinde bulunan radyoaktif elementlerin bozulmasından sonra meydana gelen ısıdır, sıcaklıkları normal ısı gradyanının üzerinde olan alanlardır. Genel olarak granit türü kaya katmanlarında toplanan bu enerji, granit katmanlarının su geçirgenliğinin az olmasından dolayı doğal olarak suya aktarılma ihtimali çok düşüktür.

c) Yüksek ısı akışlı bölgeler: Yeryüzüne yer altından gelen ısı transferi, iletim mekanizmasıyla olmaktadır. Dünyanın bazı yerlerinde yerkabuğunun ısı geçirgenlik katsayısı düşük seviyede olabilmektedir. Bu yüksek ısı akışı ile bir arada bulunuyorsa sıcaklıklar normal gradyanın üzerindedir. Örnek olarak Macaristan'da ısı değişimi 40-75 °C/km civarlarındadır. Normal gradyanın yaklaşık olarak üç misli civarında olan bu değer, bu tip yüksek ısı akışlarının oluşmasının nedeni bu bölgelerde yer kabuğunun göreceli olarak ince olması ya da kabuğun içine sıkışmış yüzeye yakın bir magma katmanının olmasından kaynaklanmaktadır.

d) Basınç altındaki jeotermal alanlar: Bazı sedimenter kaya oluşumlarının arasında sıkışmış fosil su kaynakları bulunabilir. Eğer basınç gradyanı metre başına 10.5 kPa değerinin üzerindeyse bu tür alanlara basınç altında jeotermal alanlar adı verilir. Bu tür alanların çekici tarafı genelde basınç, sıcaklık ve metan kaynakları olarak üç enerji kaynağının kullanılmasını sağlayacak bir ortam oluşturmalarıdır.

e) Nokta ısı kaynakları: Bu tip ısı kaynakları en basit şekilde kullanılabilen jeotermal enerji kaynakları olmaktadır. Termal kaynak, yerin içinde oldukça yüksekte olan bir magma bölgesi veya çatlaklar boyunca yükselmiş bir magma (ergimiş bazalt) tabakasıdır. Genel olarak yerin 7-15 km altında bulunmaktadır. Bu magmadan direk olarak enerji temini için çalışmalar varsa da eğer çatlaklardan sızan su sızıntıları magmaya yakın bir bölgede gözenekli kayalar içerisinde bir su rezervuarı oluşturabiliyorsa, su buharı enerji elde edilebilmesi için daha elverişli bir kaynak oluşturur.

JEOTERMAL ENERJİNİN ALTERNATİF ENERJİ YELPAZESİ İÇERİSİNDEKİ POTANSİYELİ

Ülkemizde jeotermal elektrik santralleri kurulmasına elverişli yüksek entalpili alanlar çok fazla sayıda değildir. Ülkemizde toplam olarak çalışan 15 tane jeotermal enerji santrali bulunmaktadır. Santrallerin kurulu olduğu iller ve santral sayıları şöyledir: Aydın (10), Denizli(3), Manisa(1), Çanakkale (1). Ayrıca; Aydın'da 4, Manisa'da 2, Denizli'de 1 adet jeotermal santral kurma çalışmaları devam etmektedir. 450 MW Kurulu gücündeki santraller Türkiye toplam kurulu gücünün %0,59'unu oluşturmaktadır.

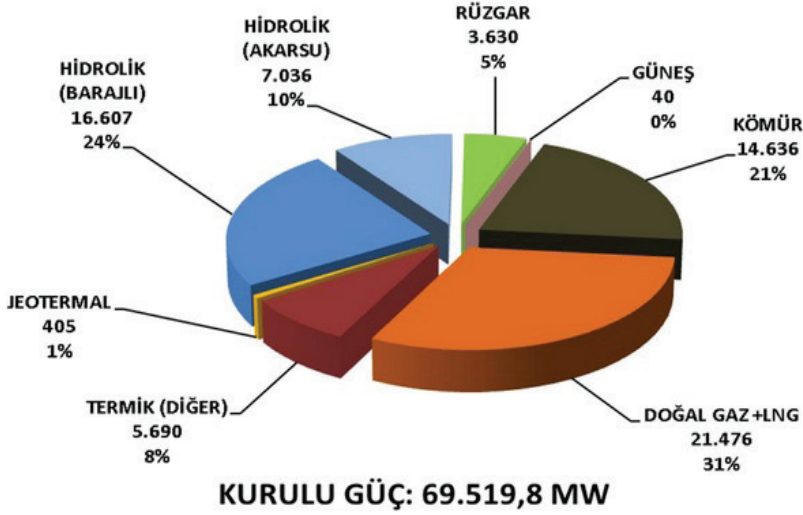
Çalışmanın bu kısmında kaynaklara göre, Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü (Şekil.3) ve Türkiye'de Şubat 2015 tarihi itibarıyla kaynaklara göre elektrik üretimi Şekil.4'te yer almaktadır.

JEOTERMAL ENERJİNİN ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARINA

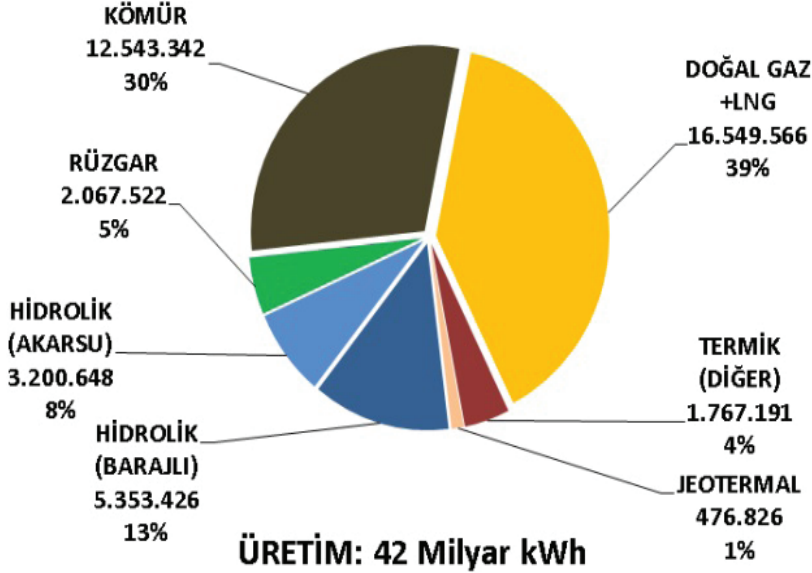
GÖRE AVANTAJLARI

Yerli enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerjinin, ülkemizin

artan nüfusu ve içinde bulunduğu enerji gereksinimi göz önüne alındığında, enerji gereksiniminin karşılanması, petrole olan bağımlılığın azaltılmasıyla birlikte ülkedeki dövizin dışarı gitmemesi jeotermal enerjinin diğer fosil enerji kaynaklarına göre en büyük avantajlarında birisidir. Jeotermal enerjinin diğer kaynaklara göre üstün yanlarını aşağıdaki gibi kısa başlıklar halinde gösterilmektedir (MTA, 2012):



Şekil 3.3: Türkiye'nin elektrik enerjisi kurulu gücü)



Şekil 4: Türkiye'de kaynaklara göre elektrik üretimi

➤ Jeotermal enerji güneş, hidrolik, rüzgâr ve biyokütle gibi enerji kaynakları tükenmez enerji kaynaklarıdır. Bu bakımdan tükenbilir kay-

naklar olan petrol, kömür, doğalgaz, nükleer enerji kaynaklarına kıyasla uzun ömürlü ve yenilenebilen bir kaynaktır.

➤ Fosil ya da nükleer kaynaklı enerji üretimlerine oranla, çok daha az ve genellikle kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalan bir çevre sorunlarına neden olabilir.

➤ Arama sondajları aynı zamanda üretim sondajlı olabildiğinden uygulamaya geçiş süreci kısadır.

➤ Jeotermal santrallerin yapımı, diğer santrallerin yapım süresine kıyasla daha kısa sürede yapılmaktadır. Bu süre ortalama olarak üç yıl civarındadır.

➤ Jeotermal enerjide özellikle elektrik dışı uygulamalarda yerli teknolojiyi kolaylıkla geliştirilebilir ve geliştirilmektedir.

Yukarıdakilere ek olarak; ucuz, ekonomik ve temiz enerji temin eden jeotermal kaynakların, özellikle devreye alınması bu yörelere ve ülkemize büyük bir ekonomik ve sosyal katkı sağlayacaktır (MTA, 2012).

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİ

Ülkemizde elektrik üreten jeotermal enerji santralleri; santral adı, santralin bulunduğu il, firma ve kurulu güç olarak (Tablo 1)'de gösterilmektedir (MTA 2012).

Tablo 1: Türkiye'de elektrik üreten jeotermal enerji santralleri

	Santral adı	İl	Firma	Kurulu güç
1	Kızıldere 2 JES	Denizli	Zorlu enerji	80 MW
2	Germencik JES	Aydın	Güriş Holding	47 MW
3	Pamukören JES	Aydın	Çelikler Enerji	45 MW (61.72 MW)
4	İrem ve Sinem JES	Aydın	Kipaş Hol. En. Grubu	44 MW
5	Dora 3 JES	Aydın	MB Holding	34 MW
6	Türkerler Alaşehir JES	Manisa	Türkerler Holding	24 MW
7	Deniz JES	Aydın	Kipaş Hol. En. Grubu	24 MW
8	Kerem JES	Aydın	Kipaş Hol. En. Grubu	24 MW
9	Efe JES	Aydın	Güriş Holding	23 MW (162.3 MW)
10	Kızıldere (Zorlu) JES	Denizli	Zorlu Enerji	15 MW
11	Gümüşköy JES	Aydın	BM Hol. En. Grubu	13 MW

12	Dora 2 JES	Aydın	MB Holding	9,50 MW
13	Dora 1 JES	Aydın	MB Holding	7,95 MW
14	Tuzla JES	Çanakkale	Enda Enerji	7,50 MW
15	Kızıldere JES	Denizli	Bereket Enerji	6,85 MW

Ülkemizde bulunan 15 adet Jeotermal Enerji Santrallerinin toplam kurulu gücü 404,92 MW'dır. 2014 yılında Jeotermal Enerji Santralleri sayesinde 2.251.794 kilovat saat elektrik elde edilmiştir. Ülkemizdeki jeotermal enerji santralleri profili çizelge 3.2'de gösterilmektedir (MTA ,2012).

Tablo 2: Türkiye jeotermal enerji santralleri profili

Aktif santral sayısı	15
Kurulu güç	405 MW
Kurulu güce oranı	%0.59
Yıllık elektrik üretimi	~ 1.518,6 GW
Üretimin tüketime oranı	%0.596
Şebeke bağlantısı	15 var, 0 yok

Yapım aşamasında olan jeotermal enerji santralleri; santral adı, santralin bulunduğu il, firma ve kurulu güç olarak Tablo 3'te gösterilmektedir (MTA,2012)

Tablo 3: Yapım aşamasındaki jeotermal enerji santralleri

	Santral adı	İl	Firma	Kurulu güç
1	Alaşehir Jeotermal Enerji Santrali	Manisa	Zorlu enerji	45 MW
2	Ken Kipaş Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Kipaş Holding Enerji Grubu	24 MW
3	Dora 4 Jeotermal Santrali	Aydın	MB Holding	17 MW
4	Sanko Jeotermal Enerji Santrali-JES	Manisa	Sanko Enerji	15 MW
5	Karkey Umurlu Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Karadeniz Enerji	12 MW
6	Sultanhisar Jeotermal Elektrik Üretim Tesisi	Aydın	Çelikler Enerji	9,9 MW
7	Tosunlar Jeotermal Enerji Santrali	Denizli	Akça Enerji	4 MW

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu'nun tanımına göre jeotermal kaynak, "Jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğundaki ısı'nın etkisiyle sıcaklığı devamlı olarak bölgesel atmosferik yıllık ortalama sıcaklığın üstünde olan, etrafındaki sulara oranla daha fazla miktarda erimiş madde ve gaz içeriği olan, doğal bir biçimde çıkan veya çıkarılan su, buhar ve gazlarla yer altına insan düzenlemeleri yardımıyla gönderilerek yer kabuğu veya kızgın kuru kayaların ısısıyla ısıtılarak su, buhar ve gazların temin edildiği yerleri ifade eder.

Aynı kanunda işaret edildiği üzere; doğal mineralli su, yer kabuğunun bazı derinliklerinde, uygun jeolojik şartlarda doğal olarak meydana gelen bir ya da daha çok kaynaktan yeryüzüne doğal olarak çıkan ya da çıkarılan, mineral içeriği ve diğer bileşenleriyle tanımlanan; tedavi, şifa için kullanılan içmece suyu, şifalı su ve benzeri isimlerle anılan soğuk ve sıcak doğal suları ifade eder" (13.06.2007 tarih ve 26551 sayılı Resmi Gazete, Kanun No: 5686). Aynı zamanda Hidrotermal sistem olarak da tanınan bu sistemde, akışkan, kırıklar vasıtasıyla yer üstüne vararak termal kaynakları oluşturabileceği gibi sondajla da çıkartılabilir.

Ayrıca fosil yakıtlarının havaya saldığı gazların atmosferde sera etkisi yaratarak iklim değişikliğine sebep olmaya başladığı Birleşmiş Milletlerin iklim değişikliğine yönelik 9 Mayıs 1992 tarihindeki İklim Değişikliğine Yönelik Çerçeve Sözleşmesi ile tescillenmiştir. Sera etkisi yaratan gazları azaltmak için Kyoto protokolü Japonya'nın Kyoto kentinde 11.12.1997'de düzenlenen bir zirvede oluşturulmuştur. Protokol ancak 2005 yılı Şubat ayında 55 ülkenin onay vermesi ile yürürlüğe girebilmiştir. Protokolü Türkiye 06.02.2009'da imzalamıştır. Bu anlaşma gereği sera gazı etkisi yaratan fosil yakıtlardan mümkün olduğunca vazgeçilerek, çevreye zararı olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına ülkeler yönelmeye başlamışlardır. Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji; suyun sıcaklığına paralel olarak elektrik üretimi, ısıtma, sağlık turizmi, soğutma sanayisinde proses enerjisi, kimyasal madde eldesi ve ilgili yerlerde yalnız başına ya da entegre olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz bu bağlamda jeotermal zenginlik bakımından dünyada 7. ülke konumundadır. Bu çalışmanın hedefi jeotermal enerji kaynaklarına dikkat çekmek ve Kozaklı jeotermal potansiyelinin genel, teorik ve kavramsal açıdan değerlendirmektir.

KAYNAKLAR

- AKÜST, M. 2007. Sınırsız Enerjinin Sırrı. Alındığı tarih: 09.12.2012, Adres: <http://www.alternaturk.org/haber11.php>
- CANİK, B., ÇELİK, M. ve ARIGÜN, Z. 2000. Jeotermal Enerji. Ankara Üniversitesi Fen Bölümleri Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, No: 59, Ankara.
- CANİK, B. ve ÇÖREKÇİOĞLU, I. 1985. The formation of sinkholes (Obruk) between Karapınar and Kızören-Konya. Karst Water Resour IAHS Publication. 161:193-205.
- ÇELİK, M. ve AFŞİN, M. 1998. The role of hydrogeology in solution-subsidence development and its environmental impacts; a case-study for Sazlıca (Niğde, Turkey), Environmental Geology.
- DAĞISTAN, H. 2011. Türkiye Jeotermal Kaynak Aramaları, Kullanımı ve Sürdürülebilirliğinin Sağlanması. Alındığı tarih: 20.03.2015, Adresi: http://www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi-bultenleri/2012_15/1.pdf
- DERELİ S. 2001. Rüzgâr Enerjisi, Tübitak Yayınları, Ankara, 2001.
- ERİŞEN, B. ve ÖZGÜR, R. 1999. Kozaklı (Nevşehir) Alanının Jeotermal Enerji Olanaklarına İlişkin Değerlendirme Raporu, MTA Derleme Rapor No:10376.
- KARA, İ. 2009. Nevşehir-Kozaklı MTA-K4 Jeotermal Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporu, MTA Yayınları, Ankara.
- KOÇAK, A. 2007. Türkiye’de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli. Alındığı tarih: 15.03.2015, Adresi: http://www.emo.org.tr/ekler/e7b33fdea3a-dc80_ek.pdf
- KIRBAŞ, İ., ÇİFTÇİ, B. ve İŞYARLAR, B. 2013. Burdur İli Güneşlenme Oranı ve Güneş Enerjisi Potansiyeli, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4 (2): 20-23, Burdur.
- MTA.1999. Kozaklı (Nevşehir) Alanı’nın Jeotermal Enerji Olanaklarına İlişkin Değerlendirme Raporu , MTA Yayınları, Ankara.
- MTA. 2012. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli. Alındığı tarih: 15.03.2015, Adresi:http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/enerji/index.php?i-d=jeotermal_potansiyel
- OZER, R. “Kozaklı (Nevşehir) Sahası Jeotermal Enerji Kapasitesinin Belirlenmesi” Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015 (Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gürol YILDIRIM)
- PEKKAN, E. 2004. Konya kapalı havzasında karstik çöküntü yapıları olan obrukların oluşumunu etkileyen hidrojeokimyasal süreçlerin incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- T.C. RESMÎ GAZETE, 5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu. (26551), 13.06.2007,1.
- TÜRKER, E.A. ve YILDIZ, A. 2008. Termal ve Maden Suları Konferansı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayın No: 68, Sözkese Matbaacılık, Ankara.
- TÜRKYILMAZ, O. 2014. Türkiye Enerji Görünümü ve Geleceği, Ege Sanayicileri ve İşadamları Derneği (ESİAD), Şubat 2014.



BÖLÜM 12

TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLARI: KOZAKLI (NEVŞEHİR) SAHASI JEOTERMAL ENERJİ KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Gürol YILDIRIM¹

¹ Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı,

Giresun, Türkiye. E-mail: gurol.yildirim@giresun.edu.tr

Bu bölüm, yazarın yüksek lisans tez danışmanlığını yürüttüğü derlemelerden üretilmiştir.

