



MÜHENDİSLİK ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR

EDİTÖRLER:

PROF. DR. ADNAN HAYALOĞLU
DR. ABDURRAHMAN GÜNDAY

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel
Editörler / Editors • Prof. Dr. Adnan HAYALOĞLU
Dr. Abdurrahman GÜNDAY

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Karaf Ajans

Birinci Basım / First Edition • © MART 2020

ISBN • 978-625-7938-96-9

© 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

Mühendislik Alanında Akademik Çalışmalar

Editörler

Prof. Dr. Adnan HAYALOĞLU

İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Dr. Abdurrahman GÜNDAY

Bursa Uludağ Üniversitesi Orhangazi Yeniköy Asil Çelik MYO

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

ASENKRON MOTOR YAPISI, EŞ DEĞER DEVRE VE
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDEKİ İLERLEMELER

Abdullah Cem AĞAÇAYAK..... 1

BÖLÜM 2

SIKIŞMALI TEKTONİK KUŞAKLARA KUM KUTUSU
DENEYLERİ İLE YAKLAŞIM

Elif AKGÜN..... 31

BÖLÜM 3

FİNE-KİNNEY RİSK ANALİZİ YENİ SINIF ARALIKLARININ
K-ORTALAMA ALGORİTMASI İLE BELİRLENMESİ

Cansu DAĞSUYU..... 57

BÖLÜM 4

MODA VE TEKSTİL SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Ebru ÇORUH, Züleyha DEĞİRMENCİ 73

BÖLÜM 5

MİMARİ TASARIM SÜRECİ VE MÜŞTERİ İLİŞKİLERİNİN
YAPI ÜRETİM SİSTEMLERİ ANALİZİ BAĞLAMINDA
DEĞERLENDİRİLMESİ: ANTALYA MİMARLIK OFİSİ ÖRNEĞİ

Fatma TORAN, İlknur AKINER..... 89

BÖLÜM 6

POLİKLORLU BİFENİL İLE KİRLENMİŞ ATIKLARIN YÖNETİMİ

Elanur ADAR..... 111

BÖLÜM 7

ENDÜSTRİ 4.0 – DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ

Mustafa KIRMAN 133

BÖLÜM 8

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ

Mustafa KIRMAN..... 143

BÖLÜM 9

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE BULUNAN AĞIR METALLERİN İNSAN VE ÇEVRE SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Bekir GÜNEY, Süleyman GÖKMEN..... 153

BÖLÜM 10

NANOAKIŞKANLARIN ISIL SİSTEMLERDE KULLANIMI

Ataollah KHANLARI, Adnan SÖZEN, Azim Doğuş TUNCER, Ceylin
ŞİRİN, Kazım KUMAŞ, Afşin GÜNGÖR..... 175

BÖLÜM 11

GÜNEYDOĞU ANADOLU ASFALTİTLERİNİN YIKANABİLİRLİĞİNE BAĞLI TESİS TASARIM ETÜDÜ- PNÖMATİK FLOTASYON TESİS TASARIMI

Yıldırım İsmail TOSUN..... 189

BÖLÜM 12

ATIK CAM KATKILI ASFALT KAPLAMALAR

Erol İSKENDER, Cansu İSKENDER, Atakan AKSOY 209

BÖLÜM 13

ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜNDE ÖNE ÇIKAN TEKNOLOJİLER

Ender ŞAHİNASLAN..... 235

BÖLÜM 14

BOZULABİLİR ÜRÜNLERDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TAŞIMACILIĞIN ÖNEMİ

Gül Didem BATUR SİR..... 253



Bölüm 1

**ASENKRON MOTOR YAPISI, EŞ DEĞER DEVRE
VE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDEKİ
İLERLEMELER**

Abdullah Cem AĞAÇAYAK

GİRİŞ

Asenkron motorlar; doğrudan bir fazlı ya da üç fazlı alternatif akım şebekesinden beslenebilmesi, dayanıklı, bakım gerektirmeyen yapısı ve düşük maliyetleri nedeniyle, hem sanayide hem de ev aletlerinde en çok kullanılan motor türü haline gelmiştir. Dünyada üretilen enerjinin %70 civarındaki kısmının asenkron motorlarda tüketiliyor olması bu motorların kullanım sıklığını ve önemini göstermektedir. Yapılarının basit, ekonomik ve sağlam olmaları, bakım gerektirmemeleri ve her türlü ortam koşullarında çalışabilmeleri gibi üstün özellikleri nedeniyle asenkron motorlar, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Asenkron motorların doğrusal olmayan modelinin ve zamanla değişen parametrelerinin etkisi ile matematiksel modelinin çıkartılması oldukça zordur. Yüksek performanslı uygulamalarda, sürme davranışlarını temsil eden bu parametrelerin doğru olarak belirlenmesi gerekmektedir. Parametrelerinin belirlenmesindeki zorluğun yanında parametre değişimlerinin gerçek zamanlı incelenmesi de sorunu daha da zorlaştırmaktadır.

Asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin doğru ve hassas belirlenmesi, asenkron motorların devir sayısı, konum kontrolleri ve optimizasyon çalışmalarında önem arz etmektedir.

Asenkron motorların eşdeğer devre parametrelerinin en düşük hatayla ve hızlı bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Asenkron motor parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesi genellikle; stator giriş gerilimi, stator akımı ve giriş gücü gibi giriş büyüklüklerinin veya rotor dönme hızı ve motor momenti gibi çıkış büyüklüklerinin kullanıldığı optimizasyon metodlarına bağlıdır.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak gelişen yapay zeka teknolojilerinden YSA, Bulanık Mantık gibi önceden sezış özelliklerine sahip Genetik Algoritma, Diferansiyel Genetik Algoritma, Parçalı Sürü Optimizasyonu gibi optimizasyon amaçlı kullanılan yöntemler günümüzde yaygınlaşmıştır. Bu algoritmaların başarısı asenkron motorun değişen parametrelerinin modele doğru yansıtılmasıyla doğru orantılı olarak giderek artacaktır.

Bu araştırma yazısında;

- Asenkron Motorların Yapısı
- Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi
- Asenkron Motorun Matematiksel Denklemleri
- Asenkron Motorun Eşdeğer Devre Parametreleri ile ilgili literatür araştırmaları

- Araştırma Gündeminin Önemi aşamalarından bahsedilecektir.

Böylece bu araştırma yazısı ile literatürde şimdiye kadar yapılmış parametre tayin yöntemlerinden bahsederek asenkron motorların parametre tayinlerine değişik bir açıdan yaklaşılabilecek ve motor parametrelerine göre değişen bir sistem tasarlanabilmesi için bir ön çalışma oluşturacaktır.

Asenkron (İndüksiyon) Motorlar

Sanayi tesislerinde elektrik enerjisini dairesel harekete çevirebilmek için motorlar kullanılır. Uygulamada onlarca çeşitte elektrikli motor karşımıza çıkmaktadır. Ancak, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik motorları içerisinde en sağlam, en ucuz, en az bakım gerektiren ve en çok kullanılan motorlar asenkron motorlardır. Bu motorlar indüksiyon prensibine göre çalıştıkları için indüksiyon motorları olarak da adlandırılırlar. Asenkron motorların iki çeşidi vardır

- Kısa devre çubuklu (sincap kafesli) asenkron motorlar
- Rotoru sargılı (bilezikli) asenkron motorlar

Çoğu endüstriyel uygulamalar için genellikle AC motorlar tercih edilir. Asenkron motorların tercih edilme sebepleri;

- Yapımlarının kolay ve maliyetlerinin düşük olması,
- Sağlam ve daha az bakıma ihtiyaç duymaları,
- Yük altında çalışmalarının dengeli olması,
- Çok küçük güçlerden birkaç MW güç değerlerine kadar yapılabilmeleri,
- Doğru Akım motorlardan daha az bakım gerektirirler.

Üç Fazlı Asenkron Motor Yapısı

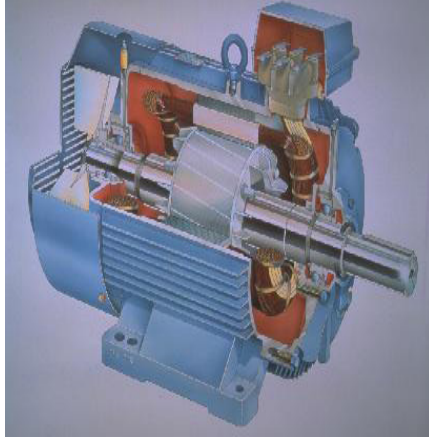
Üç fazlı asenkron motorlarının yapısı ;

Stator (duran kısım)

Rotor (dönen kısım)

Gövde, kapaklar ve yataklardan

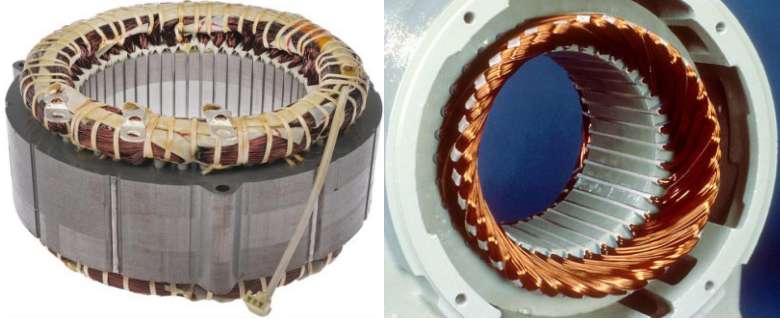
oluşur.



Şekil 1: Üç fazlı asenkron motor yapısı

Stator

Asenkron makinenin bobinlerini üzerinde bulunduran kısımdır. Stator oluklarına üç fazlı sargılar elektriki olarak birbirinden 120° faz farklı sargılar yerleştirilir.



Şekil 2: Asenkron motor stator yapısı

Rotor

Farklı uygulamalar için kullanılan iki farklı rotor vardır. Bunlar ;

- Sincap kafesli (kısa devre çubuklu)
- Sargılı rotordur.

Kısa Devre Çubuklu (Sincap Kafesli) Rotor

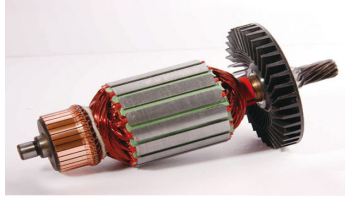
Statordaki gibi üzerine oluklar açılmış silisli saçların bir mil üzerine preslenmesinden elde edilmiştir. Oluklara iletken (aliminyum-bakır) çubuklar yerleştirilir.



Şekil 3: Kısa Devre  ubuklu (Sincap Kafesli) Rotor Yapısı

Sargılı Rotor

Sargılı rotorlarda standart sincap kafesli rotora benzer yolla üretilir. Fakat bu rotor üzerindeki oluklarda çubuklar yerine yıldız veya üçgen ba lı sargılar vardır.

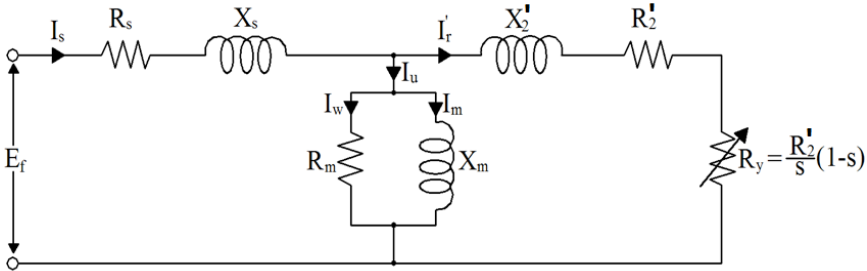


For Makita 255(LS1040,new)

Şekil 4: Sargılı Rotor Yapısı

Asenkron Motorların E de er Devreleri

Asenkron motorlarda 3 fazın elektriki ve mekaniki özellikleri birbirine eşit olduğu için asenkron motorlarda bir fazın özellikleri belirlendiğinde aynı özellikte 2 faz daha olduğundan 3 fazlı asenkron motorun e de er devresi belirlenmiş olur. Bundan dolayı 3 fazlı asenkron motorun e de er devresi çıkartılırken sadece 1 faz e de er devresi belirlenir. Şekil 5’de bir asenkron motora ait e de er devre görülmektedir.



Şekil 5: Asenkron motorun rotor direncinin ikiye ayrılması ile oluşan e de er devre

Eşdeğer devrede kullanılan ifadelerin anlamı ;

R_s = Stator etkin direnci

X_s = Stator reaktansı

R'_2 = Rotor direncinin stator terimlerine göre ifade edilmiş şekli

X'_2 = Rotor reaktansının stator terimlerine göre ifade edilmiş şekli

r_o = Boş çalışmadaki motor direnci

X_o = Boş çalışmadaki motor reaktansı

I_l = Motorun şebekeden çektiği akım

I_s = Stator akımı

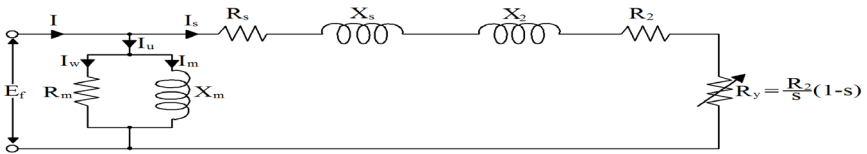
I_o = Boş çalışma akımı

I_m = Boş çalışma akımının reaktif bileşeni (mıknatıslama akımı)

I_w = Boş çalışma akımının aktif bileşeni (vatlı akım)

R_y = Motor milindeki yükün elektrik direnci olarak stator terimleri cinsinden

Şekil 6'daki eşdeğer devre gerçek eşdeğer devre olarak adlandırılır. Bu devredeki devre çözümünü azaltmak için gerçek eşdeğer devredeki sonuçlara yakın sonuçlar veren sadeleştirilmiş bir eşdeğer devre geliştirilmiştir. Sadeleştirilmiş eşdeğer devre için bazı kabuller yapılır. Sadeleştirilmiş eşdeğer devrede uyartım kolu eşdeğer devrenin giriş kısmına alınarak elde edilir ve Şekil 6'da sadeleştirilmiş eşdeğer devre verilmiştir.



Şekil 6: Asenkron motorun sadeleştirilmiş bir faz eşdeğer devresi

Dengeli 3 fazlı endüksiyon motorda 1 faz için verilen yaklaşık eşdeğer devre iyi tasarlanmış 3 fazlı endüksiyon motor genellikle aşağıdaki şartlar sağlar.

- Stator bakır kayıplarının azalması için stator sargı direnci düşük tutulmuştur.
- Her bir sargının ortalama sarım uzunluğu azaltılarak stator sargının kaçak reaktansı minimize edilmiştir.
- Nüve kayıplarının düşülmesi için (Demir kaybı) düşük kayıplı çelikten yapılan ince laminasyonlar (dilimler) kullanılır. Böylece R_m yüksek tutulmuştur.
- Laminasyonlar için seçilen çeliğin permabilitesi yüksektir ve motorda akı yoğunluğu çalışma noktası mıknatıslanma eğrisinin diz bölgesinde altında tutulur. (Doyum noktasında aşağı tutulur.) Böylece mıknatıslanma reaktansı yüksek olmuştur.

Eşdeğer Devre Kullanılarak Momentin Hesaplanması

Asenkron motorun nominal çalışma moment denkleminin elde edilmesi

Asenkron motor eşdeğer devresinden ve iken olacağından, asenkron motorun çektiği faz akımının ve rotor giriş gücünün, sırasıyla;

$$I_s = \frac{U_s}{\sqrt{(R_s + R'_2/s)^2 + (X_s + X'_2)^2}} \quad (Amper)$$

$$P_r = \frac{R'_2}{s} \cdot I_s^2 = \frac{R'_2}{s} \cdot \left(\frac{U_s}{\sqrt{(R_s + R'_2/s)^2 + (X_s + X'_2)^2}} \right)^2 \quad (W/faz)$$

$$T_n = \frac{P_r}{\omega_s} = \frac{U_s^2 \cdot \frac{R'_2}{s}}{\omega_s \left[(R_s + R'_2/s)^2 + (X_s + X'_2)^2 \right]} \quad (Nm)$$

Asenkron motorun kalkınma moment denkleminin elde edilmesi

$R'_2(1-s)/s$ Asenkron motorun ilk kalkınmasında, rotorun devri sıfır olduğu için, kayma da $s=100\%$ 'dür. Asenkron motor eşdeğer devresinde motor milindeki mekanik yükü temsil eden

direnci sıfırdır. Bu nedenle asenkron motorun ilk kalkınmada şebekeden çektiği faz akımının ve rotor giriş gücünün, sırasıyla;

$$I_s = \frac{U_s}{\sqrt{(R_s + R'_2)^2 + (X_s + X'_2)^2}} \quad (Amper)$$

$$P_r = R'_2 \cdot I_s^2 = R'_2 \cdot \left(\frac{U_s}{\sqrt{(R_s + R'_2)^2 + (X_s + X'_2)^2}} \right)^2 \quad (W/faz)$$

$$T_k = \frac{P_r}{\omega_s} = \frac{U_s^2 \cdot R'_2}{\omega_s \left[(R_s + R'_2)^2 + (X_s + X'_2)^2 \right]} \quad (Nm)$$

Asenkron motorun devrilme moment denkleminin elde edilmesi

$\sqrt{R_2'^2 + (X_s + X_2')^2}$ Asenkron motorun devrilme momentinin elde edilebilmesi için rotor giriş gücünün maksimum olması gerekmektedir. Asenkron motor eşdeğer devresinden , rotor giriş gücünün maksimum olması için R'_2/s direncinin empedansına eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle asenkron motorun devrilme anında şebekeden çektiği faz akımının ve rotor giriş gücünün, sırasıyla;

$$I_s = \frac{U_s}{\sqrt{(R_s + R'_2/s)^2 + (X_s + X'_2)^2}} \quad (Amper)$$

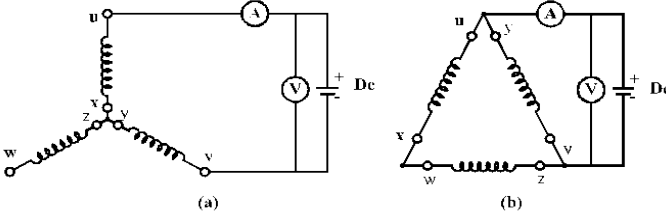
$$P_r = \frac{R'_2}{s} \cdot I_s^2 = \frac{R'_2}{s} \cdot \left(\frac{U_s}{\sqrt{(R_s + R'_2/s)^2 + (X_s + X'_2)^2}} \right)^2 \quad (W/faz)$$

$$T_d = \frac{P_r}{\omega_s} = \frac{U_s^2}{2\omega_s \left[R_s + \sqrt{R_s^2 + (X_s + X'_2)^2} \right]} \quad (Nm)$$

Asenkron Motor Parametrelerinin Hesaplanması İçin Gerekli Deneyler

Asenkron Motorun Stator Etkin Faz Direncinin Bulunması

Bu deneye başlamadan önce asenkron motor anma sıcaklığına (70 °C) ulaşınca kadar tam yükte çalıştırılır. Böylece stator direncinin ölçümü esnasında oluşabilecek hata minimuma indirgenir.



Şekil 7: Asenkron Motorun Stator Etkin Faz Direncinin Bulunması

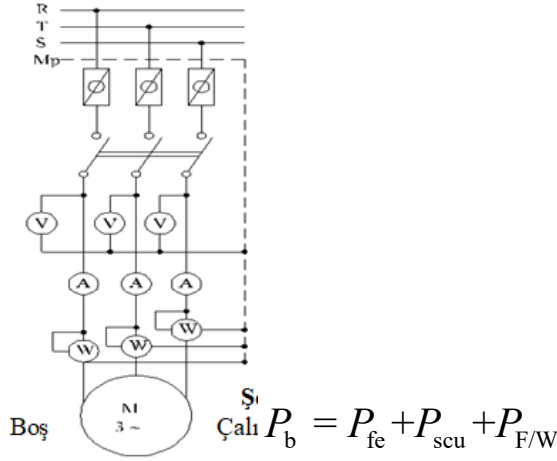
$$R_{SDC} = \frac{3 \times R_{DC}}{2} \quad R_{SDC} = \frac{R_{DC}}{2}$$

Daha sonra stator sargı uçlarından iki tanesine doğru gerilim uygulanır. Gerilim değeri ayarlı bir kaynak ile sıfırdan başlayarak artırılır. Motor tam yük akımı stator sargılarından geçtiği anda uygulanan gerilim değeri ve akım miktarı ölçülerek kaydedilir. Daha sonra motor sargılarının üçgen yada yıldız bağlı durumuna göre stator sargısının bir faz doğru akım direnci hesaplanır. Stator sargılarının bir faz etkin direnci, yani AC direnç değeri (R_{SAC}) bulunan Dc direnç değerinin 1,2-1,5 (genelde 1,3 alınır) katı kadardır.

Asenkron Motorun Boş Çalışma Deneyi

Demir kayıpları direnci (R_m), Stator Kaçak Reaktansı (X_s) ve Manyetik devre Reaktansı (X_m) 'nı bulmak için yapılır.

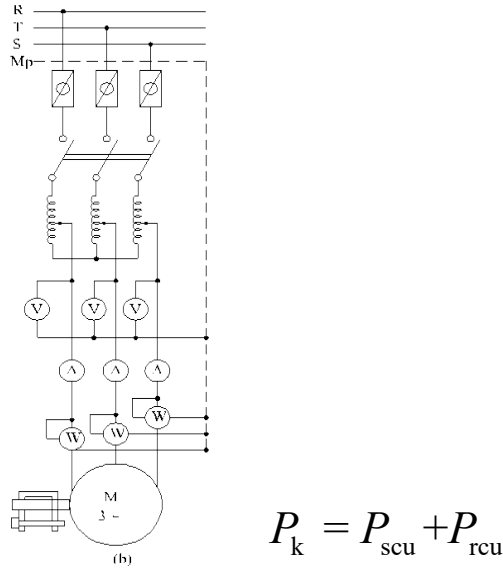
Çekilen boş çalışma gücü (P_b), rotor bakır kayıpları çok küçük olduğundan ihmal edilirse, demir kayıpları (P_{fe}), stator bakır kayıpları (P_{scu}) ve sürtünme / rüzgar kayıplarının ($P_{f/W}$) toplamıdır.



Şekil 8: Asenkron Motorun Boş Çalışma Deneyi

Boş çalışma deneyinde asenkron motor anma gerilim değeriyle yüksüz olarak çalıştırılır. Motor yıldız veya üçgen bağlı olabilir. Motor boşta çalışırken şebekeden çekilen toplam güç, motor yıldız bağlı ise üç wattmetreden ölçülen güçlerin toplamına eşittir. Şekil 9’da olduğu gibi. Motor üçgen bağlı ise iki wattmetre metodu kullanılır. Motorun bir faz akım değeri ise üç ampermetrenin ölçtüğü değerlerin ortalamasıdır.

Asenkron Motorun Kilitli Rotor Çalışma Deneyi



Şekil 9: Asenkron Motorun

Rotor faz direnci (R2) ve rotor kaçak reaktansı (X2) elde edilir.

Çekilen güç (Pk), stator bakır kayıpları (Pscu), rotor bakır kayıpları (Prcu) ve demir kayıpları (Pfe) toplamıdır. Dönme olmadığından sürtünme ve rüzgar kayıpları (PF&W) meydana gelmez. Manyetik devre akım küçük olduğundan demir kayıpları ihmal edilir.

Kilitli Rotor Çalışma Deneyi

Asenkron motor anma sıcaklığına ulaşınca kadar çalıştırıldıktan sonra Şekil 9'da ki bağlantı gerçekleştirilir. Motorun rotoru dönmeyecek şekilde bir mekanizma ile sıkıştırılır. Daha sonra ayarlı bir güç kaynağından uygulanan gerilim yavaş yavaş artırılır. Stator sargılarından geçen akım motorun nominal değerine ulaşınca akım, güç ve gerilim değerleri kaydedilir.

Asenkron Motorların Matematiksel Denklemleri

Asenkron motorların güç, döndürme momenti, kalkınma akımı, güç katsayısı ve değişik yüklerdeki verim hesapları için motorun eşdeğer devresini bilmek kolaylıklar sağlar.

Hız ve Kayma

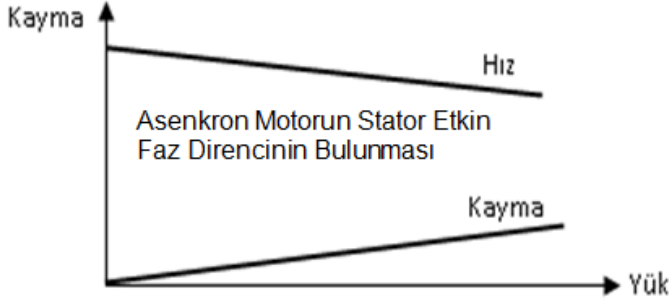
Senkron hız ile rotor hızı arasındaki fark ($n_s - n_r$) kayma hızı veya sadece kayma (s) olarak isimlendirilir.

$$s = n_s - n_r$$

Kaymayı senkron hızın yüzdesi veya birim miktarı olarak açıklamak daha yaygındır.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$$

Yük arttığı zaman hızda küçük bir azalma, kaymada da bir artma var.



Şekil 10 : Yüke göre kayma ve hız grafiği

Güç ve Tork

$$P_1 = 3 \operatorname{Re} \{ \tilde{V}_1 \tilde{I}_1^* \} = 3 |I_1|^2 \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)$$

$$R_2' = a^2 R_2$$

$$X_2' = a^2 X_2$$

$$R_2 = R_{rotor} + R_{ext}$$

- Güç kaybı,

$$P_\Omega = 3 |I_1|^2 (R_1 + a^2 R_2) = 3 |I_1|^2 (R_1 + R_2')$$

- Motor gücü P_{em} ,

$$P_{em} = 3 |I_1|^2 \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right) - (R_1 + R_2') \right] = 3 \frac{1-s}{s} R_2' |I_1|^2$$

- Motor torku şu şekilde hesaplanabilir,

$$P_{em} = T_{em} \omega_m \quad T_{em} = \frac{3}{\omega_m} \left(\frac{1-s}{s} \right) R_2' |I_1|^2$$

Güç ve Tork

- $\omega_m = \omega_{sync} (1-s)$ olduğundan T_{em} şu şekilde yazılabilir,

$$T_{em} = \frac{3}{\omega_{sync}} \frac{R_2'}{s} |I_1|^2 \quad |I_1|^2 = \frac{|V_1|^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

- Yukarıdaki tork formülünde I_1 formülü yerine yazıldığında,

$$T_{em} = \frac{3}{\omega_{sync}} \frac{R_2'}{s} \frac{|V_1|^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}$$

Moment Denklemleri

- ▣ Nominal Çalışma Moment Denklemi

$$M_n = \frac{P_r}{\dot{u}_s} = \frac{V_1 \frac{R_2'}{s}}{\dot{u}_s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}$$

- ▣ Kalkınma Moment Denklemi

$$M_k = \frac{P_r}{\dot{u}_s} = \frac{V_1^2 R_2'}{\dot{u}_s \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}$$

- ▣ Devrilme Moment Denklemi

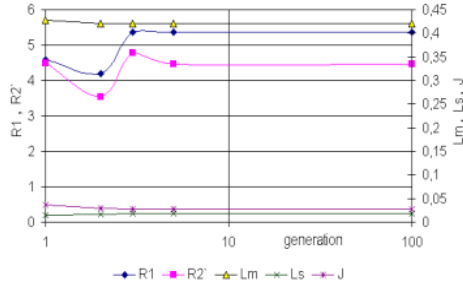
$$M_d = \frac{P_r}{\dot{u}_s} = \frac{V_1^2}{\dot{u}_s \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]}$$

Asenkron Motorun Eşdeğer Devre Parametreleri İle İlgili Literatür Araştırmaları

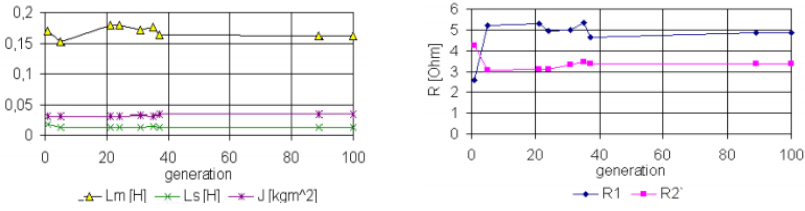
Doğrusal olmayan ASM parametrelerin tespitine yönelik olarak geliştirilmiş birçok teknik söz konusudur. Özellikle değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak parametrelerin doğru tespitinin zorluk dereceleri de artabilmektedir. Bunların üstesinden gelebilmek için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Elektrik motorlarının parametrelerinin

belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmaların bazılarının özetleri aşağıda verilmiştir.

1.1kW'lık asenkron motorun çalışması boyunca motorun hızı ve faz akımı direk şebekeye bağlı olarak ölçülmüştür. Matematiksel modelin bilinmeyen parametreleri genetik algoritma ile belirlenmiştir. Böylece değişen motor parametrelerinden dolayı bazı farklılıklar zaman cevap modelinin ve gerçek eğri modelinin içinde görülmüştür. Gerçek sabit değerler motorun nominal değerlerinden farklı çıkmıştır[2].

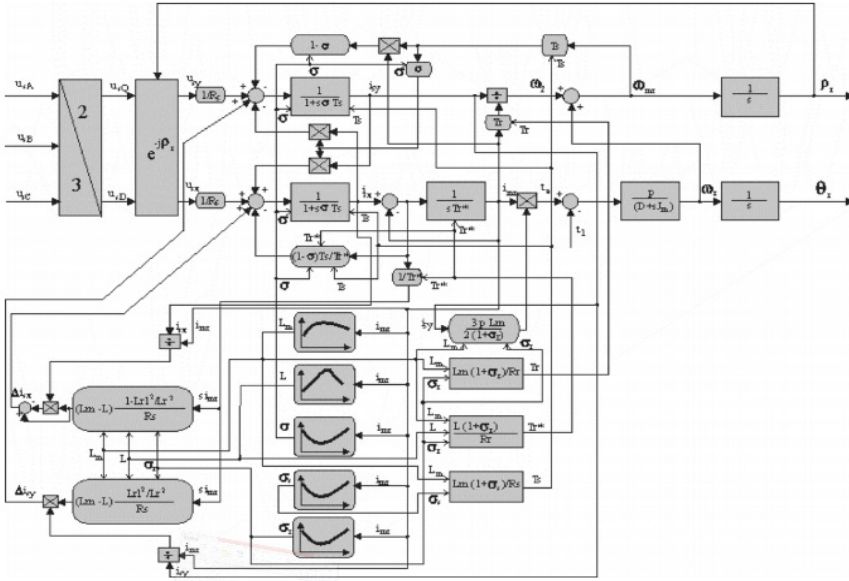


Şekil 11: Hız ölçümü ile tanımlama



Şekil 12: GA tarafından tanımlanan motor parametreleri

Asenkron motorların çevrimdışı parametrelerinin tahmini için sınırlandırılmış en küçük kareler minimizasyonunun uygulamasının analitik bir çözümü üzerinde durmuşlardır. Sınırlandırılmış minimizasyon, asenkron motorun klasik lineer dinamik modelinden türetilmiştir ve bu nedenle değişik manyetik seviyelerdeki asenkron motorun elektriksel parametrelerinin kararlı-hal değerleri tahmin edilebilmiştir. Saturasyonun etkisini dikkate alan bir dinamik Asenkron Motor modelinin simülasyonunda bu metot doğrulanmıştır[3].



Şekil 13: *Demir yolu doygunluğu etkilerini içeren endüksiyon makinesinin matematiksel modelinin blok diyagramı.*

Amaçlanan metod şu avantajlara sahiptir:

- Bir konvertörle üretilen gerilim dalgası veya bir elektrik hattından sağlanan sinüzoidal gerilim dalgasıyla beslenen bir motorla çalışmanın mümkün olması,
- Elektriksel parametreler hakkında bir ön bilgiye veya makinenin etiket verilerinin tamamına ihtiyaç olmaması,
- Dört-elektrik parametresinin aynı anda tahmininin mümkün olması

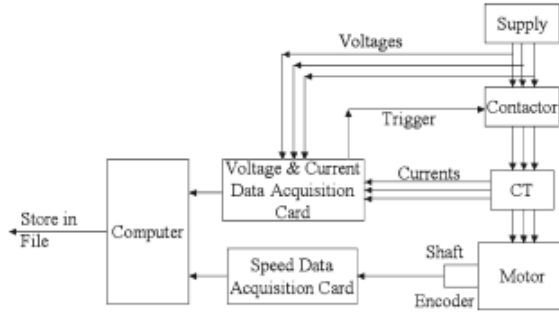
Dinamik kodlama algoritması (DEAS), Genetik algoritma (AGA) ile sürekli-zaman tahmini algoritması (CTPEM), vektör kontrol ve hata bulma işlemleri için bir Asenkron motorların belirlenen parametrelerine uygulanmıştır. Sayısal simülasyon, yüksüz kalkınma ve yüklü nominal çalışmada gerçekleştirilmiştir. Dinamik kodlama algoritması, genetik algoritma metodu ve sürekli-zaman tahmini hata metodu ile karşılaştırılmıştır[5].

Tablo 1: Sensörsüz ve Sensörlü Durumlar için CTPEM, AGA ve DEAS Tanımlama Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deney	Gözlenen Aralık	CTPEM		AGA		DEAS	
		amaçlanan ne iyi maliyet	amaçlanan APE(%)	amaçlanan ne iyi maliyet	amaçlanan APE(%)	amaçlanan ne iyi maliyet	amaçlanan APE(%)
Sensörsüz Durum 1	dar	3.0516e-9	2.2284	1.2863e-3	0.9526	7.3634e-8	0.1288
	geniş	5.2998e1	37.098	5.7852e-2	5.7961	1.9524e-3	0.9897
Sensörlü Durum 2	dar	1.6773e-9	2.0892	1.7753e-3	1.1181	1.7678e-6	0.1209
	geniş	1.5537e2	1.1425e4	3.6398e-2	4.9841	1.2537e-3	1.0478

DEAS, belirlenen parametre değerlerinin ve işletim zamanının doğruluğunda genetik algoritma metodundan daha hızlı olduğu gösterilmiştir. Asenkron motorun dinamik modelindeki tüm parametrelerinin eş zamanlı olarak tanımlanmasından dolayı, amaçlanan metot vektör kontrolünde olduğu gibi hata belirleme aracı olarak da kullanılabileceği belirtilmektedir[5].

Çalışmalarında rotoru çift çubuklu indüksiyon motorların önerilen modelleri içinde, iki boyutlu teoriye dayanan bir model tartışılmış ve geliştirilmiştir[6].

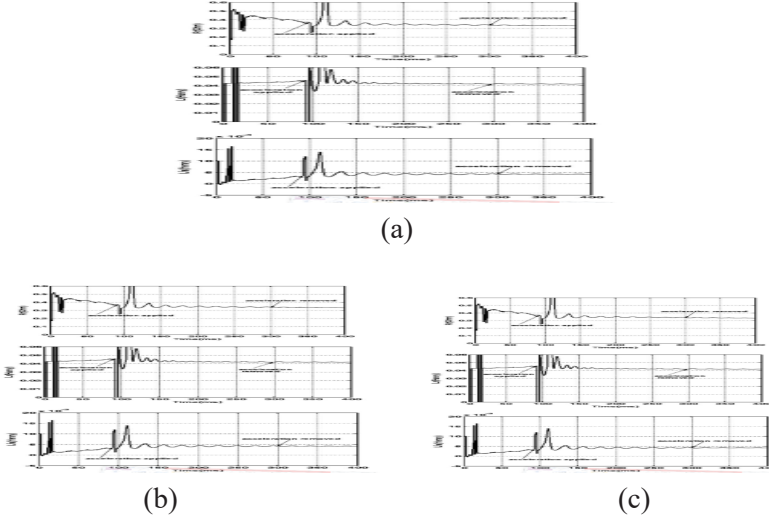


Şekil 14: İndüksiyon motorların sinyali blok diyagramı.

Modelin doğruluğu, gerçekliği ve tanımlanan parametreleri bir 5.5kW, 380V, 50Hz, 1450rpm çift kafesli rotorlu indüksiyon motor yardımıyla araştırılmıştır[6].

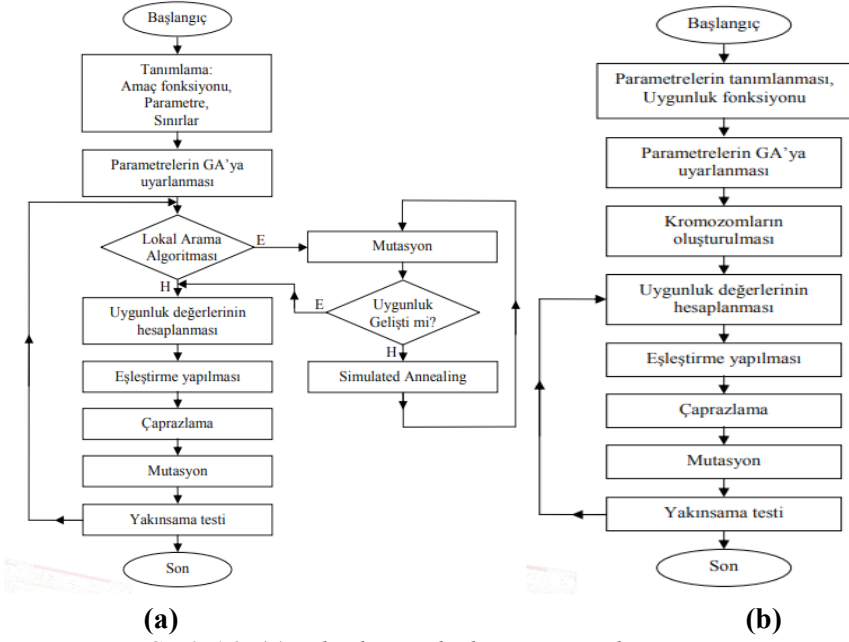
Asenkron motorların parametrelerinin tahmini için yeni bir yaklaşım üzerinde durulmuştur. Amaçlanan metodun temel özelliği, rotor direnci, rotor sargılarının self-indüktansı ve ölçülen rotor akı büyüklüğü olmaksızın stator kaçak akı reaktans parametrelerinin tahmininin mümkün olmasını göstermesidir. Tahmini parametreler, amaçlanan metodun performansını

ve yoğunluğunu değerlendirmek için 3 kW'lık bir asenkron motorla sağlanan benzer mevcut verilerle karşılaştırılmıştır[8].



şekil 15: Simülasyon sonuçları; (a) rotor direnci, (b) rotor ve (c) stator kaçak endüktansı.

Asenkron motor parametrelerinin belirlenmesinde geliştirdikleri bir hibrid genetik algoritmayı kullanmışlardır. Asenkron motor parametrelerini belirlemek için, asenkron motorun nominal çalışma, devrilme ve kalkınma moment denklemlerini amaç fonksiyonu olarak kullanmışlar ve uygunluk fonksiyonunu buna göre elde etmişlerdir. Bununla birlikte, asm parametrelerinin belirlenmesinde klasik genetik algoritmayı ve geliştirdikleri hibrid genetik algoritmayı sonuçları itibariyle karşılaştırmışlar ve hibrid genetik algoritmanın asm parametrelerinin belirlenmesinde üstün performansa sahip olduğunu göstermişlerdir[9].



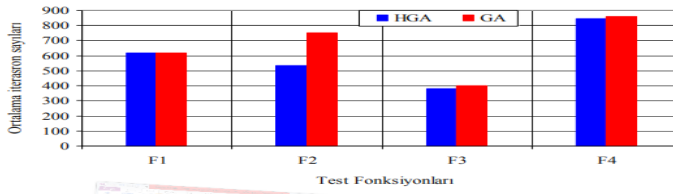
Şekil 16: (a) Hibrid genetik algoritmanın akış şeması.

(b) Genetik algoritmanın akış diyagramı.

Tablo 2: Asenkron motorlara ait gerçek değerler

Güç [Hp]	Gerilim [Volt]	Hız [d/dk]	Frekans [Hz]	R_s [Ω]	R_r [Ω]	X_l [Ω]	X_m [Ω]
5	230	1750	60	0.434	0.303	2.511	24.61
50	460	1705	60	0.087	0.228	0.604	13.08
500	2300	1773	60	0.262	0.187	2.412	54.02

Güç [Hp]	Gerilim [Volt]	Hız [d/dk]	Frekans [Hz]	R_s [Ω]	R_r [Ω]	X_l [Ω]	X_m [Ω]
5	230	1750	60	0.434	0.303	2.511	24.61
50	460	1705	60	0.087	0.228	0.604	13.08
500	2300	1773	60	0.262	0.187	2.412	54.02

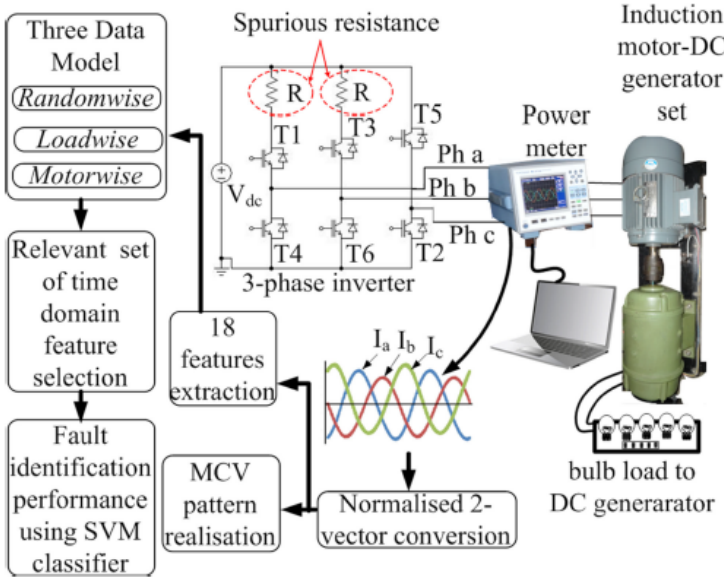


Şekil 17: Test fonksiyonları ile elde edilen ortalama iterasyon sayıları

Endüstriyel bilişim ve arıza teşhis uygulamaları alanında önemli bir konu, başlangıç aşamasında endüstriyel bir makinede arıza tespiti ve yerini tespit etmektir. Bu, çoğu zaman planlanmamış proses kesintileri ve artan bakım maliyeti ile takip edilen ciddi arızaların önlenmesini sağlar. İnvertör tahrikli endüksiyon motor sürücüler, diğer düzensizliklerin

yanı sıra, bu bağlantı noktalarında sahte dirence neden olan anahtarlama cihazının (yalıtılmış kapı bipolar transistörü (IGBT)) bağlantı noktasının bozulmasından muzdariptir.

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalarda, motor akım sinyalinde yeni başlayan ve ilerleyen hataları, özellik çıkarma işleminin ardından bir zaman alanı hesaplama tekniği ile takip eden bir destek vektör makine sınıflandırıcısı kullanılarak tespit etmeye çalışmaktadır. Bunlara ek olarak, bir invertördeki gerçekte olmayan direnç hatalarının, ortalama akım vektör dağılımı kullanılarak belirli bir düzende gruplanabileceği gözlenmektedir. Farklı deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin motor parametrelerindeki ve yükteki değişimin tespitinde başarılı olduğu görülmüş ve tatmin edici bir sınıflandırma doğruluğu sağlamıştır[10].



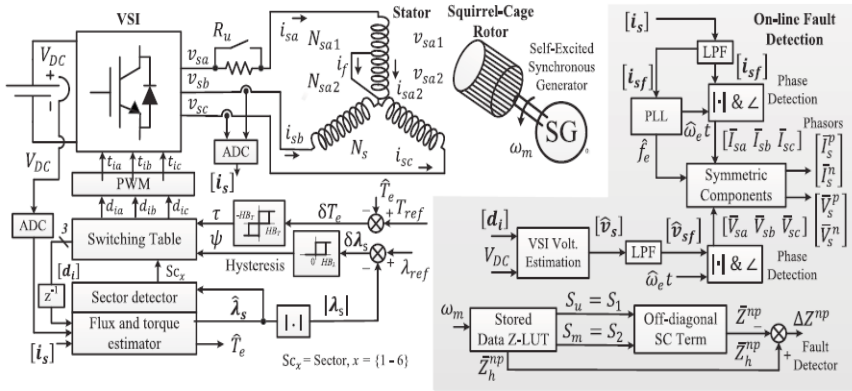
Şekil 18: Inverter, güç ölçer ve proses akış diyagramlı motor-jeneratör seti ile deney düzeneğinin şematik diyagramı.

Bu çalışmada önceki çalışmalarda çok fazla önem verilmeyen üç fazlı bir invertörde sahte direnç hatalarının yerini belirleme hedeflenmiştir. Tüm bu hataların MCV'lerinin $\alpha\beta$ -düzlemine yerleştirilmesiyle gözlem yapılmıştır. Elde edilen verilere dayanarak, üç farklı veri modeli hazırlanmış ve bir SVM sınıflandırma modeli kullanılmıştır. Sınıflandırma performans değerlendirmesi, üç veri modelinde ortalama % 94.82 doğruluk göstermiştir[10].

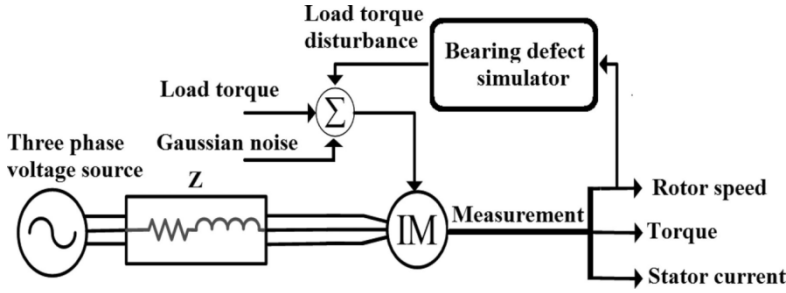
Motor koruma rölelerinin hem motor koruması hem de öngörücü teşhis açısından işlevselliğindeki ilerlemeleri açıklamaktadır. Bu

cihazların yüksek hızlı Ethernet / IP üzerinden ağ bağlantısı, sistem parametrelerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlayarak proses endüstrisi kullanıcılarının güvenilirliği, verimliliği ve güvenliği artırarak sistem süreçlerini daha iyi yönetmelerini sağlamak için analitik sağlar. Bu makalede, yeni motor yönetim rölelerinin yakın zamanda uygulanmasına ilişkin bir durum çalışması yer almaktadır ve üreticilere yeni motor yönetim rölelerinin nasıl uygulandığına dair belirli bir örnek sunarak en son teknolojilerden faydalanmak için ilgili ayrıntıları ana hatlarıyla ortaya koymaktadır[11].

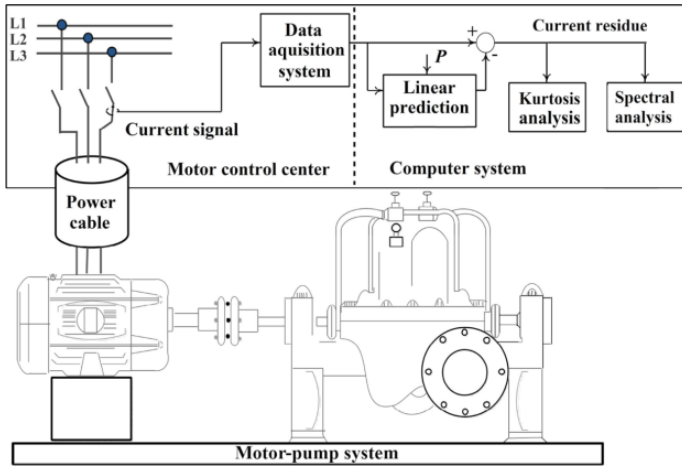
Statorun dönüş hatası, asenkron motorun (IM) arızalarının ana nedenlerinden biridir. IM'ler genellikle endüstri uygulamalarında ve daha yakın zamanlarda elektrikli araçlarda doğrudan tork kontrolü (DTC) ile yönlendirilir. Berzoy ve ark.(2019), IM ile beslenen bir DTC invertörü için bir hizmet içi girişimsel olmayan stator dönüş hatası algılama (FD) tekniği önermiştir. Sunulan FD stratejisi, IM sekans bileşenleri (SC'ler) empedans matrisinde diyagonal olmayan terimin çevrimiçi tahminine dayanmaktadır. FD, IM'nin parametreleri hakkında önceden bilgi gerektirmez ve sensörün doğal hatalarına karşı hazırlıklıdır. Ayrıca, önerilen FD rutini yaklaşık % 1 hata şiddeti faktörünün başlangıçtaki başarısızlığını tespit edebilir. SC'nin hesaplanması için iki pratik metodoloji uygulanır: Simetrik bileşenler ve Savitzky-Golay filtresi. Deneysel sonuçlarla güçlendirilen simülasyon, FD'nin kapalı döngü kontrollü inverter tahrikli IM'de başarısını gösterdi[13].



Şekil 19: Faz a'da ITSC'li bir IM'nin tipik DTC yapısı ve FD tekniğinin uygulanması.



Tipik bir endüksiyon motorunun Stator akımının baskın bileşenlerindeki önemli miktarda bilgi, titreşime dayalı rulman arıza tespiti (BFD)’ye yönelik gürültüdür. Yapılan çalışmalarda, geçerli bir gürültü engelleme yöntemi geliştirmektedir. Genel pürüzlülüğü ve tek noktalı rulman hatalarını tespit etmek için akım bazlı BFD’ye uygulanabilir bir alternatif olarak bir akım gürültü iptali (CNC), yöntemi sunmaktadır. Geleneksel CNC yöntemlerinin aksine, “öngörülebilirlik” ayırt edici özellik olarak kabul edilir. Öngörülebilir bileşenleri gürültü (yani gürültüyü tahmin etmek) olarak modellemek için optimum tahmin sırasına sahip doğrusal tahmin (LP) teorisi uygulanmıştır[14].

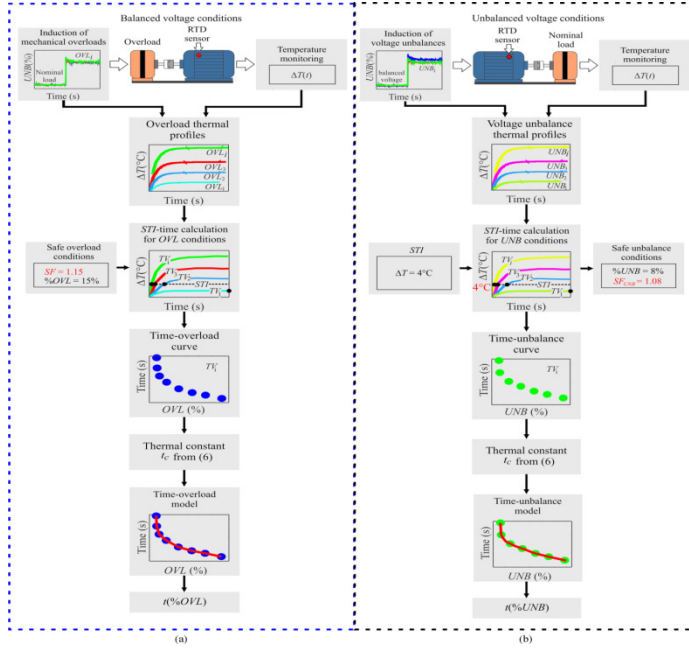


Şekil 20: Geliştirilen yöntemin sistemi.

Voltaj dengesizliği ve mekanik aşırı yük, endüksiyon motorları üzerinde olumsuz etkiler yaratarak stator yalıtımında termal hasarlar ve motorun ömrünün kılmasına neden olur. Bu bağlamda, motorun bütünlüğünü korumaya ve yalıtım sisteminin bozulması, kısa devreler ve benzeri geri dönüşü olmayan hasarlardan kaçınmaya yardımcı olabileceğinden koruma cihazlarının geliştirilmesi çok önemlidir.

Voltaj dengesizliği olan asenkron motorlarda bir zaman koruma modeli elde etmek için bir metodoloji sunmuşlardır. Metodoloji, mekanik

aşırı yük ve voltaj dengesizliği koşulları tarafından üretilen motor üzerindeki termal etkiye dayanmaktadır[15].



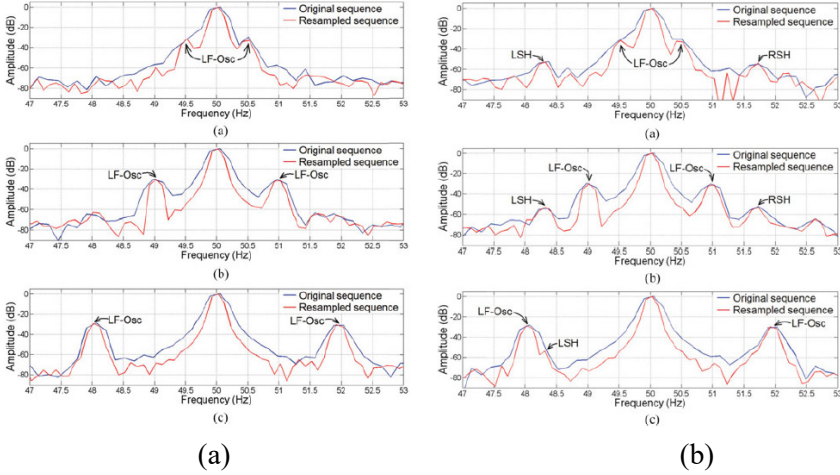
Şekil 21: Elde etmek için önerilen yöntem. (a) Zaman aşırı yük modeli. (b) Zaman dengesizliği modeli.

Genel olarak, aşağıdaki adımlardan oluşur:

- motorda farklı aşırı yükleri ve voltaj dengesizlik seviyelerini indükleyin ve stator sargısında termal profillerini izlenir.
- motorun zaman-aşırı yük eğrisi elde edilir.
- hem zaman-aşırı yük eğrisine hem de aşırı yük termal profiline göre termal seviye belirlenir.
- hem elde edilen termal seviye hem de dengesizlik termal profillerini kullanarak zaman dengesizliği modelinin parametreleri tahmin edilir.

Titreşim ve stator akım analizi kullanılarak çalışma durumlarını teşhis etmek için asenkron motorlar (IM) üzerinde düzenli izleme yapılır. Elde edilen sinyal daha sonra hatanın karakteristik parametrelerini çıkarmak için işlenir. Hızlı Fourier dönüşümü (FFT) bu görev için kullanılır, ancak düşük sinyal / gürültü oranına duyarlılık, yakın yerleştirilmiş spektral bileşenlerin çakışması, durağan olmayan sinyaller ve spektral sızıntı gibi yapısal sınırlamalara sahiptir. Bu sınırlamalar spektrum kestirimini

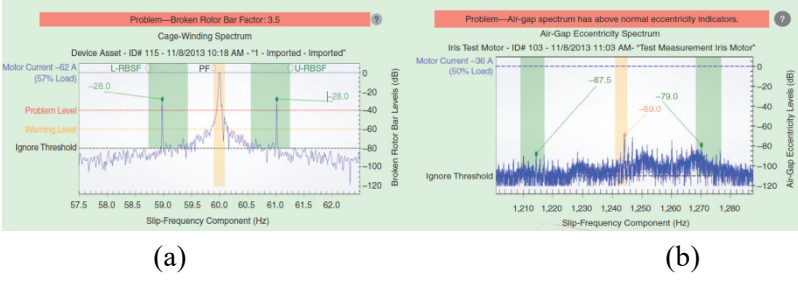
iyileştirmek için incelenmiştir, ancak spektral sızıntı, etkileri önemli olsa bile yeterli ilgi görmemiştir. Kısmi yeniden örnekleme ile spektral sızıntıyı azaltarak FFT tabanlı yöntemleri geliştiren çok hızlı sinyal işleme teknikleri tanıtılmaktadır. Metodoloji, IM'deki hataları tespit etmek ve FFT tabanlı yöntemlerin iyileştirilmesini göstermek için deneysel sinyallere uygulanır[17].



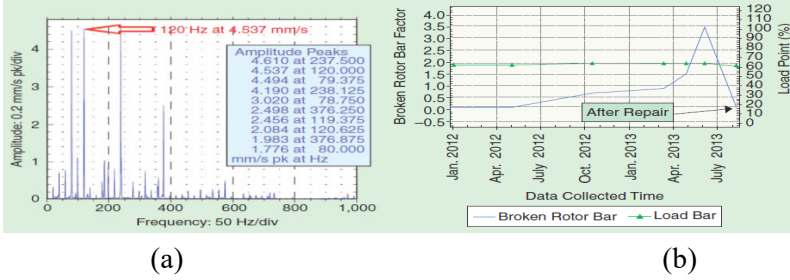
Şekil 22: (a) 0.5 Hz, 1.0 Hz ve 2.0 Hz’de LF-Osc yükü olan sağlıklı motorun spektrumu. (b) 0.5 Hz, 1.0 Hz ve 2.0 Hz’de BRB ve LF-Osc yükü olan motorun spektrumu.

Deneysel sonuçlar, kırık rotor çubukları (BRB) koşulu, dengesizlik ve yanlış hizalama gibi diğer mekanik arızalarla ve motor bir inverter tarafından beslendiğinde bile, spektral tahmin yöntemi olarak FFT kullanılarak IM’de BRB tanısı için önerilen metodolojinin etkinliğini ve avantajlarını doğrulamıştır[17].

Asenkron motorların stator-akım sinyal analizi yapmışlardır. Asenkron motorlarda stator-akım sinyal analizi rotor sincap kafesi sarma hatalarını ve hava boşluğu-eksantriklik sorunlarını teşhis etmek için kanıtlanmış bir yöntemdir. Bu test, makine çalışırken yapılabilir ve rotor problemleriyle veya rotor ile stator arasındaki etkileşimle ilişkili olabilecek yüksek titreşimin nedenini doğrulamak için kullanılabilir. Hava boşluğu eksantrikliği, rotorun stator göbek deliği ile eşmerkezli olmaması, rotor shaftı bükülmüş ve / veya kovan yatakları aşınmış olacak şekilde zayıf montajdan kaynaklanır. Bu sorunların potansiyeli, karmaşık arıza frekanslarını doğru bir şekilde hesaplayabilen ve hava boşluğu eksantrikliği ile ilgili maliyetli teminat hasarını önlemek için bir kesintiyi planlamak için yeterince erken tanımlayabilen bir sistemi gerektirir[18].

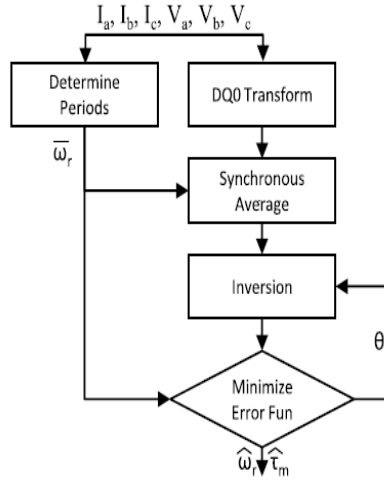


Şekil 23: (a) Geçerli sinyal kafes sarma spektrumu. (b) Mevcut sinyal hava boşluğu dış merkezlilik spektrumu.



Şekil 24: (a) Radyal titreşim spektrumu taşıyan bir motor. (b) Kırık bir rotor çubuğu faktör eğilimi.

Periyodik sabit durumda çalışan motorlarda, motor terminallerinden yük durumunu izlemek için bir algoritma ve veri işleme adımları sunulmaktadır. Sonuç, atalet torku ve yük torkunun hesaplanması için uygun shaft hızı ve elektromanyetik torkun yüksek doğruluk tahmini, böylece motoru yük tork sinyalindeki yük durumu bilgisine şeffaf hale getirir. Tersine çevirme yöntemi, bir parametre tahmin adımı sağlar, böylece motor parametreleri hakkında önceden bilgi sahibi olmak şart değildir. Zaman alanı yük torkunun doğrudan kullanımı, stator akımlarındaki veya elektromanyetik torktaki spektral frekansların izlenmesine kıyasla hata teşhisini kolaylaştırır[18].



Şekil 25: Tersine çevirme algoritması akış şeması.

Tersine çevirme yöntemi, bir parametre tahmin adımı sağlar, böylece motor parametreleri hakkında önceden bilgi sahibi olmak şart değildir. Tersine çevirme yöntemi, çok periyodik yükleme koşullarına kadar genişletilir[18].

ARAŞTIRMA GÜNDEMİNİN ÖNEMİ

Mevcut doğal kaynakların hızla tüketimi, çalışmaları alternatif enerji kaynakları üzerinde özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarında birçok çalışma yapılmasına yönlendirmektedir[4,12,16,19,20]. Enerji üretilmesinde yaşanan sorunlar, artan enerji maliyetleri, uluslararası pazardaki rekabet koşulları gibi faktörler göz önüne alındığında bu denli yaygın bir kullanıma sahip motorların üretim ve işletme verimliliği ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır.

Elektrik motorları plakalarında verilen anma gücünde sürekli olarak çalışmak üzere boyutlandırılmış ve anma sıcaklığı belirlenmiştir. Bu verilere göre asenkron motorun elektriksel ve eşdeğer parametrelerin belirlenmesi konusunda birçok çalışmalar yapılmıştır.

Fakat motorun parametrelerinde çalışma süresince rotor arızaları ve sargılarındaki anlık sıcaklık farklılıklarıyla değişim meydana gelmektedir. Asansörler, çamaşır makinaları, vinçler gibi pek çok uygulamada motor kısa süreli olarak yüklenir ve sargı sıcaklıkları izin verilen maksimum değere ulaşamaz. Motor parametrelerin sabit bir sıcaklıkta tespit edilmesi farklı sıcaklıklardaki parametrelerin doğru tespit edilememesine motorun doğru bir şekilde sürülememesine ve enerji veriminin düşük olmasının neden olur.

Gerek imalatçı, gerek kullanıcı açısından motor performansının iyileştirilmesi ve maliyetin düşürülmesi büyük önem taşımaktadır. İşletme maliyetinin toplam maliyetin büyük bir kısmını oluşturması nedeniyle, işletme maliyetinin, motorda kullanılan aktif malzemelerin iyileştirilmesi ve motor parametre değişkenlerinin doğru belirlenmesi büyük önem taşır. Anlık parametre değişimlerinin sürekli ölçümünün maliyetini yükselten faktörler, modelleme aşamasında da yüksek bilgisayar donanım maliyetleri ve çözümleme sürecinin çok uzun olması biçiminde kendini gösterir.

Bu yazıda, ASM'lar hakkında genel bilgiler verilmiş ve eşdeğer parametre tespiti, değişimleri için literatür araştırması yapılmıştır. Bu literatür bakış sonucu araştırmacıların ve mühendislerin gereksinimlerine göre çeşitli yöntemler ve algoritmalarla yapılan parametre tespitleri en uygun yönetime yönlendirme amacıyla genel bilgi ve çalışmalar hakkında bilgi sahibi olunacaktır. ASM parametre tayini hakkında literatürün güncelliğini ve önemini güçlü bir şekilde gözler önüne sermektedir.

KAYNAKLAR

1. Terzioğlu, H., Ağaçayak, A. C., Yalçın, G., & Neşeli, S. (2019). Asenkron Motorun Çalışma Parametrelerinin SCADA ile İzlenmesinin Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 418-427.
2. Ferková, Ž., & Zboray, L. (2005). Contribution to parameter identification of an induction motor by genetic algorithms. *Acta Electrotechnica et Informatica No*, 5(1), 2.
3. Cirrincione, M., Pucci, M., Cirrincione, G., & Capolino, G. A. (2005). Constrained minimization for parameter estimation of induction motors in saturated and unsaturated conditions. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(5), 1391-1402.
4. Neşeli, S., Yalçın, G., (2018). "Yenilenebilir Enerji Kaynakalarında MPPT Uygulamaları," Acad. Studies in Eng., Gece Publishing, pp. 111-120.
5. Kim, J. W., & Kim, S. W. (2005). Parameter identification of induction motors using dynamic encoding algorithm for searches (DEAS). *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20(1), 16-24.
6. Rahimpour, E., Rashtchi, V., & Pesaran, M. (2007). Parameter identification of deep-bar induction motors using genetic algorithm. *Electrical Engineering*, 89(7), 547-552.
7. Terzioğlu, H., Yalçın, G., & Kısa, M. (2019). Servomotorun SCADA ile Kontrolü. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 428-435.
8. Koubaa, Y. (2006). Asynchronous machine parameters estimation using recursive method. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 14(7), 1010-1021.
9. Mutluer, M. (2007). *Asenkron motor elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin hibrid genetik algoritma yöntemiyle belirlenmesi* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
10. Bandyopadhyay, I., Purkait, P. ve Koley, C. (2018). İnterör Sürücülerinde Arıza Tespiti için Zaman Etki Alanı Özelliklerine Dayalı Bir Sınıflandırıcının Performansı. *Endüstriyel Bilişimde IEEE İşlemleri*, 15 (1), 3-14.
11. Durocher, D. B., Hussey, M. R., Belzner, D. E., & Rizzi, L. (2018). Application of Next-Generation Motor Management Relays Improves System Reliability in Process Industries. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(2), 2121-2129.
12. Ağaçayak, A.C., Terzioğlu, H., Neşeli, S., Yalçın G., (2018). "Small Power Wind Turbine Design," Acad. Studies in Eng., Gece Publishing, pp. 121-130.

13. Berzoy, A., Eldeeb, H. H., & Mohammed, O. A. (2019). On-Line Detection of Stator Faults in DTC-Driven IM Using SC Impedance Matrix Off-Diagonal Term. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(6), 5906-5915.
14. Yang, H. C., See, K. Y., Simanjorang, R., & Li, K. R. (2018). Offline Health Diagnosis of Power Device Based on Nonintrusive Inductively Coupled Approach. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 6(4), 2053-2059.
15. Dalvand, F., Kang, M., Dalvand, S., & Pecht, M. (2018). Detection of generalized-roughness and single-point bearing faults using linear prediction-based current noise cancellation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(12), 9728-9738.
16. Ağaçayak, A.C., Yalçın G., Neşeli, S., (2019). Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri, “Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi,” Gece Akademi, Basım sayısı:1, 195-218, ISBN:978-625-7958-40-0.
17. Gonzalez-Cordoba, J. L., Osornio-Rios, R. A., Granados-Lieberman, D., Romero-Troncoso, R. D. J., & Valtierra-Rodriguez, M. (2018). Thermal-Impact-Based Protection of Induction Motors Under Voltage Unbalance Conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(4), 1748-1756.
18. Mistry, R., Finley, W. R., Hashish, E., & Kreitzer, S. (2018). Rotating Machines: The Pros and Cons of Monitoring Devices. *IEEE Industry Applications Magazine*, 24(6), 44-55.
19. Terzioğlu, H., Arslan, M., Demirok, H.D., (2019). Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri, “Rüzgar Enerjisi İle Elektrik Üretimi” (2019)., Gece Akademi, Basım sayısı:1, 219-241, ISBN : 978-625-7958-40-0.
20. Terzioğlu, H., Arslan, M., Demirok, H.D., (2019). Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri, “Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Hibrit Güç Sisteminin Ekonomik Analizi Ve Performansına Genel Bir Bakış” Gece Akademi, Basım sayısı:1, 242-274, ISBN : 978-625-7958-40-0.



Bölüm 2

SIKIŞMALI TEKTONİK KUŞAKLARA KUM KUTUSU DENEYLERİ İLE YAKLAŞIM

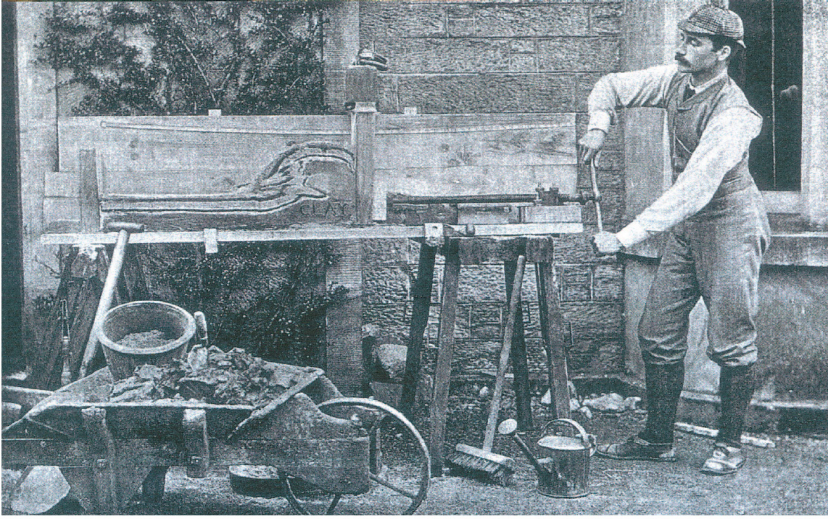
Elif AKGÜN¹

¹ Arş. Gör. Dr. Elif Akgün Kurumum Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

1. KUM KUTUSU DENEYLERİNE GİRİŞ

Kum kutusu deneyleri çalışmalarında günümüze kadar büyük ölçüde ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu ilerlemeye sıkışmalı kuşaklarda gelişen hidrokarbon kapanlarının ekonomik açıdan araştırılması büyük katkı sağlamıştır. Özellikle büyük petrol şirketleri arazi ve sismik çalışmaların oldukça zor olduğu, elde edilen sismik profillerin de düşük kalitede olduğu bu orojenik kuşakların içsel tektonik evrimini anlamak için kum kutusu deneylerine ağırlık vererek, deneysel modellemenin gelişimine katkıda bulunmuşlardır. Ayrıca büyük depremlerin yaşandığı sıkışmalı kuşakların anlaşılması için bu modellemeler oldukça önem taşımaktadır. Günümüz araştırmacıları hem ekonomik hem de bilimsel açıdan kum kutusu deneylerini uygulayarak, orojenik kuşakları farklı kombinasyonlarda iki ve üç boyutlu olarak modellemişlerdir.

Kum kutusu deneyleri ilk olarak 19. yüzyılın başlangıcından (1813) itibaren James Hall tarafından; kıvrım, fay ya da eklem gibi tektonik unsurları şekilsel açıdan canlandırmak için gerçekleştirilmiştir. Cadell 1888 yılında bindirme ve kıvrım kuşaklarının gelişimini incelemek için; kil katmanlarının deformasyonunu kullanarak saf makaslama modelini gerçekleştirmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Bindirme ve kıvrımların gelişimini canlandırmak için kil katmanlarının deformasyonunun kullanarak saf makaslama modelini gerçekleştiren Cadell (1888)'in fotoğrafı (Koyi, 1997).

Bu sırada birçok araştırmacı tarafından sıkışmalı tektonik sonucu gelişen bindirme fayları ve ters faylar modellenmeye çalışılsa da gerçeğe yakın sonuçlar elde edilememiştir. Bindirme faylarının en realistik gelişimi kıvrım oluşumlarının ilerleyen aşamalarında gözlemlenmiştir (Willis, 1893; Lohest, 1913; Kuenen ve Sitter, 1938). Kıvrımların gelişimini araştıran bu çalışmacılardan Kuenen ve Sitter (1938) kauçuk levha, kâğıt istifi, yumuşak plastik malzeme kullanarak; deformasyonların gelişimindeki farklılıkları göstermişlerdir.

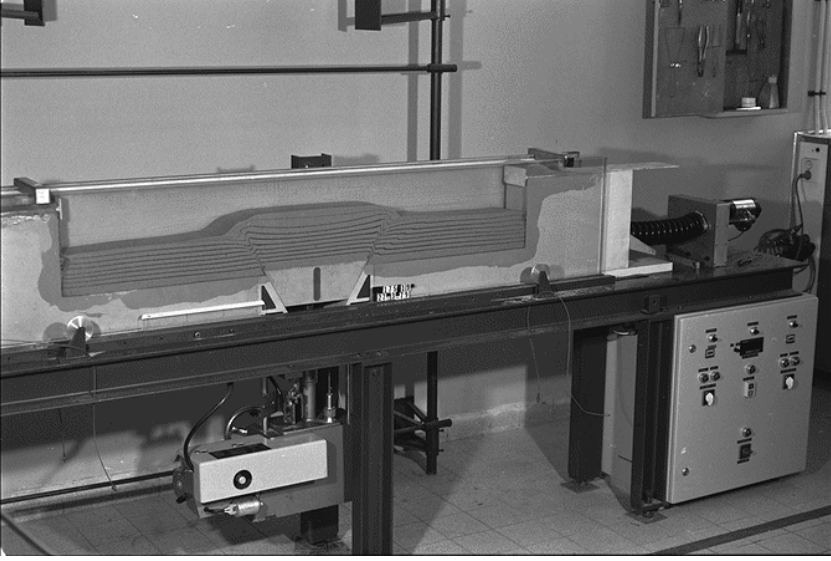
Önemli hidrokarbon birikimleri içerdiği bilinen Alpler, Himalayalar, Zagros ile And dağları kıvrım ve bindirme kuşaklarının önemli örneklerini temsil etmektedir. Dağlık alanlarda yapılan sismik çalışmalar sonucu elde edilen veriler, ölçülmesi zor ve genellikle düşük kalitede verilerdir. Bundan dolayı kum kutusu deneyleri sonucu elde edilen modellemeler, yapısal geometrideki karmaşık fay sistemlerinin anlaşılabilmesi ve sismik verilerin yorumlanması açısından jeologlara destek sağlayan oldukça faydalı bir yöntemdir.

Kum kutusu deneylerinin zamanla gelişimi kıvrım ve bindirme kuşaklarının hidrokarbon kapanları bakımından zengin oluşudur. Kum kutusu deneylerinin ilk gelişim aşamaları büyük petrol şirketlerinin bu orojenik kuşakları ekonomik açıdan incelemek istemesiyle başlamıştır. Hidrokarbon kapan oluşumlarının ekonomik olarak araştırılması ile gelişmeye başlayan kum kutusu deneyleri günümüzde birçok araştırmacı (Nieuwland, 1997; 2003; McClay, 1990; Storti ve McClay, 1995; Storti vd., 2000; McClay vd., 2004; Reiter vd., 2011 gibi) tarafından bilimsel çalışmalara ışık tutmak amacıyla da çalışılmıştır. Günümüzdeki bu araştırmacılar hidrokarbon kapanlarının yanı sıra; kabukta meydana gelen kısılmayı, orojenik kuşakların deformasyon mekanizmasını, geometrisini ve yapısal evrimini incelemeyi amaçlamışlardır.

Deneyisel çalışmalar genellikle orojenik kuşakların ince kabuklu deformasyonunu modellemiştir. Deneyisel süreçlerde bindirme tektoniği için önemli parametrelerin (sınır koşulları) seçimini ve ortaya çıkan bindirme kuşağının geometrisi ve gelişimine dayalı bu parametrelerdeki değişimlerin etkilerinin bilimsel açıdan incelenmesi amaçlamıştır. Bu önemli parametreleri; dekolmanın sürtünme direnci, temelin biçimi (örneğin; alçak ya da yüksek alanların dağılımı), sin-sedimanter deformasyon, dekolmanın reolojisi, indenterin (yakınsayan levha) biçimi ve çizgisel ya da rotasyonel yer değiştirmesi oluşturmaktadır (Nieuwland, 1997).

1.1. Kum Kutusu Modellemelerindeki Deneysel Düzenek

Kum kutusu deneylerinin genel düzeneği, hareketli bir duvarın (indenter) yer değiştirmesi ile eşit oranda kısaltılan 3 ya da 4 cm kalınlığında kum istifinden oluşmaktadır (Nieuwland, 1997). Seçili parametrelerin etkilerinin gözlemlenebilmesi için; kum kutusu deneyleri yanları şeffaf (içsel geometrik gelişimin incelenebilmesi amacıyla) belli boyutlardaki bir deformasyon düzeneğinde gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Tektonik deformasyonların modellemesinin yapıldığı kum kutusu deneylerinin düzeneğinden bir görünüm (Nieuwland, 1997).

Üç boyutlu (3D) büyük kum kutuları (~ 1.5 m x 1.5 m), bir bindirme kuşağının yapısal stili ve içsel geometrisi üzerindeki etkileri çalışmak için kullanılmaktadır. Daha küçük boyutlardaki üç boyutlu (3D) bir kum kutusu ise X ışınları bilgisayar görüntüleme tarayıcısındaki (CT) deneylerin yürütülmesi için kullanılmaktadır. Bu bilgisayar görüntüleme tarayıcısı (CT) kum istifindeki yoğunluk değişimlerini kaydetmektedir. En düşük yoğunluktaki kum istiflerinin bulunduğu alanlar genişlemeli fay zonlarını gösterirken, daha yüksek yoğunluktaki kum istiflerinin bulunduğu alanlar ise sıkışmalı fay zonlarını göstermektedir. Duvarın her 0.5 cm yatay yer değiştirmesinden sonra modelin görüntü taraması ile bir bindirme kuşağının iç gelişiminin zaman aralıklı görüntüleri elde edilmektedir. Mini üç boyutlu (3D) modellemeler bilgisayar görüntüleme araştırmaları sonucu elde edilmektedir. Bilgisayar görüntüleme tarama

verileri çeşitli üç boyutlu (3D) görselleştirme programları (Voxelview Yazılımı gibi) tarafından işlenmektedir (Nieuwland, 1997).

Deneyler modellenecek alana ve inceleme amaçlarına göre farklı düzeneklerde kurulmaktadır. Yitim zonları sonucu gelişen orojenik kuşaklarda modelleme yapılırken yakınsama açısının değiştirilebildiği bir düzenekte deneyler uygulanarak; çift yönde kama gelişiminin olduğu ortogonal ve oblik modellemeler elde edilmiştir (McClay vd., 2004). Ya da birbirine paralel farklı hızda iki indenterin yakınsadığı düzenekler kurularak; meydana gelen orojenik kuşağın geometrisi incelenmiştir (Reiter vd., 2011). Bir diğer modelleme ise; aşınma etkisinin olduğu ve olmadığı durumlarda sin-tektonik sedimantasyonun uygulanışdır (Storti vd., 2000).

1.2. Kum Kutusu Deneylerindeki Sınır Koşulları

Kum kutusu deneyleri mekanik düzeneğin yanı sıra; taban sürtünmesi etkilerini, dekolman malzemesinin türünü, rotasyonel kısalma ve sin-tektonik sedimantasyon gibi önemli parametreleri analiz etmek için de uygulanmaktadır. Ayrıca gerçekleştirilen deneyler sadece kum ile uygulanmamaktadır. Gerçeğe uygun olması açısından çok katmanlı kıvrım ve bindirme modelleri oluşturabilmek ve doğadaki heterojen kayaç yapısını yansıtabilmek için kuru kuvars kumunun yanı sıra; farklı sürtünme direncine sahip malzemeler de kullanılmaktadır (Nieuwland, 1997). Modellemesi yapılacak olan alanın hem litolojik özellikleri hem de bindirme tektoniği mekanizması göz önünde tutularak; zamansal ve alansal ölçeklendirmeye modellenmiştir.

