

**MÜHENDİSLİK
ALANINDA
ARAŞTIRMA VE
DEĞERLENDİRMELER
-2019 / Haziran**



Kitap Adı	: Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler – 2019 / Haziran
İmtiyaz Sahibi	: Gece Kitaplığı
Genel Yayın Yönetmeni	: Doç. Dr. Atilla ATİK
Kapak&İç Tasarım	: Sevda KIRDAR
Sosyal Medya	: Arzu ÇUHACIOĞLU
Yayına Hazırlama	: Gece Akademi  Dizgi Birimi
Yayıncı Sertifika No	: 15476
Matbaa Sertifika No	: 34559
ISBN	: 978-605-7852-96-0

Editör

Dr. Mahmut TURHAN

(Medel Mühendislik ve Elektronik San.Tic.A.Ş.)

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 Akademi is a subsidiary of Gece Kitaplığı.

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. Gece Akademi, Gece Kitaplığı'nın yan kuruluşudur.

Birinci Basım/First Edition ©Haziran 2019/Ankara/TURKEY ©copyright



Gece Publishing

ABD Adres/ USA Address: 387 Park Avenue South, 5th Floor, New York, 10016, USA

Telefon/Phone: +1 347 355 10 70

Gece Akademi

Türkiye Adres/Turkey Address: Kocatepe Mah. Mithatpaşa Cad. 44/C Çankaya, Ankara, TR

Telefon/Phone: +90 312 431 34 84 - +90 555 888 24 26

web: www.gecekitapligi.com —www.gecekitap.com

e-mail: geceakademi@gmail.com

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELERDE GÜNCEL GELİŞMELER

Süleyman KILIÇ, İlyas KACAR..... 5

BÖLÜM 2

TAHİL BAZLI GIDALAR YOLUYLA MİKOTOKSİN ZEARELENONUN RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Fatma HEPSAÇ..... 29

BÖLÜM 3

NESNELERİN İNTERNETİ VE YENİLİKÇİ SAĞLIK HİZMETİ UYGULAMALARI

Mahir KUTAY, Tuncay ERCAN..... 49

BÖLÜM 4

TEK DIŞ İMPLANT ÜSTÜ KRONLARIN STRES DAĞILIMI: BİR SONLU ELEMANLAR ÇALIŞMASI

Mehmet Sami GULER..... 67

BÖLÜM 5

OFİS ÜRÜNLERİ SATAN BİR E-PERAKENDE SİTESİNİN SATIŞ VE TESLİM PERFORMANSININ ÖZDÜZENLEYİCİ HARİTALAR İLE ANALİZİ

Metin ÖZŞAHİN, Oya H. YÜREGİR..... 81

BÖLÜM 6

ELEKTROFORETİK BİRİKTİRME YÖNTEMİNİN BİYOMEDİKAL MALZEME UYGULAMALARI

Ali İhsan BAHÇEPINAR, İbrahim AYDIN..... 97

BÖLÜM 7

IEEE 802.15.4

DÜŞÜK HIZLI KABLOSUZ KİŞİSEL ALAN AĞLARI

Ali GEZER.....109

BÖLÜM 8

OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE ÇOKLU GERİ-BESLEMELİ YÜKSEK GEÇİREN AKTİF FİLTRE TASARIMI

Burhanettin DURMUŞ, Hasan TEMURTAŞ, Serdar ÖZYÖN.....123

BÖLÜM 9

KURU ÜZÜMLERDE OKRATOKSİN A'NIN (OTA) VARLIĞI

Fatma HEPSAĞI.....149

BÖLÜM 10

AMELİYATHANE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Hande UFAT, Giray GONCAGÜL, Sibel GONCAGÜL.....159

BÖLÜM 11

SİLİKA OPTİK FİBERİN BAĞIL DİRENÇ DEĞİŞİMİNİN BRILLOUIN FREKANS KAYMASI VE GÜÇ DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Abdurrahman GÜNDAY.....171

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELERDE GÜNCEL GELİŞMELER

Süleyman KILIÇ¹ , İlyas KACAR²



¹ Dr. Öğr. Üyesi., Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik -Mimarlık Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, Türkiye.

² Dr. Öğr. Üyesi., Mekatronik Mühendisliği Bölümü, *Mühendislik Fakültesi*, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye.

1. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELERDE TARİHSEL GELİŞİM

1900'lü yılların başlarında araçlar tamamen tahtadan üretilmekteyken zamanla çelikler de kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmelerle beraber içten yanmalı motorlar yerlerini hibrit ve elektrikli araçlara bırakırken, kullanılan malzemelerde de bir o kadar değişim olmuştur. Şekil 1'de geçmişten günümüze üretilen otomobillerden bazı modeller verilmiştir [1, 2]. Artan çevre kirliliği, petrol krizleri vb... nedenlerden dolayı otomotiv sektörü pek çok sınırlamalara maruz kalmış bu nedenle de çok canlı ve kendini sürekli yenileyen bir sektör olmuştur. Bu doğrultuda her geçen gün yeni malzemeler geliştirilmekte ve araçların güvenlik seviyeleri artırılmaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



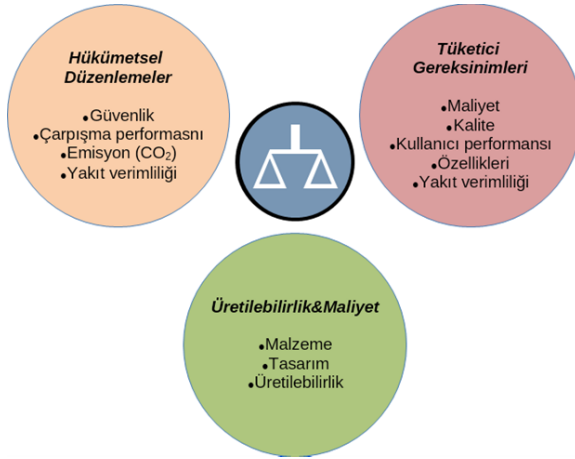
(g)



(h)

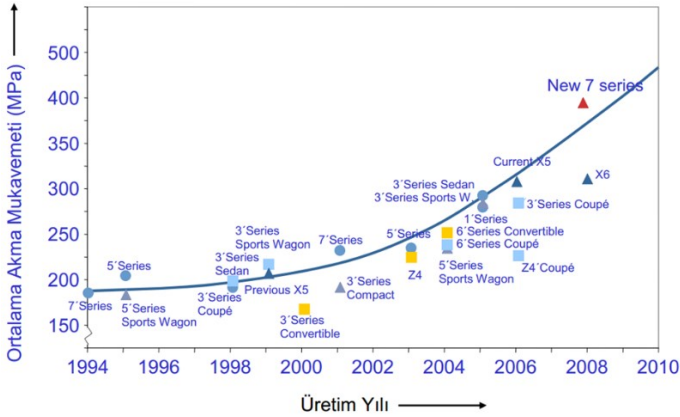
Şekil 1. a) Dünyanın ilk elektrikli arabası (1888), b) Fiat markasının ilk modeli (1899), c) 1915 model Ford model T, d) 1926 model Bugatti Type35, e) 1946 model GAZ-M20 Pobeda, f) 1974 model Citroën DS, g) 2013 model Smart elektrikli araba [1], h) 2018 model Volvo Polestar hibrit araba [2].

Yeni teknolojilerin gelişmesi ve yeni malzemelerin üretilmesiyle birlikte bu sektör daha rekabetçi bir konuma gelmiştir. Dolayısıyla müşteriler tarafından tercih edilebilmek amacıyla, daha kalitelisini daha ucuza yapmak için geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Otomotiv endüstrisinde kullanılacak malzemelerde yüksek enerji sönmüleme, yüksek mukavemet, süneklik, yüksek şekillendirilebilme, güvenlik, korozyon direncinin olması gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Bazı ülkelerde hükümetler otomotiv üreticileri için çeşitli şartlar koymaktadırlar. Şekil 2.'de bir otomobilin üretim sürecindeki kısıtlamalar dengesi verilmiştir [3]. Mühendisler buradaki kısıtlamaları göz önünde bulundurarak gerekli modellemeleri yapmaktadırlar.



Şekil 2. Otomotiv üreticileri için kullanıcı ve kısıtlamalar dengesi [3].

Sürücü ve yolcu güvenliğini geliştirmek ve herhangi bir kaza anındaki şokları en az seviyeye indirmek için çalışmalar bütün otomobil markalarında devam etmektedir. Üretilen araçlar çeşitli çarpışma testlerine tabi tutularak güvenlik seviyeleri müşterilere bildirilmektedir. Bu kapsamda da otomotiv üreticileri daha yüksek mukavemetli çelikler kullanmaktadırlar. Örneğin bir otomobil üreticisinin geçmişten günümüze araçlarında kullanmakta olduğu çelik malzemelerinin dayanımlarını emniyet, konfor gerekçeleri ile artırma stratejisi Şekil 3'de gösterilmiştir [4]. Daha mukavim çelik kullanmak, araçların ağırlıklarının ve yakıt tüketim değerlerinin daha da yükselmesi anlamına gelmektedir. Bunun önüne geçebilmek amacıyla, dayanımı çeliğe muadil ancak yoğunluğu çelikten daha az olan ve çelik yerine kullanılabilecek alternatif malzemeler sürekli geliştirilmektedir.



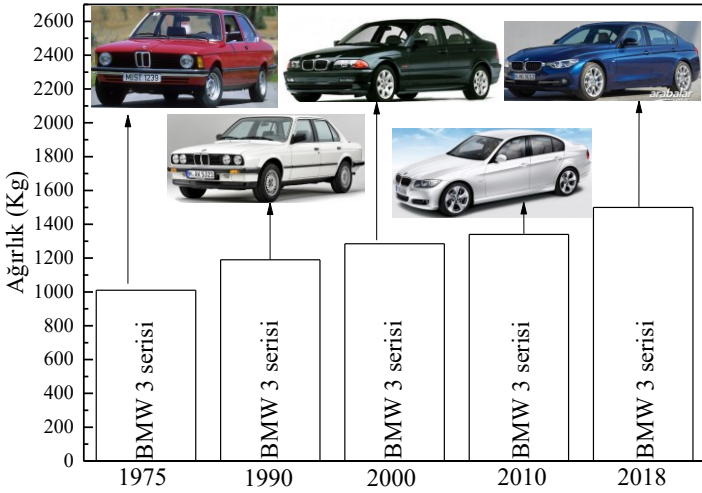
Şekil 3. Otomobillerde kullanılan çelik malzemelerin mukavemet gereksinimlerindeki değişimleri [4].

2. EMİSYON DEĞERLERİ VE YAKIT TÜKETİMİ

2021 yılına gelindiğinde Avrupa'daki yeni araçların emisyon değerinin (CO₂) 95 g/km altında olması istenmektedir. 2007 yılında bu değer ortalaması 158,7 g/km olduğu düşünüldüğünde emisyon miktarının yaklaşık %40 oranında azaltılması gerekmektedir [5].

Diğer taraftansa araçların hız ve gücünü artırmak için yine kullanılacak olan malzemelerin hafif olması gerekmektedir. Kabaca bir aracın ağırlığı %10 oranında azaltıldığında, aracın verimliliğinin %5-8 arasında artacağı belirtilmektedir [6].

Şekil 4'te geçmişten günümüze bir otomobil modelinde ağırlık değişimi verilmiştir. 1975 yılında 1010 kg olan boş ağırlık, 2018 yılında 1525 kg'a çıkmıştır [7].



Şekil 4. Geçmişten günümüze otomobillerin ağırlık değişimi [7].

3. HAFİFLETME TAKTİKLERİ

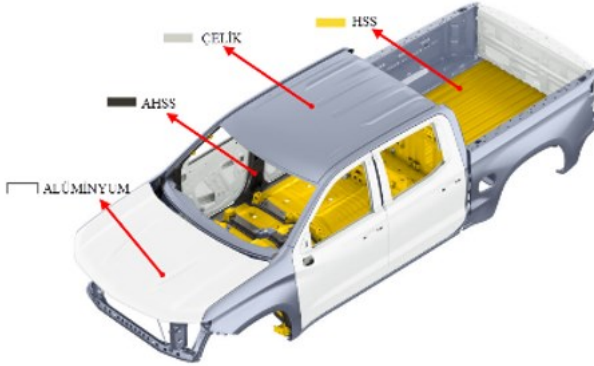
Hafifletme, bütün endüstrilerde olduğu gibi otomotiv endüstrisinde de önemli bir yenilik olmasına karşın en büyük zorlukların başında gelmektedir. Hafifletme çalışmalarında kullanılan/kullanılabilecek malzemeler; magnezyum, alüminyum, titanyum, ileri yüksek mukavemetli çelik, kompozit (karbon fiber) gibi malzemelerdir. Burada tasarım mühendisleri ile üretim mühendisleri beraber çalışmaktadırlar. Çünkü her malzemenin kendine göre sınırlılıkları vardır. Bu çalışmalarda maliyetlerinden dolayı alüminyum, titanyum ve kompozit malzemeler genellikle spor otomobillerde kullanılmaktadır.

1970'lerde yaşanan petrol krizinin ardından çelik endüstrisi, yakıt tüketimini azaltmak ve egzoz emisyonlarını azaltmak için çift fazlı çelikler (ferritik-martensitik) geliştirmeye başlamıştır. Hafif metaller yıllardır motorlu taşıtlarda, uçaklarda, elektronik cihazlarda ve spor ekipmanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomobil imalatında ileri yüksek dayanımlı çelikler (AHSS), metal köpükler, Al, Mg ve Ti alaşımları gibi hafif metaller, seramik ürünler ve polimer kompozitler gibi yeni malzemeler hafifletme stratejisi için oldukça yaygındır.

Ancak otomotiv parçaları, yol koşullarından dolayı dinamik yüklemeye maruz kalmaktadır. Bu nedenle emniyet gereksinimlerinden de taviz vermeksizin bu gibi periyodik yükleme altında çatlamaya/çarpmaya dayanıklı ürünler elde etmek zaruridir.

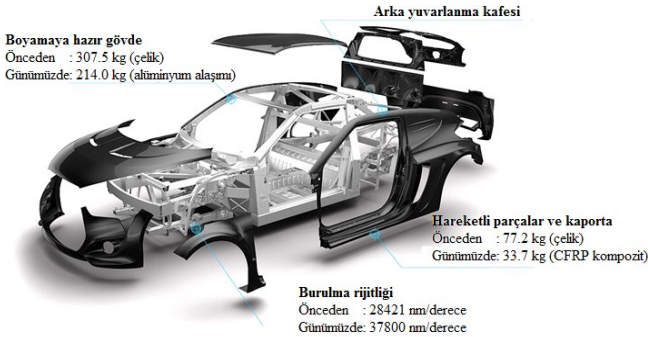
Otomobiller yaklaşık bir asırdır hayatımızda olmasına rağmen son zamanlarda alüminyum, magnezyum ve kompozit malzemelerin kullanılmaya

başlanmasıyla beraber hafifletme sağlanmıştır. Örneğin bir kamyonet araçta alüminyum alaşımı kullanılarak yaklaşık 700 kg'lık bir hafifletme elde edilmiştir (Şekil 5) [8]. Düşük yoğunluklu malzemeler (Al ve Mg alaşımları gibi) kullanıldığı her yapı için, düşük dayanımlarını telafi etmek için daha kalın parçalar kullanmayı gerektirmektedir. Ek olarak, bu gibi düşük yoğunluklu alaşımların soğuk şekillendirilmesinde bazı zorluklar vardır. Bu nedenle, ağırlık azaltımı için her zaman uygun bir strateji değildir.



Şekil 5. Alüminyum alaşımı kullanılarak hafifletme uygulaması [9].