ORCID Number: 0000-0003-1899-5379

GİRİŞ

Nevşehir iline bağlı Kozaklı ilçesinin jeotermal alanı, Orta Anadolu'daki en sıcak jeotermal alan olma özelliğine sahiptir. Bu sıcak yerin, Nevşehir-Kayseri- Kırşehir-Yozgat dörtgeninin tam ortasında bulunması ve Doğu Anadolu Bölgesi ile bağlantısı bulunan Ankara-Sivas demiryolunun güneyinde yer almaktadır. Kozaklı ilçe merkezinde faaliyetini devam ettirmesi nedeniyle örtü altı tarım, sanayi ısıtmacılığı ve şehir ısıtmacılığı bakımından önem teşkil eden bir noktadadır. Söz konusu bu bölgenin sıcaklığı en yüksek (96 °C) olmaktadır. 1963'dan bu yana belirli aralıklarla çalışmaların devam ettirildiği Kozaklı jeotermal alanında 1992 yılı proje çalışmalarının kapsamında bazı yeni bilgiler elde edilmiş ve jeotermal model seçenekleri ortaya konmuştur. Kozaklı jeotermal alanda açılan bütün kuyuların derinlik seviyeleri 60-215 mt civarında olup rezervuarları Eosen yaşlı Çevirme formasyonuna ait fosilli kireçtaşı birimi ve kırık zonlarıdır. Kuyuların debileri 1.5-95 l/s ve sıcaklıkları 45 -96 °C arasındadır (Dağıstan ve diğ., 2009).Kozaklı jeotermal sahasından bir görünüş Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1: Kozaklı jeotermal sahasından genel görünüş

Kozaklı'daki jeotermal sahada, eskiden beri pek çok sıcak su kaynağının varlığı bilinmekle beraber, şu an herhangi bir kaynak bulunmamaktadır. Kozaklı sahasında 1974 yılında hazırlanmış olan etütlerde, sahadaki akarsular olan Eşe deresi ve Bağlıca deresinin kesiştiği yerde, gruplar halinde toplanmış, sıcaklıkları 42 - 92°C arasında değişen ve toplam debileri yaklaşık olarak 94,2 l/s olarak hesaplanmış ortalama 100 adet sıcak su

kaynağından bahsedilmektedir. Kozaklı jeotermal sahasında son olarak 1992 yılında yapılmış olan etütlerde, yapılan sondajlar neticesinde belediye hamamındaki kaynakların haricindeki tüm kaynakların tamamen kuruduğu tespit edilmiştir (Erişen ve Özgür, 1999).

Kozaklı jeotermal alanında değişik yıllarda yapılmış çalışmalar sırasında tespit edilen kaynaklardan bazıları Tablo 1.'de gösterilmiştir. (Erişen ve Özgür, 1999 ve Erzenoğlu,1995)

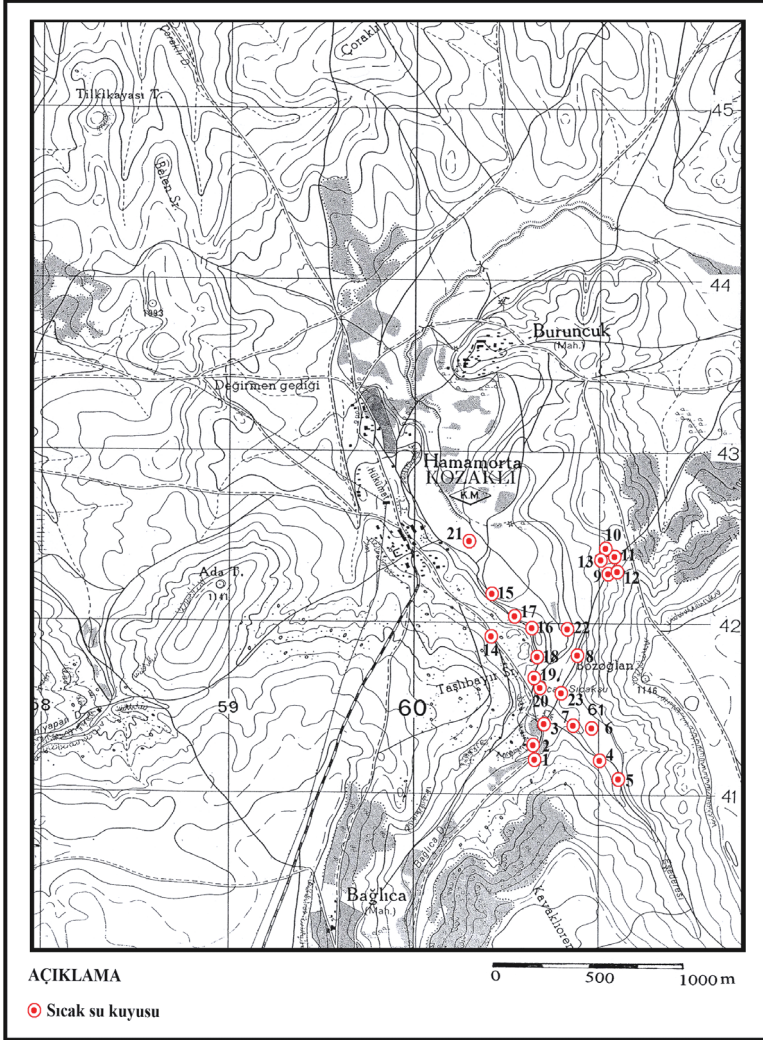
Tablo 1: Kozaklı jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları.

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Ölçüm Tarihi	Pafta Adı (1/25 000)
I Nolu kaynak	51	-	1974	J33 c1
Camız pişiren kaynağı	89	-	1974	J33 c1
Uyuz hamamı kaynağı	35	-	1974	J33 c1
Özel İdare hamamı kaynağı	45	-	1974	J33 c1
Kozaklı SSK kaynağı	84	0,1	1991	J33 c1
Kozaklı sıcak su kaynağı	93	-	1992	J33 c1

Kozaklı jeotermal MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1965 yılında on iki ve 1967 yılında üç adet olmak üzere toplam on beş adet gradyan sondajı yapılmış, bu kuyulardan üç tanesinde (G-2, G-5 ve G-6) sıcak su üretimi olmuştur. Sahada daha sonra yine MTA Genel Müdürlüğü tarafından üç adet sıcak su kuyusu (SSK-1, K-1 ve K-3) açılmıştır (Durgun, 1998; Hamut ve diğ., 1992 ve Özgür ve diğ., 1997). Özel İdare Müdürlüğü tarafından üç ve özel şahıslarca yirmi adet olmak üzere toplam yirmi üç adet sıcak su kuyusunun değişik tarihlerde açtırıldığı belirlenmiştir (Özkan ve Koçak, 2006).

Kozaklı jeotermal alanında MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1965 yılında on iki ve 1967 yılında üç adet olmak üzere toplam on beş adet gradyan sondajı yapılmış, bu kuyulardan üç tanesinde (G-2, G-5 ve G-6) sıcak su üretimi olmuştur. Sahada daha sonra yine MTA Genel Müdürlüğü tarafından üç adet sıcak su kuyusu (SSK-1, K-1 ve K-3) açılmıştır. Kozaklı jeotermal sahasında, Özel İdare Müdürlüğünce üç, özel şahıslar tarafından 20 adet olmak üzere toplam 23 tane sıcak su kuyusunun farklı tarihlerde açtırıldığı belirlenmiştir. Kozaklı jeotermal sahasında, daha derinlerde bulunan jeotermal potansiyelin ortaya çıkarılması amacıyla MTA Genel Müdürlüğünce, 2007 yılında MTA-K4 jeotermal araştırma sondajı yapılmıştır. Kozaklı MTA-K4 jeotermal sondajı litoloji logu ve sıcaklık dağılımı Şekil 4.3'de verilmiştir (Dağıstan ve diğ., 2009) Kozaklı MTA-K4 kuyusunda delme işlemine 24.08.2007 tarihinde başlanmıştır. Kuyuda 157 m'ye kadar 17 ½ inçlik matkapla ilerleme yapılmış ve 150.00 m'ye 13 3/8 inçlik kapalı boru inilmiştir. Sonra 12 ¼ matkapla 850 m'ye

kadar ilerlenmiş ve 840 m'ye $8 \frac{5}{8}$ inçlik kapalı muhafaza borusu indirilmiş olup boru arkası çimentolanmıştır. Daha sonra $7 \frac{1}{2}$ matkapla 1427 m ve $7 \frac{3}{8}$ matkapla da 11488.80 m ye kadar ilerleme yapılmıştır. 1488.80 m den 1493. 00 m ye kadar da $4 \frac{9}{16}$ 'lık karotiyerle ilerleme yapıp 4.2 m karot alınmıştır. Kozaklı MTA-K4 kuyusu, 18.02.2008 tarihinde, 820.00-1222.00 metreler arasına $5 \frac{7}{8}$ " kapalı ve filtreli kaynaklı üretim boruları ilinerek 1493.00 metrede tamamlanmıştır (Dağıstan ve diğ., 2009).



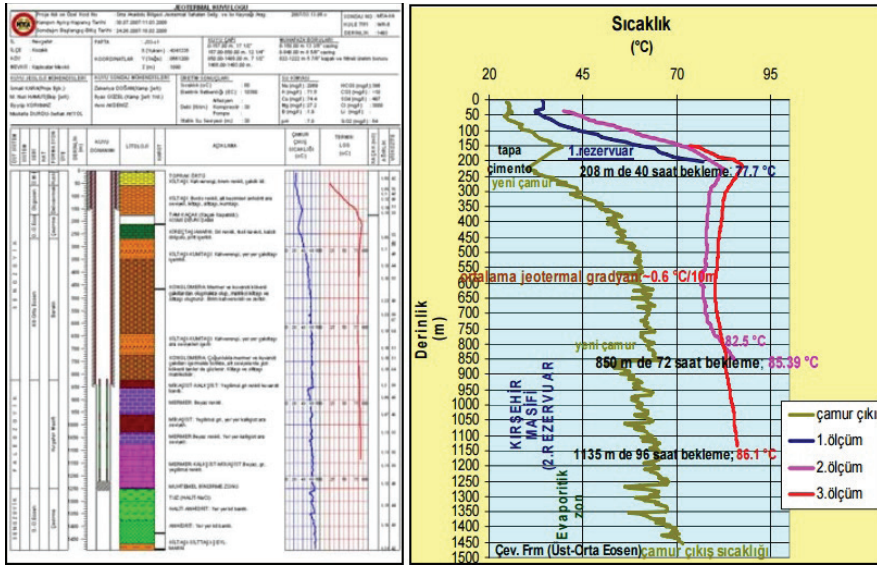
Şekil 2: Kozaklı jeotermal alanındaki sıcak su kuyularının yerleri

Tablo 1. Kozaklı jeotermal alanında açılan kuyular

Kuyu Adı	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Kuyunun Kim Tarafından Açıldığı
Vural Termal	-	83	84.4	5.4	Vural Termal
Rosa Resort	2002	120	85	11	Rosa Resort
Güneş Termal	-	70	89	-	Güneş Termal
Gündüz Termal	2003	132	94	-	Güneş Termal
Hacıveli Termal	-	160	93-96	-	Hacıveli termal
Çiftçiler Termal	-	127	88	-	Çiftçiler Termal
Altınsu Termal	1999	110	96	3.5	Altınsu Termal
Yapısel Termal	1991	117	93	40	Yapısel Termal
Konak Termal	-	193	93	5	Konak Termal
Termalya Termal1	1998	60	65	2-3	Termalya Termal
Termalya Termal 2	1998	70	70	3	Termalya Termal
Termalya Termal 3	2001	80	45	1,5	Termalya Termal
Termalya Termal 4	2001	195	93	3,5	Termalya Termal
Kozaklı Termal	2005	150	96	-	Yükselen İnşaat
Terzioğlu Termal	2005	100	94	-	Terzioğlu Termal
SSK-1	1992	154	93	95	SSK adına MTA
K-1	1997	205	90	11	
K-3	1998	200	93	82	MTA
Öz-İdare 1	2004	120	93	5	Özel İd. Müd.
Öz-İdare 2	2004	110	92	15	
Şehir Hamamı 1	-	18*	65	5	
Hasan Güneş (Sera)	-	132	93-95	5	Hasan Güneş
Öz-İdare 3	2002	215	96	8-10	
G-2	1965	101	83	20	MTA
G-5	1965	70	85	21	MTA
G-6	1965	94	91	18	MTA
K-4	2007	1090	80	30	MTA

MEVCUT SARFIYAT

Kozaklı jeotermal açıdan büyük önem taşımaktadır. Beklenen rezervuar sıcaklığı 105°-126°C'dir. Jeotermal potansiyel ortaya çıkarıldıktan sonra koruma-kullanma dengelerinin gösterileceği entegre kullanım amaçlı projelerin hazırlanması suretiyle, jeotermal alanın geliştirilmesi yararlı olacaktır. İlçeye elektrik, Avanos ilçesi Kalaba kasabası trafo merkezinden verilmektedir. Kozaklı İlçeye elektrik TEK bağlantılı olarak 1971 yılında gelmiş olup, bütün yerleşim birimlerinde mevcuttur. Elde edilen verilere göre; derinlerde kurulu olması olası ana rezervuar kayaları hedefleyecek şekilde yapılacak 600 ± 100 m derinlikli sondaj veya sondajlardan sonra jeotermal potansiyel saptanabilecektir. İlçede yaklaşık 2.500 konut ve işyerleri jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır (Kozaklı Belediyesi, 2015).



Şekil 3: Kozaklı MTA-K4 jeotermal sondajı litoloji logu ve sıcaklık dağılımı

SSK-1 ve K3 kuyularından Kozturtaş tarafından Kozaklı şehir merkezinde 2500 civarında konut jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Ayrıca jeotermal enerji ile yaklaşık 150.000 m² sera alanının da ısıtması sağlanmaktadır. Özellikle kış aylarında (Kasım-Mayıs) çalışan merkezi ısıtma sistemi için yaklaşık 150-170 lt/sn lik jeotermal su kuyulardan çekilmektedir. 2014 yılına kadar bu kuyulardan çekilen su eşanjörlerden geçirilerek merkezi ısıtmadaki kapalı devre suyu ısıtmakta ve daha sonra alıcı ortama verilmekteydi, buda jeotermal sahadaki mevcut kuyuların su seviyelerini her geçen gün düşürmekteydi. 2014 yılında MTA tarafından bozoğlan mevkiinde reenjeksiyon kuyusu açılarak Kozaklı'nın merkezi ısıtmasında kullanılan suların jeotermal sahaya enjekte edilmesi sağlanmıştır (Şekil 4), bu sayede mevcut kuyuların su seviyeleri de yükselmeye başlamıştır.



Şekil 4: Kozaklı merkezi ısıtma sistemi reenjeksiyon kuyusu

Ancak mevcut kuyuların sıcaklıkları, reenjeksiyonun yapıldığı kış aylarında 80°C 'ye kadar düşmüştür. İlçede jeotermal enerji ile ısıtılan yaklaşık 90.000 m² kapalı alana sahip Başyazıcıoğlu Tarım'a ait seranın dönüş suyunun da 2012 yılının Bozoğlan mevkiine reenjeksiyonu sağlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: Başyazıcıoğlu sera ısıtma sistemi reenjeksiyon kuyusu



Şekil 6: Başyazıcıoğlu seranın uydu ve iç görünüşü

YERALTI BESLENME KAYNAKLARI

MTA'nın enerji hammaddelerine dönük yaptığı çalışmalar neticesinde Kozaklı ilçesinde sıcaklığı 29 °C ve debisi 10 lt/sn olan jeotermal kaynak tespit edilmiştir. Bu alanda yapılan sondajlarda 80-93°C arasında değişen sıcaklık, 275 lt/sn debi ve 63.3 MWt güce sahip akışkan görünür hale getirilmiş ve ülke ekonomisine kazandırılmıştır. Kozaklı'da bulunan yer altı sıcak su kaynaklarının 1000'lerce seneden beri neojen göl çökellerinin üzerinden akarak oluşturduğu travertenler üzerine kumlu siltli alüvyon gelmektedir. Neojen göl çökelleri de karstlaşmaya uygun olarak sıcak suyun da tesiriyle bunlarda ve travertenlerde önemli düzeylerde erimelerin

oluşmasına olanak tanımıştır. Meydana gelen karstik boşluğun tavanı üzerindeki alüvyonun basıncına dayanamayıp, pompayla çekilen sıcak suların da basıncı düşmesi neticesinde ani çökmeler ortaya çıkmıştır. Pompajlar yardımıyla bir yandan yeraltı suyu düşürülürken, diğer yanda yeraltı akım hızı yükselmektedir. Bu da karstlaşma sürecini hızlandırmaktadır.

Çöken malzemenin büyük çoğunluğunu yatay tabakalı göl çökelleri oluşturduğundan bunlara dikey yönde etkiyen kuvvetlerin yatay düzlem ile ara kesiti oluşan obrukta görüldüğü gibi daire şeklindedir (Pasvanoğlu ve diğ., 2008).

MEVCUT KAYNAKLARIN OLUMSUZ ETKİLERİ

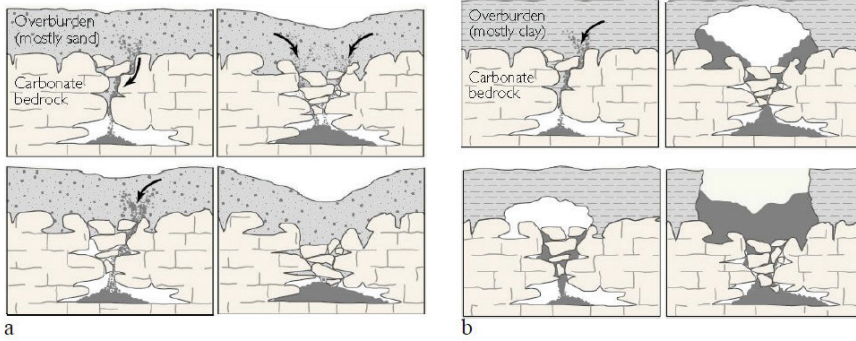
Kozaklı sahasında sıcak su kuyuların bulunduğu alanda ve özel idareye ait jeotermal kuyusunun 20 m batısındaki parkta, 17 Ocak 2007 tarihinde Saat 15.30 da 30 m çapında ve 15 m derinliğinde bir obruk / karstik çöküntü yapısı ve birkaç tane küçük ölçekte çökmeye bağlı olarak gelişen çatlaklar meydana gelmiştir. Çöküntü alanında yapılmış olan araştırmalarda obruk gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkmıştır (Şekil 7)



Şekil 7: Kozaklı jeotermal sahasındaki obruktan görünüş

Obruk karbonatlı kayaların içinde oluşan en önemli karstik şekillerden birisidir. Karstlaşma, genel anlamıyla karbonatlı kayaların, suların eritmesi ve aşındırmasıyla, yer üstünde ve yeraltında CO_2 içeren su ile çözünmesi ve kendine özgü şekiller kazanmasıdır. Karstlaşma sonucu oluşan obrukların yatay kesit alanları derinlere doğru gelişir ve derinlikleri birkaç 10 metreden birkaç yüz metreye kadar ulaşabilir. İç karstlaşmanın gerçekleşmesi litoloji, bölge içinde neotektonizma etkileri, hidrodinamik koşullar (suyun akım yönü ve miktarı), suyun CO_2 gaz içeriği ve benzeri- ne bağlıdır (Pasvanoğlu ve diğ., 2008).