Taban sürtünmesi etkileri bir bindirme kuşağının geometrisini ve yapısal stilini yöneten en önemli faktörlerden biridir. Dekolmanın sürtünme direnci bindirme dilimlerinin büyük ölçüde uzunluğunu, bindirme önünün kesit biçimini ve bindirme kuşağının yapısal stilini belirlemektedir. Kum kutusu deneylerinde, yüksek taban sürtünmesi kıvrılmış düşük açılı rampalar ile kısa bindirme dilimleri meydana getirirken; düşük taban sürtünmesi ise nispeten düz ve dike yakın rampalar ile uzun bindirme dilimlerinin gelişimine yol açmaktadır. Yüksek taban sürtünmesinde geri bindirme oluşumu yokken ya da çok azken; düşük taban sürtünmesinde çok sayıda geri bindirme oluşumu söz konusudur. Yüksek taban sürtünmesine sahip dekolman düzleminde bindirme dilimleri antiformal bir yığın oluştururken; düşük sürtünmeye sahip dekolman düzlemlerinde ard ülkeye eğimli dubleks oluşumları gelişmektedir. Yüksek sürtünmede eski bindirmeler yeni bindirmeler tarafından deforme edilirken; düşük sürtünmede eski bindirmeler yeni bindirmeler tarafından deformasyona uğramamaktadır (Nieuwland, 1997).

Şekil 1.3 yüksek sürtünmeli bir zon ile düşük sürtünmeli zon arasındaki diyagonal sınırı göstermektedir. Yüksek sürtünmeli kısımda (üstten görünümün sağ kısmı) bindirme dilimleri sık aralıklı kısa bir şekilde görülmekteyken; düşük sürtünmeli kısımda ise daha geniş aralıklı uzun bindirme dilimleri meydana gelmiştir. Kısılmanın ilk aşamalarında düşük sürtünmeye sahip kısımlarda düz bindirme dilimleri gelişmiştir. Kısılmanın sonraki aşamasında yüksek sürtünmeli alandan düşük sürtünmeli alana doğru geçiş boyunca alınan kesitte eski bindirmelerin yeni bindirmeler tarafından kıvrıldığı ve geri bindirmelerle ilişkili olduğu görülmektedir. Kısılmanın son aşamasında ise düşük sürtünmeli kesimde düz bir fay düzlemi, geri bindirme ve kama gelişimi söz konusudur (Nieuwland, 1997).



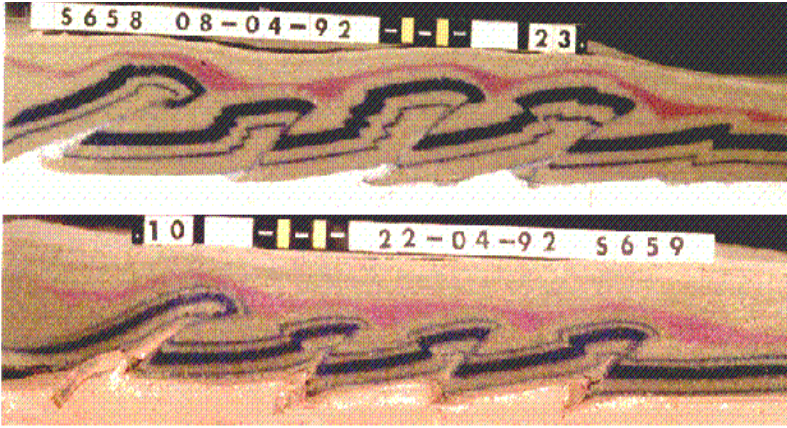
Şekil 1.3. Bindirme tektoniğindeki kıvrım ve önemli incelme gelişiminin kum kutusu deneylerindeki aşamalı kesit ve üstten görünümü (Nieuwland, 1997).

Taban sürtünmesinin artmasına bağlı olarak bindirme kompleksinin ard ülkeye doğru olan eğimi artmaktadır ve bu eğim bindirme kompleksinin geometrisinin anlaşılması için önemli bir göstergedir. Ard ülkeye doğru olan eğim ön rampanın eğimi ile aynı olduğu sürece dubleks tipi münferit rampa antiklinali gelişmektedir. Eğer ard ülkeye doğru olan eğim ön rampanın eğiminden daha dik ise bir domuz sırtı (piggy-back) dizilimi meydana gelmektedir. Ancak bu eğim ön rampanın eğiminden çok daha dik olduğunda ve bununla birlikte taban bindirmesi kıvrımlandığında bir antiklinal yığını ya da antiformal yığın (imbrike yapısı) oluşmaktadır (Nieuwland, 1997).

Taban sürtünmesindeki yanal değişim bindirme önlerinin kıvrılmasına yola açmaktadır. Kademeli geri bindirmeler düşük sürtünmeli alan üzerindeki sığ seviyelerde oluşmaktadır ve derinlerdeki devamlı bir fay ile birleşmektedir. Bindirme faylarında meydana gelen büyük yer değiştirmeler yırtılma faylarının gelişimi ile karşılanmaktadır.

Bindirme tektoniği sonucu gelişmiş olan yanıl (lateral) rampalar fazla yer değişimini sağlayabilmek için yırtılma faylarına dönüşmektedirler. Bindirme kuşağının geometrisinde taban sürtünmesinin etkisi oldukça önemlidir (Nieuwland, 1997).

Doğada farklı sürtünme direncine sahip kayaçlar bir arada heterojen bir şekilde bulunmaktadır. Bu yüzden deneysel olarak modellenecek alanlar çok katmanlı bir şekilde uygulanarak; doğadaki heterojen kayaç yapısını yansıtmaktadır. Deneylerde yüksek taban sürtünmesi için tutkallı kum karışımı, düşük taban sürtünmesi için PVC levha kullanılmaktadır. Çok düşük sürtünmenin olduğu elastoplastik bir dekolman (doğadaki karşılığı yumuşak kil) için yağ-su emülsiyonu kullanılırken; viskoplastik bir dekolman (doğadaki karşılığı evaporitik kayaçlar) için silikon macunu kullanılmaktadır (Nieuwland, 1997). Doğadaki yumuşak killerin karşılığı olarak kullanılan yağ-su emülsiyonu (S 658) çoklu geri bindirmelerin gelişimine yol açmıştır. Doğada evaporitik kayaçları temsil eden silikon macununun (S 659) kullanımında ise kıvrımlar ve tekli geri bindirmelerin geliştiği gözlemlenmiştir (Şekil 1.4) .

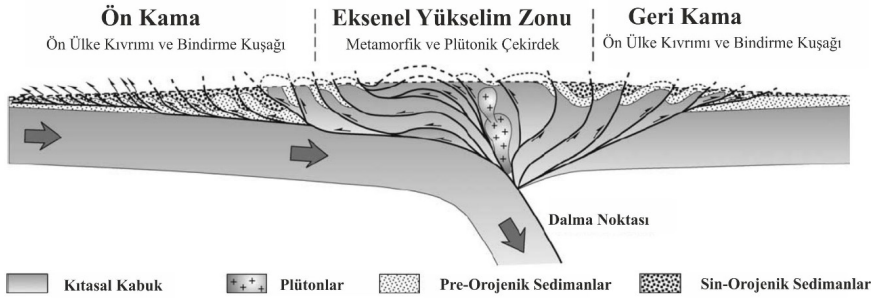


Şekil 1.4. Yağ-su emülsiyonu (S 658) ve silikon macunu (S 659) ile yapılan kum kutusu deneylerinden enine kesit görünimleri (Nieuwland, 1997).

Rotasyonel sıkışma, sürekli değişen sıkışma yönü ve ara sıra bindirme dilimleri içerisinde gelişen eşlenik sıra dışı bindirmelerin sonucunda sivri uçlu bir bindirme önünün gelişmesine neden olmaktadır. Bu normalde beklenenden daha kısa ya da daha uzun bindirme dilimlerinin oluşumuna sebep olabilir. Sin-tekonik sedimantasyon sıra dışı bindirmelerle sonuçlanmaktadır. Yüksek taban sürtünmesi ile birleştirildiğinde, bindirme dilimi yukarı dik bir bindirme ucuna doğru kıvrılmaktadır (Nieuwland, 1997).

1.3. Kum Kutusu Deneylerindeki Ortogonal ve Oblik Yakınsama Modellemesi

Zagros, Apalaşlar, And gibi kıvrım ve bindirme kuşakları hidrokarbon kapanları içermeleri dolayısıyla birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve modellenmiştir. Bu orojenik kuşaklar ortogonal ya da oblik yakınsamaya bağlı dalma-batma ya da çarpışma sonucu meydana gelmiştir. Bu orojenlerin çoğu tipik olarak eksende yükselmiş bir çekirdeğe sahip olup; çift yönlü ve asimetrik kamaya sahiptir. Bu sistemlerin çoğunda yakınsama yönü eski kıta kenarına oblik olarak gelişmiştir (Şekil 1.5).

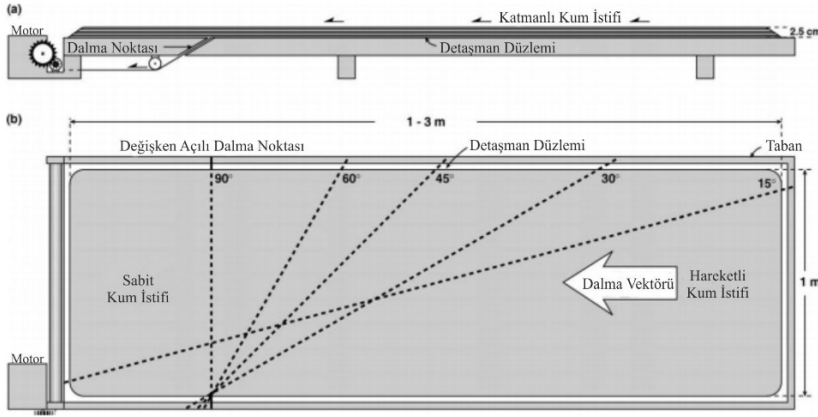


Şekil 1.5. Çift yönde gelişen kıvrım bindirme kuşaklarıyla çarpışmalı bir orojenin kavramsal modelinin görünümü (McClay vd., 2004).

Bu modellemede ortogonal (dik açılı) ve oblik (verev) yakınsama ile şekillenen, çift yönlü kama gelişiminin olduğu alanlar ele alınmıştır. Modeller yukarı doğru yükselmiş orojenik bir çekirdek tarafından ayrılmış ileri ve geriye doğru kama oluşturan çift yönlü orojenik kamaları canlandırmak için kum kutusu deneyleri ile uygulanmıştır. Deneyler yani 90°'den(ortogonal) 15°'ye (oblik) kadar değişik dalma açıları ile uygulanmıştır (McClay vd., 2004).

Üç boyutlu kum kutusu modellemeleri 300 cm uzunluğunda ve 130 cm genişliğindeki yanları şeffaf bir deformasyon tablası üzerinde uygulanmıştır. Bindirme modellerindeki sedimanter kayalardaki kırılğan deformasyonu canlandırmak için, yaklaşık 0.55 sürtünme katsayısına sahip kuru kum kullanılmıştır. Üst kabuktaki sedimanter kayaların kırılğan sürtünmeli davranışını benzetmek için kullanılan kuru kuvars kumu esasen kohezyonsuzdur; fakat düşey gerilmelerde yüzeyin pürüzlülük etkilerinden dolayı belli bir oranda düşük kohesif dayanım sergilemektedir (McClay, 1990). 100 mikron tane boyuna sahip kuru kuvars kumunun farklı renklere sahip katmanları deformasyonun açıkça izlenebilmesi için kullanılmıştır. Yakınsama hareketi 0.47 sürtünme katsayısına sahip bir detaşman düzlemi üzerinde hareket ettirilerek uygulanmıştır. Modelin

altındaki dalma noktası 90° 'den 15° 'ye kadar değişebilmektedir (Şekil 1.6 a&b).

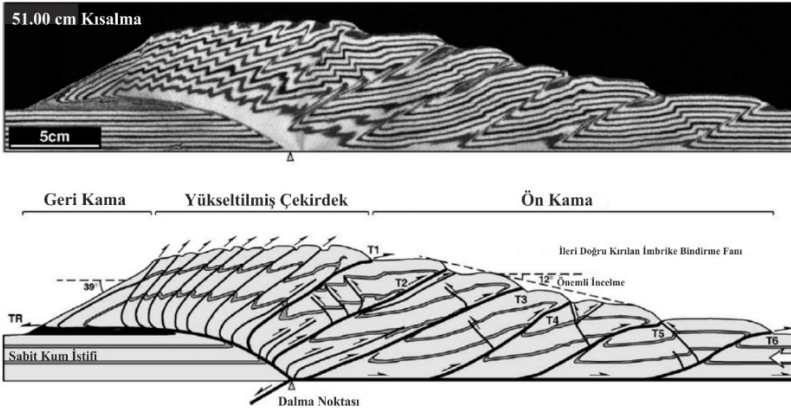


Şekil 1.6. Üç boyutlu çift yönde gelişen bindirme kamalarının gelişimini canlandırmak için kullanılan deneysel düzeneğin şematik görünümü; a) deformasyon düzeneğinin enine kesit görünümü; b) deformasyon düzeneğinin plan görünümü (McClay vd., 2004).

10^{-5} ölçeklendirme faktörü ile ince kabuklu deformasyonun canlandırıldığı modellemede, 1 cm gerçekte yaklaşık 1 km'ye karşılık gelmektedir. Modellerin üst yüzeyi fotoğraflanarak sıkışmanın her 2.5 mm'si kaydedilmiştir ve tamamlanan modellerin seri bir şekilde içsel analizleri hem dikey hem de yatay yönde kesitlerle belirlenmiştir (McClay vd., 2004).

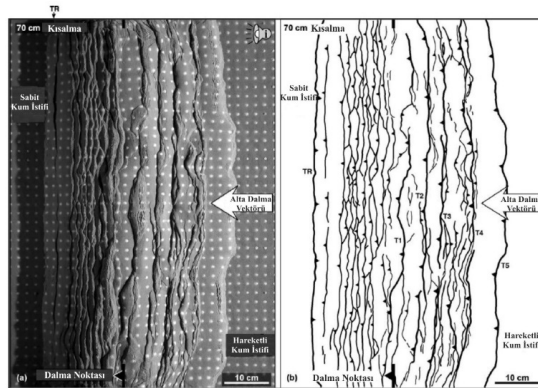
İncelenen bu çalışma yakınsama açısının 90° 'den (ortogonal) 60° , 45° , 30° ve 15° 'ye (oblique) kadar sistematik olarak değiştiği beş adet temsili modelin sonuçlarını göstermektedir. Aslında deneyler diğer yakınsama açıları da uygulanmıştır; fakat sonuçlar bu çalışmada sunulan modellerden önemli ölçüde farklı olmadıkları için temsili modellemeler seçilmiştir. Her modelin uygulanabilirliğinin geçerli kılınabilmesi için deneyler en az iki defa tekrarlanmıştır (McClay vd., 2004).

Ortogonal (dik açılı) modelleme dar olmakla birlikte; yaklaşan kenara paralel uzun, çizgisel, önemli derecede incelen ($11-12^\circ$ incelme açısı ile) ileri doğru gelişen kama ile karakteristik kıvrım ve bindirme kuşağı üretmektedir. İleri doğru gelişen kamanın aksine geriye doğru dik ($38-42^\circ$ incelme açısı ile) bir kama meydana gelmiştir (Şekil 1.7). Bunun yanında eksenel zonda çekirdek kompleksi yükselmektedir.



Şekil 1.7. İki boyutlu çift yönde ilerleyen kama gelişiminin 51 cm'lik kısalma sonucundaki deneysel ve şematik kesit görünümü (McClay, 2004).

Üç boyutlu ortogonal yakınsama modeli (Şekil 1.8) de hareket yönüne dik asimetrik çift yönde ilerleyen bir bindirme sistemi şekillenmiştir. İlk olarak dar bir geri kama baskın olup; ilerleyen deformasyon ile geri kama bindirmesi üzerinde hemen hemen aynı aralıklı, üst üste binmiş bindirmelerden oluşmaktadır. Bu durum yükselmiş bir eksenel zon üretmiştir. Geri kama 6-7 cm'lik önemli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra, modelin sağ kenarında daha büyük ve baskın ön kama şekillenmiştir. Önemli yer değişimlerinin geliştiği ön kama bindirmeleri önemli derecede incelmıştır. Ön kamadaki bindirmelerin beraberlerinde geri bindirmeler de gelişmiştir. Bindirmelerin tümü kısalma yönüne dik ya da dike yakın bir şekilde oluşmuşlardır. Büyük miktarda yer değiştiren geri kama bindirmesi geri kama fay sistemine yön vermektedir. Ön kama ise öne doğru ilerleyen bindirmelerin oluşturduğu bir imbrike fanından oluşmaktadır ve 10-15° incelme açısına sahiptir (McClay vd., 2004).



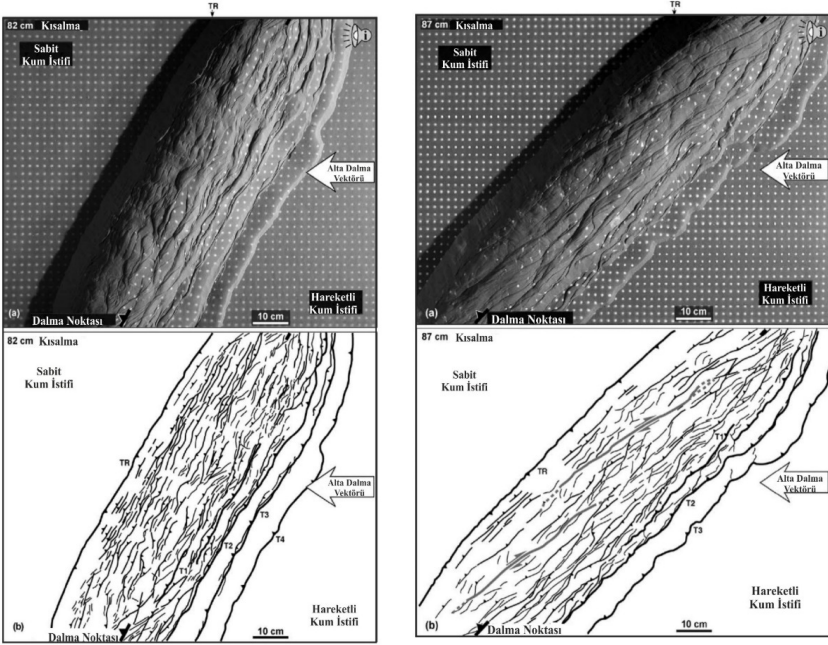
Şekil 1.8. Dalma noktasının 90° olduğu ortogonal yakınsama modelinin 70 cm'lik kısalma sonucu üstten ve harita görünümü (McClay, 2004).

Ortogonal yakınsama modellemesine Hindistan ve Avrasya levhaları arasındaki hemen hemen ortogonal yakınsamanın devam etmesi sonucu olarak Himalayalar'ın güneyinde gelişmiş olan klasik bir ince kabuklu bindirme kuşağı olan kuzey Pakistan'daki Tuz Sahası-Potwar hidrokarbon provensi örnek olarak gösterilebilir (Jaume ve Lillie, 1988; Grelaud vd., 2002). Tuz Sahası Eo-Kambriyen yaşlı kalın bir tuz kütlesi üzerinde kayan kıvrım ve bindirme kuşağının hemen bindirme önünde şekillenmiştir (Jaume ve Lillie, 1988).

Oblik modellerden kenara 60° ve 45° oblik olan yakınsama vektörü ile ilerlemenin olduğu modeller kenara paralel doğrultuda gelişen bindirme fayları ile çift yönlü bindirme kamaları üretmektedir. Bu modellemelerde etkili bir doğrultu atımlı faylanmaya ait herhangi bir veri yoktur; ancak 45° oblik olarak yakınsayan modellerde makaslama sistemlerindeki gibi kademeli Riedel kırıkları gelişmiştir. Buna ek olarak bazı bindirme fayları üzerinde ikincil olarak gelişmiş oblik kayma hareketi gözlemlenmiştir.

Ortogonal yakınsamadaki gibi 60° ve 45° oblik olarak yakınsayan modellerde de geri kama bindirme sistemleri iyi gelişmiştir. Ana geri bindirmenin oluşumu, dalma noktasındaki ani hız süresizliği tarafından tetiklenmiştir (Willet vd., 1993). Bu dalma noktası, ardındaki hareketsiz kum istifi üzerinde geri bindirebilecek hareketli kum istifinin gelişimine yol açmaktadır. Hemen hemen benzer aralıklı öne doğru ilerleyen bindirmeler ardışık olarak geriye doğru taşınan dalma noktasında biçimlenmiştir. Bu durum deformasyon ön kamaya geçene kadar, dalma noktası üzerindeki yüksekliği artırmıştır. Ön kama gelişimine başlarken; geri kama da yavaşça deforme olmaktadır (McClay vd., 2004).

60° ve 45° oblik yakınsayan modellemelerde ortogonal modellemede olduğu gibi iki aşamalı kinematik gelişim ile asimetrik, iki yönde ilerleyen kama gelişimi söz konusudur (Şekil 1.9). Bu kinematik gelişimin ilk aşaması, eksenel zonun yükselimi ve geri kama gelişimi tarafından oluşturulan bir duvarın (indenter) meydana gelmesidir. İkinci aşama ise ön kamanın gelişiminde, ileri doğru kırılan bindirmelerin imbrike fanlarında kritik incelmenin oluşumu ile başlamaktadır. İkinci aşama sürecinde, ön bindirmeler, alttan bindirme tektoniği ve eski bindirmelerin rotasyonu tarafından deformasyona yön verilmiştir. Ön kama bindirmeleri ilk kıvrım kuşağı oluşumu, kutu kıvrım gelişimi ve kıvrımların kanatlarını kesen aralıklı bindirmelerin ilerlemesiyle gelişmiştir. İkinci deformasyon sürecinde, eş zamanlı hareket ön kama içerisindeki hem ileri hem de geri doğru gelişen bindirmeler üzerinde gözlemlenmiştir. 60° ve 45° oblik yakınsayan modellemelerde oblik kayma oldukça lokal ve küçük ölçekte deformasyon bölümlenmesi meydana getirmektedir. Bu oblik kayma ön kamadaki bindirme sistemlerinin bazılarında gözlemlenmiştir (McClay vd., 2004).

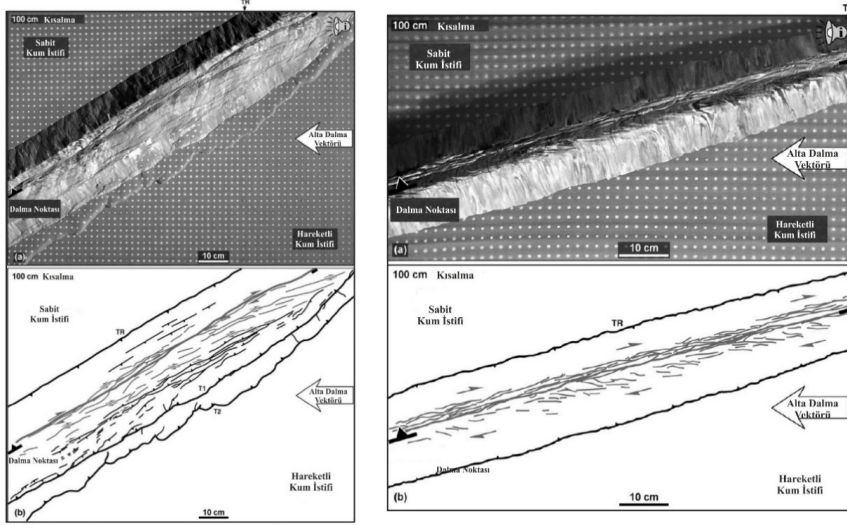


Şekil 1.9. Dalma noktasının 60° (solda) ve 45° (sağda) olduğu oblik yakınsama modelinin 82 (solda) ve 87 (sağda) cm'lik kısalma sonucu üstten deney ve şematik görünümü (McClay, 2004).

Mesozoyik sonunda Tetis okyanusunun kapanmasından kaynaklanan Arabistan ve Avrasya levhalarının Senozoyik döneminde çarpışması sonucunda gelişmiş olan İran ve Irak'taki Zagros orojenik kuşağı oblik (özellikle 45° yakınsama açısına sahip modellere) yakınsayan orojenlere iyi bir örnektir (McClay vd., 2004).

Diğer modellerin aksine; kenara 30° ile 15° oblik yakınsayan modellerde önemli derecede azalmış kenar kısalması ve etkili doğrultu atımlı faylanmaya bağlı deformasyonun şiddetle bölümlenmesi söz konusudur (Şekil 1.10). Bu modellerde kritik olarak incelen bir ön kama bindirme sistemi gelişmemiştir. Bu modellerin eksenel zonu önemli derecede dikey olarak yükselime uğramıştır. Yükselen bu eksenel zonlar dalma noktasına doğru etkili olan doğrultu atımlı fay sistemi tarafından kesilmiştir. Kenara 30° ile 15° oblik yakınsayan modellerin kesit görünümleri doğrultu atımlı sistemlerde baskın olarak gelişen asimetric çiçek yapısı tiplerini göstermektedir. Kenara 30° oblik yakınsayan model kısmen asimetric çift yönde gelişmiş bir kama oluştururken; kenara 15° oblik yakınsayan model ise hemen hemen simetric çift yönde kama oluşumunu meydana getirmiştir. Kenara 15° oblik yakınsayan model yakınsama açısının düşük olması ve deformasyonun hızlı olarak

gelişiminden kaynaklı gerilme permütasyonu oluşmaktadır. Buna bağlı olarak 15° gibi düşük açılarda oblik olarak yakınsayan modellemelerde doğrultu atımlı fay sistemi baskındır ve bu modellerde ön kama gelişiminin olmadığı gözlemlenmiştir (McClay vd., 2004).



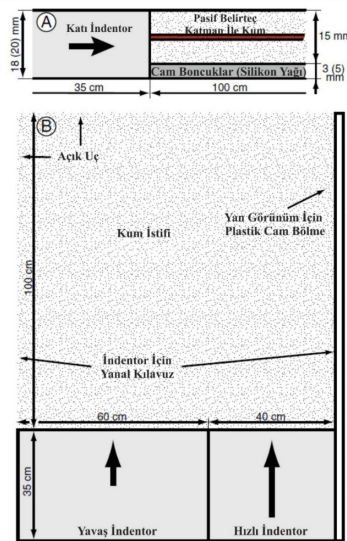
Şekil 1.10. Dalma noktasının 30° (solda) ve 15° (sağda) olduğu oblik yakınsama modelinin 100 cm'lik kısalma sonucu üstten ve harita görünümü (McClay, 2004).

Güneydoğu Karayip ile kuzey Venezuela kenarı, Karayip levhasının oldukça oblik yani düşük dalma açısı ile güneye doğru dalmasıyla oluşmuştur. Karayipler'deki bu kenar düşük dalma açısı ile yakınsayan modellemeye oldukça güzel bir örnektir. Düşük dalma açısına bağlı olarak Venezuela'nın kuzey kenarında önemli sağ yanal doğrultu atımlı fay sistemleri baskındır. Günümüzdeki levha hareketi hemen hemen kenara paraleldir (Pindell ve Higgs, 1998) ve bu alandaki baskın doğrultu atımlı fay modelleri fazlasıyla oblik olarak yakınsayan modellerdekilere benzerlik sunmaktadır.

1.4. Farklı Hızlara Sahip İki İndenter Arasındaki Etkileşim Modeli

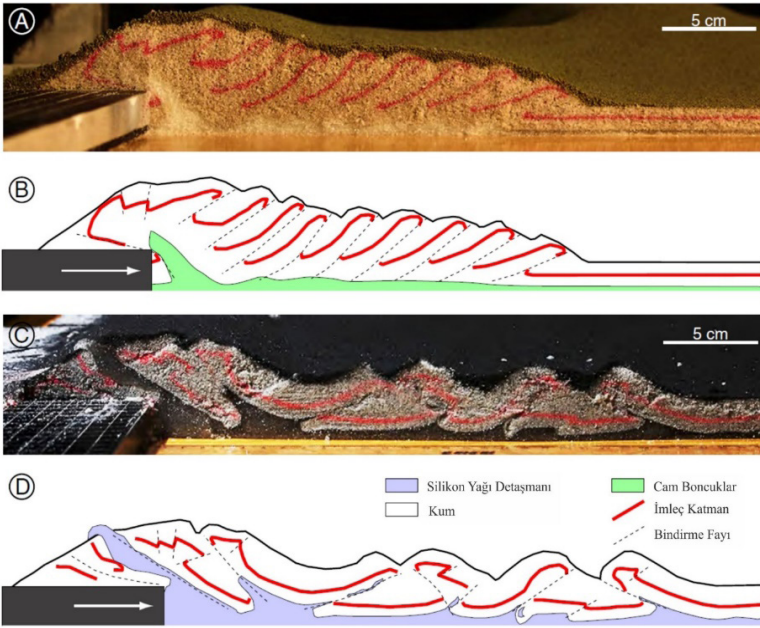
Bu çalışmalardaki ölçeklendirilmiş analog modeller iki taban bloğunun sedimanter bir havzaya yakınsaması ve bu yakınsama sonucu gelişen kıvrım ve bindirme kuşağının oluşumunu incelemek için uygulanmıştır. Deneysel düzeneğe birbirine paralel olarak hareket eden, farklı hızlara sahip (hız farkı) iki bitişik duvardan (indenter) oluşmaktadır. Deneyler cam boncuk ya da silikon yağından oluşan bir detaşman üzerinde homojen kum istifinin hareketini incelemektedir. Bu deneysel çalışmalar sonucunda üç boyutlu malzeme görüntüsü hızölçeri vasıtasıyla meydana gelen modelin morfolojisi kaydedilerek; yer değişimi ile rotasyona uğrayan alanlar hesaplanmıştır.

Deneysel düzeneğin kurulumunda granüler malzemeden oluşan deforme olabilen yatay bir kum katmanı içinde farklı hızlarda birbirine paralel hareket eden, 35 cm uzunluğunda iki katı levha (indenter) kullanılmıştır (Şekil 1.11 a). Düzenekte hızlı indenter 40 cm genişliğindeyken; yavaş indenter ise 60 cm genişliğinde bulunmaktadır (Şekil 1.11 b). Her iki indenter elektrikli motor tarafından yürütülen tel çubuklar tarafından ileri doğru itilmektedir. İki deneysel modelleme gerçekleştirilmiştir. Birincisinde tabanda granüler bir malzeme kullanılmıştır ve oluşan geometrinin yapısal evrimindeki levhalar (indenter) arasındaki hız farklılıklarının etkisi test edilmiştir. Deneylerin ikinci modellemesinde sürekli bir hız farkı kullanılarak viskoz bir detaşmanın etkisi incelenmiştir. Tüm modeller havzanın otokton temelini temsil eden katı, yatay bir levha üzerinde kurulmuştur (Reiter vd., 2011).



Şekil 1.11. Deney düzeneğinin şematik görünümü a) kesit görünümü b) harita görünümü (Reiter vd., 2011).

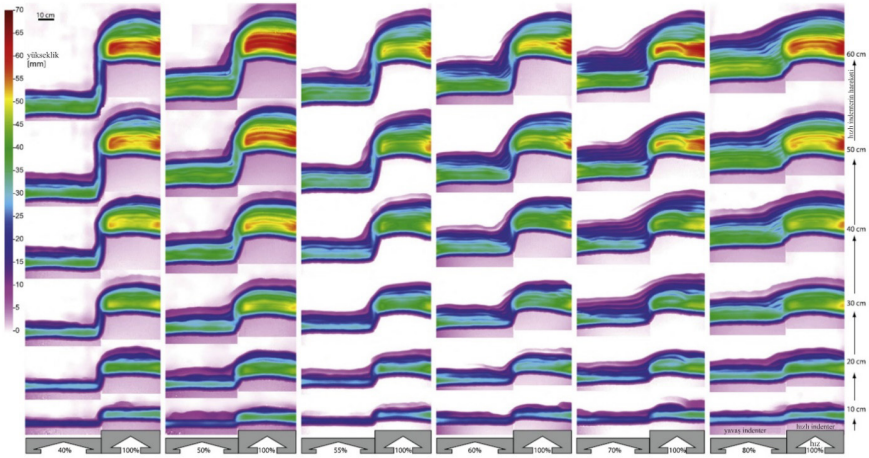
Deneyin açıkça görülebilmesi amacı ile kırmızı kum katmanını ara katkılı olarak kullanılmıştır. İlk deneysel kurulum için; 3 mm kalınlığında cam boncuk katmanını (kumdan % 20 daha düşük sürtünmeli bir Mohr-Coulomb malzemesi olan) detaşmanı temsilen kullanılmıştır (Şekil 1.12 a&b). Hem kum hem de cam boncuklar modelleme düzeneği üzerine elenmiştir. Birkaç tane kıvrım ve bindirme kuşağı zayıf bir detaşman üzerinde (evaporitler ya da boşluk sıvı basıncına sahip katmanlar) ince kabuklu deformasyon tarafından şekillenmiştir (Davis ve Engelder, 1985; Macedo ve Marshak, 1999). Tuzlu kayaçlar düşük gerinim oranlarında yüksek ve viskoz bir akmada oluşan kırılğan yenilmeye gerinim oranına bağlı deformasyon davranışına sahiptir. Deneylerin ikinci modellemesinde (Şekil 1.12 c&d) ise viskoz, zayıf bir katman modellemek için silikon yağı kullanılmıştır (Reiter vd., 2011). Bu viskoz davranış hız için düzgün ölçeklendirme gerektirmektedir (Hubbert, 1937; Weijermars ve Schmeling, 1986).



Şekil 1.12. Detaşman olarak cam boncuk kullanılan deneyin a) kesit görünümü b) şematik görünümü; detaşman olarak silikon yağı kullanılan deneyin c) kesit görünümü d) şematik görünümü (Reiter vd., 2011).

Silikon yağı bir detaşman olarak cam boncuklara göre; düşük açılı bir kama ile çeşitli yönde ilerleyen ön ve geri bindirmelerin gelişimine

yol açmaktadır. Bu deneysel çalışmada bindirme tektoniği kama gelişimi önemli ölçüde nispi (göreceli) hıza bağlıdır. Bu çalışmadaki mantık hızlı indenterin hızı baz alınarak; yavaş indenterin hızlı indenterin % 40, % 50, % 55, % 60, % 70 ve % 80'i kadar hız oranında olduğu deneyler gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.13). Bu deneyler sonucunda yavaş olan indenter hızlı olan indenterin % 55'inden daha fazla bir hızla hareket ettiği zaman, tek bir kıvrımlanmış bindirme kaması gelişmektedir. % 55'inden daha yavaş bir hızla hareket ettiği zaman ise, kama büyük hız farkından kaynaklı doğrultu atım boyunca ayrılmış olur. Deneyler süresince bindirme kamaları düşük hız farkında hafif olarak kıvrımlanırken; yüksek hız farkında şiddetli olarak kıvrımlanmıştır. Bu çalışmada bindirme tektoniği döngüsü hızlı yakınsama ve yavaş yakınsama önünde etkili bindirme tektoniği tarafından ayarlanmaktadır (Reiter vd., 2011).



Şekil 1.13. Farklı hız farkına sahip, detaşman olarak cam bocukları kullanılarak uygulanan deneylerin yüzeyde oluşturduğu yüksekliğin üstten görünümü (Reiter vd., 2011).

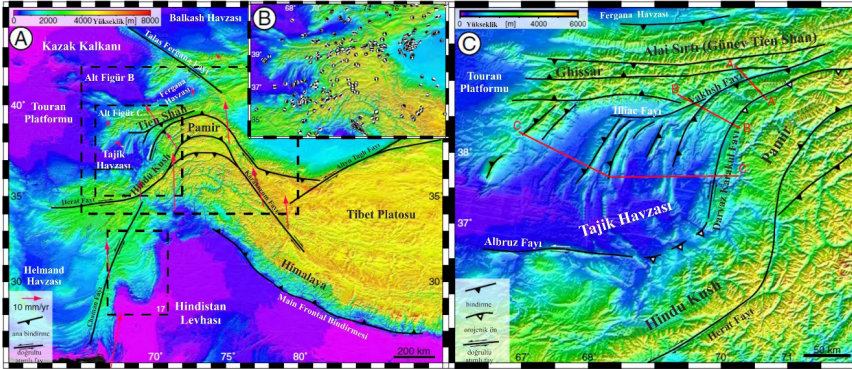
Uygulanan deneyler sonucunda yüzey evrimi ile mekânsal ve zamansal kuvvet dağılımı tanecik görüntüleme hızölçeri vasıtasıyla elde edilmiştir. Her deneyin sonunda, modeller kesilerek; deneysel kamaların yapısal evrimi üç boyutlu olarak analiz edilmiştir. Her bir deneyin uygulanabilirliğini doğrulayabilmek için; deneylerin tümü iki defa uygulanmıştır (Reiter vd., 2011).

Deneylerin uygulanmasında granüler malzemenin ilk sıkışmasını izleyen ön ve geri bindirme tektoniği kabarma (pop-up) yapılarının gelişimine olanak tanımaktadır. İlk fazda dağılmış deformasyon kısa, münferit bindirmeler üretmiştir. Hızlı indenterin önündeki eşit bindirme genişlikleriyle kamanın ucunda ardışık olarak ileri ön bindirmeler

gelişmiştir. Erken fazda indenterin yakınlarında oluşan tek bir geri bindirme indenterini deforme ederek, tüm deney süresince aktivitesini korumuştur. Bu geri bindirme dışında gelişen tüm bindirmeler ön bindirmelerdir. Hızlı indenterin önündeki kama yavaş indenterin ön ülkesine doğru yanal olarak malzeme aktardığından dolayı konveks bir ön oluştururken (transfer zon yavaş indenterine geçerken konveksten konkava bükülmektedir) yavaş indenter kama önü hemen hemen düzdür. Hızlı indenterin yavaş indenterine olan sınırında, kamanın geri bindirme kısmı boyunca indenter önüne normal sol yanal bir doğrultu atımlı fay meydana gelmektedir (Reiter vd., 2011).

Tanecik görüntü hızölçerinden elde edilen verilere bakılarak indenterlerin hareketi boyunca yanal malzeme aktarımı üç boyutlu modellenmiştir. Ön ülkede gelişen büyük bir transfer zonunda, hızlı indenterden yavaş indenterine doğru oblik bir malzeme aktarımı gelişmiştir. Transfer zondaki doğrultu atımlı faylanma ile eş zamanlı bir oblik bindirme tektoniği, indenterine yakın rotasyonun en yüksek miktarı ile transfer zonda saat yönü tersinde bir rotasyon üretmiştir (Reiter vd., 2011).

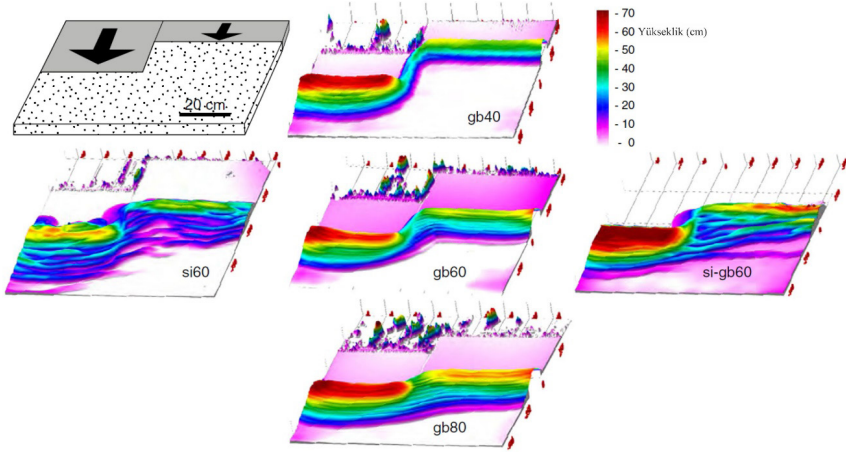
Cam boncuklar ile % 60 hız oranına sahip deney her iki indenterin önündeki en şiddetli biçimde kıvrımlanmış sürekli kamayı göstermektedir. Aynı zamanda bu deney doğadan bir örnek olan Tajik havzasının (Şekil 1.14) birinci dereceden bazı özelliklerini göstermesi açısından favori deney olarak nitelendirilmiştir (Reiter vd., 2011).



Şekil 1.14. Deneyisel olarak canlandırılan alanın morfolotektonik haritası a) modellenen alanın DEM görüntüsü üzerinde tektonik yapılarının ve GPS hızlarının görünümü b) modellenen alana ait odak çözüm mekanizmaları c) modellenen Tajik havzasındaki tektonik unsurların yakından görünümü (Reiter vd., 2011).

% 60 hız oranı ile uygulanan deneyin doğada meydana gelen oluşumlara en yakın sonuçlar yansıtmasına bağlı olarak; aynı hız oranı bir de silikon yağından oluşturulan detaşman üzerinde uygulanmıştır (Şekil 1.15). Buradaki temel amaç kırılğan ve viskoz bir detaşman reolojisi

arasındaki farktan doğan değişimleri de modellemektir. Silikon yağı kullanılan deneylerde kamanın büyümesi düz bindirmelerle başlarken; ardışık bindirmeler cam bocukların kullanıldığı deneyde daha düzensiz ve daha bükülmüşlerdir. Bindirme önü transfer zonunda az oranda kıvrılmaktadır ve birçok bindirme hızlı indenter kamasından yavaş indenter önüne ilerlemektedir. Düzensiz bindirmeler ise transfer zonda ya da yavaş indenter kaması önünde çekirdeklenmenin yanı sıra; transfer zonda son bulmaktadırlar. Önceden oluşan bindirmeler kamanın ucunda yeni bindirmeler oluşmaya başladığında bile aktif olarak kalmaktadırlar. 60 cm'lik yakınsamadan sonra içsel olarak deforme olmuş bir kama ile az oranda kıvrılmış bir bindirme önüne sahiptir. Cam boncuklar üzerinde gelişen kama daha yüksek bir eğim açısına sahipken; detaşman olarak silikon yağının kullanıldığı deneyde ise daha düşük eğim açısına sahip kama gelişmiştir (Reiter vd., 2011).



Şekil 1.15. Farklı hız farkına sahip ve farklı detaşman özellikleri ile uygulanan deneyler sonucu oluşan bindirme kamalarının üç boyutlu görünümü (Reiter vd., 2011).

Bir diğer deney ise, detaşman olarak hem cam boncuklar hem de silikon yağı kullanılarak; zayıf katman reolojisindeki yanal bir değişim uygulamaya konulmuştur. Bu deneyde de yine ideal hız oranı olarak % 60 hız oranı uygulanmıştır (Şekil 1.15). Yavaş indenterin önünde silikon yağı detaşmanı, hızlı indenterin önünde de cam bocuklarından oluşturulan bir detaşman bulunmaktadır. Her iki detaşman malzemesi de 5 mm kalınlığa sahiptir. Deney her iki indenter önünde ya da transfer zonda gelişen birkaç tane düz bindirme ile başlamıştır. Bir ileriki aşamada bindirmeler yine hızlı indenter önünde başlayıp, farklı detaşman malzemesi boyunca ilerlemektedir. Bindirme önü hemen hemen düzdür ve hızlı indenter kamasındaki daha yüksek taban sürtünmesinden kaynaklı daha büyük eğim açısı yansıtan yavaş indenterden hızlı indenterin önünde daha az

ilerlemiştir. Bu deney farklı detaşman reolojisinden kaynaklanan değişken bindirme geometrilerini göstermektedir. Hızlı indenter kamasında (cam boncuklar) sadece ön bindirmeler gelişirken; yavaş indenter kamasında (silikon yağı) hem ön hem de geri bindirmeler meydana gelmiştir. Her iki indenterin önünde devam eden son iki bindirme yüzeyde bağlantılıdır; fakat cam boncuklar üzerindeki bindirme ön bindirme iken, silikon yağı üzerindeki bindirme ise geri bindirmedir. Farklı ilerleme yönüyle ilk oluşan bindirmeler splay faylar tarafından bağlanmışlardır (Reiter vd., 2011).

1.5. Kum Kutusu Deneylerinde Sin-Sedimanter Bindirme Tektoniği Modellemesi

Sin-tektonik sedimantasyon, sıkışmalı deformasyonlarda oldukça sık meydana gelmektedir; bu nedenle birçok çalışmada deneysel olarak modellenmiştir (Bally, 1983). Deneyler ön ülkedeki bindirmelerin yırtılmasından hemen sonra az miktarda kumun eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Yine bu modelleme türünde de taban sürtünmesi etkisi, çift yönde gelişen kama gelişimleri ve bindirme tektoniğinin hızının etkileri incelenmiştir (Storti vd., 2000).

Uygulanan deneyler sonucunda yüksek taban sürtünmesi ve kıvrımlanan rampalar ile ilgili sin-sedimanter bindirme tektoniği kıvrımlanmış, yukarı doğru dikleşen bindirme faylarına yol açmaktadır. 60°'den fazla fay eğimleri yapılan deneylerde sin-tektonik sedimanlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Bindirme sürecinde dönen bindirme düzlemleri sonucu oluşan rampanın kıvrımlanmış şeklinden dolayı; fayların üst kısımları giderek dikleşir ve küçük depolanma alanları tepenin arkasında yapının gerisinde gelişmektedir (Storti vd., 2000).

Düşük sürtünmeli sin-sedimanter bindirme tektoniğinde, son ön ülke bindirmesi üzerindeki aktivite hızlı bir şekilde ortadan kaldırılmakta ve önceki bindirme sıra dışı bir şekilde yeniden harekete geçmektedir. Bu bindirme önceden bir düzlük-rampa-düzlük dizilimi geliştirmiş olduğu için, sin-sedimanter bindirme düzlük-rampa-düzlük diziliminin üst kısmında oluşmaktadır. Bu sin-sedimanter rampa ilk rampadan 10° biraz daha dik ve ikinci düzlükten 20° biraz daha diktir (Storti vd., 2000).

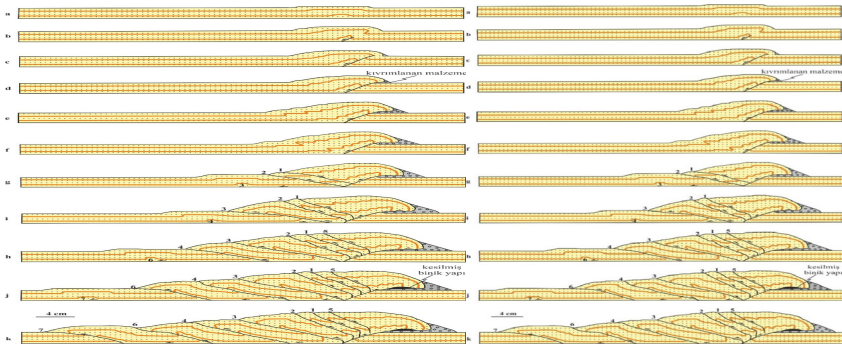
Sin-tektonik sedimantasyonun bir diğer etkisi ise düşük taban sürtünmesi ile en belirgin olan sıra dışı bindirme tektoniğidir. Sedimantasyonun yeri ve oranına bağlı, kritik incelmenin açısı azalabilir ya da artabilir. Sin-tektonik sedimantasyonun en genel sonucu önemli incelmenin açısıdır ve sıra dışı bindirme tektoniği tarafından yeniden kurulan sabit daha yüksek açı gerektirmektedir (Nieuwland, 1997).

Sedimentasyon oranı çok yüksek olduğunda ve bölgesel bir ön ülke doğrultusunda devrilme ile birleştiğinde, ön ülkedeki yeni bindirmelerin gelişimi ortadan kalkabilir ve mevcut bindirmeler yeniden harekete geçmeyecektir (Soetemeyer, 1993). Daha sonra devam eden sıkışma, bindirmelerin sıra dışı bir şekilde yeniden harekete geçtiği yer olan önemli incelme içinde bulunmaktadır. Bu durum incelmenin aşırı dikleşmesi ile sonuçlanmaktadır (Storti vd., 2000).

Bir bindirme kuşağının önündeki sedimentasyon oranı ortalama olduğu zaman, ön (en genç) bindirmelerin ilerlemesi engellenebilir; fakat ilerleyen sıkışma hala mevcut bindirme ve geri bindirmelerin sıra dışı bir şekilde yeniden harekete geçmesi tarafından barındırılabilir (Nieuwland, 1997).

Storti ve arkadaşları (2000) uyguladıkları deneyler sonucunda elde ettikleri analog modelleme ile çift yönde ilerleyen bindirme kamalarının evrimini incelemişlerdir. Çift yönde ilerleyen orojenlerdeki anizotropik, kırılğan üst kabuk deformasyonunu canlandırmak için sıkışmalı Coulomb kama deneylerinde kullanılmıştır. Bu deformasyon sonucunda oluşmuş ön ülke havzalarında ve piggy-back havzalardaki sin-tektomatik sedimentasyonu içeren deneyler gerçekleştirilmiştir (Storti vd., 2000).

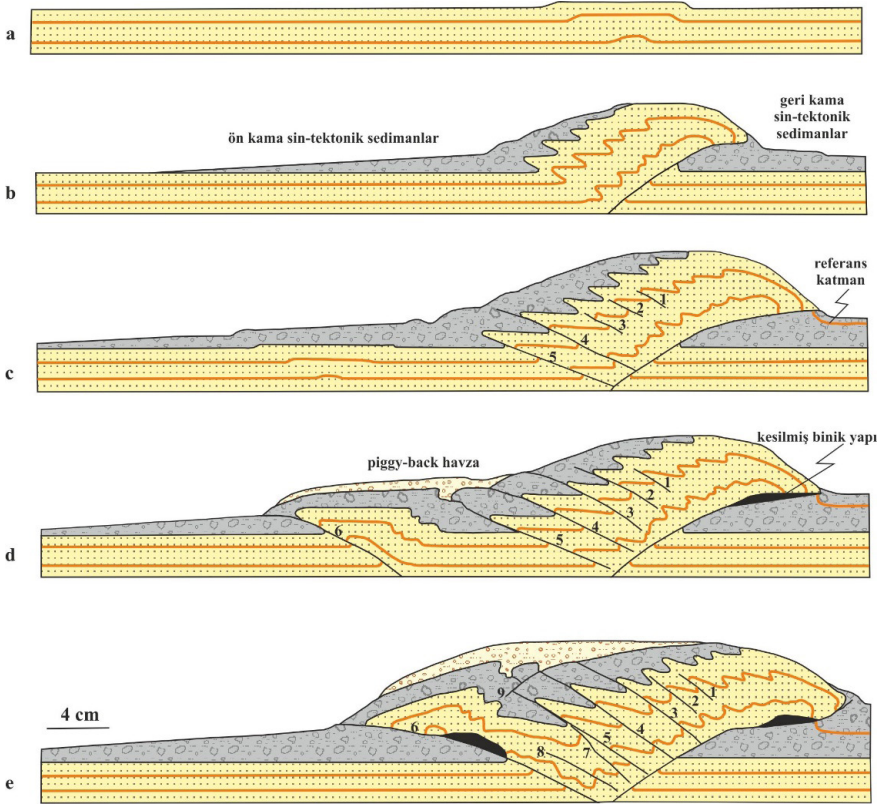
Bu deneyler iki ana aşama altında uygulanmıştır. İlk aşamada geri kamada yüksek hızda bindirme tektoniği ve düşük miktarda yer değiştiren ön kamadaki kıvrım ve bindirme tektoniğinin yüksek frekansta çekirdeklenmesi modellenmiştir. Dalma noktasındaki gelişen bu kıvrım kuşağı çekirdeklenmesi eksenel zonda hızlı yükselime yol açmıştır (Storti vd., 2000). Bu modelleme sonucunda simetrik orojenik bir kuşak meydana gelmiş olup; ön ülkede antiformal bir yığın gelişmiştir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Antiformal yığın gelişiminin şematik modellemesi (Storti vd., 2000'den düzenlenmiştir).

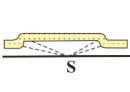
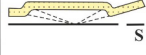
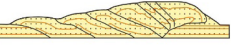
İkinci aşamada ise geri kamada düşük hızda bindirme tektoniği ve yüksek miktarda yer değiştiren ön kamadaki eş zamanlı kıvrım ve

bindirme tektoniğinin düşük frekansta çekirdeklenmesi modellenmiştir. Dalma noktasından uzakta gelişen bu kıvrım kuşağı çekirdeklenmesi eksenel zonda yavaş yükselime yol açmıştır. Bu modelleme sonucunda asimetrik orojenik bir kuşak meydana gelmiş olup; ön ülkede piggy-back havza gelişimi (Şekil 1.17) söz konusudur (Storti vd., 2000).



Şekil 1.17. Piggy-back havza gelişiminin şematik modellemesi (Storti vd., 2000'den düzenlenmiştir).

Her iki aşama da bir tabloda şematize edilerek; bu çalışmada karşılaştırılmıştır (Şekil 1.18). Bu deneysel çalışmanın her iki aşamasında da kum ile mika katmanları kullanılmıştır. Bu çalışmada bindirme tektoniğinin hızına bağlı gelişimler incelenmiştir ve uygulanan deneyler sonucunda elde edilen modeller doğadaki kıvrım ve bindirme kuşağı örnekleri ile karşılaştırılmıştır (Storti vd., 2000).

AŞAMA 1					
	S noktasındaki kıvrım kuşağı çekirdeklenmesi	ön kamadaki yüksek sıklıkta kıvrım kuşağı çekirdeklenmesi	geri kamadaki hızlı bindirme tektoniği	hızlı yükselim	simetrik orojen
AŞAMA 2					
	S noktasından uzakta kıvrım kuşağı çekirdeklenmesi	ön kamadaki düşük sıklıkta kıvrım kuşağı çekirdeklenmesi	ön kamadaki eş zamanlı hızlı bindirme tektoniği geri kamadaki yavaş bindirme tektoniği	yavaş yükselim	asimetrik orojen

1.18. Çift yönde gelişen deneyisel kamaların aşama 1 ve 2 evrimini süresince oluşan ana kinematik özelliklerinin karşılaştırmalı şematik görünümü (Storti vd., 2000'den düzenlenmiştir).

Kuzey İtalya Po-Plain'deki bindirme tektoniği öncelikle normal bir piggy-back (domuz sırtı) silsilesinde gelişmiştir; fakat bu piggy-back silsilesinin gelişimi sin-tekonik sedimantasyondan dolayı, sıra dışı bindirme tektoniği tarafından izlenmiştir. Ard ülke yakınlarında sedimantasyon oranı yüksektir; bu durum ön ülkedeki tabanın kuvvetlice aşağı bükülmesi sonucunda oluşan ileri bindirmeleri ortadan kaldırmıştır. Kıvrım ve bindirme kuşağına istinaden orta-geç Pliyosen sürecindeki sedimantasyon oranı ard ülke alanındaki kadar oldukça yüksek değildir ve bindirmelerin çoğu sıra dışı bir şekilde yeninden harekete geçerken; bir takım bindirmeler ise aşınmış tepelerin gösterdiği gibi yüzeyi parçaladılar. Aynı zamanda sin-tekonik sedimantasyon için karakteristik olan birçok küçük yerel depolanma merkezlerindeki ilerleme yönü de iyi gelişmiştir (Nieuwland, 1997).

2. SONUÇLAR

Bu çalışmada arazi ve sismik çalışmalarının oldukça zor olduğu, sismik verilerin ise düşük kalitede olduğu sıkışmalı kuşakların evrimi uygulanan kum kutusu deneyleri ile elde edilen modellemeler üzerinde incelenmiştir. Çalışma imkânlarının bu derece kısıtlı olduğu bu orojenik kuşakların deneysel olarak modellenmesindeki en önemli sebep hidrokarbon kapanları barındırmalarıdır. Hidrokarbon kapan oluşumlarının ekonomik anlamda araştırılması ile gelişmeye başlayan kum kutusu deneyleri, günümüzde birçok araştırmacı tarafından bilimsel çalışmalara ışık tutmak amacıyla çalışılmıştır. Bu araştırmacılar yakınsayan zonlarda kabukta meydana gelen kısalmayı, orojenik kuşakların deformasyon mekanizmasını, geometrisini ve yapısal evrimini incelemeyi amaçlamışlardır.

Deneysel çalışmalar genellikle orojenik kuşakların ince kabuklu deformasyonunu modellemiştir. Deneyler modellenen alana ve inceleme amaçlarına göre farklı düzeneklerde ve sınır koşullarında uygulanmaktadır. Bu duruma göre deneyler farklı yakınsama açılarına sahip orojenik kuşakları, farklı hızlara sahip iki levhanın yakınsaması sonucu gelişen kıvrım ve bindirme kuşaklarını, bindirme tektoniği ile eş zamanlı sedimantasyon sonucu gelişen havza (ön ülke havzaları, piggy-back havzaları gibi) modellemelerini incelemek amaçlı farklı düzeneklerde incelemeye yönelik olarak uygulanmışlardır.

Orojenik kuşakların geometrik ve yapısal evrimini anlamak açısından oldukça faydalı olan bu modellemeler sıkışmalı kuşakları gelişimini başarılı bir şekilde gösterse de, deneysel olarak uygulanamayan bazı içsel kısıtlamalarda söz konusudur. Mesela deneyler sadece ince kabuklu deformasyonu modelleyebilmiştir. Deformasyona temelinde dahil olduğu kalın kabuklu deformasyon genellikle kum kutusu deneyleri ile modellenmemiştir. Bunun yanı sıra; boşluk sıvı basıncı ve derinlere doğru gidildikçe termal etki bu deneylerde hesaba katılmamıştır.

Deneysel çalışmalarda bazı kısıtlamalar söz konusu olsa da, orojenik kuşaklar boyunca gerçekleştirilen deneysel çalışmalar bu alanların hem geometrik hem de içsel evrimini anlamak açısından birçok araştırmacıya fayda sağlamıştır. Sıkışmalı kuşaklar için uygulanan iki ve üç boyutlu analog modellemeler, bu alanların yapısal evriminin anlaşılmasına büyük katkı vermiştir.

KAYNAKLAR

- Bally, A. W.**, 1983, Seismic expression of structural styles, a Picture and work atlas: American Association of Petroleum Geologists.
- Davis, D.M., and Engelder, T.**, 1985, The role of salt in fold and thrust belts: Tectonophysics, 119, 67-88.
- Grelaud, S., Sassi, W., de Lamotte, D.F., Jaswal, T., and Roure, F.**, 2002, Kinematics of eastern Salt Range and South Potwar basin (Pakistan): a new scenario: Marine and Petroleum Geology 19, 1127-1139.
- Hubbert, M. K.**, 1937, Theory of scale models as applied to the study of geological structures. Bull. Geol. Soc. Am. 48, 1459-1520.
- Jaume, S.C., and Lillie, R.J.**, 1988, Mechanics of the Salt-Range Potwar Plateau, Pakistan: a fold and thrust belt underlain by evaporates: Tectonics, 7, 57-71.
- Koyi, H.**, 1997, Analogue modelling: from a qualitative to a quantitative technique – a historical perspective: Journal of Petroleum Geology, 20, 223-238.
- Kuenen, H., and Sitter, L. U.**, 1938, Experimental investigation into the mechanism of folding: Leidse Geol. Med., 10, 271-40.
- Lohest, M.**, 1913, Experiences de tectonique: Ann. Soc. Geol. Belgique, 39, Mem.
- Macedo, J., and Marshak, S.**, 1999, Controls on the geometry of fold-thrust belt salients: Geol. Soc. Am. Bull. 111 (12), 1808–1822.
- McClay, K.R.**, 1990, Deformation mechanics in analogue models of extensional faults: Deformation mechanisms, rheology and tectonics, (Vol. 54) Geological Society of London Special Publications, 445-453.
- McClay, K.R., Whitehouse, P.S., Dooley, T., and Richards, M.**, 2004, 3D evolution of fold and thrust belts formed by oblique convergence: Marine and Petroleum Geology 21, 857-877.
- Nieuwland, D.A.**, 1997, Structural styles in thrust tectonics: NSG Workshop, METU.
- Nieuwland, D.A.**, 2003, New insights into structural interpretation and modelling: Geol. Soc., London, Special Publications, 212, 1-5.
- Pindell, J. A., and Higgs, R.**, 1998, Cenozoic palinspastic reconstruction, palaeogeographic evolution and hydrocarbon setting of the northern margin of South America. Palaeogeographic evolution and non-glacial eustasy, Northern South America: SEPM Special Publication 58, 45–83.
- Reiter, K., Kukowski, N., and Ratschbacher, L.**, 2011, The interaction of two indenters in analogue experiments and implications for curved fold and thrust belts: Earth and Planetary Science Letters, 302, 132-146.

- Soetemeyer, R.,** 1993, Forward modelling of syn-sedimentary thrusting: PHD., R. U. Utrecht and Institute Français du Pétrole.
- Storti, F., and McClay, K.,** 1995, Influence of syntectonic sedimentation on thrust wedges: *Journal Structural Geology*, 23, 999-1002.
- Storti, F., Salvini, F., and McClay, K.,** 2000, Synchronous and velocity-partitioned thrusting and thrust polarity reversal in experimentally produced, doubly-vergent thrust wedges: Implications for natural orogens: *Tectonics*, Vol. 19/2, 378-396.
- Weijermars, R., and Schemeling, H.,** 1986, Scaling of Newtonian and non-Newtonian fluid dynamics without inertia for quantitative modeling of rock flow due to gravity (including the concept of rheological similarity): *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 43, 316-330.
- Willett, S., Beaumont, C., and Fullsack, P.,** 1993, Mechanical model for the tectonics of doubly-vergent compressional orogens: *Geology*, 21, 371-374.
- Willis, B.,** 1893, The mechanics of Appalachian structures: 13th ann. rep. U. S. Geological Survey 2, 211-83.



Bölüm 3

FİNE-KİNNEY RİSK ANALİZİ YENİ SINIF ARALIKLARININ K-ORTALAMA ALGORİTMASI İLE BELİRLENMESİ

Cansu DAĞSUYU^{1}*

¹ * İletişim Yazarı E-mail: cdagsuyu@atu.edu.tr Management Science, Waterloo University, Canada Endüstri Mühendisliği, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Türkiye

1. Giriş

Risk, “değerlendirilen bir kişinin veya bir durumun tehlikeden olumsuz etkilenme olasılığı”; tehlike ise zarar veya hasar potansiyeli olan istenmeyen herhangi bir güvenli olmayan durum veya potansiyel kaynak olarak tanımlanmaktadır (Fragiadakis ve ark., 2014). Risk değerlendirmesi ise, mevcut kontrollerin yeterliliğini dikkate alarak ve risklerin kabul edilebilir olup olmadığına karar vererek, bir tehlikeden kaynaklanan risklerin değerlendirilmesi olarak tanımlanır (Gül ve Çelik, 2018). Oluşan risk ve risklere bağlı meydana gelen tehlikeler küçük hasarlar oluşturabildiği gibi facia olarak nitelendirilen büyük can ve mal kayıpları oluşmasına da neden olabilmektedir. Yılmaz ve Alp (2016) dünya geneli ve Türkiye için çalışmalarında iş kazaları istatistiklerine yer vermiştir. Bu istatistiklere göre dünya çapında her yıl 2 milyon ölümlü kaza meydana gelmekte ve her dakikadaki iş kazası 2 işçinin hayatını kaybetmesine neden olmaktadır. Yılmaz ve Alp (2016)’ın çalışmasında Türkiye için verilen istatistiklerde yılda ortalama 80 bin iş kazası meydana gelmekte ve 1500 işçi hayatını kaybetmektedir. Bu durum risk analizlerinin yapılmasının, yapılan analiz sonuçlarına göre aksiyon planlarının uygulanmasının önem ve gerekliliğini göstermektedir.

Risk analizinde tehlikelerin değerlendirilmesinde Hata türü ve etkileri analizi (FMEA-HTEA) (Soltanali ve ark. (2019); Balaraju ve ark., (2020)), Fine-Kinney Analizi (Kokangül ve ark. (2017); Gül ve ark. (2018); Zhang ve ark. (2019); İlkbahar ve ark. (2018)); L Tipi risk analizi (Dağsuyu ve ark. (2015)) vb. olmak üzere pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler literatürde genellikle şu şekilde incelenmiştir: Çok kriterli karar verme modelleri ile risk analizinin entegrasyonu (Kokangül ve ark. (2017); Tsai ve ark. (2017); Yılmaz ve Özcan (2019)); bulanık mantık yaklaşımına dayalı risk analizleri (Xu ve ark. (2002); Sharma ve ark. (2005); Dağsuyu ve ark.(2016)); çok kriterli ve bulanık mantık yaklaşımını bir arada incelenmesi (Fattahi ve Khalilzadeh (2018); Wang ve ark. (2018)); yapay sinir ağlarına dayalı risk analizi (Rafie ve Manin (2015)); kalite fonksiyon yayılımı ile entegre risk analizi (Bhuvanesh Kumar ve Parameshwaran (2018); Shaker ve ark. (2019)). Literatürde yer alan çalışmalarda risk analiz yöntemlerinin parametreleri birbirinden farklı olmak ile beraber değerlendirme prosedürü genel olarak birbirine benzemektedir. Genel yaklaşımda, dikkate alınan yöntemin parametrelerine göre değerlendirme yapılmakta ve bu parametrelere göre Risk Öncelik Skoru (RÖS) elde edilmektedir. Firma kaynaklarının ve zamanın kısıtlı olması göz önüne alındığında firmalarda karşılaşılan her tehlikeye eş zamanlı aksiyon planları uygulanamamaktadır. Genel yaklaşım olarak, RÖS değerlerinin azalan sırasına göre en yüksek RÖS değerine sahip tehlikeden başlanarak aksiyon planları uygulanmakta ve

RÖS değerleri minimize edilmeye çalışılmaktadır. HTEA, Fine-Kinney, L tipi risk analizi yöntemleri başta olmak üzere pek çok yöntemde RÖS değerlerine göre ‘kabul edilebilir risk’, ‘olası risk’, ‘önemli risk’, ‘yüksek risk’, ‘çok yüksek risk’ şeklinde kategorize edilerek aksiyon planları oluşturulması da bir yaklaşım olarak dikkate alınmaktadır. Bu durum yapılan RÖS değerlerinin büyüklük karşılaştırmasının yapılmasında uygulama açısından kolaylık sağlamaktadır. Literatürde HTEA risk analizi için genellikle 3 veya 5 kategori, Fine-Kinney ve L tipi risk yaklaşımı için ise 5 kategori dikkate alınan çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalar incelendiğinde, risk analiz yönteminde dikkate alınan parametrelerin olası tüm kombinasyonlarını dikkate alan RÖS değerlerine bağlı sınıflandırma yapılmaktadır. Fine-Kinney yaklaşımı değerlendirilirse; Olasılık, Frekans ve Şiddet olmak üzere üç parametre bulunmakta olup, Olasılık (0.1-10) aralığında; Frekans (0.5-10) aralığında; Şiddet ise (1-100) aralığında değişmektedir. Üç parametrenin çarpımı ile elde edilen RÖS değeri tüm kombinasyonları kapsayacak şekilde $RÖS \leq 20$ ilk kategori; $RÖS \geq 400$ son kategori olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Fakat üretim ve hizmet sektöründe yer alan firmalarda risk analizi uygulandığında tüm sınıflarda değer elde edilemeyebilmektedir. Bu durum tehlikelerin önem seviyelerinin karşılaştırılmasında hiyerarşik boşluk oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan hiyerarşik boşluk firmaların n adet (Fine-Kinney risk analizine göre $n=5$) tehlike sınıfı ile değerlendirme yapamamasına neden olmaktadır. n sayısının yüksek olması tehlikeler arasında daha hassas karşılaştırma yapma imkanı sağladığı için belirlenen n sayısından az adetlerde sınıf ile tehlike karşılaştırılması istenilen hassasiyeti sağlamamaktadır. Ayrıca mevcut sınıflandırmaya göre yapılan değerlendirmelerde genellikle ‘çok yüksek risk’ sınıfında tehlikenin yer almaması durumu ile karşılaşılabilmektedir. Bu durum firmanın güvenli bir iş güvenliği sistemine sahip olduğu algısı oluşturmak ile beraber yanıltıcı olabilmektedir. Firmaların risk sınıfları oluşturulurken firmada meydana gelen RÖS değerleri dikkate alınarak firma bazında RÖS sınıflarının oluşturulması ve firma tehlikelerinin bu sınıflara göre karşılaştırılması firmaların durum değerlendirmesine ve risk minimizasyonuna katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada orta ölçekli bir üretim işletmesinde karşılaşılabilecek tehlikeler tanımlanmış olup Fine-Kinney risk analizi ile RÖS değerleri hesaplanmıştır. RÖS değerleri dikkate alınarak firma için klasik Fine-Kinney risk analizinde olduğu gibi çalışmada önerilen yaklaşım ile 5 sınıf oluşturulmuştur. Elde edilen RÖS değerleri, K-Ortalamalar algoritması ile sınıflandırılarak RÖS değerlerinin kümeleri belirlenmiştir. K-Ortalamalar algoritması ile elde edilen kümelerin, klasik Fine-Kinney sınıfları ve bu çalışmada önerilen sınıflar ile uyumu incelenmiştir. Bu çalışmada firmaya ait RÖS puanlarına dayalı önerilen sınıflar ile K-Ortalamalar algoritması

ile elde edilen kümelerin yaklaşık %87 uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, risk analizi ile elde edilen RÖS değerlerine bağlı sınıfların geliştirilmesi ve uygulanmasının firmaların aksiyon planlarını daha doğru sıra ile oluşturmaya katkı sağlaması beklenmektedir.

Çalışmanın devamında organizasyon şu şekilde yapılmıştır. Bölüm 2’de çalışmada kullanılan metodoloji ile ilgili bilgilere, Bölüm 3’de geliştirilen yaklaşıma, Bölüm 4’de geliştirilen yaklaşımın bulgularına ve son bölümde çalışma sonuçlarına yer verilmiştir.

2. Metod

Çalışmada risk analiz yöntemlerinden Fine-Kinney risk analiz yöntemi; kümeleme algoritmalarından ise K-Ortalama algoritması kullanılmıştır.

2.1. Fine-Kinney Risk Analizi

Kinney ve Wiruth (1976) çalışmalarında kantitatif bir risk değerlendirme yöntemi olan ve MIL-STD-882 standardından türetilen Fine-Kinney risk analizini geliştirmiştir. Fine-Kinney risk analizinde Olasılık (O), Frekans (F) ve Şiddet (Ş) olmak üzere üç parametre bulunmaktadır. Denklem (1)’de verildiği gibi bu üç parametrenin çarpımı ile RÖS değeri elde edilmektedir. O, F ve Ş için kullanılan skala ve RÖS değerleri için kullanılan sınıflar sırasıyla Tablo 1, 2, 3 ve 4’de verilmiştir.

$$RÖS = O \times F \times \text{Ş} \quad (1)$$

Tablo 1. Fine-Kinney Olasılık Skalası (Kinney ve Wiruth, 1976)

Açıklama	Değer
Yüksek Kuvvetli İhtimal	10
Kuvvetli İhtimal	6
Seyrek Ancak Muhtemel	3
Oldukça Düşük İhtimal	1
Zayıf İhtimal	0,5
Pratik Olarak İmkansız	0,2
Neredeyse İmkansız	0,1

Tablo 2. Fine-Kinney Frekans Skalası (Kinney ve Wiruth, 1976)

Açıklama	Değer
Sürekli (Saatlik)	10
Sıklıkla (Günlük)	6
Ara Sıra (Haftalık)	3

Nadir (Aylık)	2
Seyrek (Yıllık)	1
Oldukça Seyrek (Yılda belki 1)	0,5

Tablo 3. Fine-Kinney Şiddet Skalası (Kinney ve Wiruth, 1976)

Açıklama	DEĞER
Facia ($>10^7$ \$ zarar)-birden fazla ölümlü kaza(sel/ yangın/deprem/hortum)	100
Felaket ($>10^6$ \$ zarar)- öldürücü kaza	40
Çok ciddi ($>10^5$ \$ zarar)-yaralanma / iş kaybı	15
Ciddi ($>10^4$ \$ zarar) / yaralanma / dış ilk yardım	7
Önemli ($>10^3$ \$ zarar)- dahili ilk yardım/yaralanma	3
Fark Edilebilir ($>10^2$ \$ zarar) ucuz atlatma/kesik/ çizik	1

Tablo 4. Fine-Kinney Risk Sınıfları (Kinney ve Wiruth, 1976)

Risk Değeri	Risk durumu
RÖS<20	Kabul Edilebilir –Acil eylem gerekemeyebilir.
20<RÖS<70	Olası Risk- Eylem planına alınmalıdır.
70<RÖS<200	Önemli Risk-Dikkatle izlenmelidir.
200<RÖS<400	Yüksek Risk- Kısa vadeli eylem planına alınmalıdır.
RÖS>400	Çok Yüksek Risk- Derhal tedbir alınmalıdır.

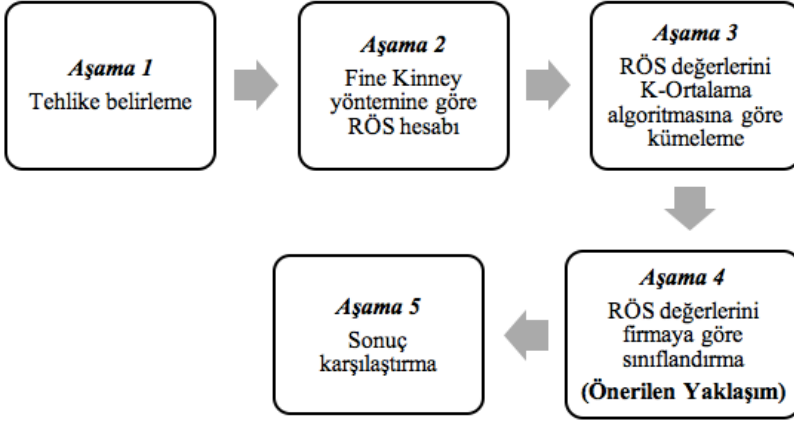
Çalışmada RÖS değerleri belirlendikten sonra K-Ortalama yöntemi ile kümeleme yapılmıştır.

2.2. K-Ortalama Yöntemi

K-Ortalama yöntemi, MacQueen (1967) tarafından geliştirilmiş ve nesnelerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. K-Ortalama algoritması ile elde edilen kümelerin, küme içi benzerliklerinin maksimum ve kümeler arası benzerliklerinin minimum olmasını sağlamak amaçlanmaktadır (Han ve arkadaşları, 2011). K-Ortalama algoritmasında izlenen adımlar k adet rastgele nesnenin seçilmesi ve merkezlerinin belirlenmesi; küme içi değişimlerin hesaplanması; nesnelerin ortalama değerine bağlı olarak, nesnenin en çok benzediği kümeye atanması; küme merkezlerinde değişim olmayıncaya kadar işlemin tekrarlanması olarak belirlenmiştir (Han ve arkadaşları, 2011).

3. Önerilen Yaklaşım

Çalışma kapsamında önerilen yaklaşım 5 aşamadan oluşmakta olup Şekil 1’de ifade edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada önerilen yaklaşım

İlk aşama, risk analizi uygulanacak firmanın tehlikelerinin tanımlanmasından oluşmaktadır. Tehlikeler belirlenirken, departman bazında veya tehlike özelliklerine göre gruplandırmalar yapılabilir. Aşama 2’de yer alan Fine-Kinney risk analizine göre RÖS değerlerinin belirlenebilmesi için Aşama 1’de tanımlanan tehlikeler Tablo 1-3’de yer alan O, F ve Ş skalalarına göre puanlandırılmaktadır. Her bir tehlike için elde edilen parametre değerleri Denklem (1)’de ifade edildiği gibi çarpılarak RÖS değerleri elde edilmekte ve elde edilen RÖS değerleri, Tablo 4’de yer alan sınıflara göre gruplandırılmaktadır. Aşama 3’de RÖS değerlerine göre K-Ortalama algoritması ile tehlike kümeleri oluşturulmaktadır. K-Ortalama algoritması ile öncelik sıralaması belirlenmemesine rağmen, tehlikeler istenilen sayıda gruba ayrılarak birbirine eş önem seviyesinde ve küme içi benzerliği maksimum, kümeler arası benzerliği ise minimum olan tehlikelerin kümelenmesi sağlanmaktadır. K-Ortalama algoritması firma içerisinde yer alan tehlikelerin birbiri ile ilişkisini belirlediği için, K-Ortalama algoritması ile belirlenen kümelerin, RÖS değerine bağlı oluşturulan risk kategorilerinde aynı sınıfta olması beklenmektedir. Aşama 4’de firmada Fine-Kinney risk analizine göre elde edilen RÖS değerleri dikkate alınarak sınıflar oluşturulmaktadır. Sınıflar oluşturulurken izlenen adımları şu şekildedir:

- i. Maksimum RÖS ($RÖS_{max}$) değerinin belirlenmesi
- ii. Minimum RÖS ($RÖS_{min}$) değerinin belirlenmesi
- iii. Oluşturulacak sınıf sayısının (n) belirlenmesi
- iv. Denklem (2) ile her bir sınıf genişliğinin (c) belirlenmesi

$$c = \frac{R\ddot{O}S_{max} - R\ddot{O}S_{min}}{n} \quad (2)$$

v. Sınıf aralıklarının oluşturulması

Tablo 5. Sınıf aralıkları

Sınıf Sayısı	Risk Değeri
1	$R\ddot{O}S_{min} \leq R\ddot{O}S < R\ddot{O}S_{min} + c$
2	$R\ddot{O}S_{min} + c \leq R\ddot{O}S < R\ddot{O}S_{min} + 2c$
$\vdots$	
n	$R\ddot{O}S_{max} - c \leq R\ddot{O}S < R\ddot{O}S_{max}$

vi. Sınıf aralıklarına göre tehlike sınıflarının belirlenmesi

Aşama 4'ün tamamlanması ile karşılaştırmaların yapılacağı Aşama 5'e geçilmektedir. Aşama 4'de oluşturulan sınıflar, Aşama 3'de elde edilen K-Ortalama algoritmasında elde edilen kümeler ve Aşama 2'de belirlenen Klasik Fine-Kinney sınıflarının karşılaştırılması çalışma hiyerarşisinde Aşama 5'de gerçekleştirilmektedir.

Ardıcıl aşamalardan oluşan önerilen yaklaşım, orta ölçekli bir üretim firmasında uygulanmış ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

4. Uygulama Bulguları

Orta ölçekli firmada gerçekleştirilen uygulama çalışmasında, Önerilen Yaklaşım başlığında yer alan hiyerarşik yapı takip edilmiştir.

Aşama 1: Tehlike Belirleme

Orta ölçekli firmada üç yıllık iş deneyimine sahip üretimden sorumlu personel ve İş Sağlığı ve Güvenliği uzmanı tarafından firmada tüm departmanlar için ortak olan ve tüm firma çalışanlarını ilgilendiren tehlikeler belirlenmiş ve Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'da görülen toplam 15 adet tehlike ile çalışma gerçekleştirilmiştir.

Aşama 2: Fine-Kinney yöntemine göre RÖS hesabı

Firma için belirlenen tehlikelerin Fine-Kinney risk analiz parametreleri olan O, F ve Ş parametreleri için Tablo 1-3'de yer alan skalalar ve Denklem (1) dikkate alınarak RÖS değerleri elde edilmiştir.

Her bir tehlikeye ait O, F, Ş, RÖS değerleri ve RÖS değerlerine bağlı tehlike sınıfları Tablo 6’da yer almaktadır. Tehlike sınıfları belirlenirken Tablo 4 dikkate alınmıştır. Tablo 6’ya göre firma için en önemli tehlikeler, Yüksek Risk sınıfı olarak belirlenen Sınıf-4’de yer alan T3, T8, T9, T11 ve T15’dir. Bu tehlikelerin sırasıyla yangın söndürme tüpü, malzeme depolanması, koruyucu ekipman kullanımı, elektrik pano kapakları ve makine koruma kapakları ile ilgili olduğu Tablo 6’da görülmektedir.