Bir spor model araçta çelik yerine alüminyum kullanarak %30, çelik yerine karbon fiber kompozit malzeme kullanarak %56 lık bir hafifletme sağlandığı görülmüştür (Şekil 6) [10].

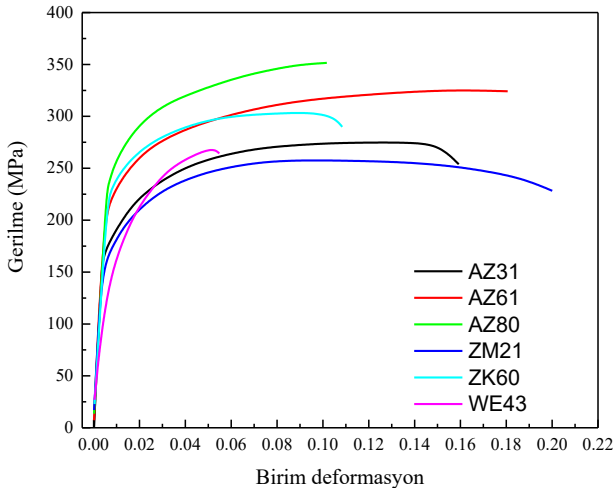


Şekil 6. Spor kullanım için tasarlanan bir araçta elde edilen hafifletme ve rijitlik artımı [10]

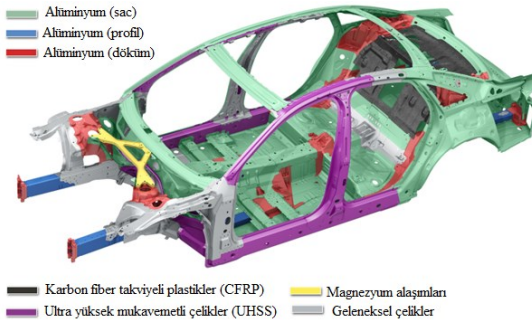
3.1. MAGNEZYUM (MG) ALAŞIMLARI

Magnezyum, düşük yoğunluğu ($1,73 \text{ g/cm}^3$) nedeniyle hafifletme çalışmalarında öne çıkan bir malzemedir. Şekil 7'de farklı magnezyum alaşımlarına ait gerilme-birim deformasyon eğrileri verilmiştir. Ancak pahalı olması, süneklik problemi, birleştirme zorluğu ve korozyon risklerinden dolayı otomotiv endüstrisi için problemli bir malzemedir [8].

Otomobillerde 1930'lardan bu yana magnezyumdan yapılmış yapısal, gövde ve motor parçaları kullanılmaktadır [11]. Motor blokları, dişli kutuları, yağ karterleri, debriyaj sistemleri gibi parçalar magnezyum alaşımının en yaygın uygulamalarıdır. Şasi ve karoseri olarak nadir uygulamaları bulunmaktadır. Şekil 8'de günümüzde kullanılan bir otomobil modelinde, magnezyum alaşımının uygulamalarına bazı örnekler verilmiştir [12].



Şekil 7. Farklı magnezyum alaşımlarının gerilme-birim deformasyon eğrileri [13].

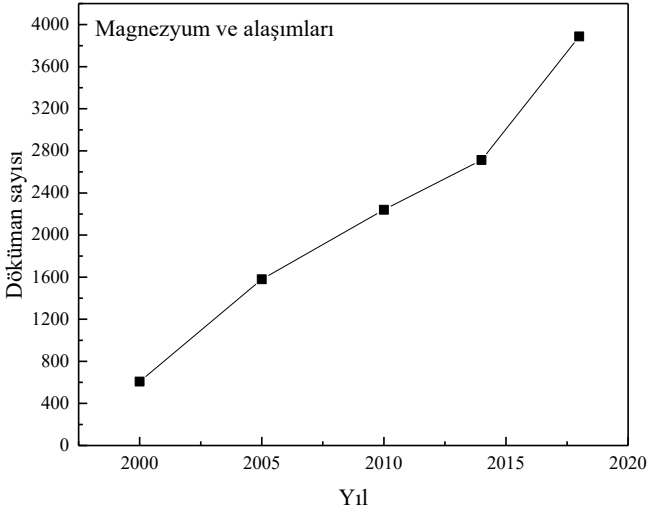


Şekil 8. Hafifletme taktiklerinden magnezyum alaşımlarının kullanımı [12].

Tablo 1.'de otomotiv endüstrisinde kullanılan magnezyum parça sayısı ve bölgeleri verilmiştir [11]. Şekil 9'da ise geçmiş yirmi yıllık süreçteki literatürde yer alan çalışma sayısı verilmiştir. Magnezyuma olan ilginin her geçen gün arttığı net olarak görülmektedir.

Tablo 1. Magnezyum alaşımlarının kullanıldığı bölgeler ve parça sayıları [11].

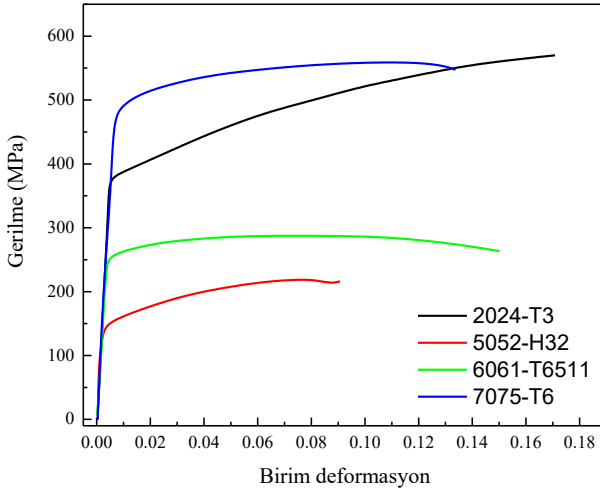
Otomotivde kullanıldığı bölge	Magnezyum parça sayısı
Şasi	15
İç bölüm	96
Dış bölüm	8
Güç aktarım	29



Şekil 9. Magnezyum ve alaşımlarını içeren yayın sayısındaki artma [14].

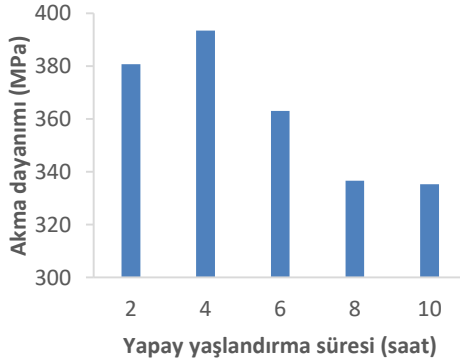
3.2. ALÜMİNYUM (AL) ALAŞIMLARI

Çelik yerine kullanılabilecek bir diğer, yoğunluğu düşük malzeme de alüminyum alaşımlarıdır (yaklaşık yoğunluk: $2,7 \text{ g/cm}^3$). Bir taşıtın birçok bölgesinde kullanılmakta ve yeni kullanım alanları incelenmektedir. Özellikle yaşlandırma ile mukavemet özellikleri değiştirilebilen Al alaşım serileri ilgi odağı halindedir. Şekil 10.'da 2024-T3 [15], 5052-H32 [16], 6061-T6511 [17], 7075-T6 [18] malzemelerine ait gerilme birim deformasyon eğrileri verilmiştir. Çeliğe muadil alabilecek kadar yüksek dayanımlara sahip alüminyum alaşımları mevcuttur.



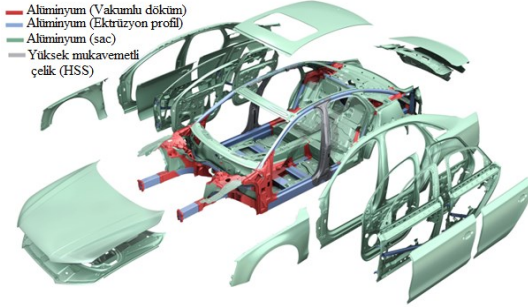
Şekil 10. Farklı alüminyum alaşımlarının gerilme-birim deformasyon eğrileri. 2024-T3 [15], 5052-H32 [16], 6061-T6511 [17], 7075-T6 [18].

Al alaşımları yapay yaşlandırmaya çok müsait olup, uygun yaşlandırma koşullarında yüksek mekanik özellikler elde edilebilmektedir. Şekil 11.'de Al7075 alaşımının arka arkaya iki kez yaşlandırılması neticesinde elde edilen dayanım değerleri verilmiştir.



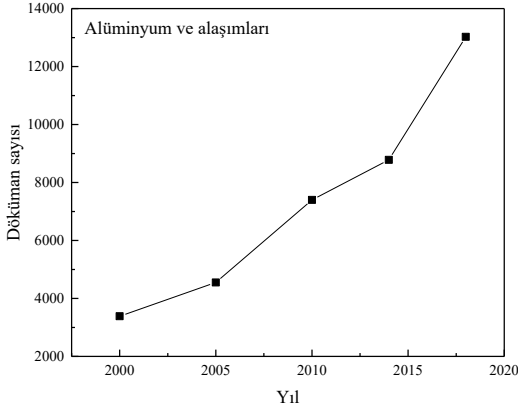
Şekil 11. Farklı yaşlandırma süresinin akma dayanımı üzerine etkisi, Solüsyona alma sıcaklığı: 545 °C, su verme ortamı: su, Yaşlandırma sıcaklığı-1: 185 °C, su verme ortamı : Hava, Yaşlandırma süresi-2: 195 °C, su verme ortamı : Hava.

Bir başka araç modeli için Şekil 12’de alüminyum alaşımlarının tercih edildiği bölgeler gösterilmiştir. Yapı itibariyle %40 oranında çelik kullanılmıştır [12].



Şekil 12. 2018 model Audi A8 aracında alüminyum alaşımı kullanımı [12].

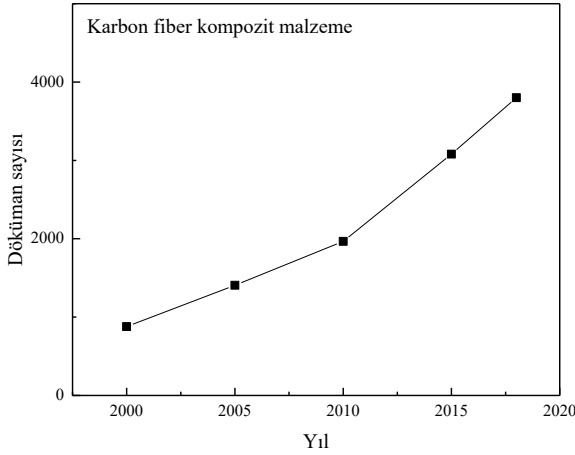
Literatürdeki son yirmi yıllık doküman sayıları incelendiğinde alüminyum ve alaşımlarına olan ilginin arttığı da görülmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. Magnezyum ve alaşımlarını içeren yayın sayısındaki artış [14]

3.3. KOMPOZİT MALZEMELER

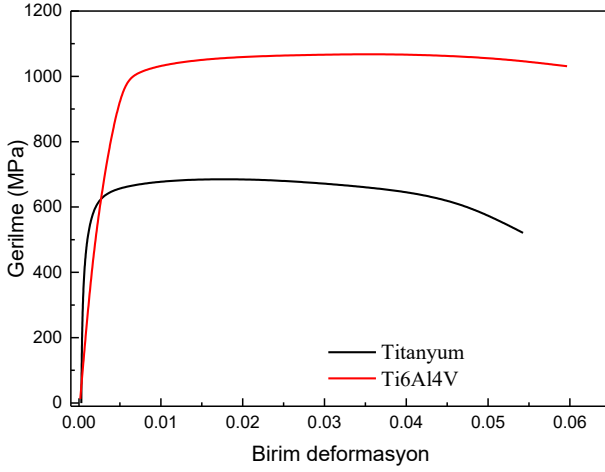
Karbon fiber kompozitlerin yoğunlukları (yaklaşık yoğunluk: $1,8 \text{ g/cm}^3$), çeliğin yoğunluğunun yaklaşık çeyreği olmasına rağmen, çelik’ten dört kat daha dayanıklıdır. Bu nedenle çeşitli kompozit malzemeler üretilmekte ve otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunlar genellikle sağlamlık ve rijitlik gerektiren kapı içleri, ön kaput içi, A, B, C direkleri gibi alanlarda kullanmak için geliştirilmektedir (Şekil 14) [19].



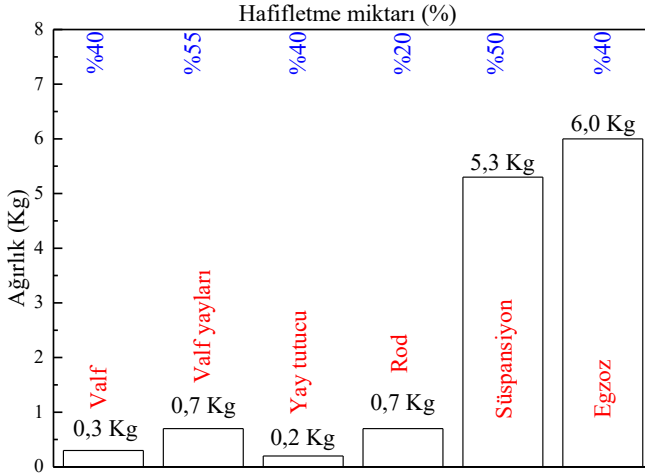
Şekil 16. Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit içeren yayın sayısındaki artış [14].

3.4. TİTANYUM (Ti) ALAŞIMLARI

Otomotiv endüstrisi için oldukça pahalı bir malzemedir. Yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerinden kayıp vermezler. Çeliklere göre düşük yoğunluğundan dolayı (Ti6Al4V alaşımının yaklaşık yoğunluğu $4,4 \text{ g/cm}^3$) hafifletme çalışmalarında tercih edilmektedir. Çelik yerine titanyum alaşımının kullanılmasıyla ortalama %50'lik bir hafifletme elde edilebilmektedir. Örneğin 409 kalite çelikten yapılmış bir egzozun ağırlığı yaklaşık 10 kg gelmekteyken, titanyum alaşımından yapıldığı takdirde 3,2 kg gelmektedir [23]. Fakat yüksek maliyetinden dolayı sadece spor otomobil modellerinde tercih edilmektedir [24]. Diğer otomobil modellerine uygulanabilmesi için daha düşük maliyetli titanyum alaşımlarının geliştirilmesi gereklidir. Şekil 17'de saf titanyum ile titanyum alaşımının (Ti6Al4V) gerilme-birim deformasyon eğrisi verilmiştir [25]. Şekil 18'de titanyum alaşımından yapılmaya aday parçalar ve elde edilecek hafiflik oranları verilmiştir.

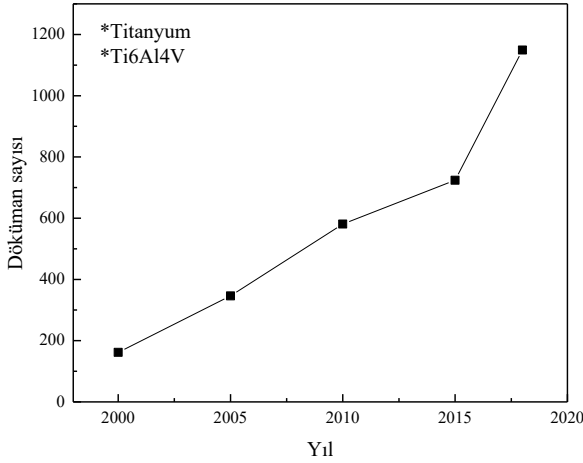


Şekil 17. Saf titanyum ile titanyum alaşımının (Ti6Al4V) gerilme birim deformasyon eğrisi [25].