Tihansky'e (1996) göre Batı Florida'daki obrukların genel oluşum modeli Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bu modele göre karstlaşma etkisi sonucu çözünme boşlukları içeren kireçtaşı, yer altı su seviye değişimine bağlı olarak geçirimli kum yada geçirimsiz kilce yoğun bir çökel örtüsü ile kaplanmaktadır. Kütlenin su seviyesi üzerine çıkmasıyla aktif hidro-jeolojik döngü yeniden oluşmakta ve akım kanalları yeniden su taşımaya başlamaktadır. Yeniden başlayan çözünme ile karbonatlı kayaç içindeki boşluk büyümektedir. Örtü birimin kile göre daha akışkan olan kumca örtülmesi durumunda kum erime boşluğu içine doğru zamanla akmakta, sonuçta yüzeyde yayvan tabanlı bir çukurluk oluşmaktadır. Örtü birim kilce zengin olması durumunda, karbonatlı kayaçta ilerleyen boşluk oluşmasına rağmen tavanı oluşturan kil taneleri arasındaki çekim kuvveti (kohezyon) tanelerin tümünün akışa geçmesini engellemektedir. Buna karşın, alttaki boşluk hacminin artması ile kil örtüsü kendi ağırlığını çevresine taşıtmamakta ve ani çökme oluşmaktadır. Her iki modele göre obrukların oluşabilmesi için; 1) karbonatlı kayaç içinde yukarıdan taşınan malzemeyi barındıracak büyüklükte bir boşluğun olması, 2) yeni malzeme girişine izin verecek biçimde yukarıdan boşalan malzemeyi ortamdaki uzaklaştıracak yeraltısuyu akımının olması gerekmektedir. Obruk ve benzeri karstik çöküntü yapılarının oluşum mekanizması kum ve daha çok kil içeren örtülere göre durumu şekil 4.8'de gösterilmiştir (Pasvanoğlu ve diğ., 2008)



Şekil 8: Obruka benzer karstik çöküntü yapılarının oluşum mekanizması,
a: Kum içeren örtü, b: Daha çok kil içeren örtü

Kozaklı jeotermal alanında sıcak su kontrolsüz olarak kullanılmakta ve önceki yıllarda artezyen yapan kuyular artık artezyen yapmamaktadır. Sıcak su seviyesi 8-10 m düşmüştür. Bu kontrolsüz ve aşırı kullanım sıcak suyun dolaşımından dolayı oluşturduğu erime boşlukları ve üretimden dolayı malzeme gelişinden oluşan mağaranın tavanı üzerindeki yükü taşıyamadığından çökme olmuştur. Jeotermal alanlarda sıcak suyun bulunduğu dolaşımından dolayı rezervuar kayaçta erime boşlukları gelişir.

Özellikle kireçtaşlarının hazne kaya olduğu ortamlarda gelişen boşluklar çok büyük boyutlara ulaşabilir. Çöküntü alanının yanında bulunan özel idareye ait kuyunun (G-6), sürekli açık tutulması, kuyunun üretim borusunun kırılarak yüzeye yakın bir seviyeden üretim yapması ve malzeme getirmesi boşlukların oluşmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra Kozaklı bölgesinde çöküntünün olduğu tarihten 25 gün önce merkez üssü Kozaklı olan 3,5 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremin de çökmeyi tetikleyici unsurlardan biri olabileceğini düşündürmektedir. Kozaklı jeotermal sahasında meydana gelen karstik çöküntünün mekanizması Terzaghi, denklemiyle de açıklanabilir.

$$P_t = P_e + P_h$$

Formülde P_t : Toplam basınç (KN/m^2)

P_e : etkili basınç (KN/m^2)

P_h : Hidrostatik basınç (KN/m^2)'dir.

Üstteki zemin yükünün (P_t) bir kısmının alttaki zeminin kütsel bölümü ve bir kısmı da hidrostatik basınçla (P_h) tutulur. Su tablası veya basınç yüzeyindeki alçalma hidrostatik basıncı azaltacak ve etkili basınç (P_e) artacaktır. Sonuçta toplam basıncın baskın duruma geçmesi ile yüzey altındaki zeminin üzerine daha fazla basınç eklenecek ve yüzey çökecektir (Bell, 1993; Çelik ve Afşin, 1998).

İnceleme sahasında özellikle doğal kaynak çıkış alanının üzerine 2-3 m kalınlığında çevre düzenlemesi adına Belediye tarafından dolgu yapılmış, böylece alanın doldurulması bu boşluklar üzerinde bir basınç oluşturmuştur. Kozaklı'da sıcak su kaynakların 1000'lerce yıldan beri Neojen göl çökelleri üzerinde akarak oluşturduğu travertenler üzerine kumlu siltli alüvyon gelmektedir. Neojen göl çökelleri de karstlaşmaya müsait olup sıcak suyun etkisi ile bunlarda ve travertenlerde önemli boyutlarda erimeler meydana gelmiştir. Oluşan karstik boşluğun tavanı üzerindeki alüvyonun basıncına dayanmayıp, pompa ile çekilen sıcak suların da basıncı azaltması sonucu ani çökmeler meydana gelmiştir. Pompajlarla yeraltı suyu düşürülürken yeraltı akım hızı artmaktadır. Buda karstlaşmayı hızlandırmaktadır. Çöken malzemenin çoğunluğunu yatay tabakalı göl çökelleri oluşturduğundan bunlara dikey yönde etkiyen kuvvetlerin yatay düzlem ile ara kesiti oluşan obrukta görüldüğü gibi daire şeklindedir.

Bu alanda kireçtaşı yüzeylemeleri üzerlerine düşen yağış suları ile karstlaşmaya uğramıştır. Aşırı su çekimine bağlı olarak yeraltı su seviyesindeki alçalma boşluk suyu basıncının azalmasına neden olmuş ve sıkışmamış malzemenin sıkışmasını sağlamış ve sonuçta efektif basınç önemli ölçüde artmıştır. Bu durum yeni efektif basıncın zemin altının taşıma kapasitesinden fazla olmasına ve çökmesine neden olmuştur. Yer

altı suyunun hareketi ile orada çözücü özelliği artırıcı CO₂ faktörünün de etkisiyle tabandaki kireçtaşlarında karstik boşluklar meydana gelmiştir. Marn ve kille kaplı tavanın üzerindeki ağırlığa dayanamayıp çökmüştür. Karstik boşluk tavanının çökmesi ile de kireçtaşları yüzeyden itibaren aşağı doğru düşmüş ve yer çökmesine neden olmuştur.

Çökmenin olduğu yer ve bu yerin yakın ve uzak çevresi ile hidrojeolojik ilişki son derece önemlidir. Bu çökmeler yeraltı suyu seviyesindeki alçalmalarla ilişkili olarak ani gelişir ve tehlikelidir. Kozaklı jeotermal sahasında karstik çöküntünün oluşumuna neden olabilecek olası süreçlerden biri de volkanizma ile ilgili çözelti ve gaz getirimine bağlanmıştır (Canik ve Çörekçioğlu, 1985; Çelik ve Afşin, 1998; Pekkan, 2004).

Kozaklı bölgesindeki kuyu ve sıcak su kaynağı örneklerinde 13°C izotop değerleri PDB ye göre -2 ile 2 arasında değerler almaktadır. Bu değerler denizel karbonat kökenlerine ait değerlerle kabuksal CO₂ değerlerinin sınırları içinde kalmaktadır. Bu demektir ki belli aralıklar ile süre gelen volkanizmanın etkisiyle kabuksal kökenli CO₂ gaz ve/veya volkanik kökenli CO₂ asidik çözeltinin de getirmesi olmuştur. Bu durum yeraltı suyunun karbonat minerallerine karşı çözündürücülüğünü artıracığından yerel olarak yoğun karbonat çözünmesine ve sonuçta obruk oluşumuna neden olmuştur. Ayrıca çökmenin bulunduğu alanda, sıcak ve mineralli su kaynakları çevresinde yaklaşık 40-50 cm kalınlığında çürümüş organik madde içeren sazlık çamuru bulunmaktadır. Çürümüş organik maddelerce zengin toprak zeminden süzülen yağış sularının karbonik asit ve organik asitlerle zenginleşmesi sonucu asidik özellik kazanarak karbonatların çözünürlüğünü ve karstlaşma sürecini de hızlandırmıştır. Ayrıca kaynak ve sondajlardan üretilen jeotermal suların kullanıldıktan sonra tekrar yerin altına re-enjekte edilmemesi durumunda, üst tabaka basıncı gözenekli akifer kayacını sıkıştırarak arazide göçmelere neden olabilmektedir. Kuru buhar üreten jeotermal sahalarda göçme şimdiye dek gözlenmemesine rağmen, akışkan üretilen jeotermal sahalarda göçme olmaktadır (Pasvanoğlu ve diğ., 2008).

KISA, ORTA VE UZUN VADEDE PROJEKSİYON

Kozaklı'da hem potansiyel, belirleme çalışmaları esnasında hem de potansiyelin ortaya konulmasından sonra, entegre kullanım amaçlı çok ortaklı ve kapsamlı projelere gereksinim vardır.

Kozaklı jeotermal sahasında kısa vadede mevcut kuyulara sayaç takılarak sarfiyatın belirlenmesi, orta vadede ise kuyulardaki su seviyelerinin düzenli bir şekilde kontrollerinin yapılarak sahadaki su dengesi ölçülmelidir. Bu ölçümler ışığında merkezi ısıtma ve seranın dönüş suyunun sahaya reenjeksiyon edilmesinin analizi yapılmamıştır. Uzun vadede ise kontrolsüz kullanımın tek elde toplanarak mevcut kuyuların kapatılması ve ihtiyaca

göre yüksek debili ve sıcaklık değeri yüksek kuyulardan kullanımın sağlanması gerekmektedir. Bu sayede sahaya ilerleyen zamanlarda ne büyüklükte termal bir tesis veya seranın yapılabileceği belirlenebilir.

KOZAKLI (NEVŞEHİR) JEOTERMAL ENERJİ SAHASI ÜZERİNE ARAŞTIRMA VE DEĞERLENDİRMELER

Yüksek sıcaklıktaki çok sayıda sıcaqsu kaynağının yer alması 1960'lı yıllardan beri dikkatleri yöre üzerine çekmiştir. Bu çerçevede MTA Genel Müdürlüğü tarafından da jeotermal potansiyelin ortaya konulmasına ve jeotermal akışkandan yararlanılmasına yönelik olarak araştırmalar yapılmış ve sondaj kuyuları açılmıştır. İlk çalışmalar, Lebrüchner (1953) tarafından yapılan 1/ 100.000 ölçekli jeolojik harita alımı ile başlamıştır.

➤ Serruya (1963), Kozaklı Hamamorta alanında 1/ 25.000 ölçekli jeoloji haritası alımı çalışmalarını gerçekleştirerek, jeolojik istif, yapısal çizgiler üzerinde ayrıntılı olarak durmuştur. Bu kapsamda, 50'den fazla çıkış yerinde gözlediği sıcak su kaynaklarının sıcaklık ve debi ölçümleri ile bunların hidrojeokimyasal analizlerini de yaparak 90°C sıcaklıklı akışkanın 3.000 m derinliklerden yüzeylendiğini savunmuştur.

➤ Tezcan (1963) tarafından Kozaklı Strüktürü ile ilgili gravite, resistivite ve jeotermal gradyan etütlerine ilişkin olarak; gradyan profilleri, strüktür kesitleri, gradyan haritası ve temperatur profilleri, manyetik düşey bileşen haritası, Gravite Bouguer ve ikinci türev haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, sıcak akışkan içeren ana rezervuar kayanın Kozaklı İlçe Merkezi'nin altına isabet eden strüktür üzerinde ve ortalama 500 m derinlikte olabileceği görüşüne yer verilmiştir.

➤ Niehoff (1965) yaptığı çalışma ile Kozaklı ve çevresinde 1/ 5.000 ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası alımlarının yanısıra 1/1.000 ölçekli tra-
verten teşekkülleri haritasını da hazırlamıştır. Yöre ile ilgili olarak jeolojik istifi belirlemiş, genç yapısal özellikler ve rezervuar kaya hakkında görüşler ortaya koyarak, potansiyel belirleme kapsamında ortalama 120 m derinlikli 12 adet sondaj kuyusu önermiştir.

➤ Şamilgil (1965), daha önceki çalışmaların ışığında, ayrıntılı bir jeoloji etüdü gerçekleştirmiştir. Alanın ayrıntılı jeolojik istifinin, yapısal özelliklerinin, havza paleocoğrafyasının yer aldığı araştırmada; 3.000 m derinliğinde bir araştırma sondajı yapılması durumunda büyük bir olasılıkla buhar elde edilebileceği görüşüne yer verilmiştir.

➤ Niehoff (1965) tarafından önerilmiş olan 12 adet sondaj kuyusundan 10 tanesi 1965 yılında açılmıştır. Derinlikleri 70-120 m arasında değişen kuyuların dördünden 49°-92°C sıcaklıklı ve 1.1-80 lt/sn debili sıcaqsu üretimi sağlanmıştır (Sonuç raporu Enerji Hammadde Etüt Araştırma Da-

iresi arşivindedir).

➤ Erişen (1967) tarihli araştırmada Kozaklı Jeotermal Alanı'nın; elektrik üretimine yönelik olarak programlanan "Birleşmiş Milletler Batı Anadolu Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" kapsamında ele alındığı, bu amaçla rezistivite anomalilerinin olduğu kesimlerde üç adet gradyan kuyusunun açılması sonucunda 0.7-0.8 °C/10 m mertebesinde gradyan değerlerinin elde edildiği belirtilmiştir.

➤ Dominco (1967) yine, yukarıda sözü edilen proje kapsamında yapılan saha jeokimyası araştırması sonucunda, yörenin buhar ve buna bağlı olarak elektrik üretimi açısından yeterli olabileceğini ifade etmiştir.

➤ Özbek (1975) Kozaklı Yöresi'nin jeolojik istifi, yapısal özellikleri ve hidrojeolojik nitelikleri hakkında görüşler ortaya koymuş, sahanın koruma alanları haritasını çizmiş ve koruma kurallarına ilişkin önerilerde bulunmuştur. Ayrıca yazar, 1.000 m'den daha derine sondaj kuyusu açılması halinde buhar bulma olanağının olabileceğini savunmuş ve 2.970 m derinlikli jeotermal enerji araştırma sondajı önermiştir.

➤ esislere sıcak su sağlamak amacıyla 153 m derinlikli SSK-1 sıcak su sondaj kuyusu açıldığı ve kuyudan 93 °C sıcaklıklı ve 95 lt/sn debili akışkan üretimi sağlandığı belirtilmiştir.

➤ Erişen ve diğerleri (1993), Orta Anadolu'nun en sıcak noktası olan Kozaklı Jeotermal Alanı'nın kent ve sera ısıtmacılığı ile endüstriyel kullanım açısından önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca yazarlar, sahada ana üretim zonunun 500-600 m derinliklerdeki Kırşehir Masifi'nin ikincil permeabiliteli zonları (kristalize kireçtaşı, mermer, kuvarsit vb.) olabileceğini, beklenen rezervuar sıcaklığının ise 120±10°C dolayında bulunabileceğini savunmuşlar, buna bağlı olarak derinlikleri 700 ± 100 m olacak üretim sondaj veya sondajlarına yönelik projelendirme çalışmalarının yapılmasını önermişlerdir.

➤ Göçtü ve diğerleri (1995), jeofizik çalışmaların sonuçlarına dayanarak kaplıca çevresinde temel yükseliminin bulunduğunu, sahada magma sokulumunun göstergesi olabilecek herhangi bir manyetik anomaliye ise rastlanmadığını belirtmişlerdir. Yazarlar ayrıca, elde edilen yeraltı verileri doğrultusunda, olası kırık hatlarını da dikkate alarak belirledikleri lokasyonda 600 m derinlikli bir sondajın yapılmasını savunmuşlardır.

➤ Koçak (1997) doktora tezinde; Kozaklı Jeotermal Sistemi'nde sıcak akışkanın kimyasal karakteri, hidrojeokimyasal süreçler, rezervuar sıcaklığı, hidrotermal alterasyon, akışkan mineral dengesi ve ısı kaynağının derinliğine ilişkin araştırmalara yer vermiştir. Yazar, yöredeki rezervuar sıcaklığının 105°-125 °C dolayında olabileceğini belirlemiş ve bu rezervuara ulaşmak için 1.400 m derinlikli sondaj kuyusu açılmasını önermiştir.

➤ Kara (1997) yaptığı çalışma ile, Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifi metamorfitlelerini ve bunları uyumsuzlukla örten Alt Eosen-Kuvaterner yaşlı sedimanter ve volkanik birimleri haritalamış ve formasyon adlamaları yapmıştır.

➤ Özgür ve diğerleri (1997), Kozaklı Belediyesi adına kent ve sera ısıtmasına yönelik olarak sıcak su üretiminin sağlanması amacıyla açılan 205 m derinlikli K-1 sıcak su üretim sondaj kuyusundan 90 °C sıcaklıklı ve 4-11 lt/sn debili sıcak akışkan üretiminin sağlandığı belirtilmiştir.

SAHA AVANTAJLARI

Jeotermal akışkanın depolanmasını sağlayan rezervuar kaya, depolanan akışkanın ısı kaybını önleyen örtü kaya ve jeotermal enerjinin oluşumunda ısı gücü yaratan ısı kaynağının olumluluk göstermesi hidrotermal sistemlerin oluşmasında ve entalpinin yükselmesinde büyük önem taşır. Buna bağlı olarak, Orta Anadolu Bölgesi'nde yakın zamanlara kadar etkinliğini sürdürmüş genç volkanizmanın yanı sıra, rezervuar kaya ve örtü kaya olanakları açısından olumluluk arz eden çok sayıda sıcak nokta bulunmaktadır. Kozaklı Jeotermal Alanı da söz konusu sıcak noktaların en önemlisidir. Alan; rezervuar kaya, örtü kaya ve ısıtıcı varlığı yönünden hidrotermal sistem oluşturmasını sağlayacak olumlu özelliklere sahiptir (MTA, 2012).