Tablo 6. Fine-Kinney Risk Analizi

Tehlike No	Tehlike Açıklaması	O	F	Ş	RÖS	Risk Sınıfı
T1	Yangın söndürme tüplerini yetersiz olması	1	1	100	100	3
T2	Yangın söndürme tüplerinin katlarda belirlenen noktalarda bulunmaması	3	2	15	90	3
T3	Uygun tipte yangın söndürme cihazı bulundurmama	1	6	40	240	4
T4	Açık sahada bulunan kanalların, ızgaraların ve kapaklarının açık kalması	3	3	15	135	3
T5	Açık alan çalışmalarında buzlu, yağışlı hava koşullarına bağlı kaygan zemin	3	2	15	90	3
T6	Aydınlatma eksikliği veya yetersizliği	3	1	15	45	2
T7	Firma içinde malzemelerin dağınık olması nedenli takılıp düşmeler	6	2	15	180	3
T8	Depo alanı dışında malzeme depolanması	3	6	15	270	4
T9	Koruyucu gözlük kullanılmamasına bağlı malzeme sıçraması, basınçlı su vb. etkilere maruz kalma	3	2	40	240	4
T10	Yanıcı, parlayıcı maddelerin elektrik tesisatı yakınında depolanması	3	3	15	135	3
T11	Elektrik panolarının kapaklarının kilitli olmaması	3	3	40	360	4
T12	Yalıtılmamış priz kullanılması	1	3	40	120	3
T13	El aletinin kırılarak parça sıçratarak çalışana zarar vermesi	3	2	15	90	3
T14	Islak zeminin elektrik kaynağına yakın olması	3	6	7	126	3
T15	Makine testleri sırasında koruma kapaklarının açık olması	3	3	40	360	4

Tablo 6'ya göre firmada Risk Sınıfı 1 veya 5 olan herhangi bir tehlike ile karşılaşılmamaktadır. Bu durum firmada 'Kabul Edilebilir' ve 'Çok Yüksek Risk' seviyelerinde herhangi bir tehlike olmadığını göstermektedir. Risk sınıf sayısı arttıkça hassas değerlendirme yapıldığı dikkate alındığında, firma için tehlikeler 5 sınıfa ayrılmak istenirken sadece 3 sınıf ile karşılaştırmalar yapıldığı görülmektedir. Tehlikelerin istenilen sınıf sayısında gruplanabilmesi için Aşama 3'de kümeleme analizi yapılmıştır.

Aşama 3: RÖS değerlerini K-Ortalama algoritmasına göre kümeleme

Klasik Fine-Kinney risk analizinde 5 sınıf kullanıldığı için K-Ortalama algoritmasına göre kümeleme yapılırken küme sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Kümelerin merkezleri kullanarak verileri karakterize eden K-Ortalama yöntemi sonucunda Tablo 6'da elde edilen RÖS değerlerinin küme değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'de göre T1, T2, T5 ve T13; T3, T8 ve T9; T4, T7, T10, T12 ve T14; T6; T11 ve T15 olmak üzere 5 küme elde edilmiştir. Aynı kümede yer alan tehlikelerin, firma için aynı risk öncelik seviyesine sahip oldukları söylenebilir. Firma için bütçe, işgücü ve zaman kısıtları altında aksiyon planlarının uygulanması gerektiğinde kümeler arasındaki öncelik ilişkisi Aşama 4'de belirlenmiştir.

Tablo 7. K-Ortalama algoritma sonuçları

Küme No	Tehlike No	Küme Simgesi
Küme 1	T1, T2, T5, T13	
Küme 2	T3, T8, T9	
Küme 3	T4, T7, T10, T12, T14	
Küme 4	T6	
Küme 5	T11, T15	

Aşama 4: RÖS değerlerini firmaya göre sınıflandırma

Bu aşama için uygulanan altı adım aşağıda verilmiştir.

- İlk adımı oluşturan maksimum RÖS değeri Tablo 6'dan elde edilmektedir ve $RÖS_{max} = 360$ 'dır.
- Minimum RÖS değeri Tablo 6'da hesaplanmış ve $RÖS_{min} = 45$ 'tir.
- Klasik Fine-Kinney yaklaşımında 5 sınıf kullanıldığı için önerilen yaklaşımda $n=5$ olarak belirlenmiştir.

iv. Sınıf genişliği (c) Denklem (2) ile $(360 - 45)/5 = 63$ olarak belirlenmiştir.

v. $n=5$ ve $c=63$ dikkate alınarak sınıf aralıkları belirlenmiş ve Tablo 8’de risk sınıfları verilmiştir.

Tablo 8. Sınıf aralıkları

Sınıf	Risk Değeri	Risk Durumu
Sınıf-1	$45 \leq R\ddot{O}S < 108$	Kabul Edilebilir –Acil Eylem gerekemeyebilir
Sınıf-2	$108 \leq R\ddot{O}S < 171$	Olası Risk- Eylem Planına alınmalıdır
Sınıf-3	$171 \leq R\ddot{O}S < 234$	Önemli Risk-Dikkatle İzlenmeli
Sınıf-4	$234 \leq R\ddot{O}S < 297$	Yüksek Risk- Kısa vadeli eylem planına alınmalı
Sınıf-5	$297 \leq R\ddot{O}S < 360$	Çok Yüksek Risk- Derhal Tedbir alınmalı

vi. Sınıf aralıklarına göre tehlike sınıflarının belirlenmesi

Tablo 6’da elde edilen RÖS değerleri, Tablo 8’de belirlenen risk sınıflarına göre kategorize edilmiş ve tehlikelerin yeni risk sınıfları Tablo 9’da verilmiştir. RÖS değeri 45-108 aralığında olan 5 tehlike (T1, T2, T5, T6, T13) Sınıf-1’de; 108-171 aralığında olan 4 tehlike (T4, T10, T12, T14) Sınıf-2’de; 171-234 aralığında olan 1 tehlike (T7) Sınıf-3’de; 234-297 olan 3 tehlike (T3, T8, T9) Sınıf-4’de ve geriye kalan 2 tehlike (T11, T15) Sınıf-5’de yer almaktadır.

Aşama 5: Sonuç karşılaştırma

Uygulama yapılan firmada dikkate alınan 15 tehlikenin risk sınıfı Klasik Fine-Kinney ve çalışmada önerilen Fine-Kinney sınıf aralıklarına göre belirlenmiştir. Tehlikelerin sınıf değişimleri Tablo 9’da verilmiştir. Tablo 9’a göre;

- 4 tane tehlikenin ilgili olduğu sınıf değişmemiştir. Her iki değerlendirmeye göre T7 ‘Önemli Risk’; T3, T8 ve T9 ‘Yüksek Risk’ sınıflarında yer almaktadır. Bu durum tehlikelerin yaklaşık %27’sinin sınıf değiştirmedigini göstermektedir.
- 9 adet tehlikenin risk önem seviyesi daha düşük seviyeye geçiş yapmıştır. T6 ‘Olası Risk’ sınıfından T1, T2, T5 ve T13 ise ‘Önemli Risk’ sınıfından ‘Kabul Edilebilir’ risk sınıfına geçiş yapmıştır. T4, T10, T12 ve T14 tehlikeleri ise ‘Önemli Risk’ sınıfından ‘Olası Risk’ sınıfına geçmiştir. Bu durum tehlikelerin yaklaşık %60’ının daha düşük sınıf ile değerlendirileceğini göstermektedir. Tehlikelerin firma içindeki risk sınıflarının belirlenmesi ile klasik yaklaşımda ‘Önemli Risk’ sınıfında yer alan tehlikelerin ‘Kabul

Edilebilir’ ve ‘Olası Risk’ sınıflarına kategorize edilmesi ile tehlikelerin önem seviyeleri ayrıştırılmıştır.

- Geriye kalan yaklaşık %13’lük grubu oluşturan T11 ve T15 tehlikeleri ise önerilen sınıflandırma ile “Yüksek Risk” sınıfından bir üst risk sınıfı olan ‘Çok Yüksek Risk’ sınıfına geçiş yapmıştır. Böylece klasik yaklaşımda 5 adet tehlikenin “Yüksek Risk” sınıfında yer alması, 5 adet tehlike arasında önceliklerinin belirlenmesinde oluşacak karmaşıklığın önüne geçilerek acil önlem alınması gereken tehlikelerin T11 ve T15 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 9. Fine-Kinney sınıflarının karşılaştırılması

		Önerilen Fine-Kinney Risk Analiz Sınıfları				
		1	2	3	4	5
Klasik Fine-Kinney Risk Analiz Sınıfları	1					
	2		T6			
	3	T1, T2, T5, T13	T4, T10, T12, T14	T7		
	4				T3, T8, T9	T11, T15
	5					

K-Ortalama ile elde edilen kümelerin; Klasik Fine-Kinney ve önerilen Fine-Kinney sınıfları ile uyumu Tablo 10’da incelenmiştir. Tablo 10’a göre klasik Fine-Kinney analizine göre belirlenen sınıflar ile K-Ortalama algoritması ile elde edilen kümelerin uyumunun iyi olmadığı, klasik sınıflandırmada küme kaybı olduğu görülmektedir. İki farklı küme olan Δ ve ∇ Sınıf-3’de; $\star$ ve $\diamond$ Sınıf-4’de bir arada değerlendirilmekte ve aksiyon planları bu sınıflara göre oluşturulmaktadır. Bu durum farklı kümelere ve özelliklere sahip tehlikelerin aynı sınıfta değerlendirilmesine ve dolayısıyla önceliklendirmelerin hassas yapılamamasına neden olmaktadır. Önerilen Fine-Kinney sınıfları incelendiğinde T6 ve T7 için kümeleme analizinden farklı sonuçlar elde edilmesine rağmen geriye kalan tehlikelerin kümeleme ile uyumlu sınıflandırıldığı Tablo 10’da görülmektedir.

Tablo 10. Kümeleme analizi ve risk sınıfları karşılaştırması

	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5
Klasik Fine-Kinney Sınıfları		T6-	T1- T2- T5- T13-	T7- T4- T10- T12- T14- T3- T8- T9- T11- T15-	
Önerilen Fine-Kinney Sınıfları	T1- T2- T5- T6- T13-	T4- T10- T12- T14-	T7-	T3- T8- T9-	T11- T15-

5. Çalışma Sonuçları

Çalışmada orta ölçekli bir firmada tüm departmanların ortak karşılaşılabileceği tehlikeler uzman görüşü doğrultusunda belirlenmiştir. Belirlenen tehlikeler Klasik Fine-Kinney yaklaşımında yer alan O, F ve Ş değerlerine göre puanlandırılmış ve bu değerlerin çarpımı ile elde edilen RÖS değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada literatürde ilk defa parametrelerin tüm kombinasyonlarını dikkate alan RÖS sınıflarının yerine; dikkate alınan tehlikelerin RÖS değerlerine bağlı risk sınıfları oluşturulmuştur. Firmalarda yapılan risk analizlerinde tehlikelerin RÖS değerleri çoğu zaman belirli aralıklarda birikebilmektedir. Bu durumun doğal sonucu olarak parametrelerin tüm kombinasyonlarına bağlı oluşturulan risk sınıflarında yayılım göstermek yerine tehlikeler belirli sınıflarda kümelenmektedir. Bu kümelenme risk sınıf sayısını azaltarak risk analizinin hassasiyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışma ile firmalarda gerçekleşen tehlikelerin RÖS değerlerine bağlı oluşturulan risk sınıfları ile tehlikelerin birbiri ile hassas karşılaştırılması ve aksiyon planlarının doğru sıralamada belirlenmesi hedeflenmektedir. Tehlikelerin RÖS değerleri ile yapılan K-Ortalama algoritması ile elde edilen kümelerin önerilen sınıflama yaklaşımı ile yaklaşık %87 uyum içerisinde olması, önerilen yaklaşımın mevcut tehlikeleri özelliklerine göre daha hassas kategorize ettiğini göstermektedir. Böylece tehlikelere karşı aksiyon planları oluşturulurken firma kaynaklarının daha verimli kullanılması ve tehlikelerin minimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Teşekkür

Çalışmalarına olan desteğinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- Balaraju, J., Raj, M. G., & Murthy, C. S. (2020). Prediction and Assessment of LHD Machine Breakdowns Using Failure Mode Effect Analysis (FMEA). In *Reliability, Safety and Hazard Assessment for Risk-Based Technologies* (pp. 833-850). Springer, Singapore.
- Bhuvanesh Kumar, M., & Parameshwaran, R. (2018). Fuzzy integrated QFD, FMEA framework for the selection of lean tools in a manufacturing organisation. *Production Planning & Control*, 29(5), 403-417.
- Dağsuyu, C., Oturakci, M., Kuvvetli, Y., 2015, Risk Assessment with Fuzzy L Type (5x5) Matrix Method, The 4th International Fuzzy Systems Symposium, 395-398
- Dağsuyu, C., Göçmen, E., Narlı, M., & Kokangül, A. (2016). Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 286-294.
- Fattahi, R., & Khalilzadeh, M. (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety science*, 102, 290-300.
- Fragiadakis, N. G., Tsoukalas, V. D., & Papazoglou, V. J. (2014). An adaptive neuro-fuzzy inference system (anfis) model for assessing occupational risk in the shipbuilding industry. *Safety Science*, 63, 226-235.
- Gul, M., & Celik, E. (2018). Fuzzy rule-based Fine-Kinney risk assessment approach for rail transportation systems. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(7), 1786-1812.
- Gul, M., Guven, B., & Guneri, A. F. (2018). A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 3-16.
- Han J, Pei J, Kamber M. *Data mining: concepts and techniques*: Elsevier, 2011.
- Ilbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S., & Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety science*, 103, 124-136.
- Kinney, G. F., & Wiruth, A. D. (1976). *Practical risk analysis for safety management* (No. NWC-TP-5865). Naval Weapons Center China Lake Ca.
- Kokangül, A., Polat, U., & Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Safety science*, 91, 24-32.
- Rafie, M., & Namin, F. S. (2015). Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network and fuzzy inference system. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(4), 655-663.

- Shaker, F., Shahin, A., & Jahanyan, S. (2019). Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Soltanali, H., Rohani, A., Abbaspour-Fard, M. H., Parida, A., & Farinha, J. T. (2019). Development of a risk-based maintenance decision making approach for automotive production line. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 1-16.
- Tsai, S. B., Zhou, J., Gao, Y., Wang, J., Li, G., Zheng, Y., ... & Xu, W. (2017). Combining FMEA with DEMATEL models to solve production process problems. *PloS one*, 12(8).
- Wang, W., Liu, X., & Qin, Y. (2018). A fuzzy Fine-Kinney-based risk evaluation approach with extended MULTIMOORA method based on Choquet integral. *Computers & Industrial Engineering*, 125, 111-123.
- Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L., & Zhu, M. L. (2002). Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 75(1), 17-29.
- Yilmaz, F., & Alp, S. (2016). Underlying factors of occupational accidents: the case of Turkey. *Open journal of safety science and technology*, 6(1), 1-10.
- Yilmaz, F., & Ozcan, M. S. (2019). A Risk Analysis and Ranking Application for Lifting Vehicles Used in Construction Sites with Integrated AHP and Fine-Kinney Approach. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 13(3).
- Zhang, X., Xing, X., Xie, Y., Zhang, Y., Xing, Z., & Luo, X. (2019). Airport Operation Situation Risk Assessment: Combination Method Based on FAHP and Fine Kinney. *Journal of Construction Engineering and Management*.



Bölüm 4

MODA VE TEKSTİL SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Ebru ÇORUH¹, Züleyha DEĞİRMENCİ²

1 Doç. Dr. Ebru ÇORUH; Gaziantep Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Moda ve Tekstil Tasarımı Bölümü

2 Doç. Dr. Züleyha DEĞİRMENCİ; Gaziantep Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Moda kelimesi latince “**hemen şimdi**” anlamına gelen “**modo**”dan türetilmiştir. İtalyancada ise değişiklik gereksinimi ve geçici yenilik anlamlarını taşır. Türk Dil Kurumu’na göre ise “*Göreneğe bakarak daha kısa süreli olan, çabuk değişebilen, öykünme yoluyla yayılan geçici davranış, giyim ve yaşama biçimi*”dir [1]. Modayı oldukça farklı biçimlerde tanımlayabiliriz. Ancak özünde moda soyut bir kavramdır ve tüketim odaklıdır. Moda deyince elbette sadece giysi sektöründen söz edilmemektedir. Bir davranış biçiminden bir ev eşyasına, bir renkten bir arabaya her şey modadan etkilenebilir. Kavramsal olarak düşünüldüğünde ise moda ve hızlı değişim iç içe geçmiştir. Değişime ayak uyduramamak yok olmak anlamına gelmektedir. Bu durum, gereğinden fazla üretime ve tüketime yol açmaktadır. Dünya nüfusunun hızla artması, sürekli gelişim gösteren endüstri ve sanayileşme, üretim ve tüketim faaliyetlerinde meydana gelen çok hızlı artışlar, dünyanın geleceğini tehdit etmekte ve çevrenin kirlenmesine yol açmakta, doğal kaynakların azalmasına ve giderek yok olmasına sebep olmaktadır. İnsanların artan yaşam standartları karşısında, modanın etkisi altında kalma, küreselleşme, üretilen ürünlere daha kolay erişim ve bu alanda yapılan tanıtımların yoğunluğu gibi birçok nedenlerden dolayı üretim ve tüketim artmış, bunların sonucunda ise doğal çevre yıkıma uğramış, hayvanların ve bitkilerin nesli tükenmeye başlamıştır. Kaynakların sonsuz olmadığı bilinci gelişmedikçe bu tüketimin önüne geçmek imkânsızdır. Son yıllarda hemen her sektör için kaynak devamlılığı önem kazanmış ve “sürdürülebilirlik” kavramı sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır.

“Sürdürülebilirlik; bugünkü insanların ihtiyaçlarının, gelecek nesillerin ihtiyaçlarından hiçbir ödün verilmeksizin karşılanması” olarak tanımlanabilmektedir [2]. Yaşamımızın hemen hemen her alanını etkileyen “Sürdürülebilirlik”, günümüzde artık sadece çevre sorunları ile ilişkilendirilmemekte, yaşamımızın birçok alanını çevre, sağlık gibi etkisi altına almaktadır. Küreselleşme dolayısıyla daha hızlı üretim ve daha hızlı tüketim meydana gelmektedir. Bu durum mevcut olan doğal kaynakların da hızla tükenmesine yol açmaktadır. [3,4].

Yaşamın devam edebilmesi için doğal kaynakların yeterli şekilde kullanılması önem taşımaktadır. Bu nedenle, doğal kaynak oluşum ve tüketim hızlarının da sürdürülebilirliğe uygun olması gerekmektedir. 2011 yılında yayınlanan bir raporda, doğal kaynak tüketim hızının 2050’ye gelindiğinde şimdiki tüketim hızından üç kat daha fazla olacağını tahmin etmişlerdir [5].

Sürdürülebilirlik artık yaşamımızın her noktasına etki etmektedir. İnsanoğlunun doğal kaynakları umursamaz bir şekilde kullanması,

gelecek nesillerin yaşamlarını olumsuz bir şekilde etkileyecektir. Bunun önüne geçebilmek ve bizden sonrakilere daha iyi bir dünya bırakabilmek için ürünlerin her alanda geri dönüştürülmesi önemlidir. Tekstil sektörü açısından sürdürülebilirlik düşünüldüğünde ise bu kavram çok daha önemli hale gelmektedir. Tekstil ürünleri üretilirken hem çok fazla su tüketilmekte hem de çevreye oldukça fazla zehirli atık saçılmaktadır. Örnek olarak, doğal olduğu için en çok tercih ettiğimiz pamuk lifi üretilirken, ağartılırken, boyanırken ve yıkanırken harcanan su miktarı yadsınamayacak seviyededir. Bu nedenle üretim sırasında damla sulama sistemlerini tercih etmek, kimyasal ilaç içermeyen organik gübre ile toprağı güçlendirmek, elde edilen pamuğun kalite sınıflandırmalarını uygun biçimde yapmak, üretim sırasında çok gerekli olmayan kimyasal işlemlerden kaçınmak, telefı minimize etmek veya ortaya çıkan telefı maksimum verimde kullanmak bu konuda alınacak önlemlerdendir. Buna benzeyen bir diğer örnek günlük hayatımızda sıkça kullandığımız indigo rengindeki denim ürünlerdir. İndigo boyama prosesi suyun çok fazla tüketildiğı bir prosestir. Boyanın lifin içine tam olarak nüfuz etmesi istenmez. Bu nedenle tekneler içindeki su boyarmadde ve kimyasal açısından oldukça zengindir. Bu teknelerin yeniden kullanılabilir hale getirilmesi tüketim seviyesini düşürebilir. Diğer yandan tüketicilerin tercih ettiğı eskimiş görüntüyü vermek için yapılan işlemlerin gerek insan sağlığına gerek çevreye verdiği etki düşünülerek bu işlemlerin kullanılmaması önemlidir. Denim ürünlerin geri dönüşümü ise bu konuda alınacak en önemli önlemdir. Tekstilde karşımızda bulunan en büyük sıkıntılardan biri de yıkama işlemidir. Ev tipi yıkama esnasında özellikle kısa lif içerikli giysilerden atık su içerisine önemli seviyede lif göçü olmaktadır. Uzaklaşan liflerin doğadaki diğer canlılar için tehdit oluşturduğu düşünülmeli ve mutlak suretle filtre edilmelidir. Diğer yandan tek kullanımlık tekstil ürünlerine duyulan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu ürünler kısa vadede hijyen açısından hayatımızı kolaylaştırır da açıktır ki bu amaçla en fazla sentetik lifler kullanıldığından doğada oluşan atık tehlikeli seviyelere erişmektedir. Tekstil üretimi açısından bahsedilen örnekler çoğaltılabilir. Tekstil açısından sürdürülebilirlik daha az hareketi ile ancak mümkündür (Şekil 1).



Şekil 1. Tekstilde sürdürülebilirlik için daha az hareketi

Sürdürülebilir moda, moda ürünlerinde ve moda sisteminde daha fazla ekolojik bütünlüğe ve sosyal adalete doğru değişimi teşvik eden bir harekettir.. Sürdürülebilir moda, tekstil veya ürünlerine değinmekten daha fazlasını ilgilendirir. Tüm moda sistemine hitap etmeyi içerir. Bu, birbirine bağlı sosyal, kültürel, ekolojik ve finansal sistemlerle uğraşmak anlamına gelir. Aynı zamanda modayı birçok paydaş açısından - kullanıcılar ve üreticiler, tüm canlı türleri, dünyadaki çağdaş ve gelecekteki sakinler açısından düşünmek gerekir. Sürdürülebilir moda bu nedenle vatandaşların, kamu sektörünün ve özel sektörün sorumluluğundadır. Sürdürülebilir moda ile ilişkili bir diğer terim ise eko modadır. [6]

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI

Sürdürülebilirlik, Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu olarak bilinen Brundtland tarafından “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yetenekleri ile uyumsuzluk oluşturmaksızın, bugünün ihtiyaçlarının karşılanması” olarak tanımlanmıştır [7,8]. Son yıllarda üzerinde fazlaca durulan sürdürülebilirlik ile ilgili birçok tanımlama yapılmıştır. Macmillan Çevre Sözlüğü’ne göre sürdürülebilirlik, “sürekli, sonsuz, kalıcı” gibi anlamlarına gelmektedir [9]. Gilman, sürdürülebilirliği, ekosistemin, toplumun veya sürekli devam eden sistemin ana kaynakları tükenmeden belirsiz bir geleceğe kadar görevini sürdürmesidir, şeklinde ifade etmiştir. Sürdürülebilir kalkınmanın 3E’si olan Eşitlik, Ekoloji ve Ekonomi konuları bu raporun sonucunda üç temel unsur olarak ortaya çıkmıştır [10].

Sürdürülebilir gelişme de tıpkı sürdürülebilir, kalkınma gibi ekolojik, ekonomik ve eşitlik boyutu ile ele alındığında ekolojik boyutu, kaynakların devamlılığının sağlanması ve gelecekteki kuşaklara devredilmesi anlamını içermektedir. Ekonomik boyutu gelecekteki nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme imkânlarını ellerinden almadan kalkınmanın nasıl gerçekleştirilebileceğidir. Sosyal boyutu, eğitim ve sağlık standartlarının artırılması, kültürel çeşitliliğin sürdürülmesi, insan haklarına saygı ve temel insan haklarının uygulandığı standartlarda yaşama seviyesine ulaşabilmesidir, şeklinde ifade edilmiştir [11-13].

Son yıllarda sürdürülebilirlik dünyaca ünlü markalar tarafından da ele alınmaya başlamıştır. En iyi örneklerden birisi olan H&M firması, atık, eski kullanılmayacak durumdaki tekstil ürünlerini toplayarak sınıflandırmakta, daha iyi durumda olan ürünler ikinci kez kullanıma girmekte, çok eski ve yıpranmış durumda olanlar ise farklı tekstil ürünlerine dönüştürülmektedir. Bunların dışında dolgu ya da yalıtım malzemesi olarak da kullanılmaktadır. H&M firması hem üretim için hammadde elde etmekte hem de geri dönüşüme destek sağlamış olmaktadır. Diğer bir firma Nike ise, üretmiş olduğu formaların üretiminde %100 geri dönüştürülmüş PET şişeler kullanmaktadır. Tıpkı Nike gibi bir diğer firma olan Levi's üretmiş olduğu jean pantolonların % 29'unda tüketici sonrası oluşan atıklardan geri dönüştürülmüş PET şişe içermektedir. Adidas markası ise sürdürülebilir ayakkabı olarak Fluid Trainer'ı tanıtmıştır. Bu tasarımda ayakkabının üst kısmında %50 oranında geri dönüştürülmüş materyal diğer kısımlarında ise %10 veya %20 oranında geri dönüştürülmüş materyal bulunmaktadır. İngiliz moda markası olan Marks&Spencer, geri dönüştürülmüş malzemelerden yapılmış özel bir takım elbise üretmiştir. Restore Jeans bir jean üretmek için kullanılan temiz su kaynaklarına dikkat çekmiş ve kullanılmış denim ürünleri başka ürünlere dönüştürerek yeniden kullanılır hale getirmiştir. [14-20].

Tekstil ürünlerinin doğal lifler ve doğal maddelerle yeniden üretilmesi, ürünün kullanım ömrünün daha uzun olması ve geri dönüşümünün sağlanabilmesi açısından önemlidir. Bu da sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Sürdürülebilirlik birçok firma tarafından çok ciddiye alınarak birçok ürünün geri dönüşümleri yapılmaktadır. Bu konu için üretim sırasında karışım lif kullanmamak ve kimyasal boyama ve bitim işlemlerini mümkün olduğunca az kullanmak geri dönüşüm işini kolaylaştırmaktadır.

MODA VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI

Sürdürülebilir moda kavramı, tekstil ve hazır giyim sektöründe hızlı üretimin yol açtığı problemlere alternatif bir çözüm yolu olarak, ekolojik hayata zarar veren giysilerin üretimine, üretimde çalışan işçilerin

uğradıkları haksızlıklara, gereksiz tüketime karşı ortaya çıkmış ve son zamanlarda dikkat çeken bir konu haline gelmiştir. Giysilerin yeniden ve uzun süreli kullanımı, değişimi, daha önceden var olan kıyafetleri kullanarak yeni ürünler yaratmak, modüler tasarımlar, kumaşa fire vermeyen yeni kalıp fikirleri geliştirmek veya fire veren parçaları başka alanlarda değerlendirilmek suretiyle moda da sürdürülebilirlik içerisine girmektedir.

Sürdürülebilir moda alanında yeni fikirlerin ortaya çıkması noktasında, tasarım fikirleri kendilerine seri üretimde, hazır giyim veya kişiye özel giyimde yer bulabilirken, bazıları moda tüketicisinin arzu ve isteklerine yaklaşamamıştır. Sürdürülebilir tasarımın moda ayağındaki problemin; tüketicinin ihtiyaçları, satın alma davranışları ve estetik kaygılarını geri plana atarak, tüketicinin kişiliği, kimliği ve hayat tarzına uymayan, sınırlı veya tüketiciyi tasarımın içerisine dahil etmeyen tasarımlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sürdürülebilir moda kapsamında; eko-moda, etik moda, yavaş moda, ekolojik moda, yeşil moda, çevreci moda gibi kavramlar günümüzde birbirlerinin yerlerine kullanılan kavramlardır [18,19].

Tekstil ve hazır giyim sektöründe yukarıda bahsedilen sorunları ve daha sonra ortaya çıkabilecek sorunları azaltmak adına sürdürülebilirlik kavramı tekstil ve hazır giyim sektöründe “sürdürülebilir moda” şeklinde kendini göstermektedir. Modanın yerel standartlarda üretilmesi, etik olarak üretilmesi, geri dönüşüm materyallerinin kullanılması, organik ve doğal materyaller kullanılması ve uzun ömürlü üretilmesi olarak ifade edilmiştir [20].

HAZIR GIYİM ENDÜSTRİSİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilir giysi tüketimi ürünlerin satın alınmasından, tüketilmesine ve elden çıkarılmasına kadar birçok aşamayı içermektedir.

Dünya nüfusunun hızla artması ve insanların yaşam standartlarındaki gelişmeler nedeniyle giysi üretimi ve tüketimi büyük ölçüde artmıştır. Tekstil ve hazır giyim endüstrisinde aşırı üretim, modanın etkisiyle tüketicilerin her mevsim için yeni bir giyim koleksiyonuna ihtiyaç duymaları yüzünden ortaya çıkmıştır. Giysi ve atık üretim oranı, ürünlerin değişme miktarı her geçen gün hızla artarak devam etmektedir [21].

Tüketiciler kıyafetlerini elden çıkarmaya karar verdiklerinde birçok farklı seçeneğe sahip olabilmektedir. Örnek olarak giysilerini yardım kuruluşlarına, belediyelere, koleksiyonculara kullanılmış giysi toplayan hazır giyimcilere bağışlayabilir veya satabilir. Atılan giysiler ise belediyeye

ait atıklarla birlikte yakılmakta ya da depolanmaktadır. Bağışlanan veya satılan giysilerin kalitesine bağlı olarak Doğu Avrupa ve Afrika ülkelerine gönderilmekte ya da tekrar kullanılması için geri dönüşüm tesislerine gönderilerek işlenmektedir [22].

HIZLI MODA

Hızlı moda kavramı, tasarımı yapılan giysilerin ya da ürünlerin hızlı üretim sürecine dayalı ve piyasanın gereksinimlerine en kısa sürede cevap verecek şekilde bir iş modeli olarak ortaya konmuş ve tüm moda endüstrisini ele geçirmiş duruma gelmiştir [23]. Moda dünyası üzerinde araştırma yapan isimlerden Byun ve Sternquiste hızlı modayı “Hızlı bir şekilde dönüşen stok ve kısa yenilenme döngüsü ile en son moda trendlerine yanıt veren bir pazarlama yaklaşımı” olarak tanımlamışlardır [24]. Hızlı modayı uygulayan tekstil ve konfeksiyon firmaları, ürünlerini kendi rakiplerine göre mağaza raflarına en hızlı şekilde taşımaktadırlar. Endüstri ortalaması 6 ay olmasına karşın, hazırlık süresi üreticiler için 2-3 haftaya kadar inmiştir. Hızlı moda firmaları stoklarını rakip firmalara göre yılda 9-10 kez değiştirirken, geleneksel moda firmaları stoklarını yıl içerisinde 4-5 kez değiştirmektedirler. Bu da modanın ne kadar hızlı bir tüketim döngüsü içerisinde olduğunu gösteren en iyi kanıttır [25,26]. Raf değişimlerinin 6 ay olması kış mevsimi için trendlerin yazın; yaz mevsimi için ise kışın belirlenmesi anlamına gelmektedir. Üretici; tasarımı, malzeme seçimini ve üretimi bu zaman aralığında yapar. Ancak, hızlı moda akımına ayak uydurmak isteyen firmalar bahsi geçen işlemleri çok kısa sürelerde tamamlamak durumunda kalmıştır. İş hacmi aynı büyüklükte olmayan küçük üreticilerin bu akıma ayak uydurması veya aynı şartlarda ayakta kalması oldukça zordur.

Hızlı moda teknikleri ile üretim yapan firmalar içerisinde ilk sırada yer alan İspanyol markası Zara firmasıdır. Zara; hızlı moda akımının lideridir. En iyi ve en doğru şekilde hızlı modayı uygulayan, günümüz tekstil ve konfeksiyon pazarında önemli bir üstünlüğe sahip olarak adını duyurmuş bir üreticidir. Zara firması bu konudaki tecrübesini kullanarak bir ürünü tasarlayıp 15 gün içerisinde mağazalarda satışa sunabilmektedir. Zara’nın bu hızlı tasarım ve ürün süreci firmanın yüksek miktarlarda kar etmesi anlamını taşımaktadır. Ürün döngüsündeki bu karı Zara firması zaman içinde fark etmiş ve bu döngüyü hızlandırarak, üretimin her aşamasını kontrol altına almıştır. Hızlı modayı yürüten uluslararası firmalar içerisinde ilk sıraya yerleşmiştir. Hızlı moda iş modelini; H&M, GAP ve Benetton gibi firmalar kullanmaktadır [27, 28,29].

Aslında hızlı moda tüketicilerin hayatına sinsice giren bir tüketim modelidir. Son yıllarda tekstil ürünlerinin fiyatlarının daha ulaşılabilir olması aldatmacası arkasında düşük kalite, ekolojik bilinçten uzak üretim

ve ucuz işçi maliyetleri vardır. Bir pazarlama taktiği olarak ortaya çıkan bu kavram beraberinde hızla değişen moda trendlerini de getirmektedir. Müşteri memnuniyeti; uzun süre kullanılabilecek kaliteli ürünlerden çıkmış, daha çok alışverişe dayalı anlık mutluluklara dönüşmüştür. Tüketici sürekli değişen model, renk ve tasarımı yakalayabilmek için ihtiyacından fazla satın alırken; üretici de talepleri karşılamak için sürekli üretim yapmak zorunda kalmaktadır. Dünya çapında tahmini olarak her yıl 80 milyar giysi parçası satın alınmaktadır. Bu rakam 20 yıl öncesinin yaklaşık yüzde 400 daha fazlasıdır. Kuzey Amerika’da 10,5 milyon ton giysi çöpe atılmakta, çöpe atılan kıyafetlerin büyük çoğunluğunun hammaddesi polyester gibi pamuğun yerini almış olan petrol bazlı ham maddelerden üretilmektedir. Yardım kuruluşlarına bağışlanan veya ikinci el mağazalara satılan giysilerin yalnızca %10’u tekrar satılabilmektedir [30].

Bu konuda önemli bir çalışma yapmış olan Altun’a göre bir pamuklu tişört 250 g pamuk lifi içermektedir. Bu tişörtü üretmek için 2500 litre su kullanılması gerekmektedir. Bu bir insanın 900 günlük su tüketimine eşittir. Bir ton pamuklu ürünün üretilmesinde harcanan enerji miktarı 66.6 kWh olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde bir ton polyester giysi üretmek için bu miktar 91.5 kWh olarak bulunmuştur. Paketleme, taşıma ve satış için %30-40 oranında enerji de bu maliyete eklenmiştir. Türkiye’de çöpe atılan pamuk ve polyester ürünleri geri dönüşüme uğramış olsa 14 milyar kWh enerji polyesterden, 13.1 milyar kWh enerji ise pamuktan kazanılabileceklerini ortaya koymuşlardır. Bu giysiler orijinal hammaddeden elde edilse; polyester için %1,8, pamuk için %2,6 enerji harcadığı hesaplanmıştır [31].

Geri dönüşüm, dünyanın geleceği açısından, doğal kaynakların korunması, bizden sonraki nesillere daha iyi bir dünya bırakması açısından oldukça önemlidir. Bugün beğenilerek satın alınan bir ürün, kısa süre sonra modası geçmiş, atık bir ürün haline gelmektedir. Hızlı moda, ucuz moda haline gelmiş, yeni olan bir ürünün hızlı bir şekilde eskimesi, çok fazla tüketime ve bunun ortaya çıkardığı sosyal, ekonomik ve çevresel problemlere neden olmuştur. Bu da ülkemiz ve dünya açısından doğal kaynakların hızla tüketilmesi noktasında oldukça önemli bir problemidir.

YAVAŞ MODA

Yavaş moda hareketinin temel felsefesi, uzun süreli giyilebilecek ve raflarda uzun süre yer edinebilecek, kalitesi yüksek, modası geçmeyecek ürünler üretmek olarak ifade edilmektedir. Uzun ömürlü giysiler, “daha az kaynak ve enerji tüketimi” ile sürdürülebilir yaklaşıma önemli bir katkı sunmaktadır.

Yavaş moda kavramını ilk defa Fletcher tarafından kullanılmıştır. Fletcher bu kavramı üretim ve süreç açısından incelediğinde “ekolojik, sürdürülebilir ve etik moda hareketi” gibi anlamlarda kullanmıştır. Yavaş modanın amacı tekstil ve hazır giyimi yavaşlatmak değil daha sürdürülebilir bir üretim zinciri tasarımı planı, üretim kaynaklarının etkin kullanımı ve tüketici eğitiminin sağlanması şeklinde birçok fikri beraberinde taşımaktadır [32].

Tablo 1. Hızlı moda ve yavaş modanın karşılaştırılması[33]

Hızlı modanın etkili yönleri	Yavaş modanın etkili yönleri
*Tüketicilerin moda tercih ve isteklerine hızlı cevap vermesi *Yüksek kalite de düşük fiyat mümkün olması *Küresel piyasalarda oldukça karlı olması *Hızlı imalatın hiçe sayılmasına yol açması *Moda eğiliminin hızlı bir şekilde değişmesine sebep olması *Düşük kalite ve düşük fiyat moda kirliliğinin artmasına sebep olması *Hızlı ve yüksek miktarda ucuz ürün olması *Tüketicilerin tek kullanımlık ve çok ürün almaları hedeflenmesi.	*Yavaş moda kaynakların tüketimi ve atık miktarının azalmasına sebep olması *Çalışanların yaşam kalitesini artırması *Ürün kalitesini artırması *Ürün kullanım ömrünü artırması *Küçük miktarda firmaların ölçek ekonomileri stratejilerini kullanamamalarına neden olması *Ürünler diğer ürünlere göre daha pahalı olması *Az miktarda yüksek ürünler olması *Tüketicilerin az ama yüksek kalitede ürün alması hedeflenmesi

Tablo 1’den hareketle hızlı moda bir fast food restoranda hızla tüketilen sağlıksız bir yiyeceğe yavaş moda ise kaliteli ve temiz bir restoranda yenilen sağlıklı bir yemeğe benzetilebilir. Hızlı moda olarak dayatılan giysilerin kısa vadede hem üreticiler hem de tüketiciler için karlı olduğu düşünülmektedir. Ancak, satın alınan ürünlerin aynı sezon içinde modaların geçmesi, yıpranması tüketici açısından kaynak israfı iken, üretim sırasındaki kaynak tüketimi insanlık için çevre israfıdır. Üretim sırasında harcanan enerji ve iş gücü düşünüldüğünde israfın çok daha tehlikeli boyutlarda olduğu açıktır. Ancak bu bir arz-talep meselesidir. Tüketiciler bu ürünlere erişmek istedikçe üreticiler de buna devam etmek zorunda kalmaktadır.

GERİ DÖNÜŞÜM

Ekonomistler ve çevreciler uzun süre yaptıkları çalışmalar sonucunda, geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik ile teknik ve ekonomik gereksinimlerinin

yanı sıra, atık önlenmesi ve geri dönüşüme olan ihtiyacın nedenlerini sırasıyla ortaya çıkarmışlardır. Geri dönüşümün önemli sebeplerinin ilki ekonomik sebepler, geri dönüşüm, atık ürünü yok etmeye kıyasla daha düşük maliyete sahiptir. Fazla miktarda su, enerji tüketimleri nedeniyle, geri dönüşüm; yeni ürünler üretmeye göre daha ucuzdur. Geri dönüşüm finansal olarak ödüllendirilmekte, insanlar geri dönüştürülebilir ürünler tüketmeye maddi olarak teşvik edilmeye çalışılmaktadır. Sosyal sebeplere gelince ise geri dönüşüm insanlara büyük miktarda iş hacmi yaratmaktadır. Geri dönüşüm merkezleri kişilere istihdam sağlayabilmekte, küçük veya aile işletmeleri kurulabilmekte; bu da daha fazla iş imkânı olarak ortaya çıkmaktadır. Çevresel açıdan ise su, petrol, doğal gaz gibi doğal kaynaklar korunmaktadır. Yeni ürünlerin üretimine kıyasla daha az enerji tüketildiğinden, enerji açısından kar edilebilmekte ve bunun yanı sıra daha az zararlı gazlar ortaya çıkmaktadır. Doğal yaşam alanlarının yok olması önlenmeye çalışılmaktadır [34].

Geri dönüşüm teknolojileri 4 grupta incelenebilir;

1. Geri dönüşüm bir ürünün orijinal haline geri dönüştürülmesi,
2. Atığın, orijinal halinden farklı bir uygulama alanına sahip fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerde yeni bir ürüne dönüştürülmesi,
3. Atığın piroliz, gazlaştırma ve hidroliz yoluyla kimyasallara veya yakıtlara dönüştürülmesi,
4. Katı atıkların yakılması ile oluşan ısıdan yararlanılmasıdır [35].

Tekstil açısından geri dönüşüm son yıllarda popülerleşmeye başlamıştır. Pet şişe atıklarının polyester ipliğe dönüştürülmesi, kullanılmış giysilerin açma makineleri ile yeniden life dönüştürülmesi ve farklı amaçlar için kullanılması, yıpranmış giysilerin toplanarak yeniden kullanılabilir forma sokulması gibi örnekler verilebilir. Üretim sırasında oluşan atıkların geri dönüşümü de bir işletmenin atığının bir işletmenin hammadde olmasına neden olmaktadır. Ancak, bu konuda alınması gereken en önemli önlem, üretim sırasında oluşacak atık miktarını en aza indirmek ve atıkları telef olarak değil “katma değerli ürün” olarak kullanabilmektir. Çevre bilinci ile atıkların sınıflandırılması ise acilen alınması gereken önlemlerdendir.

İLERİ DÖNÜŞÜM

Geri dönüşüm bir ürünün yeni bir malzemeye veya life dönüştürülmesi olarak tanımlanır. Bu dönüşüm, dönüştürülen ürünün kalitesinin başlangıçtaki ürüne kıyasla azaltıyorsa geri dönüşüm, ürünün kalitesi ve değeri bu dönüşümde artıyorsa ileri dönüşüm olarak ifade edilmektedir

[36]. Son yıllarda oldukça fazla şekilde konuşulan ileri dönüşüm de sürdürülebilirlik içerisinde önemli bir yer sağlamaktadır. Geri dönüşüm yolu ile farklı kullanım alanına sahip yeni bir ürün elde etmek ya da elde edilen ürünün değerinin artması sürdürülebilirliğe başka bir boyut kazandırmaktadır. Ürüne farklı tasarım boyutları kazandırılarak, raflarda yeni ürün olarak satışa sunulması dönüşümün farklı boyutu olarak ifade edilmektedir.

Özellikle üretim sırasında bazı atıkların oluşması engellenemez. Kalite kontrol neticesinde son üründen hammaddeye kadar her aşamada telef oluşumu mümkündür. Konfeksiyon sırasında kalıp artıkları da tekstil açısından büyük kayıplar anlamına gelmektedir. Her ne kadar üreticiler “tekstilin çöprü olmaz; dönüşümü olur” dese de mühim olan bunu çöpe değil yenilikçi bir ürüne dönüştürmektir. Bu konuda çalışan firmalar yeni tasarımlarda bu ürünleri kullanarak hem yeni trendler oluşturmakta hem de kaynak israfını engellemektedir.

SONUÇLAR

Günümüzün en önemli sorunları arasında yer alan hızlı üretim ve tüketim sonucunda doğal kaynakların tüketilmesi, çevreye verilen zararlar, doğanın bozulması çok büyük bir sorun haline gelmiştir. Bundan en fazla etkilenen sektörlerden biri ise tekstil ve hazır giyim sektörü olarak bilinmektedir. Tekstil ve moda sektörünün çevresel, ekonomik ve insani boyuttaki zararlarını en aza indirmek, dünya ve insanlık açısından oldukça önemli olmuştur. Son yıllarda moda döngüsü içerisinde üretim ve tüketim artmış, ürünlerin kalitesi düşmüş, çevreye verilen zararda bununla birlikte artmıştır.

Tekstil ve moda sektöründe son yıllarda önemli bir kavram olarak sürdürülebilirlik içerisinde, yavaş moda, etik moda, ekolojik moda gibi kavramlar ortaya çıkmıştır. Üretilen giysilerin ekolojik çevreden tasarlanması, üretilen giysilerin çok amaçlı ya da modüler tarzda olması, doğal kaynaklarımızın tüketilmesini azaltmaktadır. Moda ve tekstil sektörü sosyal ve çevresel sorumluluklarının bilincinde olmalı ve tüm iş süreçleri ve karar alma mekanizmalarında sürdürülebilirlik ilkesini benimsemelidirler.

Bu araştırmada; tekstilde moda açısından sürdürülebilirlik anlatılmıştır. Ancak sürdürülebilirlik deyince tüm alanlarda ortak kavramlar akla gelmektedir. Gelecek için planlamadan üretim ve tüketim yapmak insanlığın kendi kendini tüketmesi anlamına gelmektedir. Tekstil açısından sürdürülebilir olmanın birincil yolu daha az ama daha kaliteli üretimden geçmektedir. Üretim süreçlerini hızlandırmak için daha çok kullandığımız su, enerji ve ucuz insan gücü sadece daha hızlı tüketmemize

yol açmaktadır. Özenle seçerek aldığımız ürünlerin sezon dahi bitmeden yıpranması, modasının geçmesi ve vazgeçmemiz kişisel kaynak israfına da yol açmaktadır. Bu ürünler için geri dönüşüm ve/veya ileri dönüşüm seçenek olarak karşımıza çıksa dahi bu bütçeden bu ürünlere ayrılan finansal kaynakların azaldığı anlamına gelmez. Satın aldığımız ürünler için harcanan kaynakları gözden geçirmek ve giysi marka ve tercihini bu şekilde yapmak tüketicilerin alacağı önlemlerdir.

Üretici açısından düşünüldüğünde ise daha az su ve enerji tüketerek üretim yapmak, üretim sırasında gerek su gerek kimyasalları yeniden kullanarak atık miktarını azaltmak gerekmektedir. Üretim sırasında ortaya çıkan telefleri mümkün olduğu ölçüde katma değerli ürünlere dönüştürmek üretici açısından karlıdır. Ayrıca, karbon ayak izini azaltacak seviyede üretim yapmak, insan ve çevre açısından zararlı bitim işlemlerinden mümkün olduğunca kaçınmak, atık suyu filtrelemek ve arıtmak, daha kaliteli hammadde kullanarak daha fazla kullanılabilir ürünler üretmek üreticinin alacağı önlemlerdir.

Sürdürülebilirlik konusunda uluslararası standartlar geliştirilmesi tüm aşamalar için tüketimlerin minimize edilmesi ve kayıt altına alınması ve etiketlenmesi bu konuda alınacak çevresel önlemlerdir.

Sonuç olarak; modanın sürdürülebilir olması için önce ekosistemin sürdürülebilir olması gerekir. Daha az hareketi (Şekil 1) eş zamanlı olarak hem tüketiciyi, hem üreticiye, hem de çevreyi koruyacağı düşünülmeli ve daha bilinçli olunmalıdır. Modanın devamlılığı ise ancak kalite ile mümkündür. Kaliteli hammadde, kaliteli tasarım, kaliteli işçilik ve tüketicin zihnine kazınacak kadar zaman ancak modayı ve tekstili sürdürülebilir kılabilir.

KAYNAKLAR

1. <https://www.uplifiers.com/moda-nedir-nasil-ortaya-cikmistir/#ixzz6AyxOsYqZ> (Erişim tarihi: 13.01.2020).
 2. Uludağ Hazır Giyim ve Konfeksiyoncuları İhracatçı Birlikleri Arge ve Pazara Giriş Şubesi, Hazır Giyim Sektöründe Sürdürülebilir Trendler, Nisan 2017
 3. Lee, H. (2010), Don't Tweak Your Supply Chain: Rethink it End to End. Harvard Business Review, 88, 62.
 4. Özmen, Ş.Y., Birsen, H., Birsen, Ö., (2017), Yavaş Hareketi: Çevreden Kültüre Hayatın Her Alanında Küreselleşmeye Başkaldırı, İnönü Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi (İNİF E-Dergi), 1(2), 38-49.
 5. Vadicherla, T., Saravanan, D., (2014), Textiles and Apparel Development Using Recycled and Reclaimed Fibers, in "Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing Ecofriendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods", Ed: Muthu S.S., Springer Science-Business Media, Singapore.
 6. https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_fashion, (Erişim tarihi: 13.01.2020).
 7. United Nations, (1987), Report of the World Commission on Environment and Development Our Common Future, <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>, erişim tarihi: 17.09.2015
 8. Vadicherla, T., Saravanan, D., (2014), Textiles and Apparel Development Using Recycled and Reclaimed Fibers, in "Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing Ecofriendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods", Ed: Muthu S.S., Springer Science-Business Media, Singapore.
 9. Macmillan Dictionary, <http://www.macmillandictionary.com/dictionary/british/sustainable>, 8 Nisan 2017.
 10. Gilman, R. (1992). Sustainability By Robert Gilman from the 1992 UIA/AIA Call for Sustainable Community Solutions. 16 Mart 2003.
- Sürdürülebilirlik hem üretici hem tüketici açısından kaynakların etkin kullanılmasında açısından oldukça önemli bir kavramdır.
11. Harris, M.J., (2000), Sürdürülebilir Kalkınmanın Temel Prensipleri, Özmete (çev.), Tufts University, USA.
 12. Mucan, B., Kayabaşı, A., Madran, C., (2016), Yöneticilerle Sürdürülebilirlik Algısı ve Firma Uygulamalarına Yönelik Değerlendirme, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt 12, Yıl 12, Sayı 2.
 13. Sencar, P., (2007), Türkiye'de Çevre Koruma ve Ekonomik Büyüme İlişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne. s. 74, 81, 83.
 14. Balım, M. 2017. H&M Değiş-Tokuş Marketini Açtı. <http://blog.adgager.com/degis-tokus-marketi-hm/> (Erişim Tarihi: 30.04.2017).

15. Erdil, M. 2017. Sıfır Atık Modası. <http://www.hurriyet.com.tr/sifir-atik-modasi-40375721> (Erişim Tarihi: 22.03.2017).
 16. Öç, B., 2013. Sürdürülebilir Tasarım: Ürün Tasarımı ve Üretimi Temelinde Malzemelerin Geri Dönüştürülmesi Bilinci. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 155s, İstanbul. [26] Ecoana, Daha İyi Bir Pamuk, Geri Dönüşmüş Bir Kot: Levi's,
 17. <http://www.ecoana.com/daha-iyi-bir-pamuk-geri-donusmus-bir-kot-levis/>, (Erişim Tarihi: 8.10.2016).
 18. Eser, B., Çelik, P., Çay, A., Akgümüş, D. 2016. Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları, Tekstil ve Mühendis Dergisi, Cilt 23 (101), s. 44-60. DOI: 10.7216/1300759920162310105 [28] Blanchard, T. Marks & Spencer launch the world's most sustainable suit. Telegraph, 19 June 2012,
 19. <http://fashion.telegraph.co.uk/columns/tamsin-blanchard/TMG9340870/Marks-and-Spencer-launch-the-worlds-most-sustainable-suit.htm>, (Erişim tarihi: 30.05.2018).
- Günümüzde küresel ölçekte tekstil ve hazır giyim üretimi yıllık 80 milyon tonun üzerinde gerçekleşmektedir.
20. <https://restorejeans.com/pages/neden-restore>, (Erişim tarihi: 13.01.2020).
 21. Shen, B., Wang, Y., Lo, C., Shum, M. 2012. The impact of ethical fashion on consumer purchase behavior. Journal of Fashion Marketing and Management, 16, 234–245. DOI: 10.2752/175174115 X13340749707123
 22. Mangır, A.F. 2016. Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yavaş ve Hızlı Moda, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, Cilt 19 41.Yıl Özel Sayısı, s.143-154.
 23. Yip, D. (2010), “What does sustainable fashion mean to you?” <http://www.granvilleonline.ca/gr/blogs/citizen-style/2010/04/09/what-does-sustainable-fashion-mean-to-you> , (02.05.2016)
 24. Zamani, B. (2014). Towards Understanding Sustainable Textile Waste Management: Environmental Impacts and Social Indicators, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
 25. Palm, D., Ealender, M., Watson, D., Kiorboa, N., & Salmenpera, H. (2014). Towards a Nordic Textile Strategy-Collection, Sorting, Reuse and Recycling of Textiles. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., Stockholm.
 26. Cachon, G. Swinney, R. 2011, The Value of Fast Fashion: Quick Response, Enhanced Design, and Strategic Consumer Behavior, Management Science, Cilt 57(4), s. 778–795. DOI: 10.1287/mnsc.1100.1303
 27. Byun, S. E., Sternquist, B. (2008), The Antecedents of In-store Hoarding: Measurement and Application in the Fast Fashion Retail Environment, The International Review of Retail

Distribution and Consumer Research, 18(2), 133-147.

28. Sull, D., Turconi, S., (2008), “Fast fashion lessons”, Business Strategy Review 19.2: 4-11.
29. Tokatli, N.(2008), Global Sourcing Insights from the Clothing Industry: The Case of Zara, a Fast Fashion Retailer. Journal of Economic Geography 8: 21–38.
30. Dal, V., Gürpınar M., (2010), Hazır Giyim Sanayinde Hızlı Moda Kavramı ve Bir Model Önerisi, İstanbul Sanayi Odası-Marmara Üniversitesi Doktora/ Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Desteği Projesi, İstanbul, s. 15,28,41.
31. Ghemawat, P., Nueno, J. L., Dailey, M. (2003), ZARA: Fast fashion (Vol. 1). Boston, MA: Harvard Business School.
32. Crofton, S. O., Dopico, L. G. (2012), Zara-Inditex and the growth of fast fashion. Essays in Economic & Business History, 25.
33. Türkrus, Gereksiz Alışverişten Nasıl Vazgeçilir? <http://www.turkrus.com/337132-gereksiz-alisveristen-nasilvazgecilir-xh.aspx>, 9 Aralık 2017.
34. Altun, Ş., (2014), Tekstil Üretim ve Kullanım Atıklarının Geri Kazanımı Çevresel ve Ekonomik Etkileri, Tekstil Geri Kazanım Sektörü Raporu, Uşak TSO.
35. Mangır, A.F., (2016), Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yavaş ve Hızlı Moda, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi Cilt:19 41.Yıl Özel Sayısı ss.143-154 makale, Konya.
36. Jung, Sojin ve Jin Byoungcho (2016), “Sustainable Development of Slow Fashion Businesses: Customer Value Approach”, Sustainability, 8(6), 540



Bölüm 5

MİMARİ TASARIM SÜRECİ VE MÜŞTERİ İLİŞKİLERİNİN YAPI ÜRETİM SİSTEMLERİ ANALİZİ BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: ANTALYA MİMARLIK OFİSİ ÖRNEĞİ

Fatma TORAN¹, İlknur AKINER²

1 Yüksek Lisans Öğrencisi, Akdeniz Üniversitesi F. B. E. Mimarlık Planlama ve Tasarım Anabilim Dalı, dosemealtimimarlik@gmail.com

2 Doç. Dr., Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, ilknurakiner@gmail.com

1. GİRİŞ

Sistem, sistemler yaklaşımının temelini oluşturan ve “Genel Sistem Teorisi”ni ortaya koyan Von Bertalanffy (1969) tarafından, birbirlerini etkileyen elemanların oluşturduğu bir kompleks olarak tanımlanmaktadır. Sistem, birbirleri ve nitelikleri arasında belli ilişkiler bulunan, birbirlerine bağımlı her biri ayrı niteliklere sahip birtakım parçalar içeren kavramsal ve fiziksel bir varlık, bir nesneler takımı, bir bütün olarak ele alınabilir. Sistem, kendisini oluşturan alt sistemlere ayrılarak incelenebilir (Von Bertalanffy, 1969). Örneğin, bir binayı sistem olarak ele alacak olursak, duvarlar, döşemeler, taşıyıcı sistem gibi alt sistemlere ayırabiliriz. Ya da taşıyıcı sistemi kendi içinde kolonlar, kirişler, temel gibi alt sistemlere ayırarak söz edebiliriz. Dolayısıyla, yapı ürününün analizi, sistemler yaklaşımının yapı üretimindeki kullanım alanlarından biridir. Yapı üretimindeki bir diğer kullanım alanı ise sürecin analizidir. Bir başka deyişle, yapı üretim süreci bileşenlerinin, yapısının ve katılımcılarının oluşturduğu model olarak tanımlanan “Yapı Üretim Sisteminin” incelenmesidir (Gould ve Joyse, 2000).

Yapı üretim sisteminin özellikleri, belirli bir amaca hizmet edecek bir yapma çevrenin oluşturulması için gerekli kaynakları, bu kaynakların istenen yapıyı elde etmek üzere kullanılış biçimini, yapılan işlemleri ve sonuçta elde edilen ürünü içermektedir. Yapı üretim sistemi, girdi (üretimde kullanılan kaynaklar), süreç (kaynakların istenilen mal veya hizmete dönüştürülmesi işlemi) ve çıktı (ürün, elde edilen mal veya hizmet) olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Yapı üretim sisteminin bileşenlerini oluşturan girdi-süreç-çıktı ilişkisi sistemin strüktürünü (yapısını) oluşturmaktadır ve söz konusu ilişkiler bilgi, karar, fiziksel kaynaklar, para ve enerji akışları biçiminde gerçekleşmektedir. Tüm bunların yanı sıra, yapı üretim süreci, yapı üretme düşüncesinin ortaya atılmasından, yapının tamamlanmasına kadar geçen süre içerisinde yürütülmekte olan eylemler, yapılmakta olan işlemler ve tüm bu eylem ve işlemlerin birbirleri ile ilişkilerini kapsamaktadır (Gould ve Joyse, 2000).

Yapı üretimi, ilk girişimin yapılmasıyla başladığına göre, yapı üretiminin aşamaları, bir başka deyişle sürecin alt sistemleri Girişim ve Fizibilite; Tasarım ve Planlama; İhale ve Yapım olarak aşamalara ayrılabilir. Tasarım genellikle müşterinin veya mal sahibinin süreç boyunca projenin ilerlemesini dönüm noktalarında izlemesine olanak verecek şekilde, kesin sınırları belli, birbirini izleyen aşamalarla ele alınmaktadır. Bu aşamalar herhangi bir mimarlık bürosunda programlama, şematik tasarım, tasarım geliştirme ve yapım işi ile ilgili belgelerin hazırlanması olarak sıralanabilir. Yapı üretim sistemlerini analiz edebilmek için bazı parametreleri de göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Söz konusu parametreler arasında; Yapı üretim süreci ve sürecin özellikleri, yapı üretim sürecine katkıda

bulunanlar veya sürecin katılımcıları (yapı üretiminin gerçekleştirme sürecinde farklı örgütlenme modelleri), Yapı üretim sürecine katılanların kendi aralarındaki ilişkiler ve katılımcıların sürecin farklı aşamalarındaki rolleri yer almaktadır.

Antalya’da, özel sektörde son beş ve yirmi yıldır hizmet veren iki mimarlık ofisinde yürütülen çalışmalar kapsamında; hangi proje tasarım süreçlerinin yer aldığı ve niçin tercih edildiği, bunların müşteri üzerinde nasıl etkiler bıraktığı, hangi tasarım aşamaların da verdikleri hizmet türlerinin ve çalıştıkları proje alanlarının, mimarın çalıştığı müşteri tiplerinin, müşterisi ile tanışma ve ilişkilerini yürütme şekillerinin, müşterinin hangi aşamalarda ne tür taleplerde bulunduğu, mimarı ve müşterisini tanımaya yönelik olarak yapı üretim sistemleri bağlamında değerlendirilmektedir. Bu amaçla, mimarlık pratiğinin, mimar ve müşteri ilişkilerinin incelenmesinin yanı sıra saha çalışması ile yapıyı yapılandırılmış sorular aracılığıyla mimarlık bürosunda tasarlanan projeler üzerinden derinlemesine mülakat yöntemiyle incelenmektedir. Çalışma, mimarlık bürolarının yönetsel faaliyetlerini de analiz etmektedir.

2. YAPI ÜRETİM SİSTEMİ BAĞLAMINDA MİMAR KİMLİĞİ VE MİMARLIK PRATİĞİ

Mimari tasarım, müşteri gereksinimlerini karşılamak üzere saptanan işlevleri yerine getirecek olan yapı bütününe, onun kurgusunda yer alan tüm öğelerin ve çevresinin kavramsal, işlevsel, biçimsel, strüktürel ve eylemsel özelliklerinin ve niteliklerinin yorumlanması, belirlenmesi ve belgelenmesidir (İzgi,1999). Mimari tasarım problemleri kompleks problemlerdir. Tipik bir tasarım problemi için olası çözüm, bir talepler grubunu ve bu talepler arasındaki mevcut etkileşimleri sağlamak zorundadır. Bununla birlikte, bir tasarım probleminin çözümü ile ilgili enformasyon miktarı çok fazladır ve genellikle birçok disiplinle ilgilidir (Lawson,1990).

Güncel mimari tasarım faaliyetlerinde, projelerin büyüklüğü ve karışıklığı arttıkça, geleneksel, bütünleşmiş yaklaşım yerini, mimari konular, aşamalar, roller, fonksiyonlar hakkında uzmanlaşma ve katmanlaşmalar üzerine kurulu bir yaklaşıma bırakmaktadır. Bu da projenin yönetim sürecinde bir takım karmaşıklıklara sebep olabilmektedir. Mimarlar bina tasarımında birçok konuda karar verirken ekip çalışmasına ve konusunda uzman kişilerin bilgi ve önerilerine ihtiyaç duymaktadırlar. Örneğin, saha geliştirme çalışmaları, iklimlendirme, bina yerleşimi, taşıyıcı sistem tasarımı gibi mimari tasarım sürecinin alt bileşenleri olarak tanımlanmaktadır. Sürece bütüncül bir bakışla yaklaşarak, bu katmanlar arası ilişkiler ve her bir konu alanının sorumluluklarını yerine getirmesi beklenmektedir. Proje üretimi sırasında, her bir disiplinden gelen bilgiler

ve istekler, karşı etkileşimli olarak tasarım ekibindeki diğer disiplinlerin tasarım süreçlerini de etkilemektedir. Mimari tasarım sürecinde, disiplinler arasında koordinasyonun sağlanması için gerekli olan iletişim, günden güne, bilgi girdisinin artması ile daha çok önem kazanmaktadır. Böyle bir iletişimde hız, hassasiyet, eşgüdüm, süre ve maliyetler önemli parametrelerdir.

Mimarlık pratiği, bireysel ve profesyonel hedeflerin bütçe, son teslim tarihi, yetenek, organizasyon, güç, bağlam, kurallar ve yönetmelikler ile birleştiği bir ortamda, mimarlık ofisinin çeşitli mimarlık projelerini tamamlamak üzere örgütlenmesi olarak tanımlanmaktadır (Cuff, 1991). Vitruvius' un (1990) "Mimarlık Üzerine On Kitap" adlı eserinde de mimarlık teorisi, açıklama ve ifade edebilme yeteneği; mimari uygulama ise düşünülenin somut hale getirilmesi için yapılan belirli ve sistemli bir üretim süreci olarak tanımlanmaktadır.

Mimarlık pratiği; genellikle gerçekçi bir bütçe oluşturmayı, hazırlanan iş programına bağlı kalmayı, ofis içinde işlerin tamamlanma sürecine katılan tarafları ve ofiste aynı anda yürüyen farklı işleri eşzamanlı olarak yönetebilmeyi, gelecekte müşteri olabilecek kişilerle iyi ilişkiler kurmayı, taraflarla yapılan anlaşmaları, teknik şartnameleri yazılı hale getirmeyi, başlangıçta önerilen bütçeye bağlı kalmayı ve etkin bir mimarlık ofisi yönetim modeli geliştirmeyi gerektirir. Mimari pratikte ortaya çıkacak yapı ürünü kadar, bu süreçte verilen hizmetler de önemlidir. Müşterinin her iki aşamada da memnuniyeti gereklidir. İdealist bir düşünce sistemine hakim meslek anlayışı her zaman müşterisinin haklarını korumayı ve müşterisini doğru olan için ikna etmeyi gerektirir. Herhangi bir mimari ofiste, müşterinin nasıl ikna edildiği, uzlaşmaya nasıl varıldığı, anlaşmanın nasıl onaylandığı, belirlenen bütçe kapsamında nasıl kalındığı gibi konuları açıklamak zordur. Çünkü bu konuda izlenen yolların ve metotların yazılı kuralları yoktur. Mimar, müşterisi ile ilişkilerinde, iş sürecinin başarılı bir biçimde devamlılığını sağlayabilmek amacıyla, izleyeceği yola bireysel olarak karar verir. Bu nedenle, mimarlık pratiği ve mimari tasarım, farklı yaklaşımlar ve metotlar içermektedir. Dolayısıyla, mimarlık pratiğinin yönetimi ve yapı üretim sistemleri bağlamında değerlendirilmesi önemlidir.

Türkiye' de çalışan mimarlar, serbest, özel sektörde veya kamuda çalışan mimarlar olarak hizmet vermektedirler. Her ne kadar mimarlar tasarım çalışmalarının bağımsızlığı konusunda çok hassas olsalar da, tam bir bağımsızlığın olanaksız olduğu bilinmektedir. İnsanların ihtiyaçlarını karşılayacak binalar, yapılar, kentsel alanlar gibi fiziksel yapma çevrenin elde edilebilmesi için tasarım yapmak ve tasarımlarının gerçekleşmesi sırasında izleme ve denetleme Mimarın temel görevleri arasında yer almaktadır. Mimari tasarım, diğer mesleklerle etkileşim içerisinde

bulunan; müşterileri ve farklı birçok katılımcıyı içeren kolektif bir süreçtir. Mimarlığın kolektif yapısı, birçok tasarımcının bir arada çalışmasından çok, mimar müşteri ve diğer katılımcıların bir arada çalışmasından kaynaklanmaktadır. Mimar ve müşteri bu sürecin merkezinde olan taraflardır. Diğer katılımcılar ve görevleri değişkendir. Bu nedenle, her mimarlık ofisinin farklı bir davranışsal programı ve dinamikleri vardır.

3. MİMARİ OFİSLERDE TASARIM SÜRECİ VE MÜŞTERİ

Bir mimari projenin ortaya çıkması için öncelikle bir müşteri olması ve bu müşterinin projeden beklentileri olması gerekmektedir. Günümüzde insanlar proje bazındaki tüm işlemleri için öncelikle mimari ofisleri tercih etmektedirler. İnşaat işlerinde tasarım ve yapım, proje paydaşları arasındaki işbirliği ile gerçekleşmektedir (Gorse ve Emmitt, 2007). Bilgi ve birikimin sürekli gelişip değişmesi ve uzmanlık bilgilerindeki ciddi artış, tasarım sürecinin kalitesiyle beraber karmaşıklığını ve süresini de arttırmaktadır (Gray ve Hughes, 2007). Proje yönetimi çerçevesinde tasarım süreci, bir projede yer alan tüm tasarım profesyonellerinden alınan bilgilerin bir araya getirilmesini gerektirmektedir (Bogus, v.d., 2006). Walters'a (2003) göre tasarım süreci, işverenin istek ve gereksinimlerinin geliştirilip belgelenmesi, üretime hazırlanması sürecidir. (Walters, 2003). Bir projenin tasarım ekibi farklı meslek ve disiplin grupları ile firmalardan oluşabilmekte ve bu gruplar farklı coğrafi bölgelerde bulunabilmektedir. Ayrıca, kamusal birimler, denetim organları, yerel otoriteler gibi diğer proje tarafları da projeye müdahalede bulunabilirler. Tasarım süreci boyunca karşılaşılan en büyük zorluk ise birden çok disiplinin, birden çok konu üzerinde beraber çalışmasının gerekli olmasıdır (Zaneldin, v.d., 2001).

Yukarıdaki tanımlamalardan da anlaşılacağı gibi yapının maliyet, inşaat süresi ve konfor koşullarını doğrudan etkileyecek olan fiziki boyut, taşıyıcı sistem, iç donanım vb. hususların tamamına tasarım sürecinde karar verilmektedir. Verilen kararların isabet düzeyini artırmak ve farklı mühendisliklerce hazırlanacak projelerin birbiriyle uyumlu olmasını sağlamak için, projelendirme sürecinin iyi koordine edilmesi ve yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu sürecin beklenen şekilde yönetilememesi halinde uygulama aşamasında pek çok hata ve eksikliklerle karşılaşilmektedir. Bunların başında, projeler arası uyumsuzluk, projelerde eksiklik ve yanlışlıklar gelmektedir. Söz konusu eksiklik ve yetersizliklerin projenin süre, maliyet ve kalitesine pek çok olumsuz yansımaları olmaktadır. Bunlardan en sık karşılaşılanı, projelerdeki belirsizlik ve uyumsuzluklardan dolayı imalatların yeniden yapılmak zorunda kalınmasıdır (Gümüşburun Ayalp ve Öcal, 2016).

Love v.d. (2000) yeniden yapım işlerinin, projenin tasarım aşamasından kaynaklanan ve yapım sürecindeki zaman ve maliyet aşımalarını etkileyen ilk ana faktör olduğunu belirtmektedir. Diğer önemli bir husus da, mimarların tasarım sürecinde müşteri istek ve ihtiyaçlarını göz önünde bulunduran ihtiyaç programları hazırlamıyor olmalarıdır. Mo ve Ng, (1997) tasarım sürecinde müşteri görüşleri, müşteri ile iyi ilişkiler ve iletişimin projenin başarısında en önemli kritik faktör olduğunu belirtmektedir. İfade edilen olumsuzluklardan kaçınmanın en etkin yolu, tasarım sürecinde eş zamanlı mühendislik anlayışıyla hareket edilmesidir (Ayalp Gümüşburun ve Öcal, 2013). Konu hakkında yapılan çalışmalarda, inşaat sektöründeki problemlerin çözülebilmesi için proje paydaşları arasındaki ilişkinin iyileştirilmesine, tasarım ve yapım süreçleri arasında feedback ve karşılıklı düzeltmelere - anlaşmalara yönelik konulara artan bir ilgi gösterildiği gözlenmektedir (CIRC, 2001; Building Economic Development Committee, 1988).

Proje paydaşları arasındaki koordinasyonun sağlanmasından sorumlu olmaları nedeniyle, mimarların tasarım sürecindeki rolü çok büyük önem arz etmektedir. Proje başarısını garanti altına almak amacıyla mimarların, paydaşlar arasında yeterli iletişimi sağlama, yüksek düzeyde işbirliği kurulmasına ortam oluşturma, projenin ortak amaçlarının paylaşılması ve anlaşmazlıkları hızlıca çözebilecek yeteneklerini geliştirmelidirler (Ashley v.d.1987; Cheng, 1995; Mo ve Ng, 1997). Mimarlar “sistem bütünlleştirici” olarak teknolojik gelişmeler, tasarım, proje yönetimi ve yapım, içeriklerinin birleştirilmesi; müşteriyle olan ilişkilerin devam ettirilmesi gibi çok geniş bir yelpazede yer alan aktiviteleri gerçekleştirmektedirler (Brady v.d., 2005).

Yapı üretim sürecinin çok disiplinli ve çok fazlı yapısı içinde tasarım aşaması, yapı ürününe ilişkin belirleyici kararların verilmesi nedeniyle diğer aşamalara göre farklılık gösterir. Tasarım aşaması, girişimcinin beklentilerinin ve ayırdığı kaynakların teknolojik, çevresel ve hukuksal kısıtlar altında yapı ürününe dönüştürülmesi için gerekli tasarım dokümanlarının oluşturulduğu süreçtir. Tasarım sürecinde proje kapsamı, yapım sistemi, teknik alt sistemler, malzemeler vb. konularda verilen kararlar yapı üretim sürecinde kullanılacak teknoloji, gereksinim duyulan uzmanlar, projeye ayrılacak kaynaklar ve dolayısı ile proje maliyeti, süresi ve kalitesi üzerinde doğrudan etkili ve belirleyicidir.

Tasarım aşamasında alınacak önlemler ve yapılacak değişikliklerle proje maliyeti ve süresinin azaltılması ve buna ek olarak proje kalitesinin yükseltilmesine ilişkin önlemlerin etkili olma olasılığı yüksekken, projenin ilerleyen dönemlerinde üretime bağlı olarak harcamalar hızla arttığından, yapılan değişikliklerin etkileri sınırlı olmakta, yapılan harcamalar nedeniyle değişikliklerin maliyeti artmakta, proje hedeflerinde sapmaların

ortaya çıkma olasılığı yükselmektedir. Tasarım aşamasında projenin maliyet yönetimine ilişkin olarak başlıca iki farklı yaklaşımdan söz etmek mümkündür. Bu yaklaşımlardan birincisi müşteri tarafından önceden belirlenmiş maliyet sınırları içinde tasarım yapmak ve gerektiğinde bütçede revizyon yapmak, ikinci yaklaşım ise müşteri beklentilerine uygun olarak tasarımı geliştirip bunun maliyetinin karşılanabilirliğini kontrol ederek, gerektiğinde tasarımda revizyona gitmektir. Tüm bu faktörler, tasarım aşamasının proje hedefleri üzerindeki etkili ve belirleyici rolünü göstermektedir (David v.d., 2002).

Yapı üretiminde mimari tasarımla başlayan projelendirme süreci, mühendislik alanlarının tümünün katkısını gerektiren disiplinler arası bir çalışmayla yürütülmektedir. Bu süreçte mimarlar, tasarım sürecinden başlamak üzere inşaat projelerinin sonuçlanmasına kadar her aşamada aktif görev üstlenmektedirler. Mimarlardan beklenen hizmetler genel olarak, mal sahibi ile iletişim kurmak; mal sahibinin yatırımını yönlendirmek; mal sahibinin ihtiyaçlarını kavramsallaştırmak ve program hazırlamak; fikirlerini grafik olarak sunabilmek; müteahhitlerle görüşme yapmak; yeni iş temin etmek, pazar araştırması yapmak; yapı malzemelerine ve yapım tekniklerine ilişkin teknik bilgi toplamak; binayı biçimlendirmek; binanın nasıl ve ne ile yapılacağına karar vermek ve inşaatı yönetmek faaliyetleri olarak ifade edilmektedir (Sey,1995). İnşaat sektöründe müşteri tanımı da farklı boyutlarda karşımıza çıkmaktadır:

Müşteri; binanın kullanıcısı, yapımını finanse eden taraf, ana yüklenici ya da bitmiş ürünün alıcısı rollerinden bir ya da birkaçını üslenebilir. Hatta her kişi ya da kişiler için bir diğeri müşteri olabilir. Bu, inşaat sektörünün, teknolojiye olanakları ve yapı ürününden beklentilerin farklılığı ile çeşitlenmektedir. Mal sahibi ele alındığında, proje süreci boyunca farklı kişilerle karşılaşmaktadır. Mal sahibinin inşaat hakkındaki istekleri doğrultusunda farklı yollar izlenebilir (Tuğlu, 1996).

Mal sahibi; işi yaptıran kişi veya organizasyona mal sahibi veya yatırımcı denir. İnşaat sözleşmeleri kapsamında ilgili harcamalar yapmakla yükümlü olan, inşaatın gerçekleştirilme sürecini belirleyen ve proje ile ilgili tüm konularda karar verme yetkisine sahip olan kişi veya kuruluş olarak tanımlanabilir (URL 1, 2002).

Tasarımcılar (Mimar – Mühendisler); Tasarımcılar, projenin tasarımında görev alan veya inşaatı esnasında projenin gerektirdiği kendi uzmanlık konularında danışmanlık hizmeti veren tüm uzmanları kapsar. Genellikle bu ekip mimar, inşaat, makine ve elektrik mühendislerinden oluştuğu gibi, projenin niteliğine göre birçok uzman eleman bu sürece katılabilir (URL 1, 2002).

Yükleniciler; Yükleniciler mal sahibi ile yaptığı sözleşme koşulları çerçevesinde; proje inşaatının gerçekleştirilmesinden sorumlu olan kişi veya firmadır. Yapının veya binanın kağıt üzerinde tasarlanan projeye göre inşaatı için mal sahibi adına yapımı üstlenen kişi veya kuruluşlardır. Yükleniciler, yapının tümünün inşaatı için mal sahibi ile anlaşma yapabilecekleri gibi, belli bir kısmının inşaatı için de yapabilirler. Ana yüklenici binanın tamamını yapmak için mal sahibi ile anlaştığında, isin belli bir bölümünü alt yüklenicilere devredebilir. Bu durumda mal sahibine karşı sorumlu olan ana yüklenicidir (URL 1, 2002).

Proje Yönetimi; Proje yönetimi, proje organizasyonundaki diğer katılımcıların faaliyetlerini planlayan, yürüten, kontrol eden ve mal sahibi ile sözleşme ilişkisi içinde bulunan veya mal sahibinin kendi organizasyonuna dahil bir kişi veya organizasyondur. Proje yönetimi mal sahibinin hedeflerini etkin araçlar kullanarak ve ekonomik olarak gerçekleştirme görevini üstlenmektedir. Projenin planlanan zaman ve maliyet sınırları içerisinde istenen başarı standartlarına uygun bir biçimde tamamlanmasını amaçlayan faaliyetler içermektedir (URL 1, 2002).

Knox'a (2016) göre, mimarın gerçek müşteriden uzak durması tasarım açısından bazı sıkıntılara sebep olabilmektedir. Mimar, tasarlanacak yapının kullanıcıları ile direkt iletişim kurmak yerine aracılar vasıtasıyla aldığı bilgiler doğrultusunda tasarımına yön verdiği takdirde, kullanıcı ihtiyaçları ve amaçlanan kullanım hedefleri noktasında tasarım problemi tam anlamıyla çözülememektedir. Mimar, meslek pratiği çerçevesinde, sosyal statüsü ve kurumsal kimliği farklı, değişik amaçları, hedefleri, talepleri ve ihtiyaçları olan çeşitli müşterilerle karşı karşıya gelebilmektedir. Bu farklı müşteri tipleri temel olarak özel sektör ve kamu sektörü olmak üzere iki ana gruptan biri olarak mimarla ilişki kurmaktadır. Müşteri tiplerindeki farklılık, mimarın süreç içindeki rolünü, süreç içi diğer ilişkileri ve değerlendirme kriterlerini etkileyebilmektedir. Günümüz mimarlık piyasasında mimarların büyük çoğunluğunun müşteri seçme gibi bir şansları bulunmamaktadır. Müşterileri arasında tercih yapma şansı olan mimarlar genel olarak, toplum tarafından çok iyi tanınan ve geçmişte başarılı işlere imza atmış olan mimarlardır. Mimari tasarımın bütünlüğü, süreç başında tanımlanmış konseptte ve sınırlara bağlı kalmayı gerektirirken, sorunlarla karşılaşıldığı durumlarda, profesyonel bir yaklaşımla, taviz vermeden esneklik gösterebilmek başarılı bir iş ilişkisi için gereklidir (Demkin, 2001).

4. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Araştırma kapsamında Antalya'da, özel sektörde beş yıldır ve yirmi yıldır hizmet veren iki mimarlık ofisi ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Mimarlık ofislerinde yürütülen çalışmalar kapsamında; hangi

proje tasarım süreçlerinin yer aldığı ve niçin tercih edildiği, bunların müşteri üzerinde nasıl etkiler bıraktığı, hangi tasarım aşamalarında verdikleri hizmet türlerinin ve çalıştıkları proje alanlarının, mimarın çalıştığı müşteri tiplerinin, müşterisi ile tanışma ve ilişkilerini yürütme şekillerinin, müşterinin hangi aşamalarda ne tür taleplerde bulunduğu ile ilişkin yarı yapılandırılmış sorular sorulmuştur. Mimari tasarım sürecinin yönetsel düzeyde de yoğun bir şekilde yaşandığı mimarlık bürolarının yöneticileri ile yapılan görüşmede mimarı ve müşterisini tanımaya yönelik olarak yapı üretim sistemleri bağlamında sürecin analiz edilebilmesi ve değerlendirilebilmesi için “bulguların değerlendirilmesi” kısmında yer alan sorular kullanılmıştır. Bu ofisler mimari tasarım yapan aynı zamanda belediyeye mimari proje ve ruhsat projeleri yapan, zaman zaman da tasarım yaptıkları projelerin uygulamasını yapan türde ofislerdir.

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Proje düzeyinde bakıldığında, her inşaat projesinde dört adet çelişki yaratan eleman bulunmaktadır. Bunlar: işlev, estetik, maliyet ve zaman ölçütüdür. Her proje için bu ölçütün önem sırası farklı olacaktır. Bu ölçütün belirlenmesinde ve sorumlulukların paylaşımında, müşteri beklentileri ve istekleri büyük rol oynamaktadır (Hellard, 1993). Bu ölçütü söyle açıklayabiliriz; İşlev - Tüm teknik ve fiziksel gereksinimler, Estetik – insanların subjektif görüşlerini tatmin etme gereksinimi, Maliyet – Binanın tüm hayatı boyunca gerektirdiği maliyet, Zaman – Binanın tamamlanması açısından gereken zaman sürecini anlatmaktadır. Her bina inşaatında bir araya gelen değişkenler farklılıklar göstereceğinden, her firma, her şahıs ve hatta her inşaat için bu kriterlerin önem sırası farklı olacaktır. Önem sırasının belirlenmesinde en büyük rol yine müşterinindir. Müşterinin beklentileri ve istekleri, hangi değişkenin daha öncelikli olduğuna yön verir. Hangi değişken o proje için öncelik kazanıyorsa, projenin ve proje sürecinin belirlenmesinde etkin olur (URL 1, 2002).

Müşterinin inşaat konusundaki bilgi ve tecrübesinin farklı seviyelerde olması, inşaat süresi boyunca izlediği yolun değişmesine sebep olur. Farklı yollardan gidildikçe, karşılaşılan kişiler de farklı olmaktadır. inşaat konusunda deneyimli ve bilgili bir müşteri, proje yöneticiliğini kendisi yapmak isteyebilir ve tüm inşaat sürecini kendisi organize edebilir. Buna karsın, inşaat isiyile hiçbir ilgisi olmayan bir müşteri, tüm inşaat organizasyonunu bir firmaya devredip inşaat süresince faal durumda bulunmayabilir. Bir tek bina inşaatı için dahi birçok kişi ve firma iletişim içinde olduğundan, her biri için ürün ve müşteri tanımları farklıdır (URL 1, 2002). Mimari tasarım disiplinler arası ekip işidir ve birden fazla mühendislik disiplininin bir arada çalışmasını gerektirmektedir. Ortak yapılan her çalışmada olduğu gibi burada da

iletişim ve kontrol organizasyonu önem kazanmaktadır. Disiplinler arası iletişimdeki kopukluklar hatalara, revizyonlara ve geriye dönüşlere neden olabilmektedir. Bu da zaman, maliyet ve işgücü kaybı demektir (İnan ve Yıldırım, 2009).

İnşaat işleri, disiplinler arası işbirliği ile gerçekleştirilen bir üretim şeklidir ve dolayısıyla mühendisliğin tüm alanlarında farklı nitelikte ve çok sayıda proje hazırlanmasını gerektirmektedir. Projelerin eksiksiz ve birbiriyle uyumlu olması için, tasarımdan uygulama projelerinin tamamlanmasına kadarki her aşamada proje paydaşlarının sürece dahil edilmesi büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla ortaya çıkacak ürünün beklenen niteliklerde olabilmesi için, üretime katkı koyan tüm gruplar arasında, kalite ve kaliteye ulaşmak için izlenecek yol konusunda ortak paydanın varlığı oldukça önemlidir (Gümüşburun Ayalp ve Öcal, 2016).

Her iki mimarlık bürosuna da aynı sorular sorulmuştur ve alınan cevaplar aşağıda sıralanmıştır. Sektörde 5 yıldır faaliyet gösteren büro sahibine (Yönetici - mimar) yöneltilen sorular:

1. **Kaç yıllık firmasıınız?** Firmamız sektörde beş yıldır faaliyet göstermektedir.
2. **Şirketiniz de kaç personel var?** Firmamız da bir adet sekreter bulunmaktadır. Mimari çizimler ve diğer tüm teknik çizimleri ben yapmaktayım.
3. **Şirketteki personel sayısı nedir?** Şirkette 1 adet personel bulunmaktadır.
4. **Şirketteki mimar sayısı nedir?** Şirkette benim dışımda mimar bulunmamaktadır.
5. **Ağırlıklı olarak ne tür mimari hizmetler veriyorsunuz?** Genel olarak tasarım hizmetleri ve belediye ruhsat projelerini hazırlamaktayız. Uygulamaya yönelik işlerimiz bulunmamaktadır.
6. **Mimarlık büronuzun tercih edilme sebebi ne olabilir?** Müşterilerin büromuzu tercih etme sebeplerini şöyle sıralanabilir: Büromuzun yerini göz önünde bir lokasyonda olduğu için müşteri direkt gelebiliyor. Geliş sebepleri yüklenici olmadıkları için işlere sıfırdan başlamak oluyor. Çevre ile olan ilişkilerden de müşteriler gelebiliyor. Mesela, eş dost akraba fonksiyonu. Yaptığımız tüm işler bizlere referans. İşini yaptığımız ve bizden memnun kalan eski müşterilerimiz bizleri çevrelerine tanıtarak yeni müşteriler edinebiliyoruz.
7. **Mimarlık büronuza gelen müşterileri tanımak için nasıl bir yol izliyorsunuz?** Büromuza gelen her müşteri bizler için ayrı

ve özeldir. Her bir müşterimiz ile ayrı ayrı görüşüyor, taleplerini dinliyoruz. Onlara değer vermemizden dolayı çok mutlu oluyorlar ve samimi bir havaya girmiş oluyoruz. Çünkü ofisimizde tasarıma başlamadan önce müşteriyi çok iyi tanımak, ihtiyaçlarını benimsemek bizler için çok önemli. Bizler için her zaman müşteri memnuniyeti ön planda oluyor. Sürekli müşterilerimiz ile diyalog halinde oluyoruz. Ve bu diyalog ilk tanışmadan iş teslimine kadar devam ediyor. Bazen yüz yüze toplantı yaparak, bazen elektronik ortamlardan iletişim kurarak yapıyoruz. Müşterimiz için en doğru tasarımları yapmak, en doğru kararları almak için onları yönlendirmeye çalışıyoruz.

8. **Ağırlıklı olarak çalıştığınız müşteri tipleri kimlerdir?** Ağırlıklı olarak müşterilerimizin geneli şahıslardır. Bunun yanı sıra; sayıca az da olsa yüklenici olarak adlandırdığımız şirketler de var.
9. **Müşteri ile ilişkilerinizi ağırlıklı olarak ne şekilde yürütürsünüz?** Müşteri ile ilişkilerimizi çoğunlukla yüz yüze görüşerek yürütmekteyiz. Çünkü müşterilerimiz kullanıcı oldukları için tasarım değişikliklerini de beraber yapmaktayım.
10. **Projelerinizde hangi tasarım kriterlerini dikkate alıyorsunuz?** Proje tasarımlarımız da arsa konumu, fiziksel şartlar göz önünde alınarak tasarıma başlamaktayız. Depreme dayanıklılık, kullanım fonksiyonu, müşteri istekleri. Müşterileri memnun etmek.
11. **Müşteriye hazırlanan bir sunumda müşterinin öncelikli olarak dikkat ettiği kriterler nelerdir? (Hedef müşteri kitlesi olarak mimarlık ile ilişkisi olmayan kişileri de düşününüz.)** Müşteriler genelde maliyet, işlevselliğe dikkat etmektedir.
12. **Projenizi nasıl sunum yapmaktasınız?** Projelerimizi müşterilere iki boyutlu çizimler halinde ve üç boyutlu görseller olarak sunuyoruz.
13. **Hazırlamış olduğunuz bir sunumda aşağıdaki seçeneklerin müşteri üzerindeki etkisi bakımından sıralayınız. (Konseptin yazılı olarak anlatımı, Şematik anlatım, Örnek proje fotoğrafları, benzer projeler, Tefriş elemanları ve renk, üç boyutlu görseller)**



Daha önce uygulanmış benzer projeler müşterilerimizin daha çok dikkatlerini çekiyor. Çünkü yapılmış bitmiş projeler insanlara daha çok güven vermektedir. Belki de bitmişini görerek kendi projeleri hakkında rahat yorum yapabilirler. Bir sıralama yaparsak örnek proje birinci sırada olurken, yazılı anlatımı son sıraya koyabilirim. Çünkü mimarlık ile ilişkisi olmayan kişilerin

yazılı anlatımı kavrayabilmeleri zor olmaktadır

14. Müşteri projenin hangi aşamalarında ne tür taleplerde bulunuyor?

	Teklif aşaması	Avan proje	Proje geliştirme süreci	Uygulama Projesi
Bütçe	Bütçeyi minimum da tutmak			Bütçeyi minimum da tutmak
Süre				Uygulamayı hızlı bir şekilde bitirmek
Kalite				Düşük maliyet ile yüksek kalite elde etmek
Gereksinimlere uygunluk			İhtiyaca cevap veren tasarım istemek	İhtiyaçlarına göre uygulama görmek
Estetik		Estetik bir tasarım istemek		Uygulamanın göze hitap etmesini istemek

15. Mimari büronuzda tasarım yaparken diğer meslek disiplinleri (elektrik-makine-statik) ile nasıl bir ilişki kuruyorsunuz?

Müşterimizin istekleri doğrultusunda tasarım yapıyoruz. Proje ile ilgili tüm çalışmaları yapıyoruz. Daha sonra diğer disiplin projelerini çizdiriyorum. Ve onlarla sürekli iletişim halinde olmak gerekiyor. Bu iletişim bazen yüz yüze bazen de zaman

kayıbı olmaması için internet üzerinden yapılmaktadır. Tasarım aşamasında diğer disiplinlerle iletişimi sıkı tutmak bizler için çok önemli. Sebebi ise yapım aşamasında proje uyumsuzluklarının olmaması, hataları minimuma indirmek içindir. Diğer meslek disiplinleri ile görüşmelerimiz tasarım aşamasında başlıyor. Projenin diğer aşamalarında ise ara ara görüşmelerimiz devam etmektedir.

16. Projeler arası uyumsuzluklar yaşıyor mu ve bu uyumsuzluklar nasıl gideriliyor? Projeler arası uyumsuzluklar yaşıyor. Özellikle diğer disiplinlerin mimari projeye uyum sağlayamaması ya da mimari projenin diğer disiplinlere uymak zorunda olması

17. Mimari büro da hangi çizim ve sunumlar için hangi programları kullanılmaktadır? Büromuzda genellikle iki boyutlu çizimler için AUTOCAD programı kullanılmaktadır. Daha sonra müşterilerimize üç boyutlu görsel çalışmalar yapılmaktadır. Bu üç boyutlu görseller için büro dışından kişiler ile çalışılmaktadır.

18. Proje tasarım sürecinin hangi aşamalarında hangi mimari tasarım araçlarını kullanıyorsunuz?

	Teklif aşaması	Avan proje	Proje geliştirme süreci	Uygulama Projesi
Eskiz	●			
Fotoğraf			●	●
3D çizim			●	
3D modelleme			●	
Animasyon			●	
Maket				
Plan-Kesit-Görünüş				●

19. Uygulamasını aldığınız işler de karşılaşılan problemler nelerdir? Uygulama aşamasında birçok problem olabiliyor. Mesela tasarımda küçükte olsa değişiklik yapılması. Yapılan bu değişiklik

20. iğin diğer disiplinler tarafından da onaylanması gerekmektedir. Müşteri tarafından yaşanan maddi sıkıntılarda zaman ve iş akışı olarak ciddi bir problem olabiliyor.

21. Tasarım süresince bilgisayar kullanmanızın yaratıcılığınıza ve yeni fikirler üretmeye ne kadar etkisi olduğunu

düşünüyorsunuz? Bilgisayar programları zaman olarak kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca yapılan değişiklikler çok rahat düzeltilebilmektedir.

Sektörde 20 yıldır faaliyet gösteren büro sahibine (Yönetici - mimar) yöneltilen sorular:

1. **Kaç yıllık firmasınız?** 20 yıldır sektörde faaliyet gösteren bir mimarlık firmayız.
2. **Şirketiniz de kaç personel var?** Firmamız da bir adet sekreter bulunmaktadır. Mimari çizimler için 2 adet personel bulunmakta.
3. **Şirketteki personel sayısı nedir?** Şirkette 3 adet personel bulunmaktadır.
4. **Şirketteki mimar sayısı nedir?** Şirkette benim dışında 2 adet mimar bulunmaktadır.
5. **Ağırlıklı olarak ne tür mimari hizmetler veriyorsunuz** Genellikle belediye ruhsat projeleri, uygulama ve kontrolörlük işlemleri yapmaktayız. Tasarımını yaptığımız çoğu projenin uygulamasını da almaktayız. Bu uygulama işi bazen işin bir kısmı bazen de tamamı anahtar teslim olarak da yapılabilmekte.
6. **Mimarlık büronuzun tercih edilme sebebi ne olabilir?** Müşterilerin büromuzu tercih etme sebeplerini şöyle sıralayabilirim: Büromuzu tanımayan ve tesadüfen gelen müşterilerimiz mevcut. Yüklenici olan müşterilerimiz var. Daha önce bizle çalıştıkları için karşılıklı memnuniyet devam ettiği sürece çalışmaya devam ediyoruz. Çevre ile olan ilişkilerden dolayı. Çevre de tanınmış olmak. Tasarım olarak değil bazen de sadece uygulama için gelen müşterilerimiz oluyor.
7. **Mimarlık büronuza gelen müşterileri tanımak için nasıl bir yol izliyorsunuz ?** Büromuza gelen her müşteri şahıs ise eğer, öncelik tabiki de onların taleplerini dinlemek onları anlamak. İhtiyaçlarını doğru saptayıp, en uygun tasarımı ortaya koymak. Doğru tasarıma ulaşmak için bazen birden fazla taslak çalışıyoruz. Bu sırada müşterimiz ile sürekli ilişki halindeyiz. Eğer müşterimiz ticari bir kuruluş ve daha önce çalıştığımız kişiler ise durum çok daha kolay oluyor. Tanıdığımız için onlara en uygun tasarımı yapmak kolay oluyor. Ticari kuruluşlara yaptığımız taslak süresi, şahıs müşterilerimize göre daha kısa bir sürede oluyor. Müşteri isteklerinde tecrübemize dayanarak yanlış olduğunu düşündüğü-

müz fikirler var ise, müşterimizi doğru fikirlere yönlendirmeye çalışıyoruz. İster şahıs olsun ister ticari kuruluş olsun her zaman müşterilerimizin bizden mutlu ayrılmasını hedefliyoruz.

8. **Ağırlıklı olarak çalıştığınız müşteri tipleri kimlerdir?** Çok sayıda şahıs ve ticari kuruluş olan müteahhit firmalar.
9. **Müşteri ile ilişkilerinizi ağırlıklı olarak ne şekilde yürütürsünüz?** Önceliğimiz yüz yüze görüşmek. Ama bu sadece şahıs olan müşterilerimiz için geçerli oluyor. Anahtar teslimi işler ve kat karşılığı müteahhit işlerimizde direkt olarak müşteriyi görmüyoruz. Tüm ilişkilerimiz müteahhit firma ile gerçekleşmekte. proje yüklenici firmaları ile olan ilişkilerde kullanıcıları görmediğimiz için, aradaki kişiler veya kurumlar bizim için kullanıcı konumunda oluyor.
10. **Projelerinizde hangi tasarım kriterlerini dikkate alıyorsunuz?** Tasarıma başlamadan arsayı yerinde kontrol ederek en uygun tasarım yapmak ilk amacımız. Bunun yanın da binanın statik açıdan depreme dayanıklılığı da çok önemli. Arsanın bulunduğu konum itibarı ile mevcut fiziksel şartlar yani rüzgar, ilkim gibi fonksiyonları analiz yapmaktayız. Fiziksel şartlar bittikten sonra müşterimize veya aracı olan müteahhit firmalarının isteklerine dönüyoruz. Müşterinin isteklerini doğru algılamak ve iletişim kurabilmek çok önemli. Çünkü ne kadar tasarımda kendinize güvenirseniz güvenin müşteri size isteklerini anlatamadıktan sonra bir anlam ifade etmiyor. Tasarımlarımız da işlevsellik, estetik, maliyet olarak ele almaktayız. Müşteri profilimize en uygun tasarımı yapmak için uğraşmaktayız. Sonuçta hedeflenen mutlu müşteri.
11. **Müşteriye hazırlanan bir sunumda müşterinin öncelikli olarak dikkat ettiği kriterler nelerdir? (Hedef müşteri kitlesi olarak mimarlık ile ilişkisi olmayan kişileri de düşününüz.)** Şahıs olan (direkt kullanıcı olup, mimarlıkla ilişkisi olmayan) müşterilerimizin önceliği her zaman maliyet oluyor. Daha sonra tasarıma ve işlevselliğe bakıyorlar. Diğer ticari müşterilerimiz de öncelik dikkat çekicilik, pazarlaması kolay olan, tüm herkese hitap eden tasarımların olması. Kaliteden vazgeçmeyen tasarımlar. İsteklerinin yanın da maliyetin artması onlar için çok sorun olmamakta.
12. **Projenizi nasıl sunum yapmaktasınız?** Projelerimizi iki boyutlu çizimleri olmazsa olmazları. Bunun yanın da üç boyutlu görseller, animasyon çalışmaları, maliyet grafikleri ve malzeme analizleri şeklinde çalışmalar yaparak sunum yapmaktayız. Reklam ve afiş çalışmaları da ileri ki aşamalarda müşterilerimize sunmaktayız.

13. Hazırlamış olduğunuz bir sunumda aşağıdaki seçeneklerin müşterileri üzerindeki etkisi bakımından sıralayınız.



Müşterilerimizin ilk öncelikleri her zaman örnek projeler oluyor. Gerçek bir proje görmek her zaman doğru karar vermede yardımcıdır. Sıralama yaparsak örnek proje birinci sırada olurken, yazılı anlatımı son sırada. Çünkü proje ile uzak olan insanların yazılı anlatımı kavrayabilmeleri zor olmaktadır.

14. Müşteri projenin hangi aşamalarında ne tür taleplerde bulunuyor?

	Teklif aşaması	Avan proje	Proje geliştirme süreci	Uygulama Projesi
Bütçe	Bütçeyi minimum da tutmak			Bütçeyi minimum da tutmak
Süre				Uygulamayı hızlı bir şekilde bitirmek
Kalite				Düşük maliyet ile yüksek kalite elde etmek
Gereksinimlere uygunluk			İhtiyaca cevap veren tasarım istemek	İhtiyaçlarına göre uygulama görmek
Estetik		Estetik bir tasarım istemek		Uygulamanın göze hitap etmesini istemek

15. Mimari büronuzda tasarım yaparken diğer meslek disiplinleri (elektrik-makine-statik) ile nasıl bir ilişki kuruyorsunuz?

Müşterimizin istekleri doğrultusunda tasarım yapım aşaması şöyle olmaktadır. Büro sahibi olarak müşterimiz ile görüşüp isteklerini not alıyoruz. Büro da çalışan diğer mimar arkadaşlarımız proje alanında çalışmalar yapıyor. Proje alanı ile ilgili resmi

veriler, fiziksel ve çevresel etmenler araştırılıyor. Mimarlarımız taslak projeleri yaparken diğer meslek disiplinleri ile sürekli iletişim kuruyorlar. yüz yüze çok iletişim kuramıyoruz o yüzden internet üzerinden iletişim kurulmakta. Tasarım aşamasında diğer disiplinlerle iletişimi sıkı tutmak bizler için çok önemli. Sebebi ise yapım aşamasında proje uyumsuzluklarının olmaması, hataları minimuma indirmek içindir. Diğer meslek disiplinleri ile görüşmelerimiz tasarım aşamasında başlıyor. Projenin diğer aşamalarında ise ara ara görüşmelerimiz devam etmektedir.

16. Projeler arası uyumsuzluklar yaşanıyor mu ve bu uyumsuzluklar nasıl gideriliyor? Projeler arası uyumsuzluklar tabi ki yaşanıyor. Tasarımsal olarak diğer proje disiplinlerinin mimariye uymaması. Bu durum da diğer projenin mimari projeye uyumunu sağlıyoruz. Bazen de zorunlu hallerde mimari proje diğer projelere uymak zorunda kalıyor.

17. Mimari büro da hangi çizim ve sunumlar için hangi programları kullanılmaktadır? Büromuzda iki boyutlu çizimler için AUTOCAD programı kullanılmaktadır. Üç boyut ve animasyon çalışmaları da büromuzdaki personeller tarafından yapılmaktadır. İnşaat alanlarımızın çevreleyen reklam panoları yapılmaktadır. Mimari büromuzun internet sitesi ve müşterilerimizin internet siteleri için detaylı görsel çalışmalar yapılmakta. Görseller, reklamlar, animasyonlar için çeşitli programlar kullanılmaktadır.

18. Proje tasarım sürecinin hangi aşamalarında hangi mimari tasarım araçlarını kullanıyorsunuz?

	Teklif aşaması	Avan proje	Proje geliştirme süreci	Uygulama Projesi
Eskiz	●			
Fotoğraf			●	●
3D çizim			●	
3D modelleme			●	
Animasyon			●	
Maket				
Plan-Kesit-Görünüş				●

19. Uygulamasını aldığınız işler de karşılaşılan problemler nelerdir? Maalesef bazı sıkıntılar yaşanabiliyor. Birinci olarak tasarımda değişiklik yapılmak istenmesi çünkü bu sadece mimari

tasarımı etkilemekle kalmıyor, diğer disiplinler de ciddi sıkıntılar yaratabiliyor. İkinci olarak maliyet. Çünkü her iş için planlanan bir zaman akışı ve teslim süresi var. Üçüncü ve son olarak da tasarım da kullanılan malzemenin temininin zor olması ya da tasarımın uygulamasını yapacak ustanın bulunamaması, ustaların bu konu da ehil olmaması olarak sayabilirim.

- 20. Tasarım süresince bilgisayar kullanmanızın yaratıcılığınıza ve yeni fikirler üretmeye ne kadar etkisi olduğunu düşünüyorsunuz?** Bilgisayar programları ciddi anlamda bizler için çok önemli. Hem zaman açısından hem de tasarım da ucu açık bir meslek yapıyoruz. Her tasarımın iki boyutlu çiziminin yanın da görsel çalışmaları bilgisayar üzerinden sağladığımız için. Hayal ettiğimiz bir binanın inşaatına başlamadan bitmiş halini görmek çok güzel.

SONUÇ

Bu makalenin sonucun da yapılan araştırmalar ve Antalya da son beş yıldır ve yirmi yıldır faaliyetlerini sürdüren iki mimarlık ofisi soru cevap yoluyla incelenmiştir. Varılan sonuçlara bakıldığında müşteri isteklerini, müşteri ve mimar ilişkisini ve mimari projelerin diğer proje disiplinleri arasındaki ilişki, bir mimari ofisin çalışma sisteminin nasıl olduğuna dair fikir sahibi olmaktadır.

Gerek beş yıllık gerekse yirmi yıllık mimari ofislerde ilk amaç müşteri memnuniyeti olduğu görülmüştür. Müşteriler farklı yollardan da gelse de hedeflenen müşteri ihtiyaçlarını karşılamak. Her iki ofise sorulan sorulardan da anlaşıldığı üzere müşteri ve mimar sürekli iletişim halinde olmaktadır. Tasarımdan sonra ileri ki aşamalar da diğer disiplinler devreye girdiği görülmüştür. İki mimari ofiste diğer proje disiplinleri ile iletişimi sıkı tuttuğu, Uygulama da aksilikler ve proje uyumsuzlukları olmaması için iletişimin zorunlu olduğu anlaşılmıştır. Tasarımdan yapının üretilmesine kadar ki sürede mimarın her aşama da rol aldığı, maliyet, kalite, işlevsellik, süre gibi durumlarda müşteriyi memnun etmeye çalışmaktadır.

Araştırma yapılan ofislerde görülmüştür ki meslekteki tecrübe yılı artıkça çok daha iş alanı genişlemekte. Sadece şahıs değil, ticari kuruluşların da devreye girdiği, uygulamaların, kontrollüklerin yapıldığı, bu yüzden ofiste çalışan personel sayısı artarak, verilen hizmetlerin çeşitliliğinde farklı sunum teknikleri ve ek çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Faaliyet gösteren mimari ofislerin tasarımın dışında uygulama da yapabildiği, birden fazla proje disiplinleri ve uygulama disiplinleri ile çalıştığını anlamaktayız.

KAYNAKLAR

- Ashley, D. B., Lurie, C. S., & Jaselskis, E. J. (1987). Determinants of construction project success. Project Management Institute.
- Bogus, S. M., Molenaar, K. R., & Diekmann, J. E. (2006). Strategies for overlapping dependent design activities. *Construction Management and Economics*, 24(8), 829-837.
- Brady, T., Davies, A., & Gann, D. (2005). Can integrated solutions business models work in construction?. *Building Research & Information*, 33(6), 571-579.
- Cuff, D. (1992). *Architecture: The story of practice*. Mit Press.
- Hong Kong Environment, Transport and Works Bureau, & Tang, H. (2001). *Construct for excellence*. Environment Transport and Works Bureau.
- CIRC (Construction Industry Review Committee). (2001). Construct for excellence. *Hong Kong*.
- Cheng, R. T. L., (1995). Design and Build- Contractor's Role." Proc., Des. and Build Projects – Int. Experiences, Int. Congr on Constr., pp.232-241.
- David, J., Ross, A., Smith, J., & Love, P. (2002). *Building design cost management*. Blackwell Science, UK.
- Demkin, J. A. (2001). *The architect's handbook of professional practice*. The American Institute of Architects, John Wiley & Sons.
- GOULD Frederick E., JOYCE Nancy E., (2000). Construction Project Management, Prentice Hall.
- Gorse, C. A., & Emmitt, S. (2007). Communication behaviour during management and design team meetings: a comparison of group interaction. *Construction management and economics*, 25(11), 1197-1213.
- Gray, C., & Hughes, W. (2007). *Building design management*. Routledge, Department of Construction Management Engineering, The University of Reading, U.K.,
- Gümüşburun Ayalp, G. ve Öcal, M. E., (2013) Concurrent Engineering within the Scope of Architectural Education: Practice in Turkey." American Journal of Scientific Research, 84, pp.5-17, 2013.
- Gümüşburun Ayalp ve Öcal, M.E. (2016) Türk inşaat sektöründe mimari tasarım süreci hataları ve nedenleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 32(1), 1-8.
- İzgi, U. (1999). *Mimarlıkta süreç: kavramlar, ilişkiler*. YEM Yayın, Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları, Cilt 201,199-200.
- Knox, P. L. (2016). Routledge Revivals: The Design Professions and the Built Environment (1988).

- Love, P. E., Mandal, P., Smith, J., & Li, H. (2000). Modelling the dynamics of design error induced rework in construction. *Construction Management and Economics*, 18(5), 567-574.
- Lawson, B., (1990). "How Designers Think 2nd ed.", Butterworth Architecture Press, Boston.
- Mo, J. K. W., & Ng, L. Y. (1997). Design and build procurement method in Hong Kong-An overview. *CIB REPORT*, 453-462.
- Building Economic Development Committee. (1988). Faster building for commerce. *NEDO, London, November*.
- İnan, N., & YILDIRIM, T. (2009). Mimari Tasarım Sürecinde Disiplinlerarası İlişkiler Ve Eşzamanlı-Dijital Ortam Tasarım Olanakları. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 24(4).
- Sey, Y., (1995) Mimarlık Eğitiminde Uluslararası Ortak Çerçeve. Mimarlık ve Eğitimi Forum 1: Nasıl Bir Gelecek?, İTÜ Yayınları, İstanbul, pp.30-35.
- Tuğlu, Z., (1996). Mal Sahibi Adına İnşaat Projeleri Yönetiminde Kontrollük Görevleri ve İlgili Raporlama Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vitruvius, 1990. Mimarlık Üzerine On Kitap, çev: Suna Güven, Şevki VanlıMimarlık Vakfı, İstanbul.
- Von Bertalanffy, L. (1969). General systems theory and psychiatry—an overview. *General systems theory and psychiatry*, 32(4), 33-46.
- Walters, T. (2003). Design Management. *Engineering Management Board, Institution of Civil Engineers (ICE), London*.
- Zaneldin, E., Hegazy, T. ve Grierson, D., Improving Design Coordination for Building Projects II: A Collaborative System." *Journal of Construction Engineering and Management*, (ASCE), 12(4), pp. 330-336, 2001.
- Zaneldin, E., Hegazy, T., & Grierson, D. (2001). Improving design coordination for building projects. II: A collaborative system. *Journal of construction engineering and management*, 127(4), 330-336.
- URL 1: esra_seker.tripod.com/Projects/Makale2002.htm



Bölüm 6

POLİKLORLU BİFENİL İLE KİRLENMİŞ ATIKLARIN YÖNETİMİ

Elanur ADAR¹

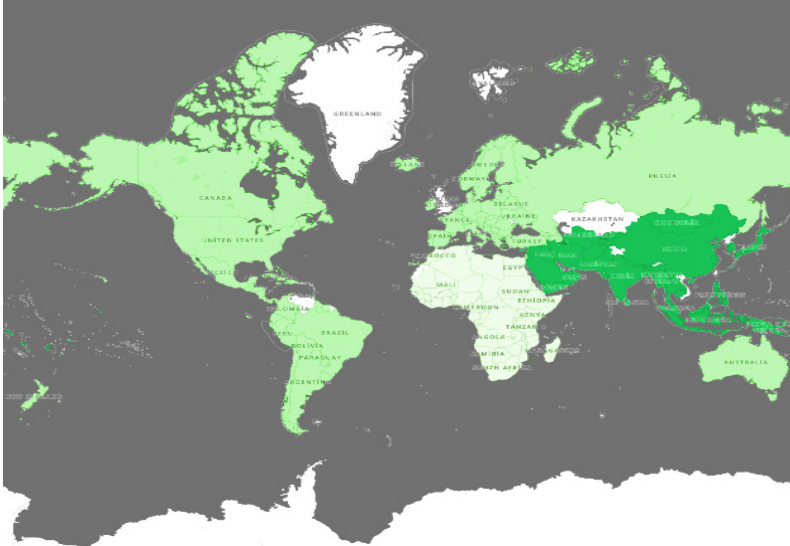
¹ Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü 08100 Seyitler Kampüsü, Artvin Türkiye (aelanur@artvin.edu.tr; cm.elanur@gmail.com)

1. Giriş

Kalıcı organik kirleticilerden olan poliklorlu bifenillerin (PCB) 209 farklı türü vardır. Poliklorlu bifeniller, poliklorlu terfenil (PCT), poliklorlu bifenil (PCB), monometil-tetra-kloro-difenil metanı, monometil-dikloro-difenil metanı, monometil-dibromo-difenil metanı içermektedir (Kuzu, 2013). PCB'ler 1881'de ilk kez Almanya'da sentezlenmiştir. PCB'ler tek değil karışım olarak 1930'da Amerika'da üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır (Cui, vd., 2016); ve parçalanmaya karşı direnç, termal kararlılık, yalıtkanlık (dielektrik) sabitlerinin düşük ve kaynama noktalarının yüksek olmasından dolayı çeşitli endüstrilerde yaygın şekilde kullanılmıştır (Breivik vd., 2002; Akgün, 2016). PCB'ler, kapalı (trafolar, kapasitörler, vb.), yarı kapalı (ısı aktarım, hidrolik sistemler, vakum pompaları, vb.) ve açık (polivinilklorür (PVC), klorlu plastikleştiriciler, bina yıkım atıkları, kullanılmış yağlar, kullanım dışı ekipmanlar, vb.) sistemlerde kullanılmıştır/kullanılmaktadır. Kapalı sistemlerde çevre ile temas az olduğu için daha güvenilirdir. Açık sistemler ise çevre ile doğrudan teması olan uygulamalardır (İmamoğlu, vd., 2009). Bu kirleticiler doğrudan üretilbildikleri gibi PVC üretimi veya organik klorlu atıkların yakılması sonucu da oluşabilmektedir (Kuzu, 2013). Üretimleri yasaklandıktan sonra, PCB kirliliğinin en önemli kaynakları petrokimyasal, elektrik-elektronik, pestisit, metal-mineral üretimi, gemi söküm gibi çeşitli endüstriyel tesislerdir (Kuzu, 2013; Cui, vd., 2016; Wang, vd. 2019; Habibullah-Al-Maun, vd. 2019). Elektronik atık (e-atık) geri dönüşüm tesisleri ve endüstriyel termal prosesler ise başlıca PCB kirliliğine neden olan kaynaklardır (Cui, vd., 2016).

PCB'lerin toksik etkilerinin ortaya çıkmasından (karaciğer hastalıkları, üreme problemleri, kanser, hormon sistemi bozukluğu, bağışıklık sistemi bozukluğu, vb.) (Reddy, vd., 2019) dolayı 1970'lerin sonunda Amerika'da ve 1993'te Rusya'da üretimleri durdurulmuştur. 1930-1993 yılları arasında az sayıda ülke ve şirket tarafından 1- 1,5 milyon ton üretildikleri ve bu miktarın büyük bir kısmının da doğada, özellikle de toprak ve sedimentlerde (dip çamurlarında) biriktiği bilinmektedir (Breivik, vd., 2002). Literatürde ki bilgiye göre en çok üreten ülkeler Amerika (%48.4), Almanya (%12), Rusya (%10.7) ve Fransa' (%10.2) dır (Breivik, vd., 2002). PCB içeren veya PCB ile kirlenmiş cihaz/ malzemelerin 5,4 milyon tonu giderilmiştir. Tahmini 11-14 milyon ton hala (çoğunlukla transformatörler) giderilmesi gerekmektedir (UNEP, 2015). Afrika, Western European Group (WEOG), Group of Latin America and the Caribbean (GRULAC), Central and Eastern Europe (CEE) ve Asia-Pasific bölgeleri için elimine edilecek yüzdeler sırasıyla %1,9; %3; %3,5; %3,4 ve %88,2'dir (UNEP, 2019). Türkiye'de hiç üretilmemiştir; ancak çeşitli sanayi uygulamalarında (elektrik üretim/iletimi de dahil) gerek

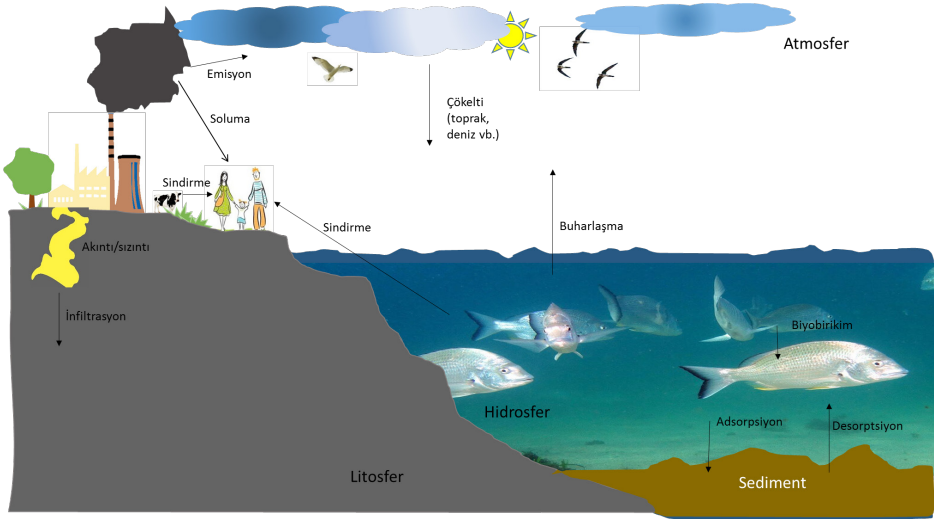
yağ gerekse de transformatör gibi ekipmanlar içerisinde ithal edildiği bilinmektedir (İmamoğlu vd., 2009). Ayrıca, termal yakma tesisleri, e-atık geri dönüşüm tesisleri, bazı sanayi alanlarından ve atmosferik taşınım ile PCB kirliliği olabileceği söylenebilir. Kalıcı organik kirleticilere ilişkin Stockholm Sözleşmesi Mayıs 2004'te yürürlüğe girmiştir ve bu sözleşmeye 181 ülke taraftır. İnsan sağlığını ve çevreyi korumak için 2025'e kadar ekipmandaki kullanımını, 2028'e kadar da atık sıvıların ve ekipmanların sağlıklı bir şekilde yönetilmesi için kararlı çaba gösterme zorunluluğu getirilmiştir. Glüge vd., (2017) gelişmiş bir sanayi bölgesi olan İsviçre havasındaki geçmiş, mevcut ve gelecekteki emisyonları 1930-2100 yılları için tahmin etmişlerdir. PCB'lerin kullanımlarının yasak edilmesine rağmen emisyonların olduğu ve özellikle de açık uygulama alanlarında salınımı 2030 yılından sonra bile yılda 0,1 ton PCB'den fazla olabileceği ifade edilmiştir. Sızdırmazlık maddeleri ve korozyon önleyici boyaların %35'i hala kullanımda olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla PCB'lerin hala uygulamalarda olduğunu ve bertaraf edilmesi gerektiği söylenebilir. Özellikle yakma ve depolama tesislerinden salınım olabileceği, bunun için de yakma tesislerinde gelişmiş hava filtreleri kullanılması halinde emisyonların azaltılabileceği ifade edilmiştir. Dünya'daki PCB'lerin stokları ise aşağıdaki grafikte (Grafik 1) gösterilmiştir. Koyu yeşil bölge en yüksek stoğa (Asya-Pasifik Bölgesi) sahiptir.



Grafik 1. PCB stokları (koyu yeşil en yüksek) (UNEP, 2019)

PCB'ler, birincil emisyonlar yani atık veya halen kullanılmakta olan ekipmanlardan (kapasitör sızıntıları, gemi boyalarının dökülmesi, endüstrilerin deşarjından) (Yang, vd., 2019) ve ikincil emisyonlardan

(istemeden oluşan PCB'ler-boya üretimi, yangın, atık yakma, termal yöntemler, depolama yerlerinin tekrar salınması) doğaya sızmaktadır (Xu, vd., 2018). En önemli özellikleri doğada kolay bozunmadığından kalıcı olmaları yani birikmeleridir. Doğada, en çok biriktiği toprak ve sedimanda yarılanma süreleri ortalama 57 yıldır. Fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle hava, su ve toprakta farklı derecede birikirler. Grafik 2'de PCB'lerin muhtemel akıbetleri verilmiştir. Ksenobiyotik olan PCB'lerin bertarafı küresel bir problem olup "çekirge etkisine" göre hareket eder. Yani sıcak havalarda topraktan havaya uçar ve sıcaklıklar azaldıkça toprağa bir şekilde geri düşer (Gomes, vd., 2013). Hava yoluyla da uzun mesafelere taşınabilirler. Havada kalış süreleri yaklaşık 10 gün olabilmektedir (Rahuman, vd., 2000; Kurt-Karakuş, 2012). Yağ dokusunu tercih etmelerinden dolayı daha yüksek derişimlerde canlılarda birikebilirler. Kirlenmiş sahalardan, bertarafı uygun yöntemlerle yapılmamış atıklardan, uygun koşullarda saklanmamış stoklardan ve diğer kaynaklardan PCB'ler önemli miktarlarda havaya karışabilir. Özellikle düşük klor içeriğine sahip (1-4 klorlu bifeniller/yarı uçucu bifeniller) bileşikler atmosfere salınmaktadır ve sınırlar ötesine taşınabilmektedir. Çeşitli klorlu organiklerin uygun olmayan koşullarda yakılması sonucu istemsiz olarak da üretilebilirler (İmamoğlu, vd., 2009).



Grafik 2. Çevrede PCB'lerin akıbetleri

Su kirliliği endüstriyel alanlardan oluşur ve su kirliliği hava ile toprak kirliliğine kıyasla daha azdır. Ayrıca, PCB'ler hava ve su arasındaki arayüz değişimi aracılığı veya atmosferik kuru ve ıslak çökelti ile sucul ortama girerler (Cui, vd., 2016). Su içerisindeki PCB'ler organik kaynaklı askıda katı madde veya sedimentte birikmektedir. Yani PCB'lerin su

seviyesindeki 1000 katından fazla sedimentlerde ve sucul ortamda yaşayan canlıların bünyesinde bulunurlar (Rahuman, vd., 2000). Su ve içerdiği sediment/katı maddeler yardımıyla PCB'lerin taşınımı artmakta ve böylece kirlilik yaygınlaşabilmektedir. En önemli PCB atıksu kirlilik kaynağı endüstriyel tesislerin atıklarıdır (Wang, vd., 2019; Habibullah-Al-Maun vd., 2019). Yani PCB karışımları üretimin herhangi bir aşamasında kullanılmış endüstrilerin (elektrik üretim/iletim, karbonsuz kopya kağıdı, boya, vb.) atıksularıdır (Reddy, vd., 2019). PCB'lerin yüksek klor içeren karışımlarının özellikle ağır yağlar olmalarından dolayı sızma veya suya karışma sonrasında toprak veya sedimente yapışmaktadırlar. PCB içeren ekipmanların bulunduğu ortamlarda, özellikle eskimiş veya sızdırmakta olan ekipmanlar varsa, toprak kirliliği olması ihtimali çok yüksektir.

Bazı çalışmalar toprak, deniz suları, sedimentler, bitkiler, sucul fauna ve hatta anne sütünde ölçülebilir miktarda PCB'lerin bulunduğunu göstermektedir (Meijer, vd., 2003; Rasmussen, vd., 2014, Aydın, vd., 2015; Ogulmuş, vd., 2016; Reemtsma, vd. 2016; Herrick, vd., 2016; Chatel, vd., 2017). Meijer, vd., 2003 yılında yaptığı çalışmada Antalya civarındaki işlenmemiş topraktan alınan numunede pek çok PCB bileşiğinin ölçülebilir düzeyde olduğunu, numunelerdeki PCB bileşiklerinin derişimlerinin dünya ortalamalarının yaklaşık %5 – 15'i civarında olduğunu belirtmiştir. Ayrıca tüm dünya PCB üretiminin %86'sının Türkiye'nin de içinde bulunduğu 30° – 60°N enlemleri arasında ve toprakta en yüksek PCB derişimlerinin de aynı enlemler arasında olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı, PCB'lerin yönetiminde yaygın şekilde kullanılan arıtım/bertaraf yöntemleri ve araştırılan yeni yaklaşımlar hakkında bilgi vermektir. Ayrıca, tam ölçekli kullanılan teknolojileri çevresel etki ve riskleri açısından ele almaktır.

2. Arıtım Yöntemleri

Arıtım yöntemleri temel olarak üç gruba ayırabilir. Bunlar fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerdir. Arıtma yöntemleri genellikle kirliliği ayıran ya da konsantrasyon eden yöntemlerdir (UNEP, 2015). Fiziksel arıtma termal desorpsiyon, otoklavma, ozonlama, buharlaştırma, kurutma, çözücüyle yıkama, kapsülleme, mikrodalga enerjisi, fotokatalitik (elektron veya ultraviyole ışını) vb. yöntemlerdir (Gomes, vd., 2013; Reddy, vd., 2019). Ayrıca, PCB'lerin giderimi aktif karbon ile de gerçekleştirilebilmektedir. Triklorobifenil ve tetraklorobifenilin aktif karbon ile giderimi %80 civarında elde edilmiştir (Reddy, vd., 2019). Ultrasonik radyasyon çeşitli katalizörler ile düşük sıcaklıkta (40°C), yüksek verim ile (>%90) PCB'lerin ayrışması için modern bir yaklaşımdır. Katalizör bazlı (karbon, nasyon ve platin bazlı TiO₂ vb.) fotolizler ile de araştırmalar gerçekleştirilmektedir (Reddy, vd., 2019). Rapor edilen verilere göre, nano

boyutta sıfır değerlikli demir (nZVI) partikülleri ile PCB'lerin klorosuzlaştırılması için umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Fakat, nZVI partikülleri kararsızdır ve kolayca indirgeyici güçlerini kaybederler. Ayrıca, PCB'lerin nZVI ile klorosuzlaştırılmasında pH'ın önemli bir parametre olduğu ve zayıf asidik pH'ta klorosuzlaştırma veriminin arttığı ifade edilmiştir (Reddy, vd., 2019). Vitrifikasyon yöntemi de katılaştırma yöntemi olup sıcaklık etkisinde gerçekleştirilir (Subramanian, 2019).

Biyolojik arıtma aerobik-anaerobik şartlarda arıtma, biyoremediasyon, biyosorpsiyon ve biyodegradasyon, fitoremediasyon, arazi arıtımı (landfarming) gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Dioksin ve furanların (PCDD/Fs) oluşumu, enerji tüketimi ve giderim verimliliği dikkate alındığında, indirgeyici klorosuzlaştırma PCB'lerin giderimi için daha etkin bir yaklaşımdır. Ancak çok az sayıda suş daha yüksek klorlu PCB'lere karşı dayanmaktadır. *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus* ve *Burkholderia* gibi birkaç mikroorganizma bazı PCB'lerin tam mineralizasyonunu gerçekleştirebilmektedir (Reddy, vd., 2019). Biyoremediasyon (biyolojik iyileştirme) mikroorganizmalar ile organik bileşiklerin ayrışmasıdır. Kontamine olmuş toprak ve sedimentler için kullanılan bir yöntem olup kompleks bir yöntem değildir, uzman personel gerektirir, birden fazla bakteri türü gerektirir, uygun koşulların sağlanması uzun zaman alabilir, ve bazen UV ile ön arıtım gerektirebilir. Fitoremediasyon ise toprak, su/atıksu ve sedimentlerdeki PCB'lerin giderimi için kabakgiller, yonca, alaska söğüt, beyaz ladin gibi bitkiler ile gerçekleştirilen metottur (Çoban, vd., 2010; Reddy, vd., 2019). Bir çalışmada yonca kullanılarak topraktaki PCB 1.yılda %31,4 ve 2.yılda %78,4 verim ile giderilmiştir. Biyosorpsiyon, uygun biyosorbentlerin üzerine kirleticilerin adsorpsiyonudur. Biyodegradasyon bakteri, mantar, alg gibi organizmaların zararlı kimyasal bileşikleri parçalayarak konsantrasyonlarını azaltmayı sağlar. PCB'ler için etkili yöntemdir. Organizmalardan mantarlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü metabolik aktiviteleri yüksektir ve üretimleri kolaydır. Ayrıca, mantarlar organik moleküllere etkili olan çeşitli enzimleri üretebilmektedir. Tang ve Myers (2002) PCB ile kirlenmiş sedimenti fotodegradasyon, biyolojik dönüşüm ve buharlaştırma ile arıtımını 5 ay boyunca gerçekleştirmişlerdir. Bu süre sonunda %40 giderim verimliliği elde edilmiştir. Fotoliz/buharlaştırma ve biyolojik ayrışma ile hibrit arıtım, tekli arıtmıdan daha yüksek verim sağladığı ifade edilmiştir. Vitrifikasyon (camlaştırma), termal desorpsiyon, solidifikasyon/stabilizasyon ve biyolojik arıtmıların pahalı olduğunu; ve aerobik/anaerobik ayrışma, buharlaştırma, ve fotolizin doğal temizleme yöntemler olduğunu belirtmişlerdir. Biyolojik arıtım, uzun vadeli proses, daha az maliyetli, kimyasal/fiziksel/termal arıtmılara kıyasla daha az çevresel etkilere sahip, ve halk tarafından kabul edilen yöntemdir (Gomes, vd., 2013).

Kimyasal arıtma baz katalizörlü ayrışma, solidifikasyon/stabilizasyon, katalitik hidrodeklorinasyon, gibi yöntemlerdir. Kimyasal yöntemlerden en yaygın kullanılanı bazik ortamda sodyum, kalsiyum, potasyum ile klorsuzlaştırmadır (baz katalizörlü ayrışma). Sodyum ile klorsuzlaştırma daha konsantre karışımlar için kullanılabilir. Klorsuzlaştırma yüksek verim sağlayarak düşük emisyon oluşumuna neden olmaktadır (Rahuman, vd., 2000). Fakat oluşan gazın arıtımı gereklidir (Gomes, vd., 2013). Kimyasal yöntemlerden klorsuzlaştırma %5-10 PCB içeren yağ ve toprak için kullanılır. Klorsuzlaştırma yüksek ısıda H_2 ve sodyum ile veya çözünmüş elektron ile gerçekleştirilir (Rahuman, vd., 2000). Örneğin, Na ile indergenme metodu transformatörlerin temizliğinde kullanılır. Dumorne, vd., (2017) transformatör yağındaki PCB'leri gidermek için potasyum polietilen pilokolat (KPEG) metodunun verimliliğini araştırmışlardır. KOH/PEG=2:1 ve KPEG/yağ=30:1 iken 1000 rpm, 90°C ve 30 dk'da %95 giderim verimi elde edilmiştir. Basit ve ekonomik olması sebebiyle de uygun bir kimyasal arıtma metodu olduğu belirtilmiştir. Liu, vd., (2019) PCB ile kirlenmiş kondansatör ve transformatörlerin depolandığı alandaki toprak kirliliğini termal desorpsiyon (300-600°C) ve kalsiyum hidroksit (%0-1) hibrit yöntemleri ile arıtmışlardır. 600°C ve %1 $Ca(OH)_2$ ilavesinde %94 verim elde edilmiştir ve dioksin benzeri PCB'lerin toksikliği azaltılmıştır. Solidifikasyon/stabilizasyon ise sıvı veya yarı akışkan atıklara uygulanabilen yöntem olup düzenli depolamadan önce çeşitli bağlayıcılarla katı hale getirilme işlemidir. Ozonlama tam ölçekli bir yöntem olmamasına rağmen PCB'lerin arıtımında oldukça umut vericidir (Subramanian, 2019). Trafoların, kapasitörlerin ve diğer elektrikli ekipmanların (%Pd/C- H_2 -Mg) farklı metalik bileşenler kullanarak gerçekleştirilen katalitik hidrodeklorinasyon yöntemleri ile arıtımlarını sağladıklarını Ido, vd. (2013) çalışmalarında açıklamıştır. Mevcut PCB ayrıştırma metotları olan ultrases, hidrodeklorinasyon, erimiş metal indirgeme, fotokimyasal ayrışma, oksidasyon, ve elektrolize kıyasla zararlı reaktiflerin oluşmaması, yüksek sıcaklık ve basınç kullanımını gerektirmedikleri ve bu sebeple de daha güvenli, daha ekonomik ve pratik bir yöntem olduğu ifade edilmiştir (Ido, vd., 2013; Su, vd., 2016). Fakat bu yöntemin başlıca dezavantajları hazırlama süresinin uzun olması, fazla tekrar kullanılmaması ve daha az toksik olan bifenil ve $MgCl_2$ oluşmasıdır (Ido, vd., 2013). Kimyasal arıtım, genellikle daha kısa sürer, yüksek konsantrasyonlar giderilebilir, pahalıdır, ve yan ürünler oluşabilir (Gomes, vd., 2013).

3. Bertaraf Yöntemleri

Bertaraf metotlarından en yaygın kullanılan yöntemler yakma ve düzenli depolamadır. Düzenli depolama, üretim/kullanım veya arıtım

sonrası oluşan atığın uygun koşullarda gömülmesidir. Düzenli depolama sıvılar için uygun değildir ve bir sınırlama/önlem metodudur. Oluşabilecek sızıntılar ve emisyonlardan dolayı da az öneme sahip bir metottur (Rahuman, vd., 2000). Ayrıca, gelişmiş ülkelerde tercih edilmeyen bir metottur. Bu yöntem sonucunda arıtılması gereken gaz emisyonları ve sızıntı suları oluşmaktadır.

Yakma 1100°C üzerinde kirleticilerin yakılmasıdır (Kuzu, 2013). PCB'ler tam yanmazsa insan ve çevre sağlığı için bilinen en toksik kimyasallardan Dibenzo-p-dioksin/furan (PCDDs/Fs) bileşikleri salınmaktadır (Akgün, 2016). Pham, vd., (2019) Vietnam'da 11 termal tesise sahip olan 20 tesisteki baca gazlarında PCB analizleri gerçekleştirmiştir. Dioksin emisyonları açısından en yüksekte en düşüğe doğru endüstriyel atık yakma>ikincil çinko üretimi>kömür yakıtlı zanaat kazanı> kömür yakıtlı güç tesisi≈tıbbi atık yakma>çelik üretim≈çimento üretimi>ikincil bakır üretimi>kömür yakıtlı endüstriyel kazan>ikincil kalay üretimi=belediye atığı yakma olduğunu ifade etmişlerdir. Bu tesislerden yılda 4,89-11,4 gr emisyon salındığı tahmin edilmiştir. Fakat, yakma, en çok kullanılan teknolojidir ve uygun koşullar sağlandığında %99 üzerinde giderim verimi elde edilmektedir (Trinh, vd., 2019). Ancak hem maliyetlidir hem de emisyon (çevresel) açısından uygun koşulların sağlanması çok büyük önem arz eder. Aksi takdirde PCB'leri yakan bazı tesisler tamamen parçalanmamış ve farklı formda olmuş dioksin ve furanların çevreye (hava, toprak, su, bitki, yabani hayat ve insan) salınımına neden olur. PCDDs/Fs oluşumu genelde termal yıkımdan sonra gazlar soğutulduğunda çevreye salınır. Atığın klorür içeriği, işletme sıcaklığı ve katalizörün varlığı dioksinlerin oluşumu için önemli parametrelerdir (Reddy, vd., 2019). Örneğin; sıvı PCB'leri bertaraf eden tesisler 1200°C, 2 saniye bekletme süresi, %3 aşırı O₂ ya da 1600°C, 1,5 saniye, %2 O₂) gereksinimlerini gerektirir. Ayrıca alkali şartlar klor içeren kirleticiler için tercih edilmektedir. Yüksek verim için O₂ miktarı, yüksek sıcaklık, yüksek ısıtma değeri yakıt kullanımı ve uzun bekletme süresi gereklidir (Reddy, vd., 2019). Araştırmalar, kükürt dioksit varlığının yakma işlemi sırasında PCDD/Fs oluşumunu en aza indirdiğini göstermiştir. Çünkü kükürt, SO₃ ve HCl oluşturmak için nem varlığında klorür moleküllerini yakalayabilmektedir (Reddy, vd., 2019). Çimento fırınlarında yakılmaları içinde eski tip kilnler uygun değildir (Rahuman, vd., 2000). Modern yakma tesisleri yüksek sıcaklıkta çalışabilen ve selektif katalitik indirgeme ile dioksinleri giderebilmektedir (Reddy, vd., 2019).

PCDD/Fs ve dioksin benzeri PCB'ler (dl-PCBs) konsantrasyonları endüstriyel kimyasal proseslerden, atık su deşarjlarından, atık yakmasından ve eski pestisit yığınlarından kaynaklanabilmektedir. Emisyon salınımı ülkenin gelişmişliğine göre de değişebilmektedir. Örneğin; Afrika

atmosferindeki dioksin konsantrasyonları gelişmiş ülkelerdekiler ile aynı ya da daha yüksektir. Bunun muhtemel nedeni ise gelişmiş ülkelerde emisyonların daha sıkı kontrole tabi tutulmasıdır. Yani atık bertarafı daha kontrollü yapılmaktadır ve modern tesisler kullanılabilir. Afrika birçok sanayi atıklarını doğrudan çevreye atmaktadır (Ssebugere, vd., 2019).

Yakma ve düzenli depolama kısa süre için tatmin edici sonuçlar vermektedir. Ayrıca yerinde arıtım gerektiren büyük alanlar için ekonomik değildir. Büyük alanlar için yerinde arıtım biyolojik olarak gerçekleştirilebilmektedir. Biyolojik arıtım ise uzun süre gerektirir (Terzaghi, vd., 2018). Yakma tesisi birçok ülkede mevcut değildir (UNEP, 2015).

Yaygın metotlar dışında piroliz/gazlaştırma, yenilikçi ve gelişmekte olan süperkritik su oksidasyonu/gazifikasyonu (SKSO/G) gibi yöntemlerde vardır. Piroliz metodu organik maddelerin oksijen olmadan gazifikasyonu ve mineral kısımlarının oksitlenmesidir. Piroliz/gazifikasyon atıktan enerji eldesi için kullanılan bir yöntemdir. Fakat atığın klor içeriği asit gazlarının (HCl) ve dioksinlerin oluşumuna neden olur (Hu, vd., 2019). Süperkritik su oksidasyon/gazifikasyon (SKSO/G) metotları, 374°C ve 22,1 MPa'da gerçekleştirilir. SKSO/G, %1-20 organik içerikli atıklar için uygundur (Kuzu, 2013). Süperkritik şartlarda suyun hidrojen bağımlı kaybetmesi ile polar çözüldüğüden apolar çözüldüğüne geçmesi ile az çözünürlüğe sahip PCB'lerin çözünürlüğü artmaktadır. Oluşan nihai ürünler toksik değildir (Reddy, vd., 2019). Hataked, vd., (1999) tarafından 3-klorobifenilin süperkritik şartlarda kesikli ve sürekli reaktörde oksidasyonu çalışılmıştır. %99 üzerinde giderim verimi elde edilmiştir. Güçlü toksisiteye sahip PCB'lerin yakma (Schlegel, 1988) ve kimyasal dönüşüm (Lauch vd., 1989) vb. arıtım yöntemleri ile tatmin edici sonuçlar vermediği belirtilmiştir. Subkritik su ekstraksiyon prosesiyle (100-374°C aralığında ve 22,1 MPa altında) PCB ile kirlenmiş toprak İslam, vd., (2014) tarafından arıtılmıştır. 250°C'de 1 saatte %99,7 giderim verimi elde edilmiştir. Yenilikçi teknoloji olan SKSO/G yöntemi yüksek verim ve düşük emisyon salımına neden olmaktadır. Fakat bu teknoloji de diğer bertaraf teknolojilerine kıyasla yüksek basınç ve sıcaklıkta işletildiğinden dolayı riskli bir teknolojidir ve henüz tam ölçekli işletimi yoktur. En yaygın kullanılan yakma metoduna kıyasla SKSO/G'da bertaraf kısa sürede gerçekleşir. Yakmaya göre de daha ekonomiktir. Xu, vd., (2012) ters akışlı ve gözenekli geçirgen duvar reaktör kullanarak %92 su içeriğinde arıtma çamurunu arıtmışlardır. Bu çalışmada kullanılan sistem 3 ton/gün kapasitede olup yatırım maliyeti 0,58 milyon \$, işletme maliyeti ise 76,56 \$/ton kuru atıktır. 213 ton/gün kapasiteye sahip yakma ünitesinde ise %70 su içeriğine sahip arıtma çamurunun bertaraf edilmesinde sistemin yatırım maliyeti 12,26 milyon

\$, işletme maliyeti ise 81,66 \$/ton kuru ağırlık olarak hesaplanmıştır (Xu, vd., 2012).

Tehlikeli atıkların kimyasal arıtımı 66-791 \$/ton aralığında değişmektedir. Tehlikeli atık bertarafında kullanılan düzenli depolama maliyeti, atıkların katı veya varil (sıvı) olmasına göre değişir. Katı atıklar için 55-83 \$/ton iken varilli atıklar için 168-240 \$/ton'dur. Tehlikeli sıvı veya katı atıkların yakılması için maliyet ise 395-791 \$/ton dur. Atığın tehlikesi arttıkça arıtım maliyetinin de arttığı ifade edilmiştir (Gibbons, 1983). Toksik olan PCB'lerin arıtımı içinde özellikle de sıvı atıklar için düzenli depolama maliyetlidir. Ayrıca tehlikeli atıklar için yaygın kullanılan düzenli depolamanın ve yakmanın çevresel maliyetleri (havaya emisyon salınımı, arazi kullanımı, kimyasal atık, vb.) ise 29,51 \$/ton ve 51,46 \$/ton (1 €=1,12 \$ alındığında) olarak hesaplanmıştır (Ateş, 2017).

Hibrit arıtım, birden fazla arıtım yönteminin beraber kullanılmasıdır. Hibrit yöntemlerinin kullanımının, son yıllarda daha etkili ve ekonomik olduğu ifade edilmiştir. Fakat bu çalışmaların saha uygulaması veya pilot ölçeği yoktur (Reddy, vd., 2019). Aynı zamanda arıtım trenleri olarakta adlandırılan hibrit sistemlerin umut verici bir yaklaşım olduğu ve birçok arıtım yönteminin beraber kullanılması maliyeti artırdığı ifade edilmiştir (Gomes, vd., 2013).

4. PCB ile Kirlenmiş Atıkların Yönetimi için Araştırılan Yöntemler ve Tam Ölçekli Kullanılan Yöntemlerin Çevresel Etkileri-Riskleri

PCB kullanımının yasaklanması ile çevre ve insan sağlığı riskleri azaltılmış durumdadır. Ortaya çıkabilen riskler eski ekipmanların değiştirilmesinden veya bakımının yapılmasından, atık depolama ve imha alanlarına taşınmasından ve/veya bilinçsizce bertaraf yapılmasından kaynaklandığı söylenebilir. PCB'ler, atığın üretildiği ülke içindeki arıtma sistemlerinin mevcudiyetine ve bununla ilgili miktarlara bağlı olarak ülkeler arasında da taşınır. Böcek ilaçlarının ve PCB'lerin taşınmasının en aza indirilmesi arzu edilmekle birlikte, bu kirlletici maddelerin taşınması atık üreten ülkelerde yeterince yerinde arıtma sistemleri gerçekleştirilinceye kadar devam edecektir. Tablo 1'de artırılması gereken atığa göre araştırılan yöntemler derlenmiştir. Tablo 1'den de görüldüğü gibi çok çeşitli yöntemler çalışmalarda dikkate alınmıştır.

Sadece bir kirlletici maddeyi ayıran ve/veya konsantre eden teknolojiler (solvent ekstraksiyonları, termal desorpsiyonu) ile kirlletici maddeyi ayrıştıran/yokeden (örneğin piroliz, oksidasyon, indirgeme ve biyolojik bozulma) teknolojiler arasındaki fark, saha iyileştirme hedefleri belirlenirken göz önünde bulundurulmalıdır. Sadece kirlletici maddeleri

hareketsiz kılan teknolojilerde (örneğin, düzenli depolama, stabilizasyon ve vitrifikasyon) dikkate alınmalıdır.

Farklı arıtma teknolojilerinin uygulanabilirliği ve kullanılabilirliği, arıtma sistemlerinin bulunduğu yere ve atıkların arıtma tesisine taşınabilme yeteneğine bağlıdır. En uygun teknolojiyi seçmek için, bazı kriterleri (halkın kabul edilebilirliği, risk, çevresel etki, verim, maliyet, arıtma süresi, işletme kolaylığı, arıtım sonrası ürünün kullanılabilirliği, vb.) gözönünde bulundurmak gerekir. PCB'ler ile kirlenmiş atığı arıtmak için birden fazla teknoloji seçilmesi durumunda, seçilen yöntemlerden kaynaklanan sınırlamalar, çevresel etkiler ve riskler göz önünde bulundurulmalıdır. Tablo 2'de PCB ile kirlenmiş atıklar için tam ölçekli olarak kullanılan yöntemler farklı kriterler açısından karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Kirlenmiş atık türüne göre araştırılan yöntemler

Atık	Yönetim	Referans
Transformatör yağı	Biyolojik arıtım; piroliz+katalitik dönüşüm; hidrodeklorinasyon; termo+kimyasal arıtım; yakma; SKSO	Nabavi, vd., 2013; Areeprasert ve Khaobang, 2018; Simion, vd., 2013; Seok, vd., 2005; Trinh, vd., 2019; Marulanda ve Bolanos, 2010
Sediment/toprak/çamur	Aeorbik ortamda sıfır değerlikli demir (ZVI); anaerobik arıtım; anaerobik membran biyoreaktör; elektrodiyalitik; rizosfer; elektrokinetik; termal desorpsiyon+CaOH ₂ ; subkritik su ekstraksiyonu; fotoliz+ buharlaştırma+biyodegradasyon; rizoremediasyon; mantar ile biyoremediasyon; SKSO; ozonlama+sonikasyon+persülfat oksidasyonu; demir bazlı kimyasal oksidasyon;	Cao, vd., 2018; Kaya, vd., 2018 + Matturo, vd., 2016 + Pathiraja, vd., 2019; Bertin, vd., 2011; Pedersen, vd., 2017; Meggo, vd., 2013; Tian, vd., 2017; Liu, vd., 2019; İslam, vd., 2014; Tang ve Myers, 2002; Terzaghi, vd., 2018; Stella, vd., 2017; Kawasaki, vd., 2006; Goi ve Viisimaa, 2015; Monfort, vd., 2019
Su/atıksu	Karbon bazlı nZVI ile adsorpsiyon; çoklu osidasyon prosesi+elektroliz; ZVI; SKSO	Liu ve Zhang, vd., 2010; Min, vd., 2018; Zullo, vd., 2017; Hatakeda, vd., 1999

Tablo 2. PCB yönetimi için tam ölçekli kullanılan yöntemlerin çevresel etkileri ve riskleri

Metotlar	Yönetim	Atık Türü	Verim	İşletme Şartları	Çevresel Etkiler + Riskler
Düzenli Depolama	Sınırlama	Toprak, sediment, çamur	-	Psikrofilik sıcaklık	Gelişmesi: Tam ölçek Maliyet: Ekonomik Arıtım süresi: Uzun Sosyal kabul edilebilirlik: Orta Yan ürün: Sızıntı suyu, gaz salınımı Risk: Buharlaşıma ve yeraltı suyuna sızma
Yakma	Bertaraf	Toprak, sediment, çamur, yağ	Yüksek (>%99)	Yüksek sıcaklık (>1100°C)	Gelişmesi: Tam ölçek Maliyet: Yüksek Arıtım süresi: Kısa Sosyal kabul edilebilirlik: Düşük Yan ürün: uçucu kül ve gaz salınımı Risk: Dioksin ve furanların oluşumu
Fitoremediasyon	Arıtım	Toprak, sediment, atıksu	Değişken	Oda şartları	Gelişmesi: Tam ölçek Maliyet: Orta Arıtım süresi: Uzun Sosyal kabul edilebilirlik: Yüksek Yan ürün: Bitkilerin bertarafı Risk: -
Mikrobiyal ayrışma (aerobik+anaerobik)	Arıtım	Toprak, sediment, çamur, atıksu	Değişken	Oda şartları	Gelişmesi: Tam ölçek Maliyet: Orta Arıtım süresi: Uzun Sosyal kabul edilebilirlik: Yüksek Yan ürün: Ek arıtım gerekebilir Risk: Mikroorganizma

Kapsülleme	Önlem	Toprak, sediment	-		Gelişmesi: Tam ölçek Maliyet: Orta-Yüksek Aritım süresi: - Sosyal kabul edilebilirlik: Orta Yan ürün: - Risk: Kontrollü ve denetimli yapılmazsa büyük riske sahip
Termal desorpsiyon	Aritım	Toprak, sediment	Yüksek	Özel ekipman, nem içeriği az olmalı	Gelişmesi: Tam ölçek Maliyet: Yüksek Aritım süresi: Kısa Sosyal kabul edilebilirlik: Orta Yan ürün: Ek arıtım gerekebilir Risk: Dioksin ve furanlar oluşabilir

PCB bertaraf teknolojisi %99 üzerinde verim sağlamalı, arıtımı güvenli, basit ve kontrollü olmalıdır (UNEP, 2015). Gelişmiş ülkelerde (Avrupa, Amerika, ve Japonya) yakma ve kimyasal katalitik ile PCB'lerin gideriminde büyük ilerleme başarmıştır (Sun, vd., 2015).

Sıvı, sıvı olmayan, yıpranmış malzeme, kentsel arıtma çamuru, transformatörler, elektrik ekipmanları, kapasitörler, hidrolik makineler ve diğer PCB içeren atıkların yönetimi için yakma ve/veya düzenli depolama kullanılmaktadır. Saf PCB, yağ ve farklı çözeltilerin giderimi aerobik/ anaerobik ayrışma, fitoremediasyon ve termal/oksiteleyici/indirgeyici metotlar ile; toprak ve sedimentin arıtımı ise tam ölçekli uygulamalar olan düzenli depolama, yakma, kimyasal oksidasyon (fenton vs), vitrifikasyon, kapsülleme, termal desorpsiyon, solvent ekstraksiyon ile gerçekleştirilebilir. Fakat bu metotlar sürdürülebilir değildir (Gomes, vd., 2013).

PCB'lerin halen çevreye salınım kaynakları başlıca termal yakma tesisleri, elektronik atık geri dönüşüm tesisleri, atık/kullanılmakta olan ekipmanlar (kapasitör, trafo vb.), yangın ve bazı endüstriyel tesislerdir (boya, plastik, petrokimyasal, pestisit, mineral, vb.). Yönetmeliklere rağmen bazı PCB'ler cehalet veya ihmâl yolu ile yasadışı olarak atılarak çevreyi kirliletmektedir. Ayrıca, yaygın şekilde kullanılan yakma ve düzenli depolama tesisleri özel olarak tasarlanmamış olabilmektedir. Dahası kaza sonucu dökülmeler ve sızıntılar kirliliğe neden olur; küresel PCB

kirliliğine daha az yerel kirliliğe daha çok katkıda bulunur (Reddy, vd., 2019).

PCB'lerin yönetimi için kullanılan genel yaklaşımlar yakma, düzenli depolama, fitoremediasyon ve mikrobiyal ayrışma iken (Gomes, vd., 2013; Reddy, vd., 2019), araştırılan son yaklaşımlar ise süperkritik su oksidasyonu, ultrasonik radyasyon, aktif karbon ve nano boyutta sıfır değerlikli demir (nZVI) bazlı indirgeyici dehalojenasyon yöntemleridir. Başlangıç aşamasındaki yöntemlerin gelişimi için daha çok çalışmalar gerçekleştirilmelidir (Reddy, vd., 2019). Daha çevreci yönetim sağlamak için daha fazla araştırma çabasına ihtiyaç vardır. Maliyet, süre, oluşan yan ürünler ve çevresel etkileri optimize edecek yöntemler tercih edilmelidir.

5. Sonuç ve Öneriler

Poliklorlu bifeniller, kalıcı organik kirleticiler olarak tanımlanan on iki bileşik sınıfının en iyi bilinenlerinden biridir. Çeşitli özelliklerinden dolayı 1930 yılında üretilmeye başlanmıştır ve toksik etkilerinden dolayı da 1970'den beri üretimleri yasaklanmıştır. PCB içeren veya PCB ile kirlenmiş cihaz/malzemelerin 5,4 milyon tonu giderilmiştir. Tahmini 11-14 milyon ton hala (çoğunlukla transformatörler) giderilmesi gerekmektedir. Ayrıca, istenmeden de termal endüstriyel tesislerden, e-atık geri dönüşüm tesislerinden, endüstriyel tesislerden halen çevreyi kirlüten kirleticilerdir. Bu sebeple de bu çalışmada PCB'lerin çevredeki akıbetleri, PCB'ler ile kirlenmiş atıkların yönetiminde yaygın şekilde kullanılan arıtım/bertaraf yöntemleri ve araştırılan yeni yaklaşımlar hakkında bilgi verilmiştir. PCB'lerin hava, su, toprak, sediment ve hatta canlı dokularında bile bulunabildiği; özellikle de hava, toprak/sediment ve canlı dokularında biriktiği sonucuna ulaşılmıştır. En yaygın şekilde kullanılan yöntemlerin yakma, kimyasal katalitik ve düzenli depolamadır. Çok çeşitli yöntemler ile ilgili çalışmalar yürütüldüğü, bu çalışmalardan umut verici sonuçların elde edildiği belirtilmiştir. Fakat çoğu yöntemin tam ölçekli işletiminin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sınırlı kaynağa sahip PCB kirliliği için en güzel önlem çevreye salınmadan önce gerekli kontrollerin alınmasıdır. Çünkü çevreye salınımı sadece yerel kirliliğe değil aynı zamanda küresel bir kirliliğe neden olmaktadır.

REFERANSLAR

- Akgün, S. (2016). *Occupational Health and Safety in PCB Workshops*. (M. Sc. Thesis), Gedik University.
- Areeprasert, C., & Khaobang, C. (2018). Pyrolysis and catalytic reforming of ABS/PC and PCB using biochar and e-waste char as alternative green catalysts for oil and metal recovery. *Fuel Processing Technology*, 182, 26-36.
- Ateş, E. (2017). *Evaluation of hazardous waste management system in Turkey* (Master), Hacettepe University.
- Aydın, M., Aydın, S., Bedük, F., & Tekinay, A. (2015). Atıksuların sulamada kullanımı: toprak ve üründe kalıcı organik kirleticiler. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 20(2), 99-110.
- Bertin, L., Capodicasa, S., Fedi, S., Zannoni, D., Marchetti, L., & Fava, F. (2011). Biotransformation of a highly chlorinated PCB mixture in an activated sludge collected from a Membrane Biological Reactor (MBR) subjected to anaerobic digestion. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2-3), 2060-2067.
- Brevik, K., Sweetman, A., Pacyna, J. M., & Jones, K. C. (2002). Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners—a mass balance approach: 2. Emissions. *Science of the Total Environment*, 290 (1-3), 199-224.
- Cao, M., Tu, S., Xiong, S., Zhou, H., Chen, J., & Lu, X. (2018). EDDS enhanced PCB degradation and heavy metals stabilization in co-contaminated soils by ZVI under aerobic condition. *Journal of Hazardous Materials*, 358, 265-272.
- Chatel, G., Naffrechoux, E., & Draye, M. (2017). Avoid the PCB mistakes: a more sustainable future for ionic liquids. *Journal of Hazardous Materials*, 324, 773-780.
- Cui, S., Fu, Q., Guo, L., Li, Y.-F., Li, T.-X., Ma, W.-L., Wang, M., Li, W.-L. (2016). Spatial–temporal variation, possible source and ecological risk of PCBs in sediments from Songhua River, China: Effects of PCB elimination policy and reverse management framework. *Marine Pollution Bulletin*, 106(1-2), 109-118.
- Çoban, A., Türkdoğan, F. İ., & Demir, G. (2010). Organohalojenlerin çevresel açıdan değerlendirilmesi ve giderim yöntemleri. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 38-43.
- Dumorné, K., Velazco, M. Z., & Pedroso, P. V. (2017). Analysis of polychlorinated biphenyls treatment present in transformers oils. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 20(1-2), 10-21.

- Gibbons, J. H. (1983). *Technologies for Hazardous Waste Management Technologies and Management Strategies for Hazardous Waste Control* (pp. 139-211). Washington: U.S. Government Printing Office.
- Glüge, J., Steinlin, C., Schalles, S., Wegmann, L., Tremp, J., Breivik, K., Bogdal, C. (2017). Import, use, and emissions of PCBs in Switzerland from 1930 to 2100. *PloS ONE*, 12 (10), e0183768.
- Goi, A., & Viisimaa, M. (2015). Integration of ozonation and sonication with hydrogen peroxide and persulfate oxidation for polychlorinated biphenyls-contaminated soil treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(4), 2839-2847.
- Gomes, H. I., Dias-Ferreira, C., & Ribeiro, A. B. (2013). Overview of in situ and ex situ remediation technologies for PCB-contaminated soils and sediments and obstacles for full-scale application. *Science of the Total Environment*, 445, 237-260.
- Habibullah-Al-Mamun, M., Ahmed, M. K., Islam, M. S., Tokumura, M., & Masunaga, S. (2019). Occurrence, distribution and possible sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the surface water from the Bay of Bengal coast of Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 167, 450-458.
- Hatakeda, K., Ikushima, Y., Sato, O., Aizawa, T., & Saito, N. (1999). Supercritical water oxidation of polychlorinated biphenyls using hydrogen peroxide. *Chemical Engineering Science*, 54(15-16), 3079-3084.
- Herrick, R. F., Stewart, J. H., & Allen, J. G. (2016). Review of PCBs in US schools: a brief history, an estimate of the number of impacted schools, and an approach for evaluating indoor air samples. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(3), 1975-1985.
- Hu, B., Huang, Q., Chi, Y., & Yan, J. (2019). Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in a three-stage municipal solid waste gasifier. *Journal of Cleaner Production*, 218, 920-929.
- Ido, A., Ishihara, S., Kume, A., Nakanishi, T., Monguchi, Y., Sajiki, H., & Nagase, H. (2013). Practical method for PCB degradation using Pd/C-H₂-Mg system. *Chemosphere*, 90(1), 57-64.
- İmamoğlu, İ. (2009). *Poliklorlu Bifenillerin Çevresel Etkileri*. Paper presented at the Waste Management Symposium.
- İslam, M. N., Park, J. H., Shin, M. S., & Park, H. S. (2014). Decontamination of PCBs-containing soil using subcritical water extraction process. *Chemosphere*, 109, 28-33.
- Kawasaki, S. I., Oe, T., Anjoh, N., Nakamori, T., Suzuki, A., & Arai, K. (2006). Practical supercritical water reactor for destruction of high concentration polychlorinated biphenyls (PCB) and dioxin waste streams. *Process Safety and Environmental Protection*, 84(4), 317-324.

- Kaya, D., Imamoglu, I., Sanin, F. D., & Sowers, K. R. (2018). A comparative evaluation of anaerobic dechlorination of PCB-118 and Aroclor 1254 in sediment microcosms from three PCB-impacted environments. *Journal of Hazardous Materials*, 341, 328-335.
- Kurt-Karakuş, P. B. (2012). *PCB'lerin Genel Özellikleri, İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerine Etkileri, PCB Arındırma ve Bertaraf Yöntemleri*. Paper presented at the Waste Management Symposium, Antalya.
- Kuzu, Ö. (2013). *Searching Utilization Potential of A New Biosorbent For PCB Biodegradation*. (M.Sc. Thesis), Gazi University.
- Lauch, R. (1989). Evaluation of treatment technologies for contaminated soil and debris.
- Liu, J., Zhang, H., Yao, Z., Li, X., & Tang, J. (2019). Thermal desorption of PCBs contaminated soil with calcium hydroxide in a rotary kiln. *Chemosphere*, 220, 1041-1046.
- Liu, J., Zhang, H., Yao, Z., Li, X., & Tang, J. (2019). Thermal desorption of PCBs contaminated soil with calcium hydroxide in a rotary kiln. *Chemosphere*, 220, 1041-1046.
- Liu, Z., & Zhang, F. S. (2010). Nano-zerovalent iron contained porous carbons developed from waste biomass for the adsorption and dechlorination of PCBs. *Bioresource Technology*, 101(7), 2562-2564.
- Marulanda, V., & Bolaños, G. (2010). Supercritical water oxidation of a heavily PCB-contaminated mineral transformer oil: Laboratory-scale data and economic assessment. *The Journal of Supercritical Fluids*, 54(2), 258-265.
- Matturro, B., Ubaldi, C., Grenni, P., Caracciolo, A. B., & Rossetti, S. (2016). Polychlorinated biphenyl (PCB) anaerobic degradation in marine sediments: microcosm study and role of autochthonous microbial communities. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 12613-12623.
- Meggo, R. E., Schnoor, J. L., & Hu, D. (2013). Dechlorination of PCBs in the rhizosphere of switchgrass and poplar. *Environmental Pollution*, 178, 312-321.
- Meijer, S. N., Ockenden, W., Sweetman, A., Breivik, K., Grimalt, J. O., & Jones, K. C. (2003). Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: implications for sources and environmental processes. *Environmental Science & Technology*, 37(4), 667-672.
- Min, X., Luo, X., Deng, F., Shao, P., Wu, X., & Dionysiou, D. D. (2018). Combination of multi-oxidation process and electrolysis for pretreatment of PCB industry wastewater and recovery of highly-purified copper. *Chemical Engineering Journal*, 354, 228-236.