Şekil 18. Titanyumda yapılmaya aday parçalar ve hafifletme oranları [26].

Literatürde son yirmi yılda yapılan çalışma sayısı Şekil 19'da verilmiştir. Titanyum alaşımında da son zamanlarda artan bir trend vardır.



Şekil 19. Titanyum ve Ti6Al4V içeren yayın sayısındaki artış [14].

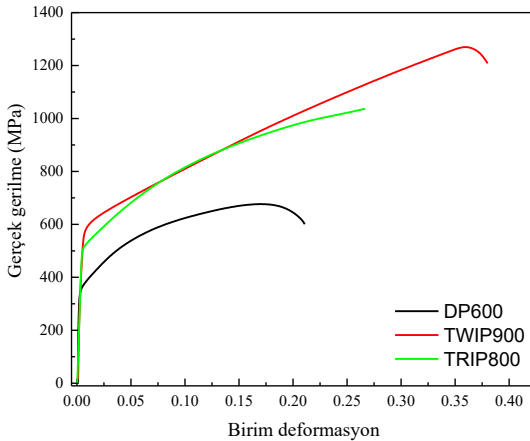
3.5. İLERİ YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLER

İleri Yüksek Mukavemetli Çelikler (AHSS), hafif malzemelerden biri değildir. Ancak yüksek akma dayanımları nedeniyle, kullanılması gereken tabaka kalınlıkları daha az olmakta ve böylece hafif bir araç ağırlığı elde edilmiş olmaktadır. Örneğin 2 mm kalınlıktaki düşük mukavemetli çelik yerine 1 mm kalınlıktaki ileri yüksek mukavemetli çelik kullanılmasıyla hafiflik elde edilmektedir. AHSS ailesindeki çelikler sürekli gelişim halindedir ve Çift Fazlı (DP), Dönüşümle Plastisite (TRIP), İkizlenme ile Plastisite (TWIP), Martensitik (MS veya MART), Kompleks Faz (CP), Ferritik Bainitik (FB) ve Sıcak Deformasyonlu (HF) olarak günümüzde kullanılmaktadır.

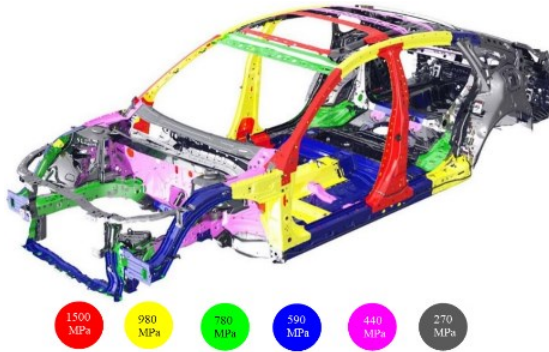
Çift fazlı çelikler, sert martenzit tanelerinin dağıldığı mikro yapılar ile karakterize edilmektedir. Martenzit taneleri, ferritik matrisin yumuşak ve sünek yapısında yüksek mukavemet sağlamaktadır. Sertliği martensit ve karbon içeriği ile ayarlanır. DP çelikleri yüksek sertleşme üssü, düşük UTS / YS oranı (yaklaşık 0,5) ve yüksek çekme dayanımı göstermektedir. Ek olarak, enerji emme yetenekleri nispeten iyidir. TRIP çelikler, iyi bir mukavemet ve süneklik kombinasyonu ile karakterize edilir ve ferrit matris içinde tutulan östenit içeren bir mikroyapıya ve bainit ve martensit gibi sert fazlara sahiptir. CP çelikleri birden fazla faz içermektedirler. Akma noktası minimum 360 MPa ve çekme dayanımı 1130 MPa olabilir. Bunlar DP ve TRIP çelik alaşım elementleriyle aynıdır. Kompleks faz çelikleri DP'den ultra yüksek dayanımlı çeliklere geçiş olarak değerlendirilmektedir. Bu tür çelikler, temel olarak yan çarpma kapı kirişleri, koltuk yapıları ve otomobillerdeki gösterge paneli kirişleri olarak uygulanmaktadır. Bu parçaların enine kesitleri dairesel, kare, oval ve konik olabilmektedir [27].

Bununla birlikte, mikro yapıda karbon veya diğer alaşım elementleri gibi daha yüksek safsızlığa sahip AHSS'nin oluşturulması zordur. Hafif çelikler mükemmel şekillendirilebilirliğe (örneğin derin çekme için) sahip olsa da HSS kuvvet, şekillenebilirlik, enerji emilimi ve dayanıklılık arasında iyi bir dengeye sahiptir ve AHSS yüksek mukavemete sahiptir, şekillendirilebilirlikleri düşüktür. AHSS uygulamalarının önemli bir kısmı olan DP çelikleri, araba çarpışmaları durumunda daha fazla enerji emmek için yapısal bir malzeme olarak seçilebilmektedir. Martensitik çelikler (MS) veya UHSS tipik olarak yanal darbelerdeki deformasyonu en aza indirerek özellikle çarpışma koruması sağlamak için kullanılmaktadır. DP çelikleri, büyük pekleşme davranışlarına sahip olmalarına rağmen, şekillendirme için yeterli dayanıma ve süneklığe sahiptir. Bu özelliklerden dolayı derin çekme işlemlerinde DP çelikleri tercih edilir. Ek olarak, bor alaşımlı çeliğin sıcak derin çekmesi, geleneksel soğuk işlemten daha iyidir.

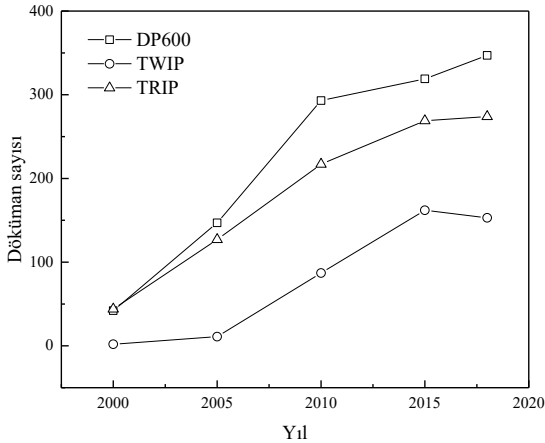
Günümüz itibarıyla birçok otomobilde kullanılmaktadır. Şekil 20'de ileri yüksek mukavemetli çelik sınıfında yer alan DP, TRIP ve TWIP çeliklerinin gerilme birim deformasyon eğrileri verilmiştir [28] [29]. Özellikle DP çeliklerden sonra geliştirilen TRIP ve TWIP çelikleri yüksek mukavemet değerlerine karşın yüksek süneklilikleriyle ilgi odağı haline gelen malzemelerdir. Şekil 21'de 2018 model Honda Accord modelinde kullanılan farklı çelik mukavemetleri ve bölgeleri görülmektedir. Özellikle çarpışma esnasında yolculara zarar gelmemesi amacıyla bu bölgelerde ileri yüksek mukavemetli çelikler kullanılmaktadır. Şekil 22'de literatürde yer alan çalışma sayıları verilmiştir. Görüleceği üzere yayınlar sayıca azdır. Bunun nedeni, TWIP çeliğinin literatür için yeni bir malzeme olmasından dolayıdır.



Şekil 20. DP600, TWIP900 [28] ve TRIP800 [29] çeliklerinin gerilme birim deformasyon eğrileri.



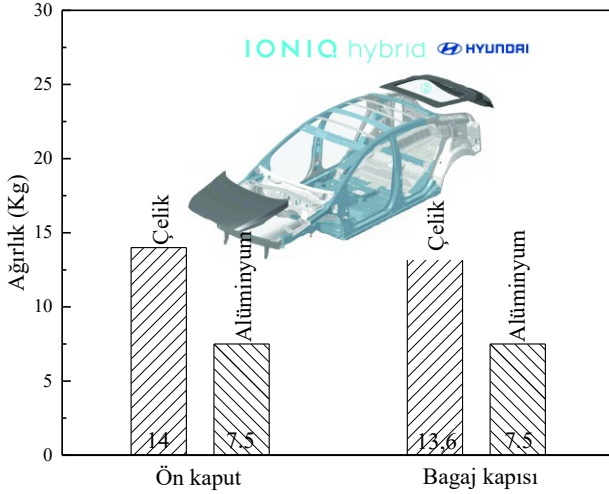
Şekil 21. 2018 model Honda Accord modelinde kullanılan çelik kaliteleri [30].



Şekil 22. DP600, TWIP ve TRIP çeliği ile ilgili yıllara göre yapılan çalışma sayıları [14].

4. HİBRİT ARAÇLARDA MALZEME KULLANIMI

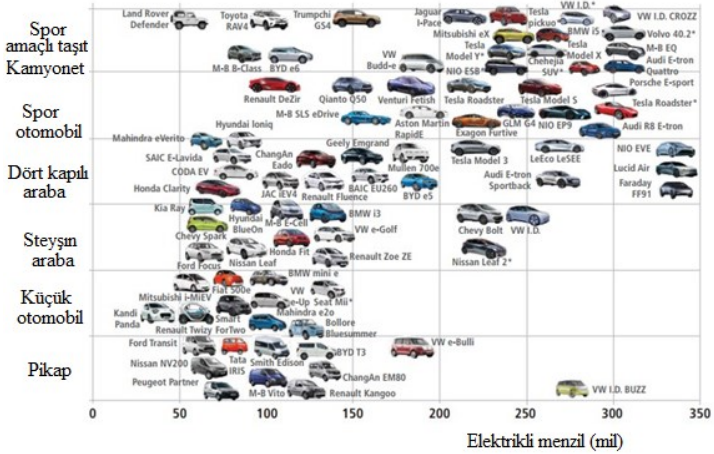
Diğer otomobillerde olduğu gibi hibrit otomobillerde de hafifletme ön plandadır. Çünkü içten yanmalı motorlu araçlara göre, batarya ağırlıkları fazladan vardır. Bundan dolayı bu araçlarda daha fazla hafifletme uygulanması gerekmektedir. Bir hibrit otomobilde, ön kaput ve bagaj kapısında çelik yerine alüminyum alaşımı kullanarak üretildiği ve neticede de %45 oranında (12,6 kg ağırlık kazancı) bir hafifletme sağlandığı görülmüştür (Şekil 23) [31].



Şekil 23. Bir hibrit otomobilde hafifletme uygulaması [31].

5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA MALZEME KULLANIMI

Şekil 24'de farklı kategorilerde üretilen elektrikli araçların menzil mesafeleri verilmiştir. İçten yanmalı motorlarda olduğu gibi elektrikli araçlarda da hafiflik sayesinde menzil mesafesi artırılmaktadır.



Şekil 24. Farklı marka elektrikli araç modellerinde menzil mesafeleri [21].

Şekil 25.'de menzil mesafesi diğer modellere göre biraz daha yüksek olan Tesla Model 3 aracında kullanılan malzeme ve bölgeleri verilmiştir. Bu modelde güvenlik ön planda tutulmuş ve ileri yüksek mukavemetli çelik kullanımı fazla olmuştur. Hafifletmede ise alüminyum tercih edilmiştir.



Şekil 25. Tesla Model 3 aracında kullanılan malzeme dağılımı [30].

6. 2019 MODEL OTOMOBİLLERDE SON DURUM

SUV araçlarda çoğunlukla çelik malzeme kullanıldığı görülmektedir. Şekil 26.'daki boyanmaya hazır gövde modelinde, mavi renkli olan bölümler 980 MPa dayanıma sahip AHSS türünde çelikten yapılmış kısımlardır. Kabin kısmı ise 1200 MPa dayanıma sahip UHSS çelik malzemeden üretilmiştir. Dayanımı yüksek olduğundan dolayı daha ince dolayısıyla da daha hafif araçlar elde edilebilmektedir.



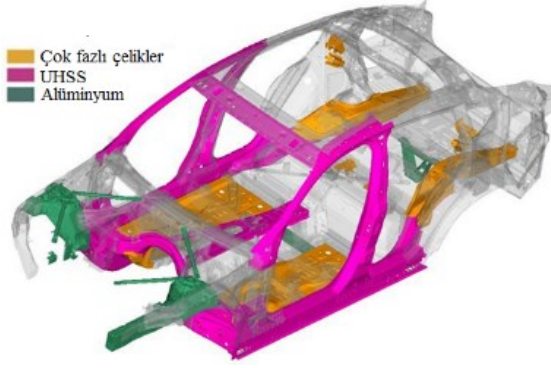
Şekil 26. 2019 model bir SUV araçta kullanılan malzeme türleri [32]

Şekil 27 de bir binek otomobilin spor kullanım amaçlı olan modelinin boyanmaya hazır gövdesi verilmiş olup çelik yanı sıra alüminyum alaşımından oluşan malzemelerin de kullanıldığı göze çarpmaktadır. Boyanmaya hazır gövde üzerinde renkli gösterilen bölgeler geleneksel çelik malzemelerden üretilmeye devam ederken, motor blokları, dişli kutuları, yağ karterleri gibi yapısal parçalarda Al alaşımlarının kullanıldığı bilinmektedir. Şasi ve karoseri olarak uygulamaları daha azdır.



Şekil 27. 2019 model bir binek spor araçta kullanılan malzeme türleri [33]

Şekil 28'deki boyanmaya hazır gövde modeli, bir başka markanın SUV araçlarında uygulamakta oldukları malzeme kullanım stratejilerini göstermektedir. Bu modelinde çoğunlukla çelik ve alüminyum alaşımından oluşan malzemeler kullanılırken, tasarım gereği yüksek dayanım ve darbe kuvvetini sönmüleyici olması gereken bölgelerde ileri yüksek mukavemetli çelik kullanıldığı görülmektedir.



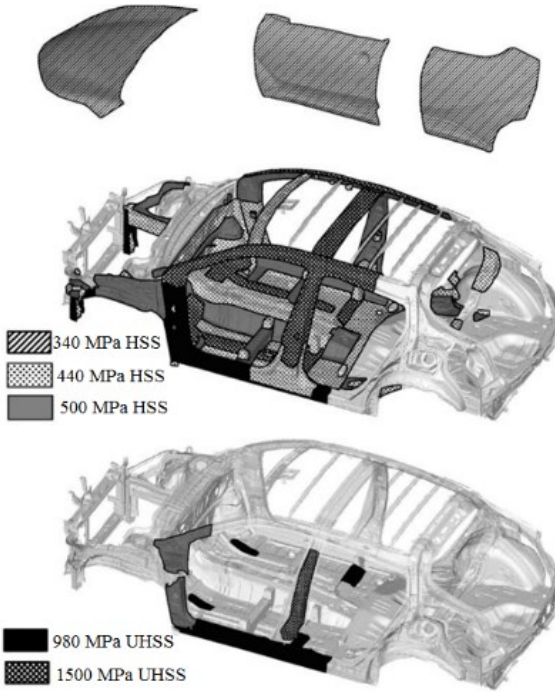
Şekil 28. 2019 model bir SUV araçta kullanılan malzeme türleri [34]

Bir başka SUV aracın boyanmaya hazır gövde modeli Şekil 29 da verilmiş olup, kırmızı renkli parçalar ileri yüksek mukavemetli çelikleri ifade etmektedir. Böylece aracın güvenliğinin oldukça artırılmış olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 29. 2018 model bir SUV araçta kullanılan malzeme türleri [35]

Şekil 30 da başka bir markanın SUV aracındaki malzeme kullanım stratejileri görülmektedir. Farklı kalitelerde çelik kullanıldığı görülmektedir. Darbe kuvvetini sönümleyici bölgelerde 1500 ve 980 MPa'lık çelikler kullanarak güvenliği sağlamayı hedeflemişlerdir. Bu modelde alüminyum kullanımı konusunda herhangi bir bilgiye rastlanılmamıştır.