REZERVUAR ANAKAYA

Kırşehir Masifi'ne ilişkin metamorfitleler kapsamında yer alan kristalize kireçtaşı, mermer ve kuvarsitler yoğun kırıklı-çatlaklı olup ana rezervuar kayayı oluştururlar. Ana rezervuar kayanın Kozaklı jeotermal kaynaklarının bulunduğu Bağlıca Vadisi dolaylarında 350-550 m derinlerde olabileceği belirlenmiştir (Göçtü, 1995). Kırşehir Masifi üzerine uyumsuzlukla oturan kireçtaşı-kumtaşı-konglomera-marn birimine (e) ait kireçtaşı-kumtaşı ve konglomeralar da rezervuar kaya niteliği gösterirler. Özellikle, tektonik etkenlerde oluşan kırık ve çatlaklar sonucunda, ikincil permeabilite kazanmış nummunitli kireçtaşları önemli üretim zonu durumundadır. Nitekim açılan SSK-1 ve K-1 sondaj kuyularındaki sıcak akışkan üretimi, söz konusu nummunitli kireçtaşı rezervuarından sağlanmıştır. Yaklaşık 100 m kalınlığa sahip bu rezervuarlar Bağlıca vadisi içinde 103 m derinlikte kesilmiştir (MTA, 2012).

ÖRTÜ KAYA

Kireçtaşı-kumtaşı-konglomera-marn biriminin (e) marnlardan oluşan düzeyleri örtü kaya özelliği gösterir. Bu düzeyler şelf karakterli olduğu için birim içerisinde kireçtaşları ile yanal ve düşey geçişli olabileceği gibi doğrudan temel üzerinde de bulunabilir. Bu bakımdan, jeofizik etütler sonucunda, özellikle temel derinleşmesinin belirttiği alanlarda örtü kaya

özellikli söz konusu marnlardan sonra ana rezervuar kayaya inilebileceği düşünülmelidir. Sahada diğer örtü kayaları, marn-kil-konglomera-kumtaşı-jips biriminin (ol) marn ve killeri ile kireçtaşı-marn-marnlı kireçtaşı-tüf biriminin (n) marnları ve tüfleri oluşturur. Çevre sahalarda 1.000 m kalınlığa ulaşan birimlerin, Bağlıca Vadisi'nde en fazla 100 metre kalınlıkta olduğu yapılan sondajlar sonunda belirlenmiştir (MTA, 1999).

ISITICI VARLIĞI

Kozaklı Bölgesi'nde herhangi bir ısıtıcı kayayı işaret eden volkanik çıkış merkezi yoktur. Yapılan manyetik etütler sonucunda, sığ derinliklerde bir magma sokulumunun olmadığı da ortaya çıkmıştır. Bu hususlar dikkate alındığında, ısı iletiminin derinlere uzanan faylar ve/veya açılma çatlakları vasıtasıyla sağlandığı öngörülmüştür. Bağlıca Vadisi boyunca vadi yamaçlarında oluşmuş ve oluşmakta olan travertenlerin geometrisi ve sıcak su üretim debi değerlerinin yüksek olması da bu düşüncüyü desteklemektedir (MTA, 2012).

JEOFİZİK ETÜTLER

Yeraltı yapısını ortaya çıkarmak, örtü kaya kalınlığını ve jeotermal sistemin yanal ve düşey boyutlarını belirlemek amacıyla gravite, manyetik, rezistivite ve doğal potansiyel etütleri yapılmıştır. Gravite değerlendirilmesine göre; alanın güneydoğusundaki Akpınar Köyü dolaylarında gravite değerlerinin maksimum mertebede bulunuşu, bu alanda bir temel yükselimini işaret eder. Halaka Köyüne doğru ondülasyonlar yaparak derinleşen söz konusu temel, Bağlıca Vadisi ve yakın çevresinde olası bir horstun temsilcisi olabilecek yeni bir yükselim halinde ortaya çıkar. Sıcak su kaynaklarının çıkış noktaları bu yükselimle uyumluluk gösterir. Manyetik haritaların değerlendirilmesi sonucunda; yörede magmatik sokulumun temsilcisi olabilecek herhangi bir anomalinin olmadığı görülür. Bağlıca Vadisi'nin kuzeyinde GB-KD istikametinde yer alan konturlardaki sıkışmanın varlığı, süreksizlik zonu (olası fay zonu) göstergesi olabilir. Ayrıca, yukarıda sözü edilen süreksizlik zonunun güneybatısında, ara ara yükselen ve düşen değerler temel ondülasyonları ile bağlantılı olmalıdır. Yire aynı sıkışma zonunun kuzeyinde beliren iki anomali, Eski Kozaklı Köyü'nün kuzeyinden itibaren kuzeydoğuya doğru uzanan bir hatla ayrılmakta olup, bu husus bir fay olasılığını güçlendirmektedir. Söz konusu fayı, yüzey verileri de desteklemektedir.

Jeoelektrik öz direnç değerlendirmeleri çerçevesinde, taban topografya haritası incelendiğinde; Bağlıca Vadisi'nde JfF-1 ve JfF-2 fayları arasında bir yükselimin olduğu ve yükselimin 350-550 m derinliklerde yerleşmiş bulunduğu anlaşılar. Söz konusu temel güneydoğuya doğru derinleşir. Yükselimin kuzey ve kuzeybatısına doğru temel, JfF-3, JfF-9 ve JfF-4 çizgiselliklerinin etkisiyle bir grabeni andırır. Elektrik yapı kesitle-

rine bakıldığında yine basamaklı faylar ve graben benzeri yapının varlığı izlenir. Doğal Potansiyel (sp) haritasında; sıcak akışkanın yüzeylendiği alanlarda (+) kutuplaşmanın bulunduğu görülür. Yaygın (+) kutuplaşmaların derinlerden gelen sıcak akışkanın, ikincil permeabilite birimlerin içindeki hareketliliğe bağlı olarak geliştiği düşünülebilir. Güney kesimlerde gözlenen Batı-Doğu uzanımlı +10 mV ve üzerindeki değerlerle temsil edilen alanların sıcak su çıkış noktaları ile uyum içinde olması da bu görüşü destekler (MTA, 1999).

HİDRO-JEOKİMYASAL ETÜT

Hidrojeokimyasal değerlendirmeye esas olmak üzere yöredeki sıcak-su kaynakları ve sondajlar vasıtasıyla yüzeyleyen sıcak akışkanın değerlerinden yararlanılmaktadır.

DOĞAL SICAK SU KAYNAKLARI

Sıcak su kaynakları karmaşık bir yapısal özellik gösteren Bağlıca Vadisi içinde yüzeylemiştir. 1960'lı yıllarda 100'den fazla çıkış noktası ile temsil edilen sıcak su kaynakları mevcut iken sahada açılan sondajları yüzünden bugün kaynakların tamamı kurumuştur. 1974 yılında yapılan debi ölçümlerinde sıcak su kaynaklarının toplam debisi 94.2 lt/sn olarak tespit edilmiştir. Bugün ise kaynakların tamamı kurumuştur. Yiğitler Köyü güneybatısında tespit edilmiş bulunan sıcak su kaynağı 29°C sıcaklık ve yaklaşık 10 lt/sn debi değerine sahiptir.

SONDAJLAR

1965 yılında, Bağlıca Vadisi içinde 11 tane, 1967 yılında ise Ada Tepe yöresinde üç tane olmak üzere toplam 14 gradyan kuyusu açılmış ve bu kuyuların Bağlıca Vadisi içinde açılan dört tanesinden sıcak su üretimi sağlanmıştır. Yine, Bağlıca Vadisi batı yamacında 1992 yılında SSK-1 ve 1997 yılında K-1 sıcak su üretim kuyularının gerçekleştirilmesi sonucu yüksek sıcaklık ve debili akışkan üretimi sağlanmıştır (MTA, 2012).

SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Nevşehir iline bağlı Kozaklı ilçesinde son zamanlarda önemli bir istihdam alanı olan ve söz konusu ilçenin önemli gelir kaynaklarından biri olan jeotermal enerjiden elektrik üretimi hususundaki araştırmalar sürmektedir. Kozaklı'da bulunan jeotermal enerji; ısınma, termal ve seracılık alanında artarak kullanıldığı görülmektedir.

Çalışmada da sözü edildiği üzere Kozaklı'da 1963 yılından beri, belirli periyotlarla sürdürülmektedir. Jeotermal alanda yapılan sondajlardan alanın düşük sıcaklıklı olduğu tespit edilmiştir. Kozaklı jeotermal sahasında 1992 yılında proje çalışmalarının kapsamında jeotermal enerji ile ilgili bazı yeni veriler elde edilerek jeotermal model seçenekleri ortaya

konmuştur. Bu açıdan jeotermal akışkan konut ısıtmacılığı, sera ısıtmacılığı ve termal turizm amaçlı kullanılmaktadır.

Kullanım sebeplerinin farklı olmasından dolayı jeotermal akışkan farklı ellerden kontrolsüz bir şekilde kullanılmaktadır. Söz konusu bu kontrolsüz kullanım, rezervuar basıncını düşürmekte, jeolojik birimlerin karstlaşmaya uygun oluşu, belediyece yapılmış olan dolgunun ek maliyete neden olması ve yakın zaman içerisinde merkezi Kozaklı olan bir depremin olması, bu alandaki karstik çöküntü sonucunda obruğun ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir.

Kozaklı sahasında jeotermal akışkanın benzer biçimde kullanımı sürdürdüğü müddetçe yeni çöküntülerin olma ihtimali oldukça yüksektir. Söz konusu bu çöküntülerin yerleşim birimlerini etkileyerek büyük sorunlara mahal verme ihtimali yüksektir. Bu problemlerin önlenmesi amacıyla düzenli periyotlarla üretim yapılacak sahada tespit edilen 15-20 farklı noktada topografik kot ölçümü yapılarak herhangi bir değişimin varlığından haberdar olunması gerekmektedir. Kotta belirgin düzeyde bir farklılaşma görüldüğünde, üretime ara verilerek bu farklılaşmanın ve değişimin nedenleri araştırılarak analiz edilmesi gerekmektedir. Isıtma projesi amacı dışında kuyu açılmasına izin verilmemeli ve yeni açılacak kuyuların sondaj tekniğini uygun olarak açılması, kontrolsüz akıtılan kuyuların kapatılması gerekmektedir. Yeni açılmış olan yerlerde üretim ile ilgili testler yapılarak, ortaya çıkan sonuca göre üretim kontrol altında tutularak sıcak su dağıtımı ve üretimi alan bazında resmi bir kurumun denetiminde sayılı noktalardan tek bir elden yapılmalıdır.

Kozaklı jeotermal sahasında açılmış olan kuyuların derinlikleri birbirine yakın düzeylerde olmakta ve 15-215 metre arasında değişmektedir. Kuyulardan üretim muhtemelen aynı rezervuardan yapılmaktadır. Bu nedenle alanda kontrolsüz su kullanımı ve düşük beslenmeye bağlı olarak kuyulardaki üretimin azalacağı göz önünde bulundurularak daha derin kuyular açılmalı ve alanda da muhtemel ikinci rezervuarın varlığı ve potansiyeli de araştırılmalıdır. Ayrıca rezervuar parametrelerinin korunması ve çevreye jeotermal akışkanın atılmaması için re-enjeksiyon mutlaka yapılmalıdır. Uluslararası kuruluşların jeotermal enerji konusunda Türkiye’de yatırım yapmaları özendirilmelidir. Yerel yönetimlerin uluslararası kuruluşlar ile ortaklık kurabilmesi özendirilmeli ve destek sağlanmalıdır. Yukarıdaki tavsiyelere ilaveten aşağıdaki önerilerinde dikkate alınması, söz konusu sahada yapılacak işlemler açısından faydalı olacaktır.

1) Bu araştırma Nevşehir’in en sıcak jeotermal noktası olan Kozaklı Jeotermal Alanı’nda gerçekleştirilmiştir,

2) Çalışma kapsamında; Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeofizik etütlerin yanısıra, hidrojeokimyasal değerlendirmeler de yapılarak yörenin jeoter-

mal alan olanakları ortaya konulmuştur,

3) Jeomorfolojik incelemeler çerçevesinde; Neotektonik dönemde gelişen ana jeomorfolojik birimler ve derine gömülme evreleri belirlenerek haritalanmıştır,

4) Yöredeki jeolojik istifi Paleozoyik (Üst Paleozoyik) yaşlı metamorfikler ile bunları uyumsuzlukla örten Senozoyik yaşlı çökellerin oluşturduğu belirlenmiştir,

5) Çalışma alanında, eğim atımlı normal faylar, olası açılma çatlakları ile yine yapısal evrelere bağlı olarak gelişmiş kıvrım yapılarının yer aldığı anlaşılmıştır,

6) Bu çalışmaların ışığında alanın rezervuar kaya, örtü kaya ve ısıtıcı varlığı ortaya konularak bir jeotermal model tasarlanmıştır.

Buradan hareketle, aşağıda sıralanan tespitlere varılmaktadır:

1) Alanın rezervuar kaya, örtü kaya ve ısıtıcı varlığı açısından ısıtıcılıkta yararlanılabilecek nitelikler gösterdiği,

2) Kırşehir Masifi'ne ilişkin metamorfikler kapsamında yer alan kristalize kireçtaşı, mermer ve kuvarsitlerin ana rezervuarı oluşturduğu,

3) Kırşehir Masifi üzerine uyumsuzlukla oturan kireçtaşı-kumtaşı-konglomera-marn birimine (e) ait kireçtaşı (nümmünitli)-kumtaşı ve konglomeraların da önemli rezervuar kaya özelliği taşıdığı,

4) Kireçtaşı-kumtaşı-konglomera-marn biriminin (e) marnlardan oluşan düzeyleri ile marn-kil-konglomera-jips biriminin (ol) marn ve kil düzeylerinin örtü kaya temsilcileri olduğu,

5) Yöre ve yakın çevresinde herhangi bir ısıtıcı kaya mevcut olmadığı dikkate alındığında, derinlere kadar inen faylar, açılma çatlakları yoluyla ısı iletiminin olabileceği,

6) Gravite değerlendirmelerine göre Akpınar Köyü ve Bağlıca Vadisi dolaylarında temel yükselimlerinin bulunduğu,

7) Manyetik çalışmalar sonucunda yörede bir manyetik sokulumun temsilcisi olabilecek bir anomalinin saptanamadığı,

8) Özdirenç çalışmalarına göre Bağlıca Vadisi'nde bir yükselimin yer aldığı ve bunun 350-550 m derinliklerde yerleştiği,

9) Yöredeki sıcak akışkanın kireçlendirici özelliğinin bulunduğu,

10) Jeotermometre uygulamaları açısından alandan 105°-126°C arasında rezervuar sıcaklığının beklenebileceği,

11) Üretilen jeotermal akışkanda bor konsantrasyonu düşük olmak-

la beraber, toplam mineralizasyon ve spesifik kondüktivite değerlerinin yüksek olması nedeniyle geri basım sondajlarına gereksinim olabileceği,

12) Düşünülen spekülâtif jeotermal modele göre derinlerde yerleşmiş bulunan pekişmiş magma odasının ısıl gücün kaynağını oluşturduğunu, bu ısıl gücün derinlere inen faylar veya açılma çatlakları aracılığı ile rezervuar kayalarda depolanmış bulunan meteorik suların ısınmasını ve mineral konsantrasyonu bakımından zenginleşmesini sağlamış olabileceği,

13) Yöredeki düşey potansiyelin ortaya çıkarılabilmesi için 600 ± 100 m derinlikli sondaj veya sondajların açılması gerekeceği,

14) Düşey potansiyele ilişkin çalışmalardan olumlu sonuç alınması halinde, alanın yatay sınırlarının belirlenmesi amacıyla sığ ve derin sondaj kuyularının açılmasının gerekeceği anlaşılmıştır.

15) Açılacak kuyular sonucunda düşey ve yatay sınırları belirlenecek olan alanda, üretim testleri yapılması önem taşımaktadır. Maksimum ve ortalama üretim debisi, üretimin düşüş koşulları tüm kuyular beraber test edilerek belirlenmelidir,

16) Alandaki üretim potansiyeli ortaya çıkarıldıktan sonra kullanma-koruma dengeleri de dikkate alınarak ısıtma-soğutma yapılabilirlik projeleri hazırlanmalıdır,

17) Üretilen Jeotermal akışkan Kozaklı İlçesi'nin ısıtılması için uygun niteliklere sahiptir. Yeterli üretimin elde edilmesi halinde Kozaklı İlçesi'nin yanısıra Karasenir-Kanlıca-Fakılı ve Topaklı gibi çevre yerleşim merkezlerinin de jeotermal akışkanla ısıtılması mümkün görülmektedir,

18) Gerek akışkanın özellikleri, gerekse arazi yapısının uygunluğu nedeniyle Kozaklı Sera Köyü kapsamında örtü altı tarımı ve tarla balıkçılığı uygulaması gerçekleştirilebilir. Elde edilecek ürün için pazar olanakları mevcuttur. Çünkü yöre hem Yozgat-Kayseri-Kırşehir-Nevşehir gibi önemli il merkezlerine uygun karayolu ağı ile bağlı, hem de Ankara-Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars Demiryolu'nun sadece 5.5 km uzağında bulunmaktadır,

19) Kış şartlarının ağır geçtiği yörede yollarda ve ara sokaklardaki kar eritmeciliğinin yanısıra sebze ve meyve konserveçiliği, üzüm kurutmacılığı gibi endüstriyel kullanımda da jeotermal kaynak kullanım olanakları araştırılmalıdır,

20) Yüzeyleyen sıcak akışkanda belirlenen en olumsuzluk kabuklaşma sorunu olarak gözlenmemektedir. Söz konusu sorun inhibitör kullanımı, kuyu içi ve kuyu başı eşanjör sisteminin devreye sokulması ile giderilmektedir ve bu işlem yüksek bir maliyet de getirmemektedir,

21) Toplam mineralizasyon ve spesifik kondüktiviteye ilişkin olum-

suzluğun ise geri basım kuyuları ile önlenmesi mümkün görülmektedir,

22) Yukarıdaki hususlar dikkate alındığında Kozaklı Jeotermal Alanı akışkan potansiyeli açısından Orta Anadolu Bölgesi için yararlanılması gereken bir alan olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılacak sondaj çalışmalarından sonra, alanın jeotermal potansiyelinin belirlenmesi ve alınacak sonucun ışığında, yörenin koruma-kullanma dengeleri de gözetilerek “Termal Kent” ve “Seraköy” olarak geliştirilmesinin önemli yararlar sağlayacaktır.