- Monfort, O., Usman, M., Soutrel, I., & Hanna, K. (2019). Ferrate (VI) based chemical oxidation for the remediation of aged PCB contaminated soil: comparison with conventional oxidants and study of limiting factors. *Chemical Engineering Journal*, 355, 109-117.
- Nabavi, B. F., Nikaeen, M., Amin, M. M., & Farrokhzadeh, H. (2013). Biological treatment of polychlorinated biphenyls (PCBs) contaminated transformer oil by anaerobic-aerobic sequencing batch biofilm reactors. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 451-457.
- Ogulmus, R., Tasdemir, Y., & Cindoruk, S. S. (2016). Polychlorinated biphenyl (PCB) levels in soils near wastewater treatment plants and landfills/Atıksu arıtma tesisleri ve deponi sahaları yanındaki topraklarda poliklorlu bifenil (PCB) seviyeleri. *Ekoloji*, 25(98), 1.
- Pathiraja, G., Egodawatta, P., Goonetilleke, A., & Te'o, V. S. J. (2019). Solubilization and degradation of polychlorinated biphenyls (PCBs) by naturally occurring facultative anaerobic bacteria. *Science of The Total Environment*, 651, 2197-2207.
- Pedersen, K. B., Lejon, T., Jensen, P. E., & Ottosen, L. M. (2017). Simultaneous electro-dialytic removal of PAH, PCB, TBT and heavy metals from sediments. *Journal of Environmental Management*, 198, 192-202.
- Pham, M. T. N., Anh, H. Q., Nghiem, X. T., Tu, B. M., Dao, T. N., & Nguyen, M. H. (2019). Characterization of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in flue gas from thermal industrial processes in Vietnam: a comprehensive investigation on emission profiles and levels. *Chemosphere*, 225, 238-246.
- Rahuman, M., Pistone, L., Trifirò, F., & Miertus, S. (2000). *Destruction technologies for polychlorinated biphenyls (PCBs)*. Paper presented at the Proceedings of Expert Group Meetings on POPs and Pesticides Contamination.
- Rasmussen, P. W., Schrank, C., & Williams, M. C. (2014). Trends of PCB concentrations in Lake Michigan coho and chinook salmon, 1975–2010. *Journal of Great Lakes Research*, 40(3), 748-754.
- Reddy, A. V. B., Moniruzzaman, M., & Aminabhavi, T. M. (2018). Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the environment: Recent updates on sampling, pretreatment, cleanup technologies and their analysis. *Chemical Engineering Journal*. 358, 1186-1207.
- Reemtsma, T., Berger, U., Arp, H. P. H., Gallard, H., Knepper, T. P., Neumann, M., Voogt, P. d. (2016). Mind the gap: persistent and mobile organic compounds-water contaminants that slip through. *ACS Publications*, 50(19), 10308-10315.
- Schlegel, R. (1988). Rotary incineration for low emissions. *Mod. Power. Systems*, 8, 23.

- Seok, J., Seok, J., & Hwang, K. Y. (2005). Thermo-chemical destruction of polychlorinated biphenyls (PCBs) in waste insulating oil. *Journal of Hazardous Materials*, 124(1-3), 133-138.
- Simion, A. M., Miyata, H., Kakeda, M., Egashira, N., Mitoma, Y., & Simion, C. (2013). Direct and complete cleansing of transformer oil contaminated by PCBs. *Separation and Purification Technology*, 103, 267-272.
- Ssebugere, P., Sillanpää, M., Matovu, H., & Mubiru, E. (2019). Human and environmental exposure to PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in Africa: a review. *Chemosphere*, 223, 483-493.
- Stella, T., Covino, S., Čvančarová, M., Filipová, A., Petruccioli, M., D'Annibale, A., & Cajthaml, T. (2017). Bioremediation of long-term PCB-contaminated soil by white-rot fungi. *Journal of Hazardous Materials*, 324, 701-710.
- Su, G., Huang, L., Shi, R., Liu, Y., Lu, H., Zhao, Y., Yang, F., Gao, L., & Zheng, M. (2016). Thermal dechlorination of PCB-209 over Ca species-doped Fe₂O₃. *Chemosphere*, 144, 81-90.
- Subramanian, M.S. (2019) Environmental Chemistry and Analysis: Module 7.5 Chemical methods of treatment of hazardous wastes Courses: Indian Institute of Technology Madras. https://nptel.ac.in/courses/122106030/Pdfs/7_5.pdf. (Accessed Date: 15.02.2019).
- Sun, Y., Liu, X., Kainuma, M., Wang, W., Takaoka, M., & Takeda, N. (2015). Dechlorination of polychlorinated biphenyls by iron and its oxides. *Chemosphere*, 137, 78-86.
- Tang, N. H., & Myers, T. E. (2002). PCB removal from contaminated dredged material. *Chemosphere*, 46(3), 477-484.
- Terzaghi, E., Morselli, M., Zanardini, E., Morosini, C., Raspa, G., & Di Guardo, A. (2018). Improving the SoilPlusVeg model to evaluate rhizoremediation and PCB fate in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 241, 1138-1145.
- Tian, Y., Boulangé-Lecomte, C., Benamar, A., Giusti-Petrucciani, N., Duflot, A., Olivier, S., Frederick, C., Forget-Leray, J., & Portet-Koltalo, F. (2017). Application of a crustacean bioassay to evaluate a multi-contaminated (metal, PAH, PCB) harbor sediment before and after electrokinetic remediation using eco-friendly enhancing agents. *Science of The Total Environment*, 607, 944-953.
- Trinh, M. M., Kuo, C. H., & Chang, M. B. (2019). Characterization of PCDD/Fs and dl-PCBs emission from combustion of PCB-containing oil in a fluidized-bed incinerator. *Chemosphere*, 225, 35-42.
- UNEP. (2015). Expert Meeting on the Effectiveness Evaluation of Implementation of the Stockholm Convention for PCB and Sixth Meeting of the Advisory Committee of the PCB Elimination Network (PEN) (Meeting Report). Available from Secretariat of the PEN Retrieved 12.03.2019, from UNEP

Chemicals and Waste Branch, DTIE <https://www.unenvironment.org/explore-topics/chemicals-waste>.

- UNEP. (2019). PCB Stocks. Retrieved from <http://app.mapx.org/> (Accessed Date: 20.04.2019).
- Wang, W., Bai, J., Zhang, G., Jia, J., Wang, X., Liu, X., & Cui, B. (2019). Occurrence, sources and ecotoxicological risks of polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediment cores from urban, rural and reclamation-affected rivers of the Pearl River Delta, China. *Chemosphere*, 218, 359-367.
- Xu, D., Wang, S., Tang, X., Gong, Y., Guo, Y., Wang, Y., & Zhang, J. (2012). Design of the first pilot scale plant of China for supercritical water oxidation of sewage sludge. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(2), 288-297.
- Xu, Y., Tian, C., Wang, X., Ma, J., Tang, J., Chen, Y., Zhang, G. (2018). An improved inventory of polychlorinated biphenyls in China: A case study on PCB-153. *Atmospheric Environment*, 183, 40-48.
- Yang, J., Qadeer, A., Liu, M., Zhu, J.-M., Huang, Y.-P., Du, W.-N., & Wei, X.-Y. (2019). Occurrence, source, and partition of PAHs, PCBs, and OCPs in the multiphase system of an urban lake, Shanghai. *Applied Geochemistry*.106, 17-25.
- Zullo, F. M., Liu, M., Zou, S., & Yestrebeksky, C. L. (2017). Mechanistic and computational studies of PCB 151 dechlorination by zero valent magnesium for field remediation optimization. *Journal of Hazardous Materials*, 337, 55-61.



Bölüm 7

ENDÜSTRİ 4.0 – DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ

Mustafa KIRMAN¹

¹ Öğr. Gör. Mustafa KIRMAN, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Manisa Teknik Bilimler MYO, Şehit Prof. Dr. İlhan Varank Kampüsü 45140. Yunusemre / Manisa

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0 süreci tüm dünyayı olduğu gibi bizim ülkemizi de derinden etkileyebilecek bir dönüşüm içerisindedir. Bu sürece uyum sağlamak firmalarımız adına zorunlu bir hal almıştır. Endüstri 4.0 devrimini aşağıdaki 3 madde ile açıklamak mümkündür (Zihni & Ümit, 2017).

- a) **Hız:** Önceki devrimler gibi doğrusal değil üstel bir hızla gerçekleşmiştir. Bu hız sürekli gelişen teknolojilerin daha üstün yetenekli yeni teknolojileri doğurmasından kaynaklanmaktadır.
- b) **Genişlik ve Derinlik:** Endüstri 4.0 gelişirken dijital teknolojiyi temel almıştır. Bu da hızlı teknolojik değişimler ve donanımların gelişmesine ivme kazandırmıştır. Bu durum kuşaklar arasındaki farkın daha fazla derinleşmesine sebep olmuştur.

Sistem Etkisi: Endüstri 4.0 sonucunda, nesnelerin birbirine bağlanabildiği bir ağ sistemi oluşmaktadır ve bu da tüm dünyayı içerisine alan bir dönüşümü kapsamaktadır (Zihni & Ümit, 2017).

2. SANAYİ DEVRİMLERİ

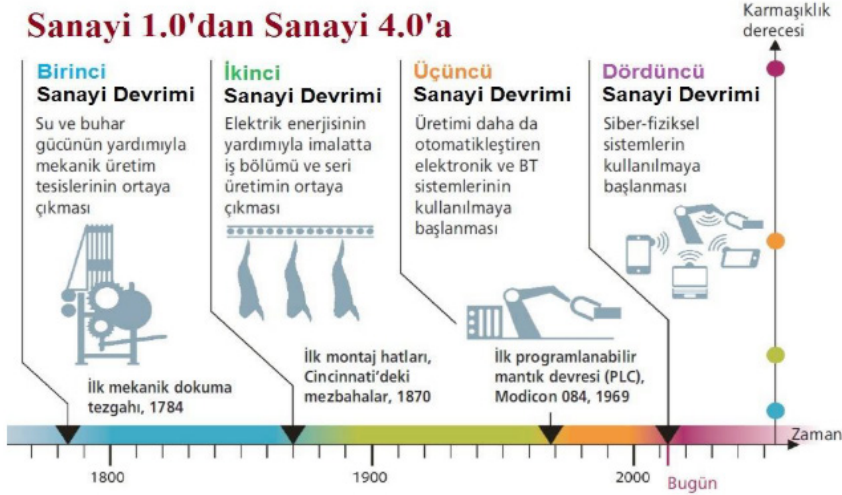
Sanayi devrimi aslında bize kökten değişikliği anlatmaktadır. Eğer bu kökten değişiklik toplumun yapısını-yaşayışını etkilemişse, toplumun yaşamında önemli rolü olan yapıların hızlı ve geniş bir kapsamlı şekilde etkilendiğini söyleyebiliriz. Bu açıdan baktığımızda Endüstri 4.0 sürecine gelene kadar yaşanan evrimleşme sürecinin incelenmesi, gelinek noktayı anlamak adına önem arz etmektedir.

Birinci Sanayi Devriminden önceki dünya ekonomisi, tarım ve insan gücüne dayalı olarak oluşturulmuştur. James Watt, 1764-1782 yıllarında Newcomen'in atmosferik buhar makinesini geliştirerek ticari olarak kullanılacak duruma getirmiştir. Bununla birlikte makineyle üretimin ön plana çıktığı Birinci Sanayi Devrimi başlamıştır. Bundan dolayı bu çağa Buhar Çağı da denilmektedir. İngiltere'den başlayan Birinci sanayi Devrimi ilk önce Avrupa'ya oradan da tüm dünyaya yayılmıştır (Bulut & Akçacı, 2017; Dengiz, 2017; Günay, 2002).

19. yüzyılın ikinci yarısında sanayi alanına katkı sağlayacak birtakım gelişmeler olmuştur. Bunlar; içten yanmalı motor, elektrik motoru, elektrik ampulü, telsiz telefon gibi icatlardır. İcatların bu şekilde hızlanmasına paralel olarak dünyada sanayilerin dayandığı ekonomik sistem de tekrar değişmeye başlamıştır. Bundan sonraki süreç de İkinci Sanayi Devrimi olarak adlandırılmıştır (Günay, 2002).

İkinci Sanayi devrimi ile birlikte verimlilik artışı sağlanmış, seri üretime geçiş olmuştur. Seri üretimle birlikte otomobil fiyatlarında düşüş yaşanmıştır ve buna bağlı olarak Amerika’da esnek üretime geçilmiştir. Bu gelişmelerin sonucu olarak teknoloji ve otomasyon ağırlıklı üretimin yapıldığı, bilgisayar destekli entegre sistemlerle çalışılan üçüncü sanayi devriminin temelleri atılmıştır. Üçüncü Sanayi Devriminde üretime bilgisayar dahil edildiği için, bu süreç “dijital devrim” adı da verilmiştir. Sanayi toplumundan bilgi toplumuna geçiş yaşanmıştır (Genç, 2018). Bu üç devrim verimliliğin artırılmasına katkı sağlamıştır. Ancak sadece verimliliği arttırmak, firmaları aralarındaki rekabette ön plana atması için etkili olamamıştır. Bu durum da firmaları arayışa yönlendirmiştir. Firmalar ihtiyaçlarının disiplinler arası çalışma olduğunu keşfetmiş ve internet aracılığıyla üretime dahil olan tüm nesnelerin iletişim içinde olduğu Endüstri 4.0 ortaya çıkmıştır (Lu, 2017; Yıldız, 2018).

Diğer adıyla yeni sanayi devrimi olarak da adlandırılan Endüstri 4.0 ilk olarak 2011 yılında Hannover fuarında ortaya çıkmış bir kavramdır (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016). Almanya hükümeti bu konu hakkında bir ekip oluşturmuştur. Bir yıllık çalışma neticesinde hem Almanya Hükümetine hem de Hannover fuarında çalışmalar rapor edilmiştir. Bu raporda bu yeni sanayi devriminin, 3. Sanayi devriminin bir devamı olmadığı, 4. Sanayi devriminin gerçekleştiği vurgulanmıştır. (Bulut & Akçacı, 2017). Şekil 1.’de sanayi devrimlerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Sanayi devrimlerinin şematik gösterimi (Genç, 2018)

3. ENDÜSTRİ 4.0 İLE YAŞANAN BAZI TEKNOLOJİK GELİŞMELER

Bu bölümde Endüstri 4.0 ile birlikte paralel olarak gelişen teknolojik gelişmelerin içerisinde önemli görülen teknolojik gelişmelerden bahsedilecektir.

Tablo 1.'de en çok alıntı yapılan dört alan dikkati çekmektedir. Bu nedenle Endüstri 4.0 ile birlikte meydana gelen teknolojik gelişmelerden nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler ve akıllı fabrikalar konularına değinilecektir.

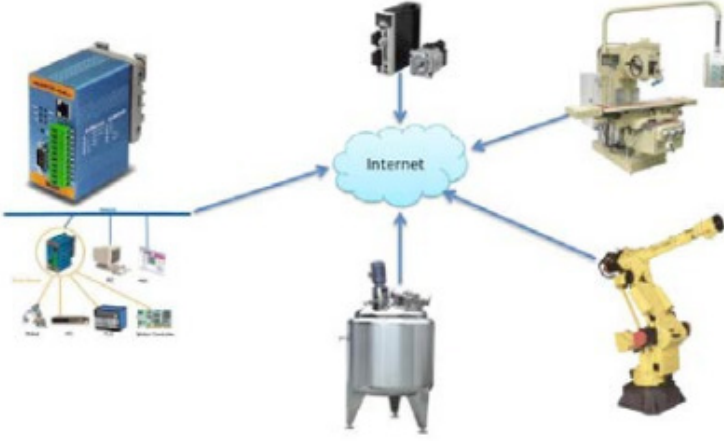
Araştırma Terimi (Grubu)	Araştırma Teriminin Meydana Geldiği Yayın Sayısı
Siber Fiziksel Sistemler	46
Nesnelerin İnterneti	36
Akıllı Fabrika	24
Hizmetlerin İnterneti	19
Akıllı Ürün	10
M2M, Makine-Makine	8
Büyük Veri	7
Bulut	5

Tablo 1. Endüstri 4.0 bileşenlerinin yayın sayısı (Ertuğrul & Deniz, 2018)

3.1. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin İnterneti insan-insan veya insan-bilgisayar etkileşimine gerek duyulmadan yerel bir ağa ya da internete bağlı veri aktarımı yapılmasına olanak sağlayabilen teknolojik bir yapıdır (Bulut & Akçacı, 2017). Nesnelerin İnterneti kavramının önemli ölçüde ekonomik fırsatlar açması beklenmektedir (Hofmann & Rüsch, 2017). Nesnelerin İnterneti ilk olarak İngiliz bir girişimci olan Kevin Ashton tarafından oluşturulmuştur (Witkowski, 2017). Her yerde bulunan sensörler aracılığıyla veri alış verişi sağlanan bir sistemi tanımlamak için formüle edilmiştir. Bu yaklaşımla sadece nesnelerin değil, aynı zamanda veriler, süreçler, insanlar, hayvanlar ve atmosferik olgular da bir değişken olarak ele alınarak bir sistem kurulması gerçekleştirilmiştir (Yıldız, 2018). Nesnelerin İnterneti ile ilgili bazı örnekler Şekil 2. 'de görüldüğü gibi; freze makineleri, 3D yazıcılar ve montaj hattı bileşenleri, aktüatörler sensörler, robotlar vb. olarak çoğaltılabilir (Thames & Schaefer, 2016). Güncel hâlâ üzerinde çalışılmakta olan bir örnek de kargo takip sistemiyle ilgilidir. Kargo takibi insan temelli bir sistem üzerine kuruludur. Fakat Nesnelerin İnterneti sistemi yaygınlaştığında insan müdahalesine gerek kalmadan kargolar teslim edilebilir hale gelmesi beklenmektedir. Bununla

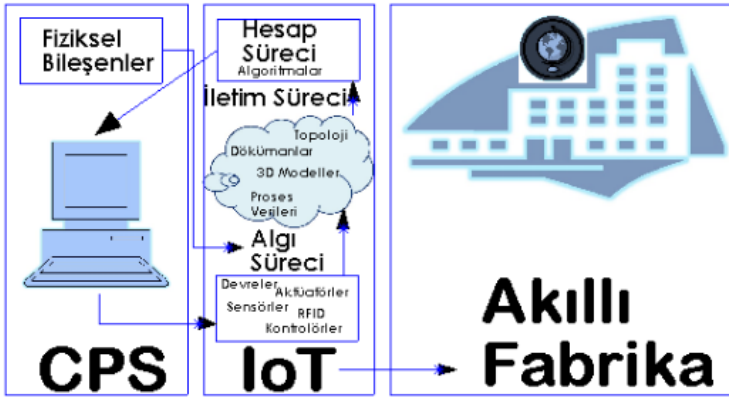
birlikte 2020 yılında 14 milyar cihazın birbiri ile iletişim halinde olması yani etkileşime geçmesi planlar dahilindedir (Bulut & Akçacı, 2017).



Şekil 2. Nesnelerin İnterneti (Thames & Schaefer, 2016)

3.2. Siber Fiziksel Sistemler (CPS)

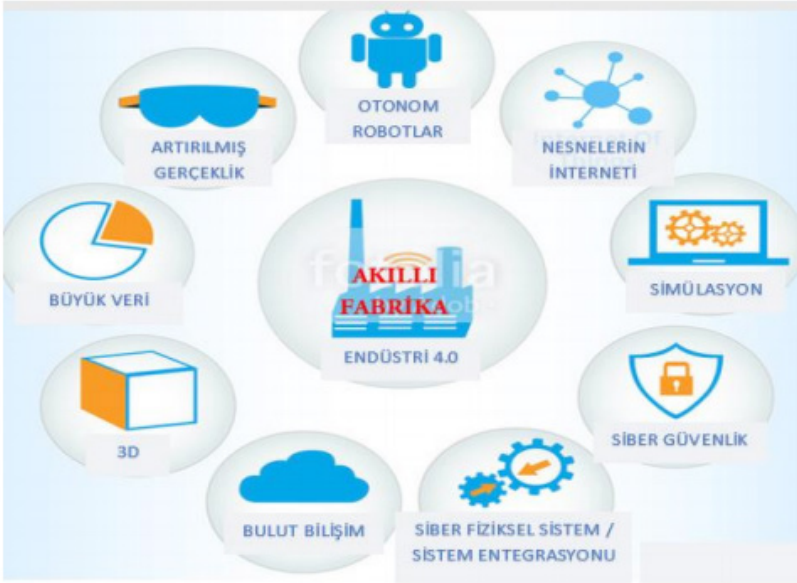
Siber fiziksel sistemler gerçek ve sanal dünyanın birleştirilmesini sağlamaktadır. Bu sistemlerin gelişim sürecinin 3 aşamada olduğu bilinmektedir. Literatürde ilk kez siber fiziksel sistemlerin radyo frekans algılayıcıları gibi tanımlama teknolojileri şeklinde ortaya çıktığı, daha sonra yaşanan gelişmelerle beraber aktüatör ve sensörlerin kullanılmaya başlandığı, en son olarak da günümüze geldiğimizde siber fiziksel sistemlerin ağlarla birbirine bağlı çoklu sensörler ve aktüatörlerle bilginin depolanıp analiz edilebilme yeteneğine sahip olduğu rapor edilmiştir (Çelen, 2017). Şekil 3.'de Endüstri 4.0 bileşenlerinin etkileşimi verilmiştir.



Şekil 3. Endüstri 4.0 bileşenlerinin etkileşimi (Çelen, 2017)

3.3. Akıllı Fabrikalar

Siber-Fiziksel sistemler ve Nesnelerin İnterneti gelişmelerinin birbirine entegre olması neticesinde Endüstri 4.0'ın temel bileşeni olan “Akıllı Fabrikalar” gündeme gelmiştir. Akıllı fabrika, fiziksel ve sanal yoldan gelen bilgilerle, insanlara ve makinelere gerçekleştirmekte oldukları görevlerde yardımcı olmaktadır (Çelen, 2017; Malone, 1999). Genel olarak Endüstri 4.0 iş parçalarının, makinelerin ve sistemlerin akıllı ağlar aracılığıyla birbirine bağlanması ve bunların eş zamanlı olarak kontrol edilebilmesi olarak tanımlanabilir. Seri üretimde bir azalma gerçekleşmeden makinelerin hasar durumları tespit edilebilmesi, makinelerin kendiliğinden organize edilen sistemler aracılığıyla kendi bakımlarını gerçekleştirebilmeleri gibi önemli etkiler sağlayabilmesi açısından önem arz etmektedir (Çelen, 2017). Şekil 4.'de Akıllı Fabrika bileşenleri verilmiştir.



Şekil 4. Akıllı fabrika bileşenleri(Bakan & Şekkeli, 2018)

Akıllı farikaları daha iyi anlamak adına bazı sistemlere de değinilmesi gerekmektedir. Bunları kısa başlıklar altında açıklanacaktır.

Arttırılmış Gerçeklik ve **simülasyon** teknikleri sayesinde üretim süreciyle birlikte ürünlerin de sanal ortamda birebir oluşturulması söz konusudur. Bu sayede farklı senaryolar oluşturulabilmektedir. Bu sayede problemler gerçekleşmeden çözülebilmektedir (Bakan & Şekkeli, 2018). **Siber güvenlik** kavramı da akıllı fabrikalar için önemli bir role sahiptir. Siber güvenlik sistemiyle kuruluşun ve kuruluş içindeki kullanıcıların

siber ortamda olabilecek risklere karşı korunmasını amaçlanmaktadır (Von Solms & Van Niekerk, 2013). **Bulut bilişim teknolojisi** sayesinde depolama ve bilişime dair sınırlar ortadan kalkmıştır. Sadece lokal seviyede değil evrensel seviyede üretilen ve depo edilen bütün datalar **Büyük Veri’yi** oluşturur. Büyük veri; işlenmiş veya ham verilerdir. Bu verilerin değerlendirilmesi sonucunda daha gerçekçi stratejiler oluşturarak, daha gerçekçi kararlar alma imkanı sağlanmış olur. Bulut bilişim ve büyük veriden sonra **yapay zeka** süreci gelmektedir. Buradaki amaç bu toplanan verileri kullanarak üretim alanında görev yapan cihazların, inisiyatif alıp tavsiyelerde bulunabilecekleri duruma gelmeleri öngörülmektedir (Bakan & Şekkeli, 2018).

4. SONUÇ

Hızla globalleşen dünyada gelişen koşullara uyum sağlayabilmek, yeniden şekillenen yeni dünya düzeni içerisinde konumumuzu belirleyebilmek için Endüstri 4.0 kavramını toplumca benimsememiz gerekmektedir. Bu süreçte toplumun da yerini alabilmesi için, gelişen teknolojiye toplumun ayak uydurabilmesi için önlemler alınması gerekmektedir. Alınması gereken önlemlerin içinde bilişim ve teknoloji temelli derslerin müfredata daha çok geçmesi, ancak uygulamaya ağırlık verilmesi gerekmektedir. İleriki dönemlerde teknolojinin de ülkemizde daha çok kullanılmasıyla birlikte beyaz yaka ihtiyacı daha fazla artacaktır. Bundan dolayı üniversitelerde yeni bölümler açılarak yeni gelişen alanlarda öngörülen personel ihtiyacı karşılanabilir.

KAYNAKLAR

- Bakan, İ., & Şekkeli, Z. H. (2018). Akıllı fabrikalar. *Journal of Life Economics*, 5(4), 203–220. <https://doi.org/10.15637/jlecon.270>
- Bulut, E., & Akçacı, T. (2017). Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında Türkiye analizi. *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 4(7), 55–77. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/assam/issue/31544/345689>
- Çelen, S. (2017). Sanayi 4.0 ve simülasyon. *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 1(1), 9–26.
- Dengiz, O. (2017). Endüstri 4.0 : Üretimde kavram ve algı devrimi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 15(1), 38–45. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/matim/issue/36791/419135>
- Ertuğrul, İ., & Deniz, G. (2018). 4.0 Dünyası: Pazarlama 4.0 ve Endüstri 4.0. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 143–170. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlissos/issue/38061/420974>
- Genç, S. (2018). Turkey's proceed on industry 4.0. *Sosyoekonomi*, 26(36), 235–243. <https://doi.org/10.17233/sosyoekonomi.2018.02.14>
- Günay, D. (2002). Sanayi ve sanayi tarihi. *Mimar ve Mühendis Dergisi*, (31), 8–14. <https://www.researchgate.net/publication/317662230>
- Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.comind.2017.04.002>
- Lu, Y. (2017, June 1). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, Vol. 6, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Malone, T. W. (1999). Is “empowerment” just a fad? Control, decision-making, and information technology. *BT Technology Journal*, 17(4), 141–144. <https://doi.org/10.1023/A:1009663512936>
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>
- Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-defined cloud manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>
- Von Solms, R., & Van Niekerk, J. (2013). From information security to cyber security. *Computers and Security*, 38, 97–102. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2013.04.004>
- Witkowski, K. (2017). Internet of things, big data, industry 4.0 - innovative solutions in logistics and supply chains management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>

- Yıldız, A. (2018). Industry 4.0 and smart factories. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 546–556. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.321957>
- Zihni, O., & Ümit, S. (2017). Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46(2), 211–223. <https://doi.org/10.5152/iujsb.2017.005>



Bölüm 8

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ

Mustafa KIRMAN¹

¹ Öğr. Gör. Mustafa KIRMAN, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Manisa Teknik Bilimler MYO, Şehit Prof. Dr. İlhan Varank Kampüsü 45140. Yunusemre / Manisa

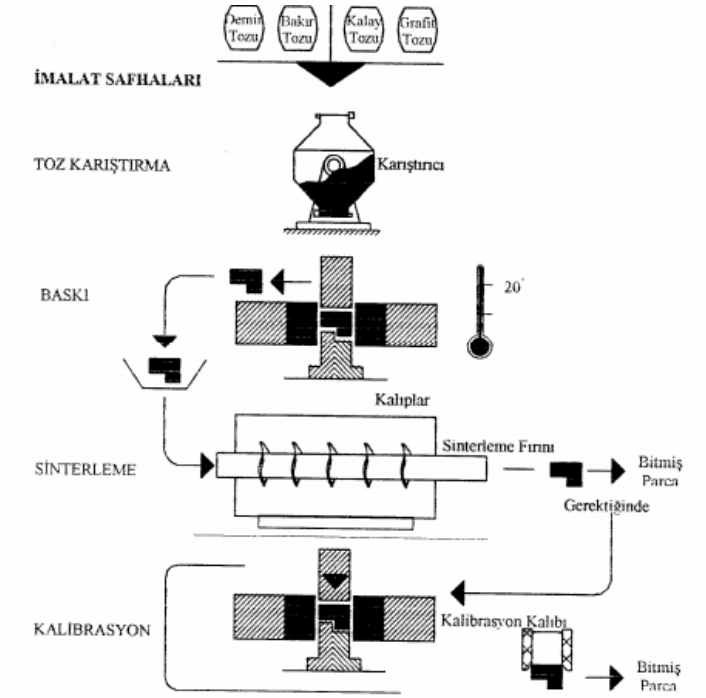
1. GİRİŞ

Toz metalurjisi (TM) yöntemini basitçe tanımlayacak olursak, metal veya seramik malzemelerin çok küçük partiküllerine presleme işlemi uygulanması sonucu, parça haline getirilmesi işlemidir (Yavuz & Güner, 2002). Soğuk preslemeden sonra partikül veya matris ara yüzeyinin mukavemet değerinin artırılması amacıyla sinterleme işlemine tabi tutulur. Sinterlemeden sonra ürün %75-85 yoğunluğa ulaşır. Daha sonraki işlem olarak dövülür, haddelenir veya ekstrüze edilir (Kumdalı, 2015).

Toz metalürjisi yöntemini MÖ 3000’li yıllarda Mısırlılar kullanmıştır (Gökçe, Fındık, & Kurt, 2017). Toz metalürjisi yöntemi tarih boyunca birçok farklı alanda kullanılmış olsa da mühendislik alanında ilk önemli kullanımı 1920 yılında tungsten-karbür kesici takımlarının üretimi ile gerçekleşmiştir. Gerçek anlamda kullanımı ikinci dünya savaşından sonra başlamıştır (Yavuz & Güner, 2002).

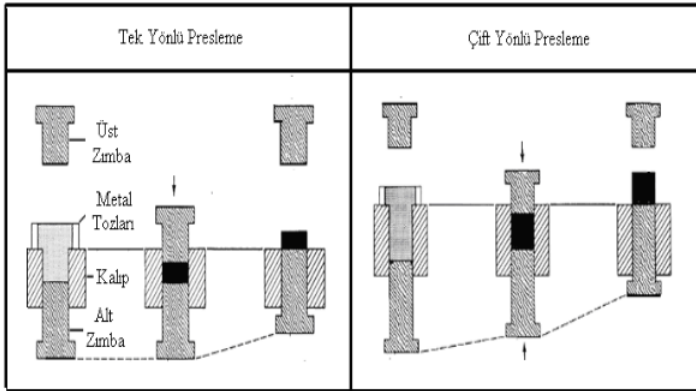
2. TOZ METALURJİSİNİN ÜRETİM AŞAMALARI

Tane boyutlarında homojen bir dağılım elde etmek amacıyla, **kariştirme** işlemine tabi tutulur. Kariştirme esnasında yağlayıcılar ilave edilir. Bu durum preslemeyi kolaylaştırır. Kariştirme işlemin faydalarından biri de segregasyonu önlemesidir (Tan & Zhang, 1998). Segregasyon bir tür karişmama durumudur. Mikroyapının heterojen olması demektir (Karagöz, Ünal, Kahrıman, & Demircan, 2009). Karişimdaki tozların tane boyutları ve şekilleri, ilave edilen katkı maddelerinin miktarı karişım kalitesine önemli ölçüde etki etmektedir. Yağlayıcı ilavesi tozun şekillenmesinde ve numunenin kalıptan kolay çıkmasında önemli bir safhadır. En çok kullanılan yağlayıcılar çinko stearat ve parafindir. Kariştirici olarak bilyalı değirmenler kullanılır (Avşar, 2009; Kumdalı, 2015). Şekil 1.’de toz metalürjisi ile üretim yönteminin genel aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 1. Toz metalürjisi üretim aşamaları(Demirel, 2007)

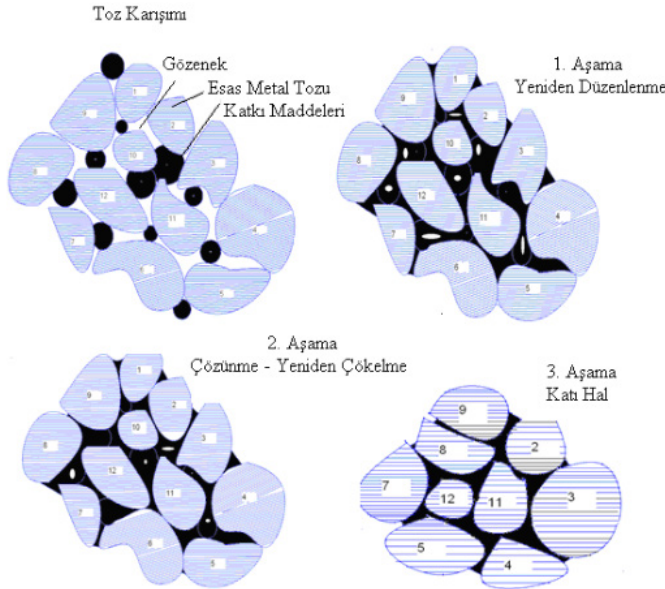
Tozların karıştırılmasından sonra **presleme** işlemine tabi tutulur. Buradaki amaç ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Presleme işlemi; tek etkili presleme, çift etkili presleme, izostatik presleme ve sıcak presleme olarak dörde ayrılabilir (Kumdalı, 2015). Şekil 2.'de tek ve çift yönlü presleme gösterilmiştir.



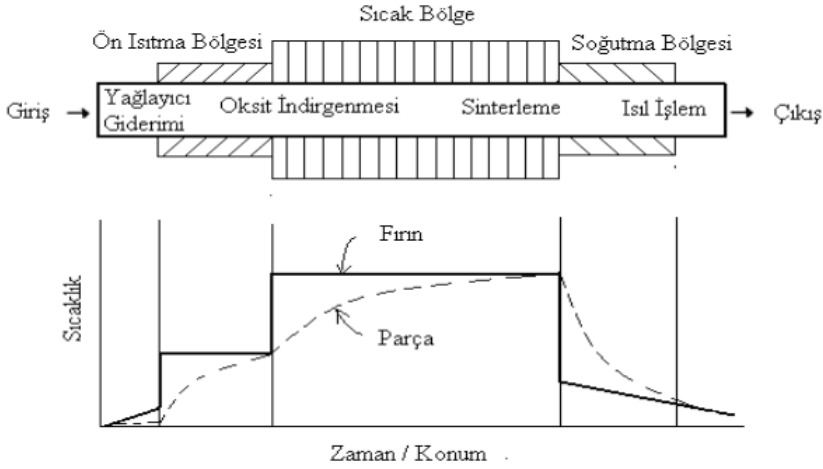
Şekil 2. Tek ve çift yönlü presleme(Avşar, 2009)

Belirli bir basınçtan sonra toz parçacıkları önce elastik sonra da plastik şekil değiştirmeye uğrarlar. Eğer metal tozlarının şekil değiştirme kabiliyetleri yoksa kırılırlar. Sıkıştırmanın sonucunda toz parçacıkları arasındaki adhezyon kuvveti artarak şekil değiştirme yeteneği kalmayan tozlar soğuk kaynak olur. Böylece sıkıştırma işlemi tamamlanmış olur (Kumdalı, 2015).

Presleme aşamasından sonra şekil verilmiş olan toz metal ham parçanın, ergime sıcaklığının yarısından üstündeki bir sıcaklığa ısıtılmasıyla, toz parçacıklarının arasında sıkı bir bağ oluşturulmasına **sinterleme** denir. İki tür sinterleme işlemi bulunmaktadır. Birincisi tek bileşenli sistemlerde görülen, sinterleme sıcaklığının tozların ergime sıcaklığının aşağısında olduğu katı hal sinterlemesidir. İkincisi çok bileşenli sistemlerde görülen, sinterleme sıcaklığının bileşenlerden en az bir tanesinin ergime sıcaklığının üzerinde olduğu sıvı fazlı sinterlemedir. Sıvı fazlı sinterlemenin aşamaları Şekil 3’de verilmiştir. Demir esaslı toz alaşımları için en uygun sinterleme sıcaklığı 1100-1150 °C arasındadır (Avşar, 2009). Sinterleme fırınının kesit halindeki aşamaları Şekil 4.’de verilmiştir.



Şekil 3. Sıvı fazlı sinterlemenin aşamaları (Avşar, 2009)



Şekil 4. Sinterleme fırınının bölgeleri (Avşar, 2009)

Sinterleme işlemi sonrasında isteğe bağlı olarak bazı işlemler uygulanabilir. Bunlar; yapıda oluşan porların doldurulması, tekrar presleme veya sinterleme, yağ emdirme, yüzey sertleştirme, yüzey kaplama ve son işlemler (talaş kaldırma, montaj vb.)(Kumdalı, 2015). Şekil 5.'de çeşitli üretim teknikleriyle üretilmiş toz şekilleri verilmiştir.



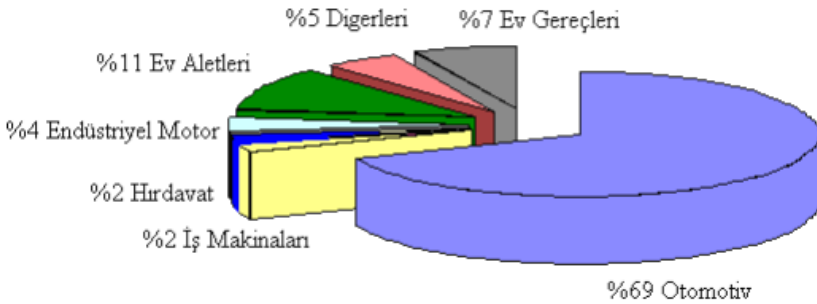
Şekil 5. Çeşitli üretim teknikleriyle üretilmiş toz şekilleri (Karagöz, Yamanoğlu, & Atapek, 2009)

3. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJLARI

Gelişen endüstri ile birlikte hem zamandan hem hammaddeden tasarruf etme açısından talaşlı işleme gereksinim duymadan tek aşamada üretimin gerçekleştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu aşamada döküm, plastik şekil verme gibi konvansiyonel üretim tekniklerine alternatif olarak toz metalürjisi yöntemiyle üretim tekniği, avantajlı bir yöntem olarak var olan üretim yöntemleri arasında yerini almaktadır. Özellikle kompleks şekilli, yüksek toleranslı, ergitilerek şekillendirilmesi zor parçaların imalatında avantaj sağlamaktadır (Karagöz, Yamanoğlu & Atapek, 2009; Orhan, Gür, & Çaligülü, 2007). TM ile seri üretim esnasında üretimde kullanılan malzemenin yaklaşık olarak %97'sinin kullanıldığı rapor edilmiştir (Erden, 2017).

4. TOZ METALURJİSİNİN UYGULAMA ALANLARI

Toz metalürjisi yöntemi ile parça üretimi, bilinen geleneksel üretim yöntemlerine alternatif olmaktadır. Örneğin alüminyum ve alaşımları, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, düşük yoğunluğu, kolay işlenebilmesi ve yüksek dayanıma sahip olmasından dolayı yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Ayrıca alüminyum ve alaşımları bazı korozi ortamlarda bozulmaya karşı iyi mekanik direnç göstermektedir. Özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır (Gökmeşe & Bostan, 2014; Orhan et al., 2007). Daha genel anlamda bakacak olursak TM yöntemi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler, süper alaşımlar, takım çelikleri, alüminyum ve titanyum alaşımları, nükleer malzemeler, bakır ve bakır alaşımları ve sementler kullanım alanlarına örnek verilebilir (Erden, 2017). Şekil 6.'da toz metal parça kullanımının sektörel dağılımı verilmiştir.



Şekil 6. Toz metal parça kullanımının sektörel dağılımı(Avşar, 2009)

5. SONUÇ

Günümüz koşullarında rekabetçi piyasada, üretimde zamandan ve hammaddeden kazanç firmaların rakipleri mücadele edebilmesi adına çok önemli hale gelmiştir. Toz metalürjisi yöntemiyle diğer konvansiyonel üretim yöntemlerine ihtiyaç duymadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Maliyeti ön planda tutarak düşünecek olursak, diğer yöntemlerde üretilen parçalara oranla daha pürüzsüz bir yüzey ortaya çıktığı için ikincil işlem gerektirmemesi avantaj sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Avşar, E. (2009). Demir esaslı toz metal parçaların sinterleme ile birleştirilmesi (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)).
- Demirel, M. (2007). *Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen metal matrisli kompozitlerde Ni_3Al metalleri arası bileşik takviyesinin aşınma davranışına etkilerinin araştırılması* (Fırat Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)). <https://openaccess.firat.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11508/16728/202188.pdf?sequence=1>
- Erden, M. A. (2017). Effect of pressing pressure on microstructure and mechanical properties of non-alloyed steels produced by powder metallurgy method. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 257–264.
- Gökçe, A., Fındık, F., & Kurt, A. O. (2017). Alüminyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri - Powder metallurgy processing of aluminum alloys. *Engineer&Machinery*, 58(686), 21–47.
- Gökmeşe, H., & Bostan, B. (2014). AA2014 Alaşımında presleme ve sinterlemenin gözenek morfolojisi ve mikroyapısal özelliklere etkileri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 1(1), 1–8.
- Karagöz, Ş., Ünal, H. İ., Kahrıman, F., & Demircan, F. G. (2009). Çeliklerde segregasyon ve etkileri-Segregation in steels and their influence. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*. Karabük.
- Karagöz, Ş., Yamanoğlu, R., & Atapek, Ş. H. (2009). Metalik toz işleme teknolojisi ve prosesleme kademeleri açısından parametrik ilişkiler. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 77–87. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf/issue/30159/325474>
- Kumdalı, F. (2015). *Alüminyum matrisli B4C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi*. (Yıldız Teknik Üniversitesi (Yüksek Lisans Tezi)).
- Orhan, A., Gür, A. K., & Çaligülü, U. (2007). Al matrisli B4C takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(4), 8–13.
- Tan, M. J., & Zhang, X. (1998). Powder metal matrix composites: Selection and processing. *Materials Science and Engineering A*, 244(1), 80–85. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(97\)00829-0](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(97)00829-0)
- Yavuz, N., & Güner, R. (2002). Demir esaslı toz metal parçaların elektrik direnç kaynağında optimum kaynak şartlarının belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1), 221–228.



Bölüm 9

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE BULUNAN AĞIR METALLERİN İNSAN VE ÇEVRE SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Bekir GÜNEY¹, Süleyman GÖKMEN²

1 Dr. Öğr. Üyesi Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, guneyb@kmu.edu.tr

2 Dr. Öğr. Üyesi Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, sugokmen42@hotmail.com

Giriş

Ağır metaller yer kabuğunun doğal bileşenleridir. Bununla birlikte, insanoğlu aktiviteleri çevrede bulunan jeokimyasal döngüleri büyük ölçüde değiştirmiştir (Li, Ma, van der Kuijp, Yuan, & Huang, 2014). Ağır metal terimi fiziksel özellik açısından atom numarası 20' den büyük, özgül ağırlığı 5 g/cm^3 ten daha yüksek olan metaller için kullanılır (Khan et al., 2015). İlerleyen teknoloji sayesinde metaller ve ağır metallerin hayatımızdaki yeri artmıştır. Metallerin hayat içerisindeki denge düzeninde kimyasal bileşimlerde bulunması ihtiyaçtır. Ancak insan faaliyetleri ile bozulan denge sayesinde konsantrasyonlar değişmektedir. Ortaya çıkan bu sıra dışı olay öncelikle insan sağlığını etkilemektedir.

Ağır metaller, kimyasal reaksiyonlarda elektron salma eğilimi gösteren ve basit katyonlar oluşturan bir grup elementtir. Katı ve sıvı hallerde, iyi ısı ve elektrik iletkenliği ile karakterize edilen, parlak ve opak elementlerdir. Yüksek erime ve kaynama noktalarına sahiptirler. Bu gruba kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, mangan, nikel, civa ve çinko olmak üzere 60' tan fazla metal dahildir (Rzymiski, Klimaszyk, Niedzielski, & Poniedzialek, 2013).

Ağır metaller tıp dilinde mikro mineraller veya iz element olarak da tanımlanır ve metabolizmada birçok enzimin kofaktörü olarak faaliyet gösterirler. Bu enzimler özellikle oksijenin taşınmasında, sinir uyarımlarının iletilmesinde, immün sistemde, büyüme ve gelişmede oldukça önemli fonksiyonlara sahiptirler (Özturan & ATASEVER; Tarakçı & Küçüköner, 2003).

Bu elementler önemli çevre kirleticiler sınıfında olduklarından, ağır metal kirliliği, çevresel, ekolojik ve ekonomik alanda ciddi sonuçlar ortaya çıkarırlar.(Rezania, Taib, Din, Dahalan, & Kamyab, 2016). Dünyada, özellikle tarım arazilerinde ağır metal kirliliği artmaktadır (J. Yang, Tang, Wang, & Wu, 2016). Endüstriyel olarak kirletilmiş suların besin üretiminde sürekli kullanılması, insan sağlığı için daha büyük bir risk oluşturabilir (Rose, Fernandes, Mortimer, & Baskaran, 2015). Benzer şekilde, ağır metallerle kirlenmiş ürünlerin tüketimi, insan sağlığı için önemli risklere neden olmaktadır (Islam et al., 2017). Gıdalar yoluyla güvenli olmayan ağır metal seviyelerinin uzun süre alınması, insanlarda birçok biyolojik ve biyokimyasal sistemin bozulmasına neden olabilir (Balkhair & Ashraf, 2016).

Gıda zincirlerinde hayati öneme sahip (esansiyel) olmayan ağır metallerin (trofik) beslenme sonucu insan vücuduna transferi, bu kirletici maddelerle ilişkili besinlerin geçit görevi görmesiyle olur ve sonuç olarak insan sağlığı için tehlikeli risk oluşturur. Ağır metallerin topraktan bitkilere taşınması, toksik ağır metallerin ve metaloitlerin çevreden gıda

zincirlerine girmesi için çok önemli bir yoldur. Bu durum insanın toprak metal kirliliğine maruz kalmasının ana sebebidir (H. Ali, Khan, & Journal, 2018; Castro-González, Méndez-Armenta, & pharmacology, 2008; Cui et al., 2004).

Tarımsal alanların lağım atık suyu ile sulanması, endüstriyel atıklar, kaynak ve egzoz emisyonları topraklarda ağır metal birikmesi ve daha sonra tahıl ve sebzeler gibi gıda ürünlerine ve süte aktarılmalari ile sonuçlanmaktadır (Güney, 2019; A. Singh, Sharma, Agrawal, Marshall, & Toxicology, 2010).

Süt ürünleri son yıllarda tüketimlerinin artmasından bu yana çok önemli bir insan besinidir. Bu ürünler aynı zamanda iyi bir kalsiyum kaynağıdır ve biyolojik olarak ayrışabilirliği yüksektir. Metaller ve metaloitler gibi birçok tehlikeli element veya bileşik besin zinciri boyunca birikir. Ayrıca, çevredeki konsantrasyonları kentsel, tarımsal ve endüstriyel emisyonların artmasıyla artar. Bazı metal kirleticilerin, özellikle de Cd ve Pb'nin hemen hemen her yerde bulunması, besin zincirine girmelerini kolaylaştırır ve böylece insanlar ve hayvanlar üzerinde toksik etkileri olma ihtimalini artırır (Birghila, Dobrinas, Stanciu, Soceanu, & Journal, 2008).

Bu çalışma süt ve süt ürünlerinde bulunan ağır metallerin insan ve çevre sağlığına etkilerini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

2. Ağır Metaller

Ağır metaller grubunda, hem canlı organizmalar için gerekli elementler (Mikro elementler) hem de bitkilere, hayvanlara ve insanlara fizyolojik rolü bilinmeyen etkisiz elementler vardır. Canlı organizmalarda mikro elementler olarak görev yapan metaller genellikle her bir tür için kesin olarak tespit edilmiş olan eser miktarda bulunur. Hem eksiklikleri hem de fazlalıkları canlı organizmaları kötü şekilde etkiler (Lane & Morel, 2000; Rzymiski et al., 2013). Demir, kobalt, bakır, manganez, molibden ve çinko gibi metallerin insan vücudunda bulunması gerekmektedir (Lane & Morel, 2000; Sauliutė, Svecevičius, & Ecology, 2015). Minerallerin vücuttaki görevleri ile eksikliğinde görülebilecek bazı sağlık etkileri Tablo 1'de verilmiştir (Berdanier, Dwyer, & Feldman, 2007; Lutz, Mazur, & Litch, 2014; Özturan & ATASEVER; Szefer & Nriagu, 2006). Aşırı seviyeler organizmaya zarar verebilir. Kadmiyum, civa, plütonyum ve kurşun gibi diğer ağır metaller organizmalar üzerinde hayati öneme sahip veya faydalı bir etkisi bulunmayan toksik metallerdir (Uriu-Adams & Keen, 2005). Cu ve Zn elementleri doğadaki en toksik ağır metaller arasında sayılır (Burba, 1999; Gao et al., 2013). Cu'ya uzun süre maruz kalmanın insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır (Afrin, Mia, Ahsan, & Akbor, 2015).

Tablo 1. Bazı minerallerin insan vücudundaki fonksiyonları ve eksikliğinde belirtiler

Element	Görevi	Eksikliğinde belirtileri
Ca	Kemik ve diş oluşumu, hücre permeabilitesi, sinir uyarımı, kas kasilma ve gevşemesi, enzim aktivasyonu, kan pıhtılaşması	Büyüme geriliği, raşitizm, tetani, osteoporozis, nörolojik bozukluklar
Mg	Sinir impulslarının geçişi ve kasilma sonrası iskelet kaslarının gevşemesi için gerekli, kemik ve diş komponenti, karbonhidrat, yağ, protein metabolizması ve protein sentezi enzimlerini aktive eder, ADP'nin ATP'ye dönüşümü için fosfat ekleme enzimini aktive eder, kastaki glikojenden enerji salınımına yardım eder, birçok enzim aktivasyonunda, sinir uyarımında, kas kontraksiyonunda görev alır.	Protein-enerji yönünden eksik ve yanlış beslenmede Mg eksikliği görülebilir. Fakat eksiklik Mg atılımının artması veya emiliminin azalmasıyla olur. Mg'un aşırı atılımı kusma, ishal veya diüretik tedavi sonucu olabilir. Mg emiliminin azalması ise kronik alkolizmden olabilir. Merkezi sinir sistemi aktivitesi bozukluğu, kas uyarımlarında artış, alkolizmde böbrek yetmezliği, titreme nöbetleri, mide bulantısı, kusma, musküler kramp, konvülziyon, psikoz.
P	Kemik ve diş formasyonu, ATP ve ADP için enerji metabolizması komponenti, DNA ve RNA'nın bileşiminde yer alır, fosfolipidlerin önemli minerali, asit-baz dengesi, enzim formasyonu.	Büyüme geriliği, raşitizm, musküler zafiyet, kemik ağrıları, iştah kaybı
K	Ozmotik basınç, elektrolit denge, asit-baz dengesi, sinir uyarımları, kalp kası ve diğer kasların kontraksiyonu, protein sentezi, glikozun glikojene dönüşümü.	Bulantı, kusma, ishal, musküler zaafiyet, kalpte ritim bozuklukları, nörolojik bozukluklar, alkalozis, yorgunluk, kas zayıflığı, düzensiz nabız, refleks azalması.
Na	Ozmotik basınç, elektrolit denge, asit-baz dengesi, sinir ve kas membranları boyunca elektrokimyasal impuls geçişi.	Bulantı, kusma, baş dönmesi, yorgunluk, aşırı terleme, böbrek bozuklukları, kramp, baş ağrısı, iştah kaybı, diyare.
S	Hücre sitoplazmasının bileşenidir. Özellikle saç, deri, kas, kemik ve tırnaklarda bulunabilir. Tiamin, biotin, insülin ve heparinin bileşenidir. Toksinlerle birleşerek onları nötralize eder. Derinin elastikiyetini sürdürür. Sülfür bağları kas, kemik ve deri şekillerinin sürdürülmesini sağlar. Eklemlerde bağ oluşumunu sağlar.	Eklemler ağrısı, sivilce, arthrit, tırnaklar ve saçlarda kırılabilirlik, konvülsiyonlar, depresyon, hafıza kaybı, gastrointestinal sorunlar, kızarıklıklar, yara iyileşmesinde gecikme. Obesite ve kalp hastalıkları oluşumuna katkı sağlar.
Cr	Lipit metabolizmasında rol oynar, diabetin tedavisinde kullanılır.	Büyüme problemi, glikoz intoleransı, kanda kolesterol kaybı.

Co	Vit B ₁₂ bileşenidir. Alyuvar yapımında görev alır. İmmunitede rol oynar.	Nadiren görülür ama eksikliğinde Vit B ₁₂ kaybindan dolayı pernisiyöz anemi ve hematolojik ve nörolojik semptomlar görülür.
Cu	Hemoglobin ve kollagen formasyonunda rol alır ve demirin kullanımı için gereklidir. Kan pıhtılaşmasında görev alır. Glikozu okside ederek enerji salınımına yardım eder. Melanin oluşumu ve sinir sisteminde myelin kılıfların devamı için gereklidir.	Anemi, büyüme ve gelişmede azalma, hiperkolesteremi (kanda kolesterol fazlalığı), kalpte ritim bozukluğu, kalp fonksiyonlarında bozulma, damarlarda yırtılma.
Fe	Hemoglobin ve miyogloblin formasyonunda bulunur, birçok enzimin (örn., glikoz oksidasyonu sağlayan enzim) esansiyel bileşiğidir.	Aşırı kan kaybı, yanlış beslenme veya midede HCl eksikliği demir yetersizliğine ve anemiye yol açabilir.
Mn	Daha çok kemiklerde ve bezlerde bulunur. Birçok enzimatik reaksiyonda (örn. fosforilasyon, kolesterol ve yağ asitleri sentezi) kofaktör, antioksidant, beyin fonksiyonları, üreme ve kemik yapısı için gerekli, absorpsiyonu daha çok inhalasyon yoluyla. Plazmada β 1-globuline (transferrin) bağlı olarak, kanda da eritrosin porfirin kompleksine bağlı olarak bulunur.	Serum Mn seviyesi bazı durumlarda (örn., diyabet, pankreatik yetersizlik, protein-enerji yanlış beslenmesi, epilepsi) düşük olabilir. Yara iyileşmesinde gecikme, seksüel ve büyüme gelişiminde gerileme, cücelik ve tad duyusunda azalma.
Zn	Bütün vücut dokularının (örn., pankreas, karaciğer, böbrek, akciğer, kas, kemik, göz, deri, erkek üreme organları) bileşenidir. DNA ve RNA sentezinde görev alır böylece dokuların gelişimi ve onarımı için önemlidir. Birçok enzim sisteminde yer alır. Kollogen şekillenmesi için gereklidir. Karbondioksit taşınmasında ve Vit A kullanımında rol alır. Bağışıklığı artırır.	Yara ve yanık iyileşmesinde gecikme, ishal, kusma, sperm sayısında azalma, büyüme ve gelişimde gerileme, cücelik, tat ve koku alma duyularında azalma, saç kaybı, deri lezyonları, enfeksiyonlara karşı direnç kaybı, aşırı yorgunluk, gece görüşü azalması, iştahsızlık.
F	Dişleri sağlamlaştırır, diş çürüklerine yol açabilen bakteriyel asitlere dayanımı artırır.	Dişlerde çürük.
I	Tiroit bezi tiroksin (T4) ve triiyodotironin (T3) salgılar. Bu hormonların her ikisi de hücrelerin oksidasyonun oranını artırır, bu da metabolizmayı düzenler. İyot T3 ve T4 sentezinde yer alır.	Guatr, kretenizm (zihinsel donukluk), miksödem (tiroid bezi salgısındaki yetersizliğe bağlı olarak gelişen metabolizma hızında düşüş, kuruluk gösteren deri altında yaygın ödemler, saçlarda dökülme, zihni işlevler ve konuşmada ağırlaşma ile belirgin hastalık).

Se	Glutation peroksidaz enziminin (vit E ile birlikte hücrel bileşikler oksidasyondan korur) bir parçasıdır. Dışın protein matrisinde yer alır. Karaciğerin sirozdan korunmasına yardım eder. Kanser karşı rolü vardır.	Katarakt, kaslar atrofi, siroz, infertilite, kanser, hücrel immunitede yetersizlik, kalp hastalıkları, viral ve mikrobiyel enfeksiyonlara karşı duyarlılık, antikor üretiminde azalma. (Et tüketen insanlarda yetersizliği görülmez.)
Mo	Protein sentezinde görev alan enzimlerin kofaktörüdür. Özellikle karaciğer, böbrekler, kemik, deri ve adrenal bezlerde bulunur.	Nabız ve solunum artması, görüş bozukluğu, gece körlüğü, sinirlilik, koma.

Tüm metaller daha yüksek konsantrasyonlarda toksiktir (Chronopoulos, Haidouti, Chronopoulou-Sereli, & Massas, 1997). Normalde toksik olan vanadyum, tungsten ve hatta kadmiyum gibi bazı elementler, belirli organizmalar için belirli şartlar altında faydalıdır (Chronopoulos et al., 1997; Lane & Morel, 2000; Long, Yang, & Ni, 2002; McIntyre, 2003; X. e. Yang, Long, Ni, & Fu, 2002). Bazı ağır metallerin insan vücudunda bulunma limitleri ve insan sağlığı üzerine etkileri Tablo 2’de verilmiştir (R. Singh, Gautam, Mishra, & Gupta, 2011).

Tablo 2. Bazı ağır metallerin insan vücudundaki limitleri, kaynağı ve fazlalığının insan sağlığı üzerindeki etkileri (R. Singh et al., 2011)

Element	Ana kaynağı	İnsan sağlığına etkisi	İzin verilen miktar (l/ mg)
As	Böcek ve mantar ilaçları, metal eriticiler	Bronşit, dermatit, zehirlenme	0.02
Cd	Kaynak işlemleri, elektro kimyasal işlemler, böcek ilaçları, gübreler, Cd ve Ni piller, nükleer enerji tesisleri	Böbrek fonksiyon bozukluğu, akciğer hastalığı, akciğer kanseri, Kemik defektleri (Osteomalazi, Osteoporoz), artmış kan basıncı, böbrek hasarı, bronşit, gastrointestinal bozukluk, kemik iliği, kanser	0.06
Pb	Boyalar, böcek ilaçları, sigaralar, otomobil emisyonları, madencilik, kömür yakma	Çocuklarda zihinsel gerilik, gelişimsel gecikme, ölümcül bebek ensefalopati, doğuştan felçlilik, Sinir hislerinde sağrlık ve sinir sistemine akut veya kronik hasar, epileptikus, karaciğer, böbrek, mide ve bağırsak tahrişi	0.1
Mn	Kaynak işlemleri, yakıt emisyonları, ferromangan üretimi	Soluma veya temas yoluyla merkezi sinir sistemine zarar verir	0.26

Hg	Böcek ilaçları, piller, kağıt endüstrisi	Titreme, diş eti iltihabı, küçük psikolojik değişiklikler, pembe el ve ayaklarla karakterize akrodini, kendiliğinden düşük, sinir sistemine zarar, protoplazma zehirlenmesi	0.01
Zn	Rafineriler, pirinç üretimi, metal kaplama işlemleri, sıhhi tesisatlar	Çinko dumanı cilt üzerinde aşındırıcı etki yapar, sinir zarına zarar verir	15
Cr	Madenler, mineral kaynakları	Sinir sistemine zarar, yorgunluk, sinirlilik	0.05
Cu	Madencilik, böcek ilacı üretimi, kimya endüstrisi, metal boru ve kaplar	Anemi, karaciğer ve böbrek hasarı, mide ve bağırsak tahrişi	0.1

Bu elementler, farklı jeolojik ve antropojenik faaliyetlerin bir sonucu olarak hava, su ve toprak gibi yer altı ve yer üstü kaynaklarını kirleterek çevre problemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Su kaynaklarının ağır metallerle kirlenmesi, bitkileri, hayvanları ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen kritik bir çevresel problemdir (Rezania et al., 2016). Ağır metallerin en göze çarpan özellikleri arasında vücuttan atılamadıkları ve çeşitli dokularda (yağ dokusu, kemik vb.) biriktikleri bilinmektedir. Bu durum da hastalıkların başlangıcı olarak kabul edilmektedir.

Doğal veya jeojenik ağır metal kaynakları, volkanik püskürmeler ve metal taşıyan kaya parçalarının hava şartlarına bağlı olarak bozulmasıdır. Volkanik aktivite, doğal Hg kirliliği kaynağıdır (Legittimo, Piccardi, Martini, & Ecology, 1986). Sudaki toksik metallerin ana kaynakları evsel ve endüstriyel atık suların serbest bırakılması ve atık çamurun boşaltılmasıdır (Nriagu, 1988). Fosil yakıtların yakılması, ağır metallerin çevreye salınması için de önemli bir kaynaktır (Spiegel, 2002). Dünyadaki fosfatlı gübrelerin çoğu, ticari olarak mineral apatit içeren $[Ca_5(PO_4)_3OH, F, Cl]$ fosfat kayalarından üretilir. Jeolojik ve mineralojik yapıları nedeniyle fosfat kayaları, Cr, Cd, Pb, Hg, As ve U dahil olmak üzere çevrelere göre farklı miktarlarda tehlikeli elementler içerir. Cd, tortul fosfat kayalarda en zengin ve potansiyel olarak tehlikeli metallerden biridir (Legittimo et al., 1986). Fosfatlı gübreler çevrede önemli bir Cd kaynağıdır (Grant, Sheppard, & Assessment, 2008).

Ortaman doğasında olmayıp sonradan insan faaliyetleri ile ortama dahil olan ağır metallerin bazı antropojenik kaynakları, kaplama, pigment ve plastik endüstrileri, gübre üretimi için kullanılan fosfatlı kaya, kurşunlu benzin, arsenik böcek ilaçları, tabakhane endüstrisi atıkları, egzoz ve kaynak emisyonları, mermer endüstrisi atıkları gibi malzemelerdir (Z. Ali, Malik, Qadir, & Ecology, 2013; Dissanayake & Chandrajith, 2009; Güney, 2019; Hashem, Nur-A-Tomal, Mondal, & Rahman, 2017; Khan et

al., 2015; Khwaja, Singh, Raju, & Tandon, 1997; Mehmood, Chaudhry, Tufail, & Irfan, 2009; Mulk, Azizullah, Korai, Khattak, & assessment, 2015; Nriagu, 1988).

3. Süt ve süt ürünlerinde bulunan ağır metaller

Süt proteinler, yağlar, vitaminler ve minerallerin önemli bir kaynağı olarak tam bir besin olarak kabul edilir (Abd-El Aal, 2012; Enb, Abou Donia, Abd-Rabou, Abou-Arab, & El-Senaity, 2009; Qin, Wang, Li, Tong, & Tong, 2009; YÜZBAŞI, Sezgin, Yildirim, & Yildirim, 2009). Dünyada farklı bölgelerden çiğ sütün içerisinde bulunan yaklaşık otuz sekiz mikro ve iz element vardır (Dobrzanski, Kolacz, Górecka, Chojnacka, & Bartkowiak, 2005; Ikem, Nwankwoala, Oduyungbo, Nyavor, & Egiebor, 2002). Çiğ inek sütündeki mineral içeriği laktasyon, tarım uygulamaları, mevsim, iklim şartları, besin bileşimi, hayvan sağlığı durumu ve çevre şartları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Licata et al., 2004; Yahaya, Ezech, Musa, Mohammad, & Chemistry, 2010). Aynı şekilde, süt işleme şartları da süt mineral bileşimini etkileyebilir (Lante, Lomolino, Cagnin, & Spettoli, 2006; Salah, Esmat, & Mohamed, 2013). Süt mikro besinleri insan sağlığı üzerinde önemli ve faydalı bir rol oynamaktadır. İnsan vücudunun çeşitli fizyolojik fonksiyonlarında hayati bir rol oynayarak enzimatik kofaktörler olarak hareket eden bu mikro besinlerin eksikliği, özellikle hamile kadınlar, çocuklar ve yaşlılarda patolojik problemlere neden olmaktadır (Enb et al., 2009). Bu gün çevre kirliliğinin artması, sütün kontaminasyon problemlerini ve kalitesine ilişkin belirsizlikleri hızlandırmıştır (Farid & Baloch, 2012). Kirlilik süt mineral konsantrasyonunu artırabilir. Konsantrasyon seviyesi önerilen eşik değerinin 40 ila 200 katını aştığında toksik hale gelir (Rao & Sciences, 2005). Temel gıda maddesi olarak sütün, ağır metaller, mikotoksinler, dioksinler gibi diğer çevresel kirleticiler ve ksenobiyotik bileşiklerle küresel olarak kirlenmesi, halk sağlığı için önemli risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Derakhshesh & Rahimi, 2012).

İz ve ağır metaller, son yüz yılda dünyadaki ağır sanayileşme ve nüfus yoğunluğunun hızlı bir şekilde artışı sonucu önemli çevresel kirleticiler olarak kabul edilmiştir (Blackmore, 1998; Wu, 1988). Çevre kirliliği, endüstriyel işlemler ve ineğin genetik özellikleri, süt ve süt ürünlerinin toksik metal içeriğini etkiler. İz ve toksik elementlerin alımı, insan beslenmesindeki yerleri nedeniyle süt ve süt ürünlerinde sağlık problemlerine neden olabilir ve periyodik olarak izlenmelidir (Ayar, Sert, Akın, & assessment, 2009)

Süt, demir (Fe), çinko (Zn) ve kalsiyum (Ca) gibi temel mineralleri içerir; ancak, kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), arsenik (As) ve cıva (Hg) gibi bazı toksik ağır metallerle de kirlenebilir. Meme bezlerinin biyolojik

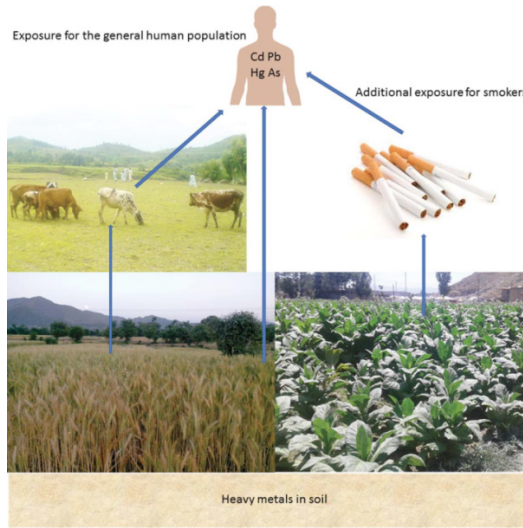
filtreler gibi davranarak toksik metallerin girişini engellemesi nedeniyle (Nag, 2010) normal olarak, ağır metallerin yemden süte aktarılma oranı çok düşüktür ve beş yüzde bir olarak bildirilmiştir (Blüthgen, 2000). Sütün içindeki ağır metaller, süt kaplarından, işleme sırasında, tarım için kullanılan kirli su, hayvan yemi ve süt üreten hayvanların çevresi yoluyla gelebilir (Zain, Behkami, Bakirdere, & Koki, 2016). Ağır metaller biyobozunur veya termo bozunurdur ve doğada her yerde bulunur (Ismail et al., 2014). Fe, Zn, Ni ve Cu gibi bazı mineral elementler de gıda maddelerinde belirli sınırların ötesinde bulunduğu ağır metaller olarak sınıflandırılabilir (Valko, Morris, & Cronin, 2005). Genellikle gıda maddelerinde bulunan dört en toksik ağır metal Hg, As, Cd ve Pb'dir (Bagal-Kestwal, Karve, Kakade, Pillai, & Bioelectronics, 2008; Gumpu, Sethuraman, Krishnan, Rayappan, & chemical, 2015).

3.1. Süt ve süt ürünlerindeki ağır metallerin kaynağı

Ağır metaller genellikle doğada bulunur. Ana kaynakları, işlenmemiş lağım suyunun ve ekinlerin sulanmasında kullanılan endüstriyel atık suların kullanılması sonucunda gıda maddelerinde konsantrasyonları gün geçtikçe artmaktadır. Hayvanlar, metallerin etkili bir filtresi olarak kabul edilir, ama hayvan beslenmesi yoluyla doğal olarak süte bu miktarlar geçmektedir (Degnon & Dahouenon-Ahoussi, 2015; Long et al., 2002; Raikwar, Kumar, Singh, & Singh, 2008). Metaller, sütün işlenmesi ve dağıtılmasında kullanılan alet ve makinelerle de süte geçebilir. Bu nedenle işlenmiş sütün, çiğ süte oranla daha yüksek konsantrasyonlarda ağır metallere sahip olduğu bildirilmektedir (Anetta, Peter, Agnieszka, Jozef, & Sciences, 2012). Ayrıca, ağır metaller, kirli kanal veya lağım suyu ile sulama yolları, böcek ilacı ve mantar öldürücü ilaçların uygulanması ve hayvan besleme alanlarına yakın sanayilerin varlığı yoluyla veya kontamine hayvan yemi yoluyla da süte geçebilir (Cai et al., 2009; Halim, Conte, & Piccolo, 2003; İftikhar, Arif, Siddiqui, & Khattak, 2014). Kanal suyunun, toprağın ve mahsullerin ağır metal kirliliği, çok sayıda araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Aftab, Shafiq, Khan, Chaudhry, & chemistry, 2011; Ismail et al., 2014). Gelişmekte olan ülkelerde yaygın bir tarım uygulamasından üretilen hayvan besinlerinin süt üreten hayvanlarda kullanılması sütün içindeki ağır metallerin kirlenmesinin sebeplerinden biri olarak tespit edilmiştir (Ismail, Riaz, Akhtar, Goodwill, & Sun, 2019). Şimşek ve ark. (2000), çevre kirliliğinin çiğ sütün ağır metal içeriği üzerine yaptıkları araştırmada, sanayi bölgelerine yakın yerlerden ve önemli taşıt trafiğine sahip bölgelerden elde edilen sütlerde, daha yüksek kırsal kesimlerdeki süt örneklerine göre daha yüksek ağır metal konsantrasyonu tespit etmişlerdir (Simsek, Gültekin, Öksüz, & Kurultay, 2000). Kazi ve ark. (2009), ayrıca dükkanlardan toplanan süt örnekleri ve doğrudan çiftliklerden toplanan süt örneklerine kıyasla işlenmiş sütte daha yüksek

Pb düzeyleri bildirmişlerdir (Kazi et al., 2009). Bu çalışmalara göre sütlerdeki ağır metal konsantrasyonları, çevre kirliliğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir (Pilarczyk et al., 2013).

Hızlı sanayileşme ve kentleşmenin süt ve süt ürünlerinde ağır metal konsantrasyonlarının artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Ismail et al., 2017). Süt aynı zamanda ağır metallerin topraktan insanlara geçmesi için de bir yoldur. Bu yol, toprak→yem→ hayvan gövdesi→hayvan kanı→ hayvan sütü→insanlar, şeklinde meydana gelmektedir (Danish & Chan, 2016). Tehlikeli ağır metallerin topraktan bitkilere ve daha sonra insanlara aktarılması Resim 1’de gösterilmektedir.



Resim 1. Tehlikeli ağır metallerin topraktan bitkilere aktarılması ve daha sonra insanlara aktarılması (H. Ali, Khan, & Journal, 2019).

4. Süt ve süt ürünlerindeki ağır metallerin sağlığa etkileri

Endüstriyel aktivitedeki artış nedeniyle, ağır metallerden kaynaklanan kirlilik, 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarından bu yana dünya genelinde yaygın olarak artmıştır (Alimardan, Ziarati, Jafari Moghadam, & Journal, 2016; Ziarati, Moghimi, Arbabi-Bidgoli, Qomi, & Applications, 2012). Bu kirlilik ciddi sağlık problemlerine sebep olmaktadır. Bu nedenle ağır metallerin halk sağlığı üzerindeki toksikolojik etkileri büyük ölçüde araştırılmıştır. Araştırmalarda, ağır metallerin doğada biyolojik olarak çözünmeyerek ve biyotransformasyon, biyobirikim ve biyomagnifikasyon yoluyla besin zincirinde biriktikleri tespit edilmiştir (Aslam, Javed, & Khan, 2011). Örneğin; ağır metallere sürekli maruz kalma kronik karın ağrısı, hepatotoksisite, entelektüel bölüm seviyesinde

azalma ile nörotoksisite, alzheimer hastalığı, doku hasarı, akciğer tahrişi ve kanser gelişimine neden olabilir (Hussain, Nazir, Shafique, & Salman, 2010; Iftikhar et al., 2014; Muhib et al., 2016). Vücuttaki ağır metaller sinir sistemi bozuklukları, böbrek yetmezliği, genetik mutasyonlar, kanser tipleri, nörolojik bozukluklar, solunum bozuklukları ve kardiyovasküler, bağışıklık sistemi zayıflaması ve kısırlık gibi yan etkilere neden olabilir (Tarakçı & Küçüköner, 2003).

Kurşun merkezi sinir sistemi bozuklukları, anemi, böbreklerde hasar, karaciğer, kalp ve kan damarları, bağışıklık sistemi, genital sistem, sindirim sistemi ve kanser ve çeşitli kanserlerin gelişmesine neden olur (Alimardan et al., 2016; Tavakoli-Hosseinabady, Ziarati, Ballali, & Umachandran, 2018; Ziarati et al., 2012; Ziarati, Moslehishad, & Mohammad-Makki, 2016). Kurşun ayrıca ensefalite ve hepatite neden olabilir (Ziarati et al., 2016). Kadmiyum karaciğer ve böbrekler gibi dokularda birikir ve kansızlığa, kan basıncında bir artışa neden olur (Bonyadian, Moshtaghi, & SULTANI, 2006). Kadmiyum özellikle akciğerlerde kanserojen, prostat ve tümörün gelişmesine neden oluyor. Kadmiyum böbreklere, kemiklere, akciğerlere, karaciğere, kalbe ve damar hastalığına neden olur. Nikel, kan, beyin ve kemik, lokal enfeksiyonların çeşitli kanserlerine neden olur (Ziarati et al., 2016). Hücrelerin biyolojik aktivitesinin bozulması, gecikmiş büyüme, hematüri azalması ve demir emilimine müdahale edilmesi Nikel zehirlenmesinin nedenidir (MASOUD & DANESH, 2009). Nikel tuzları, kan dolaşımına girdikten sonra solunum sorunlarına neden olur ve kalbi etkiler. Nikel ile temas cilt iltihabına neden olur (Bilandžić et al., 2014). Bu metaller için insan vücuduna giriş yolu soluma, cilt teması ve tamamen yiyecek veya su alımıdır. Bu ağır metallerin insan sağlığı üzerindeki toksik etkileri, akciğer ve kan kanseri, böbrek yetmezliği, osteoporoz, iskelet hasarı, gastrointestinal ve hormonal bozuklukların yanı sıra, enzimlerin ve proteinlerin anemisi ve dışkılama kayıplarını içeren bazı metabolik rahatsızlıkları içerir (Ashraf, Mian, & toxicology, 2008; Ismail et al., 2014; Kanumakala, Boneh, & Zacharin, 2002).

Ağır metallerin toksik etkisini, insan vücudu yaradılışı gereği deri, karaciğer, böbrek gibi organlar vasıtasıyla idrar ve ter yoluyla organlarından hızla çıkarmaya başlar. Maalesef insan sütü, anne yükünün ortadan kaldırılmasının temellerinden biri ve aynı zamanda bebeklere maruz kalma kaynağıdır. Bu metallerin bir kısmı annenin kemiklerinde depolanır ve çocuk kemiğinin gelişimi için kalsiyum sağlamak için ondan çıkarılır ve sonuç olarak bu metaller hamilelik ve emzirme döneminde anne kanına ve anne sütüne girerek fetüs ve bebekleri riske sokar (Bentum et al., 2010)

Ağır metallerin çoğu, kükürt atomuna karşı büyük bir afiniteye sahiptir. Enzimlerde kükürt içeren bağlar kurarak işlevlerini bozarlar

(Waseem & Arshad, 2016). Cd'ye maruz kalmak böbrek hasarına neden olabilir (Järup, 2003). Pb, özellikle duyarlı popülasyonlarda, örneğin hipertansiyon, diyabet ve böbrek hastalarında çok düşük seviyelerde bile nefrotoksiktir (Ekong, Jaar, & Weaver, 2006). Pb ve Hg gibi ağır metallere maruz kalmak, bir kişinin bağışıklık sisteminin kendi hücrelerine saldırdığı bir koşul olan otoimmüniteye neden olabilir. Otoimmünite, örneğin romatoid artrit ve böbrek hastalıkları, dolaşım sistemi, sinir sistemi ve fetal beynin zarar görmesi gibi eklem hastalıklarına neden olabilir (Barakat, 2011). İnorganik Hg'ye kronik maruz kalma, titreme, kişilik değişiklikleri, huzursuzluk, anksiyete, uykuda rahatsızlık ve depresyon gibi farklı nörolojik ve psikolojik etkilere neden olur (Järup, 2003). Arsenat oksidatif fosforilasyonu, kısa dolaşımdaki yaşamın ana enerji üretim sistemini engeller (Oremland & Stolz, 2003). İnorganik As'ın yutulması insan vücudundaki birçok bölgede kansere neden olabilir (Ng, Wang, & Shraim, 2003). As, Cd, Hg ve Pb'ye düşük doz maruziyetinin toksisite değerlendirmesi üzerine yapılan son bir çalışma, karışımlardaki toksik ağır metal etkileşimlerinin sinerjik olduğunu ve ağır metal karışımlarının bireysel ağır metallere göre daha yüksek toksisite gösterdiğini göstermiştir (Cobbina et al., 2015).

5. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada süt ve süt ürünlerinde bulunan ağır metaller elementleri (Cr, Ni, As, Cd, Hg, Pb, Mn, Cu, Zn ve Fe) ve bu elementlerin çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri literatürel olarak araştırılmıştır. Hızlı sanayileşme ve kentleşme, antropojenik kaynaklarda artışa ve çevreye ağır metal girdilerine neden olmaktadır. Ağır metaller, çevrelerinde toksisite, kalıcılık ve biyolojik birikim yapıları nedeniyle genellikle çok tehlikelidir. Cd, Pb, Hg ve As biyolojik olarak hayati olmayan elementlerdir ve genellikle canlı organizmalar için en tehlikeli elementler olarak kabul edilir. Araştırması yapılan süt ürünlerinin çoğundaki ağır metal miktarının belirlenen sınırların üzerinde olduğu gerçeği ortaya konulmuştur. Besin zincirine toprak yoluyla süte de kontamine olan ağır metallerin özellikle endüstri ve tarımdan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu kirlilik ciddi karın ağrısından kansere kadar ciddi sağlık ve çevre problemlerine sebep olmaktadır.

Bu kötü etkilerin azaltılması veya tamamen önlenmesi amacıyla;

- Sütün hazırlanmasının farklı aşamalarında ağır metallerin kontaminasyonu üzerine daha ileri çalışmaların yapılması,

- Ağır metallerin varlığı, ağır metalleri mümkün olan en düşük seviyelerde kontrol etmek için düzenli izleme ve daha etkin bir gıda güvenliğı yönetim sistemi ihtiyacını ortaya çıkardığı,
- Süt ve süt ürünleri tüketiminin anne karnından başlayarak en olgun çağı kadar insan sağığını etkilediğı, çeşitli önlenemez hastalıkların oluşmasına yol açacağıının unutulmaması gerektiğı,
- Ağır metallerin süte bulaşma kaynakları üzerine ıslah çalışmalarının yapılması gerektiğı,
- Süt toplama sistemlerinin, sağımdan başlayarak son ürün teslimine kadar hijyen kurallarına tam uyumunun sağılanması,
- Özellikle süt toplama merkezlerinde gelişmiş güzel bulunan ağız açık süt toplama tanklarının havada aerosol etkisi yapan bu ağır metallerin, toz, taşıt egzoz dumanı, baca dumanı ve çevre gibi etkenlere maruz kalarak toplanan sütlerin kontaminasyonunu hızlandırabileceğı, konularının insan ve çevre sağığı açısından önemli olduğunu vurgulamak isteriz.

KAYNAKLAR

- Abd-El Aal, S. F. A. J. J. o. A. S. (2012). Assessment of toxic heavy metals in some dairy products and the effect of storage on its distribution. *8*(8), 655-670.
- Afrin, R., Mia, M. Y., Ahsan, M. A., & Akbor, A. J. B. S.-P. (2015). Concentration of heavy metals in available fish species (Bain, *Mastacembelus armatus*; Taki, *Channa punctatus* and Bele, *Glossogobius giuris*) in the Turag River, Bangladesh. *58*(2), 104-110.
- Aftab, T., Shafiq, T., Khan, B., Chaudhry, M. N. J. P. j. o. a., & chemistry, e. (2011). Physicochemical properties, contamination and suitability of canal water for irrigation, Lahore branch Pakistan. *12*(1 & 2), 7.
- Ali, H., Khan, E. J. H., & Journal, E. R. A. A. I. (2018). Assessment of potentially toxic heavy metals and health risk in water, sediments, and different fish species of River Kabul, Pakistan. *24*(8), 2101-2118.
- Ali, H., Khan, E. J. H., & Journal, E. R. A. A. I. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs—Concepts and implications for wildlife and human health. *25*(6), 1353-1376.
- Ali, Z., Malik, R. N., Qadir, A. J. C., & Ecology. (2013). Heavy metals distribution and risk assessment in soils affected by tannery effluents. *29*(8), 676-692.
- Alimardan, M., Ziarati, P., Jafari Moghadam, R. J. B., & Journal, P. (2016). Adsorption of heavy metal ions from contaminated soil by *B. integerrima* barberry. *9*(1), 169-175.
- Anetta, L., Peter, M., Agnieszka, G., Jozef, G. J. T. J. o. M., Biotechnology, & Sciences, F. (2012). Concentration of selected elements in raw and ultra heat treated cow milk. *2*(2), 795.
- Ashraf, W., Mian, A. A. J. B. o. e. c., & toxicology. (2008). Levels of selected heavy metals in black tea varieties consumed in Saudi Arabia. *81*(1), 101-104.
- Aslam, B., Javed, I., & Khan, F. H. J. P. v. j. (2011). Uptake of Heavy Metal Residues from Sewerage Sludge in the Milk of Goat and Cattle during Summer Season. *31*(1).
- Ayar, A., Sert, D., Akın, N. J. E. m., & assessment. (2009). The trace metal levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia—Turkey. *152*(1-4), 1-12.
- Bagal-Kestwal, D., Karve, M. S., Kakade, B., Pillai, V. K. J. B., & Bioelectronics. (2008). Invertase inhibition based electrochemical sensor for the detection of heavy metal ions in aqueous system: Application of ultra-microelectrode to enhance sucrose biosensor's sensitivity. *24*(4), 657-664.

- Balkhair, K. S., & Ashraf, M. A. J. S. j. o. b. s. (2016). Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. 23(1), S32-S44.
- Barakat, M. J. A. j. o. c. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. 4(4), 361-377.
- Bentum, J., Sackitey, O., Tuffuor, J., Essumang, D., Koranteng-Addo, E., & Owusu-Ansah, E. J. J. C. P. R. (2010). Lead, Cadmium and Arsenic in breast milk of lactating mothers in Odumanse-Atua community in Many Krobo district of eastern region of Ghana. 2(5), 16-20.
- Berdanier, C. D., Dwyer, J. T., & Feldman, E. B. (2007). *Handbook of nutrition and food*: CRC press.
- Bilandžić, N., Sedak, M., Đokić, M., Božić, Đ., Solomun Kolanović, B., & Varenina, I. J. M. č. z. u. p. i. p. m. (2014). Trace elements content in cheese, cream and butter. 64(3), 150-158.
- Birghila, S., Dobrinas, S., Stanciu, G., Soceanu, A. J. E. E., & Journal, M. (2008). DETERMINATION OF MAJOR AND MINOR ELEMENTS IN MILK THROUGH ICP-AES. 7(6).
- Blackmore, G. J. S. o. t. T. E. (1998). An overview of trace metal pollution in the coastal waters of Hong Kong. 214(1-3), 21-48.
- Blüthgen, A. J. B. o. t. i. d. f. (2000). Contamination of milk from feed. (356), 43-47.
- Bonyadian, M., Moshtaghi, H., & SULTANI, Z. (2006). Study on the residual of lead and cadmium in raw and pasteurized milks in Shahrekord area.
- Burba, A. J. A. Z. L. (1999). The Effect of Copper on Behavioural Reactions of Noble Crayfish *Astacus Astacus* L. 9(2), 30-36.
- Cai, Q., Long, M.-L., Zhu, M., Zhou, Q.-Z., Zhang, L., & Liu, J. J. E. P. (2009). Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead-zinc smelter in Guizhou, China. 157(11), 3078-3082.
- Castro-González, M., Méndez-Armenta, M. J. E. t., & pharmacology. (2008). Heavy metals: Implications associated to fish consumption. 26(3), 263-271.
- Chronopoulos, J., Haidouti, C., Chronopoulou-Sereli, A., & Massas, I. J. S. o. t. T. E. (1997). Variations in plant and soil lead and cadmium content in urban parks in Athens, Greece. 196(1), 91-98.
- Cobbina, S. J., Chen, Y., Zhou, Z., Wu, X., Zhao, T., Zhang, Z., . . . Wu, X. J. J. o. h. m. (2015). Toxicity assessment due to sub-chronic exposure to individual and mixtures of four toxic heavy metals. 294, 109-120.
- Cui, Y.-J., Zhu, Y.-G., Zhai, R.-H., Chen, D.-Y., Huang, Y.-Z., Qiu, Y., & Liang, J.-Z. J. E. I. (2004). Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. 30(6), 785-791.

- Danish, M., & Chan, K. W. J. J. C. S. P. (2016). Milk: Carrier of heavy metals from crops through ruminant body to human beings. 38(01), 39.
- Degnon, R., & Dahouenon-Ahoussi, E. J. I. J. o. N. (2015). Heavy metal contamination of the Nokoué Lake (Southern Benin) and the dynamic of their distribution in organs of some fish's species (*Mugil cephalus* L. and *Tilapia guineensis*). 1(1), 13-19.
- Derakhshesh, S. M., & Rahimi, E. J. A.-E. J. T. S. (2012). Determination of lead residue in raw cow milk from different regions of Iran by Flameless Atomic Absorption Spectrometry. 4(1), 16-19.
- Dissanayake, C., & Chandrajith, R. J. J. o. t. N. S. F. o. S. L. (2009). Phosphate mineral fertilizers, trace metals and human health. 37(3), 153-165.
- Dobrzanski, Z., Kolacz, R., Górecka, H., Chojnacka, K., & Bartkowiak, A. J. P. J. o. E. S. (2005). The content of microelements and trace elements in raw milk from cows in the Silesian region. 14(5), 685.
- Ekong, E., Jaar, B., & Weaver, V. M. J. K. i. (2006). Lead-related nephrotoxicity: a review of the epidemiologic evidence. 70(12), 2074-2084.
- Enb, A., Abou Donia, M., Abd-Rabou, N., Abou-Arab, A., & El-Senaity, M. J. G. V. (2009). Chemical composition of raw milk and heavy metals behavior during processing of milk products. 3(3), 268-275.
- Farid, S., & Baloch, M. K. J. G. J. o. P. S. (2012). Heavy metal ions in milk samples collected from animals feed with city effluent irrigated fodder. 2(2), 036-043.
- Gao, H., Bai, J., Xiao, R., Liu, P., Jiang, W., Wang, J. J. S. E. R., & Assessment, R. (2013). Levels, sources and risk assessment of trace elements in wetland soils of a typical shallow freshwater lake, China. 27(1), 275-284.
- Grant, C., Sheppard, S. J. H., & Assessment, E. R. (2008). Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops. 14(2), 210-228.
- Gumpu, M. B., Sethuraman, S., Krishnan, U. M., Rayappan, J. B. B. J. S., & chemical, a. B. (2015). A review on detection of heavy metal ions in water—an electrochemical approach. 213, 515-533.
- Güney, B. (2019, October 18-20, 2019). *Health Effect of Welding*. Paper presented at the 4nd International Conference on Material Science and Technology Kızılcahamam-Ankara-Turkey.
- Halim, M., Conte, P., & Piccolo, A. J. C. (2003). Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances. 52(1), 265-275.
- Hashem, M. A., Nur-A-Tomal, M. S., Mondal, N. R., & Rahman, M. A. J. E. c. l. (2017). Hair burning and liming in tanneries is a source of pollution by arsenic, lead, zinc, manganese and iron. 15(3), 501-506.

- Hussain, Z., Nazir, A., Shafique, U., & Salman, M. J. J. o. s. r. (2010). Comparative study for the determination of metals in milk samples using flame-AAS and EDTA complexometric titration. *40*(1), 1-6.
- Iftikhar, B., Arif, S., Siddiqui, S., & Khattak, R. J. B. J. I. (2014). Assessment of toxic metals in dairy milk and animal feed in Peshawar, Pakistan. 883-893.
- Ikem, A., Nwankwoala, A., Oduyungbo, S., Nyavor, K., & Egiebor, N. J. F. C. (2002). Levels of 26 elements in infant formula from USA, UK, and Nigeria by microwave digestion and ICP-OES. *77*(4), 439-447.
- Islam, G. R., Habib, M. R., Waid, J. L., Rahman, M. S., Kabir, J., Akter, S., & Jolly, Y. J. C. (2017). Heavy metal contamination of freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and prawn feed in Bangladesh: a market-based study to highlight probable health risks. *170*, 282-289.
- Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Farooq, A., Shahzad, M. A., & Mujtaba, A. J. P. J. Z. (2017). Intake of heavy metals through milk and toxicity assessment. *49*, 1413-1419.
- Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Goodwill, J. E., & Sun, J. J. T. R. (2019). Heavy metals in milk: global prevalence and health risk assessment. *38*(1), 1-12.
- Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Ismail, T., Amir, M., Zafar-ul-Hye, M. J. F. A., & B, C. P. (2014). Heavy metals in vegetables and respective soils irrigated by canal, municipal waste and tube well waters. *7*(3), 213-219.
- Järup, L. J. B. m. b. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *68*(1), 167-182.
- Kanumakala, S., Boneh, A., & Zacharin, M. J. J. o. i. m. d. (2002). Pamidronate treatment improves bone mineral density in children with Menkes disease. *25*(5), 391-398.
- Kazi, T. G., Jalbani, N., Baig, J. A., Kandhro, G. A., Afridi, H. I., Arain, M. B., . . . Toxicology, C. (2009). Assessment of toxic metals in raw and processed milk samples using electrothermal atomic absorption spectrophotometer. *47*(9), 2163-2169.
- Khan, A., Khan, S., Khan, M. A., Qamar, Z., Waqas, M. J. E. S., & Research, P. (2015). The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. *22*(18), 13772-13799.
- Khawaja, A., Singh, R., Raju, M., & Tandon, S. J. E. (1997). The geoenvironmental cycle of cadmium: a case study. *17*(2), 103-108.
- Lane, T. W., & Morel, F. M. J. P. o. t. N. A. o. S. (2000). A biological function for cadmium in marine diatoms. *97*(9), 4627-4631.
- Lante, A., Lomolino, G., Cagnin, M., & Spettoli, P. J. F. C. (2006). Content and characterisation of minerals in milk and in Crescenza and Squacquerone Italian fresh cheeses by ICP-OES. *17*(3), 229-233.

- Legittimo, P. C., Piccardi, G., Martini, M. J. C., & Ecology. (1986). Mercury pollution in the surface environment of a volcanic area. 2(3), 219-231.
- Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T. J., Yuan, Z., & Huang, L. J. S. o. t. t. e. (2014). A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. 468, 843-853.
- Licata, P., Trombetta, D., Cristani, M., Giofre, F., Martino, D., Calo, M., & Naccari, F. J. E. I. (2004). Levels of “toxic” and “essential” metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. 30(1), 1-6.
- Long, X., Yang, X., & Ni, W. J. J. o. A. E. (2002). Current status and perspective on phytoremediation of heavy metal polluted soils. 13, 757-762.
- Lutz, C. A., Mazur, E., & Litch, N. (2014). *Nutrition and diet therapy*: FA Davis.
- MASOUD, H. R. E., & DANESH, P. M. (2009). Measuring the lead, arsenic, copper, zinc, selenium, sodium, potassium, nickel, and magnesium ions in black tea.
- McIntyre, T. (2003). Phytoremediation of heavy metals from soils. In *Phytoremediation* (pp. 97-123): Springer.
- Mehmood, T., Chaudhry, M., Tufail, M., & Irfan, N. J. M. J. (2009). Heavy metal pollution from phosphate rock used for the production of fertilizer in Pakistan. 91(1), 94-99.
- Muhib, M. I., Chowdhury, M. A. Z., Easha, N. J., Rahman, M. M., Shammi, M., Fardous, Z., . . . Alam, M. K. J. I. j. o. f. c. (2016). Investigation of heavy metal contents in Cow milk samples from area of Dhaka, Bangladesh. 3(1), 16.
- Mulk, S., Azizullah, A., Korai, A. L., Khattak, M. N. K. J. E. m., & assessment. (2015). Impact of marble industry effluents on water and sediment quality of Barandu River in Buner District, Pakistan. 187(2), 8.
- Nag, S. (2010). Contaminants in milk: routes of contamination, analytical techniques and methods of control. In *Improving the safety and quality of milk* (pp. 146-178): Elsevier.
- Ng, J. C., Wang, J., & Shraim, A. J. C. (2003). A global health problem caused by arsenic from natural sources. 52(9), 1353-1359.
- Nriagu, J. O. J. E. p. (1988). A silent epidemic of environmental metal poisoning? , 50(1-2), 139-161.
- Oremland, R. S., & Stolz, J. F. J. S. (2003). The ecology of arsenic. 300(5621), 939-944.
- Özturan, K., & ATASEVER, M. J. A. Ü. V. B. D. Süt ve Ürünlerinde Mineral Maddeler ve Ağır Metaller. 13(2), 229-241.
- Pilarczyk, R., Wójcik, J., Czerniak, P., Sablik, P., Pilarczyk, B., Tomza-Marciniak, A. J. E. m., & assessment. (2013). Concentrations of toxic heavy metals

- and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm. *185*(10), 8383-8392.
- Qin, L.-Q., Wang, X.-P., Li, W., Tong, X., & Tong, W.-J. J. J. o. h. s. (2009). The minerals and heavy metals in cow's milk from China and Japan. *55*(2), 300-305.
- Raikwar, M. K., Kumar, P., Singh, M., & Singh, A. J. V. w. (2008). Toxic effect of heavy metals in livestock health. *1*(1), 28.
- Rao, A. J. O. J. o. H., & Sciences, A. (2005). Trace element estimation-Methods & clinical context. *4*(1).
- Rezania, S., Taib, S. M., Din, M. F. M., Dahalan, F. A., & Kamyab, H. J. J. o. h. m. (2016). Comprehensive review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. *318*, 587-599.
- Rose, M., Fernandes, A., Mortimer, D., & Baskaran, C. J. C. (2015). Contamination of fish in UK fresh water systems: risk assessment for human consumption. *122*, 183-189.
- Rzymiski, P., Klimaszyk, P., Niedzielski, P., & Poniedziałek, B. J. L. R. (2013). Metal accumulation in sediments and biota in Malta Reservoir (Poland). *13*(3), 163-169.
- Salah, F., Esmat, I., & Mohamed, A. J. I. F. R. J. (2013). Heavy metals residues and trace elements in milk powder marketed in Dakahlia Governorate. *20*(4).
- Sauliutė, G., Svecevičius, G. J. Z., & Ecology. (2015). Heavy metal interactions during accumulation via direct route in fish: a review. *25*(1), 77-86.
- Simsek, O., Gültekin, R., Öksüz, O., & Kurultay, S. J. F. N. (2000). The effect of environmental pollution on the heavy metal content of raw milk. *44*(5), 360-363.
- Singh, A., Sharma, R. K., Agrawal, M., Marshall, F. M. J. F., & Toxicology, C. (2010). Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *48*(2), 611-619.
- Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., & Gupta, R. J. I. j. o. p. (2011). Heavy metals and living systems: An overview. *43*(3), 246.
- Spiegel, H. J. T. J. o. C. (2002). Trace element accumulation in selected bioindicators exposed to emissions along the industrial facilities of Danube Lowland. *26*(6), 815-824.
- Szefer, P., & Nriagu, J. O. (2006). *Mineral components in foods*: CRC Press.
- Tarakçı, Z., & Küçüköner, E. J. G. M. K., Ankara. (2003). Değişik ot Katkılı Süt Ürünlerinin Bazı Mineral Madde ve Ağır Metal İçeriklerinin İrdelenmesi. III. 448-449.

- Tavakoli-Hosseiniabady, B., Ziarati, P., Ballali, E., & Umachandran, K. J. J. E. A. T. (2018). Detoxification of heavy metals from leafy edible vegetables by agricultural waste: apricot pit shell. *8*(548), 2161-0525.1000548.
- Uriu-Adams, J. Y., & Keen, C. L. J. M. a. o. m. (2005). Copper, oxidative stress, and human health. *26*(4-5), 268-298.
- Valko, M., Morris, H., & Cronin, M. J. C. m. c. (2005). Metals, toxicity and oxidative stress. *12*(10), 1161-1208.
- Waseem, A., & Arshad, J. J. C. (2016). A review of Human Biomonitoring studies of trace elements in Pakistan. *163*, 153-176.
- Wu, R. J. A. M. B. (1988). Marine pollution in Hong Kong: a review. *5*(1).
- Yahaya, M., Ezech, G., Musa, Y., Mohammad, S. J. A. J. o. P., & Chemistry, A. (2010). Analysis of heavy metals concentration in road sides soil in Yauri, Nigeria. *4*(3), 022-030.
- Yang, J., Tang, C., Wang, F., & Wu, Y. J. J. o. h. m. (2016). Co-contamination of Cu and Cd in paddy fields: Using periphyton to entrap heavy metals. *304*, 150-158.
- Yang, X. e., Long, X., Ni, W., & Fu, C. J. C. S. B. (2002). *Sedum alfredii* H: a new Zn hyperaccumulating plant first found in China. *47*(19), 1634-1637.
- YÜZBAŞI, N., Sezgin, E., Yildirim, Z., & Yildirim, M. J. J. o. f. q. (2009). Changes in Pb, Cd, Fe, Cu and Zn levels during the production of kaşar cheese. *32*(1), 73-83.
- Zain, S. M., Behkami, S., Bakirdere, S., & Koki, I. B. J. F. C. (2016). Milk authentication and discrimination via metal content clustering—A case of comparing milk from Malaysia and selected countries of the world. *66*, 306-314.
- Ziarati, P., Moghimi, S., Arbabi-Bidgoli, S., Qomi, M. J. I. J. o. C. E., & Applications. (2012). Risk assessment of heavy metal contents (lead and cadmium) in lipsticks in Iran. *3*(6), 450.
- Ziarati, P., Moslehishad, M., & Mohammad-Makki, F. M. J. B. b. r. a. (2016). Novel Adsorption Method for Contaminated Water by Wild Endemic Almond: *Amygdalus scoparia*. *13*(1), 147-153.



Bölüm 10

NANOAKIŞKANLARIN ISIL SİSTEMLERDE KULLANIMI

*Ataollah KHANLARI¹, Adnan SÖZEN,² Azim Doğuş TUNCER³,
Ceylin ŞİRİN⁴, Kazım KUMAŞ⁵, Afşin GÜNGÖR⁶*

1 Dr.Öğr. Üyesi, Ataollah KHANLARI, Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, Türkiye

2 Prof.Dr. Adnan SÖZEN, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye

3 Araş. Gör. Azim Doğuş TUNCER, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Burdur, Türkiye,(Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, Türkiye)

4 Araştırmacı Ceylin ŞİRİN, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Burdur

5 Öğr. Gör. Kazım KUMAŞ, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur, Türkiye

6 Prof.Dr. Afşin GÜNGÖR, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Teknoloji Fakültesi, Burdur,Türkiye(Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Antalya, Türkiye)

1. Giriş

Artan nüfus, teknolojik gelişmeler, sanayileşme gibi birçok etkene bağlı olarak ortaya çıkan enerji ihtiyacının, dünya genelinde giderek artacağı bilinmektedir. Bunun yanı sıra tüm dünyada kullanılan fosil yakıtların tükenecek olması ve kullanımıyla oluşturduğu çevresel sorunlar düşünüldüğünde; çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımı sürdürülebilir kalkınma adına oldukça önemlidir. Bu doğrultuda güneş enerjisi gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları farklı ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ek olarak efektif bir ısı transferi önemli olan diğer bir husustur. Isıl uygulamalarda, ısı transferi genellikle düşük ısıl iletkenliğe sahip olan konvansiyonel iş akışkanlarıyla yapılmaktadır. Bu akışkanların düşük ısıl iletkenliğine sahip olmalarından dolayı ısı transferinde bazı kısıtlamalara neden olur. Isıl sistemlerdeki ısı transferini iyileştirmek için birçok yöntem mevcuttur. Genişletilmiş ısı transfer yüzey alanı kullanmak ısı transferini arttırmak için yaygın olarak kullanılan geleneksel yöntemlerden birisidir. Ancak bu yöntem ısı sistemlerine fazladan basın düşüşüne neden olmaktadır.

Isıl sistemlerdeki kullanılan çalışma akışkanının termofiziksel özelliklerini iyileştirmek, ısı transferini arttırmak için kullanılan bir diğer yöntemdir [1-2]. Kullanılan çalışma akışkanının ısı özelliklerini iyileştirmek amacıyla, temel akışkanın içine nano boyutuna getirilmiş metalik veya metal olmayan malzemeler eklenerek ısı yünden kazanımlar sağlanabilir [3-4]. Bilindiği üzere bu malzemelerin ısıl iletkenlikleri, su ve yağ gibi yaygın kullanılan çalışma akışkanlarının ısıl iletkenliklerine göre daha yüksektir. Bu nedenle, bu malzemeleri nano boyutunda konvansiyonel çalışma akışkanlarının içine ekleyerek ısıl iletkenlikleri artırılır. Nanoakışkanların ısıl özelliklerindeki artış nanoparçacıkların oranı, nanoparçacıkların boyutu ve şekli gibi birçok parametreye bağlıdır. Temel çalışma akışkanın içerisine nanoparçacık eklenerek elde edilen nanoakışkanların ısıl performansının artmasına sebep olan temel parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek ısıl iletkenliğine sahip nanoparçacıklar temel çalışma akışkanın içerisine eklendiğinde yeni akışkanın ısıl iletkenliği artar,
- Nanoparçacıkların eklenmesi nanoakışkanın yüzey alanını artırır ve ısı transfer temas alanı artar,
- Nanoparçacıkların ısı kapasitesinin yüksek olması nedeniyle çalışma akışkanın ısı kapasitesi artar,
- Çalışma akışkanın içerisinde dağıtılmış olan nanoparçacıkların türbülans şiddetinin artmasına yol açar.

Nanoparçacıklar, yağ, su ve etilen glikol gibi konvansiyonel çalışma akışkanların içine katılarak nanoakışkan elde edilir. Genellikle nanoakışkanların elde edilmesinde dört tür nanoparçacık kullanılır;

- Metalik nanoparçacıklar: Metalik malzemelerin ısı iletkenlikleri çok yüksek olması sebebiyle oluşturdıkları nanoakışkanların ısı iletkenliklerini diğer nanoparçacıklara göre daha fazla artırır. Metalik malzemelere Fe, Au, Mg, Zn ve Ag örnek olarak verilebilir.
- Alaşımli nanoparçacıklar: Alaşımli nanoparçacıklar metallerden oluşur. Alaşımli malzemelere Ag-Cu, Al-Cu ve Ag-Al örnek olarak verilebilir.
- Seramik nanoparçacıklar: Seramik nanoparçacıkların üretimi diğer nanoparçacıklara kıyasla oldukça kolaydır ve bu nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanlar çok daha kararlıdır. Seramik nanoparçacıklara MgO, TiO₂, SiO₂, Fe₂O₃, ZnO₂, CaO, Al₂O₃ örnek olarak verilebilir.
- Karbon esaslı nanoparçacıklar: Karbon esaslı nanoparçacıklar düşük yoğunluğa ve yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Karbon esaslı nanoparçacıklara örnek olarak karbon nanotüp, grafit ve elmas verilebilir.

2. Nanoakışkanların Hazırlanması

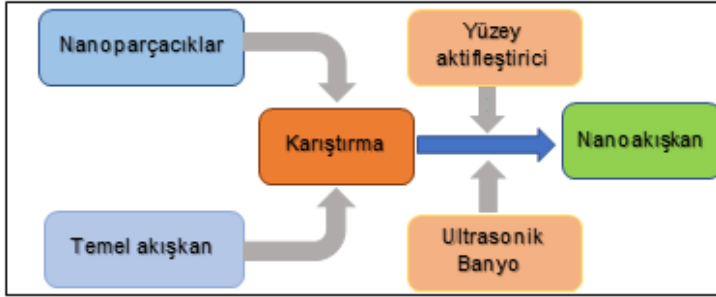
Nanoakışkanlar hazırlarken; kararlı bir karışım elde edilmesi, çökelmelerin önlenmesi ve temel akışkanın yapısında bir değişiklik olmaması, nanoparçacıkları baz akışkan içine homojen bir şekilde katılması dikkat edilmesi gereken hususlardır. Nanoakışkanların hazırlanmasında tek aşamalı ve iki aşamalı olarak iki metot kullanılır. Tek aşamalı metotta nanoparçacık baz akışkan içerisinde üretilir. Tek aşamalı metoda saf kimyasal sentez metodu, fiziksel buhar biriktirme metodu ve lazer ablasyon metodu örnek olarak verilebilir. İki aşamalı metotta ise, malzeme nano boyutuna getirilerek temel akışkanın içerisine eklenir. Nanoparçacıklar ilk adımda kimyasal veya fiziksel yöntemler yardımıyla üretilir. İkinci adımda üretilen nanoparçacıklar baz akışkanın içerisine homojen bir şekilde katılarak nanoakışkan hazırlanır. Bu yöntemler arasında iki aşamalı yöntem genellikle nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılır [5-7].

Kararlı ve homojen bir nanoakışkan hazırlamak için genel olarak üç yöntem kullanılır;

- Karışımın pH değerini kontrol etmek amacıyla baz veya asit eklenmesi,

- Nanoparçacıkların akışkanda homojen dağıtılması için yüzey aktifleştirici madde eklenmesi,
- Ultrasonik banyo kullanmasıdır.

Şekil1’de nanoakışkanların hazırlama aşamaları gösterilmiştir. Çizelge 1’de ise farklı nanoakışkanların hazırlamasında kullanılan farklı yüzey aktifleştiriciler verilmiştir.



Şekil 1. Nanoakışkanların hazırlamasındaki yapılan işlemler

3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Temel çalışma akışkanının içerisine nanoparçacık katılmasıyla hazırlanan nanoakışkanların ısıl iletkenliği, özgül ısı kapasitesi, viskozite ve yoğunluk gibi özelliklerin değişmesine neden olur. Hazırlanan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri; kullanılan nanoparçacıkların şekli, cinsi, boyutları, oranı ve temel akışkanın cinsi gibi birçok faktöre bağlıdır.

Çizelge 1. Literatürdeki bazı nanoakışkanlarda kullanılan farklı yüzey aktifleştiriciler

Kaynak	Nanoakışkan	Yüzey aktif madde
Murshed vd. [8]	TiO ₂ /su	Oleik asit
Khanlari vd. [1]	TiO ₂ /su	Triton X-100
Hong vd. [9]	Karbon Nanotüpler /su	Sodyum lauryl sülfat
Sözen vd. [10]	TiO ₂ /su	Sodyum dodesil benzene ve Triton X-100
Sözen vd. [11]	Kaolin/su	Triton X-100
Sözen vd. [12]	Zeolite/su	Sodyum dodesil benzene

3.1. Isı İletim Katsayısı

Yüksek ısıl iletkenliğe sahip parçacıkların temel çalışma akışkanının içerisine eklenmesi akışkanın ısıl iletkenliğini arttırmaktadır. Bu olayın ana sebebi ise katı parçacıkların yüzeyine yakın nanotabakaların oluşumu neticesinde katı sıvı arasında ısı köprüsü meydana gelmesidir.

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini birçok parametre etkilemektedir. Bunlar temel akışkanın özellikleri, parçacıkların şekli, parçacıkların cinsi, parçacıkların boyutları ve oranı olarak sıralanabilir.

Temel çalışma akışkanın ısı iletkenliği nanoakışkanın ısı iletkenliği üzerinde büyük etkisi vardır. Xie vd. tarafından gerçekleştirilen bir deneysel çalışmada temel akışkan olarak su, yağ, gliserin ve etilen glikol, içerisine alümina (Al_2O_3) nanoparçacıkları katılarak, hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre en düşük ısı iletkenliğine sahip temel akışkanın ısı iletkenliğindeki iyileşmenin daha fazla olduğu görülmüştür [13].

Nanoakışkanların ısı iletim katsayılarını en fazla etkileyen faktör kullanılan nanoparçacıkların ısı iletkenliğidir. Fe, Au, Ag ve Cu gibi yüksek ısı iletim katsayısına sahip metalik nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlikleri, Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 ve ZnO gibi metal oksit nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenliklerine kıyasla daha yüksektir [14].

Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan parçacıkların şekilleri silindirik veya küresel olabilir. Xie vd. etilen glikol olarak temel akışkanın içerisine küresel ($d=26$ nm) ve silindirik ($d=60$ nm) SiC nanoparçacıkları katarak hazırladığı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarını deneysel olarak incelemişlerdir. Silindirik SiC nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanın ısı iletim katsayısı %23 artarken, küresel SiC nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanın ısı iletim katsayısı %15 artmıştır [15]. Diğer bir çalışmada Murshed vd. su içerisine küresel ($d=15$ nm) ve silindirik ($d=10$ nm) TiO_2 parçacıkları katarak ısı iletim katsayılarını incelemişlerdir. Küresel TiO_2 içeren nanoakışkanın ısı iletim katsayısı %30 atarken silindirik TiO_2 içeren nanoakışkanın ısı iletim katsayısı %33 artmıştır [16].

Rastgele hareketlerin küçük nanoparçacıklarda daha fazla olduğundan, küçük nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoakışkanların ısı iletim katsayıları daha yüksektir. Teng vd. Al_2O_3 /su nanoakışkanında nanoparçacık büyüklüğünün ısı iletim katsayısı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre Al_2O_3 nanoparçacığın boyutunun küçülmesi ısı iletim katsayısının artmasına sebep olmuştur [17]. Diğer bir çalışmada Chon vd. %1 oranda ve 47 nm boyutunda alümina (Al_2O_3) nanoparçacıklarıyla hazırlanmış Al_2O_3 /su nanoakışkanının ısı iletim katsayısının eşit oranda ve 150 nm boyutunda nanoparçacıklarıyla hazırlanmış Al_2O_3 /su nanoakışkanın ısı iletim katsayısının iki katı olduğunu gözlemlemişlerdir [18].

Nanoakışkanların ısı iletim katsayıları nanoparçacık oranıyla doğrudan orantılıdır. Kang vd. %0,1 ve %0,39 oranında Ag/su nanoakışkanının ısı

iletim katsayılarını incelemişlerdir. Nanoparçacık oranının % 0,1'den % 0,39'a arttırılmasıyla ısı iletim katsayısındaki artışın % 3'ten % 11'e yükseldiğini tespit edilmiştir [19].

3.2. Viskozite

Isıl uygulamalarında kullanılan akışkanın viskozitesi diğer önemli bir parametredir. Çalışma akışkanının viskozitesi, basınç düşüşü, pompa gücü ve sistemdeki aşınmayı doğrudan etkileyen bir parametredir. Bu nedenle ısıl uygulamalarındaki kullanılan akışkanın viskozitesi çok önemli bir faktördür. Hazırlanan nanoakışkanın viskozitesi üzerinde etkisi olan önemli parametreler parçacıkların türü, parçacıkların boyutları, parçacıkların şekli ve parçacık oranıdır. Ancak nanoparçacık derişimi bu parametrelerin içindeki en önemli etkindir. Literatürdeki mevcut araştırılmalarda nanoparçacık oranının artışıyla viskozitenin arttığını gözlemlenmiştir [20-21].

Ek olarak kullanılan nanoparçacığın boyutu ve şekli da önemli derecede viskoziteyi etkiler. Yapılan bir çalışmada Nguyen vd. 36 nm ve 47 nm boyutlarındaki Al_2O_3 ile yapılmış Al_2O_3 /su nanoakışkanlarının viskozitelerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre nanoparçacığın boyutunun artması viskoziteyi önemli ölçüde arttırmıştır [22].

3.3. Özgöl Isı Kapasitesi

Nanoakışkanlarda ısı transferini ciddi bir şekilde etkileyen faktör özgül ısı kapasitesidir. Wang vd. yaptıkları deneysel bir çalışmada karbon nanotüpler ile hazırlanmış nanoakışkanda parçacık şekli ve boyutunun özgül ısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen deneysel sonuçlar parçacık boyutu ve şekli özgül ısı kapasitesini etkilemedikleri gözlemlenmiştir [23]. Diğer bir araştırmada Tiznobaik ve Shin 5, 10, 30 ve 60 nm boyutlarında SiO_2 nanoparçacıkları kullanarak SiO_2 /su nanoakışkanı elde etmiş ve özgül ısı kapasitelerini ölçmüşlerdir. Deneysel sonuçlara göre özgül ısı kapasitesi kullanılan nanoparçacık boyutuna bağlı olmadığı saptanmıştır [24].

4. Nanoakışkanların Uygulamaları

Nanoakışkanlar, üstün ısı özelliklerinden dolayı, birçok mühendislik uygulamasında kullanılabilir. Aşağıda nanoakışkanların kullanımıyla ilintili kısa bir özet sunulmuştur.

Sıvılı güneş kolektörleri, güneş enerjisini termal enerjiye dönüştüren sistemlerdir. Sıvılı güneş enerji sistemleri, konutlarda yaygın olarak kullanılan sistemlerdir [25]. Ancak, bu sistemlerdeki çalışma akışkanın termofiziksel özellikleri nedeniyle, düşük verime sahiptirler. Sıvılı güneş

kollektörlerinde çalışma akışkanı olarak su ve benzeri akışkanların yerine nanoakışkan kullanılarak bu sistemlerin termal verimleri %10-20 arasında artırılabilir [26-30]. Sıvılı güneş kollektörlerine ek olarak nanoakışkanlardan fotovoltaiik sistemlerin soğutulmasında faydalanılabilir. Fotovoltaiik panellerin soğutulmasıyla aşırı derecede ısınmaları ve dolayısıyla elektriksel verimlerinin azalması önlenabilir [31-32].

Otomotiv sektöründe ise nanoakışkanlar, şanzıman sıvısı, soğutucu akışkan, motor yağı ve fren hidroliğinde kullanılabilir. Senthilraja vd. hazırladıkları CuO/su nanoakışkanı otomatik güç iletim sisteminin soğutulmasında kullanmışlar ve konvansiyonel sıvılara göre daha yüksek performans gösterdiğini saptamışlardır [33].

Frenleme işlemi esnasında ortaya çıkan ısı, fren sıvısının kaynama noktasına gelmesine sebep olur ve frenlemeden meydana gelen ısının yayılmasını önler. Bundan dolayı, fren arızasına sebep olur ve neticesinde güvenlik tehlikesi oluşturur. Üstün termal özelliklere sahip nanoakışkanları kullanarak, ısı transferini arttırmak ve dolayısıyla fren sistemindeki güvenlik tehlikesini ortadan kaldırmak mümkündür.

Nanoakışkanların soğutucu olarak kullanılması halinde, radyatör boyutlarının küçülmesi ve daha kolay konumlandırılmasına sebep olur. Yüksek ısı performansları nedeniyle kullanılan çalışma akışkanının miktarı azalır, soğutucu sistemin pompası küçülür ve kamyon motorları daha yüksek beygir gücü sağlamak için yüksek sıcaklıklarda çalıştırılması mümkün olur. Saidur vd. yaptıkları bir deneysel çalışmada, radyatörlerde çalışma akışkanı olarak nanoakışkan kullanımı radyatör sisteminin hacminde %10'luk bir azalmaya sebep olabileceğini gözlemlemişlerdir [34].

Nanoparçacıkların, soğutma veya fren sistemlerindeki kullanımlarına ek olarak yakıt içine eklenerek performansın artışına neden olabilir. Dizel yakıtına Al_2O_3 nanoparçacıkların eklenmesi yanma ısısını artırır ve araç motorunda egzoz emisyonlarının düşmesine sebep olur. Bu olay yanma sırasında hidrojenin sudan ayrışmasının artmasına neden olan alüminyumun yüksek oksidasyon aktivitesinden kaynaklanır.

Çizelge 2'de farklı nanoakışkanların çeşitli ısı değiştiricilerde kullanımı ve ısı transferi üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi nanoparçacıkların şekli, boyutu ve oranı, nanoakışkanların ısı performansını etkileyen en önemli parametrelerdir.

Table. 1. Farklı nanoakışkanların çeşitli ısı değiştiricilerde kullanımı

Kaynak	Nanoakışkan	Isı değiştirici	Parçacık oranı (%)	Parçacık boyutu (nm)	Bulgular
Duangthongsuk ve Wongwises [35]	TiO ₂ /Su	Eş merkezli	%0,2	21	Isı transfer katsayısını %6-11 arttırmıştır
Pandey ve Nema [36]	Al ₂ O ₃ /Su	Plakalı	%2-4	40-50	Isı transfer katsayısını %4.6-10 arttırmıştır
Tiwari vd. [37]	Al ₂ O ₃ /Su	Plakalı	%0,5-3,0	45	Isı transfer katsayısı %27 artmıştır
Zamzamian vd. [38]	CuO/Etilen Glikol	Plakalı	%0,1-1,0	20	Isı transfer katsayısı %3-49 artmıştır
Anoop vd. [39]	SiO ₂ /Su	Plakalı	%2-6	20	Isı transfer katsayısı maksimum %7 artmıştır
Kabeel vd. [40]	Al ₂ O ₃ /Su	Plakalı	%1-4	47	Isı transfer katsayısı maksimum %13 artmıştır
Sun vd. [41]	Fe ₂ O ₃ /Su, Cu/Su ve Al ₂ O ₃ /Su	Plakalı	%0,1, %0,3, ve %0.5	50	Isı transferin önemli ölçüde artmıştır
Srinivas ve Venu Vinod [42]	CuO/Su TiO ₂ /Su Al ₂ O ₃ /Su	Spiral	% 0,3, % 0,6, % 1, % 1,5 ve % 2	10-40	Isı transferinde artış görülmüştür
Özdemir ve Ergun [43]	Al ₂ O ₃ /Su	Plakalı	2%	100	Termal verimde %16 artış görülmüştür

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada nanoakışkanların hakkında genel bilgiler sunulmuştur. Ek olarak nanoakışkanların özelliklerini etkileyen parametreler ve nanoakışkanların genel kullanım alanlarıyla ilgili bilgiler sunulmuştur. Nanoakışkanlar birçok ısı uygulamasında çalışma akışkanı olarak kullanılabilir. Nanoakışkanların termal performanslarını etkileyen en önemli parametreler nanoparçacıkların oranı, nanoparçacıkların boyutu, nanoparçacıkların şekli ve temel akışkanın özellikleridir. Nanoparçacık oranı nanoakışkanın termofiziksel özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir ve bu yüzden optimum oranının belirlenmesi gerekmektedir. Optimum nanoparçacık oranı kullanılan nano malzemeye

bağlıdır ve bu oran her malzemeye özel olarak belirlenmelidir. Ek olarak optimum parçacık oranının temel akışkanın da özelliklerine önemli ölçüde bağlıdır. Nanoakışkanların üstün özelliklerinin yanı sıra çökelme gibi bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için literatürde farklı yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında hazırlanan karışıma yüzey aktif madde eklenmesi en yaygın kullanılan yöntemdir. Parçacık oranı gibi, yüzey aktif maddesinin de optimum oranının belirlenmesi gerekmektedir.

Nanoakışkanların üstün özellikleri birçok akademik çalışmayla ispatlanmıştır. Ancak literatürde nanoakışkanların uzun süreli kullanımıyla ilgili az sayıda çalışma mevcuttur. Bu yüzden nanoakışkanların ısı sistemlerinde uzun süreli kullanımlarının etkilerinin daha detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Khanları, A., Sözen, A., Variyenli, H. İ. (2018). Simulation and Experimental Analysis of Heat Transfer Characteristics in the Plate Type Heat Exchangers Using TiO₂/Water Nanofluid. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*. DOI.10.1108/HFF-05-2018-0191.
- [2] Sözen, A., Variyenli, H. İ., Özdemir, M. B., Gürü M., and Aytaç, İ. (2016). Heat transfer enhancement using alumina and fly ash nanofluids in parallel and cross-flow concentric tube heat exchangers. *Journal of the Energy Institute*, 89, 414-424.
- [3] Khanları, A., Sözen, A., Variyenli, H. İ., Gürü, M. (2019). Comparison Between Heat Transfer Characteristics of TiO₂/Deionized Water and Kaolin/Deionized Water Nanofluids in the Plate Heat Exchanger, *Heat Transfer Research*, 50(5),435-450.
- [4] Ağbulut, Ü., Sarıdemir, S. (2018). A general view to converting fossil fuels to cleaner energy source by adding nanoparticles. *International Journal of Ambient Energy*, <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1563822>.
- [5] Xiang, Q. W., Arun, S. M. (2008). A Review on nanofluids-experiments and applications. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25, 631-648.
- [6] Minea, A. A. (2017). *Advances in New Heat Transfer Fluids: From Numerical to Experimental Techniques* (First edition). Florida: CRC Press.
- [7] Bowers, J., Cao, H., Qiao, G., Li, Q., Zhang, G., Mura, E., and Ding, Y. (2018). Flow and heat transfer behaviour of nanofluids in microchannels. *Progress in Natural Science: Materials International*, 28, 225-234.
- [8] Murshed, S., M. S., Leong, K. C., Yang, C. (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO₂ Water based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 44, 367-373.
- [9] Hong, T. K., Yang, H. S., Choi, C. J. (2000). Study of the enhanced thermal conductivity of Fe nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 97, 1-4.
- [10] Sözen, A., Gürü, M., Menlik, T., Karakaya, U., Çiftçi, E. (2018). Experimental comparison of Triton X-100 and sodium dodecyl benzene sulfonate surfactants on thermal performance of TiO₂-deionized water nanofluid in a thermosiphon. *Experimental Heat Transfer*, 42, 138-149.
- [11] Sözen, A., Khanları, A., Çiftçi, E. (2019). Heat Transfer Enhancement of Plate Heat Exchanger Utilizing Kaolin-Including Working Fluid, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, <https://doi.org/10.1177/0957650919832445>.
- [12] Sözen, A., Gürü, M., Khanları, A., Çiftçi, E. (2019). Experimental and numerical study on enhancement of heat transfer characteristics of a

heat pipe utilizing aqueous clinoptilolite nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, 160, 114001.

- [13] Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., Ai, F. (2002). Dependence of the thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture on the base fluid, *Journal of Materials Science Letters*, 21(9), 1469-1471.
- [14] Yang, L., Xu, J., Du, K., Zhang, X. (2017). Recent developments on viscosity and thermal conductivity of nanofluids, *Powder Technology*, 317, 348–369.
- [15] Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y. (2002). Thermal conductivity of suspensions containing nanosized SiC particles, *International Journal of Thermophysics*, 23(2), 571-580.
- [16] Murshed, S., M. S., Leong, K. C., Yang, C. (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO₂ Water based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 44, 367-373.
- [17] Teng, T. P., Hung, Y. H., Teng, T. C., Mo, H. E. Hsu, H. G. (2010). The effect of alumina/water nanofluid particle size on thermal conductivity, *Applied Thermal Engineering*, 30(14-15), 2213-2218.
- [18] Chon, C. H., Kihm K. D., Lee S. P., Choi S.U.S. (2005). Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement, *Applied Physics Letters*, 87(15), 153107.
- [19] Kang, H. U., Kim, S. H., Oh, J. M. (2006). Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume, *Experimental Heat Transfer*, 19(3), 181-191.
- [20] Sundar, S. L., Singh, M. K. Sousa, A. C. M. (2013). Investigation of thermal conductivity and viscosity of Fe₃O₄ nanofluid for heat transfer applications, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 44, 7-14.
- [21] Turgut, A., Tavman, I., Chirtoc, M., Schuchmann, H. P., Sauter, C., Tavman, S. (2009). Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO₂ nanofluids, *International Journal of Thermophysics*, 30(4), 1213-1226.
- [22] Nguyen, C. T., Desgranges, F., Galanis, N., Roy, G., Maré, T., Boucher, S., Mintsa, H. A. (2008). Viscosity data for Al₂O₃-water nanofluid-hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable, *International Journal of Thermal Sciences*, 47(2), 103-111.
- [23] Wang, B. X., Zhou, L. P., Peng, X. F. (2006). Surface and size effects on the specific heat capacity of nanoparticles, *International Journal of Thermophysics*, 27(1), 139-151.

- [24] Tiznobaik, H., Shin, D. (2013). Enhanced specific heat capacity of high-temperature molten salt-based nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2), 542-548.
- [25] Kaya, M., Gürel, A. E., Ağbulut, Ü., Ceylan, I., Çelik, S., Ergün, A., Acar, B. (2019) Performance analysis of using CuO-Methanol nanofluid in a hybrid system with concentrated air collector and vacuum tube heat pipe. *Energy Conversion and Management* 199, 111936. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111936>.
- [26] Otanicar, T. P., Phelan, P. E., Prasher, R. S., Rosengarten, G., Taylor, R. A. (2010). Nanofluid-based direct absorption solar collector. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2, 1-13.
- [27] Otanicar, T. P., Golden., J. S. (2009). Comparative environmental and economic analysis of conventional and nanofluid solar hot water technologies. *Environmental Science & Technology*, 43, 6082-6087.
- [28] Tyagi, H., Phelan, P., Prasher, R. (2009). Predicted efficiency of a low-temperature nanofluid-based direct absorption solar collector. *Journal of Solar Energy Engineering*, 131, 410-418.
- [29] Mahian, O., Kianifar, A., Kalogirou, S. A., Pop, L., Wongwises, S. (2013). A review of the applications of nanofluids in solar energy. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57, 582-594.
- [30] Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh, E., Zinadini, S. (2012). An experimental investigation on the effect of Al₂O₃-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors. *Renewable Energy*, 39, 293-298.
- [31] Hjerrild, N. E., Scott, J. A., Amal, R., Taylor, R. A. (2018). Exploring the effects of heat and UV exposure on glycerol-based AgSiO₂ nanofluids for PV/T applications *Renewable Energy*, 120, 266-274.
- [32] Aberoumunda, S., Ghamarib, S., Shabani, B. (2018). Energy and exergy analysis of a photovoltaic thermal (PV/T) system using nanofluids: an experimental study. *Solar Energy*, 165, 167-177.
- [33] Senthilraja, S., Karthikeyan, M., Gangadevi, R. (2010). Nanofluid applications in future automobiles: comprehensive review of existing data. *Nano-Micro Letters*, 2, 306-310.
- [34] Saidur, R., Leong, K. Y., Mohammad, H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1646-1668.
- [35] Duangthongsuk, W., Wongwises, S. (2008) Effect of thermophysical properties models on the predicting of the convective heat transfer coefficient for low concentration nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 35,1320-1326.

- [36] Pandey, S.D., Nema, V.K. (2012) Experimental analysis of heat transfer and friction factor of nanofluid as a coolant in a corrugated plate heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science* 38,248-256.
- [37] Tiwari, A. K., Ghosh, P., Sarkar, J. (2013). Performance comparison of the plate heat exchanger using different nanofluids. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 49, 141-151.
- [38] Zamzamian, A., Oskouie, S. N., Doosthoseini, A., Joneidi, A., Pazouki, M. (2011). Experimental investigation of forced convective heat transfer coefficient in nanofluids of Al_2O_3/EG and CuO/EG in a double pipe and plate heat exchangers under turbulent flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 495-502.
- [39] Anoop, K., Cox, J., Sadr, R. (2013) Thermal evaluation of nanofluids in heat exchangers. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 49,5-9.
- [40] Kabeel A.E., El Maaty, T.A., El Samadony, Y. (2013) The effect of using nano-particles on corrugated plate heat exchanger performance. *Applied Thermal Engineering* 52: 221-229.
- [41] Sun, B., Peng, C., Zuo, R., Yang, D., Li, H. (2016) Investigation on the flow and convective heat transfer characteristics of nanofluids in the plate heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science* 76: 75-86.
- [42] Srinivas, T., Venu Vinod, A. (2016) Heat transfer intensification in a shell and helical coil heat exchanger using water-based nanofluids. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 102,1-8.
- [43] Özdemir, M.B., Ergun, M. E. (2018) Experimental and numerical investigations of thermal performance of Al_2O_3 /water nanofluid for a combi boiler with double heat exchangers. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 29 (4),1300-1321.



Bölüm 11

GÜNEYDOĞU ANADOLU ASFALTİTLERİNİN YIKANABİLİRLİĞİNE BAĞLI TESİS TASARIM ETÜDÜ- PNÖMATİK FLOTASYON TESİS TASARIMI

Yıldırım İsmail TOSUN¹

¹ Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fak., Maden Mühendisliği Bölümü, Şırnak

1. GİRİŞ

Ülkemizde enerji ihtiyacına paralel olarak doğal kaynakların değerlendirilmesi akaryakıt ithalatını azaltarak ekonomik fayda sağlayacaktır. Temel olarak enerji üretimi ithal doğalgazdan yapılmaktadır ve % 46 lık bir paya sahiptir. İthal doğalgazdan yapılan enerji üretiminden sonra ikinci sırada kömür yer almaktadır ve kömürün %26'lık bir pay ile termik santrallerde yakılmasıyla sağlanmaktadır (TKİ, 2013). Bu oranın gelecekte enerji talebine bağlı olarak daha da artacağı tahmin edilmektedir (DPT, 2015). Yılda 83 milyon tonluk toplam linyit ve kömür üretiminin kazanlarda ve endüstriyel fırınlarda ısıtma ve enerji ihtiyacı olarak değerlendirilmiştir. Kalitesiz kömürler mikronize boyutta kül mineral maddesi içermektedir (Kemal ve Aslan, 1999, Kural, 1991, Kemal ve İpekoğlu, 1985, Hsieh ve Wert, 1984, Laskowski J. S., 2001). Bu çalışmada Şırnak yöresinde kapatılan ocakların açılması ve üretilebilecek yüksek kalorili ancak kül oranı ve kükürt oranı yüksek asfaltitlerin yıkanması ekonomik katkısı olacağı düşünülmektedir. Şırnak asfaltitlerinin yıkanabilirlik etütleri yapıp, olası yıkama akım şeması geliştirilerek buna göre yıkama tesis yatırım ve işletme maliyetleri karşılaştırılmıştır. Fizibilite çalışmaları sonucu uygun tesis belirlenmiştir.

1.1. Şırnak Asfaltitleri

Şırnak asfaltitleri ülkemizin Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şırnak ve Hakkari illerinde bulunmaktadır (MTA 1987). 120 milyon ton görünür + mümkün rezervli Şırnak ve Hakkari asfaltitleri % 0,2-1 nem, % 37-65 kül, % 6,3-7.5 toplam kükürt % 5.5-5.7 yanan kükürt, % 60-65 uçucu madde ve 2800-5600 kcal/kg alt ısı değerine sahiptir. Şırnak asfaltit yatakları yayılı veya öbek şeklinde kaya boşluklarına sıkışma konumunda bulunmaktadır. Avgamasya ve Karatepe filonlarında yaklaşık olarak 15 yıldır üretim yapılmaktadır. Avgamasya ve Karatepe filonları 15-25m ve 10-20 m kalınlığında öbekler şeklindedir. Ayrıca Hakkari, Uludere ilçesinde ve çevrede yayılı 1-20 m kalınlığında dağınık asfaltit öbeklerine ve tabaka damarlar bulunmaktadır.

Yan kayaç olarak yatakta kalker, şeyl, marnlı kil, marn, killi kireçtaşları yer almaktadır. Şırnak asfaltit kömürleri şeyl ile beraber yumuşak olup, kül mineral maddesi olarak mikronize boyutta ve makro boyutta kalsit pirit ve pirotin çökeltileri asfaltit kömür ve şeyl içerisinde yaygın olarak bulunmaktadır.

Isıtma amaçlı kullanılabilecek 120 milyon tonluk görünür-mümkün düşük kaliteli rezervlerin ve tespit edilen yeni rezervli asfaltitler bulunmaktadır. Genellikle Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu da kömürün yöre ısıtmasında değerlendirilmesi, nüfus az yoğun ve yüksek

rakımlı yörelerde ekonomik olmaktadır. Kömür kaynakları geniş alanlarda aranmaya başlanıp, araştırmalar sonucunda veriler elde edildikçe, nitelikli kömür saha tespiti TKİ' nin sürdürdüğü arama faaliyetleri ile umut vaat etmektedir.

Güneydoğu Anadolu bölgemizin coğrafi yapısı, nüfus dağılımı incelenecek olursa, Şırnak asfaltit rezervlerinin dağılımı ve kalitesi, çevre etkileri dikkate alındığında, ısıtma sektöründe tüketimini mümkün kılmaktadır. Parça, fındık ve toz asfaltit kömürleri, az kül, az toplam kükürt oranlı ve yüksek ısı değerli olacak temiz asfaltitler şeklinde tüketilmesi ve arzı gerekmektedir. Bütün bu özellikleri bir arada içeren, zenginleştirmeden kullanılabilen ideal Şırnak asfaltit yatakları kısmen yoktur.

120 milyon ton Şırnak asfaltit rezervimizin; % 95'inin nemi % 1'in altında, % 5'inin külü % 20'nin altında, % 15'inin kükürdü % 4 ün altında, % 65'inin kükürtü % 6'nın altında, % 85'inin alt ısı değeri 4000 kcal/kg ın üstünde, % 15'sinin alt ısı değeri 3000 kcal/kg' ın üstündedir.

Endüstriyel fırınlarda toz olarak ve ısıtma sektöründe kazanlarda yakılacak olan Şırnak asfaltitlerinin yıkanıp temizlendikten sonra yakılmalarında, ekonomik ve ekolojik olarak büyük yararlar vardır.

2. KÖMÜRÜN YIKANMASI

2.1. Kömürün Larcodems ve Humprey Spirali ile Yıkaması

Düşük ve orta yoğunluktaki kömür türleri yıkama işleminde Larodem ayıraç yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yıkama ünitesinde tek bir Larcodem ayıraç 50 ton/saat gibi yüksek kapasitede yıkama sağlayabilmektedir. Bu ayıraç ile ağır ortam şartlarında 1-6 mm boyutlarında yüksek yanabilir randımanların sağlandığı ve kül oranlarının %15'in altına düşürülebildiği belirlenmiştir (Anonim f, 2015). Özellikle zor yıkanabilen kömürlerde mikst ürün eldesi ve bu mikstin tekrar ufalanma sonrası işlenmesini de mümkün kılmaktadır (Kemal ve Aslan, 1999, Palowitch vd.,1991).

Humprey spiralleri yüksek ve orta yoğunluktaki kömürlerin yıkanmasında ve özellikle piritik kükürtü olan kömürlerin yıkanmasında çok yaygın olarak tercih edilmektedir (Anonim d,f,e, 2015). Yüksek yoğunluktaki ve yüksek küllü kömürlerin humprey spirallerinde yıkanması esnasında belirli oranda mikst ürün miktarının arttırdığı gözlenmiştir.

2.2. Kömür Flotasyonu ile Yıkaması

Flotasyon ince boyutlu kömürlerin yıkanmasında (Aplan, 1977, Chander vd.,1987, Xie, 2001) en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Bazı araştırmalar kömür tane boyutunun ve yoğunluğunun, mineral dağılımının kömür flotasyonunda (Warner, 1985, Oats vd.,2010, Degner, 1986, Kural, 1990, Ateşok, 1986) önemli kinetik ve yanabilir randımanı etkilediğini belirlemiştir. Araştırmalar tane boyutu arttıkça, yanabilir randımanın hızla azaldığını göstermiştir (Schubert, 2008). Genellikle iri taneli kömürlerin flotasyonunda randıman düşer, ancak flotasyon hızı oldukça düşüktür. Tane boyutu çok büyük olduğunda, baloncuklar üzerinde yapışma olmaz. Bunun aksine, ince kömür flotasyonunda randıman yüksektir ve flotasyon kinetiği de artar (Gupta vd., 2001). Buna karşılık, orta boy kömür taneleri için flotasyon hızı tane büyüklüğüne kuvvetlice bağlıdır. Ayrıca kömür parçacıklarının etrafında oluşan kabarcık kümelerinin iri kömür tanelerini de flotasyon ile yüzdürülmesinde etkili olduğu belirlemiştir (Ata ve Jameson,2005, Ata, 2012). Flotasyonda boyut, katı oranının, reaktif dozajı ve reaktif türünün flotasyon başarısında etkili olduğunu belirtmiştir (Wills ve Napier-Munn , 2006, Feurstenau, 1976).

Kömür flotasyonu üzerindeki tane büyüklüğünün yanında kül mineral maddeleri ile kenetlenme derecesi (Hsieh ve Wert, 1984)ve kül mineral madde örtülmesinin de etkili olduğu belirlenmiştir (Laskowski 2001, Erol vd., 2003). Flotasyonda uygun yıkama boyut aralığının -500 mikron olduğu gözlenmiştir (Chander vd., 1987). Daha iri ve ince tane kömür boyutlarında mekanik karıştırma farklı hidrodinamik etki oluşturmuştur (Jameson, 2001). Daha yüksek enerji ve daha turbülans gerektirdiğini ve böylelikle ince taneciklerin kabarcıklar ile çarpışma olasılığını arttırdığını belirtmiştir. (Ding ve Laskowski, 2006, Klimpel ve Hansen, 1987)

Şırnak asfaltit rezervleriyle ilgili kömürlerin standart flotasyon ile yıkanabilirlik etütlerinde asfaltitlerin petrografik yapısındaki pirit ve kilaşına bağlı yıkanabilirliği zor kömürler olarak belirlenmiştir.

2.3. Kömür Kolon Flotasyonu ile Yıkama

Kolon flotasyonunda mikro kabarcıklar ile çok ince kömürün yanabilir verimlerde yüzdürülebildiği belirlenmiştir (Yianatos vd., 1988,). Mikro kabarcıklardan oluşan köpük zonunda düş şeklindeki bir yıkama suyu ilavesi ile daha temiz ürün kömürün alınması mümkün olabilmektedir. (Hadler vd., 2012, Jameson 2001) Özellikle zor yıkanabilen ve şisti ile şeyli yüksek oranda bulunan kömürlerde başarılı olarak kullanılan bir yöntemdir. Tane büyüklüğü ve kömür türü kolon flotasyonu yanabilir randımanını kolaylıkla etkilemektedir. Ancak kolon ünitesinin çalışma parametreleri de özellikle köpük yüksekliği, yıkama suyu ilavesi, ve bias oranı yanabilir randımanı etkileyen çalışma parametreleri olmaktadır. (Falutsu vd.,1992, Yoon, 1993, Yoon, 2000).

Kolon flotasyonunda kömür taneleri ve kabarcıkların hızlı etkileşimi nedeniyle flotasyon süresine olumlu etkilediğini belirlemiştir (Finch ve Dobby, 1990). Ancak randımanında klasik flotasyona göre şlam taneleri, kül mineral maddeleri düşük yanabilir randımana yol açmıştır. Ayrıca, kolon flotasyonu tane boyutu, şlam niteliği ve kömür türü randımanı klasik flotasyona benzer etkilemektedir (Schubert 2008, Xie ve Oua.b, 1999).

Kolon flotasyonunda köpük tabakasına yıkama suyunun düşüşü kil minerallerinin köpükte sürüklenerek alınmasını azaltmaktadır. Böylelikle yüksek şlamlı kömürlerde daha iyi yanabilir randımanlar elde edilmektedir. Ayrıca şlamlı kömürlerde köpüğün etkinliğini arttırmak için eğimli köpük zonu oluşturulmuştur. Bunun gravite etkisi ile köpüğe sürüklenmeyi azaltacağı belirtilmiştir. Bu esas ilke alan bir siklonik kolon flotasyon hücresi (S-FCMC) eğimli kanallar içeren bir köpük zonu sağlamıştır (FCMC) kömür yıkamada etkili olduğu kanıtlanmış ve yaygın olarak Çin de (Rubio, 1996) kullanılmıştır. Köpük zonundan üçüncü bir sedimente olan köpük ürünü alınmıştır (Valderrama vd., 2011).

2.4. Kömür Yağ Aglomerasyonu ile Yıkınması

Yağ aglomerasyonu mikro boyutlu kömür tanelerini yağ ile seçimli olarak bütünleştirerek, iri aglomerat boyutuna bağlı olarak sulu ortamda çökmesi ile kilinden ayıran bir yöntemdir. Özellikle yüksek killi kömürlerde etkili olarak değerlendirilen bir yöntemdir (Xu ve Yoon, 1990). Çok ince kil minerallerinin mekanik karıştırmada sürüklenmesi ve kömür tanelerine yapışmaları kül oranının düşürülmesinde sorun oluşturmaktadır. Yüksek yoğunluktaki ve düşük gözenekli kömürlerde başarılı olduğu belirlenmiştir. Yüksek yanabilir randıman ve çok ince boyutta kömür yıkanabilmektedir ve şlam kömürler için yaygın olarak değerlendirilmektedir (Melo vd., 2004).

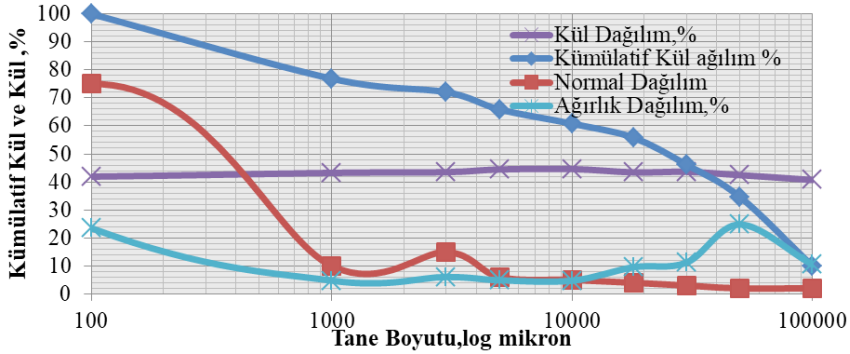
3. METOD VE PROJE ETÜD

Avgamasya filonu olarak yaklaşık % 67 asfaltit üretiminin gerçekleştirildiği kömür ocağından alınan temsili 120 kg lık numune konileme-dörtleme ile azaltılarak 18mm nin altına çekiçli kırıcı ile indirilmiştir. Fındık kömür olarak yaygın bir şekilde endüstriyel yakıt olarak satılabilmesi için yüksek kükürlü ve küllü asfaltit kömürünün yıkanarak satışa sunulması düşünülmüştür. Optimum yıkama tesisi yapılan standart test sonuçlarıyla belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan Avgamasya filonu asfaltitinin kırma ve eleme öncesi temsili tüvanan boyut ve kül fraksiyonel dağılımı Çizelge 1 de verilmektedir. Şekil 1 de kül, kümülatif boyut ve normal boyut dağılımları tanımlanmıştır. Kül içerik iri ve orta boyutta daha yoğun olduğu, toz boyutta azaldığı gözlenmiştir. Özellikle 18 mm nin altında kümülatif kül dağılımı yaklaşık %35 oranında kalmıştır.

Kül yüzdesi ise bu dağılımda %41,6 olmuştur. Kükürt içeriği ise bütün fraksiyonlarda eş dağılım göstermiştir.

Çizelge 1. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Tane Boyutuna Bağlı Nem, Kül ve Kümülatif Kül dağılımı

Elek Açıklığı mm	Ağırlık,%	Nem,%	Kül,%	Kül içerik	Kül Dağılım,%
+ 100	10,44	1,1	40,71	425,01	9,96
+ 50	24,8	1,03	42,45	1052,76	24,67
+ 30	11,23	1,14	43,62	489,85	11,48
+ 18	9,54	1,25	43,43	414,32	9,71
+ 10	4,75	1,31	44,62	211,94	4,96
+5	4,89	1,8	44,47	217,45	5,09
+3	6,05	1,9	43,51	263,23	6,16
+1	4,78	2,1	43,23	206,63	4,84
-1	23,52	2,6	41,9	985,48	23,09
Toplam	100			4266,71	



Şekil 1. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Tane Boyutuna Bağlı Kül Dağılımı, Kümülatif Kül Dağılım ve Kül Normal Dağılımı

4. ŞIRNAK ASFALTİTLERİNİN YIKANABİLİRLİK ETÜDLERİ

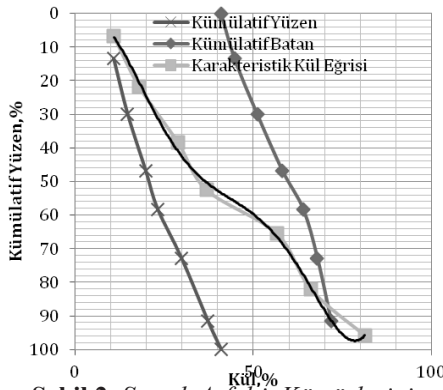
Yıkanabilirlik etütlerinde temsili -10mm boyutundaki 30 kg'lık numuneler kullanılmıştır. -18+10 ve -10+1 mm' tane fraksiyonları için ayrı ayrı yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. Yüzdürme-batırma testlerinde; 1.45; 1.55; 1.65; 1.70; 1.80 ve 2 gr/cm³ yoğunluklarındaki ZnCl₂ çözeltileri kullanılmıştır. -18+10 mm boyut fraksiyonunun test

sonuçları benzer olduğu için bu çalışmada -10+1 mm fraksiyonunun değerleri temel alınmıştır.

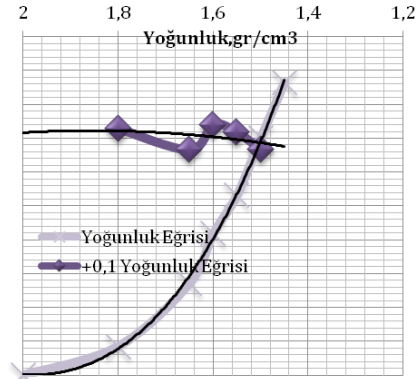
Tane sınıflarına göre yapılan yıkanabilirlik sonuçlarından; -18+10 mm ve -10+1 mm tane sınıfları için hesaplamalarla elde edilen kümülatif yıkanabilirlik test sonuçları Çizelge 2 de verilmiştir. Bu çizelgedeki verilere göre karakteristik kül eğrileri Şekil 2 de ve yıkanabilirlik eğrileri Şekil 3 de tanımlanmıştır.

Çizelge 2. Şırnak Asfaltit kömürlerinin Yüzdürme Batırma Test Sonucu; (-18+1) mm Tane Sınıfındaki Yıkanabilirlik Değerleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Yüzün % Ağ.	Yüzün Malda % Kül	Kül İçerik.	Kümülatif % Yüzün Ağ.	Kümülatif Yüzün % Kül Ağ.	Yüzün Malda % Kül	Kümülatif % Batan Ağ.	Kümülatif % Kül Ağ.	Kümülatif % Batan Ağ.	Kümülatif % Kül Ağ.
1,45	13,5	10,8	145,8	13,5	145,8	10,8	100	4102,09	41,02	6,75
1,5	16,4	17,9	293,56	29,9	439,36	14,69	86,5	3875,29	44,80	21,7
1,55	16,9	28,8	486,72	46,8	926,08	19,78	70,1	3581,73	51,09	38,35
1,6	11,4	36,9	420,66	58,2	1346,74	23,13	53,2	3095,01	58,17	52,5
1,65	14,6	56,6	826,36	72,8	2173,1	29,85	41,8	2674,35	63,97	65,5
1,8	18,7	66,2	1237,94	91,5	3411,04	37,27	27,2	1847,99	67,94	82,15
2	8,5	81,3	691,05	100	4102,09	41,02	8,5	610,05	71,77	95,75
Toplam	100	41,02	4102,09							



Şekil 2. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Karakteristik Kül Eğrisi.



Şekil 3. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Yıkanabilirlik Eğrileri.

Yüzdürme-batırma testlerinde tüvanan numunenin ağırlık olarak %56 sı temsil edilmiştir ve %23,7 küllü temiz kömür %58,2 ağırlık oranında 1,6 yoğunlukta yüzdürülebilmektedir. %29,7 küllü temiz kömür %68,2 ağırlık oranında 1,65 yoğunlukta yüzdürülebilmektedir. Bu da kömürün ağır bir yoğunluğa sahip olduğunu tanımlar. Yoğunluk eğrilerinden 0,1

yoğunluk değişiminde %30(>%10) jig ve masa gibi gravite yıkamanın etkin olmayacağı belirlenmiştir.

5. BULGULARIN İRDELENMESİ

5.1. Kömür Humprey Spiralleri ile Yıkınması

Tüvanan numunenin -3+0,5 mm tane fraksiyonundaki yıkanabilirlik etüdü laboratuvar ölçekli spiral testleriyle saptanmıştır. Yapılan 5 adet test sonucunda temiz kömür mikst ve şeyl atık oldukça iyi sonuçlar vermiştir. -3+0.5 mm tane fraksiyonunun humprey spiral ile yıkanması sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3 te verilmektedir.

Çizelge 3. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin -3+0.5 mm Tane Sınıfındaki Spiral Yıkama Test Değerleri (Tüvanan kömürün ağırlık olarak %26,3'ü, Toz kömürün %65,7'si)

Ürünler	Ağırlık,%	Kül,%	Kül İçerik,%	Yanabilir Kükürt,%	Kükürt İçerik,%	Yanabilir Ürün	Yanabilir Randıman
Temiz Kömür	45	28	30,80	4,40	33,93	67,60	57,11
Mikst	15	42	15,40	4,90	12,59	53,10	14,95
Şeyl Atık	40	55	53,78	7,80	53,47	37,20	27,93
Besleme	100						

Tüvanan kömürün ağırlık olarak %26,3 (-3+0.5) mm boyut fraksiyonunda yıkanması sonucunda, % 57.5 kömür verimi ile % 28.4 küllü toz asfaltit olarak kazanılabileceği Çizelge 3'den görülmektedir.

5.2. Kömür Flotasyonu ile Yıkınması

1 litre Denver laboratuvar flotasyon hücresi kömür flotasyonu testleri için temiz kömür mikst ve atık ürünleri üretmek için kullanılmıştır. Testlerde 3 dk kondüsyon süresi ve 3 dk kömür, 2dk mikst için flotasyon süresi kullanılmıştır. %20 katı/ıvı oranında 1500rpm karıştırma hızında çalışılmıştır. Kömür flotasyonu testlerinde, kerosen 300 g/ton MIBC 400 g/t kondüsyonlanmıştır

Kömürün % 70.52 si % 56.28 kömür verimiyle % 24.3 küllü yıkanmış kömür olarak kazanıldığında tüvanan kömürdeki külün % 61 i artık şeyl olarak atılacaktır (Çizelge 4).

Çizelge 4. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin -0.5 mm Tane Sınıfındaki Kömür Flotasyonu ile Yıkama Test Değerleri. (Tüvenan kömürün ağırlık olarak %17,9'u, Toz kömürün %42,3'ü)

Ürünler	Ağırlık,%	Kül,%	Kül İçerik,%	Yanabilir Kükürt,%	Kükürt İçerik,%	Yanabilir Ürün	Yanabilir Randıman
Temiz Kömür	42	24	24,24	5,50	39,74	70,50	56,28
Mikst	18	35	15,15	5,90	18,27	59,10	20,22
Şeyl Atık	40	63	60,60	6,10	41,98	30,90	23,49
Besleme	100		100				100

Tüvenan kömür bazında ağırlık olarak %17,9 unu ve toz kömürün %42,3 ünü teşkil eden -0.5 mm tane boyutundaki şlam Şırnak asfaltiti flotasyon ile yıkandığı zaman yüksek yanabilir randımanlar elde edilmiştir. Bunun asfaltitin bitüm içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak şeyl ile kenetli kömür de paralel olarak temiz kömür ürün olarak alınmıştır. Testlerden elde edilen mikst ile temiz kömürün kümülatif sonuçlarından; % 76,5 yanabilir randımanla ile % 28.4 küllü toz kömür ürün olarak kazanılabileceği Çizelge 4'den görülmektedir.

5.3. Kömür Kolon Flotasyonu ile Yıkaması

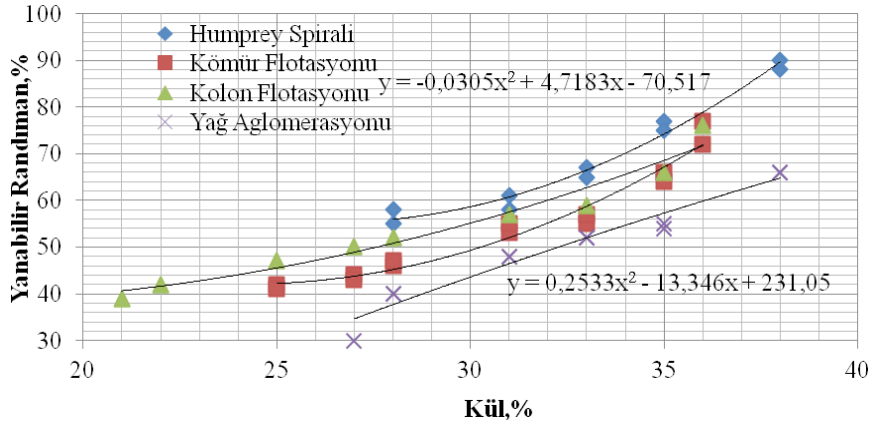
Temsili -0,5 mm numuneler öğütülerek -100mikron boyutuna kontrollü indirilmiştir. 1 m yüksekliğindeki 3cm çapındaki kolon cam hücrede laboratuvar kolon flotasyon hücresi kullanılmış ve testlerde klasik flotasyonda kullanılan reaktifler kullanılarak kömürün kolon flotasyonu testleri gerçekleştirilmiştir. Kömürün kolon flotasyonu testlerinde kerosen 300 g/ton MIBC 400 g/t kondüsyonlanmıştır Köpük yüksekliği 30 cm olarak sabit tutulmuştur. Sıfır Bias oranı temiz kömür ve şeyl atık ürünleri üretmek için kullanılmıştır. Testlerde 3 dkkondüsyon süresi ve 5 dk kömür için flotasyon süresi kullanılmıştır. %20 katı/sıvı oranında 200ml/dk yıkama suyunda çalışılmıştır.

Kolon flotasyonu testleri sonuçlarından temiz kömür, şeyl atık alınmış ve kül kükürt yanabilir randıman denge dağılımı Çizelge 5'da verilmiştir. Buna göre (-100mikron) mm tane iriliğindeki Şırnak asfaltiti mikst ile temiz kömür kümülatifinde % 60.60 yanabilir randımanıyla % 24.3 küllü yıkanmış kömür olarak kazanıldığında kömürdeki külün % 64 ü şeyl atıkla atılacaktır.

Çizelge 5. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin -0.5 mm Tane Sınıfındaki Kömür Flotasyonu ile Yıkama Test Değerleri (Tüvenan kömürün ağırlık olarak %10,7'si, Toz kömürün %35,2'si)

Ürünler	Ağırlık,%	Kül,%	Kül İçerik,%	Yanabilir Küllük,%	Kükürt İçerik,%	Yanabilir Ürün	Yanabilir Randıman
Temiz Kömür	35	22	18,68	5,40	32,55	72,60	47,94
Mikst	10	27	6,55	5,60	9,64	67,40	12,71
Şeyl Atık	55	56	74,75	6,10	57,79	37,90	39,33
Besleme	100		100		100		100

Spiral testleri sonuçlarından üretilen temiz kömür ürünlerin randımanları %84 den %26 küllü kömür için %52 değerine düşmüştür. Flotasyon testleri sonuçlarından üretilen temiz kömür ürünlerin randımanları %74 den %24 küllü kömür için %45 değerine düşmüştür (Şekil 4). Şekil 5’de görüldüğü gibi -100mikron numunelerin kolon flotasyonu test sonuçlarından üretilen temiz kömür ürünlerin randımanları %67 den %22 küllü kömür için %42 değerine düşmüştür. Selektif yağ aglomerasyonunda temiz kömür ürününün randımanı diğer yöntemlere göre daha düşük olmuştur. Aglomerasyonda toz Şırnak asfaltiti % 40.6 yanabilir randımanıyla % 27.5 küllü yıkanmış kömür olarak kazanılmıştır.



Şekil 4. Şırnak Asfaltit Kömürlerinin Toz Boyutta Temiz Kömür Külüne Bağlı Yıkama Ünitesi Kömür Randıman Değerleri

6. PROJE TASARIMI - KÖMÜR YIKAMA TESİSİ

Zor yıkanabilen kömürlerin temizlenmesinde yaygın olarak kullanılan iri kömür ağır ortam yıkama teknelerinde veya tamburlarında, ince kömürde(18-1mm) boyutunda ağır ortam siklon ünitelerinde değerlendirilmektedir (Anonim a.b.c.d.e.f.,2015). Şırnak asfaltitlerinin yıkanmasında bu üniteler randıman sağlayamayacağı için Larcodem veya

Humprey spiralleri kullanan ince kömür yıkama üniteleri faydalı olacağı düşünülererek yıkama tesis tasarımları yapılmıştır. Yukarıdaki yıkama test sonuçlarına göre aşağıdaki iki farklı tasarım yatırım ve işletme maliyeti açısından irdelenmiştir. Kömür flotasyonu ile birlikte kolon flotasyonu uygulayan tesis tasarımı A Şekil 5 de görülen üniteleri içermektedir. Sadece kömür flotasyonu ünitesinin kullanıldığı tasarım B ise Şekil 6 da görülmektedir.