Şekil 30. 2018 model bir SUV araçta kullanılan malzeme türleri [36]

7. SONUÇLAR

Bu bölümde, geçmişten günümüze kadar otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemeler incelenmiş olup, gelişimleri sunulmuştur.

Her ne kadar yapısal hafiflikleri nedeni ile Al alaşımları Mg alaşımları ve kompozit malzemelerin kullanımı artmış ise de belli sayıda yapısal parçalarda kullanımı ile sınırlı kaldığı görülmüştür. Hâlbuki çelik malzemeler özellikle de SUV modellerde vazgeçilmez bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir. Bu nedenle çelik malzeme türlerinin geliştirilmeye devam ettiği görülmektedir. Bu bağlamda AHSS ve UHSS malzemeler kullanılarak, güvenlik gereksinimlerinden taviz vermeksizin araç ağırlığında hafifleme elde edilebilmektedir. Günümüzde AHSS ve UHSS'nin otomobil gövdesindeki uygulamaları yaygınlaşmış ve gelecekte daha geniş bir kullanım alanı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. <https://en.wikipedia.org>. *History of the automobile*. 2019 31.01.2019].
2. Adams, K. *Polestar 1 coupe: everything you need to know*. 2018 31.01.2019]; Available from: <https://www.carmagazine.co.uk/car-news/first-official-pictures/polestar/polestar-electric-coupe-unveiled-in-pictures/>.
3. Lesch, C., N. Kwiaton, and F.B. Klose, *Advanced High Strength Steels (AHSS) for Automotive Applications– Tailored Properties by Smart Microstructural Adjustments*. steel research international, 2017. **88**(10): p. 1700210.
4. Krupitzer, R., *A Steel Industry Perspective on Advanced High-Strength Steels*. Steel Market Development Institute, 2012.
5. Engineering, A. *Lightweighting*. 2019 24.01.2019]; Available from: <https://www.autoform.com/en/glossary/lightweighting/>.
6. English, T. *What Materials are Used to Lightweight Cars?* 2019 [cited 28.01.2019; Available from: <http://www.manufacturinglounge.com/materials-used-lightweight-cars/>.
7. <http://www.arabalar.com.tr>. *Ağırlık değişimi*. 2019 01.02.2019].
8. Mueller, M. *Why Lightweight Materials Matter*. 2019 24.01.2019]; Available from: <https://www.energy.gov/eere/articles/timeline-path-lightweight-materials-cars-and-trucks>.
9. Huetter, J. *2019 Chevy Silverado cuts up to 450 lbs. with aluminum closures, higher-strength steel*. 2019 24.01.2019]; Available from: <https://www.repairerdrivennews.com/2018/01/16/2019-chevy-silverado-cuts-up-to-450-lbs-with-aluminum-closures-higher-strength-steel/>.
10. S., B. *Lightweighting lies heavy on automotive industry*. 2017 31.01.2019]; Available from: <http://autocomponentsindia.com/lightweighting-lies-heavy-on-automotive-industry/>.
11. Kardys, G. *Magnesium Car Parts: A Far Reach for Manufacturers?* 2017 29.01.2019]; Available from: <https://insights.globalspec.com/article/7243/magnesium-car-parts-a-far-reach-for-manufacturers-part-1>.
12. <https://www.greencarcongress.com>. *Audi puts steel back in the new A8*. 2019 25.01.2019].
13. Farè, S., et al., *Evaluation of material properties and design requirements for biodegradable magnesium stents*. Matéria (Rio de Janeiro), 2010. **15**(2): p. 96-103.
14. <https://www.scopus.com>. *Döküman sayısı*. 2019 30.01.2019].
15. Samaei, M., M. Zehsaz, and T. Chakherlou, *Experimental and numerical study of fatigue crack growth of aluminum alloy 2024-T3 single lap simple bolted and hybrid (adhesive/bolted) joints*. Engineering Failure Analysis, 2016. **59**: p. 253-268.
16. Ozturk, F., S. Toros, and S. Kilic, *Evaluation of tensile properties of 5052 type aluminum-magnesium alloy at warm temperatures*. Archives of materials Science and Engineering, 2008. **34**(2): p. 95-98.
17. Li, G., G. Shi, and N.C. Bellinger, *FE Simulation of Stresses in Hole Vicinity Induced by Interference-Fit Pin*.
18. Bałon, P., et al., *Implementation of high speed machining in thin-walled aircraft integral elements*. Open Engineering. **8**(1): p. 162-169.
19. Pelletier, J. *Dow Automotive Systems Introduces VORAFUSE Epoxy Intermediates for Structural Composites*. 2019 28.01.2019]; Available from: <https://lightweightingworld.com/dow-automotive-systems-introduces-vorafuse-epoxy-intermediates-for-structural-composites/>.
20. Kardys, G. *How Composite Materials Challenge the Automotive Manufacturing Industry*. 2017 29.01.2019]; Available from:

- <https://insights.globalspec.com/article/7242/how-composite-materials-challenge-the-automotive-manufacturing-industry-part-1-cost-barriers>.
21. Busco, G.D. *Carbon Fiber Growth in the Automotive Market*. 2018 29.01.2019]; Available from: <https://www.reinforcer.com/en/category/detail/Carbon-Fiber-Growth-in-the-Automotive-Market/57/323/323>.
 22. Yasar, A., İ. Kacar, and A. Keskin, *Tensile and Fatigue Behavior of Glass Fiber-Reinforced (MAT-8)/Polyester Automotive Composite*. Arabian Journal for Science and Engineering, 2014. **39**(4): p. 3191-3197.
 23. <https://www.azom.com>. *Titanium for Automotive Applications*. 2001 30.01.2019].
 24. Admin. *Applications of Titanium Alloy in Automobile Industry*. 2018 30.01.2019]; Available from: <http://www.refractorymetal.org>.
 25. Sing, S.L., W.Y. Yeong, and F.E. Wiria, *Selective laser melting of titanium alloy with 50 wt% tantalum: Microstructure and mechanical properties*. Journal of Alloys and Compounds, 2016. **660**: p. 461-470.
 26. Yamashita, Y., et al. *Application and Future of Titanium for Automotive Industry*. 2002 30.01.2019]; Available from: <http://www.nssmc.com/en/tech/report/nsc/pdf/8503.pdf>.
 27. Öztürk, F., İ. Kacar, and F. Jarrar, *Defects and Remedies in Stamping of Advanced High Strength Steels*. Vol. 1. 2014. 68-74.
 28. Kılıç, S. and F. Öztürk, *Ticari TWIP900 ve DP600 yüksek mukavemetli çeliklerin otomotiv endüstrisindeki performanslarının karşılaştırılması*. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2016. **31**(3).
 29. Toros, S., A. Polat, and F. Öztürk, *Formability and springback characterization of TRIP800 advanced high strength steel*. Materials & Design, 2012. **41**: p. 298-305.
 30. Smith, M. *Honda Accord Hybrid Body Structure*. 2019 25.01.2019]; Available from: <http://www.boronextrication.com>.
 31. Huetter, J. *2017 Hyundai Ioniq: Hybrid*. 2019 25.01.2019]; Available from: <https://www.repairerdrivennews.com/2016/04/06/2017-hyundai-ioniq-hybrid-plug-in-hybrid-electric-car-uses-hs-steel-aluminum-475-ft-adhesives/>.
 32. Smith, M. *2019 Infiniti QX50 Body Structure*. 2019 25.01.2019]; Available from: <http://www.boronextrication.com/2018/07/18/2019-infiniti-qx50-body-structure/>.
 33. Smith, M. *2018 Mazda MX-5 Body Structure and Airbags*. 2019 25.01.2019]; Available from: <http://www.boronextrication.com/2018/01/30/2018-mazda-mx-5-body-structure-and-airbags/>.
 34. Smith, M. *2019 BMW X4 Body Structure*. 2019 25.01.2019]; Available from: <http://www.boronextrication.com/2018/08/06/2019-bmw-x4-body-structure/>.
 35. Smith, M. *2018 Kia Rio Body Structure*. 2019 25.01.2019]; Available from: <http://www.boronextrication.com/2018/01/04/2018-kia-rio-body-structure/>.
 36. Smith, M. *2018 Toyota C-HR Body Structure*. 2019 25.01.2019]; Available from: <http://www.boronextrication.com/2017/08/21/2018-toyota-c-hr-body-structure/>.

TAHİL BAZLI GIDALAR YOLUYLA MİKOTOKSİN ZEARALENONUN RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Fatma HEPSAĞ¹



¹ Dr. Öğr. Üyesi., Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler
Yüksekokulu, Kadirli, Osmaniye.

GİRİŞ

Mantarlar doğada her yerde bulunan mikroorganizmalar olarak kabul edilir, sporları gezegenimizdeki ülkeler ve kıtalar arasında seyahat edebilir. Mikotoksinler, mantar suşlarının fizyolojik, genetik ve biyokimyasal gibi iç parametrelerine, nem ve sıcaklık gibi dış iklim faktörlerine bağlıdır. Mikotoksin üreten *Aspergillus* türlerinin, subtropikal ve tropik bölgelerde, dünyanın ılıman bölgelerinde olduğundan daha yaygın olduğu bildirilmiştir (Wilson vd., 2002: 12).

Mikotoksinler, esas olarak *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium* cinsinin üyeleri olan farklı filamentli mantarlar tarafından üretilen düşük moleküler ağırlıklı (700 Da altında) toksik sekonder metabolitlerdir (Frisvad ve Samson, 1991: 457). Mikotoksinler; tahıllarda, kuru meyvelerde, kuruyemişlerde, bebek mamalarında, kahve, meyve suyunda süt ve şarapta çok önemlidir. Tanımlanan 400 sekonder metabolit arasında aflatoksinler, okratoksinler, zearalenon, fumonisinler, deoksivalenen, patulin ve Tn-2/HT-2 toksinler bulunur. Mikotoksinler, insan ve hayvanda DNA, RNA, protein sentezi ve bir çok metabolik reaksiyonları etkileyerek, gıda ve yem tedarik güvenliği için sürekli bir risk oluşturur (Bennett ve Klich, 2003: 499; Wagacha ve Muthomi, 2008: 8; Turner vd., 2009: 1955; Zinedine ve Mañes, 2009: 337; Rodrigues vd., 2011: 169; Amirahmadi vd., 2017: 3; Lee ve Ryu, 2017: 7036). Mikotoksinler çeşitli tarımsal ürünlerde, hasattan önce tarladan, hasattan sonra, işleme, paketlenme, dağıtım ve depolama sırasında üretilirler (Creppy vd., 2002: 23). Ayrıca mikotoksinlerin çoğu, ısıtma, ayırma, kesme, temizleme, öğütme, pişirme, kızartma, konserve, ekstrüzyon gibi birçok işleme sırasında stabil halde kalan bileşiklerdir (Bullerman ve Bianchini, 2007: 144).

Bazı mikotoksinler, akut toksisite örneğin östrojenik etkinin yanı sıra hayvanlarda ve insanlarda hepatoksite, teratojenite, kanserojenik, nörotoksite, immünoşüpresif etkiler, üreme ve gelişimsel toksite dahil olmak üzere toksikolojik etkiler ile ilişkilidir. ZEA, bir fitoöstrojen, bir mikorojen ve doğal olarak oluşan östrojenlere yapısal benzerliği nedeniyle östrojenik, pembe renk gösteren bir mikotoksindir (Bennett ve Klich, 2003: 501; Jestoi, 2008: 23; Berthiller vd., 2013: 169). Mikotoksinler ayrıca olumsuz ekonomik etkileri ile de bilinmektedir. Gerçekten de, FAO'ya göre dünya nüfusu için üretilen tüm gıda maddelerinin üçte biri tarladan tüketiciye kaybedilmekte ve her yıl yaklaşık 1,3 milyar tona ulaşmaktadır; ve dünyadaki mahsullerin % 25'inin küf veya mantar gelişimi nedeniyle zarar görmüş olduğu bildirilmektedir (FAO, 2012).

Gramineae familyasına ait yenilebilir tahıllar, yüksek besin değeri ve lezzet kabiliyeti nedeniyle uygarlık döneminden öncede ekilmiştir. Tahıllar, insan ve hayvan için önde gelen yiyecek ve yem kaynaklarından biri olarak sınıflandırılabilir (Acevedo vd., 2016: 60; Duarte vd., 2010: 191). Yüzyıllardır buğday ve pirinç insan tüketimi için temel gıdalar olarak yaygın şekilde kullanılmasına rağmen, arpa, çavdar, yulaf ve sorgum gibi çoğu tahıllar hayvan yemi olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, tahıl tanecikleri,

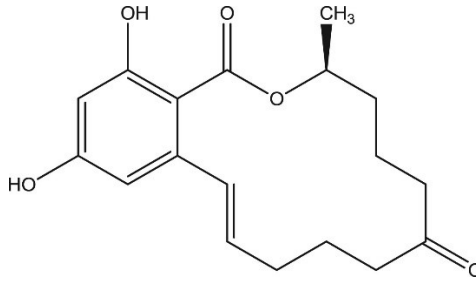
potansiyel bir doğal toksin olarak mikotoksinlerin, özellikle ZEA varlığı nedeniyle insan ve hayvan için önemli bir risk kaynağı olabilir. Çünkü in vitro ve in vivo yüksek östrojenik aktiviteye sahip bir mikotoksin olan ZEA, yaygın olarak mısır, buğday, arpa, sorgum, çavdar ve diğer tahıllarda tespit edilen yaygın bir gıda kirleticidir. (Paris vd., 2014: 1182; Pinotti vd., 2016: 24; Heshmati vd., 2017: 203; Majeed vd., 2017: 3; Mousavi Khaneghah vd., 2017: 80; Oteiza vd., 2017: 202).

ZEA'nın, Kanada ve ABD'deki ana kirlenme kaynağı mısırdır. Avrupa ülkelerinde buğday, çavdar ve yulaftır. α -Zearalenol (ZOL) (Frazzoli vd., 2017: 7) ve β -ZOL en önemli ZEA türevleridir. A-ZOL ve östrojen reseptörleri arasındaki güçlü yakınlık nedeniyle, a-ZOL'un östrojenik potansiyeli, ZEA ve p-ZOL'ninkinden daha yüksektir. ZEA kontaminasyonu tipik olarak deoksinivalenol (DON) ile ve daha az sıklıkla AFT'lerde ortaya çıkar. Dahası, ZEA sadece yüksek sıcaklıkların varlığında çıkarılır (Zinedine vd., 2006: 870).

Tüketici sağlığının korunması açısından bakıldığında, mikotoksinlerin diyet alımına ilişkin insan ve hayvan sağlığı risklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesinin, insanlarda ve hayvanlarda potansiyel olarak olumsuz etkilere neden olan tüm mikotoksin biçimlerini kapsamı esastır (Rychlik vd., 2014: 199; EFSA 2014: 12).