23) Mevcut termal tesis ve seraların kullandığı jeotermal kuyularda sarfiyat belli değildir. Bu nedenle kuyulara sayaç takılarak su seviyelerinin düzenli aralıklarla ölçülmesinde Kozaklı jeotermal sahasının kapasitesinin belirlenmesine önemli katkıları olacaktır.

24) Merkezi ısıtma sistemi ve Bağyazıoğlu seranın dönüş sularının jeotermal sahaya reenjeksiyonun yapılması, jeotermal sahadaki su seviyesindeki düşüşü durdurduğu tespit edilmiştir. Ancak yeni termal otel inşaatları ve ilerde yapılacak tesisleri düşündüğümüzde, sahadaki kuyuların kapatılarak jeotermal su dağıtımının tek elden yapılması ve dönüş suyunun da reenjeksiyon yapılmasında yarar vardır.

KAYNAKLAR

- AKÜST, M. 2007. Sınırsız Enerjinin Sırrı. Alındığı tarih: 09.12.2012, Adres: <http://www.alternaturk.org/haber11.php>
- CANİK, B., ÇELİK, M. ve ARIGÜN, Z. 2000. Jeotermal Enerji. Ankara Üniversitesi Fen Bölümleri Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, No: 59, Ankara.
- CANİK, B. ve ÇÖREKÇİOĞLU, I. 1985. The formation of sinkholes (Obruk) between Karapınar and Kızören-Konya. Karst Water Resour IAHS Publication. 161:193-205.
- ÇELİK, M. ve AFŞİN, M. 1998. The role of hydrogeology in solution-subsidence development and its environmental impacts; a case-study for Sazlıca (Niğde, Turkey), Envirmental Geology.
- DAĞISTAN, H. 2011. Türkiye Jeotermal Kaynak Aramaları, Kullanımı ve Sürdürülebilirliğinin Sağlanması. Alındığı tarih: 20.03.2015, Adresi: http://www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi-bultenleri/2012_15/1.pdf
- DERELİ S. 2001. Rüzgâr Enerjisi, Tübitak Yayınları, Ankara,2001.
- ERİŞEN, B. ve ÖZGÜR, R. 1999. Kozaklı (Nevşehir) Alanının Jeotermal Enerji Olanaklarına İlişkin Değerlendirme Raporu, MTA Derleme Rapor No:10376.
- KARA, İ. 2009. Nevşehir-Kozaklı MTA-K4 Jeotermal Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporu, MTA Yayınları, Ankara.
- KOÇAK, A. 2007. Türkiye’de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli. Alındığı tarih: 15.03.2015, Adresi: http://www.emo.org.tr/ekler/e7b33fdea3a-dc80_ek.pdf
- KIRBAŞ, İ., ÇİFTÇİ, B. ve İŞYARLAR, B. 2013. Burdur İli Güneşlenme Oranı ve Güneş Enerjisi Potansiyeli, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4 (2): 20-23, Burdur.
- MTA.1999. Kozaklı (Nevşehir) Alanı’nın Jeotermal Enerji Olanaklarına İlişkin Değerlendirme Raporu , MTA Yayınları, Ankara.
- MTA. 2012. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli. Alındığı tarih: 15.03.2015, Adresi:http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/enerji/index.php?i-d=jeotermal_potansiyel
- OZER, R. “Kozaklı (Nevşehir) Sahası Jeotermal Enerji Kapasitesinin Belirlenmesi” Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2015. (Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gürol YILDIRIM)
- PEKKAN, E. 2004. Konya kapalı havzasında karstik çöküntü yapıları olan obrukların oluşumunu etkileyen hidrojeokimyasal süreçlerin incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- T.C. RESMÎ GAZETE, 5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu. (26551), 13.06.2007,1.
- TÜRKER, E.A. ve YILDIZ, A. 2008. Termal ve Maden Suları Konferansı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayın No: 68, Sözkese Matbaacılık, Ankara.
- TÜRKYILMAZ, O. 2014. Türkiye Enerji Görünümü ve Geleceği, Ege Sanayicileri ve İşadamları Derneği (ESİAD), Şubat 2014. Alındığı tarih: 18.02.2015, Adresi: <http://esiad.org.tr/wp-content/uploads/2014/02/Oğuz-Türkyılmaz-Türkiyenin-Enerji-Görünümü-ve-Geleceği.pdf>.



BÖLÜM 13

FONKSİYONEL BİR BİLEŞEN: β-GLUKAN

Ali CİNGÖZ¹

Mehmet GÜLDANE²

1 Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Gıda Mühendisliği Bölümü 60150 TOKAT

*Sorumlu yazar: ali.cingoz@gop.edu.tr

2 Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Pamukova Meslek Yüksekokulu,
Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, SAKARYA,

A.C. ORCID ID: 0000-0003-0958-2679 M.G. ORCID ID 0000-0001-7321-
0496

1. Giriş

Beta glukan tahıl tanelerinden özellikle arpa ve yulaf ve bazı mantarlarda bulunan nişasta olmayan ve diyet lifi özelliğinde bir maddedir (Wood, 1993; Izydorczyk ve ark. 2003; Buckeridge ve ark. 2004). β -Glukan yapısal olarak β -(1 $\rightarrow$ 3) ve β -(1 $\rightarrow$ 4) bağlarını içeren uzun düz zincirli glukoz moleküllerinden oluşmakta (Staudge ve ark. 1983; Ayhan, 2005) ve selülozdan farklı olarak zincirinde β -(1 $\rightarrow$ 3) bağları bulundurmaktadır. Bu bağlar β -glukanın stabilitesini ve agregat formundaki afinitesini etkilemektedir. Bu etkinin de β -glukanın çözünürlüğünü üzerinde önemli rol oynadığı öngörülmektedir (Bohme ve Kulicke, 1999; Cui ve Wood, 1999).

Yapılan birçok çalışma β -glukanın sağlık açısından önemli bir fonksiyonel gıda bileşeni olduğunu ispatlamaktadır. β -glukanın kolon kanseri riskini azaltma, kabızlığı önleme, insulin direncini önleme, kan kolesterol düzeyini ayarlayarak kronik kalp hastalıkları riskini azaltma gibi sağlık açısından önemli etkileri vardır. Amerika Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) β -glukanın yulaf, arpa ve bunlardan elde edilen ürünlerde olduğunu ve sağlık açısından günlük tüketim miktarlarını 3 g/gün veya 0-75 g/porsiyon çözünür lif olması gerektiğini ifade etmektedir (FDA, 1996). Bu çalışmanın amacı β -glukanın yapısal ve reolojik özellikleri, elde edildikleri kaynaklar, ekstraksiyon ve saflaştırma metodları hakkında bilgi vermektir. Ayrıca çeşitli gıda sistemleri içinde kullanımı ile sağlık açısından önemi tartışılacaktır.

2. β -Glukan Kaynakları ve Yapıları

Bitkisel ve mikrobiyal birçok farklı kaynaklardan elde edilebilen β -glukan, en sık ekmek mayası olarak bilinen *Saccharomyces cerevisiae*'in hücre duvarlarından, arpa ve yulaf gibi bazı tahılların kepeklerinden ve az miktarda pirinç ve buğday kepeğinden ekstrakte edilmektedir. İnsan beslenmesinde kullanılan yulaf, arpa, pirinç ve buğday gibi tahıllar arasında miktarsal olarak en fazla β -glukanı yulaf içermektedir. Bunların yanında β -glukanlar çavdar, bazı yosun türleri, bakteri ve bazı mantar türlerinde (reishi, shiitake, chaga ve maitake gibi) de bulunmaktadır. Tahıl β -glukanları lineer homopolisakkaritler olup genellikle glukopiranosil ünitelerinin β (1-3) ve β (1-4) bağları ile selüloz zincirlerine bağlanması sonucu meydana gelmektedir. β -Glukanların yapısal karakteristiklerini belirleyen en önemli unsur tahılların farklı botanik orjinlerde olmasıdır. Ayrıca molekül ağırlıklarının ve polisakkarit zinciri üzerindeki β (1-3) ve β (1-4) bağlarının farklı oranlarda olması da yapısal karakteristikleri etkilemektedir. Çizelge 1'de bazı tahıllara ait β -glukanlarının moleküler yapı özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 1. Bazı tahıl β -Glukanlarının moleküler yapı özellikleri

Kaynak	DP3*	DP4*	DP $\geq$ 5*	DP3/DP4	(1-4)(1-3)	REFERANS
YULAF	55.0-58.1	34.2-36.0	7.7-8.9	2.1-2.3	2.4	Doublier ve Wood, 1995
	55.6-55.9	33.6-34.4	7.1-7.5	1.6-1.7	2.4	Colleoni-Sirghie ve ark. 2003
	54.2-60.9	33.8-36.7	3.6-9.7	2.0-2.3	2.4-2.8	Lazaridou ve ark. 2003
	54.6-56.8	35.3-36.3	7.7-9.2	2.0-2.1	2.3-2.6	Skendi ve ark. 2003
ARPA	57.7-62.4	29.4-32.9	7.7-9.5	2.3-2.8	2.2-2.7	Irakli ve ark. 2004
	62.0-63.3	27.5-29.2	8.8-9.1	2.8-3.0	---	Lazaridou ve ark. 2004
	62.0-69.3	26.2-29.1	4.5-8.9	2.8-3.5	2.1-2.8	Vaikousi ve ark. 2004
	59.4-64.3	24.8-31.0	8.2-17.5	2.5-3.2	1.9-2.2	Storsley ve ark. 2003
PİRİNÇ	--	--	--	2.7-3.0	--	Wood ve ark. 1991
	--	--	--	1.9-2.3	2.3	Roubrocks ve ark. 2000
BUĞDAY	72.3	21.0	6.7	4.5	--	Li ve ark. 2006
	67.1	24.2	8.7	3.7	--	Lazaridou ve ark. 2004
DP3* 3-O- β-Sellobiyoz-D-Glukoz,						
DP4* 3-O- β-Sellotrioz-D-Glukoz,						
DP$\geq$5* üçten fazla 4-O bağlı glukoz kahntısı içeren sellodekstrin benzeri oligosakkaritler						

3. β -Glukanın Elde Edilmesi

β -Glukanlar'ın elde edilmesi ve saflaştırılmasında çok farklı teknikler kullanılmakla birlikte en çok tercih edilen metodlar sıcak su ekstraksiyonu (Smiderle ve ark. 2006; Ahmad ve ark. 2009), solvent ekstraksiyonu (Bhatti, 1993), enzimatik ekstraksiyon (Irakli ve ark. 2004; Ahmad ve ark. 2010) ve alkali ekstraksiyondur (Wei ve ark. 2006). Ayrıca membran filtrasyon ve basınçlı sıcak su ekstraksiyon (Benito-Roman ve ark. 2013), ultrafiltrasyon (Patsioura ve ark. 2011) ve dondurma çözündürme (Ruthes ve ark. 2015) gibi teknikleri de günümüzde kullanılmaya başlanmıştır. Çizelge 2'de farklı kaynaklardan elde edilen β -Glukan'ların ekstraksiyon ve saflaştırma teknikleri gösterilmiştir.

β -Glukanlar'ın saflaştırılmasında birçok metot kullanılmakla birlikte dondurma-çözündürme işlemi verimli ve basit bir tekniktir. Bu uygulamada konsantre sulu solüsyondaki ham ekstrakt dondurulur ve ardından oda sıcaklığında çözündürülür bu işlem birkaç kez yapılmaktadır. Son aşamada çökelti santrifürlenerek β -Glukanlar elde edilmektedir (Ruthens ve ark. 2015). Diğer bir saflaştırma yöntemide solvent uygulaması olup bu teknikte örnek 2-3 kat soğuk etanol ile muamele edilmektedir. Bu çözücü karışımındaki polisakkaritleri kurutmakta ve yüksek molekül ağırlıklı molekülleri düşük molekül ağırlıklı olanlardan ayırarak çökelmelerini sağlamaktadır.

tadır. Solvent uygulmasında dimetil sülfoksit ve NaOH ile de muamele edilmektedir (Smiderle ve ark. 2013). Saf β -Glukan elde etmenin bir diğer yoluda kolon fraksiyonudur. Ham ekstraktlar farklı moleköl boyutlarına sahip birden fazla polisakkarit içerebilirler. Moleköl eleme kromatografisi bu kapsamda en çok kullanılan yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Ayrıca iyon değışim kromatografisinde özellikle nötr polisakkaritleri yüklü olanlardan ayırmak için kullanılmaktadır (Xu ve ark. 2018).

Çizelge 2. Farklı kaynaklardan β -glukan ekstraksiyon ve saflaştırma teknikleri (Ahmad ve ark. 2012)

Ekstraksiyon İşlemi	Saflaştırma	Kaynak	Referans
Farklı sıcaklıklarda su ile ekstraksiyon	Amonyum sülfat	Yulaf aleuronu	Kjell ve ark. 1988
Yüksek sıcaklık	Asit	Yulaf	Wood ve ark. 1991
Alkali ekstraksiyon	Alkali	Yulaf kepeğı ve arpa	Bhatty, 1995
Su ekstraksiyon	Su	<i>Boletus erythropus</i>	Chauveau ve ark. 1996
Sıcak su ekstraksiyonu	Asit ve enzimatik prosesler	Arpa	Burkus ve Temelli, 2000
Alkali ekstraksiyon	Asit ve enzimatik uygulamalar	Yulaf	Cui ve ark. 2000
Sıcak su, soğuk NaOH ve ardından sıcak NaOH ile tekrar eden ekstraksiyon	Etanol	<i>Sparassis crispa</i>	Ohno ve ark. 2000
Alkali	Sıcak asetik asit	<i>Candida boidinii</i>	Santos ve ark. 2000
Sıcak su ekstraksiyonu	Etanol	<i>Agaricus blazei</i>	Dong ve ark. 2002
Sıcak alkali ekstraksiyon	Alkali	<i>Ascomycetous lichen</i> ve <i>Teloschistes flavicans</i>	Reis ve ark. 2002
Asetik asit ve sodyum hipoklorit	Dimethylsulfoxide (DMSO)	<i>Candida albicans</i>	Miura ve ark. 2003
Sıcak sıvı ekstraksiyon	%2'lik KOH çözeltisi	<i>Ramalina dendriscoides</i> , <i>R. fraxinea</i> , <i>R. Gracilis</i> , <i>R. peruviana</i> .	Cordeiro ve ark. 2003
Sıcak su ekstraksiyon	Çöktürme ve filtrasyon	<i>Phellinus linteus</i>	Gi-Young ve ark. 2003
Enzimatik ekstraksiyon	Tekrarlı santrifüj	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Freimund ve ark. 2003
Su, Ba(OH)₂, Ba(OH) 2/ H₂O ve NaOH ile sıralı ekstraksiyon	Santrifüj	Arpa	Storsley ve ark. 2003
1 N NaOH ile alkali ekstraksiyon	90°C'de alkali saflaştırma	Bira mayası	Suphantharika ve ark. 2003
Alkali ekstraksiyon	0.5 M Asetik asit ve Zymolyase	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Sugawara ve ark. 2004
Sodyum hipoklorit	Dimetilsülfoksit	<i>Candida albicans</i>	Ken-ichi ve ark. 2004
Su ekstraksiyon	Sıcak su	<i>Astraeus hygrometricus</i>	Chakraborty ve ark. 2004
4 M KOH	Alkali uygulaması	<i>Rhynchelytrum repens</i> yaprak ve gövdesinde	De Paula ve ark. 2005

Tekrarlı sıcak su ekstraksiyonu	Sıcak su	<i>Agaricus blazei</i> Murill	Kim ve White, 2010
Sıvı ekstraksiyon	Sıvı sodyum klorit çözeltisi	<i>Pleurotus florida</i>	Rout ve ark. 2005
Sıcak su ve 0,04 M NaOH	İyon değiştirici	Çin otu (<i>Solanum lyratum</i> Thunb)	Yalın ve ark. 2005
225°C'de 5 dk buhar	Su	<i>Sparassis crispa</i>	Akihiro ve ark. 2006
Alkali ekstraksiyon	Amonyum sülfat	Buğday kepeği	Wei ve ark. 2006
Etanol uygulaması ve enzimatik+alkali ekstraksiyon	Enzimatik saflaştırma ve santrifüj	Buğday kepeği tozu	Wei ve ark. 2006
Sıcak su ile ekstraksiyon	Dondurma ve çözme	<i>Pleurotus eryngii</i> ve <i>Pleurotus ostreatoroseus</i>	Elaine ve ark. 2006
Sıcak alkali ekstraksiyon	Sıcak su	<i>Termitomyces eurhizus</i>	Chakraborty ve ark. 2006
Su ekstraksiyon	İyon değiştirme	<i>Angelica sinensis</i> kökleri	Cao ve ark. 2006
Enzim ve kontrollü sıcaklık uygulaması	Çeşitli şartlar	Yulaf kepeği	İmmerstrand ve ark. 2009

Yapıda bulunan enzimler, ekstrakte edilen β -glukanın geri kazanımını ve özelliklerini etkilemektedir. Tahıl tanelerinde çimlenme boyunca gelişen endo- β -(1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4) glukanaz enzimi yapıdaki beta glukan bileşenin hidrolizden sorumlu olan temel enzimdir (Hrmova ve ark. 1997). Endo-ksilanaz, arabinofuranosidaz, ksilanasetilesteraz, and feruloyl esteraz gibi diğer birçok enzimde farklı kaynaklardan β -glukanın ekstraksiyonunda rol oynamaktadırlar (Broecker ve ark. 2018).