Esas olarak Tasarım A Tesisi Ağır ortam siklonları, Humprey spiralleri, Pnömatik flotasyon ünitesi masalar ve Jameson/Wemco Kolon flotasyon ünitesini içermektedir. Son zamanlarda geliştirilen yüksek performanslı kolon flotasyon üniteleri de şlam kömür yıkamasında, başarı ile kullanılabilir (Anonim a,b,c,d,e,f., 2015).

Yukarıda belirtildiği gibi Şırnak asfaltitleri 1.7 gr/cm^3 yoğunlukta ortalama % 25.5 küllü yıkanmış temiz kömür olarak elde edilebilmektedir. Şırnak asfaltit kömürlerinin şeyl minerallerinin yoğunluğu 2,5 ve yaklaşık %8 gözeneğe sahiptir. Bu da kömür ile atık arasında yıkama yoğunluğu olarak 0.8 gr/cm^3 lük bir yakın farkı tanımlamaktadır Asfaltit yıkama tesisi akım şeması B tasarımı için aşağıda görüldüğü gibidir.

Ağır ortam yıkama ünitelerinin yatırım ve işletme maliyetleri diğer yıkama ünitelerine göre daha yüksektir. Bu nedenle sadece ağır ortam siklon ünitesi yapılan proje çalışmasında önerilmiştir. Ayrıca ağır ortam ünitelerinin sürekli olarak denetimi gerekmektedir.

Bu tesis tasarımına göre;

- Tüvanan kömür, asfaltit çekiçli kırıcıda -20 mm ' ye ufalanacak, ufalanmayan şistte $(+40/50 \text{ mm})$ kalabilecek iri şeyl/marn triyaj bandında elle ayıklanacaktır.
- 100 mm den ince kömür, $(-100+18)\text{mm}$, $(-18+2)\text{mm}$, $(-2+0.5) \text{ mm}$, -0.5 mm tane fraksiyonlarına elenecektir.
- $(-20+2)\text{mm}$ tane fraksiyonundaki asfaltit ağır ortam siklonunda temizlenecektir.
- Ağır ortam siklon miksti yeterince temiz olmadığından Mikst çekiçli kırıcıda ufalanarak $(-2) \text{ mm}$ ince kömür Humprey spirale beslenecek,
- $(-2+0.5) \text{ mm}$ tane fraksiyonu Humprey spiralinde yıkanacak,
- İnce kömür -0.5 mm fraksiyonu pnömatikflotasyon ünitesinde yıkanacaktır.
- -0.100 mm şlam kömürü olarak Jameson kolon flotasyon ünitesinde yıkanacak,

- İnce ve şlamşeyl artıklar, tikiner çıkışından pompa ve boru ile uzaklaştırılacaktır.

Yıkama tesisinin talebine göre tüvanan kömür 21 \$/ton parasal değeri karşılığında satın alınarak lavvar tesisinde yıkanacaktır. Önerilen yıkama tesisinde yıkama ince ve toz kömür için yapılacaktır. İnce boyutlu ürün siklonlar ile toz şlam boyutlu asfaltit ise flotasyon ünitesi ile yıkanacaktır. % 43.40'ı % 25,4 küllü yıkanmış ince toz kömür (-2+0.5 mm), olarak üretilebilecektir. % 6,7 ağırlık oranındaki Şlam kömürün ortalama külü ise % 25,4 olacaktır.

Şırnak asfaltitlerinin külü % 25,4 küllü , % 4.7 yanabilir kükürt içeren 7200 kcal/kg alt ısı değerinde (Çizelge 6), ısıtma yakıtı olarak kullanılabilecek taşkömürü eşdeğerinde yıkanmış asfaltit üretilebilecektir. 120 milyon ton görünür-mümkün 160 milyon ton Şırnak asfaltit rezervi bulunmaktadır. Bu rezerv 1 milyon ton/yıl kapasiteli üretimle 80 yıldan fazla çalıştırılabilecektir.

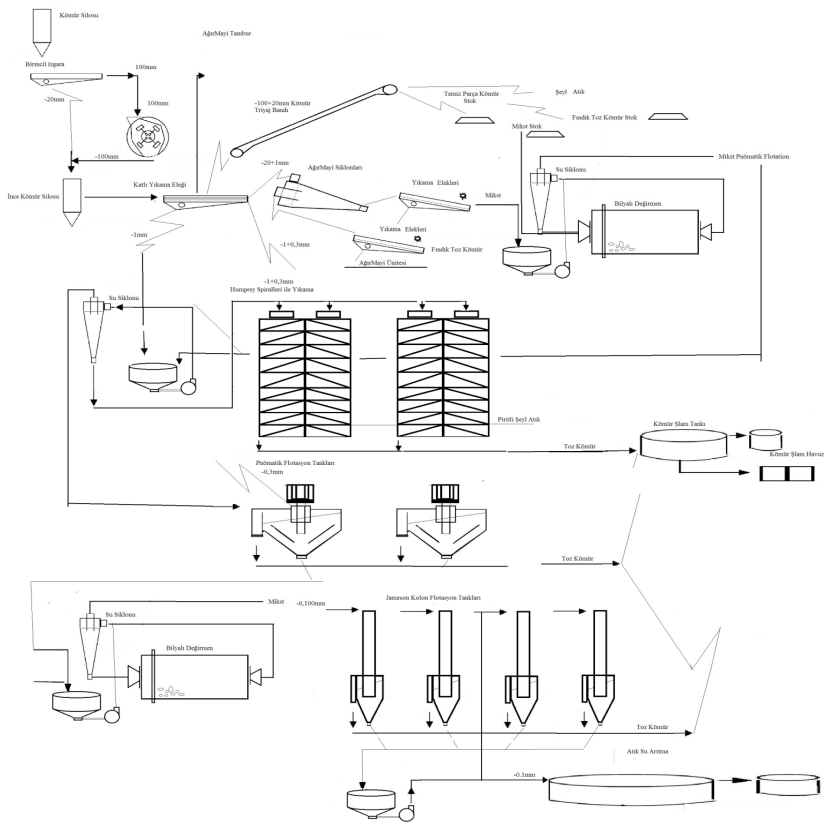
Bu önerilen A Tesis Tasarımı ile yapılacak yıkama işleminde, tesisten, 1.7 gr/cm³ yıkama yoğunluğunda, yılda;

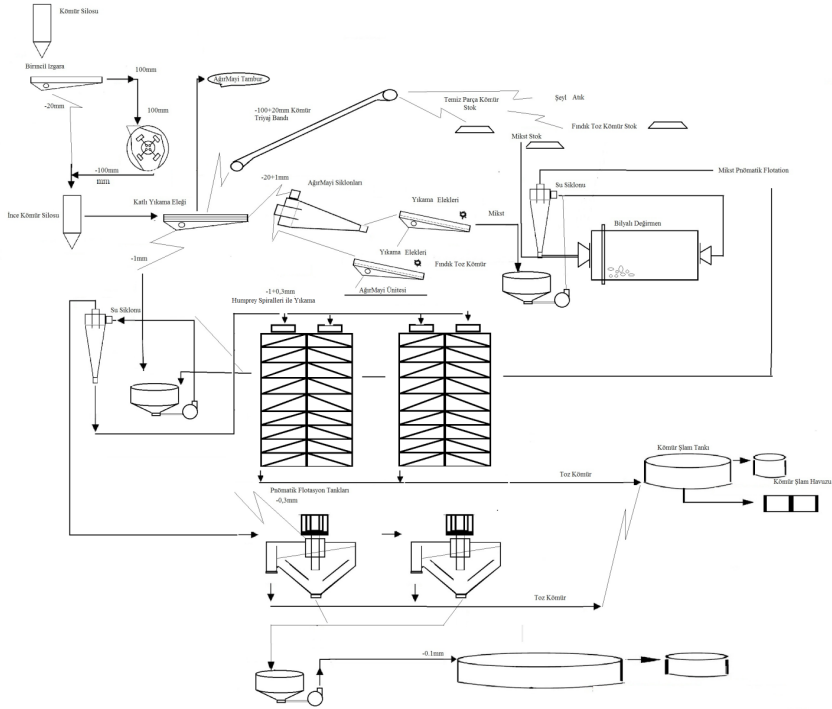
- ev yakıtı olarak (19-10 mm) 450 000 ton,
- Sanayi yakıtı olarak (-10/-0.5 mm) 200 000 ton,
- Santral yakıtı olarak (-10+2 mm; % 35 küllü mikst asfaltit) 135 000 ton yıkanmış asfaltit üretilebilecektir (Çizelge 5).
- yıkama tesisinde tüvonan kömürdeki külün % 70-74 ü artık olarak atılabilecektir (Çizelge 3-4-5).
- Tesiste üretilen 600 000 ton yıkanmış kömürün eşdeğeri 750 000 ton tüvonan kömürdür. Şırnak'da ısınma yakıtı olarak tüvönan kömür kullanma yerine yıkanmış kömür kullanmakla tasarruf edilecek (150 000 ton/yıl) nakliye masrafı yılda 1,2 milyon TL dir. Yaklaşık olarak 35 milyon \$ lık tesis yatırım sermayesi ile, bugünkü banka faizleri (% 7)' ile yılda üretilen 600 bin ton yıkanmış kömür ve 135 bin ton mikst ürünün yıllık toplam işletme maliyeti 39,32 TL/ton ve bir ton yıkanmış ton kömürün tesiste yıkanma maliyeti yaklaşık olarak 60,68 TL/ton olacağı hesaplanmıştır.
- Kazan taban külünün atımı belediyelerin yükünü ton başına 20 TL/ton değerinde azaltacaktır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şırnak asfaltitlerinin yüksek kül oranına bağlı olarak klasik flotasyon ve kolon flotasyonunda düşük yanabilir randıman gösterdiği ayrıca yanabilir kükürtün yeterli olarak temiz kömür üründe düşürülemediği belirlenmiştir. Yıkama tesisi ile kömürdeki kül malzemesinin % 62 ‘isi kömürden atılmaktadır. Böylece hava kirliliği azaltılabilecektir. Yanabilir kükürtün %38’i atılabilmektedir.

Şırnak asfaltitleri, Türkiye'nin asfaltit rezervlerinin (görünür ve mümkün) tamamını içerir. Bu asfaltitleri çıkarıldığı yörede işleyecek bir yıkama tesisi ile yıkanması, kül ve kükürt içerikleri düşürülerek değerlendirilmesi hem taşıma maliyeti hem de çevrenin korunması açısından avantaj sağlayacaktır. Yıkama işlemi gerçekleştirildiği takdirde % 25,2 kül ve % 4,3 yanar kükürtlü, 6700 kcal/kg alt ısı değerli, hem kazanlar için ısıtma amaçlı hem de endüstriyel temiz yakıt olabilecek yıkanmış kömür üretililecektir.

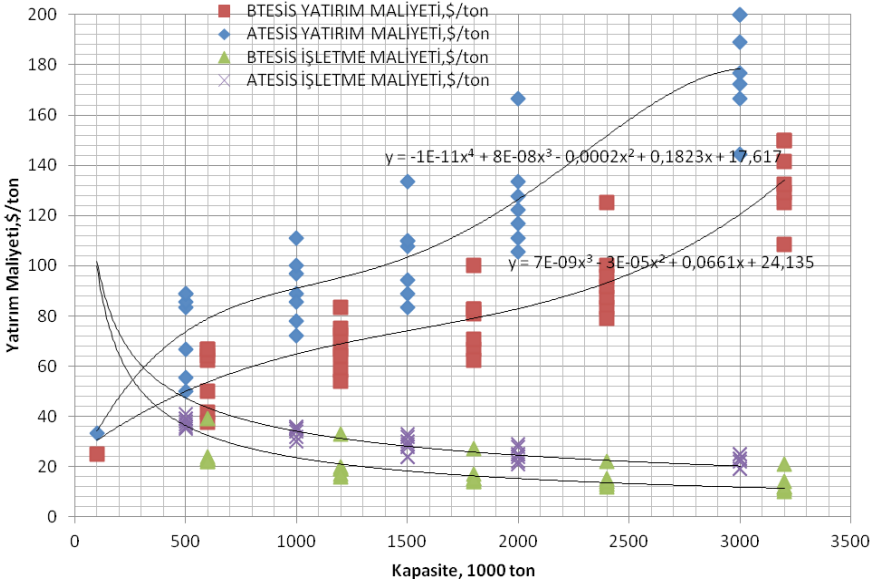




Şekil 6. Proje BTasarımı Şırnak Asfaltiti yıkama tesisi genel akım şeması

Çizelge 6. Şırnak Kömürlerinin Yıkama Tesis Ürünleri Analiz Sonuçları

Ürünler	Nem	Kül	Yanabilir Kükürt	Alt Isıl Değeri, kcal/kg
Tüvenan	0,5	42	6,5	4870
İri Temiz kömür	0,3	39	6,7	6320
Fındık Temiz Kömür	0,5	34	5,9	6140
Temiz Toz Kömür	0,7	26	4,5	7230
Mikst	0,7	36	4,7	5680
Şeyl	1,8	58	3,7	2260



Şekil 7. Proje Tesislerinin Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Kapasiteye göre Değişimi

Triyaj uygulaması zaruri olarak gerekmektedir. Özellikle kapalı işletme üretiminde karışacak aynı renkteki şeyl kayaç karışmasıyla kazılan ürün kalitesi azalacaktır. Ayrıca şeyl ve kömür yoğunlukları arasındaki farkın çok az olması nedeniyle yıkama işlemini daha da güçleştirecektir.

Kurulması planlanan bir milyon ton/yıl kapasiteli yıkama tesisinin işletmeye alınma anındaki yaklaşık 39 TL/ton kömür tutarındaki maliyetin %4'ü üç yıllık kuruluş aşamasındaki faiz yükünden kaynaklanmaktadır. 39 TL/ton kömür tutarındaki işletme sermayesine % 40 kar beklentisi ile maliyetler hesaplandığında; üretilecek toz kömürün tesiste maliyeti 76 TL/ton değerine ulaşmaktadır.

Yıkama tesis yatırım maliyetini, işletme maliyetini azaltmak için tesis kapasitesini artırmak ve araştırmalar ile son zamanlarda yaygın kömür yıkamada kullanılan “Larcodem Separatörleri” kullanılabilir (Anonim d,e, f, 2016).

Zor yıkanabilir Şırnak ve Hakkâri asfaltitlerimizin büyük çoğunluğunu optimum yıkayabilecek yöntemlerin araştırılıp bulunması gerekmektedir.

Ayrıca teknolojik açıdan zor yıkanabilen Şırnak asfaltitlerimizin, yıkama tesis kurulumunu kısıtlayan makro ekonomik faktörler, akaryakıt ithali, çevresel yaptırımlar gibi tehditler ekonomik olarak irdelenmesi gerekecektir.

KAYNAKLAR

- Akdemir, Ü., and I. Sönmez. 2003. Investigation of coal and ash recovery and entrainment in flotation. *Fuel Processing Technology* 82(1): 1–9
- Anonim a, 2016, *Tekfen İnşaat Şirket* web sayfası, <http://www.tekfeninsaat.com.tr>
- Anonim b, 2016, *Gayret Makina Şirket* web sayfası, <http://www.gayretmakina.com.tr>
- Anonim c, 2016, *Multotec Şirket* web sayfası, <http://www.multotec.com/category/industry/coal>
- Anonim d, 2016, *MBE Şirket* web sayfası, <http://www.mbe-cmt.com/en/products/pneuflo%C2%AE/pneuflo%C2%AE>
- Anonim e, 2016, *SCHAUENBURG Şirket* web sayfası, http://www.schauenburg-aka.com/index_e.html
- Anonim f, 2016, *CWP Şirket* web sayfası, <http://cwp.com.tr/en/products.aspx?id=30>
- Aplan F.F., 1977, Use of the Flotation Proecess Desulphurization of Coal, *Coal Desulfurization: Wheelock T.D.(ed), ACS Symposium Series, Washington*
- Ata , S. , and Jameson G. J.. 2005, The formation of bubble clusters in flotation cells, *International Journal of Mineral Processing* 76 : 123 – 139
- Ata, S. 2012. Phenomena in the froth phase of flotation—A review. *International Journal of Mineral Processing* 102: 1–12.
- Ateşok, G., 1986, *Kömür Hazırlama*, Kurtuluş Matbaası, İstanbul
- Chander S., Mohal B. R., and Aplan F. F. 1987, Wetting Behavior of Coal in the Presence of Some Nonionic Surfactants, *Colloids&Surfaces* , Vol. 26 , pp. 205 – 213.
- Degner V.R., 1986, Flotation Machine Size Selection, *COALPREP86* Conference papers, p319-349
- Ding K. and Laskowski J. S., 2006, Coal Reverse Flotation. Parts I and II , *Minerals Engineering* , Vol. 19 , pp. 72–78, 79–86.
- DPT, 2015, *Madencilik*, 9 Kalkınma Özel İhtisas Raporu.
- Erol, M., C. Colduroglu, and Z. Aktas. 2003. Theeffect of reagents and reagent mixtures on frothflotation of coalfines. *International Journal of Mineral Processing* 71(1): 131–145.
- Falutsu, M., G. S. Dobby. 1992. Froth performance in commercial sized flotation columns. *Minerals Engineering* 5(10): 1207–1223
- Finch J.A., Dobby, G.S.(Eds), 1990, *Column Flotation*, Pergamon Press, Toronto
- Fuerstenau M.C., 1976, *Flotation*, AIME, New York

- Gupta, A. K., P. K. Banerjee, A. Mishra, and P. Satish. 2007. Effect of alcohol and polyglycol ether frothers on foam stability, bubble size and coal flotation. *Fine Coal Processing*, eds. S. K. Mishra and R. R. Klimpel, 78–109. Park Ridge, NJ: Noyes Publications.
- Hadler, K., M. Greyling, N. Plint, and J. J. Cilliers. 2012. The effect of froth depth on air recovery and flotation performance. *Minerals Engineering* 36: 248–253.
- Hsieh K.C. ve Wert, C.A. 1984, Ultra fine Minerals in Coal: Process Mineralogy III Ed. William Petruk, AIME
- Jameson , G. J. 2001 . The flotation of coarse and ultra fine particles .*International Journal of Mineral Processing*72 : 12 – 15
- Kemal, M., Arslan, V., 1999. *Kömür Teknolojisi*, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İZMİR, 975-441-142-5
- Kemal. M.,İpekoğlu, Ü. 1985, Türkiye’nin Yakacak Gereksinimi ve Çözüm Olanakları, *Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 9. Kongresi*, T.M.M.O.B. Maden Mühendisleri Odası, Ankara
- Klimpel , R. R. , and R. D. Hansen . 1987 .*Fine Coal Processing* . New York : Noyes Publications
- Klimpel, R. R.,and R. D. Hansen. 1987. Chemistry of fine coal flotation. *Fine Coal Processing* 78–109
- Kural, O.,1999, *Kömür*, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.,İstanbul
- Laskowski J. S., 2001, Coal Flotation and Fine Coal Utilization , Elsevier , Amsterdam.
- Melo, M. Pawlik, and J. S. Laskowski, 2004, Effect of Coal Surface Wettability on Aggregation of Fine Coal Particles, InParticle Size Enlargement in Mineral Processing –Proc. 5th UBC-Mc GillInt. Symp. (J. S. Laskowski, ed.), CIM Metallurgical Society , Montreal , 2004.
- Oats, W. J., O. Ozdemir, and A. V. Nguyen. 2010. Effect of mechanical and chemical clay removals by hydrocyclone and dispersants on coal flotation. *Minerals Engineering* 23(5): 413–419.
- Palowitch, E.R.,Deurbrouck, Parsons, T.H.,1991, Part2.Wet fine particle concentration, Coal Preparation (Eds. J.W. Leonard, B.C. Hardinge 5thEd.),SMME,AIME,Colorado.
- Rubio, J. 1996. Modified column flotation of mineral particles. *International Journal of Mineral Processing*48(3): 183–196
- Schubert, H. 2008. On the optimization of hydrodynamics in fine particle flotation. *Minerals Engineering* 21(12): 930–936
- Valderrama, L., M. Santander, M. Paiva, and J. Rubio. 2011. Modified-three-product column (3PC) flotation of copper-gold particles in a rougher feed and tailings. *Minerals Engineering* 24(13): 1397–1401

- Warren, L. J. 1985. Determination of the contributions of true flotation and entrainment in batch flotation tests. *International Journal of Mineral Processing* 14(1): 33–44
- Wills, B. A. , and Napier-Munn T. J., 2006 . *Wills' Mineral Processing Technology* .Boston : Butterworth-Heinemann
- Xie , G. Y. , and Ou Z. S.. 1999 . Research on coal washing desulfurization .Journal of China University of Mining&Technology 28 (5): 502 – 505
- Xie , G. Y. , and Ou Z. S.. 1999 . The study and practice of cyclonic microbial flotation column of ash and pyritic sulfur rejection from coals .Mining Science andTechnology5 : 511 – 514.
- Xie , G. Y. 2001 . *Mineral Processing* .Xu Zhou, China University of Mining and Technology Press
- Xu Z. and Yoon R. H., 1989, The Role of Hydrophobic Interactions in Coagulation , J. Colloid and Interface Sci. , Vol. 132 , pp. 532 – 541.
- Xu Z. and Yoon R. H., 1990, A Study of Hydrophobic Coagulation , J. Colloid and Interface Sci. , Vol. 134 , pp. 427 – 434
- Yianatos, J. B., J. A. Finch, and A. R. Laplante. 1988. Selectivity in column flotation froths. *International Journal of Mineral Processing* 23(3): 279–292.
- Yoon, R. H. 1993. Micro bubble flotation. *Minerals Engineering* 6(6): 619–630.
- Yoon, R. H. 2000. The role of hydrodynamic and surface forces in bubble–particle interaction. *International Journal of Mineral Processing* 58(1): 129–143.



Bölüm 12

ATIK CAM KATKILI ASFALT KAPLAMALAR

Erol İSKENDER¹, Cansu İSKENDER², Atakan AKSOY³

1 Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 61830, Türkiye
eiskender@ktu.edu.tr

2 KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Trabzon, 61080, Türkiye cansuiskender3@gmail.com

3 Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 61080, Türkiye
aaksoy@ktu.edu.tr

1. Giriş

Ülkemizde ve dünyada sanayinin, nüfusun, endüstrinin hızla artması tüketimin de artmasına neden olmaktadır. Tüketimin artmasıyla birlikte dünyada her yıl büyük oranda atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Artan atık üretimi insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkilemekte ve ülke ekonomisine zarar vermektedir. Bu sebeple, atıkların bertaraf edilip çevreden uzaklaştırılması gerekmektedir. Üretilen atıkları değerlendirmenin yolu; atıkların tekrar kullanılması, geri dönüştürülmesi ve ekonomiye kazandırılmasıdır. Bunun için atık yönetimi yaklaşımı tüm ülkeler için büyük önem arz etmektedir.

Taşıt trafiğinden kaynaklanan tekrarlı yükler altında kaplamada yorulma ve kalıcı deformasyon problemi oluşmaktadır. Donma-çözülme olaylarının tekrarlanması, suyun kaplamaya nüfuz etmesi, trafik etkisi ve bitümün yeterli kalitede olmaması vb. sebeplerle kaplamada çatlama, soyulma ve sökülme problemleri oluşabilmektedir. Esnek üst yapıda karşılaşılan bu problemleri en aza indirmek, yüksek bakım maliyetlerini azaltmak için çeşitli yöntemlere başvurulmaktadır. Kaliteli agrega kullanımı, agrega gradasyonunun değiştirilmesi veya değişik katkı uygulamaları kaplama performansını artırmak için genellikle kullanılan yöntemlerdendir.

Atık camların bir kısmı geri dönüşümle birlikte tekrar kullanılarak bir kısmı da farklı alanlarda kullanılarak çevreye olan zararlı etkileri azaltılabilmektedir. Atık camların yol inşaatlarında temel - alt temel tabakalarında ve aşınma tabakasında kullanımı atık camların tekrar kullanımına örnek olarak verilebilmektedir.

Atık camların bitümlü aşınma tabakasına eklenmesiyle cam katkılı asfaltlar (glassphalt) elde edilmektedir. Cam katkılı asfaltlarda soyulma problemi önemli yer tutmaktadır. Bu nedenle kullanılacak atık cam miktarı ve boyutu özenle belirlenmelidir. Literatürdeki bazı araştırmalar (Chen ve Su, 2002; Arabani, 2011; Sajed ve Shafabakhsh, 2014; Behbahani vd., 2015; Issa, 2016) maksimum cam boyutunun 4.75mm (No:4) olabileceğini savunurken bazı araştırmacılar ise Maupin, 1998) 9.5mm (3/8 inç), bazıları ise (Atkins ve Macdonald, 2009; Salem vd., 2017) 2.36mm (No:8) olabileceğini önermektedirler. Diğer yandan kırılmış cam boyutunun yanında cam içeriğinin de sınırlandırılması gerektiği vurgulanmıştır (Chen ve Su, 2002). Cam içeriğini (Maupin, 1998; Arabani, 2011) %15, (Issa, 2016; Abende, 2017; Chen ve Su, 2002; Behbahani vd., 2015) %10 olarak önermektedirler. Farklı filler tipleri ve cam içerikleriyle asfalt karışımının performansının değerlendirildiği bir çalışmada (Navarro vd., 2015) %8 cam içeriğinin en uygun olduğu, cam tozunun asfalt karışımlarda kullanılan diğer filler çeşitlerine alternatif olarak araştırıldığı bir diğer çalışmada (Jony vd., 2011) ise optimum cam tozu içeriği %7 olarak önerilmektedir. Maksimum kırılmış

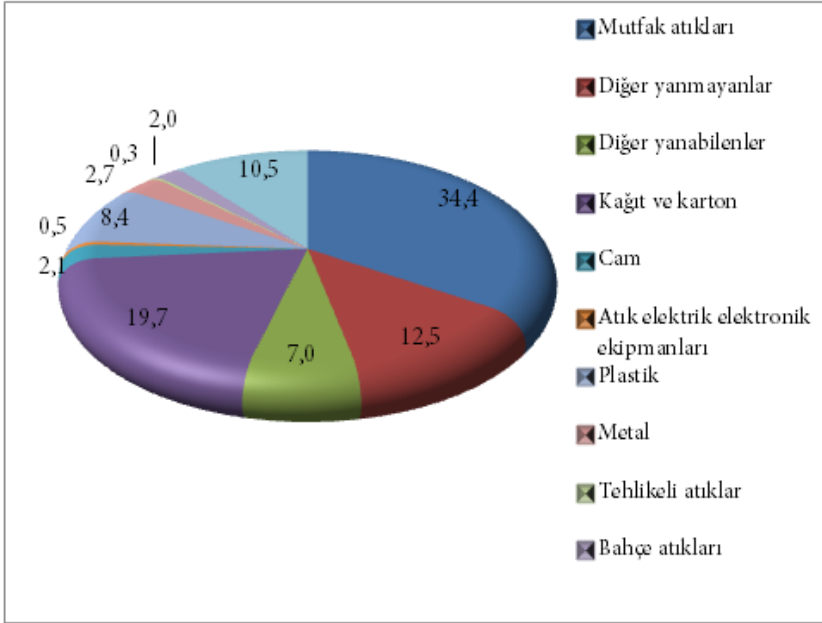
agrega çapının 5mm olarak seçildiği bir araştırmada (AL- Saffar, 2013) değişik cam oranları kullanılmış, mekanik test sonuçlarına bağlı olarak, toplam agrega ağırlığına göre %8 oranında cam içeriğinin uygun olduğu önerilmiştir (İskender, 2017).

Atık camlardaki yüksek SiO_2 içeriği soyulma problemini tetiklemektedir. Soyulma hassasiyetinin azaltılması için karışıma sönmüş kireç, amin bazlı soyulma önleyici katkıları vb. katılmaktadır. Son zamanlarda, asfalt kaplamaların performansını artırıcı özellikleri ile nanokiller dikkat çekmektedir. Bu yenilikçi materyaller cam katkılı asfaltlarda da başarıyla kullanılabilen ve su hasarı direncini arttırabilmektedirler (Behbahani, vd., 2015).

2. Katı Atıklar ve Yönetimi

Ülkemizde gerçekleşen teknolojik gelişme, sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve refah seviyesinin yükselmesi ile atık miktarı da artmaktadır. Artan atık miktarından dolayı karşılaşılan zorluklar atıksız veya olabildiğince az atıklı üretimi ve tüketimi amaçlayan “atık yönetimi yaklaşımını” gerektirmektedir. Atık yönetimi kapsamında; tehlikeli ve tehlikesiz atıkların azaltılması, kaynağında ayrı toplanması, ara depolanması, atıkların taşınması, geri kazanılması, geri dönüştürülmesi ve bertarafı yer almaktadır (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014).

İnsanların faaliyetleri sonucunda işe yaramaz hale gelen ve kullanılmayan, yaşanan ortamdan uzaklaştırılması gereken maddelere atık denilmektedir. Katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç farklı atık çeşidi vardır. Oluştukları yere göre katı atıklar, yedi bölüme ayrılmaktadır. Evsel atıklar, endüstriyel atıklar, tehlikeli atıklar, özel atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal ve bahçe atıkları, inşaat artığı ve moloz atıkları katı atıklar olarak sınıflandırılmaktadır (Gündüzalp ve Güven, 2016). 2008 yılı için Türkiye’de belediye katı atık oranları Şekil 1’de verilmiştir. Toplam atık içerisinde cam atıkları %2,1’lik bir yer tutmaktadır.



Şekil 1: Türkiye’de katı atık oranları (Separate-Waste Systems, 2014)

3. Geri Dönüşüm

Geri dönüşüm veya atık minimizasyonu sürdürülebilir değer ve yeşil bir çevre için ön koşuldur. Kullanılmayan ve çalışmayan ürünlerin malzeme içeriğini yeniden kazanmak için geri dönüşüm yapılmaktadır. Geri dönüştürülebilir malzemeler arasında birçok türde cam, kâğıt, metal, plastik, tekstil ve elektronik malzemeler bulunmaktadır. Geri dönüştürülecek malzemeler ya bir toplama merkezine getirilir ya da toplanan malzemeler sınıflandırılır, temizlenir ve üretim için yeni malzemeler halinde yeniden işlenir.

Geri dönüşüm, potansiyel olarak yararlı malzemelerin israfını önlemek, hammadde tüketimini azaltmak, enerji kullanımını azaltmak, hava kirliliğini ve su kirliliğini azaltmak için geleneksel atık imha ihtiyacını azaltarak atık malzemeleri yeni ürünlere dönüştürmek için bir süreç olarak tanımlanabilir. Geri dönüşüm ile birçok atık geri kazanılabilir (Gencer, 2016).

3.1. Camların Geri Dönüşümü

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte doğal kaynaklarımız azalmaktadır. Bu sebeple geri kazanım, doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için çok önemlidir (Savcı ve Dikmen, 2015).

- ✓ Cam atıklarının geri dönüşümü, mineral kaynakların yanı sıra önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- ✓ Camların geri kazanılmasıyla depolama sahalarının ömrü uzar, doğal kaynaklar korunur ve atık bertaraf maliyeti azalır.
- ✓ Farklı atık türleri arasında cam, en değerli geri dönüşüm malzemelerinden biridir çünkü tamamen geri dönüştürülebilmekte ve neredeyse doğada hiç yok olmamaktadır (Gencer, 2016).

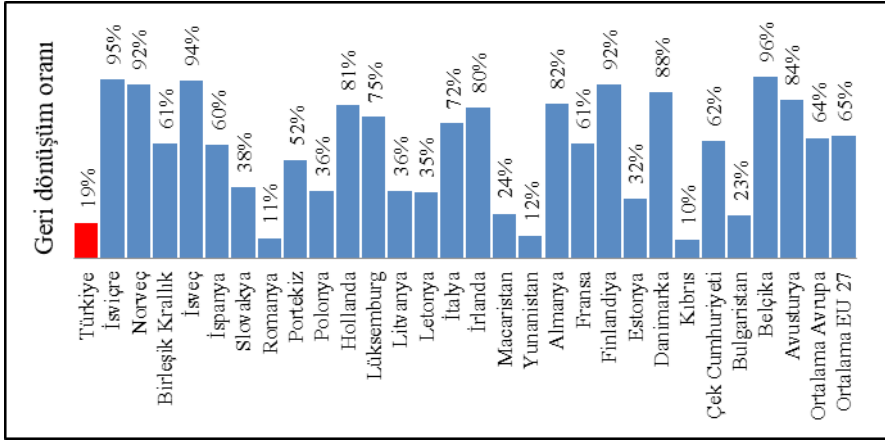
Cam atık yönetimine alternatif yaklaşımlar aranmaktadır (Tahmoorian vd., 2018). %100 geri dönüştürülmüş cam atık kullanımıyla sağlanan tasarruflar Tablo 1’de verilmektedir.

Avrupa Birliği İstatistik Kuruluşu Eurostat’ın verilerine göre AB27 ülkelerinde 2008’da üretilen 2,5 milyar ton atığın yaklaşık yarısı düzenli depolama sahalarına dökülmüştür. Diğer yarısı ise geri kazanılmış, geri dönüştürülmüş, yeniden kullanılmış veya yakılmıştır. AB’de üretilen yaklaşık 2,5 milyar ton atığın 1.150 milyon tonunun içinde temel olarak geri dönüştürülebilenler (kâğıt ve karton, plastik, demir ve çelik, alüminyum, bakır ve nikel, metaller, cam, elektronik atıklar, inşaat ve yıkıntı atıkları) oluşturmaktadır. Bu miktarın 680 milyon tonu geri dönüştürülmektedir (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014).

Tablo 1: Cam geri kazanımıyla sağlanan tasarruflar (TOBB, 2012).

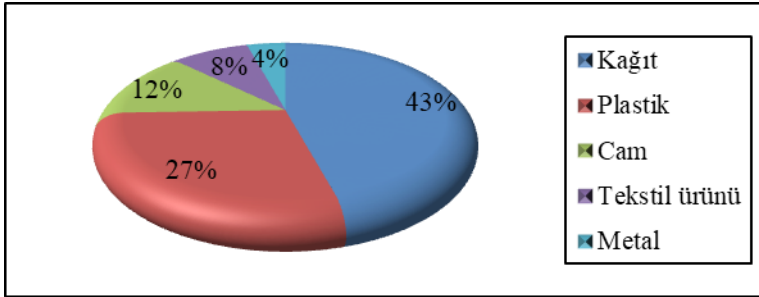
Tasarruf türü	Tasarruf oranı (%)
Enerji tüketiminde azalma	25
Karbon emisyonlarında azalma	50
Maden atığında azalma	80
Su tüketiminde azalma	50
Korunan doğal kaynaklar	Kum, soda, kireç

Şekil 2’de AB 27’deki toplam cam geri dönüşüm yüzdeleri verilmektedir. 2008 yılında cam dönüşümünde en büyük yüzdeler %96 ve %95 oranla Belçika ve İsviçre sahipken, Türkiye %19 oranla son sıralarda yer almaktadır.



Şekil 2: AB 27 2008 yılı cam geri dönüşüm oranları (URL-1, 2017).

2010 yılına kadar %35 olan geri dönüşüm oranı 2012 ve sonrasında %40 civarına yükselmiş durumdadır (Yetim, 2014). Şekil 3'te geri dönüştürülen atıkların dağılımı verilmektedir. Geri dönüştürülen atıkların %43'ünü kâğıt, %27'sini plastik, %12'sini cam, %8'ini tekstil ürünleri, %4'ünü de metal atıklar oluşturmaktadır.



Şekil 3: Türkiye'de atıkların geri dönüştürülme oranları (Yetim, 2014).

Türkiye'de cam geri kazanım çalışması için 6570 bin ton atık cam tekrar işlenerek geri kazanılmaktadır. Ülkemizde çöp içindeki geri kazanılabilir madde oranı yaklaşık olarak %12'dir. Cam şişelerin Türkiye genelindeki geri kazanım oranı ise %36'dır. Atık camların %64'ü ise değerlendirilememektedir. Camların toplanarak geri kazanılması, depolama sahalarının ömrünü uzatma ayrıca doğal kaynakları korunmasını sağlamaktadır. Kullanılan camların %64'lük kısmı geri dönüşüme katılmadığından, alternatif kullanım alanlarının oluşturulması ve ekonomiye olan katkısının artırılması büyük önem taşımaktadır (Özünal ve İmat, 2016).

4. Camın Yapısı ve Tarihçesi

Arkeolojik kazılarda ortaya çıkan en eski cam ürün M.Ö. 5500 yıllarında Mısır'da bulunmuştur. Babil'de cam sanatı oldukça ileri düzeyde olup bulunan bir kil tablet üzerinde bilinen ilk cam reçetesi kazınmıştır. Bu reçetede 60 ölçü kum, 180 ölçü alg ve deniz yosunu külü, beş ölçü güherçile ve üç ölçü tebeşir (kireçtaşı) kullanılması gerektiği yazılmıştır.

Cam, yer kabuğunda bolca bulunan silika (kum), soda külü, kireç, feldspat ve iz elementlerden üretilmektedir. Bu hammaddelerden silika oldukça önemli olup temin edilmesi aslında sınırsız olmaktadır. Soda külü, tuz kullanımı ile kimyasal olarak üretilebilmekte ve doğal olarak mineral oluşumu ile bulunabilmektedir. Kireç ise bolca bulunan bir maddedir (TOBB., 2012).

Cam anısoğutulmuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle, diğer metal oksitlerin çözülmesinden oluşan akışkan bir malzemedir. Ana maddesi silisyum oksittir (SiO_2). Cam amorf yapısını koruyarak katılaşmaktadır. Üretim sırasında hızlı soğumasından dolayı kristal yapı yerine amorf yapı oluşmaktadır. Bu yapı cama sağlamlık ve saydamlık özelliğini kazandırır. Katılarda görülen kristallenme özelliklerini göstermediği için kimi zaman sıvı olarak da adlandırılmaktadır. Bu adlandırma amorf yapısından dolayı yapılmaktadır (TOBB., 2012).

Camı oluşturan temel oksitler; silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), sodyum oksit (Na_2O), kalsiyum oksit (CaO), potasyum oksit (K_2O), kurşun oksit (PbO), bor oksit (B_2O_3), magnezyum oksit (MgO), baryum oksit (BaO), demir oksit (Fe_2O_3)'tir (Albaşkara, 2018). Tablo 2'de camın kimyasal kompozisyon aralık değerleri sunulmuştur (Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları, 2005).

Tablo 2: Camın kimyasal kompozisyon aralık değerleri

Bileşen	Ağırlık (%)
SiO_2	70.87-72.83
Na_2O	12.40-13.67
CaO	8.84-10.47
Al_2O_3	1.47-2.43
K_2O	0.79-1.17
SO_3	0.20-0.26
MgO	0.11-3.91
Fe_2O_3	0.03-0.37
TiO_2	0.01-0.04

5. Atık Camın Bazı Kullanım Alanları

Cam, inşaat endüstrisinde pek çok uygulamada kullanılabilir. Bu uygulamalardan bazıları aşağıda verilmektedir (Tam ve Tam, 2006):

- ✓ İsveç'te beton içinde ince agrega olarak cam kullanılmıştır. Beton veya asfalt üretimi için kullanılan ikincil agregadaki camın varlığı, elde edilen malzemenin dayanımını azaltabilmektedir. Mikrofiller; cam malzemesinin ayrılması ve yıkanmasıyla elde edilen temizleme adımlarından oluşan endüstriyel bir işlemin sonucudur. Daha sonra kurutulan, kırılan ve istenilen boyuta kadar öğütülen cam, çimento ile agrega gradasyonu arasında tanımlanmaktadır. Cam, diğer bileşenlerle birlikte karıştırma işleminde betona eklenir ve puzolanik bir madde olarak rol alır. Mikrofiller'in ilavesi, sertleşmiş beton kadar taze betonun da özelliklerini iyileştirmektedir.
- ✓ Dolgu maddesi: Birleşik Krallık uygulamaları geri dönüştürülmüş camı ince malzeme olarak 'ConGlassCrete' olarak adlandırılan çimento ile yer değiştirmiş ve bunu betonun dayanımını artırmak için kullanmıştır.
- ✓ Kaldırım bloğu, ABD'de kırılarak geri dönüştürülmüş cam agregadan elde edilir. Hong Kong, cilalamadan sonra yüzey üzerinde etkileyici yansıma görünümü sağlayan, beton bloğun su emilimini azaltan, iyi bir basınç dayanımı sağlayan bu geri dönüşüm teknolojisini geliştirmektedir. Ancak agregaların keskinliği ve alkali silika reaksiyon genişlemesi problemlerinin çözülmesi gerekmektedir (Tam ve Tam, 2006).
- ✓ Atık cam, karayolu yapımında sıcak karışım asfalt kaplamasında agrega yerine kullanılmıştır (Jony vd., 2011).

6. Cam Karışım Asfaltlar

Atık camın kullanım alanlarından biri de cam katkılı asfaltlardır. Agrega olarak cam kırığı içeren asfalt karışımlar, cam karışım asfalt (glassphalt) olarak adlandırılmakta ve 1960'lerden beri atık cam fazlasının imha edilmesi için yaygın şekilde denenmiştir. Cam karışım asfalt esas olarak, geleneksel sıcak karışım asfalt ile aynı olup, kaya veya kum agregasının %5 ile %40'ı kırılmış cam ile yer değiştirmektedir. Camın geleneksel agrega yerine kullanılmasının maliyet açısından etkinliği büyük ölçüde yerel agregaların konumuna, kalitesine ve maliyetine bağlı olmaktadır (CWC, 1996).

Cam karışım asfaltlar başlangıçta karışık renkli atık camın depolama alanında imha edilmesine alternatif olarak geliştirilmiştir. Yeni ürünlere dönüştürülmek için uygun olmayan karışık renkli cam, pek çok geri

dönüşüm programı tarafından üretilmektedir. Karışık renkli camlar için alternatif yerel pazarlar yoksa ve diğer seçenek ücret karşılığı imha edilmesi ise işlenmiş camın asfaltta doğal agrega yerine kullanılması düşünülmesi gereken bir seçenek olmaktadır (CWC, 1996).

1960'ların sonu ve 1970'lerin başında, Birleşik Devletler 'de sıcak karışım asfaltta atık camın agrega ile yer değiştirerek kullanılma potansiyelini incelemek için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu süre zarfında, test-kaplama şeritleri ABD ve Kanada genelinde yaklaşık 33 noktaya yerleştirilmiştir. 1970'lerin ortalarından 1980'lerin ortalarına kadar, Baltimore şehri sokak kaplama programında cam kullanmıştır. Güneş ışığının veya sokak lambasının cam kaplamadan yansımından dolayı "parlama" etkisi yaratmak için en az on yedi sokak camla kaplanmıştır. 1980'lerin ortalarında, Long Island'da faaliyetler yürütülmüş ve bir cam işleme tesisi tasarlanmış ve faaliyete başlamıştır. Kaplama uygulamalarında agrega yerine atık cam kullanılmak üzere 12.600 metrik tondan (14.000 ton) fazla karışık atık cam bu tesiste işlenmiştir. Yakın zamanda dünya çapında, atık cam kullanan çok sayıda kaplama projeleri yapılmıştır. New York Ulaştırma Departmanı tarafından 1990'dan 1995'e kadar gerçekleştirilen yeniden yüzey kaplama uygulamalarında yaklaşık 225.000 metrik ton (250.000 ton) cam kullanılmıştır (Salem vd., 2017).

Atık cam kırılarak ve elenerek, asfalt betonunda ince agrega olarak kullanılabilir. Asfalt kaplamanın üst tabakalarında memnun edici performansa, ağırlıkça %10-15 miktarı ile ulaşılabilir. Daha büyük miktarlar soyulma problemlerine neden olabilmekte ve kaplamayı su hasarına duyarlı hale getirebilmektedir. %25 veya daha fazla cam katkı oranı kaplamanın sadece orta veya alt tabakalarına uygulanabilmektedir (Wu vd., 2004).

Kırılmış cam parçacıklarının yüzeyi pürüzsüzdür ve silika içeriği nispeten yüksektir, bu da cam parçacıklarını hidrofilik bir asit agregası haline getirir. Sonrasında, cam karışımli asfalt kaplamalar su hasarına karşı duyarlı olabilir (cam partikül boyutu arttığında veya çok büyük dozda olduğunda (Wu vd., 2004).

Şekil 3'te kırılmış ve öğütülmüş atık camlardan elenerek farklı boyutlarda elde edilen camlardan bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3: Öğütme sonrası elenen camlardan görüntü (İskender, 2017)

Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve birçok Avrupa ülkesi gibi pek çok ülke, asfalt karışımlarında ince agreganın yerine cam atığı kullanmıştır. Asfalt betonunda agrega olarak cam kullanıldığında bazı teknik şartnameleri karşılamalıdır (Tahmoorian vd., 2018).

Literatüre göre, asfalt karışımlarında cam kullanıldığında hem avantajlar hem de dezavantajlar ortaya çıkmıştır. Asfalt karışımında cam agrega kullanımının avantajları ve dezavantajları sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Bu da asfalt karışımında cam kullanımına ilişkin bazı sınırlamalar ortaya koymuştur (Tahmoorian vd., 2018):

- ✓ Cam agreganın asfalt karışımında maksimum değiştirme oranı olarak %20 ile sınırlı olması tavsiye edilmektedir.
- ✓ Toplam karışımın %15'inden daha fazla cam içeriği kullanılması durumunda, soyulma problemlerini önlemek için asfalt karışımına %1 ile %2 oranında soyulma önleyici katkı eklemek gerekir.
- ✓ Asfalt karışımında agrega olarak uygun cam parçacık boyutu 4,75 mm veya daha küçüktür.

Tablo 3: Asfalt karışımında cam kullanımının avantajları

Avantajlar	Açıklama
Artan yol güvenliği	Cam parçacıkları düşük su emilimine sahip olduğundan, kaplama yüzeyi yağmurdan sonra daha hızlı kurur.
Uzun mesafelerde yoğun ve kolay taşıma	Cam asfalt karışımları ısıyı geleneksel asfalt karışımlara göre daha uzun süre tutar.
Gelişmiş gece yol görünürlüğü	Cam asfalt yüzeyler geleneksel asfalt yüzeylere göre daha yansıtıcıdır.
Atık azaltma	Cam atıkları, çevresel yararlar ve maliyet tasarrufu sağlayan atık depolama alanlarına atılmamaktadır.
Gelişmiş işlenebilirlik	Uzun ve düz parçacıkların varlığı asfalt karışımlarının işlenebilirliğini olumlu yönde etkileyecektir.
Ticari faydalar	Hammaddelerin yerini cam alır, bu da malzeme maliyetlerinde tasarruf sağlar.
Asfalt serme işlemini değiştirmeye gerek duyulmaz	Geleneksel asfalt karışımların serimi için kullanılan aynı yöntem, cam içeren asfalt karışımları için kullanılabilir.
Termal çatlamaya karşı gelişmiş direnç	Camın küçük termal genleşme katsayısı termal çatlama direncini artırır.

Ekonominin hızla büyümesi ve tüketimin sürekli artmasıyla büyük miktarda atık cam malzemeler ortaya çıkmaktadır. Atık camların geri dönüşümü ve kullanımı asfalt karışımlarda uygulanabilmektedir. Optimum bitüm içeriğini düşürecek ekonomik karışımlar elde edilerek, karışımın durabilite ve stabilitesini artırmak, yol yüzeyinin kayma direncini artıracak, bunun sonucunda kazalar azalacak ve maliyet açısından daha kazançlı karışımların elde edilebilecektir (Salem vd., 2017).

Tablo 4: Asfalt karışımında cam kullanımının dezavantajları

Dezavantajlar	Açıklama
Kusma problemi	Düşük bitüm emme oranı ve yoğunluğu kusma problemine neden olabilir
Soyulma problemi	Cam parçacıklarının pürüzsüz yüzeyi, asfalt filminin kırılmış cama yapışmasını azaltır, bu da asfalt karışımının soyulmasına neden olabilir.
Enine kararlılığın azalması	Cam parçacıkların köşeliliği ve sürtünme açısı, özellikle frenleme veya çalıştırma sırasında yetersiz enine stabilite oluşur.

Su hasarı duyarlılığı	Cam parçacıklarındaki yüksek silika içeriği, cam ile yapılan asfalt karışımlarının, cam parçacık boyutuna veya asfalt karışımındaki cam içeriğine bağlı olarak daha fazla su hassasiyetine neden olur.
Lastiklerin aşınması	Uzun ve düz parçacıkların varlığı (özellikle büyük cam parçacıklarının boyutu durumunda) lastiklerin aşınmasına neden olabilir.
Kayma direncinde azalma	Yüksek miktarda büyük boyutlu cam parçacıkları kayma direncinde azalmaya neden olur.

Yol yapımında kırılmış cam kullanma imkânı, renkli atıkları önlemek için pahalı sınıflandırmayı önler ve agrega kaynaklarının az olduğu eyaletlerde bir dereceye kadar kırılmış camın agrega olarak kullanılması için bir fırsat sunar (Nash vd., 1995).

Son yıllarda, çeşitli ekonomik ve çevresel faydalar, karayolu yapımında geri dönüştürülmüş cam kullanımını artırmakta, cam ve agrega karışımlarının mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Geri dönüştürülmüş camın kullanımı özel uygulamalara bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Kırılarak geri dönüştürülmüş cam, bağımsız olarak kullanılmış ve doğal inşaat agregası ile farklı değiştirme oranlarında karıştırılmıştır (Dalloul, 2013).

İlk araştırmacıların çoğu, soyulma problemlerini azaltmak için soyulma önleyici katkı olarak kireç eklenmesini önermiştir. İlk cam karışumlu asfalt projelerinde, kaba cam gradasyonları ile (12.7 mm'den (1/2 inç'ten daha büyük) yüksek oranda cam (karışım ağırlığının %25'inden fazlası) kullanılmıştır. Karayolu İdarelerinin çoğu asfalt karışımlarda %5 ile %10 oranında kırılmış cam kullanılmasına izin verilmiştir. Bazı bölgeler 6.4mm ile 12.7mm (1/4 inç ile 1/2 inç) ve daha büyük gradasyonlar kullansalar da bazıları gradasyon boyutu için daha ölçülü bir yaklaşım sergilemiştir. New York şehri, belirlenen maksimum kırılmış cam boyutunu 15.3mm (5/8 inç)'den 9.5mm (3/8 inç)'ye düşürmüştür. Los Angeles cam boyutunu 9.5mm (3/8 inç) olarak belirlemiştir. Virjinya ve Florida maksimum 9.5mm (3/8 inç) cam agrega boyutu kullanılması önerilmiştir. Günümüzdeki çoğu araştırmalarda, çakıl boyutundan daha büyük cam parçacıklarının kaplama performansını düşüreceği, kırılmış camın kum veya ince agrega yerine 4.75 mm'den daha küçük boyutta kullanılmasıyla optimum performansa ulaşılabileceğini savunmuştur. Mevcut veriler, yüksek cam yüzdeleri ve büyük cam parçacıklarının kullanılmasının 1960'ların ve 1970'lerin ilk test kaplaması sırasında soyulma ve sökölme problemlerinin çoğuna katkı sağlamıştır (Salem vd., 2017).

Yuvarlak kumla karşılaştırıldığında yüksek köşeliliğe sahip cam kırığı, uygun bir şekilde boyutlandırılmış cam kırığı kullanılan asfalt karışımlarının stabilitesini artırabilir. Stabilitelerin karşılaştırılabilir ve çoğu durumda geleneksel karışımlardan daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Düşük emilim, düşük özgül ağırlık ve düşük ısı iletkenliği, ki bu da cam ile karıştırıldığında gelişmiş ısı tutma sağlayarak cam karışım asfaltların yararlı özelliklerini ortaya koymaktadır (Salem vd., 2017).

Cam karışım asfalt, kaplama asfaltı olarak kullanıldığında ortaya çıkan sorunları önlemek için kaplama yüzeyinin altındaki yapısal tabakalarda kullanılmaktadır. Kayma direncinin olmaması ve cam kırıklarının asfalt karışımındaki bitümle zayıf bağlanması soyulma ve sökölme problemlerine yol açmaktadır (Arnold vd., 2008).

Atık camın, agrega yerine iki farklı boyutta (filler malzemesi ve 2 mm boyutlu ince agrega) ve üç farklı oranda (%20, %30 ve %40) kullanıldığı bir çalışmada karışımlar su hasarı açısından değerlendirilmiştir. Baz bitümün yanı sıra, sönmüş kireç modifiye ve SBS modifiye bitümler kullanılmıştır. %20 cam fillere sahip asfalt karışımı en yüksek su hasarı direnci göstermiştir. Cam agrega boyutunun 2 mm olarak seçildiği seçenekler arasında en yüksek su hasarı direnci %30 ilave oranında gerçekleşmiştir. En yüksek çekme mukavemeti oranı sönmüş kireç ile elde edilmiştir. Hem baz hem de modifiye bitümlerle üretilen cam agregaları ile karışımların optimum bitüm içeriği, tamamen bazalt agregası ile üretilene kıyasla azalmıştır. Atık camlardan üretilen filler malzemelerinin doğal agrega filler malzemesi yerine kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (İskender vd., 2020)

Geleneksel kırma taş tozuna alternatif olarak sıcak karışım asfaltta mineral filler malzemesi olarak cam kırığı ve atık cam şişe tozunun kullanımının araştırıldığı çalışmada 6 farklı filler oranı (%4, 5, 6, 7, 8 ve 9) kullanılmıştır. Örneklerle Marshall Stabilitate testi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ekonomik ve çevresel faktörler göz önüne alındığında mineral filler malzemesi, kırma taş tozuna alternatif olarak cam kırığı ve cam şişe atıklarının asfalt karışımlarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Saltan vd., 2013).

Her bir numunenin optimum bitüm içeriği bulunarak asfalt betonu ile cam karışım asfalt betonu arasındaki performansın karşılaştırıldığı çalışmada %10 cam kullanılmış olup cam içeren numunelerin boyutu 3.35 mm'nin altında seçilmiştir. Normal numune için optimum bitüm içeriği %6 iken, cam karışım asfalt betonu için bu değer %6,5'e çıkmıştır. Cam karışım asfalt betonun stabilitesi normal agregalı karışımlara göre biraz daha yüksek olmuştur. Araştırmanın, gelecekte camın çeşitli boyutları kullanılarak geliştirilebileceği tavsiye edilmiştir. Cam, asfaltik betonun

stabilitesinde büyük bir gelişme sağlamayabilir, ancak asfalt betonuna gerekli dayanımları vererek çevreyi koruyacaktır (Azizan, 2011).

Kırılmış camın mühendislik özellikleri için No.10 gradasyonun değerlendirildiği karışımda, kırılmış cam örnekleri agregaya ile iyi bir dayanım ve işlenebilirlik özellikleri göstermiştir. Kırılmış camın mühendislik özellikleri tedarikçiler arasında biraz değişmekle birlikte, bu değişimlerin cam özelliklerine veya işleme prosedürlerine göre tane boyutu dağılımı ile yakından ilişkili olduğu görülmüştür. Kırılmış camın performans özelliklerinin genel olarak doğal agregaya eşit veya daha fazla, kolayca temin edilebilen, çevresel olarak temiz ve nispeten düşük maliyetli bir malzeme olduğu ifade edilmiştir. Bu olumlu özelliklerine rağmen, kırılmış camın faydalı kullanımını arttırmak için engellerin de olabileceği belirtilmiştir (Wartman vd. 2004).

Cam katkılı asfalt karışımların su hasarı performansının düşük olması, agreganın soyulmasına neden olmaktadır. Mineral agregaya ile kıyaslandığı zaman, cam daha az boşluklu ve pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu için, bu özellikler camın asfaltı daha az absorbe etmesine sebep olmaktadır. Agregalar ile asfaltta organik asit bulunması durumunda iyon değişimi olabilmektedir. Camın asıl elementi SiO_2 asfaltla böyle bir iyon değişimi bağlantısı kurmamaktadır. Tüm bu özellikler cam asfalt karışımının sökülmesini hızlandırmaktadır. Bunu engellemek için genellikle sönmüş kireç kullanılmaktadır (Liao vd., 2014).

%0, %5, %10 ve %15 oranlarında agregaya ağırlığına göre kırılmış cam içeriğinin kullanıldığı çalışmada, maksimum cam boyutu 4.75mm'den küçük cam parçacıkları olarak seçilmiştir. Normal asfalt karışımlarla kıyaslandığı zaman cam asfaltın, karışımın özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Optimum cam içeriği %10 olan karışımda stabilite değeri ve Marshall oranı kontrol karışımdan daha yüksek çıkmıştır. Karışımdaki cam yüzdesinin artmasıyla birlikte birim hacim ağırlığın azaldığı görülmüş ve bitüm yüzdesinin artmasıyla birlikte örneklerdeki hava boşluklarının azaldığı belirlenmiştir. Cam kullanılmadan (%0 cam içeriği) asfaltın ortalama stabilitesi; %5 ve %20 cam içeriğindeki oranla kıyaslandığında daha yüksek iken, %10 oranında cam kullanıldığında daha düşük çıkmıştır (Issa, 2016).

Asfalt karışımında (stabilite, ortalama yoğunluk ve VMA) en iyi özellikleri veren optimum atık cam yüzdesini bulmak amacıyla %5, %10, %15 ve %20 gibi değişik yüzdelerde kırılmış camlar ince agregalar yerine kullanıldığı çalışmada maksimum atık cam boyutu 2.36 mm (No.8) olarak belirlenmiştir. Cam katkılı asfaltın soyulma direnci sönmüş kireç ve sıvı soyulma önleyici katkıları kullanılarak iyileştirilmiştir. Asfalt aşınma tabakasında memnun edici performansa, karışıma %10 oranında atık cam

eklenerek ulaşılmıştır. Kullanılan %10 cam içeriğinde optimum bitüm içeriği %5.35 en iyi stabilite 1195 kg olarak belirlenmiştir (Salem vd., 2017).

Kırılarak geri dönüştürülmüş cam malzemenin asfalt betonda ince agregaların yerine %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kullanıldığı ve maksimum cam parçacık boyutunun 4.75 mm olarak seçildiği çalışmada SBS modifiye asfalt ve geleneksel asfalt betonu ile karışımlar hazırlanmıştır. Modifiye Lottman ve tekerlek izi test sonuçlarına göre, cam katkılı asfalt betonunun su hasarına karşı direncinin geleneksel asfalt betonuna göre daha zayıf olduğu ve sıvı soyulma önleyici katkı veya sönmüş kireç kullanılarak bu özelliklerin iyileştirilebildiği belirtilmiştir. Cam içeriğinin artmasıyla birlikte örneklerin Marshall stabilitesi ve dolaylı çekme mukavemeti azalmış, vakum doygunluğu ve donma-çözülme koşullamaları Marshall stabilite örneklerine göre dağılan örneklerin su hasarını önemli derecede hızlandırmıştır. Test sonuçlarına göre optimum cam içeriği %10 olarak belirlenmiştir. Dağılma oranı (testten sonraki ağırlık kaybı), %10 cam içeriğinde %73,4, %15 için %62,1 ve cam içeriği %20'ye çıktığında ise %51,3 olmuştur. Asfalt ve cam yüzeyi arasındaki zayıf adezyon, yüksek sıcaklık ve suyun ikili etkisine dayanamamıştır. Cam katkılı asfalt betonun yüksek sıcaklık stabilitesi ve yorulma performansı da test edilmiş ve sonuçlar tatmin edici bulunmuştur. 45°C'de yapılan tekerlek izi test sonuçlarına göre artan cam değişimine bağlı olarak tekerlek izi deformasyonu ve soyulma ağırlık kaybı artmıştır (Wu vd., 2003).

%0, %5, %10 ve %15 oranlarında atık cam kullanımının incelendiği çalışmada maksimum cam içeriği 4.75mm olarak belirlenmiştir. Modifiye asfalt, 85/100 penetrasyonlu asfalt ve atık cam kullanılarak, karışımların Marshall stabilite değeri, kuru/ıslak su hasarı, kayma direnci, ışığı yansıtma, su geçirgenliği ve sıkışma özellikleri araştırılmıştır. Farklı alanlara sahip iki deneme kesimi inşaa edilerek %10 cam içeriğine sahip kaplama yapılarak 1 yıllık hizmet süresi sonunda ışık yansıtma, kayma direnci, geçirgenlik, sıkışma derecesi ve kaplama defleksiyonu test edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda atık camın, asfalt betonu kaplamalarında kullanılabilecek iyi mühendislik ve ekonomik avantajlar sunan bir malzeme olduğu belirtilmiştir. (Chen ve Su, 2002). %10 geri dönüştürülmüş cam ile yapılan asfalt betonunun bir yıllık kullanımından sonra test bölümlerine ait sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Geri dönüştürülmüş cam ile yapılan asfalt betonu test sonuçları

Test Konusu	Karayolu 1		Karayolu 2	
	Yeni	1 yıl sonra	Yeni	1 yıl sonra
Işık yansıtma (mcd/lx/m ²)	16.23	18.77	14.90	18.74
Kayma direnci, (R20)	48.0	51.6	50.0	51.2
Sıkıştırma miktarı (%)	98.4	98.8	97.9	98.4
Geçirgenlik ($\times 10^{-3}$ cm/s)	4.77	2.08	3.91	1.02
Defleksiyon (1/1000 cm)	41	45	41	68

Karayolu 1: 85/100 penetrasyonlu asfalt ve karayolu 2: modifiye asfalt

Cam katkılı asfalt betonu kaplamaların, karayolunda 1 yıllık kullanımından sonra, ışık yansıtması ve kayma direnci yeni kaplamadan daha yüksek çıkmıştır. Bu duruma cam parçacıklarının ve araç trafiğinin neden olduğu yüzey aşınmasından dolayı kaplama yüzeyinin aşamalı olarak maruz kalması sebep olmuştur. Bir yıllık kullanımından sonra %10 geri dönüştürülmüş cam bulunan test bölümü iyi bir performans göstermiştir (cam parçacıklarının bozulmaması, kaplama üzerinde küçük çatlaklar haricinde iz olmaması). Sahadan elde edilen verilere göre düşük geçirgenlik ve yüksek sürtünme katsayısı karayolu güvenliği için faydalı olmaktadır (Chen ve Su, 2002).

İkinci agrega olarak atık cam seçilen çalışmada ilk olarak her bir eleğin ağırlıkça %50 ve %100 oranlarında 2 farklı cam içeriği yüzdesi ve 6 farklı cam boyutu 1/2, 3/8, No.4, No.8, No.50 ve No.200 kullanılmıştır. İkinci bölümde, cam agrega toplam karışım ağırlığına göre %1, %2 ve %4 oranlarında No.50 ve No.200 olmak üzere iki boyutta kullanılmıştır. Kontrol ve cam katkılı örneklerin mühendislik özellikleri stabilite, akma, hacim ağırlığı ve toplam karışımındaki boşluk yüzdesi açısından değerlendirilmiştir. Cam katkılı asfalt için Marshall stabilite değerleri; asfalt karışımında ikincil agrega olarak No.8 ve No.200 cam boyutu kullanıldığı zaman %127 ve %174 oranında kontrol karışımdan daha yüksek çıkmıştır. Asfalt karışımında ikincil agrega olarak atık cam boyutlarının 1/2, 3/8, No.4 ve No.50 olarak kullanıldığında Marshall stabilitesini azalttığı belirlenmiştir. Asfalt karışımının Marshall stabilitesi, katkı olarak %2 oranında atık cam (No.200) ilave edildikten sonra %166 oranında artmıştır (Jasim, 2014).

Cam katkılı asfalt karışımında kullanılan maksimum cam miktarını belirlemek için, kimyasal ve sönmüş kireç soyulma önleyici katkı maddelerini içeren iki karışım, %0, %5, %12 ve %20 oranlarında cam

kullanılmış ve maksimum cam boyutu 9.5mm olarak seçilmiştir. Çekme mukavemeti oranı (TSR) 0,85 olarak kabul edilerek ve AASHTO T283 yöntemi kullanılarak karışımlardaki soyulma direnci değerlendirilmiştir. Her iki karışımda katkı kullanılmaksızın TSR değeri 0,7 ile 0,8 aralığında olmuştur. Karışımlarda %0 cam içeriğinde katkı kullanımında TSR değerleri yaklaşık 0,85 veya daha üzerinde olmuştur. Her iki katkı maddesi %20 oranında cam ve kimyasal katkı içeren karışım hariç, diğerleri yeterli miktarda soyulma direnci ortaya koymuştur. TSR soyulma test sonuçlarına göre, cam katkılı asfalt karışımında %15'e kadar cam kullanmanın kabul edilebilir olduğu ve TSR testinin %12'ye kadar cam eklendiğinde önemli bir olumsuz etki göstermediği belirtilmiştir. %20 cam oranında, kimyasal ve sönmüş kireç katkılarının arasında önemli bir fark meydana geldiği gözlemlenmiştir (Maupin, 1998).

Farklı katkı içeriği ve agrega gradasyonuna bağlı olarak sıcak karışım asfaltın (HMA) farklı sıcaklık koşullarında davranışının irdelendiği çalışmada, cam katkılı asfaltın rijitlik modülünün tahmini için modeller ortaya koyulmuştur. %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında cam içeriği kullanılmış ve maksimum cam boyutu 4.75 mm olarak seçilmiştir. Cam katkılı asfalt karışımında optimum atık cam içeriği %15 olarak belirlenmiştir. Geleneksel HMA karışımlarla kıyaslandığı zaman, cam katkılı asfalt karışımının dinamik davranışında iyileşme gözlemlenmiştir. Maksimum rijitlik modülü yaklaşık %15 cam içeriğinde meydana gelmiş, bu oranın üzerinde rijitlik modülü azalma eğilimi göstermiştir. %3-%5 oranında kullanılan sönmüş kireç içeren örnekler rijitlik modülünü artıran bir eğilim göstermiştir. Cam katkılı asfalt karışımının dinamik davranışı sıcak karışım asfalta kıyasla sıcaklık değişimlerine daha az duyarlılık göstermiştir (Arabani, 2011).

Cam katkılı asfalt betonunun yol performansını ve yansıtıcı özelliklerini değerlendirmek için kapalı alan yansıma özelliği araştırılmıştır. Test sonuçlarına bağlı olarak, yüksek miktarda cam içeriği daha güçlü ışık yansıması göstermiştir. Cam miktarı %15'e ulaştığında yol performansı bükülme noktası göstermiştir. Bükülme noktasının altında, cam katkılı asfalt betonunun yol performansı, geleneksel asfalt betonunun performansına yaklaşmakta ve hizmet ihtiyacını karşılamaktadır. Yol performansı ve yansıma özelliği göz önüne alındığında %4,2 bitüm, %15 oranında atık cam ve %2 sönmüş kireç karışım için uygun bulunmuştur (SHA vd., 2014).

Soyulma önleyici katkı olarak %0, %0,5, %2,5 ve %4,5 oranlarında nanozycosoil ile modifiye edilmiş karışımlar ile %10 oranında kırılmış cam kullanılarak, cam katkılı asfalt karışımının su hassasiyeti ve bazı mekanik özellikleri araştırılmıştır. Maksimum cam agrega boyutu 4.75mm olarak sınırlandırılmıştır. Nanozycosoilin soyulma önleyici katkı

olarak cam katkılı asfalt karışımının mekanik özelliklerini ve su hasarı problemini iyileştirmiştir. Zycosoil ile modifiye edilmiş karışımların çekme mukavemeti yüksek değerler göstermiştir. Bu karışımın çatlamadan önce daha büyük çekme gerilmelerine dayanabilmiştir. Cam katkılı asfalt örneklerinde soyulma önleyici katkı olarak %4,5 nanozycosoil kullanımı örneklerin su hassasiyetini geliştirmiştir. Deney sonuçları, zycosoil kullanımının agrega ve cam parçacıkları arasında kohezyonu artırabileceğini göstermiştir (Behbahani vd., 2015).

Ağırlıkça %3,5-%5,5 oranında nanozycosoil kullanımının cam katkılı asfalt karışımların rijitlik modülü ve tekerlek izi direnci üzerine etkisini incelemek için, asfalt örneklerinde %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında atık cam kırıkları kullanılmış, maksimum cam boyutu 4.75mm olarak seçilmiştir. Nano zycosoil ile modifiye edilmiş cam katkılı asfalt karışım örnekleri geleneksel asfalt karışıma kıyasla önemli derecede iyi performans sergilemiştir. Nanozycosoil içeren cam katkılı asfalt örneklerinin rijitlik modülünde ve zamana bağlı deformasyona karşı performansında iyileşme meydana gelmiştir. Modifiye bitümün sıcaklık değişimlerine karşı daha az duyarlı olduğu ve modifiye edilmemiş bitüme kıyasla tekerlek izine karşı daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır. Zaman, enerji, agrega ve bitüm, asfalt üretim maliyeti, onarım ve bakım maliyetleri göz önüne alındığında; cam katkılı asfalt karışıma nanozycosoil ilavesinin faydalarının başlangıç maliyetinden daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (Ziari vd., 2015).

Cam katkılı asfalt karışımının dinamik özellikleri, yorulma süresi, rijitlik modülü ve sünme esnekliğini araştırmak için maksimum cam parçacık boyutu 4.75mm seçilerek toplam agrega ağırlığına göre %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında cam içeriği kullanılmıştır. Tüm karışımlara %4,5-%6,5 oranında soyulma önleyici katkı olarak sönmüş kireç ilave edilmiştir. Geleneksel asfalt karışımlarla kıyaslandığı zaman cam katkılı asfalt betonunun dinamik özelliklerinde iyileşme görülmüş ve verilen sıcaklıkta %15 atık cam içeren numuneler en büyük rijitlik numunesine sahip olmuştur. Fakat cam içeriği yüzdesi %15'ten daha fazla olduğunda, cam parçalarının bolluğu bu parçaların birbiri üzerinde kaymasına neden olmuş ve örneklerin rijitlik modülünün azalmasına sebep olmuştur. Cam parçacıklarının optimum değerden daha fazla olması, asfalt örneklerinin kalıcı deformasyonunun artmasına neden olmuştur. Çalışma sonucuna göre atık cam parçacıkları asfalt kaplamanın dinamik davranışı üzerinde olumlu bir etki göstermiştir (Sajed ve Shafabakhsh, 2014).

Dinamik yükler altında cam katkılı asfalt karışımının yorulma davranışı modelinin araştırıldığı çalışmada agrega ağırlığına göre %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kırılmış cam seçilerek maksimum cam boyutu 4.75mm olarak belirlenmiş ve %3-%5 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır.

Yorulma süresi testleri 5, 25 ve 40°C’de ve 250-400 kPa sabit gerilmeleri altında gerçekleştirilmiştir. Kırılmış cam ve sönmüş kireç içeren asfalt betonu örnekleri geleneksel sıcak karışım asfaltlardan önemli derecede daha iyi yorulma performansı göstermiştir. Cam parçacıklarının daha yüksek köşeliliğinden dolayı, cam katkılı asfalt karışımlar daha yüksek içsel sürtünme açısı ve farklı parçacıklar arasında daha iyi kenetlenme oluşturmuştur. Bu özellikler uygulanan gerilme nedeniyle örneğin nihai gerilmesini azaltarak örnekteki başlangıç çatlamasını ve çatlamanın yayılmasını önleyecektir (Arabani vd., 2012).

Sıcak karışım asfaltlarda geleneksel kireç taşı tozu ve Portland çimentosu fillerine alternatif olarak cam tozunun mineral filler olarak kullanıldığı araştırmada kireç taşı tozu, normal Portland çimentosu ve cam tozu fillerleri agrega ağırlığına göre %4, %7 ve %10 içeriklerinde karışımlarda kullanılmıştır. Yapılan test sonucuna göre optimum cam filler içeriği %7 olmuştur. Filler olarak cam tozu kullanıldığında, normal Portland çimentosu veya kireç taşı tozu kullanıldığı durumlara kıyasla daha yüksek stabiliteye (%13’e kadar artış), daha düşük akmaya (%39’a kadar azalma) ve daha düşük yoğunluğa (%10’a kadar azalma) sebep olmuştur. Sıcak asfalt betonu karışımlarında cam tozunun filler olarak kullanılması, Portland çimentosu ve kireç taşı tozu içeren karışımlara kıyasla çok az daha yüksek boşluk yüzdesiyle daha hafif karışımlar üretilmiştir (Jony vd., 2011).

Agrega ağırlığının %4, %6 ve %8’i oranlarında sırasıyla Portland çimentosu, kireç taşı tozu ve atık cam tozu fillerlerinin asfalt betonu karışımları üzerinde etkisinin araştırıldığı ve %8 oranında cam tozunun filler olarak kullanıldığı durumda, diğer filler türleri arasında en iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Sıcak asfalt betonu karışımlarının aşınma tabakası için, optimum bitüm içeriği %8 (toplam agrega ağırlığına göre) olan filler atık cam tozu kullanılarak elde edilen Marshall test sonuçları Portland çimentosu ve kireç taşı tozu fillerleri kullanılarak yapılan karışımlarla kıyaslandığı zaman, daha yüksek Marshall stabilitesi, daha düşük akma ve daha düşük boşluk yüzdesi göstermiştir. Sıcak asfalt betonu karışımlarına agrega ağırlığının %6’sı oranında cam tozu eklenmesi, normal Portland çimentosu ve kireç taş tozu ile karşılaştırıldığında, Marshall stabilitesini sırasıyla %15,5 ve %9,2 oranında artırmıştır. Akma ise Portland çimentosu ve kireç taşı tozu ile karşılaştırıldığında, sırasıyla %14,5 oranında azalmış ve %4,4 oranında artmıştır. Karışımlara agrega ağırlığının %8’i oranında cam tozu eklenmesi, Portland çimentosu ve kireç taş tozu ile karşılaştırıldığında Marshall stabilitesini sırasıyla %11,7 ve %14,3 oranında artırırken; akma, Portland çimentosu ve kireç taşı tozu ile karşılaştırıldığında sırasıyla %21,6 ve %44,3 oranında azalmıştır (Al-Saffar, 2013).

Filler olarak çimento ve kalsiyum karbonat (kireç taşı) ve %0, %8 ve %15 oranlarında cam ile hazırlanan asfalt karışımının mekanik performansının değerlendirildiği çalışmada nem duyarlılığı testi ve çevrimsel üç eksenli basınç testi ile rijitlik modülü, nem etkisi ve plastik deformasyonu analiz edilmiştir. %8 oranında atık cam kum fraksiyonu ile yer değiştirdiğinde, kalsiyum karbonat filleri yol yüzey tabakası için daha uygun mekanik özellik göstermiştir. Camın karışımında en yüksek miktarı daha düşük yoğunluğa sebep olmuş bu da sıkıştırılabilme problemlerinden dolayı daha fazla hava boşluğu anlamına gelmiştir. Daha yüksek atık cam miktarı karışımın stabilitesi kadar dolaylı çekme mukavemetini de önemli derecede azaltmıştır. Filler tipine bakılmaksızın maksimum sünme modülü ve minimum kalıcı deformasyon %8 cam içeren örneklerde meydana gelmiştir. Çeşitli fillerlerden oluşan cam katkılı karışımın sıcaklığı arttıkça rijitlik modülünde bir azalma meydana gelmiştir (Navarro vd., 2015).

Geri dönüştürülmüş camın, temel tabakasının performansını bozmaksızın kullanılan agregaya güvenli bir şekilde eklenen maksimum yüzdesini belirlemek için, agrega kütlesinin %50'ye kadar kırılmış cam yüzdesi veya toplam kütlenin üçte birine göre maksimum agrega performansı üzerinde etkisi araştırılmıştır. Laboratuvar çalışması aynı agregaya ile %0, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında kırılmış cam içermektedir. Agregaya tabakasında 10 mm tekerlek izi oluşana kadar ağır aksların sayısını belirlemek için tekrarlı yük üç eksenli cihaz ve ilgili tekerlek izi derinlik modellemesi kullanılarak performans ölçülmüştür. Temel tabakasının performansının, %30'a kadar kırılmış camın yüzdesinin artması ile iyileştiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar, toplam agreganın %23'ü ve agregaya kütlesinin %30'una kadar kırılmış cam yüzdesi için agregaya performansının etkilenmediğini göstermiştir. Tekrarlı üç eksenli yükleme test sonuçlarına dayanarak, kütleye %30'a kadar kırılmış cam agregaya ilavesi tekerlek izi derinlik performansı üzerinde çok az veya hiç etkisi yok gibi görülmüştür (Arnold vd., 2008).

Cam katkılı asfaltın visko-elastik davranışının deney modelinin irdelendiği çalışmada 40, 50 ve 60°C'lik farklı sıcaklıklarda; 100, 150, 200, 250 ve 300 kPa'lık gerilme seviyelerinde tekrarlı yük eksenel (RLA) test serileri gerçekleştirilmiştir. %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kırılmış cam kullanılmış ve maksimum cam parçacı boyutu 4.75mm olarak seçilmiştir. Yükleme gerilmeleri ve sıcaklığın sünme davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre hem deneysel viskoelastik modellerin hem de Burgers modelinin, çalışmada verilen test gerilme seviyesi ve sıcaklığı için viskoelastik aralıktaki malzeme sünme tepkisinin benzeştirilmesi konusunda iyi bir hassasiyet ortaya koymuştur. Optimum cam içeriği %10 olarak belirlenmiştir. 40°C sıcaklıkta ve 250 kPa'dan daha düşük gerilme seviyesinde sünme eğrileri pürüzsüz olup sadece ilk

iki aşamaya, ancak 50°C'ye eşit veya daha yüksek sıcaklıklarda yumuşama noktasına yaklaşan bitümün, sünme eğrileri aniden dikleşmekte ve sünme eğrilerinin üçüncü aşaması başlamaktadır. Cam katkılı asfalt örneklerinin ısı duyarlılığı geleneksel asfalt örneklerle kıyaslandığı zaman iyileştiği sonucuna varılmıştır (Arabani ve Kamboozia, 2013).

Cam katkılı asfalt karışımında %3 oranında sönmüş kireç kullanıldığında soyulma önleyici katkı olarak davranmaktadır. Sönmüş kirecin soyulma önleyici özellikleri agrega ve cam parçacıkları ile bitüm arasında daha güçlü kohezyon oluşturmaktadır. Cam parçacıklarının yüksek köşeliliği geleneksel agregalarla kıyaslandığı zaman cam asfalt karışımının artan dinamik modül davranışında önemli bir rol oynamaktadır. %15 oranında kırılmış cam kullanıldığında, asfalt karışımının tekerlek izi açısından geleneksel yoğun gradasyonlu karışımdan daha iyi olabileceği ifade edilmiştir. 50°C'de yapılan tekerlek izi test sonucuna göre cam asfalt karışım daha yüksek akma sayısı göstermiş ve bu da tekerlek izine karşı daha düşük duyarlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Geleneksel karışım, cam katkılı asfalt karışımından çok az düzeyde daha iyi performans göstermesine rağmen yorulma performansları karşılaştırılabilmiştir. Bu yorulma davranışı, tipik saha koşullarında 20°C'lik sıcaklıkta, cam katkılı asfalt karışımının geleneksel karışımdan daha rijit olduğunu göstermiştir (Anochie-Boateng ve George, 2016).