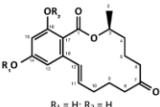
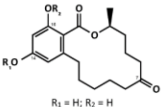
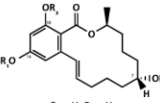
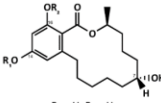
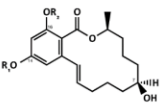
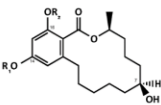
Bu nedenle dünya, gıda ve yemde mikotoksinlerin varlığı nedeniyle insan ve hayvan sağlığı için gıda güvenliği konusundaki ihmal edilemeyecek bir risk teşkil edebileceği endişesine tanıklık etmektedir (Tola ve Kebede, 2016: 2). Sonuç olarak, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) ve Alman Federal Risk Değerlendirme Enstitüsü (BfR) de dahil olmak üzere ulusal ve uluslararası kuruluşlar, olası sağlık risklerinin nasıl değerlendirileceğine ilişkin stratejiler geliştirerek gıda güvenliğinde ortaya çıkan bu konuyu ele alma çabaları başlatmışlardır. Mikotoksinlerin varlığından dolayı, oluşum ve toksisite verilerinin düşük olması gıda güvenliğinde mikotoksinlerin kritik bir değerlendirmesi için, ZEA ve bunun modifiye edilmiş formları, kilit önem taşıyan örnek mikotoksinler olarak seçilmiştir.

ZEA, temel olarak tarladaki tahıl bitkilerinde yetişen, ancak kötü depolama koşullarında da az miktarda da olsa, birçok *Fusarium* türü tarafından üretilen Şekil 1'de gösterildiği gibi bir resorsiklik asit lakton mikotoksindir.



Şekil 1. Zearalenon kimyasal yapısı (Metzler, 2010: 387)

ZEA düşük akut toksisite sergilerken, ZEA'a uzun süre maruz kalmanın güçlü östrojenik aktivitesinden dolayı sağlık riski oluşturduğu düşünülmektedir. Diyet maruz tahminleri ZEA'in mevcut maruziyet seviyeleri, EFSA için tolere edilebilir günlük alım miktarı (TDI) 0.25 µg/kg vücut ağırlığı düşündürmektedir (EFSA, 2011a: 22). Ayrıca, yakın zamanda yapılan çalışmalar mantar veya bitkiler tarafından mantar enfeksiyonu sırasında üretilen ve rutin olarak taranmamış veya mevzuat tarafından düzenlenmemiş olan ZEA metabolitlerinin, çeşitli tahıl bazlı gıda maddelerinde de bulunabileceğini veya yiyecekleri işleme sırasında oluşabileceğini göstermektedir (Brodehl vd., 2014: 126). Bugüne kadar, ZEA'in (14,16-dihidroksi-3-metil-3,4,5,6,7,8,9,10-oktahidro-1H-2-benzoksasiklotetradecin-1,7-dion) 30'dan fazla modifiye edilmiş formları Şekil 2'de görüldüğü gibi gıdalarda ve yemlerde bu mikotoksinlerin varlığı ile ilgili sağlık risklerine potansiyel katkısını vurgulamaktadır (Drzymala vd., 2015: 10; EFSA 2017a).

Structure	Mycotoxin	Substituent		Structure	Mycotoxin	Substituent	
		R ₁	R ₂			R ₁	R ₂
 $R_1 = H; R_2 = H$ Zearalenone (ZEN)	Zearalenone-14-O- β -glucoside (ZEN14Glc)	-glc	-H	 $R_1 = H; R_2 = H$ Zearalanone (ZAN)	Zearalanone-14-O- β -glucoside (ZAN14Glc)	-glc	-H
	Zearalenone-16-O- β -glucoside (ZEN16Glc)	-H	-glc		Zearalanone-14-sulfate (ZAN14Sulf)	-sulf	-H
	Zearalenone-14-sulfate (ZEN14Sulf)	-sulf	-H		Zearalanone-14-sulfate (ZAN14Sulf)	-sulf	-H
	Zearalenone-14-glucuronide (ZEN14GlcA)	-glcA	-H		Zearalanone-14-sulfate (ZAN14Sulf)	-sulf	-H
 $R_1 = H; R_2 = H$ α-Zearalenol (α-ZEL)	α -Zearalenol-14-O- β -glucoside (α -ZEL14Glc)	-glc	-H	 $R_1 = H; R_2 = H$ α-Zearalanol (α-ZAL)	α -Zearalanol-14-O- β -glucoside (α -ZAL14Glc)	-glc	-H
	α -Zearalenol-14-sulfate (α -ZEL14Sulf)	-sulf	-H		α -Zearalanol-14-sulfate (α -ZAL14Sulf)	-sulf	-H
	α -Zearalenol-14-glucuronide (α -ZEL14GlcA)	glcA	-H		α -Zearalanol-14-sulfate (α -ZAL14Sulf)	-sulf	-H
 $R_1 = H; R_2 = H$ β-Zearalenol (β-ZEL)	β -Zearalenol-14-O- β -glucoside (β -ZEL14Glc)	-glc	-H	 $R_1 = H; R_2 = H$ β-Zearalanol (β-ZAL)	β -Zearalanol-14-O- β -glucoside (β -ZAL14Glc)	-glc	-H
	β -Zearalenol-14-sulfate (β -ZEL14Sulf)	-sulf	-H		β -Zearalanol-14-sulfate (β -ZAL14Sulf)	-sulf	-H
	β -Zearalenol-14-glucuronide (β -ZEL14GlcA)	-glcA	-H		β -Zearalanol-14-sulfate (β -ZAL14Sulf)	-sulf	-H

Şekil 2. Zearalenonun kimyasal yapıları ve modifiye edilmiş formları (Metzler, 2010: 389)

Bu sistematik kaynak taramasıyla, tarımsal ürün çeşitliliği üzerindeki ZEA oluşumu ve düzenlemeler hakkında kapsamlı bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Dünyada ve Türkiye'de satılan tahıl ve yemlerdeki ZEA bulaşma seviyeleri, daha ileri çalışmalar için basit, aranabilir bir veri sağlamak amacıyla tartışılmıştır.

1.Tahıl bazlı ürünlerde ZEA oluşumunu etkileyen faktörler

Tahıl tanelerindeki ZEA seviyesini ve yaygınlığını etkileyen bazı faktörler, işlenmiş ürünlerin içeriklerini de etkileyebilir. Başta buğday olmak üzere farklı bitkilerden elde edilen un, özellikle Avrupa ve Amerika kültürlerinde, dünya genelinde çeşitli gıda ürünlerinde kullanılan temel bileşendir. Un kullanılarak üretilen farklı ürün türleri, birçok farklı üretim tekniğini ve ayrıca uzmanlaşmış ve karmaşık gıda teknolojisini dikkate alan çok çeşitli bileşenlerin dahil edilmesini içerir. Ekmek, makarna, kraker ve benzer yiyecekler arasında bisküvi gibi elde edilen tahıl bazlı ürünler, un kullanılarak yapılır. Öğütme aşamasının son ürünü olarak un, düşük su aktivitesinden dolayı mikrobiyolojik olarak güvenli bir ürün olarak kabul edilir. Bununla birlikte, ZEA kontaminasyonu başka ürünlere de aktarılabilir. Bu bağlamda, kirlenmiş un, tahıl bazlı ürünlerin kirlenmesinin ana kaynaklarından biridir. Her ne kadar kuru unun mevcut suyu, mantarların büyümesi ve mikotoksin üretimi için gerekli miktarların altında olsa da, küf büyümesini ve bunun sonucu olarak ZEA üretimini arttırmak için nem içeriğindeki yaklaşık % 1 veya % 2'lik bir artış yeterli olabilir (Cabañas vd., 2008: 645 ; Duarte vd., 2010: 189). Bu nedenle,

unun İyi Üretim Uygulaması (GMP) ile depolanması ve işlenmesi, mikotoksinlerin bulaşma riskini azaltabilir.

Farklı ülkelerdeki başlıca gıda ürünlerinden biri olan ekmek, 6000 yılı aşkın bir süredir günlük beslenme düzeninde önemli bir rol oynamaktadır. Gerekli enerji ve mineralleri sağlayabilse de, diğer bozulabilir ürünler gibi, küflenerek kirlenmeye karşı hassastır. Bu bakımdan ekmeklerde ZEA değerlendirilmesi ilgi konusudur (deKoe ve Juodeikiene, 2012: 617). Araştırmalarda ekmekte ZEA konsantrasyonlarının farklı olmasında, kullanılan un, tarifler (diğer bileşenlerin kontaminasyonundan kaynaklanan formülasyonlar), depolama ve taşıma sırasında kirlenme ile ilişkili olabilir.

Bu bağlamda, göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli husus, nihai ürünlerdeki ZEA konsantrasyonunu değiştirebilen (genellikle azaltabilen) yağ, şeker ve su gibi diğer bileşenlerin seyreltme faktörüdür (Scudamore vd., 2009: 1193). Ayrıca, un yüzdesine (gerçek kirlenme kaynağı olarak) veya un türüne (tamamen veya beyaz) bağlı olarak farklı tahıl bazlı ürünlerde kullanılır; bu nedenle, ZEA seviyelerinin aralarındaki karşılaştırılması zordur (Schollenberger vd., 2002: 87; Weidenbörner vd., 2000: 105). Buna rağmen, tahıl kalitesi unun ZEA seviyesinde önemli rol oynar. Ayrıca, tahıl bazlı mısır gevreklerine eklenen çikolata (ayrıca kakao kaynağı) gibi diğer maddeler de bu karşılaştırmayı etkileyebilir.

Tahıl bazlı ürünler, farklı mikotoksinlerin varlığı nedeniyle, ZEA'nin sadece nispeten düşük konsantrasyonları ile kirlenmiş olsalar da, olası sinerjik toksik etkilerinden dolayı büyük bir endişe söz konusudur (Amirahmadi vd., 2017: 189; Nunes vd., 2015: 345; Heshmati vd., 2017: 205; Ibáñez-Vea vd., 2011: 37). Bu nedenle, ZEA'nin eşzamanlı analizleri çok önemlidir.

2.Tahıllara uygulanan işlemlerin zearalenon üzerine etkileri

Gıdalar, çeşitli fiziksel, kimyasal veya mikrobiyolojik işlemlere tabii tutulabilirler. ZEA nispeten ısıya dayanıklıdır ve değişik maddelerin oluşumu için reaksiyona katılmadığında, orta derecede ısı işlem sırasında büyük ölçüde bozunması beklenemez. Ryu ve diğerlerine göre (2002: 206), kimyasal işlemlerin (amonyaklaşma gibi), fiziksel işlemlerin (ısı işlem, eleme, öğütme, ekstrüzyonla pişirme) ve biyolojik işlemlerin (fermantasyonun) ZEA üzerindeki etkilerini incelemiştir. ZEA'nın UV ışığına maruz bırakılması da bozulmasına neden olur (Murata vd., 2008: 1109). Pişirme ve kızartma, molekülün ısı kararlılığı göz önüne alındığında, çoğu zaman ZEA'yı önemli ölçüde azaltabilir. Tahılların elenmesi veya kabuklarının çıkarılması ZEA içeriğini azaltabilir ve ZEA kuru öğütülmüş mısır veya buğdayın kepek ve tohum fraksiyonlarında daha yaygın görülür. ZEA seviyesi, Fusarium culmorum enfeksiyonlu buğdayda diğerlerine göre daha yüksektir (Neuhof vd., 2008: 7569). Değirmencililiğin etkileri konusundaki ilk çalışmalar, JECFA raporunda özetlenmiştir (JECFA, 2000: 395) ve daha yakın zamanda, İngiltere'deki ticari değirmenlerde mısır değirmenlemesinin etkisi bildirilmiştir (Scudamore ve Patel, 2009a: 746).

Geleneksel bir taş öğütme işleminin, buğdayın modern bir öğütme işlemine uygulanmasının karşılaştırılması, taş öğütme işleminin ZEA'nın azaltılmasında daha etkili olduğunu göstermiştir (Palpacelli vd., 2007: 511). Islak mısır öğütme işlemi sırasında ZEA'nın artmasına sebep olmaktadır, yulafın işlenmesi sırasında topaklanma ZEA azalmasına neden olmuştur (Scudamore vd., 2007: 1376). ZEA, yüksek sıcaklık, yüksek basınç uygulamasıyla azaltılabilir (Cetin ve Bullerman, 2005: 6559; Ryu vd., 1999: 1483). Doğal olarak kontamine olmuş buğday ununun 140-180 ° C'de ekstrüzyonu, ZEA'da çok az değişiklikle sonuçlanmıştır (Scudamore vd., 2008b: 332). Fermantasyonun ZEA'yı azalttığı da vurgulanmıştır (Mokoena vd., 2005: 2096; Ryu vd., 2002: 2008).

Khaneghah ve diğerlerine göre (2018: 615) ekmek, bisküvi ve makarnanın işlenmesi aşamasında, uygulanan işlemlerin bir çok mikotoksin ve ZEA üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma için 1983'ten 2017'ye kadar toplanan toplam yirmi sekiz makale incelemişler. Frezeleme ve fermentasyon ZEN konsantrasyonunda azalmaya, ısı işlem (pişirme) ekmek içindeki ZEN konsantrasyonunun artmasına bisküvi ve makarnada azalmasına neden olmuştur.

3. Tahıllar ve ürünlerinde yapılan ZEA ile ilgili çalışmalar

Mısır, yüksek kirlenme oranına sahip, bit tahıl tanesidir. Hırvatistan'da 12 adet mısır örneğinde yapılan ZEA taramasında on iki adet örnekte ortalama 317 µg/kg (Šegvić Klarić vd., 2008: 428), bir diğer çalışmada 49 örneğin kırkbirinde ortalama 3.84 µg/kg (Domijan vd., 2005: 678) kirlenme tespit edilmiştir. Binder ve diğerlerine göre (2007: 268) 93 mısır örneğin ellidokuzunda ortalama 279 µg/kg, yine farklı 312 adet mısır örneğinin yüz yirmi sekizinde ortalama 463 µg/kg, Wiśniewska-Dmytrow ve diğerlerine göre (2004: 118) 42 örneğin sekizinde ortalama 391.5 µg/kg, Thongrussamee ve diğerlerine göre (2008: 1003) 38 örneğin dokuzunda ortalama 340 µg/kg, Njobeh ve diğerlerine göre (2010: 52) 40 örneğin otuz birinde ortalama 69 µg/kg oranında ZEA tespit etmişlerdir. İran'da 19 adet mısır içeren abur cubur örneklerinin on dokuzunda da ortalama 832 µg/kg, 19 mısır unu örneğinin on ikisinde ortalama 377 µg/kg kirlenme tespit edilmiştir (Oveisi vd., 2005: 445). Sekiyama ve diğerlerine göre (2005: 291) Brezilya'da 24 örneğin birinde ortalama 448 µg/kg, Zinedine ve diğerlerine göre (2006: 871) Fas'ta 20 örneğin üçünde ortalama 14 µg/kg oranında ZEA bulunmuştur. Mısır ve ürünlerindeki ortalama kirlenme seviyeleri, 10-500 µg/kg civarında olması mısırdaki ZEA kontaminasyonun yüksek olma eğiliminde olduğunu göstergesidir.

Ayrıca, bazı önceki araştırmalara dayanarak, tahıl bazlı ürünlerde, özellikle kahvaltılık tahıl ürünlerinde ZEA sıklığının, halk sağlığı için her zaman ciddi bir tehdit olduğu düşünülmüştür. Bu bağlamda Iqbal ve diğerlerine göre (2014a:), kahvaltılık tahıllarda ZEA varlığını araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar, ZEN kahvaltılı gevreği ürünlerinin % 53'ünde bulunduğunu göstermiştir. ZEN için belirlenen limitleri göz önüne alarak, numunelerin % 8 AB maksimum seviyelerini aşmıştır. Benzer

çalışmalara göz atacak olursak, Makun ve diğerlerine göre (2011:) pirinç örnekleri üzerinde yaptığı çalışmada maksimum tespit seviyesini 8.8 kg/kg olarak bulmuştur. Cano-Sancho ve diğerlerine göre (2012:), mısır aparatifleri üzerinde yaptığı çalışmada 22.8 kg/kg, Ibáñez-Vea ve diğerlerine göre (2011:), dilimlenmiş ekmek ve buğday bazlı kahvaltılık örneklerinde sırasıyla maksimum tespit seviyesi 20.9 kg/kg, 38.6 olarak bulmuştur (AB maksimum izin verilen seviye 50 kg kg-1). Cano-Sancho ve diğerlerine göre (2012:), tahıl bazlı bebek mamalarında 5.4 kg/kg olarak tespit etmiştir (AB maksimum izin verilen seviye 20 kg kg-1).