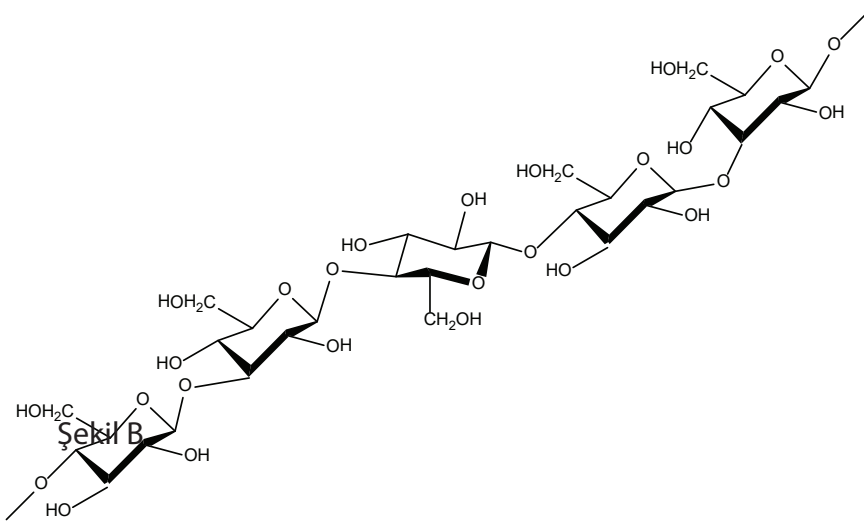
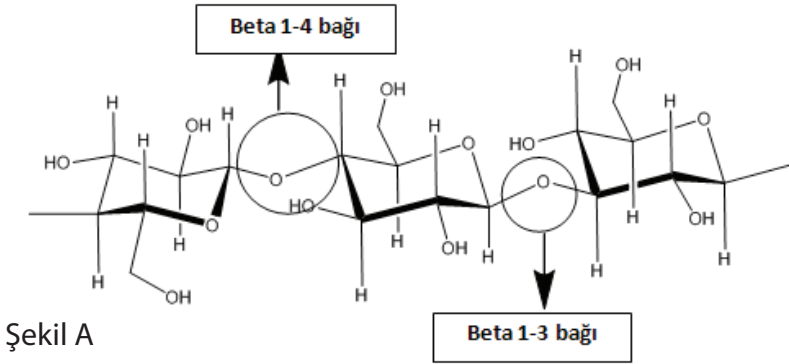
İki endo-ksilanaz preparatının glukanın ekstraksiyonunda nispeten daha hızlı olduğu rapor edilse de en fazla glukan ekstraksiyonu endo- β -glukanaz enziminde tespit edilmiştir. Sadece su ile yapılan ekstraksiyonlarda glukanın %90'dan fazlası elde edilmektedir (Kanauchi ve Bamforth, 1986). Ayrıca, ksilan ile ilgili asetil gruplarını hidrolize eden ve ferulik asitteki ester bağlarını kıran glukan ekstraksiyon yeteneğine sahip iki esterazın düşük seviyelerde beta glukanı çözünür hale geçirdiği belirlenmiştir (Ahluwalia ve Fry, 1986). Ekstraksiyon işlemi boyunca arabinoksilanın kayda değer bir bölümü β -glukan ile beraber ekstrakte edilmektedir.

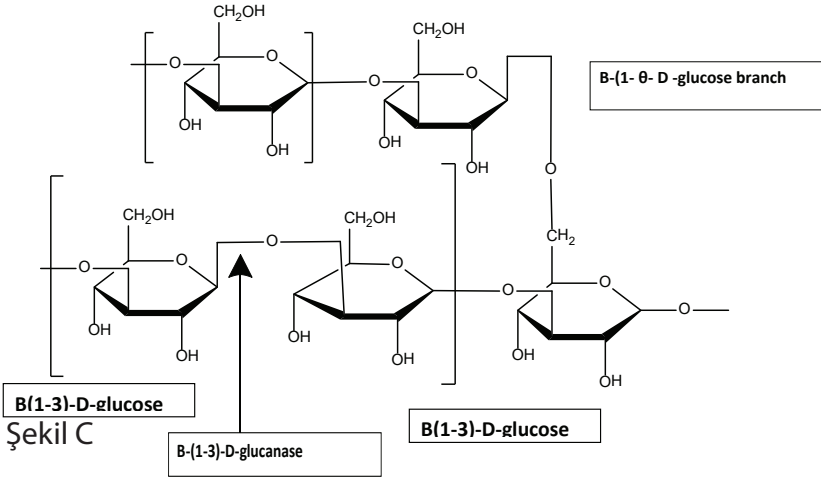
4. β -Glukanın Fiziksel ve Reolojik Özellikleri

β -Glukan arpa ve yulaf gibi tahıl tanelerinin hücre duvarlarında baskın olarak bulunan nişasta olmayan bir polisakarittir (Wood, 1993; Izydorczyk ve ark. 2003; Buckeridge ve ark. 2004). Tahıl tanelerinde β -Glukan yapısal olarak β -(1 $\rightarrow$ 3) ve β -(1 $\rightarrow$ 4) bağlarını içeren uzun düz zincirli glukoz moleküllerini içermektedir. Fakat bu bağlar düzenli ve tekrarlanan bir yapıda değildir (Staudte ve ark. 1983; Ayhan, 2005). Bu yüzden ekmek mayasındaki β -Glukanlar β -(1 $\rightarrow$ 3) ve (1 $\rightarrow$ 6) bağlarını içeren farklı tiplerde bağlara sahiptir (Gardiner, 2004). Tahıllarda β -Glukan (1 $\rightarrow$ 4) bağları 2'li ya da 4'lü gruplar halinde bulunurken (1 $\rightarrow$ 3) bağları tekli olarak

meydana gelmektedir. Buda β -(1 $\rightarrow$ 3) bağ yapılı sellotetroz ve sellotrioz yapılarının tahıl tanesinde daha baskın hale gelmesine neden olmaktadır (Woodward ve ark. 1983; Wood ve ark. 1994). Yapının geri kalanı ise (1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glikopiranozil birimlerinden meydana gelmektedir (Wood ve ark. 1994). Farklı kaynaklardan elde edilen β -Glukanların yapısal özellikleri Şekil 1’de gösterilmektedir.

β -glukan yapısını selülozdan ayıran tek fark zincirdeki β -(1 $\rightarrow$ 3) bağlarıdır. Bu bağlar β -glukanın stabilitesini ve agregat formundaki afinitesini etkilediği bu etkinin de β -glukanın çözünürlüğünü üzerinde önemli rol oynadığı öngörülmektedir. β -(1 $\rightarrow$ 4) bağlanmasının uzun zincirlerdeki bitişik cellotriosyl kalıntılarına kıyasla çözünürlük üzerinde daha az etkiye sahip olduğu öngörülmektedir. β (1 $\rightarrow$ 3) bağlı cellotriosyl ünitelerinin yüksek seviyelerde olması çözünürlüğü azaltırken jel eğilimini arttırmaktadır (Bohme ve Kulicke, 1999; Cui ve Wood, 2000).





Şekil 1. Farklı kaynaklardan elde edilen β -Glukanların yapısal özellikleri (A: Yulaf beta glukani, B: Arpa beta glukani, C: *S. Cerevisiae* beta glukani)

Arpa tanesinde beta glukanın %3-11, yulafta %5-11, pirinçte %1-3,5 arasında olduğu tespit edilmiştir (Han ve Sachwarz, 1996; Jadhav ve ark. 1998; Lehtonen ve Aikasalo, 1987). Bu oran genetik ve çevresel faktörlerden etkilenir. β -glukan açısından kıyaslandığında mumsu ve yüksek amilozlu genotipler normal genotiplere göre daha yüksek oranlarda β -glukan içermektedirler (Anker-Nilssen ve ark. 2006). Temel yapıda, 3-*O*- β -D-cellobiosyl-D-glucose (trisakkarit ünitesi) ve 3-*O*- β -D-cellobiosyl-D-glucose (tetrasakkarit ünitesi) gibi β -D-glukanlar tekrarlar halinde bulunurlar (Iraklı ve ark. 2004).

Beta glukanın molekül ağırlıkları kaynağına ve elde edilme yöntemlerine göre değişmektedir. Molekül ağırlıkları 0,82 ile 1000 kDa arasında değişmektedir (Hakkola ve ark. 2021; Mio ve ark. 2020; Sun ve ark. 2020). β -glukan ve benzer polisakkaritlerin molekül boyutlarının ve ağırlıklarının belirlenmesinde en sık kullanılan yöntem jel filtrasyon kromatografisi yöntemidir (Lazaridou ve ark. 2003). Bu teknik refraktif indeks dedektörü, çoklu laser tarama gibi dedektörler ile birleştirilerek kullanılmaktadır (Iraklı ve ark. 2004; Wei ve ark. 2006). Calcofluor metodu β -glukanın molekül ağırlığının belirlenmesinde kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu metodda polisakkaritler ile Calcofluor ile spesifik bağlar yapmakta ve sonuçta glukana-calcofluor kompleksi meydana gelmektedir. Oluşan bu kompleks floresans yoğunluğunu arttırmakta ve floresans dedektöründe bu artış tespit edilebilmektedir (Trogh ve ark. 2004; Wood, 1984). Bu teknik ilk

olarak β -glukanın kantitatif analizlerinde kullanılmıştır (Wood ve Weisz, 1984; Mekis ve ark. 1987; Jorgensen, 1988). Günümüzde ise jel filtrasyon kromatografisi ile beraber molekül ağırlığının tespitinde kullanılmaktadır.

β -glukan ve diğer polisakkaritlerin viskozitesi polisakkaritin konsantrasyonuna, çözünürlüğüne ve molekül ağırlığına bağlıdır. β -glukan ilave edilen ürünlerde viskoziteye etki eden birçok faktör vardır. Yapılan bir çalışmaya göre arpa unlarında viskozite değişikliklerine endojen enzimlerin neden olduğu öngörülmektedir (Izydorczyk ve Biliaderis, 2000). Arpa β -glukanının degradasyonundan glukanohidrolazlar sorumludur (Woodward ve ark. 1983). Hidrolizasyondan sorumlu temel enzim endo- β -(1 $\rightarrow$ 4)-glukanazdır (Hrmova ve ark. 1997). Tahıllardaki bu enzimler ısı (90°C de 2 saat) ve etanol uygulaması sonucu inaktif gelmektedir. Özellikle ısı uygulaması unların viskozite profillerini daha stabil bir hale getirmek için kullanılmaktadır (Izydorczyk ve Biliaderis, 2000).

Beta glukanların molekül ağırlıklarına paralel olarak jellerin erime noktasıda değişmektedir (Wei ve ark. 2006). Ayrıca polisakkaritlerin jelleşme süresi ve molekül ağırlıkları arasında da bir ilişki vardır (Lazaridou ve ark. 2003; Vaikousi ve ark. 2004). Yüksek molekül ağırlıklı β -glukan ($2,39 \times 10^5$) jelinin 200 saatlik depolama sürecinden sonra bile yapısının bozulmadığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan düşük molekül ağırlığına sahip β -glukanlar jel yapılarını uzun süre muhafaza edemezler (Doublar ve Wood, 1995). Viskozite özellikleride trioz/tetroz oranından, selüloz benzeri parçalardan ve molekül ağırlıklarından etkilenmektedir (Lazaridou ve Biliadersi, 2004; Vaikousi ve ark. 2004).

5. β -Glukanın Sağlık Üzerine Etkisi

Yapılan birçok çalışma β -glukanın çeşitli hastalık ve metabolik bozukluklarda ki olumlu etkileri olduğunu göstermiştir. β -glukanın kolon kanseri riskini azalttığı (Dongowski ve ark. 2002), kabızlığın engellediği (Odes ve ark. 1993; Valle-Jones, 1985), glisemik indeksi düşürdüğü (Cavallero ve ark. 2002; Jenkins ve ark. 2002; Granfeldt ve ark. 2008), tokluk hissi oluşturarak kanda glukoz artışını düzenlediği ve böylelikle insülin yükselmesini durdurduğu (Jenkins ve ark. 2002; Hallfrisch ve ark. 2003; Li ve ark. 2003), insülin direncini önlediği (Brennan ve Cleary, 2007; Hlebowicz ve ark. 2008), kan kolesterol düzeyini düzenlediği (Li ve ark. 2003; Delaney ve ark. 2003; Kang ve ark. 2003; Kerckhoffs ve ark. 2003; Yang ve ark. 2003; Smith ve ark. 2004), kronik kalp hastalıklarından koruduğu (Jinshui ve ark. 2002), kısa zincirli yağ asitlerinin üretimine katkı sağladığı (Wisker ve ark. 2000), karaciğer yağlanmasını azalttığı (Karaduman ve ark. 2010) ve yararlı bağırsak mikroflorasının gelişimine katkı sağladığı (Crittenden ve ark. 2002; Tungland, 2003) tespit edilmiştir.

β -glukan ve diğer diyet liflerinin kronik kalp hastalıkları, diyabet,

kanser ve kolon fonksiyon bozukluğu gibi rahatsızlıkların önlenmesi ya da yavaşlatılmasında rol oynadığı bilimsel kanıtlar ile ortaya konmaktadır (Liu ve ark. 2000; Meyer ve ark. 2000; Truswell, 2002; Sudha ve ark. 2007). β -glukan içeren diyet liflerinin insan vücudu üzerindeki etkilerini inceleyen bir araştırmada, günlük tüketilen 3 gram çözünür diyet lifinin kolesterol seviyesini yüksek kolestrollü insanlarda 0,41 mmol/L, kolesterol düzeyi normal olan insanlarda ise 0.13 mmol/L düzeyinde azalttığı tespit edilmiştir (Kerckhoffs ve ark. 2003). Benzer şekilde 2.1 g β -glukan içeren günlük diyetin toplam kolestrol düzeyini %9.5 oranında azalttığı görülmüştür (Behall ve ark. 1997). Yapılan çalışmalar günlük alınan 50 gr karbonhidrat başına 1 g β -glukan alınmasının glisemik indeks değerini 4 kat azalttığını göstermektedir (Jenkins ve ark. 2002). FDA günlük 3 g β -glukan tüketilmesinin insan sağlığı açısından olumlu etkileri olduğunu bildirmektedir. Yulaf kepeği ve yulaf unu ile yapılan bir çalışmada yulaf kepeğinin daha fazla β -glukan içermesi nedeni ile yulaf ununa oranla LDL kolesterol düzeyini daha çok azalttığı tespit edilmiştir (Davidson ve ark. 1991).

Farklı β -glukan kaynakları kıyaslandığında arpa β -glukanının glukoz ve insulini düzenleme bakımından yulafa göre daha etkili olduğu bulunmuştur (Drzikova ve ark. 2005; Granfeldt ve ark. 2008). Yulaftan elde edilen β -glukan ekstratlarının kolesterol düşürme etkisi olduğu ve safra asidi bağlama mekanizması bulunduğu tespit edilmiştir. Yulaftan izole edilen β -glukan, aminasyon (Liu ve ark. 2010) ve oksidasyon (Park ve ark. 2009) yoluyla yüksek safra asidi bağlama kapasitesine sahip olmaktadır. Bu özelliği ile β -glukan moleküllerinin kolesterolü uzaklaştırma özelliğine sahip olduğu görülmektedir (Shin ve ark. 2005; Liu ve ark. 2010).

Arpa, yulaf ve çavdar gibi tahıl ürünlerinde bulunan β -glukanın malyalarda tespit edilen β -glukana göre toplam kolesterol düzeyini daha fazla düşürdüğü gözlemlenmiştir (Genç ve ark. 2001; Özdemir ve Genç, 2001). Diyabetik hastaların günlük diyetlerinde arpa β -glukanı tüketmeleri ile hastaların insulin direncinin önlendiği tespit edilmiştir (Ostman ve ark. 2006; Brennan ve Cleary, 2007; Hlebowicz ve ark. 2008). Diyetlerde bulunan β -glukan insulin reseptörlerinin serin fosforilasyonunu azaltarak hepatik insulini yükseltmiştir (Choi ve ark. 2010). β -1,3-D-Glukan enzim olmayan antioksidanların başında gelmektedir (Kayalı ve ark. 2005). Bu özelliği sayesinde serbest radikal süpürücü olarak görev yapmaktadır. Makrofajları radyasyon, toksinler, ağır metaller ve serbest radikallerin oluşturabileceği hasarlara karşı metabolizmayı korumaktadır (Reiter, 1997).

6. β -Glukanın Gıda Sanayinde Kullanımı

Koyulaştırma, stabilize etme, emülsifiye etme ve jel oluşturma gibi fonksiyonel özelliklere sahip olan β -glukanın gıda sanayinde çok farklı

kullanım alanları mevcuttur (Malkki ve Virtanen, 2001). Bu özellikleri ile β -glukanlar çorbalar, soslar, içecekler ve diğer birçok gıda ürününde farklı amaçlarla kullanılmaktadır (Dawkins ve ark. 1995). Son yıllarda yapılan araştırmalar β -glukanın farklı gıda sistemlerinde kullanılabilme yolları üzerine odaklanmıştır. Bu bağlamda yapılan çalışmalara göre öncelikle farklı kaynaklardan elde edilen ve pazarlanmaya başlanan β -glukanlar elde edildikleri kaynaklara göre isimlendirilmiştir. Buna göre yulaftan elde edilen β -glukan ekstraktlarına “oatrim”, arpadan elde edilene “NutrimXe” ve pirinçten elde edilene “Ricetrim” ismi verilmiştir (Inglett ve ark. 2004).

Arpa β -glukanı özellikle içecek ürünlerinde ağız hissini iyileştirmekte ve aynı zamanda içecekleri mükemmel birer diyet lifi kaynağı yapmaktadır. Sahip olduğu bu özelliği ile β -glukan geleneksel içeceklerde aljinat, pektin, ksantan gam ve karboksimetil selülozun yerine koyulaştırıcı olarak kullanılabilinmektedir (Giese, 1992). β -glukan ve arabinoksilan ilave edilmiş unlardan yapılan ekmeklerde hem hacim artışı sağlanmış hemde bileşimdeki çözünür diyet lif oranı yükseltilmiştir (Trough ve ark. 2004; Ahmad ve ark. 2008). Ayrıca ekmeklerin içyapısında da daha homojen bir yapı elde edilmiştir (Lazaridou ve ark. 2007). Arpa ve yulaf β -glukanı ilave edilen kek hamurunda reolojik ve fiziksel özelliklerin iyileştiği rapor edilmiştir (Kalinga ve Mishra, 2009). Başka bir çalışmada ise %2,5 ve %5 oranlarında arpadan saflaştırılan β -glukan ile zenginleştirilen ekmeklerin bazı özellikleri *in vitro* koşullarda tespit edilmiştir. Buna göre ekmekte ki β -glukan miktarının sindirim sürecinde nişastanın parçalanma oranını azalttığı ve bu sayede nişastanın sindirilmeden vücuttan atıldığı belirlenmiştir (Ostman ve ark. 2006). Yüksek lifli diyetler ve düşük glisemik indekse sahip β -glukan ekme ve un sanayinde koyulaştırıcı, vizkoziteyi arttırıcı ve reolojik özellikleri geliştirici ajan olarak, yağ tutucu veya diyet lifi kaynağı şeklinde kullanılmaktadır (Andersson ve ark. 2009). Ekmeğe ilave edilen β -glukanın nişastanın parçalanmasını yavaşlattığı, dolayısıyla hiperglisemik ve hiperinsülinemik koşulları azalttığı saptanmıştır (Thondre ve Henry, 2009). Unlara β -glukan ilave edilmesi ekmeğin; fizikokimyasal (Cavallero ve ark. 2002), viskoelastik (Skendi ve ark. 2010), reolojik ve duyuşal özelliklerini (Flander ve ark. 2007; Skendi ve ark. 2010) geliştirmektedir.