Kırılmış atık camın asfalt karışımında maksimum miktarının belirlenmesi için asfalt karışımının tekerlek izi direnci, termal çatlama direnci ve rijitlik modülü araştırılmıştır. İki farklı kırılmış cam boyutu 0-0.315mm ve 0.630-2.5mm seçilirken, cam %5, %10, %15, %20 ve %25 içeriklerinde agrega yerine kullanılmıştır. Asfalt karışımında geri dönüştürülmüş cam kullanıldığında geleneksel asfalt karışıma göre bağlayıcı içeriğini azaltmış, karışımın işlenebilirliğini artırmış ve tekerlek izi direncini azaltmıştır. Asfalt karışımında %10 oranında camın kullanılması, karışımın rijitliği kadar termal çatlama direncini etkileyememiştir. Soyulma direnci camın varlığından olumsuz etkilenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında %10 cam içeriğindeki karışım (modifiye bağlayıcı içeriği) ve referans karışımın termo-mekanik performansı ve dayanıklılığı değerlendirilmiştir. Cam katkılı asfalt için bağlayıcı içeriği azalırken tekerlek izi direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Düşük bağlayıcı içeriğindeki cam katkılı asfaltın tekerlek izi direnci, referans karışımından bile daha yüksek çıkmıştır. Asfalt karışımının cam ile termal çatlama ve karışım sertliğine karşı direncinin referans karışıminkine eşdeğer olduğu bulunmuştur (Lachance-Tremblay vd., 2016).

Agrega olarak atık camların asfalt karışımlarda kullanıldığı çalışmada maksimum atık cam boyutları 0,075mm, 2,00mm, 4,75mm ve 9,5mm olarak seçilmiş olup geleneksel bitüm, nanokil (ağırlıkça %3 bitüm) ve

sönmüş kireç (bitüm ağırlıkça %2) modifiye bitümler kullanılmıştır. Geleneksel asfalt betonu ve taş mastik asfalt karışımları Marshall yöntemine göre tasarlanmıştır. Cam agregası kullanımı geleneksel asfalt karışımlarında daha iyi sonuçlar vermiş, cam agregası boyutunun artması ile geleneksel asfalt betonu ve taş mastik asfalt karışımların su hasarı direncinde azalma olmuştur. Nanokil veya sönmüş kireç modifiye bitüm kullanımının karışımların mekanik özelliklerini iyileştirmiş 2.00mm maksimum boyuttaki cam agregası kullanımının nispeten daha iyi su hasarı ve deformasyon özellikleri göstermiş, Hamburg tekerlek izi testi ile tekrarlı yük sünme ve modifiye Lottman yöntemleri arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu anlaşılmıştır (İskender, 2017).

7. Sonuçlar

Asfalt kaplama üretiminde kullanılan kaliteli agregası ocaklarının hızla azalması agregası temininde zorluklara yol açmakta, doğal kaynaklar hızla tükenmektedir. Nüfusun artması, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, endüstrileşme vb. gibi nedenlerle atıklar da sürekli artmaktadır. Cam atıklar toplam atık içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Yapılan araştırmalar atık camların yol kaplamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak bazı önlemlerin alınması gerektiği görülmektedir. Atık cam agregalarının 4,75mm'den daha küçük boyutlara kadar kırılması, toplam agregası miktarının %20'sinden daha fazla kullanılmaması, cam katkılı asfalt karışımının soyulma davranışının olumsuz etkilenmesinden dolayı sönmüş kireç gibi soyulma önleyici katkı maddelerinin ilave edilmesi önemli görülmektedir.

Referanslar

- AH AL-Saffar, N. (2013). The effect of filler type and content on hot asphalt concrete mixtures properties. *AL-Rafdain Engineering Journal (AREJ)*, 21(6), 88-100.
- Anochie-Boateng, J. K., & George, T. B. (2016). Laboratory investigation of the performance properties of hot mix asphalt containing waste glass. Southern African Transport Conference.
- Arabani, M. (2011). Effect of glass cullet on the improvement of the dynamic behaviour of asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 25(3), 1181-1185.
- Arabani, M., & Kamboozia, N. (2013). The linear visco-elastic behaviour of glasphalt mixture under dynamic loading conditions. *Construction and Building Materials*, 41, 594-601.
- Arabani, M., Mirabdolazimi, S. M., & Ferdowsi, B. (2012). Modeling the fatigue behaviors of glasphalt mixtures. *Scientia Iranica*, 19(3), 341-345.
- Arnold, G., Werkmeister, S., & Alabaster, D. (2008), The effect of adding recycled glass on the performance of basecourse aggregate (No. 351).
- Azizan, M. S. (2011). Using Recycled Glass as Aggregates in Asphaltic Concrete.
- Behbahani, H., Ziari, H., Kamboozia, N., Khaki, A. M., & Mirabdolazimi, S. M. (2015). Evaluation of performance and moisture sensitivity of glasphalt mixtures modified with nanotechnology zycosoil as an anti-stripping additive. *Construction and Building Materials*, 78, 60-68.
- Clean Washington Centre (CWC), (1996). Best Practices in Glass Recycling, Recycled Glass in Asphalt, End-Use Applications, Glasphalt, 1-2.
- Dalloul, K. N. (2013). Study of the Effect of Crushed Waste Glass as Coarse Sand and Filler in the Asphalt Binder Course. Study of the Effect of Crushed Waste Glass as Coarse Sand and Filler in the Asphalt Binder Course. (Master Thesis)
- Doğru, K. (2018). M. Er_2O_3 ve CeO_2 Katkılı Borosilikat Camların Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, /*Investigation of mechanical properties and manufacture of borosilicate glasses doped Er_2O_3 and CeO_2* , (MSc Thesis).
- Gencer, Y. G. (2016). Mystery of recycling: Glass and aluminum examples. In *Handbook of research on waste management techniques for sustainability* (pp. 172-191). IGI Global.
- Gündüzalp, A. A., & Güven, S. (2016). Atık, çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici: Çankaya belediyesi ve semt tüketicileri örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, ISSN, 1304-2823.
- Issa, Y. (2016). Effect of adding crushed glass to asphalt mix. *Archives of Civil Engineering*, 62(2), 35-44.

- İskender E., Sayin A., Aksoy A., İskender C. (2020) Evaluation of the Effect of Glass Granule Size on Water Damage Performance of Asphalt Mixtures, *Teknik Dergi*, 31(6), 1-13.
- İskender, C. (2017). Cam agrega boyutu ve agrega gradasyonunun asfalt kaplama performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jasim, A. A. (2014). By using waste glass as secondary aggregates in asphalt mixtures. *International Journal of Advanced Research*, 2(1), 41-46.
- Jony, H. H., Jahad, I. Y., & Al-Rubaie, M. F. (2011). The effect of using glass powder filler on hot asphalt concrete mixtures properties. *Engineering and Technology Journal*, 29(1), 44-57.
- Lachance-Tremblay, É., Vaillancourt, M., & Perraton, D. (2016). Evaluation of the impact of recycled glass on asphalt mixture performances. *Road Materials and Pavement Design*, 17(3), 600-618.
- Liao, Y. P., Wu, H. S., & Yi, L. Z. (2014). The enhancement effect of hydrated lime on glassphalt concrete. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 670, pp. 423-427). Trans Tech Publications Ltd.
- Maupin, G. W. (1998). Effect of glass concentration on stripping of glassphalt (No. VTRC-98-R30). Virginia Transportation Research Council.
- Moreno-Navarro, F., Perez-Martinez, M., Martín-Marín, J., Sol-Sanchez, M., & Rubio-Gámez, M. D. C. (2015). Mechanical performance of asphalt mixes incorporating waste glass. *Baltic Journal of Road & Bridge Engineering (Baltic Journal of Road & Bridge Engineering)*, 10(3).
- Nash, P. T., Jayawickrama, P., Tock, R., Senadheera, S., Viswanathan, K., & Woolverton, B. (1995). Use of glass cullet in roadway construction: laboratory testing and specification development. Report No.: 0-1331-2F Texas Department of Transportation, Austin, TX, USA.
- Özünel, S., & İmat, F. (2016). Atık camlardan cam beton üreterek mimari ve dekoratif amaçlı olarak yararlanma. *Electronic Turkish Studies*, 11(2).
- Salem, Z. T. A., Khedawi, T. S., Baker, M. B., & Abende, R. (2017). Effect of waste glass on properties of asphalt concrete mixtures. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 11(1).
- Saltan, M., Öksüz, B., & Uz, V. E. (2015). Use of glass waste as mineral filler in hot mix asphalt. *Science and Engineering of Composite Materials*, 22(3), 271-277.
- Sanayi, B., & Bakanlığı, T. (2015). Ulusal geri dönüşüm strateji belgesi ve eylem planı 2014-2017.
- Savcı, S., & Dikmen, Ç.B. (2015). İnşaat sektöründe geri dönüşüm kaynağı olarak cam malzemelerin yeniden kullanımı, reusing of glass materials as recycling resources in construction sector.

- Sha, A.M., Lu, X., & Lin, R.Y. (2014). Evaluation of reflective property and research of road performance of glassphalt concrete. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 3(007).
- Separate-Waste Systems (2014). Enabling market uptake of innovative separation and cleaning solutions for material recycling of all product groups contained in bio-wastes and MSW. Available at: <http://www.separate-wastesystems.eu/contents/deliverablesdocs/separate-country-profiles.pdf>
- Shafabakhsh, G. H., & Sajed, Y. (2014). Investigation of dynamic behavior of hot mix asphalt containing waste materials; case study: Glass cullet. *Case Studies in Construction Materials*, 1, 96-103.
- Shaopeng, W., Wenfeng, Y., & Yongjie, X. (2003). Preparation and properties of glass-asphalt concrete. *Key Laboratory for Silicate Materials Science and Engineering of Ministry of Education, Wuhan University of Technology, Wuhan*, 430070, 02.
- Su, N., & Chen, J. S. (2002). Engineering properties of asphalt concrete made with recycled glass. *Resources, conservation and recycling*, 35(4), 259-274.
- Tahmoorian, F., Samali, B., Yeaman, J., & Crabb, R. (2018). The use of glass to optimize bitumen absorption of hot mix asphalt containing recycled construction aggregates. *Materials*, 11(7), 1053.
- Tam, V. W., & Tam, C. M. (2006). A review on the viable technology for construction waste recycling. *Resources, conservation and recycling*, 47(3), 209-221.
- TOBB., 2012. Türkiye cam ve cam ürünleri sanayi meclisi sektör raporu, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Ankara.
- Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş., (2005). Araştırma Merkezi Cam Teknoloji Grubu Raporu.
- URL-1, <https://www.zerowasteeurope.eu/category/waste/residual-waste/>
Commission calls for defunding of waste-to-energy.
- Wartman, J., Grubb, D. G., & Nasim, A. S. M. (2004). Select engineering characteristics of crushed glass. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(6), 526-539.
- Wu, S., Yang, W., & Xue, Y. (2004). Preparation and properties of glass-asphalt concrete. Wuham, China: Key Laboratory for Silicate Materials Science and Engineering of Ministry of Education, Wuham University of Technology.
- Yetim, A. (2014). Geri dönüşüm sektörünün dünyadaki genel görünümü ve Türkiye'deki durumu. *Ar & Ge Bülten*, Haziran.
- Ziari, H., Behbahani, H., Kamboozia, N., & Ameri, M. (2015). New achievements on positive effects of nanotechnology zyco-soil on rutting resistance and stiffness modulus of glassphalt mix. *Construction and Building Materials*, 101, 752-760.



Bölüm 13

ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜNDE ÖNE ÇIKAN TEKNOLOJİLER

Ender ŞAHİNASLAN¹

¹ Dr. Bilgi Teknolojileri Danışmanı, İstanbul, Türkiye: dr.endsa@gmail.com

1. Giriş

Yaşamın kendisi sürekli bir dönüşüm içerisindedir. Bu dönüşüm çevresel bir değişimin sonucunda olabileceği gibi teknolojik bir gelişme ya da ilerlemenin sağladığı yeni fırsatlar neticesinde de gerçekleşir. İnsan yaşamının neredeyse her alanında meydana gelen bu değişim ve ilerlemelerde bilim ve teknolojiadaki gelişmelerin etkisi vardır. Özellikle son yüz yılda bilgi teknolojilerinde yaşanan gelişmelerin etkisi çok büyüktür.

İnsanlığın ilk zamanlarında yaşamı etkileyen buluşlar milenyum zaman diliminde gerçekleşirken, 1784’de Endüstriyel devrimin başlamasıyla yüz yıla, elektriğin icadıyla yarım yüzyıla, bilgisayarların bulunmasıyla onlu yıllara, internetin genel kullanıma başlamasıyla yıllara, nesnelerin interneti ve diğer yeni teknolojilerin gelişmesiyle birlikte aylar seviyesine kadar düşmüştür. Artık günümüzde yeni nesil bilgi teknolojileri sayesinde neredeyse her gün yeni bir buluşlar, çeşitli uygulamalargeliştirilmekte, insanlığın hizmetine sunulmaktadır. Diğer taraftan her geçen gün iş ve yaşam alanımızla daha fazla bütünleşen teknolojiler yaşamımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Teknolojik ilerlemeler, iş ve yaşam beklentileri, geleceğe dönük yapılan öngörüler bize insan-bilgisayar etkileşiminin artarak devam edeceğini göstermektedir. Hatta yapay zekâ ve derin öğrenme gibi yeni teknolojik alanlardaki ilerlemelerle makine-makine etkileşimiyle birlikte bu birlikteliğin daha da ileri taşınacağına dair öngörüler yapılmaktadır.

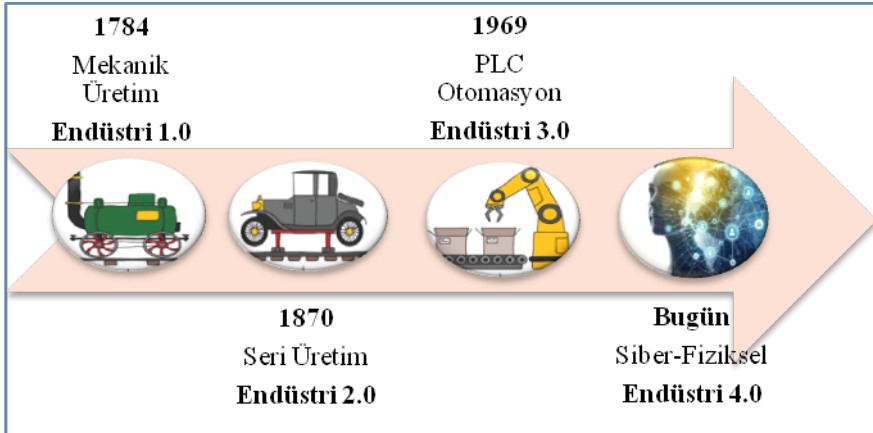
Teknoloji insanın yaşam standartlarının gelişmesinde ve dönüşümünde etkilidir. Geliştirilen her teknoloji yeni bir ihtiyacı, her bir yeni ihtiyaçsa yeni bir gelişmeyi ve teknolojiyi tetiklemektedir. Teknolojilerde ki gelişmeler yaşamın her alanda olduğu gibi endüstrinin büyüme ve dönüşümünde de itici bir güç olmuştur. 18.YY’da buhar gücüyle çalışan makinelerin üretimde kullanılma başlaması, parça başı üretimden, sistemsel toplu üretilere geçişler başlamıştır. Bu üretim biçiminde yaşanan değişim daha sonraları bir devrim olarak adlandırılmıştır. Bu dönüşüm yolculuğu elektrik enerjisiyle birlikte seri üretim sistemine geçiş, bilgi teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde programlanabilir makinelerin(P-LC) kullanılmasıyla devam etmiştir. Günümüzde, akıllı sistemlere geçiş çalışmaları kısaca Endüstri 4.0 dönüşüm yolculuğu yaşanmaktadır.

Yeni nesil teknolojilerdeki gelişmeler, bu teknolojilerin sunduğu imkânlar iş ve yaşamının her alanında yıkıcı değişikliklere, yeni fırsatlara sebebiyet vermektedir. Yeni teknolojilerin kullanımı ürün ve üretimde çeşitlilik, esneklik, kalite, az hata ve insan gücü, zaman, maliyet gibi alanda işletmelere rekabet üstünlükleri sağlayacaktır. Böylece daha çevik ve güçlü hale gelmelerini de sağlamış olacaktır. Bu aynı zamanda bireyleri, kurumları, işletmeleri yapısal ve fikişsel boyutta değişime, diğer bir deyişle dijital dönüşüme zorlamaktadır. Dijital teknolojilere geçişle birlikte

ihtiyaç ve beklentilerimiz de sürekli değişmektedir. Çeşitlenerek artan ihtiyaçlar doğal olarak tüketimi de beraberinde getirmektedir. Bu, işletmelerin tedarik, üretim, satış, destek tüm süreçlerinde deyimlikli değişikliklere sebep olmaktadır. Diğer taraftan yeni teknolojiler; bireylere, işletmelere, toplumlara büyümeleri, gelişmeleri ve refah seviyelerini artırma gibi pek çok fırsatlar sunar. Bu yeni teknolojilerin kullanılmasıyla ulaşılacak istenen ana hedef mevcut süreçleri esnek, hızlı, sonuç odaklı, rekabet eden daha etkin süreç ve sistemleri inşa etmektir. Bu aynı zamanda her alanda ilerlemeye de yardımcı olacaktır.

2. Endüstriyel Dönüşümün Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlu göçebe hayatı gibi düzensiz bir yaşamdan yerleşik hayata geçmekle birlikte ilk devriminitarım alanında yapmıştır. Tarım devrimiyle tüketim toplumundan üretim toplumuna bir geçiş de gerçekleştirmiştir. İnsanlar yüz yıllar boyunca kendi temel ihtiyaçları doğrultusunda tarım ve hayvancılıkta bir takım ilerlemeler kaydetmiştir. Ancak bu gelişmeler bugünkü anladığımız manada bir sanayileşme değildi. Sanayi devrimi 1784 yılında su ve buhar enerjisinin bulunmasıyla başlar. İlk dönüşümle birlikte lokomotif, buharlı gemi ve tekstil makinaları icat edildi. Böylece insanlar tarım yerine üretime, sanayiye yöneldi. 1870'li yıllardan itibaren elektrik enerjisi sayesinde seri üretim ortaya çıkmıştır. Bunun ilk örnekleri kitlesel üretimde hayvan kesimhanelerinde ve otomotiv sektöründe bant tipi seri üretim başlanmasıdır. Düşük maliyet, kitlesel üretim ve standart ürüne dayalı bu üretim modeli on yıllar boyunca güncelliğini korumuş ve Endüstri 2.0 olarak kabul edilmiştir (Alçın, 2016). Endüstriyel dönüşüm evreleri özetli Şekil-1'de gösterilmektedir.



Şekil 1: Endüstri Dönüşüm Evreleri

20. yüzyılın başlamasıyla birlikte, daha önce ağırlıklı tarımla nüfus ve kentleşme yönünde büyümeye devam etti, pek çok şey yeniden icat

edilmeye başladı. Bu aynı zamanda insanların günlük yaşamlarında da değişikliklere neden oldu. Elektrik enerjisinin de kullanılması, gıda, giysi ve eşyaların montaj hatları, medya, ulaştırma, sağlık hizmetleri ve savunma teknolojilerinde ileriye doğru büyük atılımlar gerçekleşmiştir.

Mikroişlemciler, elektronik ve bilgisayar temelli bir üretim yapısını belirginleştirmiştir (SIEMENS, 2016). 1936'da geliştirilen ilk programlanabilir bilgisayarın icadı, 1947 yılında transistörün keşfi, 1954 IBM tarafından iş bilgisayarı, 1962 ilk oyun bilgisayarı üretimi gibi elektronik, bilgisayar, iletişim ve yarı iletken teknolojilerde çeşitli ilerlemeler yaşanırken 1969 yılı sonlarına doğru programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC) geliştirildi. Programlanabilir makinelerin kullanılmaya başlamasıyla endüstriyel otomasyon çağı da başlamış oldu. Diğer bir ifadeyle Endüstri 3.0 evresine geçilmiş oldu. Bu dönemde ilk mikro bilgisayar geliştirilmiş ve dijital teknolojiler öne çıkmıştır (Soylu, 2018). Bilgisayar, mikro elektronik, fiber optik, lazer gibi teknolojilerin, telekomünikasyon, nükleer, biyo-tarım ve biyo-genetik gibi bilimlerin gelişimi, üretimin yönünü ve biçimini etkilemiştir. İletişim ve ulaşımındaki gelişmelerle, ticaret ve endüstri yaygınlaşmıştır. Bu süreçte yaşanan en önemli gelişmelerden biri de, dünya kaynaklarının hızla tükenmesi ve sürdürülebilirlik kavramının gündeme gelmesi olmuştur (Bayrak, 2018).

Diğer taraftan teknolojik ilerlemeler, sanayi devriminin başlangıcından bu yana, endüstriyel verimlilikte büyük artışa neden olmuştur. Bu yüzyılda bilişim ve iletişim teknolojilerindeki çok önemli gelişmeler 1990'lı yıllarda internetin yaygın kullanılmaya başlaması, yazılım ve donanım alanındaki gelişmelerle birlikte boyutları küçülen, işlem yetenek ve hacmi genişleyen gittikçe akıllı hale gelen teknolojiler üretilmeye başladı. IoT, sensör teknolojileri gibi gelişen yeni teknolojiler sayesinde fiziksel ve dijital sistemler arasında bağlantı kurularak üretim süreçlerini insansız biçimde kurgulayabilen akıllı yeni üretim sistemlerinin kurulabileceği fikri gelişti. İlk defa 2011-2015 yılları arasında doğunun yaptığı sanayi üretimi batının ürettiğinin üzerine çıkıyor. Bu batı için bir tehdit oluşturuyor. Buna karşı üç konuya; piyasaya zamanında girme, üretimde esneklik ve verimlilik konusuna odaklanma başlıyor (Ersoy, 2017). 2013 yılında Almanya yirmi yıl içerisinde Endüstri 3.0'dan 4.0'a geçiş yapacağını duyurdu. Günümüzde siber-fiziksel sistemler ve dinamik veri işleme ile değer zincirlerinin uçtan uca bağlandığı, sanayi devriminin dördüncü evresi yaşanmaktadır (TÜSİAD, 2016).

3. Endüstri 4.0

Dönüşüm, bir iş modelini değiştirmek, yeni gelir ve değer üreten fırsatlar sağlamak için dijital teknolojilerin kullanılmasıdır; Dijital bir işletmeye geçme sürecidir (Gartner, 2018). Endüstri 4.0; sadece bir

üretim hattının, bir faaliyetin değil, bir şirketin/kurumun bütün çalışma ve süreçlerinin dijitalleşmesi olarak tanımlanabilmektedir(Sung T.K., 2017). Birbirine bağlı işlerin/süreçlerin iletişim halinde olduğu, internet üzerinden iletişim kuran nesnelerin veri toplayıp üretim/hizmet sürecini tamamen değiştirdiği, makinelerin insanlarla etkileşimini ön plana çıkaran bir değişimdir(Bayrak, 2018). İleri mühendislik ve sistemler arası tam entegrasyonu içeren Endüstri 4.0 ile uluslararası alanda ucuz işgücüne dayalı rekabet yerine, yüksek katma değerli üretime dayalı rekabete geçilmesi beklenmektedir(Hinks, 2015). Fabrikalar giderek daha da otomatikleşecek, makinelerin analiz yapma ve çalışanlarla iletişim kurma kabiliyetine sahip olmaları sağlanacaktır(Moore, 2018). Bu dönüşüm; akıllı fabrikalar, bu sanal ve fiziksel sistemler arasında işbirliğine olanak tanır. Tanı ve üretkenlik iyileştirmesi için yeni işletim modelleri oluşturulmasına izin verir (Simio, 2019). Akıllı yapı ve sistemlere doğru yolculuk başlamıştır. Artık insan-insan, insan-makine etkileşiminden öte makine-makine etkileşimin görüldüğü Endüstri 4.0 çağı yaşanmaktadır.

3.1. Teknolojik Kavramlar

Teknoloji; bilimin insanın pratik yaşam gereksinimlerinin karşılanmasına veya çevresini denetleme, biçimlendirme ve değiştirme çabalarına yönelik uygulamaları anlamına gelmektedir(TÜBİTAK, 2010). Teknoloji yaşamımızı kolaylaştıran her türlü araç ve gereçlerin diğer bir adıdır. (Ultav, 2015)’a göre “önümüzdeki yirmi yıla verilen isimlerden biri ‘Somutluklar Dönemi’dir. Teknoloji, finans ve beklenen verimliliklerin bir araya gelmesiyle oluşacak yeni pazarlardır. İnovasyon yoluyla katma değeri artırmak için veri, dijitalleşme ve tasarım platformunun oluşturması lazımdır”. Bu somutluklar dönemine doğru yolculukta pek çok yeni kavram ve teknolojiler ortaya çıkmıştır. (Doğan, 2019) tarafından yapılan araştırmada belli başlı 39 kavrama yer verilmiştir. Endüstri 4.0’la birlikte anılan bu teknolojik kavramlara Tablo-1’de yer verilmiştir.

Tablo 1: Endüstri 4.0 Kavramlar Listesi

1	Nesnelerin İnterneti	21	Veri Odaklı Hizmet
2	Yapay Zekâ	22	Enerji 4.0
3	Öğrenen (akıllı) Robotlar	23	Dijital Tedarik Zinciri
4	Üç Boyutlu Yazıcılar	24	İnsansız Sistemler
5	İleri Seviye Otomasyon	25	Çevik ve Esnek Üretim-Hizmet
6	Siber Güvenlik	26	Hologram Teknolojileri
7	Siber Fiziksel Sistemler	27	Giyilebilir Teknolojiler
8	Bulut Bilişim Teknolojisi	28	Dijital Tanı, Teşhis, Tedavi
9	Büyük Veri ve Veri Analitiği	29	Nano Teknoloji
10	Sanal Gerçeklik	30	Endüstriyel İnternet
11	Artırılmış Gerçeklik	31	İleri Üretim Teknikleri

12	Karışık Gerçeklik	32	Teknolojik İnovasyon
13	Akıllı Üretim Teknolojileri	33	Hızlı Prototip Üretimi
14	Karanlık Fabrikalar	34	Mikro Fabrikalar
15	Gömülü Sistemler	35	Enerjisini Üreten Fabrikalar
16	Makine-Makine İşbirliği	36	Yapay Sinir Ağları
17	Sensör Teknolojileri	37	Akıllı Depolama ve Transfer
18	Bilgisayar Görmesi	38	Simülasyon Teknolojileri
19	Kişiyi Özel Ürün Geliştirme	39	Eklemeli İmalat
20	Derin Öğrenme	40	Blockchain

Bu kavramsal teknolojilerin birçoğunun fikirsel boyutu hayli öncelere dayanmaktadır. Örneğin yapay zekâ(1950), nano teknoloji(1980), 3D yazıcı(1981), artırılmış gerçeklik(1991), nesnelerin interneti(1999), bulut bilişim(2002) ve siber fiziksel sistemler(2006) olarak örnek verilebilir. Bunlar her ne kadar önce düşünülmüş olsa da düşünceden uygulamaya geçişi, sınırlı bilimsel çalışmalardan genel kullanıma geçişi, yaygınlaşması zaman almaktadır. Bazen bir teknolojinin gelişimi başka bir fikri ya da teknolojiyi geliştirmeye ilham vermektedir. Özellikle nesnelerin interneti ve gittikçe akıllı hale gelen sistem ve yapılar sayesinde akıllı fabrikalar, şehirler, devletler, işletmeler gibi kendi kendisini akıllı bir mantık çerçevesinde yönetebilen üretim ve yönetim süreçleri tesis edilebilmektedir.

3.2. Öne Çıkan Teknolojiler

Teknoloji, her geçen gün her bir bireye, eve, işletmeye kısıcağı her yere ulaşmaktadır. İş ve yaşam dünyamıza hizmet eden yeni nesil teknoloji ve uygulamaları ise çeşitlenerek artmaktadır. Bununla birlikte bazı teknolojiler Endüstri 4.0 dönüşümüne öncülük etmektedir. (Newman, 2019)'a göre, makine öğrenmesi ve derin güçlendirme öğrenmesi tüm endüstrileri değiştirmeye hazırlayan 'yapay zeka', dijital dönüşümde toplanan ve sentezlenen tüm verilerin işlenmesi için gerekli olan hızlı erişim için 'bulut teknolojileri', müşteri deneyimi, veriye dayalı karar sistemleri, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik teknolojileri (ThinkWGoogle, 2017) şeklinde belirtilmektedir.

Günümüzde genel kabul gören yaklaşımlara göre, artırılmış ve sanal gerçeklik, blok zinciri, bulut bilişim, büyük veri ve analitiği, eklemeli imalat(3D baskı), öğrenen robotlar, nesnelerin interneti, sanal gerçeklik, siber fiziksel dünyalar, siber güvenlik ve yapay zekâ'ne çıkan, dikkat çeken yeni nesil teknolojiler olarak dikkat çekmektedir.

3.3.1. Artırılmış ve Sanal Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik, gerçek zamanlı interaktif öğrenmeyi ve gerçek dünyada bilgi keşfini sağlamak için güçlü potansiyel bir teknolojidir (Johnson& ark.,2010). Bu teknoloji 1960'lı yıllarda sanal görüntüler elde etme çalışmalarına dayanır. Ancak o dönemlerde bugüne göre oldukça sınırlı işlem kapasitesine sahip bilgisayarlarla iki boyutlu nesnelerin üç boyutlu olarak gösterilmesine çalışılmıştır. 1991 yılında bugünkü anlamında 'artırılmış gerçeklik' terimini kullanılmaya başlanılmıştır. (Uzun, Bilban&Kalaç, 2018) tarafından yapılan tanımlamaya göre bilgisayar ile sanal üretilen ses, video, grafik ve 3D modelleri gerçek dünyadaki fiziksel ortam üzerinde gerçek zamanlı olarak hissedip yaşamamızı sağlayan teknolojidir. Sanal gerçeklikte ise nesneler bilgisayar ortamında hazırlanır ve yine kendi sanal ortamda çalıştırılır. Bu teknolojiye herşey sanal ortamda gerçekleşmektedir. Buna karşın artırılmış gerçeklikte, gerçek nesneler üzerine sanalda tasarlanan yeni objelerin yerleştirilmesiyle oluşturulan bir teknolojidir. Yani artırılmış gerçeklikte, gerçek ve sanal yaşam arasında sürekli bağ kuran bir teknoloji söz konusudur(Chang, Morreale&Medicherla, 2010). Diğer bir anlatımla, dijital ortamda oluşturulan sanal görüntülerin gerçek dünya içerisinde yerleştirilip kullanılmasına izin veren teknoloji olarak tanımlanmaktadır(Azuma, 1997).

Bu teknolojiler endüstri, tasarım, giyim, imalat, otomotiv, eğitim, eğlence, tıp gibi alanlarda kullanılmaktadır. Kontakt lensler sayesinde gözümlüze algıladığımız görüntülerin üzerine istenilen verilerin eklenmesini sağlanabilmektedir. Yine bu teknolojiler sayesinde müşteriler ürünü katalogdan secim yapıp, ürün içeriğine dair pek çok özelleştirilmiş bilgiye erişebilmektedir. Cihaz kamerasına yansıyan bir metni Google çeviri ile birlikte 100'ün üzerinde farklı dile çevirebilmektedir. Field Trip, iOnRoad, Star Walk gibi pek çok uygulamayla bizlere yardımcı olmaktadır.

3.3.2. Blok Zinciri (Blockchain)

Blok zinciri teknolojisi yeni teknolojilerdendir. Bu teknoloji bilgi ve belgelerin bir güven ilişkisi içerisinde, ayrıca bir resmi onaylayıcıya ihtiyaç duymadan, değişmezliğide garanti altına alınacak şekilde zaman damgalı olarak ağ üzerinden paylaşılmasına dayanır. Veriler, veri blokları halinde şifreli olarak paylaşılır. Her bir blok zincirin bir halkasını oluşturur. (TÜBİTAK, 2017)'a göre; blokzincir teknolojisi, günümüzün önemli problemlerinden olan, tek merkeze dayalı güven sistemlerindeki merkezi güven yapısını dağıtarak, bu sistemlerin daha verimli çalışmasında oynayabileceği rol nedeniyle dikkat çekici hale gelmiştir. Blokzincir, veri transferi sağlayan mevcut internet ortamında, değerli varlıkların transferine de olanak sağlayarak tüm hayatımızı yeniden şekillendirecek yepyeni bir teknolojiyi adlandıran merkezi olmayan bir şifreleme kayıt defteridir.

En bilinen uygulaması Bitcoin, Ethereum ve Ripple olarak adlandırılan sanal para birimleridir. Aynı teknolojiyi kullanan farklı isimlerde dijital paralarda mevcuttur. Bu teknoloji uzun yıllarca işletmelerde kullanılan bildiğimiz muhasebe kasa defteri yerine kullanılabilir, bankacılık işlemlerinde kullanılabilen bankacılık alışkanlıklarımızı da değiştirecek. Noter onayı gibi başka bir onaya ihtiyaç duymadan diploma, sertifika, doğum-ölüm belgeleri gibi dijital olarak tutulabilen her türlü bilgilerin değişmezliği bu teknoloji sayesinde işletebileceğiz. Bu teknoloji henüz yeni olmanın ve henüz yasal altyapıların tam olarak oluşmadığı bir ortamda bir takım kaygılar da taşısa da öyle gözüküyor ki gelecekte birçok alışkanlıklarımızı ve iş yapış biçimlerimizi kökten değiştirmeye aday teknolojilerden birisidir.

3.3.3. Bulut Bilişim

1999 yılından itibaren nesnelerin internetin kullanıma başlamasıyla veri üretim ve iletiminde belirgin artışlar yaşanmaya başlamıştır. Yoğun bir şekilde üretilen verilere her yerden, her nesneden erişim ve işleme ihtiyaçlarının da doğması verilerin mevcut merkezi yapılar üzerinde tutulması, işlenmesi gittikçe zorlaşmıştı. Bu tür problemlerin aşılmasında dağıtık veri merkezlerine ihtiyaç doğmuştur. Verinin bilinen klasik merkezi anlayıştan dünyanın herhangi bir yerindeki IoT ağına bağlı her hangi bir nesne üzerinden paylaşımına imkân sunan bu dağıtık yapılarbulut teknolojisi diye adlandırılmaktadır. Bu teknoloji belli coğrafi bölgelerde yer alan büyü veri sunucularının internet yoluyla üçüncü kişi ya da kurumlara belli izinler dâhilinde belli bir bölümünü kullandırılmasına dayanmaktadır. Bu yapıda kullanıcının doğrudan görebileceği bir fiziki sunucusu yoktur, bu uzak bir yerde sanal bir yapıdadır. Kullanıcılar sanal da olsa işletim, bakım ve yönetiminde kendilerine sağlanan yetkiler çerçevesinde aslında fiziki sunucudan farksız her türlü işlemi yapabilmektedir.

Bu teknolojinin ilk dönemlerinde, veri güvenliği endişesi, yeterince ucuz, yaygın ve genel kullanıma elverişli olmaması gibi nedenlerle yerli ilgiyi görememiştir. Ancak günümüzde yerelde tutulacak bir verinin işletim, güvenlik, erişim, teknik insan kaynağı bulundurma maliyeti gibi unsurlara karşın bulut teknolojisi daha ekonomik ve pratik çözüm avantajlarıyla daha cazip hale gelmiştir. Artık daha çok tercih edilen ve kullanılan bir teknolojidir. (Özsoylu, 2017)'ya göre; bulut bilişim öncelikle telekom ve BT sektörlerinin yanı sıra medya, devlet, eğitim ve sağlık gibi sektörlerine büyük etkisi olacaktır. Şüphesiz en büyük etkisi ise endüstriyel dönüşümde akıllı üretime geçiş zemin hazırlamasıdır. Bu teknolojiye kullanıcı tarafında bakıldığında ise bir teknolojik üründen ziyade üçüncü taraflardan temin edilen bir çeşit hizmet olarak da değerlendirilebilir.

3.3.4. Büyük Veri ve Analitiği

Veri, henüz işlenmemiş, ilişkilendirilmemiş, gruplandırılmamış, herhangi bir anlam yüklenmemiş, kendi başına sınırlı anlamı olan analiz edilmesi gereken ham bilgi olarak tanımlanabilir (Yılmaz, 2009). Dijital ağa dahil olan her cihaz, sistem ve uygulama üzerinden farklı türlerde veriler sürekli üretilmektedir. Endüstriyel uygulamalar, mobil, internet, telefon, mesaj uygulamaları, e-mail, facebook, twitter gibi çeşitli sosyal ortamlar kısacası akla gelebilecek her cihaz ya da nesne üzerinden ses, video, metin, belge, mesaj gibi veriler farklı formatlarda üretilmektedir. Özellikle IoT sonrası ağda yer alan her nesne üzerinden iletilen veriler devasa boyutlara ulaşmaktadır. 2017 yılında IBM tarafından yayınlanan rapora göre dünya da son iki yılda üretilen veri miktarı o zamana kadar üretilen verinin %90'ını oluşturmaktadır. Farklı formatlarıyla birlikte devasa boyutlara ulaşan ve büyük bir hızla artışa devam eden verilerin işlenmesi ve anlamlandırılması, değer üretilmesi var olan geleneksel araçlarla yapılamayacak dereceye ulaşmıştır. Büyük veri ve analitiğinin doğmasının temelinde bu tür problemlere çözüm bulma ihtiyacından kaynaklıdır. Verilerin erişilebilirliğindeki patlama, işletmeleri, ekonomileri ve toplumları dönüştüren dijital teknolojilerde hızlı gelişmelere yol açmıştır (ICAEW, 2019). Yine (Petrow, 2019) tarafından derlenen büyük veri istatistiklerine bakıldığında; 2019'da büyük veri pazarının %20 oranında büyümeyeceği, büyük veri analizi pazarının 2023 yılına kadar 103 milyar dolara ulaşacağı, 2020'ye kadar her insanın sadece bir saniyede 1.7 megabayt ve internet kullanıcılarının ise günlük yaklaşık 2,5 quintillionbyte veri üreteceğine dair öngörüler mevcuttur. Bu şekilde tek başına bir anlam üretmeyen her çeşit veriden değer üretilebilmesi bu verilerin toplanması kadar toplanan verilerin analizine de bağlıdır. Bu verileri toplayan, zamanında analizler yaparak doğru stratejiler geliştirip uygulayanlar küresel rekabette, kazançta bir adım önde olacaklardır. Aksi durumda bu kadar büyük veriyi toplamamanın hiçbir anlam ve önemi bulunmamaktadır. Üstelik bu kadar büyük verilerin dağınık ve anlamsız bir şekilde durması bir süre sonra veri çöplüğüne dönüşme tehlikesini de barındırır. Bu da kaynakların israfına boşa heba edilmesine yol açar.

Bu kadar devasa ve karmaşık toplanan verilerin analizlerinde mevcut bilgisayarların güç ve kapasitelerini de zorlamakta hatta aşabilmektedir. Bu tür problemlerin aşılmasında, veriden hızlı ve doğru değerler üretmede, dolayısıyla yeni fırsatları yakalamada çözüm olarak büyük veri araçları kullanılmaktadır. Hadoop, InfoSphere, Azure, Google Compute Engine gibi platformları, SQL ve NoSQL türünde veri tabanları, BigQuery veri işleme, Hive, HadoopDB gibi veri tabanları bunlardan en iyi bilinenleridir. Weka, SAS, SPSS, R, Python, RapidMiner istatistik ve makine öğrenmesi, Talend, KNIME iş zekâsı, Google Chart, Tableau Software görsel-

leştirme, Radian6 ve Clarabridge gibi sosyal medya araçları da mevcuttur. Her geçen gün bu alanda yeni araç ve uygulamalar da geliştirilmektedir.

3.3.5. Eklemeli İmalat (3D/4D Baskı Teknolojileri)

3D baskı, üç boyutlu dijital tasarımları fiziksel parçalara dönüştürme yeteneği ile nesneler üretmekte kullanılan bir teknolojidir (Chua&Leong, 2015). Eklemeli imalat, üç boyutlu baskı makineleri kullanılarak farklı hammadde katmanları üst üste konularak veya birbirine eklenerek dijital veri fiziksel ürüne dönüştürmedir(Gibson, David &Brent, 2015). Bu iki tanım bir biri yerine de kullanılmaktadır.

Bu baskı teknolojileri küresel rekabette işletmeler için zamanında kursuz sayılabilecek kalitede ürün imalatında çok büyük yardımcıdır. En, boy ve yüksekliği içeren üç boyutlu tasarım ve üretim sürecine dördüncü bir boyut eklenerek 4D baskı ortaya çıkmıştır(Ünal & Saygılı, 2018). 4D baskıda dördüncü boyutun kapsamının akıllı malzemeler olduğu da belirtilmektedir(Li, Shang&Wang, 2017). Akıllı malzeme dış çevre şartlarına uyum sağlayan, istenilen işleve yönelik değişim gösterebilen malzemelerdir. (Leist&Zhou, 2016)’e göre akıllı malzemeler, harici bir uyarana maruz bırakıldığında şekil veya niteliğinde (sertlik, renk, doku, şeffaflık, hacim) değişiklik yapılabilen bir malzeme sınıfıdır. (Campbell,Tibbits&Garret 2017)’na göre 4D baskıda kullanılan malzemeler; suya batırılarak ya da ısı, basınç, akım, ultraviyole ışığı veya diğer enerji kaynaklarına maruz bırakılarak şekil ve fiziksel boyutları değiştirmek üzere programlanmaktadır.3D yazıcılar bilgisayar üzerinde AutoCAD, Rhino3D, SolidWorks gibi bilgisayar uygulamaları üzerinde geliştirilen bir modelin farklı malzemeleri bir arada kullanarak hızlı bir şekilde üretilmektedir. Artık bir malzeme imalatı için büyük fabrikalara ihtiyaç duyulmadan bireysel olarak da üretebilmenin yolu açılmıştır.

3.3.6. Öğrenen Robotlar

Robotlar endüstriyel sektörde özellikle fiziki güç gerektiren zor işlerde uzunca bir süredir kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanımlarından birisi otomotiv sektörüdür. İlk başlarda düşünme yeteneği olmadan sadece programlanmış olduğu belli başlı işlerde yardımcı unsur olarak kullanılmaktayken günümüzde makine öğrenmesi ve yapay zekâ sayesinde öğrenebilen, düşünebilen, bir birleriyle etkileşimli çalışabilen bir nevi insan gibi çalışabilen akıllı cihazlara dönüşmektedir. (Banger, 2018) öğrenen robotları; bünyelerinde gömülü olan bilişim teknolojileri nedeniyle karar alma ve eyleme dökme süreçlerinde yapay zekâ gibi bazı uygulamaları gerçekleştiren, sensörler yardımıyla çevresinden veri toplayabilen robotlar olarak nitelendirilmektedir. Öğrenen robotlar insanlar, canlılar gibi geçmişte elde ettiği verileri, yaşam biçimlerini zaman-

la öğrenir, zamanla öğrendiği bu bilgileri rastladığı bir durum karşısında kullanır, çözüm üretir. Öğrenen, düşünen ve soruna çözüm üreten gittikçe insanımsı hale dönüşen akıllı robotlar her alanda zamanla daha fazla rol alacaktır.

3.3.7. Nesnelerin İnterneti (IoT)

Nesnelerin interneti; dijital ağa ve internete sahip olan nesnelerin, sanal bir kimlik kazanması yoluyla, çevreleriyle fiziksel ve sosyal bağlamda iletişim halinde olmalarıdır (Liffler&Tschiesner, 2013). Kısacası nesnelerin internet yoluyla bir birleriyle iletişim halinde olmasına denir. 1999 yılında Kevin Ashton tarafından ortaya atılan bu fikirde nesne üzerindeki sensörler üzerinde üretilen veriler dahil oldukları ağ üzerinde hareket halindedirler. Her geçen gün daha akıllı hale gelen nesnelerin oluşturduğu IoT ağından toplanan verilerden üretilen bilgilerin değerlendirilmesi sonucunda pek çok ilerlemeler sağlanmıştır.

Bu teknoloji sayesinde işletmeler uçtan uca topladıkları verilerle cep telefonu, tablet, bilgisayar gibi cihazlar üzerinden tedarik, üretim, satış, dağıtım gibi tüm süreç ve sistemlerini bir bütün halinde anlık takip edebilir ve yönetebilir duruma gelebilmiştir. Yine bu nesneler üzerindeki sensörlerden toplanan verilerle enerji tüketimi, stok maliyeti gibi kalemlerde düşüş sağlayarak teknolojilerin daha verimli ve etkin kullanımına fırsatlar sunmaktadır. Bu akıllı sensörler sayesinde evlerimizdeki aydınlatma, ısı, klima, fırın, buzdolabı, perde, güvenlik kamerası gibi ağa bağlanabilen her nesnenin uzaktan izlenebilmesi, kontrol edilebilmesi ve yönetilebilmesi mümkündür hale gelmiştir. Benzer şekilde ulaşım, tedarik zinciri, mağazalardaki ürünlerin takibi gibi pek çok alanda faaliyetleri uzaktan izlenerek mevcut süreçlerin iyileştirilerek daha optimize edilmesine olanak sağlamıştır. Bu alanda her gün yeni bir ürün ya da uygulama hayatımıza girmekte, gelişmeye açık alanlardan birisidir. İşletmeler IoT yatırımlarıyla lojistik, üretim, servis ve tedarik zincirlerine dair bir takım sorunlarını aşmayı hedeflemektedirler(Şahinaslan & Şahinaslan, 2019). IoT gibi güncel ve yeni nesil teknolojilerin kullanılması bu sorunları aşabilmede kaldıraç rolündedir.

3.3.8. Siber Fiziksel Dünyalar

Zaman zaman dijital ikiz olarak da adlandırılan siber fiziksel dünya kavramı ilk defa 2010 yılında NASA tarafından duyurulmuştur. Bu kavram bir nesnenin gerçek yani fiziksel dünyadaki bir ikizinin bire bir sanal ortamda oluşturulmasına denir. Dijital ikiz, dijital ortamda gerçek dünya koşullarındaymış gibi ürünlerin simüle edilmesini, sistemlerin farklı durumlarda verebileceği tepkileri daha ürün üretim aşamasına geçmeden sanalda birebir testlerinin yapıp, sonuçlarının görülebilmesine imkan

veren teknolojidir. Yakın gelecekte her bir fiziksel nesnenin bir de dijital ikizinin olacağı yönündedir. Endüstri 4.0 dünyasında bir ürünü, ürün hattını, fabrikadaki ilgili tüm süreçlerin dijital ortamda bire bir test ve simülasyonu yapılmadan gerçek üretime geçilmemesi hedeflenmektedir. Bu teknoloji fiziksel dünya ile sanal dünya arasında köprü vazifesi görür. Bu teknolojiyle varılmak istenen hedef bir ürün daha üretilmeden üretilmiş gibi gerçek dünyadaki oluşturacağı davranış ve etkileri sanal ortamda önceden görülebilmesini sağlamaktır. Bu gözlem sonrası ürüne son hali verildikten sonra üretim aşamasına geçiş sağlanır. Böylece ürünlerin daha kaliteli, kusursuz ve arzulanan biçimde esnek üretilebilmesi sağlar. Ayrıca karmaşık ürün gereksinimleri, farklı uygulanabilir tasarım alternatifleriyle birlikte zaman, maliyet ve verimlilik bakımından ciddi rekabet üstünleri sağlayacak bir teknolojidir.

3.3.9. Siber Güvenlik

Endüstriyel dönüşümler sayesinde bir nevi heterojen bir yapıda bir yandan siber ağ sürekli genişlerken diğer taraftan ağda dolaşan verinin de korunması gerekmektedir. İnsanlardaki güvenlik endişesini giderecek kontrol ve önleme mekanizmalarının tesis edilmesi gerekmektedir. Verinin tamlığı, bütünlüğü ve doğruluğu aynı zamanda verinin güvenlik bileşenlerini de oluşturur. Veri, karar almada, veriden istenilen değeri üretmede kritik öneme sahiptir. Yaşanan siber saldırı vakaları incelendiğinde aslında güvenliğin çok boyutlu yani bütünsel açıdan planlanmadığı durumu ortaya çıkmaktadır (Şahinaslan & Şahinaslan., 2018). Güvenlik mekanizmaları tasarlanırken, cihaz katmanlarının güvenlik gereklilikleri dikkate alınarak ‘Nesnelerin İnterneti’ katmanı iki kez kontrol edilmeli, heterojen yapı göz önünde bulundurularak bir dizi farklı protokolü destekleyebilecek bir güvenli altyapı oluşturulmalıdır (Sahinaslan, 2019). Güvenliği sağlamada pek çok teknoloji ve uygulamalar geliştirilmektedir. Endüstri 4.0 dönüşüm başarısında kritik öneme sahip bir teknoloji alanıdır.

3.3.10. Yapay Zekâ

Yapay zekânın fikirleri 1950’li yıllarda atılmıştır. Yapay zeka, insan zekâsına özgü olan, algılama, öğrenme, çoğul kavramları bağlama, düşünme, fikir yürütme, sorun çözme, iletişim kurma, çıkarım yapma ve karar verme gibi yüksek bilişsel fonksiyonları veya otonom davranışları sergilemesi beklenen yapay bir işletim sistemidir (ISODigital, 2019). Yapay zeka ile donatılmış bir cihaz görebilir, işitebilir, konuşabilir, koklayabilir, algılar, düşünüp ve hareket edebilir. Bu cihazlar makine öğrenmesiyle kendi kendine öğrenebilir, öğrenmeyi kullanarak muhakeme eder ve akıl yürütür. Böylece daha önce gördüklerini tanır,

büyük verileri analiz edebilir, karmaşık problemleri çözebilir, dil ve farklı nüansa konuşulanları anlar, tüm bu öğrendikleri ve depoladıkları bilgiler üzerinden çıkarımlarda bulunabilir, gelecek öngörülerinde bulunabilir. Yapay zeka henüz yeterli olmasa da sanal asistanlar, görselleştirme, ses analizi, grafik analizi, veri analizi, sosyal ağ analizi, dünya dillerinin öğrenim ve kullanımında, benzetim ve modelleme, makine öğrenmesi, robotik, nesnelerin interneti gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Yakın gelecekte sağlık, adalet, savunma, tarım, sanayi, eğitim, enerji, otomotiv, üretim, reklam, satış, finans gibi hemen hemen her alanda bu teknolojiye daha fazla yararlanılacaktır. Dönüşümün ana teknolojilerinden biri sayılabilir.

4. Sonuçlar

Toplumlar, işletmeler, kurumlar canlı organizmalar gibidir. Zamanla değişime yenilenmeye ihtiyaç duyar. Bilgi toplumuna geçişle birlikte teknoloji yaşamın adeta her alanına dokunur olmuştur. İnsan-makine, makine-insan, makine-makine etkileşimi yeni nesil teknolojiler iş ve yaşamda süreçlerde köklü değişimleri zorunlu kılmaktadır. Bu gelişmeler bilgi teknolojilerine olan bağımlılığı daha da artırmaktadır. Teknolojiyle bağımlılık arttığı ölçüde değişim arzusu da dayanılmaz bir hale gelmektedir. Bu değişim aynı zamanda sadece bireylerle sınırlı değil, tüm toplum ve işletmeler için de geçerlidir. Endüstriyel dönüşümlerle birlikte işletmeler artık neyin, nerede veya ne zaman tüketileceğini, nasıl bir talep geleceğini önceden kestirebilmektedir. Talep ve ihtiyaçlarına göre kendi ürün yelpazesini daha doğru şekillendirebilmektedir. Diğer yandan değişen tüketici davranışlarına ve 7*24 açık dijital pazarlara daha çevik ve hızlı yanıt verebilecek yeni sistem ve uygulama ihtiyacını da doğurmaktadır (Şahinaslan & Şahinaslan 2019). Günümüzde Dünya Sağlık Örgütü tarafından 'pandemi' olarak da kabul edilen ve tüm dünyayı etkisi altına alan yeni tip Koronavirüs(Covid-19)'dan korunabilmede belirli bir süreliğine de olsa bireylerin olabildiğince toplumdan izole yaşaması istenmektedir. Bu yeni durum evden çalışma, eğitim, iletişim, alışveriş gibi pek çok uygulamanın uzaktan yapılmasını toplumun tümü üzerinde zorunlu kılmaktadır. Bireyler bir yandan toplumdan izole olurken bir yandan da günümüz teknolojilerinin sunduğu imkanlarla eğitime, yaşamına kaldığı yerden devam edebilmenin mücadelesini vermektedir. Bu yeni durum Endüstri 4.0'ın güncel teknolojilerin sunduğu imkanlarla toplum geneli üzerinde test edilmesi olarak da görülebilir. Alınan sonuçlar, birey ve toplumların gereksinimleri doğrultusunda teknolojik dönüşümlerin şekil, yön ve hızı üzerinde de etki edebilecektir.

Birey, toplum ve işletmeler yeni nesil teknolojilerle dönüşümleri yaparak gelecek fırsatlara hazırlanmalıdır. Kurumlarımız araştırma, tasarım ve geliştirme çalışmalarıyla öncülük ederek bireyi, toplumu, işletmeleri ve devletimizi küresel çapta liderliğe hazırlamalıdır.

Bu çalışmada teknoloji yolculuğunun son düzleminde yer alan ve yaşamımızda uçtan uca köklü değişiklikler getiren, ekonomi ve paranın yönünü değiştiren yeni teknolojiler hakkında fikir vermektedir. Yeni teknolojilerden geri kalmamak ve fırsatları zamanında yakalamak istiyorsanız bu yeni teknolojilerle dönüşüm yolculuğunun ilk basamağı sayılır. Artık yeni teknolojilerle dijital yolculuğa devam ederek yeni keşifleri görüp yeni ufuklar kazanabilirsiniz. Bu belki de size hayatınızda yeni bir dönüşümün ilerlemenin kapısını da açacaktır.

KAYNAKLAR

- Alçın, S. (2016), Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0, Journal of Life Economics, Sayı 8, S:19-30
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, s.355-385
- Banger, G. (2018). Endüstri 4.0 Uygulama ve Dönüşüm Rehberi. Ankara: Dorlion Yayınları.
- Bayrak, A.(2018), Dünya’da ve Türkiye’de Dijital Dönüşüm İncelemesi ve Türkiye’nin Entegrasyonu İçin Değerlendirmeler, 06 08, 2019, https://cdndigit4turkey.4flyy.com/file/f9179376ffcb4df6b74e64be2ea7f9fc/End%C3%BCstri_4.0_Raporu.pdf adresinden alındı.
- Campbell, T., Tibbits, S. & Garret, B. (2017), 25 09, 2019 tarihinde https://www.files.ethz.ch/isn/182356/The_Next_Wave_4D_Printing_Programming_the_Material_World.pdf adresinden alındı.
- Chang, G., Morreale, P., Medicherla, P. (2010)., Applications of augmented reality systems in education. Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2010, 1380-1385. Chesapeake, VA: AACE.
- Chua, C.K. & Leong, F.K. (2015), 3D Printing and Additive Manufacturing Principles and Applications, 4th ed., Singapore: World Scientific Press, S.1-18.
- Doğan, O. (2019), Dijital Dönüşümün Yönetimi Sürecinde Üniversite Öğrencilerinin Endüstri 4.0 Kavramsal Farklılık Düzeyleri, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir-2019
- Ersoy, A.R.(2017), Endüstri 4.0 (D)evrimi Yolunda, TEDxReset, 21 09, 2019, <https://www.youtube.com/watch?v=rVxWNxR-7hY>
- Gartner. (2018), Digitalization, 20 09, 2019 tarihinde <https://www.gartner.com/it-glossary/digitalization/> adresinden alındı.
- Gibson, I., David, R. & Brent, S.(2015), Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, New York, United States: Springer Press, S. 1-18.
- Hinks, J.(2015), <http://www.techradar.com/news/world-of-tech/future-tech/5-things-you-should-know-about-industry-4-0-1289534>
- ICAEW. (2019), Digital transformation: Mega Trends in Accountancy, <https://www.icaew.com/technical/technology/finance-in-a-digital-world/digital-transformation/digital-transformation-mega-trends>
- Johnson, L., Levine, A., Smith, R., & Stone, S. (2010). Simple Augmented Reality. The 2010 Horizon Report, 21-24. Austin, TX: The New Media Consortium.

- Leist, K.S. & Zhou, J., (2016), Current status of 4D printing technology and the potential of light-reactive smart materials as 4D printable materials, *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 11, S. 249-262
- Moore, M. (2018), What is Industry 4.0? Everything you need to know, 22 06, 2019 tarihinde <https://www.techradar.com/news/what-is-industry-40-everything-you-need-to-know> adresinden alındı
- Newman, D. (2019), Top 7 Digital Transformation Trends In High Tech Industries For 2019, 26 06, 2019 tarihinde <https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2019/01/23/top-7-digital-transformation-trends-in-high-tech-industries-for-2019/#78a7de2c7aca> adresinden alındı
- Özsoylu, A. (2017). Endüstri 4.0. Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21(1), 41-64. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cuiibfd/issue/34826/387693>
- Petrow, C. (2019), Big Data Statistics 2019, 25 09, 2019 tarihinde <https://techjury.net/stats-about/big-data-statistics/> adresinden alındı.
- Sahinaslan, Önder. (2019). Encryption Protocols on Wireless IoT Tools, AIP Conference Proceedings 2086, 030036 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5095121>, April 2019
- SIEMENS (2016), Endüstri 4.0 Yolunda, 12 08, 2019 tarihinde http://cdn.endustri40.com/file/ab05aaa7695b45c5a6477b6fc06f3645/End%C3%BCstri_4.0_Yolunda.pdf adresinden alındı.
- Simio. (2019), Industrial Revolutions Through the Ages, <https://www.simio.com/applications/industry-40/industrial-revolution-through-the-ages.php>
- Sung T.K (2018). Industry 4.0: A Korea perspective” *Technological Forecasting & Social Change*, Elsevier, vol. 132(C), S:40-45
- Soylu, A. (2018). Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar, Pamukkale Üniversitesi S.B.E. Dergisi, sayı 32, s.43-57, Denizli
- Şahinaslan, E., Şahinaslan, Ö. (2019). Dijital Dönüşümde Öncelikli Alanlar ve İlgili Teknolojiler, *International Congress on Business and Marketing*, Maltepe University, Istanbul
- Şahinaslan, Ö., Şahinaslan, E. (2018). E-Dönüşüm Uygulamalarında Güvenlik, *International Congress on Business and Marketing*, Maltepe University, Istanbul
- ThinkWithGoogle (2017), Sanal Gerçeklik (VR), Artırılmış Gerçeklik (AR), Karma Gerçeklik (MR) Kavramları, 13 06, 2019 tarihinde <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/tr-tr/icgoruler/sanal-gerceklik/> adresinden alındı.
- TÜBİTAK (2010), Bilim ve Teknoloji, 23 09, 2019 tarihinde https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/btyk/2/2btyk_karar.pdf adresinden alındı.

- TÜBİTAK (2017), Blokzincir Teknolojileri, 25 09, 2019 tarihinde [https:// blokzincir.tubitak.gov.tr/blok-zincir.html](https://blokzincir.tubitak.gov.tr/blok-zincir.html) adresinden alındı.
- TÜSİAD (2016), Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği için Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0, 21 09, 2019 tarihinde http://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/download/7494_67a3aa94bcfce900229f42280fa1ba68, No: TÜSİAD-T/2016-03/576, S:19
- Ultav, C.(2015). İnovasyonda Öncelikli Alanlar, 21 09, 2019 tarihinde, [https:// www.youtube.com/watch?v=DhG_-eJdq-g](https://www.youtube.com/watch?v=DhG_-eJdq-g) adresten alındı
- Uzun,Y.,Bilban,M.,Kalaç, M.Ö.(2018), Artırılmış Gerçeklik Kullanılarak Engelli Çocukların Öğrenme Yeteneklerinin Geliştirilmesi, <https://www.researchgate.net/publication/327621809>
- Ünal, A.N., Saygılı, M.S.(2018), Sanayi 4.0 Dönüşümünde 4 Boyutlu Baskı Teknolojisinin Yeri ve Tedarik Zinciri Yönetimine Etkileri, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7 (2019) s.1-14
- Li, X.,Shang, J. &Wang, Z.(2017), Intelligentmaterials: a reviewof applications in 4D printing, Assembly Automation, s.170-185
- Liffler, M.,Tschiesner, A. (2013), The Internet of ThingsandtheFuture of Manufacturing, McKinsey&Company
- Yılmaz, M. (2009), Enformasyon ve Bilgi Kavramları Bağlamında Enformasyon Yönetimi ve Bilgi Yönetimi. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi. 49(1). s. 95-118.



Bölüm 14

BOZULABİLİR ÜRÜNLERDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TAŞIMACILIĞIN ÖNEMİ

Gül Didem BATUR SİR¹

¹ Dr. Öğretim Üyesi. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Bozulabilir ürün tanımı; et ve et yan ürünleri, balık ve deniz ürünleri, süt ürünleri, meyve ve sebzeler, çiçekler, farmasötik ürünler ve kimyasallar gibi zaman içinde çevresel koşullar nedeniyle kalitesi bozulan ürünler için kullanılmaktadır. Kimyasal ve/veya fizyolojik özelliklerinden dolayı bu ürünler kısa ömürlüdür; özellikle sıcaklık doğru ayarlanmaması gibi durumlarda oluşabilecek hasarlara karşı diğer ürünlere kıyasla çok daha hassastırlar. Bu ürünler, son tüketiciye ulaştıklarında doğru kalitede tutulmaları için azami dikkat gerektirmektedir.

Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi; şirketlerin paydaşlarından, politika yapıcılardan ve tüketicilerden, hükümetlerden ve çeşitli kuruluşlardan gelen iç ve dış baskılara karşılık vermek zorunda kalması nedeniyle giderek daha önemli hale gelen bir konudur (Ageron ve ark., 2011; Seuring ve Müller, 2008). Tedarik zincirlerinin küreselleşmesiyle, daha uzun nakliye mesafeleri, insan sağlığını etkileyen ve küresel ısınmayı arttıran hava kirliliğinin ve sera gazı emisyonlarının artmasına da neden olmaktadır. Bununla birlikte; tüketiciler de artık gıda alım süreçleri, güvenlik seviyeleri, üretim yöntemleri ve karbon ayak izi gibi çevresel konular hakkında bilgilendirilmek istemektedir (Wognum ve ark., 2011). Günümüz tüketicileri, satın alma kararlarını vermek için kalite, güvenlik ve çevresel uygunluk gibi kriterleri göz önünde bulundurmakta; çoğu zaman sürdürülebilir ürünler için daha fazla ödeme yapmayı dahi kabul edebilmektedir. Tüm bu nedenlerle, çevresel ve sosyal beklentilerin daha iyi karşılanabilmesi için sürdürülebilir ve çevre dostu tedarik zincirlerinin verimli bir şekilde tasarlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bozulabilir ürünlerin taşınmasında sürdürülebilirlik konusunu ele alan çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada konuyla ilgili önemli noktalar tanımlanacak ve konuyla ilgili araştırmacılar için ön bilgi sağlanacaktır.

BOZULABİLİR ÜRÜNLERİN TEDARİK SÜRECİ

Bozulabilir ürünlerin tedarik sürecinde anahtar faktörler zaman, izolasyon ve sıcaklıktır. Ürün kayıplarının çoğu, üretim sonrası ve ürün dağıtımı arasındaki zamanda meydana gelmektedir. Bu zararlar nihai tüketiciyi etkilemekte ve bunları satan işletmeler için büyük kayıplar yaratmaktadır. Bu noktada en önemli sorun, ürünlerin özelliklerinin bozulmadan kalmasını garanti edecek olan soğuk zincire olabildiğince önem vermektir. Soğuk zincir; üretim aşamasından başlayıp sevkiyat, depolama ve tüketim aşamasına kadarki süreçte bozulabilir ürünlerin düşük sıcaklıkta saklanmasıdır. Mikroorganizmaların ürememesi ve bozulabilir ürünlerin korunması için soğuk zincirin üretimden tüketime

kadarki tüm aşamada “kırılmaması” gerekir. Örneğin; et, süt, balık ve donmuş ürünler gibi hassas gıdaların korunmasında “sıcaklık” çok önemli bir parametredir. Sıcaklık değişimleri, mikroorganizmaların üremesine neden olurken bu ürünlerin fiziksel ve kimyasal yapılarının bozulmasına neden olmaktadır. Bozulabilir ürünler, tüm tedarik zinciri boyunca soğutuculu taşıma sistemleri ile taşınmaktadır (Şekil 1). Kullanılan taşıyıcılarda, ürünler soğutulmuş, ısı kontrollü alanlarda tutulur. Diğer yandan, bozulabilir ürünler tedarik zincirinde fazla uzun kaldıklarında enerji tüketimi gittikçe artmakta ve yüksek karbon salınımına sebep olmaktadır. Bu durum aynı zamanda yüksek maliyet ve bozulabilir ürünün kalitesinde düşüşe de sebep olacaktır.



Şekil 1. Soğutucu düzeneğine sahip (frigorifik) araç

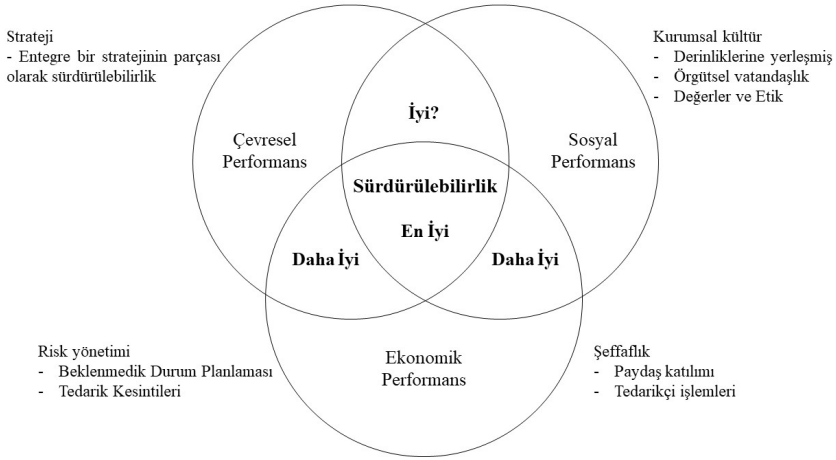
Bozulabilir ürün tedarik zincirlerinin yönetimi, stratejik önemlerine rağmen tatmin edici olmaktan uzaktır. Perakendecilerdeki bozulabilir gıda kaybı, hasar ve bozulma nedeniyle % 15’e kadar çıkabilmektedir. Tedarik zincirlerindeki bozulabilir gıdaların kaybı, ürün kalitesinin satış veya tüketim noktasına kadar sürekli olarak azalmasından kaynaklanmaktadır (Wang ve Li, 2012). Tedarik zincirinde bozulabilirliğe olan ilgi hem uygulamada hem de akademik araştırmalarda gün geçtikçe artmaktadır.

SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Brundtland(1987)tarafındanDünyaÇevre veKalkınmaKomisyonu’na (WCED) sunulan rapora göre, “sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma olarak tanımlanmaktadır.” Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi ise sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunu (ekonomik, çevresel ve sosyal) içeren seçim kriterlerini entegre ederken, tedarik zinciri boyunca organizasyonlar arasında bilgi ve malzeme akışı ile işbirliğinin yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Amaç, çevresel etkileri ve sosyal refah endişelerini en aza indirirken aynı zamanda uzun vadeli ekonomik performansını iyileştirmektir (Erol ve ark., 2011; Seuring ve Müller, 2008).

Carter ve Rogers (2008) tarafından sunulan, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi çerçevesi (Şekil 2), ekonomik, çevresel ve sosyal

hedefleri aynı anda dengeleyerek sürdürülebilirliğin birbirine bağlı boyutlarını işler hale getirmektedir. Üç boyutun kesişiminde sadece doğal çevreyi ve toplumu olumlu yönde etkilemekle kalmayıp aynı zamanda uzun vadeli ekonomik faydalar ve rekabet avantajı da sağlanmakta olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi [Carter ve Rogers, 2008]

Tedarik zincirinin sürdürülebilirlik seviyesini ölçmek için çeşitli göstergelerden yararlanılmaktadır. Bunlar arasında en çok öne çıkan nakliye modları ve mesafelere bağlı sera gazı emisyonlarının yoğunluğudur. IPCC'nin 2007 yılı araştırmasına göre iklim değişikliğine sebep olan ana etmenlerden karbon salınımında tedarik zinciri sektörünün payı yüzde 13.1 civarındadır. Dünya Ekonomik Forumunun 2009 yılı hesaplamalarına göre küresel sera gazının yayılımına tedarik zinciri sektörünün etkisi yüzde 5.5 ya da başka bir ifade ile 2.8 mton'dur. Çin, Hindistan gibi bölgelerde bu oran daha da yukarıdadır. Çin'de taşıma amaçlı kullanılan araç sayısı toplam araç sayısının yüzde 5'inin oluştururken, toplam petrol tüketiminin ise yüzde 30'unu teşkil etmektedir. [Apilioğulları, 2019].

Bir tedarik zincirinin karbon ayak izi ile yüksek ilişkiye sahip olan bu gazların oluşumunda en büyük etken ise imalat ve dağıtım süreçlerinde tüketilen enerji miktarıdır. Ngai ve ark. (2012), gereksiz enerji tüketiminin kontrolü ve azaltılmasını sera gazları oluşumunu azaltmanın ana yollarından biri olarak tanımlamaktadır.

BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TAŞIMACILIK

Bozulabilir ürünlerin tedarik zinciri süreçlerinin planlaması, diğer ürün tiplerine kıyasla çok daha karmaşık karar problemlerini içermektedir. Bozulabilir ürünlerle ilgili ilk kapsamlı inceleme Nahmias (1982) tarafından yapılmıştır. Geleneksel taşıma modları, stoklama opsiyonları vb. faaliyetler bozulabilir ürün taşımacılığında çoğunlukla yetersiz kalmaktadır. Taşımacılık faaliyetlerinde maliyet, mesafe gibi temel faktörlerin yanı sıra son yıllarda literatürde yapılan çalışmalarda kazalar, güvenlik, ekolojik vb. faktörlerin de dikkate alındığı görülmektedir [Göçmen ve Erol, 2018]. Seçilen rotaların ve yapılan taşıma modunun çevresel sonuçlarına göre araştırmacılar sürdürülebilir taşıma sistemleri üzerinde durmaktadır [Lopez-Navarro, 2014]. Bununla birlikte, bozulabilir ürün taşımacılığında önemli olan hız, kalitenin korunması, güvenilirlik gibi noktalar, ele alınan rota seçim problemini daha karmaşık bir hale getirmektedir.

Bozulabilir ürünler, tedarik zinciri boyunca kalitelerini korumak için daha yüksek özen gerektirmektedir. Karayolu taşımacılığında soğutucuların kullanımı, bozulabilir ürünlerin kalitesinin korunmasına yardımcı olmakta ve bunları tüketim için güvende tutmaktadır. Bununla birlikte, bu soğuk tedarik zincirlerinin kullanımı, yüksek enerji tüketimi ve soğutulmuş gaz kaçakları nedeniyle daha yüksek sera gazı emisyonlarına yol açmaktadır. Gıda işleme, soğuk hava deposu ve nakliye, toplam hidroflorokarbon emisyonlarının yaklaşık üçte ikisine katkıda bulunmaktadır [Saif ve Elhedhli, 2016]. Ayrıca, artan nüfus nedeniyle, soğuk zincirdeki enerji tüketiminin önemli ölçüde arttığı tahmin edilmektedir [Adekomaya ve ark., 2016]. Bu endişe, araştırmacıların dikkatini, bozulabilir ürünlerin raf ömrünün sürdürülmesinde enerji tüketiminin etkisini ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kaynakların ve diğer stratejilerin optimum kullanımını anlamaya odaklamasını gerektirir [Vrat ve ark., 2018]. Bozulabilir ürün taşımacılığının tedarik zinciri üzerindeki toplam çevresel etkisi ölçülürken; (1) üreticilerin ve dağıtım merkezlerinin açılışları ile ilişkili çevresel etkiler, (2) ürünlerin dağıtım merkezlerine ve dağıtım merkezlerinden perakendecilere gönderilmesiyle ilgili çevresel etkiler ve (3) dağıtım merkezlerindeki ve imalatçılardaki operasyonel faaliyetler tarafından üretilen değişken çevresel etkiler şeklinde değerlendirilmesi gereklidir.

Literatüre baktığımızda, işletme maliyetleri ve çevresel emisyonları en aza indirmek amacıyla, yüksek bozulabilirlik seviyeleri nedeniyle en temel bozulabilir ürünlerden olan, taze gıdalar için taşıma sistemlerinin tasarlandığı birçok çalışmaya rastlanmaktadır [Bortolini ve ark., 2016;

Daghigh ve ark., 2016]. Camanzi ve ark. (2017) tüm gıda dağıtım sistemini değerlendirmiş ve sera gazı emisyonlarının ekonomik etkisini tahmin etmişlerdir. Singh ve ark. (2017), üçüncü taraf lojistik hizmet sağlayıcılarının soğuk zinciri etkin ve sürdürülebilir hale getirmedeki rolünü vurgulamışlardır.

Bozulabilir ürünlerin, sıcaklık kontrollü taşıyıcılar aracılığıyla küresel olarak dağıtılabilmesi mümkündür. Yapılan çalışmaların birçoğunda, bozulabilir ürünlerin soğutulmasının sera gazı emisyonlarına katkısı tartışılmıştır. Gıda ürünlerini dağıtırken sürdürülebilirliğin uygulanmasının rekabet avantajlarını vurgulayan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır, ancak bu noktada karşılaşılan birtakım engeller de bulunmaktadır. Ghadge ve ark. (2017) yeşil uygulamaların benimsenmesinde en önemli güçlüklerden birinin, bozulabilir ürünleri dağıtırken farklı ulaşım modlarından yararlanılması olduğunu vurgulamaktadır. Menesatti ve ark., (2014) intermodal lojistiğin soğutulmuş ürünlerin raf ömrü üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

SONUÇ

Günümüzde artan küresel rekabet ve müşteri beklentilerindeki değişiklikler nedeniyle, kısa sürede veya uygun olmayan koşullarda kolayca bozulabilecek özelliklerdeki ürünlerin tüketiciye hızlı ve düşük maliyetli olarak sunulmasının yanı sıra, bu süreçte daha önce dikkate alınmamış olan birçok faktörün de göz önünde tutulması gereği ortaya çıkmıştır. Bu faktörler arasında en önemlilerinden biri çevresel sürdürülebilirlik kavramıdır. Farklı tedarik zinciri alternatiflerinin karşılaştırılmasında sürdürülebilirlik seviyesine yönelik olarak sera gazı emisyonları, karbon ayak izi vb. şekillerde tanımlanmış çeşitli göstergeler kullanılmaktadır. Konuyla ilgili bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar bulunmasına rağmen, hem üretici ve tüketicilerin beklentilerini en üst düzeyde karşılamak hem de sürdürülebilir çevre açısından konuyla ilgili kapsamlı ve çok yönlü araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmalardan elde edilecek sonuçlara göre, süreç içinde aktif olan tüm aktörlerin gerekli değişiklikleri yaparak en doğru olanı uygulamaları, toplumun tüm katmanlarına ve doğaya olumlu katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Adekomaya, O., Jamiru, T., Sadiku, R., Huan, Z., 2016. Sustaining the shelf life of fresh food in cold chain - a burden on the environment. *Alex. Eng. J.* 55, 1359-1365.
- [2] Ageron, B., Gunasekaran, A., Spalanzani, A., 2011. Sustainable supply management: an empirical study. *Int. J. Prod. Econ* 140 (1), 168–182.
- [3] Apilioğulları, L., 2019. Kentsel Lojistik ve Sürdürülebilirlik, <https://www.leanofis.com/genelkategori/kentsel-lojistik-ve-surdurulebilirlik.html>
- [4] Bortolini, M., Faccio, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F., 2016. Fresh food sustainable distribution: cost, delivery time and carbon footprint three-objective optimization. *J. Food Eng.* 174, 56-67.
- [5] Brundtland, G.H., 1987. Our common future. Oxford Paperbacks. (A/42/427).
- [6] Camanzi, L., Alikadic, A., Compagnoni, L., Merloni, E., 2017. The impact of greenhouse gas emissions in the EU food chain: a quantitative and economic assessment using an environmentally extended input-output approach. *J. Clean. Prod.* 157, 168-176.
- [7] Carter, C.R., Rogers, D.S., 2008. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38, 360-387.
- [8] Daghigh, R., Jabalameli, M., Amiri, A., Pishvae, M., 2016. A multi-objective location-inventory model for 3PL providers with sustainable considerations under uncertainty. *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 7(4), 615-634.
- [9] Erol, I., Sencer, S., Sari, R., 2011. A new fuzzy multi-criteria framework for measuring sustainability performance of a supply chain. *Ecol.Econ* 70(6), 1088–1100.
- [10] Ghadge, A., Kaklamanou, M., Choudhary, S., Bourlakis, M., 2017. Implementing environmental practices within the Greek dairy supply chain: drivers and barriers for SMEs. *Ind. Manag. Data Syst.* 117(9), 1995-2014.
- [11] Göçmen, E., Erol, R., 2018. The Problem of Sustainable Intermodal Transportation: A Case Study of an International Logistics Company, Turkey. *Sustainability*, 10(11), 4268.

- [12] Lopez-Navarro, M.A., 2014. Environmental factors and intermodal freight transportation: Analysis of the decision bases in the case of Spanish motorways of the sea. *Sustainability*, 6, 1544-1566.
- [13] Menesatti, P., Pallottino, F., De Prisco, N., Laderchi, D.R., 2014. Intermodal vs. conventional logistic of refrigerated products: a case study from Southern to Northern Europe. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 80-87.
- [14] Nahmias, S., 1982. Perishable inventory theory: a review. *Oper. Res.* 30(4), 680-708.
- [15] Ngai, E. W. T., To, C. K., Ching, V. S., Chan, L. K., Lee, M. C., Choi, Y. S., & Chai, P. Y. F. (2012). Development of the conceptual model of energy and utility management in textile processing: A soft systems approach. *International Journal of Production Economics*, 135(2), 607-617.
- [16] Saif, A., Elhedhli, S., 2016. Cold supply chain design with environmental considerations: a simulation-optimization approach. *Eur. J. Oper. Res.* 251, 274-287.
- [17] Seuring, S., Müller, M., 2008. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *J. Clean. Prod.* 16 (15), 1699–1710.
- [18] Singh, R.K., Gunasekaran, A., Kumar, P., 2017. Third party logistics (3PL) selection for cold chain management: a fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS approach. *Ann. Oper. Res.*
- [19] Vrat, P., Gupta, R., Bhatnagar, A., Pathak, D.K., Fulzele, V., 2018. Literature review analytics (LRA) on sustainable cold-chain for perishable food products: research trends and future directions. *OPSEARCH* 55, 601-627.
- [20] Wang, X., Li, D., 2012. A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable food supply chains. *Omega* 40(6), 906–917.
- [21] Wognum, P.M., Bremmers, H., Trienekens, J.H., van der Vorst, J.G.A.J., Bloemhof, J.M., 2011. Systems for sustainability and transparency of food supply chains - current status and challenges. *Adv.Eng.Inform.* 25(1), 65–76.

MÜHENDİSLİK ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR

gece
kitaplığı



/gecekitapligi



/gecekitap



/gecekitapligi

www.gecekitapligi.com



9 786257 938969