48 adet buğday örneğinin kırk dördünde ortalama 197 µg/kg (Binder vd., 2007: 280), 48 adet örneğin yirmi dokuzunda 3.8 µg/kg (Muthomi vd., 2008: 1217), 54 adet örneğin birinde 10 µg/kg (Manova ve Mladenova, 2009: 363), 7 adet örneğin birinde ortalama 27 µg/kg (Cunha ve Fernandes, 2010: 603) oranında kirlenme görülmüştür. Rasmussen ve diğerlerine göre (2003: 400) Danimarka'da 30 adet buğday unu örneğinin onunda 1 µg/kg, Cunha ve Fernandes'e, (2010: 604) göre Portekiz'se 7 adet buğday unu örneğinin birinde ortalama 27 µg/kg, Musaiger ve diğerlerine göre (2008: 855) Bahreyn'de 4 adet buğday ezmesi örneğinin dördünde ortalama 0.3 µg/kg, Roscoe ve diğerlerine göre (2008: 350) Kanada'da 29 adet buğdaydan üretilmiş kahvaltılık gevreklerinin on birinde 2.4 µg/kg seviyesinde ZEA tespit etmişlerdir. Stanciu ve diğerlerine göre (2018: 340) 181 adet Romen buğday örneklerinde hiç birisinde ZEA tespit edilememiştir. Hu ve diğerlerine göre (2017: 592) Shaanxi eyaletindeki 2013-2016 yıllarında toplanan hububat, bitkisel yağ, likör ve bebek maması gibi gıdalarda zearalenonun kontaminasyonunu araştırmıştır. 1193 örnekte ZEA tespit edilmiş olup toplam tespit oranı ortalama değeri 13.5- 17.27 µg/kg'dır. Buğday unu, pirinç, darı, bira ve unlu mamullerde tespit edilen ZEA seviyesi oldukça düşük oranda bulunmuştur. Rai ve diğerlerine göre (2018: 3128) Hindistan'da Buğday, pirinç, mısır ve yulaftan oluşan 117 tahıl örneğinden 70'inde (% 84) ZEA kontaminasyonu açısından pozitif bulunmuştur, bunlardan 24'ünde (% 33) örnekler Avrupa Birliği tarafından yüksek oranda izin verilen sınırları aşmıştır. Wang ve diğerlerine göre (2015: 225) Çin'de 2009 yılında 44 ilden rastgele seçilmiş kümelenmiş rastgele örnekleme yöntemi ile 107 süpermarketin veya çiftçi pazarının örnekleme alanlarından toplam 292 buğday unu ve 347 mısır bazlı ürün toplamıştır. ZEN'in buğday unu ve mısır bazlı ürünlerdeki tespit aralıkları sırasıyla % 53.4 (156/292) ve % 87.6 (304/347) bulunmuştur. Ayrıca örneklerden 54'ünde ZEN için sonuç negative bulunmuştur. Lee ve diğerlerine göre (2015: 1075) Güney Kore'de 2010-2012 yılları arasında hasat edilen 482 adet pirinç örnekleri, yüksek performanslı sıvı kromatografisi ve floresans tespiti ile zearalenon içeriği açısından analiz edilmiştir. Tespit edilemeyen sonuçların oranı beyaz pirinçte >% 80, kahverengi pirinçte <% 60'ın altında olduğu için, beyaz pirinç için zearalenon seviyelerinin alt sınır olarak 0.52 µg/kg ve üst olarak 2.54 µg/kg olduğu rapor edilmiştir. Kahverengi pirinç için ortalama sınır değeri 13.9 µg/kg bulunmuştur. Luzardo ve diğerlerine göre (2016: 75) Kanarya Adaları, (İspanya) Gofio denilen kızartılmış, tost gevreği unundan yapılmış geleneksel ürünlerde bir çok mikotoksin ve

ZEA'nın varlığını araştırmışlardır. Numunelerin % 83'ünün en az bir mikotoksin ile kirlenmiş ve analiz edilen numunelerin % 69.2'sinde mikotoksinlerin birlikte ortaya çıktığını göstermiştir. Ortalama ZEA 9.9 µg/kg civarında tespit edilmiş olup, belirlenmiş sınırların altında bulunmuştur.

Haubruge ve diğerlerine göre (2003: 285) Tibette 25 adet arpa örneğinin yirmi dördünde ortalama 161 µg/kg, Perkowski ve diğerlerine göre (2003: 334) 15 adet örneğin tümünde ortalama 63 µg/kg, Binder ve diğerlerine göre (2007: 266) 81 adet örneğin dokuzunda ortalama 221 µg/kg, Manova ve Mladenova'na (2009: 363) göre 18 adet örneğin ikisinde ortalama 29 µg/kg, Šegvić Klarić ve diğerlerine göre (2009: 430) Hırvatistan'da 2 adet yulaf örneğin birinde 18 µg/kg, Edwards ve diğerlerine göre (2009: 1065) İngiltere'de 296 adet yulaf örneğin on beşinde 29 µg/kg, Mankevičiene ve diğerlerine göre (2011: 971) Litvanya'da 7 adet yulaf örneğin dördünde 16.3 µg/kg, Musaiger ve diğerlerine göre (2008: 856) Bahreyn'de 5 adet örneğin birinde 0.3 µg/kg, Roscoe ve diğerlerine göre (2008: 351) Kanada'da 27 adet arpadan elde edilmiş kahraltılık gevreklerinin üçünde 4.7 µg/kg seviyesinde ZEA tespit etmişlerdir. Mankevičiene ve diğerlerine göre (2011: 974) Litvanya'da 10 adet çavdar örneğinin birinde ortalama 28.8 µg/kg, Rasmussen ve diğerlerine göre (2003: 401) Danimarka'da 30 adet çavdar unu örneğinin ikisinde 2.0 µg/kg oranında ZEA tespit etmişlerdir. Wiśniewska-Dmytrow ve diğerlerine göre (2004: 121) Polonya'da 22 adet çavdar örneğinin hiç birisinde ZEA kirliliği bulunmamıştır. Yulaf ve çavdar, göreceli olarak düşük düzeyde kirlenme göstermektedir. Bu veriler, mısır ve buğdayın ZEA kontaminasyonu ile ilgili olarak en çok endişe verici ürünler olarak görüldüğü konusundaki önceki gözlemleri desteklemektedir (Kuiper-Goodman, 1987: 255). Soya fasulyesi ve pirinçle ilgili daha az sayıda çalışma yapılmıştır. Soya fasulyesi ve soya küspesi çalışmaları, bunu potansiyel bir maruziyet kaynağı olarak açıkça ortaya koymaktadır; Avrupa ve Akdeniz bölgesindeki iki çalışma mütevazı kirlilik seviyelerini öne sürerken, Asya ve Okyanusya'daki tek çalışma ZEA ile ortalama kontaminasyona sahipti. Saladino ve diğerlerine göre (2017: 699) Valencia'da (İspanya) bulunan farklı süpermarketlerden 80 somun ekmeginde bir çok mikotoksin ve ZEA varlığını incelemiştir. Örneklerin % 96'sının 27-905 g/kg ZEA ile kirlendiğini ve kontamine örneklerin % 30'ununda AB tarafından uygulanan sınırların üstünde olduğu tespit edilmiştir.

Mikotoksinlerin oluşumu, Türkiye'de yakından izlenen önemli bir sorundur. Çünkü pamuk, fındık bir çok ürünü ihraç ederken, soya fasulyesi, tahıl bazlı atırtırmalıkları ve kaba hayvan yemleri gibi bir çok tahıl, tahıl bazlı ve yemleri ithal etmektedir. Buğday, Türkiye'deki ana üründür. Buğdayın çoğunluğu, un ve makarna olarak insan tüketimi için kullanılır; çünkü iyi bir vitamin, karbonhidrat ve protein kaynağı olarak kabul edilir; kalan buğday ise yem olarak kullanılır. Ekmek, genel popülasyonda temel bir gıda maddesidir. Dünya Sağlık Örgütü 250 g/gün alım yapılmasını önerir, oysa Türkiye'de 550 g/gün. Arpa yaygın olarak, özellikle yem tahılı olarak kullanılır. Pirinç, Türk mutfağının en yaygın yemeklerinden biridir. Mısır,

yem ve mısır nişastası endüstrileri tarafından kullanılır. Mısırdaki küf büyümesinin, gündüz maksimum sıcaklık ve toprağın düşük nem içeriği de dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olduğu gösterilmiştir. Makul düzeyde ulaşılabilir (ALARA) ilkesi ve maksimum kalıntı limiti (MRL) uygulamaları, Türk düzenlemelerinde de yansıtılmaktadır (USTR, 2018: 17).

AB mevzuatına göre, gıda ürünlerindeki ZEA için maksimum kalıntı seviyeleri, işlenmiş tahıl bazlı bebek maması 20 µg/kg, ekmek, bisküvi, kahvaltılık tahıllar 50 µg/kg, İşlenmiş ve işlenmemiş tahıllar 75-350 µg/kg'dır (EC, 2006: 201). Türkiye için maksimum kalıntı seviyeleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo1. Zearalenon maksimum limit değerleri (µg/kg)

Gıda Maddesi	Maksimum limit (µg/kg)
ZEARALENON	
İşlenmemiş tahıllar (mısır hariç)	100
İşlenmemiş mısır (ıslak öğütülecekler hariç) ⁽¹³⁾	350
Doğrudan tüketime sunulan tahıllar, doğrudan insan tüketimine sunulan tahıl unları, kepek (son ürün olarak) ve embriyo	75
Rafine mısır yağı	400
Ekmek (hafif fırıncılık ürünleri dahil), pastacılık ürünleri, bisküvi, tahıl çerezleri, kahvaltılık tahıllar (mısır çerezleri ve mısır bazlı kahvaltılık tahıllar hariç)	50
Doğrudan insan tüketimine sunulan mısır, mısır çerezleri ve mısır bazlı kahvaltılık tahıllar	100
Bebek ve küçük çocuk ek gıdaları ⁽³⁾	20
500 mikrondan büyük eleklerden geçirilerek üretilen mısırın kabaca öğütülmesinden elde edilen küçük parçalar ve mısır irmiği (GTİP 1103 13) veya mısırdan elde edilen pelleter (GTİP 1103 20 40) ve doğrudan insan tüketimine sunulmayan 500 mikrondan büyük eleklerden geçirilerek üretilen mısır veya mısır ürünlerinin kabartılması veya kavrulması suretiyle elde edilen gıda maddeleri (GTİP 1904 10 10)	200
500 mikrondan küçük ve eşit eleklerden geçirilerek üretilen mısır unu (GTİP 1102 20) ve doğrudan insan tüketimine sunulmayan 500 mikrondan küçük ve eşit eleklerden geçirilerek üretilen mısır veya mısır ürünlerinin kabartılması veya kavrulması suretiyle elde edilen gıda maddeleri (GTİP 1904 10 10)	300

Bu bulgular, ZEN'in tahıl bazlı kahvaltılarda ortak mikotoksinler olduğunu, ZEN seviyelerinin kontrolünde sürekli izlemenin ve tahıl tabanlı kahvaltının kalitesinin iyileştirilmesinin güvenliğin sağlanması için gerekli olduğunu göstermiştir.

4.Zearalenona maruz kalma ve risk değerlendirmeleri

Kanada'da yapılan bir çalışmada, 0.19 g/gün (12-19 yaş arasındaki erkekler) ve 0.47 g/gün (1-4 yaş arası çocuklar) ZEA aldıkları tahmin

edilmiştir (Kuiper-Goodman vd., 1987). Birkaç yıl sonra Kanadalı yetişkinler için ortalama alımın, 60 kg yetişkinler için < 0.98 g/gün, 6-9 aylık bebekler için tahmini ortalama alım < 0.52 µg/gün olduğu tahmin edilmiştir (JECFA, 2000: 394). JECFA raporu (2000), Ericson ve Alexander (1998: 13) tarafından Danimarka 0.48 g/gün, İsveç 1.2 µg/gün, Finlandiya 1.3 µg/gün ve Norveç 1.5 µg/gün rapor edilen bilgileri özetlemektedir. Ayrıca, JECFA raporunun yazarları Amerika Birleşik Devletleri'nde iki popülasyon için ZEA alım tahminleri geliştirmiştir. 2 yaş ve üstü (< 1.7 µg/gün) ve 20 ila 39 yaşındaki erkekler (< 2.1 g/gün). SCOOP raporu (SCOOP, 2003), dokuz Avrupa ülkesinden gelen veriler hakkında zengin bilgiler içermektedir. Yetişkinler için ortalama alımlar gün başına 0.8 ng/kg/gün (İtalya) ile 29 ng/kg/gün (Fransız erkekler) arasında değişmektedir. Çocuklar için ortalama alım miktarı 6.5 ng/kg/gün (Almanya, bebekler) ile 54.8 ng/kg/gün (İngiltere'de 4-6 yaş) arasındaydı. ZEA ile kontamine olmuş püre tüketen Norveçli bebeklerin en kötü senaryosu, günde 1.508 ng/kg/gün aldığı tahminidir. Yetişkinler için, alım tahminleri 1.9 ng/kg/gün (İtalyan yetişkinler) ile 116.3 ng/kg/gün (Avusturya yetişkinleri) arasında değişmektedir. SCOOP raporunda yapılan önemli bir eksik nokta, risk değerlendirmesinin sadece ortalama alımlara dayandırılması, en fazla ZEA içerebilecek gıdaları yüksek miktarda tüketen alt popülasyonları ihmal ettiği için, riskin hafife alınmasına yol açmasıdır. Avrupa'daki bir diğer çalışmada, 245 adet numunelerden sadece 5'i ZEA tespit limitini aşmıştır. Yetişkinlerin (15 yaş ve üstü) ortalama maruziyeti 33 ng/kg/gün, çocuklar için (3-14 yaş) 66 ng/kg/gün olarak belirlenmiştir. Yetişkinler için en yüksek maruziyetin ekmeklerden % 28.7'si, çocuklar için ise kahvaltılık tahıllardan % 23.1'i olduğu tahmin edilmektedir. Vejetaryenler için tahmini ortalama ZEA alımı $50-200$ ng/k/gün olarak belirlenmiştir (Leblanc vd., 2005: 660). İsviçre için toplam 225 gıda örneği (un, mısır, ekmek, makarna) incelenmiş ve % 13'ünün $2-22.6$ µg/kg bulunmuştur. İsviçreli nüfus için ortalama alımın (<0.02 µg/kg/gün) olduğu tahmin edilmiştir (Rhyn vd., Zoller, 2003: 320). Belçika'daki buğday esaslı organik ve geleneksel gıda maddelerinin tüketicileri için günlük alımlar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. İşleme ya da yiyecek hazırlama sırasında kirletici seviyelerinin değişmediği varsayılmıştır. ZEA için, organik gıda ürünlerinden tahmini alımı, 0.03 g/gün, geleneksel gıda tüketicileri için 0.06 µg/gün (Harcz vd., 2007: 715). Son zamanlarda ZEA ile kontamine olmuş mahsullerin neden olduğu insanlar üzerindeki sağlık etkilerini tahmin etmek için bir IPRA modeli kullanılmıştır. Model, toksin maruziyetini belirleyen dağılımı, bireylerin toksik etkilere karşı duyarlılığını belirleyen bir dağılım ile bütünleştirdi ve Danimarka ve Çek Cumhuriyeti'nden gelen olay verilerini kullandı. Modelin sonucu, incelenen senaryolarda ZEA'nın insan sağlığı üzerinde bir etkisi olmadığını belirten bireysel maruz kalma marjıydı (Muri vd., 2009: 2968).