β -glukan kullanımı sadece tahıl bazlı ürünler ile sınırlı olmamakla birlikte içeceklerde (Lyly ve ark. 2003; Temelli ve ark. 2004) ve süt ürünlerinde (Konuklar ve ark. 2004) uygulama alanı bulunmaktadır. Ayrıca düşük yağ oranına sahip dondurma ve yoğurt üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır (Brennan ve ark. 2002). Ayrıca düşük yağlı lor peynirinde jelatinleşme ve reolojik özellikleri geliştirdiği tespit edilmiştir (Tudorica ve ark. 2004). Gıda ürünlerinin bileşimine peynir altı suyu proteini ile β -glukanın birlikte eklenmesi diyetin zenginleşmesine ve bazı hastalıkların önlenmesine

yardımcı olur (Temelli ve ark. 2004). Ek olarak çorbalarda, soslarda kıvam arttırıcı olarak, muhallebi ve pudinglerde ve keklerde farklı amaçlarla β -glukan kullanılmaktadır (Lyly ve ark. 2003; (Lyly ve ark. 2007).

7. Sonuç

β -glukan, daha sağlıklı ürünler elde etmek amaçlı kullanılan değerli fonksiyonel bir bileşendir. Çeşitli gıda sistemlerinde fizikokimyasal özellikleri iyileştirmek amacıyla kullanım olanakları mevcuttur. Ekstraksiyon şartları β -glukanın kalitesini, miktarını, molekül ağırlığını, vizkozitesini ve diğer fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir. Bu sebepten ileride yapılacak olan araştırmalar yeni ekstraksiyon tekniklerinin tanımlanması ve geliştirilmesi üzerine odaklanmalıdır. Gelecekte ki yeni ürün geliştirme ile ilgili araştırmalarda β -glukanlara yer verilmesi ile bu önemli fonksiyonel bileşenden tam anlamıyla faydalanabilinecektir. Ayrıca sağlık alanında bu bileşen ile ilgili keşfedilmemiş alanlara özel dikkat edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AACC, 2001. AACC Dietary Fiber Technical Committee. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*. 46, 112–126.
- Aastrup, S., 1979. The effect of rain on β -glucan content in barley grains. *Carlsberg Research Communications*. 44, 381–393.
- Ahluwalia, B., Fry, S. C. 1986. Barley endosperm cell walls contain a feruloylated arabinoxylan and a non-feruloylated β -glucan. *J. Cereal Sci.* 4, 287–295.
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Chatha, Z. A., Nawaz, H. 2008. Effect of barley β -glucan on sensory characteristics of bread. *Pak. J. Agric. Sci.* 45(1), 88–94.
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., Ahmed, Z. 2010. Extraction and characterization of β -d-glucan from oat for industrial utilization. *Int. J. Biological Macromolecules*. 46(3), 304–309.
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., Din, A. 2009. Physicochemical and functional properties of barley β -glucan as affected by different extraction procedures. *Int. J. Food Sci. and Tech.* 44, 181–187.
- Akihiro, K., Fumihisa, K., Godliving, M., Yoshitoshi, N. 2006. Development of optimal culture method of *Sparassis crispa* mycelia and a new extraction method of antineoplastic constituent. *Biochem. Eng. J.* 30(1), 109–113.
- Åman, P., Lena, R., Roger, A. 2004. Molecular weight distribution of beta-Glucan in oat-based foods. *Cereal Chem.* 81(3), 356–360.
- Andersson, R., Fransson, G., Tietjen, M., Aman, P. 2009. Content and molecular-weight distribution of dietary fiber components in whole-grain rye flour and bread. *J. Agric. Food Chem.* 57(5): 2004–2008.
- Anker-Nilssen, K., Færgestad, E. M., Sahlstrøm, S., Uhlen, A. K. 2006. Interaction between barley cultivars and growth temperature on starch degradation properties measured in vitro. *Animal Feed Sci. and Tech.* 130(1–2), 3–22.
- Ayhan, D. 2005. β -Glucan and mineral nutrient contents of cereals grown in Turkey. *Food Chem.* 90(4), 773–777.
- Bohme, N., Kulicke, W. M. 1999. Rheological studies of barley (1 $\rightarrow$ 3)(1 $\rightarrow$ 4)- β -glucan in concentrated solution: Investigation of the viscoelastic flow behavior in the sol-state. *Carbohydr. Res.* 315, 293–301.
- Behall, K. M., Schofield, D. J., Hallfrisch, J. 1997. Effect of beta glucan level in oat fiber extracts on blood lipids in men and women. *J. of the American College of Nutr.* 16, 46–51.
- Benito-Roman, O., Alonso, E. Cocero, M. J. 2013. Pressurized hot water extraction of B-glucans from waxy barley. *J. of Supercritical Fluids* 73 (2013), 120– 125.

- Bhatty, R. S. 1993. β -glucan content and viscosities of barleys and their roller milled flour and bran products. *Cereal Chem.* 69, 469–471.
- Bhatty, R. S. 1995. Laboratory and pilot plant extraction and purification of β -glucans from hull-less barley and oat brans. *J. of Cereal Sci.* 22(2), 163–167.
- Bohme, N., Kulicke, W. M. 1999. Rheological studies of barley (1 $\rightarrow$ 3)(1 $\rightarrow$ 4)- β -glucan in concentrated solution: Investigation of the viscoelastic flow behavior in the sol-state. *Carbohydr. Res.* 315: 293–301.
- Brennan, C. S., Cleary, L. J. 2007. Utilisation of Glucagel in the β -glucan enrichment of breads: A physicochemical and nutritional evaluation. *Food Res. Int.* 40(2), 291–296.
- Brennan, C. S., Tudorica, C. M., Kuri, V. 2002. Soluble and insoluble dietary fibers (non-starch polysaccharides) and their effects on food structure and nutrition. *Food Ind. J.* 5, 261–272.
- Broeker, J., Mechelke, M., Baudrex1, M., Mennerich, D., Hornburg, D., Mann, M., ... Zverlov, V. V. 2018. The hemicellulose-degrading enzyme system of the thermophilic bacterium *Clostridium stercorarium*: comparative characterisation and addition of new hemicellulolytic glycoside hydrolases. *Biotechnology for biofuels*, 11(1), 1-18.
- Buckeridge, M. S., Rayon, C., Urbanowicz, B., Tine, M. A. S., Carpita, N. C. 2004. Mixed linkage (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4) - β -D-glucans of grasses. *Cereal Chem.* 81, 115–127
- Burdurlu, H.S., Karadeniz, F., 2005. gıdalarda diyet lifinin önemi. *Gıda mühendisliği dergisi* 2005 (2),18-25.
- Burkus, Z., Temelli, F. 2000. Stabilization of emulsions and foams using barley beta-glucan. *Food Res. Int.* 33, 27–33.
- Cao, W., Li, X. Q., Liu, L., Wang, M., Fan, H. T., Li, C., Lv, Z., Wang, X., Mei, Q. 2006. Structural analysis of water-soluble glucans from the root of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. *Carbohydr Res.* 14(11), 1870–1877.
- Cavallero, A., Empilli, S., Brighenti, F., Stanca, A. M. 2002. High (1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)- β -glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response. *J. Cereal Sci.* 36, 59–66.
- Chakraborty, I., Mondal, S., Pramanik, M., Rout, D., Islam, S. S. 2004. Structural investigation of a water-soluble glucan from an edible mushroom, *Astraeus hygrometricus*. *Carbohydr. Res.* 339(13), 2249– 2254.
- Chakraborty, I., Mondal, S., Rout, D., Islam, S. S. 2006. A water-insoluble (1 $\rightarrow$ 3)-beta-D-glucan from the alkaline extract of an edible mushroom *Termitomyces eurhizus*. *Carbohydr. Res.* 341(18), 2990–2993.
- Chauveau, C., Talaga, P., Wieruszeski, J. M., Strecker, G., Chavant, L. 1996. A water-soluble beta-D-glucan from *Boletus erythropus*. *Phytochemistry.* 43(2), 413–415.

- Choi, J. S., Kim, H., Ho Jung, M., Hong, S., Song, J. 2010. Consumption of barley β -glucan ameliorates fatty liver and insulin resistance in mice fed a high-fat diet. *Molecular Nut. and Food Res.* (In Press)
- Codex Alimentarius Commission (CAC), 2006. Report of the 27th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses.
- Cordeiro, L. M., Stocker-Worgotter, E., Gorin P. A., Iacomini, M. 2003. Comparative studies of the polysaccharides from species of the genus *Ramalina*-lichenized fungi-of three distinct habitats. *Phytochemistry*. 63(8), 967–975.
- Crittenden, R., Karppinen, S., Ojanen, S., Tenkanen, M., Fagerstrom, R., Matto, J., Saarela, M., Mätilä-Sandholm, T., Poutanen, K. 2002. In vitro fermentation of cereal dietary carbohydrates by probiotic and intestinal bacteria. *J. of the Sci. of Food and Agric.* 82, 781–789.
- Cui, S.W., 2001. Polysaccharides gums from agricultural products: Processing, structure and functionality. Lancaster Technomic. Lancaster, PA: Technomic Publishing Company Inc., 103–166.
- Cui, W. and Wood, P. J. 2000. Relationships between structural features, molecular weight and rheological properties of cereal β -D-glucans. In: *Hydrocolloids Physical Chemistry and Industrial Applications of Gels, Polysaccharides, and Proteins*, Vol. 1., pp. 159–168, Nishinari, K., Ed., Elsevier, Amsterdam.
- Cui, W., Wood, P. J., Blackwell, B., Nikiforuk, J. 2000. Physicochemical properties and structural characterization by two-dimensional NMR spectroscopy of wheat β -D-glucan comparison with other cereal β -D-glucans. *Carbohydrate Polymers* 41(3), 249–258
- Daniëlle, A. J., Kerckhoffs, M., Gerard, H., Ronald, P. M. 2003. Cholesterol-lowering effect of β -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when β -glucan is incorporated into bread and cookies. *Am. J. Clin. Nutr.* 78, 221–227.
- Davidson, M. H., Dugan, L. D., Burns, J. H., Bova, J., Story, K., Drennan, K. B. 1991. The hypocholesterolemic effects of beta-glucan in oatmeal and oat bran. A dose-controlled study. *JAMA*. 265(14), 234–237.
- Dawkins, N. L., Nnanna, I. A. 1995. Studies on oat gum (1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)- β -dglucan: Composition, molecular weight estimation and rheological properties. *Food Hydrocoll.* 9(1), 1–7.
- De Paula, A. C., Sousa, R.V., Figueiredo-Ribeiro, R.C., Buckeridge, M. S. 2005. Hypoglycemic activity of polysaccharide fractions containing betaglucans from extracts of *Rhynchelytrum repens* (Willd.). *J. Med. Biol. Res.* 38(6), 885–893.
- Delaney, B., Nicolosi, R. J., Wilson, T. A., Carlson, T., Frazer, S., Zheng, G. H., Hess, R., Ostergren, K., Haworth, J., Knutson, N. 2003. Beta-glucan fractions from barley and oats are similarly antiatherogenic in hypercholesterolemic Syrian golden hamsters. *J. of Nutr.* 133, 468–475.

- DeVries, J. W., 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*. 46(3), 112–126.
- Dong, Q., Yao, J., Yang, X.T., Fang, J. N. 2002. Structural characterization of a water-soluble β -D-glucan from fruiting bodies of *Agaricus blazei* Murr. *Carbo. Res.* 337(15), 1417–1421.
- Dongowski, G., Huth, M., Gebhardt, E., Flamme, W. 2002. Dietary fiber rich barley products beneficially affect the intestinal tract of rats. *J. of Nutr.* 132, 3704–3714.
- Doublier, J. L., Wood, P. J. 1995. Rheological properties of aqueous solutions of (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucan from oats (*Avena sativa* L.). *Cereal Chem.* 72, 335–340.
- Drzikova, B., Dongowski, G., Gebhardt, E., Habel, A. 2005. The composition of dietary fiber-rich extrudates from oat affects bile acid binding and fermentation in vitro. *Food Chemistry*. 90, 181–192.
- Elaine, R., Carbonero, A., Helena, P., Gracher, F., Smiderle, R., F’abio, R., Rosado, R., Guilherme, L.S., Philip, A., Gorin, J., Marcello, I. 2006. A β -glucan from the fruit bodies of edible mushrooms *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus ostreatoroseus*. *Carbohydrate Polymers* 66(2), 252–257.
- Evers, T., Millart, S. 2002. Cereal grain structure and development: some implications for quality. *J Cereal Sci.* 36, 261–284.
- FAO, 2001. Food balance sheet-excluding beer. FAOSTAT database.
- FDA, 1996. Food labeling: Health claims: Oats and coronary heart disease. Food and Drug Administration, proposed rule. *Fed. Regist.* 61, 296–313.
- Flander, L., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T., Autio, K. 2007. Optimization of ingredients and baking process for improved wholemeal oat bread quality. *LWT* 40, 860–870.
- Freimund, S., Sauter, M., K“appeli, O., Dutler, H. 2003. A new nondegrading isolation process for 1 $\rightarrow$ 3- β -D-glucan of high purity from baker’s yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Carbohydrate Polymers.* 54(2), 159–171.
- Gardiner, T. 2004. Beta-glucan biological activities: Areview. 1–39. Accessed on August 7, 2005 from Internet: www.usa.glycoscience.
- Genc, H., Ozdemir, M., Demirbas, A. 2001. Analysis of mixed-linked (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucans in cereal grains from Turkey. *Food Chem.* 73, 221–224.
- Giese, J. H., 1992. Hitting the spot: Beverages and beverage technology. *Food Technol.* 46: 70–80.
- Gi-Young, K., Hyung-Sik, P., Byong-Hyok, N., Sang-Jun, L, Jae-Dong, L. 2003. Purification and characterization of acidic proteo-heteroglycan from the fruiting body of *Phellinus linteus*. *Teng. Bioresource Tech.* 89, 81–87.

- Granfeldt, Y., Nyberg, L., Bjoärck, I. 2008. Muesli with 4 g oat β -glucans lowers glucose and insulin responses after a bread meal in healthy subjects. *Euro. J. Clini. Nut.* 62, 600–607.
- Hakkola, S., Nylund, L., Rosa-Sibakov, N., Yang, B., Nordlund, E., Pahikkala, T., ... & Linderborg, K. M. 2021. Effect of oat β -glucan of different molecular weights on fecal bile acids, urine metabolites and pressure in the digestive tract—A human cross over trial. *Food Chemistry*, 342, 128219.
- Hallfrisch, J., Behall, K. M. 1997. Evaluation of foods and physiological responses to menus in which fat content was lowered by replacement with Oatrim. *Cereal Foods World*. 43, 100–103.
- Hallfrisch, J., Schofield, D. J., Behall, K. M. 2003. Physiological responses of men and women to barley and oat extracts (NutrimX). II. Comparison of glucose and insulin responses. *Cereal Chem.* 80, 80–83.
- Han, J. Y. Schwarz, P. B. 1996. Arabinoxylan composition in barley, malt, and beer. *J. of the American Soc. of Brewing Chem.* 54(4), 216–220.
- Hlebowicz, J., Darwiche, G., Björnell, O., Almér, L. 2008. Effect of Muesli with 4 g Oat β -glucan on postprandial blood glucose, gastric emptying and satiety in healthy subjects: A randomized crossover trial. *J. Am. Coll. Nut.* 27(4), 470–475.
- Holtekjølén, A. K., Uhlen, A. K., Braøthen, E., Sahlstrøm, S., Knutsen, S.H. 2006. Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin. *Food Chemistry*. 94, 348–358.
- Honnavalley, P., Ramesh, R., Tharanathan, N. 1998. Structural characteristics of a mixed linkage β -D-glucan from sorghum (*Sorghum bicolor*). *Carbohydrate Res.* 308(1–2), 239–243.
- Hrmova, M., Banik, M., Harvey, A. J., Garrett, T. P. J., Varghese, J. N., Hoj, P. B., Fincher, G. B. 1997. Polysaccharide hydrolases in germinated barley and their role in the depolymerization of plant and fungal cell walls. *Int. J. Biol. Macromol.* 21, 67–72.
- Immerstrand, T., Bergenstahl, B., Traugaard, C., Nyman, M., Cui, S., Öste, R. 2009. Extraction of β -glucan from oat bran on laboratory scale. *Cereal Chem.* 86(6), 601–608.
- Inglett, G. E., Carriere, C. J., Maneepun, S., Tungtrakul, P. 2004. A soluble fiber gel produced from rice bran and barley flour as a fat replacer in Asian foods. *International Journal of Food Sci. and Tech.* 39, 1–10.
- Irakli, M., Biliaderis, C. G., Izydorczyk, M. S., Papadoyannis, I. N. 2004. Isolation, structural features and rheological properties of water-extractable β -glucans from different Greek barley cultivars. *J. Sci. Food Agric.* 84, 1170–1178.
- Izydorczyk, M.S., Biliaderis, C.G. 2000. Structural and functional aspects of cereal arabinoxylans and β -glucans. In: Doxastakis, G. and Kiosseoglou, V.

- (Eds.), *Novel Macromolecules in Food Systems*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 361–384.
- Izydorczyk, M. S., Jacobs, M., Dexter, J. E. 2003. Distribution and structural variation of non-starch polysaccharides in milling fractions of hull-less barley with variable amylase content. *Cereal Chem.* 80, 6445–6653.
- Jadhav, S. J., Lutz, S. E., Ghorpade, V. M., Salunkhe, D. K. 1998. Barley: Chemistry and value-added processing. *Critical Rev. in Food Sci. and Nutr.* 38(2), 123–171.
- Jenkins, A. L., Jenkins, D. J. A., Zdravkovic, U., Würsch, P., Vuksan, V. 2002. Depression of the glycemic index by high levels of β -glucan fiber in two functional foods tested in type-2 diabetes. *Eur. J. Clin. Nutr.* 56, 622–628.
- Jinshui, W., Cristina, M. R., De-Barbera, C. B. 2002. Effect of the addition of different fibers on wheat dough performance and bread quality. *Food Chem.* 79, 221–226.
- Jørgensen, K. G., 1988. Quantification of highmolecular weight (1 $\rightarrow$ 3)(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucan using Calcofluor complex formation and flow injection analysis. I. Analytical principle and its standardization. *Carlsberg Res Commun.* 53, 277–285.
- Kalinga, D., Mishra, V. K. 2009. Rheological and physical properties of low fat cakes produced by addition of cereal β -glucan concentrates. *Journal of Food Processing and Preservation* 33(3) 384–400.
- Kanauchi, M., Bamforth, C. W. 2001. Release of β -Glucan from cell walls of starchy endosperm of barley. *Cereal Chem.* 78(2), 121–124.
- Kang, S. A., Jang, K. H., Hong, K., Choi, W. A., Lee, I. Y. 2003. Effects of dietary beta-glucan on serum lipids and leptin levels in the diet-induced obese rats. *FASEB Journal* 17: A1141.
- Karaduman, D., Eren, B., Keles, O. N. 2010. The protective effect of beta-1,3-D-glucan on taxol-induced hepatotoxicity: A histopathological and stereological study. *Drug and Chem. Toxicol.* 33(1), 8–16.
- Kayalı, H., Özdağ, M. F., Kahraman, S., Aydın, A., Gönül, E., Sayal, A. 2005. Compounding with β -1,3-glucan. *International journal of pharmaceutical compounding.* 4(5), 342–345.
- Ken-ichi, I., Noriko, N., Miura, Y. A., Hiroshi, T., Shigenori, T. Naohito, O. 2004. The solubilization and biological activities of *Aspergillus* β -(1 $\rightarrow$ 3)-D-glucan. *FEMS Immunol. and Med. Microbiol.* 42(1), 155–166.
- Kerckhoffs, D. A. J. M., Hornstra, G., Mensink, R. P. 2003. Cholesterol lowering effect of β -glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when β -glucan is incorporated into bread and cookies. *American J. of Clinical Nutr.* 78, 221–227.

- Kim, H. J., White, P. J. 2010. In vitro bile-acid binding and fermentation of high, medium, and low molecular weight β -glucan. *J. Agric. Food Chem.* 58(1), 628–634.
- Kjell, M., Varum, Olav, S. 1988. Partial chemical and physical characterization of (1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucans from oat (*Avena sativa* L.) aleurone. *Carbohydrate Polymers.* 9(2), 103–117.
- Konuklar, G., Inglett, G. E., Warner, K., Carriere, C. J. 2004. Use of a β -glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat cheddar cheeses: textural properties by instrumental methods and sensory panels. *Food Hydrocolloids.* 18: 535–545.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C. G. 2004. Cryogelation of cereal β -glucans: Structure and molecular size effects. *Food Hydrocolloids.* 18: 933–947.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., Izydorczyk, M. S. 2003. Molecular size effects on rheological properties of oat β -glucans in solutions and gels. *Food Hydrocolloids.* 17, 693–712.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., Micha-Screttas, M., Steele, B. R. 2004. A comparative study on structure–function relations of mixed linkage (1 $\rightarrow$ 3) linear β -D-glucan. *Food Hydrocolloids.* 18, 837–855.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C. G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *J. of Food Engin.* 79, 1033–1047.
- Lehtonen, M., Aikasalo, R. 1987. Pentosans in barley varieties. *Cereal Chemistry.* 64(2), 133–134.
- Levin, D. E., Bartlett-Heubusch, E. 1992. Mutants in the *S. cerevisiae* PKC1 gene display a cell cycle-specific osmotic stability defect. *J. Cell Biol.* 116, 1221–1229.
- Li, J., Kaneko, T., Qin, L. Q., Wang, J., Wang, Y. 2003. Effects of barley intake on glucose tolerance, lipid metabolism, and bowel function in women. *Nutrition.* 19: 11–12.
- Lia, W., Wanga, Q., Cuia, S.W., Huang, X., Kakudab, Y. 2006. Elimination of aggregates of (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4) - β -D-glucan in dilute solutions for light scattering and size exclusion chromatography study. *Food Hydrocolloids.* 20, 361–368.
- Liu, S., Mansin, J. E., Stampfer, M. J. 2000. Whole grain consumption and risk of ischemic stroke in women. *J. A. M. A.* 284, 1534–1540.
- Liu, W., Zhang, B., Wang, Q., Xie, Z., Yao, W., Gao, X., Yu, L. 2010. Effects of sulfation on the physicochemical and functional properties of psyllium. *J. Agric. Food Chem.* 58, 172–179.
- Lyly, M., Roininen, K., Honkapaa, K., Poutanen, K., Lahteenmaki, L. 2007. Factors influencing consumers willingness to use beverages and ready-to-e-

- at frozen soups containing oat β -glucan in Finland, France and Sweden. *Food Quality and Preference*. 18, 242–255.
- Lyly, M., Salmenkallio, M., Suortti, M., Autio, K., Poutanen, K., Lahteenmaki, L. 2003. Influence of oat β -glucan preparations on the perception of mouth feel and rheological properties in beverage prototypes. *Cereal Chem.* 80, 536–541.
- Lyly, M., Marttila, M. S., Suortti, T., Autio, K., Poutanen, K., Liisa L. 2004. The sensory characteristics and rheological properties of soups containing oat and barley β -glucan before and after freezing. *Lebensm.-Wiss.U.-Technol.* 37, 749–761.
- MacGregor, A. W., Rattan, S. 1993. *Barley: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota.
- Magda, F., Tomoya, I., Vincent, B., Antoni P. 2004. In vitro synthesis of a crystalline (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucan by a mutated (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucanase from *Bacillus*. *Biochemical Journal*. Ms. BJ20040145.
- Malkki, Y., Virtanen, E. 2001. Gastrointestinal effects of oat bran and oat gum: A review. *Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie*. 34: 337–347.
- Mekis, E. Pinter, G., Bendek, G. 1987. Modified fluorometric flowinjection-analysis (FIA) method for the determination of (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4)- β -glucan. *J. Inst. Brew.* 93: 396–398.
- Meyer, K. A., Kushi, L. H., Jacobs, D. R., Slavin, Jr, J., Sellers, T. A., Folsom, A. R. 2000. Carbohydrates, dietary fiber, and incident type 2 diabetes in older women. *Am. J. Clin. Nutr.* 71, 921–925.
- Mio, K., Yamanaka, C., Ichinose, Y., Kohyama, N., Yanagisawa, T., Aoe, S. 2020. Effects of barley β -glucan with various molecular weights partially hydrolyzed by endogenous β -glucanase on glucose tolerance and lipid metabolism in mice. *Cereal Chemistry*, 97(5), 1056-1065.
- Miura, N.N., Adachi, Y., Yadomae, T., Tamura, H., Tanaka, S., Ohno, N. 2003. Structure and biological activities of beta-glucans from yeast and mycelial forms of *Candida albicans*. *Microbiol Immunol.* 47(3), 173–182.
- Odes, H.S., Lazovski, H., Stern, I., Madar, Z. 1993. Double blind trial of high dietary fiber, mixed grain cereal in patients with chronic constipation and hyperlipidaemia. *Nut. Res.* 13, 979–985.
- Ohno, N., Miura, N. N., Nakajima, M., Yadomae, T. 2000. Antitumor 1 $\rightarrow$ 3-beta-glucan from cultured fruit body of *Sparassis crispa*. *Biol. Pharm. Bull.* 23(7), 866–872.
- Ostman, E., E. Rossi, H. Larsson, F. Brighenti, and I. Bjorck. 2006. Glucose and insulin response in healthy men to barley bread with different levels of (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 4)- β -glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests. *J. Cereal Sci.* 43: 230–235.

- Ozdemir, M., Genc, H. 2001. β -Glucan contents of cereal grains grown in Turkey. Energy Education Science and Technology. 7, 10–17.
- Paliyath, G., Poovaiah, B.W. 1988. Promotion of β -Glucan synthase activity in performance of rye samples used in Scandinavia. Acta Agr. Scand. 47, 26–34.
- Park, S. Y., Bae, I. Y., Lee, S., Lee, H. G. 2009. Physicochemical and hypocholesterolemic characterization of oxidized oat β -glucan. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57(2), 439–443
- Patsioura, A., Galanakis, C. M., Gekas, V., 2011. Ultrafiltration optimization for the recovery of B-glucan from oat mill waste. Journal of Membrane Science 373 (2011), 53–63.
- Reis, R. A., Tischer, C. A., Gorin, P. A., Iacomini, M. 2002. A new pullulan and a branched (1 $\rightarrow$ 3)-, (1 $\rightarrow$ 6)-linked beta-glucan from the lichenised ascomycete Teloschistes flavicans. F.E.M.S. Microbiol. Lett. 210(1), 1–5.
- Reiter, R.J., 1997. Oxidative damage in the central nervous system: protection by melatonin. Progress in Neurobiology. 56: 359–384.
- Roemer, T., Bussey, H. 1991. Yeast beta-glucan synthesis: KRE6 encodes a predicted type II membrane protein required for glucan synthesis in vivo and for glucan synthase activity in vitro. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 88: 11295.
- Roemer, T., Delaney, S., Bussey, H. 1993. SKN1 and KRE6 define a pair of functional homologs encoding putative membrane proteins involved in beta-glucan synthesis. Mol. Cell. Biol. 13, 4039–4048.
- Roubroeks, J. P., Andersson, R., Åman, P. 2000. Structural features of (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucan and arabinoxylan fractions isolated from rye bran. Carbohydrate Polymer. 42(1), 3–11.
- Rout, D., Mondal, S., Chakraborty, I., Pramanik, M., Islam, S. S. 2005. Chemical analysis of a new (1 $\rightarrow$ 3)-, (1 $\rightarrow$ 6)-branched glucan from an edible mushroom, Pleurotus florida. Carbohydr. Res. 340(16): 2533–2539.
- Ruthes, A. C., Smiderle, F. R., Iacomini, M. 2015. D-Glucans from edible mushrooms: A review on the extraction, purification and chemical characterization approaches. Carbohydrate polymers, 117, 753–761.
- Santos, A., Marquina, D., Leal, J. A., Peinado, J. M. 2000. (1 $\rightarrow$ 6)- β -Dglucan as cell wall receptor for Pichia membranifaciens killer toxin. Applied and Environmental Microbiol. 66(5), 1809–1813.
- Shin, M. S., Lee, S., Lee, K. Y., Lee, H. G. 2005. Structural and biological characterization of aminated-derivatized oat β -glucan. J. Agric. Food Chem. 53, 5554–5558.
- Skendi, A., Papageorgiou, M., Biliaderis, C. G. 2010. Influence of water and barley β -glucan addition on wheat dough viscoelasticity. Food Res. Int. 43(1), 57–65.

- Smiderle, F. R., Carbonero, E. R., Mellinger, C. G., Sassaki, G. L., Gorin, P. A., Iacomini, M. 2006. Structural characterization of a polysaccharide and a beta-glucan isolated from the edible mushroom *Flammulina velutipes*. *Phytochem.* 67(19), 2189–2196.
- Smiderle, F. R., Alquini, G., Tadra-Sfeir, M. Z., Iacomini, M., Wichers, H. J., Van Griensven, L. J. 2013. *Agaricus bisporus* and *Agaricus brasiliensis* (1→ 6)- β -d-glucans show immunostimulatory activity on human THP-1 derived macrophages. *Carbohydrate polymers*, 94(1), 91-99.
- Smith, K. N., Queenan, K., Thomas, W., Fulcher, G., Slavin, J. 2004. Cholesterol-lowering effect of barley beta-glucan in hypercholesterolemic subjects. *F.A.S.E.B Journal*. 18, 149–152.
- Staudte, R.G., Woodward, J.R., Fincher, G.B., and Stone, B.A. (1983). Water soluble (1 → 3), (1 → 4)- β -glucan from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm III. Distribution of cellotriosyl and cellotetraosyl residues. *Carbohydr. Polym.* 3, 299–312.
- Storsley, J. M., Izydorczyk, M. S., You, S., Biliaderis, C. G. 2003. Structure and physicochemical properties of β -glucans and arabinoxylans isolated from hull-less barley. *Food Hydrocolloids*. 17(6): 831–844.
- Sudha, M. L., Vetrmani, R., Leelavathi, K. 2007. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat our dough and on biscuit quality. *Food Chem.* 100: 1365–1370.
- Sugawara, T., Takahashi, S., Osumi, M., Ohno, N. 2004. Refinement of the structures of cell-wall glucans of *Schizosaccharomyces pombe* by chemical modification and NMR spectroscopy. *Carbohydr Res.* 339 (13), 2255–2265.
- Sun, T., Li, J., Qin, Y., Xie, J., Xue, B., Li, X., ... Shao, Z. 2020. Rheological and functional properties of oat β -glucan with different molecular weight. *Journal of Molecular Structure*, 1209, 127944.
- Suphantharika, M., Khunrae, P., Thanardkit, P., Verduyn, C. 2003. Preparation of spent brewer's yeast beta-glucans with a potential application as an immunostimulant for black tiger shrimp. *Penaeus monodon*. *Bioresour Technol.* 88(1), 55–60.
- Svihus, B., Selmer-Olsen, I., Brathen, E. 1995. Effect of different preservation methods for high-moisture barley on feeding value for broiler-chickens. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A: Animal Science*. 45(4), 252–259.
- Temelli, F., Bansema, C. B., Stobbe, K. S. 2004. Development of an orange-flavored barley β -Glucan beverage with added whey protein isolate. *J. of Food Sci.* 69(7), 237–242.
- Thondre, P., Henry, C. 2009. High-molecular-weight barley β -glucan in chapatis (unleavened Indian flatbread) lowers glycemic index. *Nut. Res.* 29(7), 480–486.

- Trogh, I., Courtin, C. M., Andersson, A. A. M., Man, A. P., Sorensen, J. F., Delcour, J. A. 2004. The combined use of hull-less barley flour and xylanase as a strategy for wheat/hull-less barley flour breads with increased arabinoxylan and (1→3) (1→4)- β -D-glucan levels. *J. Cereal Sci.*, 40, 257–267.
- Truswell, A. S. 2002. Cereal grains and coronary heart disease. *Eur. J. Clin. Nutr.* 56, 1–3.
- Tudorica, C. M., Jones, E., Kuri, V., Brennan, C. S. 2004. The effects of refined barley β -glucan on the physico-structural properties of low-fat dairy products: curd yield, microstructure, texture and rheology. *J. of Sci. of Food and Agric.* 84, 1159–1169.
- Tungland, B. C. (2003). Fructo oligosaccharides and other fructans: structures and occurrence, production, regulatory aspects, food applications, and nutritional health significance. *ACS Symposium Series.* 849, 135–152.
- Vaikousi, H., Biliaderis, C. G., Izydorczyk, M. S. 2004. Solution flow behaviour and gelling properties of water-soluble barley (1 → 3), (1 → 4)- β -glucans varying in molecular size. *Journal of Cereal Sci.* 39, 119–137.
- Valle-Jones, J. C. 1985. An open study of oat bran meal biscuits (Lejifiber) in the treatment of constipation in the elderly. *Current Med. Res. and Opinion.* 9, 716–720.
- Wei, L., Steve, W., Cui, Yukio, K. 2006. Extraction, fractionation, structural and physical characterization of wheat β -D-glucans. *Carbohydrate Polymers* 63(3), 408–416.
- WHO (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical Report Series 916, Geneva.
- Wisker, E., Daniel, M., Rave, G., Feldeim, W. 2000. Short chain fatty acids produced in vitro from fiber residues obtained from mixed diets containing different breads and in human feces during ingestion of diets. *British J. of Nutr.* 84, 31–37.
- Wood, P. J., Weisz, J. 1984. Use of calcofluor in analysis of oat beta-Dglucan. *Cereal Chem.* 61(1), 73–75.
- Wood, P. J., Weisz, J., Mahn, W. 1991. Molecular characterization of cereal β -D-glucans II. Size exclusion chromatography for comparison of molecular weight. *Cereal Chem.* 68, 530–536.
- Wood, P. J. 1980. The interaction of direct dyes with water soluble substituted celluloses and cereal β -glucans. *Ind. Eng. Prod. Rev. Dev.* 19, 19–23.
- Wood, P. J. 1993. Physicochemical characteristics and physiological properties of oat (1→3) (1→4) - β -D-glucan. In: *Oat Bran*, pp. 83–112, Wood, P.J., Ed., AOAC, St. Paul, MN
- Wood, P. J., Weisz, J., Blackwell, B. A. 1994. Structural studies of (1→3) (1 → 4)- β -D-glucans by ¹³C-NMR by rapid analysis of cellulose-like regions

- using high-performance anion-exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase. *Cereal Chem.* 71, 301–307.
- Woodward, J. R., Fincher, G. B., Stone, B. A. 1983. Water-soluble (1→3), (1→4)- β -glucan from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm II. Finestructure. *Carbohydrate Polym.* 3, 207–225.
- Wyatt, P. J. 1993. Review: Light scattering and the absolute characterization of macromolecules. *Analytica Chimica Acta.* 272, 1–40.
- Xu, C., Qin, N., Yan, C., Wang, S. 2018. Isolation, purification, characterization and bioactivities of a glucan from the root of *Pueraria lobata*. *Food & function*, 9(5), 2644-2652.
- Yalin, W., Yuanjiang, P., Cuirong, S. 2005. Isolation, purification and structural investigation of a water-soluble polysaccharide from *Solanum lyratum* Thunb. *Int. J. Biol. Macromol.* 36(4), 241–245.
- Yang, J. L., Kim, Y. H., Lee, H. S., Lee, M. S., Moon, Y. K. 2003. Barley beta-glucan lowers serum cholesterol based on the up-regulation of cholesterol 7-alpha-hydroxylase activity and mRNA abundance in cholesterol fed rats. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology.* 49, 381–387.