Fildişi Sahili'nde mısır, pirinç ve yerfıstığı örneklerinde yapılan bir araştırmada, ZEA'nın oluşumu ve alımı tahmin edilmiştir (Sangare-Tigori vd., 2006: 1002). Numunenelerin hepsi ZEA için pozitif olup, seviye 200 µg/kg kadar tespit edilmiştir. Haftalık, 500 g mısır, 3 kg pirinç ve 150 g fıstık tüketimine dayanarak, ZEA'nın haftalık alımının, 60 kg'lık bir vücut ağırlığı

olduğu varsayılarak günlük alım miktarının 93.5 µg/gün olduğu tahmin edilmiştir. Bu maruz kalma seviyesi, genellikle 2 µg/gün'ün altında olduğu hesaplanan Avrupa, Kanada, ABD ve Yeni Zelanda için yapılan tahminlerden önemli ölçüde daha yüksektir.

ZEA konusunda, güvenli ya da tolere edilebilir alımların birkaç tahmini geliştirilmiştir. ZEA için hormonal olmayan etki seviyesine dayanan geçici bir tolere edilebilir günlük alımın (t-TDI) erken tahmini 0.10 µg/kg/gün iken, tümörijenite verisine dayanan sanal güvenli doz 0.05 µg/kg/gün olarak hesaplanmıştır (Kuiper-Goodman vd., 1987: 257). Birkaç yıl sonra, iki ek tahmin yayınlandı. Bunlardan biri, Gıda Bilim Komitesi tarafından, ZEA alımının (t-TDI) 0.2 µg/kg/gün olduğu hesaplanmıştır (SCF, 2000). Diğeri, JECFA tarafından ZEA için geçici maksimum tolere edilebilir günlük alım (PMTDI) 0.5 µg/kg/gün hesaplanmıştır (JECFA, 2000: 417). Hem JECFA tarafından oluşturulan PMTDI hem de Gıda Bilimsel Komitesi tarafından oluşturulan t-TDI değeri, 15 günlük bir östrojenik etki çalışmasından elde edilen 40 g/kg/gün gözlenmeyen etki düzeyine (NOEL) dayanıyordu. Böylece, güvenli maruz kalma kümesinin 0.05-0.5 µg/kg/gün aralığında olduğu tahmin edilmektedir. Yetişkinler için, 60 kg vücut ağırlığı varsayarsak, bu 3-30 µg/gün'e eşittir. Yukarıda özetlenen alım tahminleri, tahmin yapılan nüfusların çoğunun ortalama 2.2 µg/gün altında kaldığını göstermektedir. Bu, ortalama olarak, bu yetişkin popülasyonların, ZEA'ya karşı olumsuz etkilere yol açabilecek maruziyetlerden korunmakta olduğunu göstermektedir. Kirlenmeye daha duyarlı yiyecek türlerini tüketenler muhtemelen daha yüksek risklere sahip olacaklardır ve bu yiyecekler zaman zaman ortalamanın önemli ölçüde üzerinde olan ZEA konsantrasyonlarına sahip olabilir. Ayrıca, yetişkinlerden daha az değişken bir diyetle sahip olan çocuklar, nispeten daha büyük miktarlarda ZEA'ya maruz kalabilir. Büyüme evrelerine bağlı olarak farklı bir duyarlılık düzeyi ile birlikte, çocukların ZEA için daha duyarlı bir nüfus olduğunu göstermektedir.

Un, ekmek, bisküvi, kahvaltı gevrekleri ve makarna dahil oluşan 174 adet buğday bazlı örneklerin 77'sinde (% 89) ZEA kontaminasyonu açısından pozitif bulunmuştur, bunlardan 32'ünde (% 44) örnekler Avrupa Birliği tarafından yüksek oranda analiz edildiğinde önerilen izin verilen sınırları aşmıştır. Tahıllarda ZEA kontaminasyonunun kantitatif tahminine ve günlük tüketim değerlerine dayanarak, ZEA'nın olası günlük alımının, Avrupa Gıda tarafından öngörülen tolere edilebilir günlük alım miktarından, sırasıyla, pirinç ve buğday numunelerinde sırasıyla 16.9 ve 7.9 kat daha yüksek olduğu bulundu. ZEA'nın yüksek seviyelerde bulunması, Türkiye'de buğday ve pirinç gibi temel gıdalar olduğu için Türk nüfusu için daha yüksek maruz kalma riski olduğunu göstermektedir.

Ergenlik gelişiminde ZEA ve α-ZAL dahil olmak üzere östrojenik mikotoksinlere maruz kalmanın olası rolü uzun zamandır ilgi konusudur ve yakın zamanda gözden geçirilmiştir (Massart ve Saggese, 2010: 372). Çocuklara yönelik sağlık risklerinin daha fazla değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Şerif vd., 2009: 219)

SONUÇ

Gıdaların en önemli bozulma faktörlerinden biri küflerdir. Bu nedenle, aroma, lezzet, görünüm ve dokusal yapının ve ayrıca küflerin toksik sekonder metabolitleri olan ZEA ve diğer mikotoksinlerin olumsuz etkilerinden dolayı küflerin varlığını hızlıca belirlemek önemlidir. Dünyadaki tarımsal ürünlerin yüzde yirmi beşi doğrudan veya dolaylı olarak ZEA'dan etkilenmektedir. Bu sistematik inceleme ile, ülkemizde ve dünyada tahıl bazlı ürünlerde ZEA varlığı ve konsantrasyonunu değerlendirme yapılmıştır. Tahıl bazlı ürünlerdeki ZEA ve diğer mikotoksinlerin oluşmasını azaltmada devlete ve sanayilere daha fazla yardımcı olabilecek modeller geliştirmek, bununla birlikte, sorun hakkında artan farkındalık, toksik diyet kirleticilerin yol açtığı risklerin daha iyi tanımlanmasına yol açacaktır.

KAYNAKLAR

1. WILSON, D.M., MUBATANHEMA, W., JURJEVIC, Z. (2002), Biology and ecology of mycotoxigenic *Aspergillus* species as related to economic and health concerns, *Adv. Exp. Med. Biol.* 504,3-17.
2. FRISVAD, J.C., SAMSON, R.A. (1991), Mycotoxins produced by species of *Penicillium* and *Aspergillus* occurring in cereals. In: Chelkowski J (ed) *Cereal grain: mycotoxins, fungi and quality in drying and storage*, Elsevier, New York, 441-476.
3. BENNETT, J.W., KLICH, M. (2003), Mycotoxins, *Clinical Microbiology Reviews*, 16, 497-516.
4. WAGACHA, J.M., MUTHOMI, J.W. (2008), Mycotoxin problem in Africa: current status, implications to food safety and health and possible management strategies, *Int. J. Food Microbiol.*, 124, 1-12.
5. TURNER, P., SYLLA, A., GONG, Y., DIALLO, M., SUTCLIFFE, A., HALL, A., WILD, C. (2005), Reduction of exposure to carcinogenic aflatoxins by postharvest intervention measures in West Africa: a community-based intervention study, *Lancet*, 365, 1950-1959.
6. ZINEDINE, A., MAÑES, J. (2009), Occurrence and legislation of mycotoxins in food and feed from Morocco, *Food Control*, 20, 334-344.
7. RODRIGUES, I., HANDL, J., BINDER, E.M. (2011), Mycotoxin occurrence in commodities, feeds and feed ingredients sourced in the Middle East and Africa, *Food Additives and Contaminants: Part B*, 4 (3), 168-179.
8. AMIRAHMADI, M., SHOEIBI, S., RASTEGAR ELMI, M., MOUSAVI KHANEGHAH, A. (2017), Simultaneous analysis of mycotoxins in corn flour using LC/MS-MS combined with a modified QuEChERS procedure, *Toxin Reviews*, 1-9.
9. LEE, H.J., RYU, D. (2017), Worldwide Occurrence of Mycotoxins in Cereals and Cereal-Derived Food Products: Public Health Perspectives of Their Co-occurrence, *J. Agric. Food Chem.* 65(33), 7034-7051.
10. CREPPY, E.E. (2002), Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe, *Toxicol. Lett.*, 127, 19-28.
11. BULLERMAN, L.B., BIANCHINI, A. (2007), Stability of mycotoxins during food processing, *International Journal of Food Microbiology*, 119,140-146.
12. JESTOI, M. (2008), Emerging *Fusarium* mycotoxins: fusaproliferin, beauvericin, enniatins and moniliformin: a review, *Crit Rev Food Sci Nutr*, 48, 21- 49.
13. BERTHILLER, F., CREWS, C., DALL-ASTA, C., DE SAEGER, S., HAESAERT, G., KARLOVSKY, P., OSWALD IP, SEEFELDER, W., SPEIJERS, G., STROKA, J. (2013), Masked mycotoxins: a review, *Mol Nutr Food Res*, 57, 165-186.
14. FAO (2012), FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
15. ACEVEDO, P.L., SERNA-SALDIVAR, S.O. (2016), In vivo protein quality of selected cereal-based staple foods enriched with soybean proteins, *Food & Nutrition Research*, 60, 31382.
16. DUARTE, S., PENA, A., LINO, C. (2010), review on ochratoxin A occurrence and effects of processing of cereal and cereal derived food products, *Food Microbiol.*, 27,187-198.
17. PINOTTI, L., OTTOBONI, M., GIROMINI, C., DELL'ORTO, V., CHELI, F. (2016), Mycotoxin contamination in the EU feed supply chain: a focus on cereal byproducts, *Toxins (Basel)*, 8 (2), 45.
18. PARIS M.P.K., SCHWEIGER, W., HAMETNER, C., STUCKLER, R., MUEHLBAUER, G.J., VARGA, E., KRSKA, R., BERTHILLER, F., ADAM, G. (2014), Zearalenone-16- O-glucoside: a new masked mycotoxin, *J. Agric. Food Chem.*, 62, 1181-1189.

19. HESHMATI, A., ZOHREVAND, T., KHANEGHAH, A.M., NEJAD, A.S.M., SANTANA, A.S. (2017), Co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in dried fruits in Iran: Dietary exposure risk assessment, *Food and Chemical Toxicology*, 106, 202-208.
20. MAJEED, M., MOUSAVI KHANEGHAH, A., KADMI, Y., USMAN KHAN, M., SHARIATI, M.A. (2017), Assessment of ochratoxin A in commercial corn and wheat products. *Current Nutrition & Food Science*, 13, 1-5.
21. MOUSAVI KHANEGHAH, A.D., CHAVES, R., AKBARIRAD, H. (2017), Detoxification of aflatoxin M₁ (AFM₁) in dairy base beverages (acidophilus milk) by using different types of lactic acid bacteria-mini review, *Current Nutrition & Food Science*, 13 (2), 78-81.
22. OTEIZA, J.M., KHANEGHAH, A.M., CAMPAGNOLLO, F.B., GRANATO, D., MAHMOUDI, M.R., SANTANA, A.S., GIANUZZI, L., (2017), Influence of production on the presence of patulin and ochratoxin A in fruit juices and wines of Argentina, *LWT-Food Science and Technology*, 80, 200-207.
23. FRAZZOLI, C., GHERARDI, P., SAXENA, N., BELLUZZI, G., MANTOVANI, A. (2017), The hotspot for (global) one health in primary food production: Aflatoxin M1 in dairy products, *Frontiers in public health*, 4, 294.
24. ZINEDINE, A., BRERA, C., ELAKHDARI, S., CATANO, C., DEBEGNACH, F., ANGELINI, S., DE SANTIS, B., FAID, M., BENLEMLIH, M., MINARDI, V., MIRAGLIA, M. (2006), Natural occurrence of mycotoxins in cereals and spices commercialized in Morocco, *Food Control*, 17, 868-874.
25. RYCHLIK, M., HUMPF, H.U., MARKO, D., DÁNICKE, S., MALLY, A., BERTHILLER, F., KLAFFKE, H., LORENZ, N. (2014), Proposal of a comprehensive definition of modified and other forms of mycotoxins including "masked" mycotoxins, *Mycotoxin Res*, 30, 197-205.
26. EFSA (2014), European Food Safety Authority Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). EFSA scientific opinion on the risks for human and animal health related to the presence of modified forms of certain mycotoxins in food and feed, *EFSA J*, 12, 3916.
27. TOLA, M., KEBEDE, B. (2016), Occurrence, importance and control of mycotoxins: A review, *Cogent Food & Agriculture*, 2 (1), 1191.
28. METZLER, M., PFEIFFER, E., HILDEBRAND, A. (2010), Hildebrand Zearalenone and its metabolites as endocrine disrupting chemicals, *World Mycotoxin Journal*, 3, 385-401.
29. EFSA (2011a), EFSA Panel on Genetically Modified Organisms (GMO). Scientific Opinion on Guidance on selection of comparators for the risk assessment of genetically modified plants and derived food and feed. *EFSA Journal*, 9(5), 2149, 22pp.
30. BRODEHL, A., MOLLER, A., KUNTE, H.J., KOCH MAND MAUL, R. (2014), Biotransformation of the mycotoxin zearalenone by fungi of the genera *Rhizopus* and *Aspergillus*. *FEMS Microbiology Letters*, 359, 124-130.
31. DRZYMALA, S.S., BINDER, J., BRODEHL, A., PENKERT, M., ROSOWSKI, M., GARBE, L.A., KOCH, M. (2015), Estrogenicity of novel phase I and phase II metabolites of zearalenone and cis-zearalenone. *Toxicol*, 105, 10-12.
32. European Food Safety Authority (EFSA), 2017a. Report for 2015 on the results from the monitoring of veterinary medicinal product residues and other substances in live animals and animal products. *EFSA J*, 14, 471-569
33. European Food Safety Authority (EFSA), 2017a. Report for 2015 on the results from the monitoring of veterinary medicinal product residues and other substances in live animals and animal products. *EFSA J*, 14, 471-569
34. European Food Safety Authority (EFSA), 2017a. Report for 2015 on the results from the monitoring of veterinary medicinal product residues and other substances in live animals and animal products. *EFSA J*, 14, 471-569

35. European Food Safety Authority (EFSA), 2017a. Report for 2015 on the results from the monitoring of veterinary medicinal product residues and other substances in live animals and animal products. *EFSA J.* 14, 471-569
36. European Food Safety Authority (EFSA), 2017a. Report for 2015 on the results from the monitoring of veterinary medicinal product residues and other substances in live animals and animal products. *EFSA J.* 14, 471-569
37. EFSA (2017a), Risk to human and animal health related to the presence of deoxynivalenol and its acetylated and modified forms in food and feed *EFSA J.*, 15 (9), 4718.
38. CABAÑAS, R., BRAGULAT, M.R., ABARCA, M.L., CASTELLÁ, G., CABAÑES, F.J. (2008), Occurrence of *Penicillium verrucosum* in retail wheat flours from the Spanish market, *Food Microbiol.*, 25(5), 642-647.
39. DE KOE, W., JUODEIKIENE, G. (2012), Mycotoxin contamination of wheat, flour and bread. In S. P. Cauvain (Ed.), *Breadmaking: Improving quality*, 614-658.
40. SCUDAMORE, K.A., HAZEL, C.M., PATEL, S., SCRIVEN, F. (2009), Deoxynivalenol and other Fusarium mycotoxins in bread, cake, and biscuits produced from UK-grown wheat under commercial and pilot scale conditions, *Food Additives and Contaminants, Part A*, 26, 1191-1198.
41. SCHOLLENBERGER, M., JARA, H.T., SUCHY, S., DROCHNER, W., MÜLLER, H.M. (2002), Fusarium toxins in wheat flour collected in an area in southwest Germany. *Int. J. Food Microbiol.*, 72, 85-89.
42. WEIDENBORNER, M., WIECZOREK, C., APPEL, S., KUNZ, B. (2000), Whole wheat and white wheat flour - the mycobiota and potential mycotoxins, *Food Microbiology*, 17, 103-107.
43. AMIRAHMADI, M., SHOEIBI, S., RASTEGAR, H., ELMI, M., MOUSAVI KHANEGHAH, A. (2017), Simultaneous analysis of mycotoxins in corn flour using LC/MS-MS combined with a modified QuEChERS procedure, *Toxin Rev*, 37, 187-195.
44. NUNES, W., MENEZES, J.F.S., BENITES, V.M., LIMA JUNIOR S.A.O., ANDERSON, S. (2015), Use of organic compost produced from slaughter house waste as fertilizer in soybean and corn crops. *Sci Agric*, 72, 343-350.
45. HESHMATI, A., ZOHREVAND, T., KHANEGHAH, A.M., NEJAD, A.S.M., SANT'ANA, A.S. (2017), Cooccurrence of aflatoxins and ochratoxin A in dried fruits in Iran: Dietary exposure risk assessment, *Food Chem. Toxicol.*, 106, 202-208.
46. IBÁÑEZ-VEA, M., GONZÁLEZ-PEÑAS, E., LIZARRAGA, E., LÓPEZ DE CERAIN, A. (2012), Co-occurrence of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in barley from a northern region of Spain. *Food Chem.* 132, 35-42.
47. RYU, D., JACKSON, L.S., BULLERMAN, L.B. (2002), Effects of processing on zearalenone. In: DeVries, J.W., Trucksess, M.W. and Jackson, L.S. (eds.) *Mycotoxins and food safety. Advances in experimental medicine and biology*, vol. 504. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, NY, USA, pp. 205-216.
48. KHANEGHAH, A.M., FAKHRI, Y., SANT'ANA, A.S. (2018), Impact of unit operations during processing of cereal-based products on the levels of deoxynivalenol, total aflatoxin, ochratoxin A, and zearalenone: A systematic review and meta-analysis. *Food Chem.* 268, 611-624.
49. MURATA, H., MITSUMATSU, M., SHIMADA, N. (2008), Reduction of feed-contaminating mycotoxins by ultraviolet irradiation: an in vitro study. *Food Additives and Contaminants Part A* 25, 1107-1110.
50. NEUHOF, T., KOCH, M., RASENKO, T., NEHLS, I. (2008), Distribution of Trichothecenes, Zearalenone, and Ergosterol in a Fractionated Wheat Harvest Lot, *J. Agric. Food Chem.* 56:16, 7566-7571.

51. SCUDAMORE, K.A., PATEL, S. (2009a), Fusarium mycotoxins in milling streams from the commercial milling of maize imported to the UK, and relevance to current legislation. *Food Additives and Contaminants Part A*, 26, 744-753.
52. PALPACELLI, V., BECO, L., CIANI, M. (2007), Vomitoxin and zearalenone content of soft wheat flour milled by different methods, *Journal of Food Protection*, 70, 509-513.
53. SCUDAMORE, K.A., BAILLIE, H., PATEL, S., EDWARDS, S.G. (2007), Occurrence and fate of Fusarium mycotoxins during commercial processing of oats in the UK, *Food Additives and Contaminants*, 24, 1374-1385.
54. CETIN, Y., BULLERMAN, L.B. (2005), Evaluation of reduced toxicity of zearalenone by extrusion processing as measured by the MTT cell proliferation assay, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 6558-6563.
55. RYU, D., HANNA, M.A., BULLERMAN, L.B. (1999) Stability of zearalenone during extrusion of corn grits, *Journal of Food Protection*, 62, 1482-1484.
56. SCUDAMORE, K.A., GUY, R.C.E., KELLEHER, B., MACDONALD, S.J. (2008b), Fate of the Fusarium mycotoxins, deoxynivalenol, nivalenol and zearalenone, during extrusion of wholemeal wheat grain, *Food Additives and Contaminants Part A*, 25, 331-337.
57. MOKOENA, M.P., CHELULE, P.K., GQALENI, N. (2005), Reduction of fumonisin B1 and zearalenone by lactic acid bacteria in fermented maize meal, *Journal of Food Protection* 68, 2095-2099.
58. ŠEGVIĆ KLARIĆ, M., CVETNIĆ, Z., PEPELJNJAČ, S., KOSALEC, I. (2009), Co-occurrence of aflatoxins, ochratoxin A, fumonisins, and zearalenone in cereals and feed, determined by competitive direct enzyme-linked immunosorbent assay and thin-layer chromatography. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 60, 427-434.
59. DOMIJAN, A.M., PERAIČA, M., JURJEVIĆ, Z., IVIĆ, D., CVJETKOVIC, B. (2005), Fumonisin B1, fumonisin B2, zearalenone and ochratoxin A contamination of maize in Croatia. *Food Addit. Contam.*, 22, 677-680.
60. BINDER, E.M., TAN, L.M., CHIN, L.J., HANDL, J., RICHARD, J. (2007), Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, animal feed and feed ingredients *Anim. Feed Sci. Technol.*, 137, 265-282.
61. WIŚNIEWSKA-DMYTROW, H., KOZAK, A., ŻMUDZKI J. (2004), Occurrence of Fusarium mycotoxins in feedstuffs from farms with husbandry problems, *Bul Vet Pulawy*, 48, 117-122.
62. THONGRUSSAMEE, T., KUZMINA, N.S., SHIM W.B., JIRATPONG, T., EREMIN, S.A., INTRASOOK, J., CHUNG, D.H. (2008), Monoclonal-based enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of zearalenone in cereals, *Food Addit Contam*, 25, 997-1006.
63. NJOBEH, P.B., DUTTON, M.F., KOCH, S.H., CHUTURGOON, A.A., STOEVI, S.D., MOSONIK, J.S. (2010), Simultaneous occurrence of mycotoxins in human food commodities from Cameroon, *Mycotoxin Research*, 26, 47-57.
64. SCOOP (Scientific Cooperation). (2003), Collection of Occurrence Data of Fusarium toxins in Food and Assessment of Dietary Intake by the Population of EU Member States.
65. OVEISI, M.R., HAJJMAHMOODI, M., MEMARIAN, S., SADEGHI, N., SHOEIBI, S. (2005), Determination of zearalenone in corn flour and a cheese snack product using high-performance liquid chromatography with fluorescence detection, *Food Additives and Contaminants*, 22, 443-448.
66. SEKIYAMA, B.L., RIBEIRO, A.B., MACHINSKI, P.A., MACHINSKI, J. (2005), Aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in maize-based food products, *Brazilian Journal of Microbiology*, 36, 289-294.

67. MUTHOMI, J.W., NDUNG'U, J.K., GATHUMBI, J.K., MUTITU, E.W., WAGACHA, J.M. (2008), The occurrence of Fusarium species and mycotoxins in Kenyan wheat, *Crop Protection*, 27, 1215-1219.
68. MANOVA, R., MLADENOVA, R. (2009), Incidence of zearalenone and fumonisins in Bulgarian cereal production, *Food Control*, 20, 362-365.
69. CUNHA, S.C., FERNANDES, J.O. (2010), Development and validation of a method based on a QuEChERS procedure and heart-cutting GC-MS for determination of five mycotoxins in cereal products, *Journal of Separation Science*, 33, 600-609.
70. RASMUSSEN, P.H., GHORBANI, F., BERG, T. (2003), Deoxynivalenol and other Fusarium toxins in wheat and rye flours on the Danish market, *Food Additives and Contaminants*, 20, 396-404.
71. MUSAIGER, A.O., AL-JEDAH, J.H., D'SOUZA, R. (2008), Occurrence of contaminants in foods commonly consumed in Bahrain, *Food Control*, 19, 854-861.
72. ROSCOE, V., LOMBAERT, G.A., HUZEL, V., NEUMANN, G., MELIETIO, J., KITCHEN, D., KOTELLO, S., KRAKALOVICH, T., TRELKA, R., SCOTT, P.M. (2008), Mycotoxins in breakfast cereals from the Canadian retail market: a 3-year survey. *Food Additives and Contaminants Part A*, 25, 347-355.
73. STANCIU, O., JUAN, C., MIERE, D., BERRADA, H., MAÑES, J. (2018), First study on trichothecene and zearalenone exposure of the Romanian population through wheat-based products consumption, *Food Chem. Toxicol.*, 121, 336-342.
74. HU, J., WANG, C., TIAN, L., WANG, M., GUO, R., QIAO, H. (2017), Analysis on contamination of zearalenone and dietary exposure assessment in food samples of Shaanxi Province in 2013-2016, *Europe PMC*, 46: 4, 585-627.
75. RAI, A., DIXIT, S., SINGH, S.P., GAUTAM, N.K., DAS, M., TRIPATHI, A. (2018), Presence of Zearalenone in Cereal Grains and Its Exposure Risk Assessment in Indian Population, *Journal of food science*, 83:12, 3126-3133.
76. WANG, W., ZHU, J., SHAO, B., LI, F. (2015), Probabilistic assessment of dietary exposure to both deoxynivalenol and zearalenone from cereal-based products in Chinese populations, *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 49:3, 223-227.
77. LEE, H.J., OK, H.E., SIM, J.H., MIN, S.G., CHUN, H.S. (2015), Estimate of zearalenone exposure through the intake of white and brown rice in the Korean population. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 97:8, 1071-1085.
78. LUZARDO, O.P., BERNAL SUÁREZ, M.M., CAMACHO, M., HERNÁNDEZ, L.A., RIAL-BERRIEL C, ALMEIDA GONZÁLEZ, M., ZUMBADO, M., DÍAZ, R. (2016), Estimated exposure to EU regulated mycotoxins and risk characterization of aflatoxin-induced hepatic toxicity through the consumption of the toasted cereal flour called "gofio", a traditional food of the Canary Islands (Spain), *Food Chem Toxicol*, 93, 73-81.
79. HAUBRUGE, E., CHASSEUR, C., SUETENS, C., MATHIEU, F., BEGAUX, F., MALAISSE, F. (2003), Mycotoxins in stored barley (*Hordeum vulgare*) in Tibet autonomous region (People's Republic of China), *Mountain Research and Development*, 23, 284-287.
80. PERKOWSKI, J., KIECANA, I., KACZMAREK, Z. (2003), Natural occurrence and distribution of Fusarium toxins in contaminated barley cultivars. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 331-339.
81. MANOVA, R., MLADENOVA, R. (2009), Incidence of zearalenone and fumonisins in Bulgarian cereal production, *Food Control*, 20: 362-365.
82. EDWARDS, S.G. (2009), Fusarium mycotoxin content of UK organic and conventional oats. *Food Additives and Contaminants Part A*, 26, 1063-1069.

83. MANKEVICIENNE, A., BUTKUTE, B., GAURILCIKIENE, I., DABKEVICIUS, Z., SUPRONINE, S. (2011), Risk assessment of Fusarium mycotoxins in Lithuanian small cereal grains, *Food Control*, 22, 970-976.
84. KUIPER-GOODMAN, T., SCOTT, P.M., WATANABE, H. (1987), Risk assessment of the mycotoxin zearalenone, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 7, 253-306.
85. SALADINO, F., QUILES, J.M., MAÑES, J., FERNÁNDEZ, M., FRANZÓN, F.L., BITTENCOURT, G.M. (2017), Dietary exposure to mycotoxins through the consumption of commercial bread loaf in Valencia, Spain, *LWT – Food Sci. Technol.*, 75, 697-701. USTR, 2018. USTR Turkey
86. JECFA (2000), Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Zearalenone, in Safety Evaluation of Certain. *Food Additives and Contaminants*, Series 44 IPCS, Geneva, World health Organization, 393-482.
87. ERICSON, G.S., ALEXANDER, J. (1998), Fusarium toxins in cereals – a risk assessment. Nordic Council of Ministers, Tema Nord 502, Copenhagen, Denmark, pp. 7-27.
88. LEBLANC, J.C., TARD, A., VOLATIER, J.L., VERGER, P. (2005) Estimated dietary exposure to principal food mycotoxins from the first French total diet study, *Food Additives and Contaminants*, 22, 652-672.
89. RHYN, P. AND ZOLLER, O. (2003), Zearalenone in cereals for human nutrition: relevant data for the Swiss population. *European Food Research and Technology*, 216, 319-322.
90. HARCZ, P., DE TEMMERMAN, L., DE VOGHEL, S., WAEGENEERS, N., WILMART, O., VROMMAN, V., SCHMIT, J.F., MOONS, E., VAN PETEGHEM, C., DE SAEGER, S., SCHNEIDER, Y.J., LARONDELLE, Y., PUSSEMIER, L. (2007), Contaminants in organically and conventionally produced winter wheat (*Triticum aestivum*) in Belgium. *Food Additives and Contaminants*, 24, 713-720.
91. MURI, S.D., VAN DER VOET, H., BOON, P.E., VAN KLAVEREN, J.D., BRUSCHWEILER, B.J. (2009), Comparison of human health risks resulting from exposure to fungicides and mycotoxins via food. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2963-2974.
92. SANGARE-TIGORI, B., MOUKHA, S., KOUADIO, H.J., BETBEDER, A.M., DANO, D.S., CREPPY, E.E. (2006), Co-occurrence of aflatoxin B1, fumonisin B1, ochratoxin A and zearalenone in cereals and peanuts from Côte d'Ivoire. *Food Additives and Contaminants*, 23, 1000-1007.
93. MASSART, F., SAGGESE, G. (2010), Oestrogenic mycotoxin exposures and precocious pubertal development. *International Journal of Andrology*, 33, 369-376.
94. SHERIF, S.O., SALAMA, E.E., ABDEL-WAHHAB, M.A. (2009), Mycotoxins and child health: the need for health risk assessment. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 212, 347-368.

NESNELERİN İNTERNETİ VE YENİLİKÇİ SAĞLIK HİZMETİ UYGULAMALARI

Mahir KUTAY¹
Tuncay ERCAN²



¹ Dr. Yaşar Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri.
² Doç. Dr. Yaşar Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri.

Giriş

İnternet kullanımının yaygınlaşması insanlar arasındaki bilgi paylaşımı ve etkileşimini önemli ölçüde arttırarak günlük yaşantımızı değiştirmektedir. “Nesnelerin İnterneti (IoT: Internet of Things)” olarak adlandırılan yeni teknoloji akıllı cihazların, birbirlerini algılayarak iletişime geçmesi ve toplanan bilgilerin bulut sistemlerinde değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu teknoloji çok sayıda, küçük boyutlu, kablosuz algılayıcılar (sensor) ile ev, okul, işyeri, fabrika, hastane vb. birçok ortamdan anlık bilgi toplanmasını sağlamaktadır. Algılayıcı cihazlardan gelen gerçek zamanlı sürekli veri akışı, ağ geçitleri üzerinden internet ortamına aktarılmakta ve “Bulut Servis Sağlayıcılarına” ulaştırılmaktadır. Bu servislerde depolanan veri “Büyük Veri” olarak adlandırılır. Bulut servis sağlayıcılarının verdikleri depolama, veri tabanı ve uygulama hizmetleri ile işlenen Büyük Veri kullanılmaya hazır hale getirilmektedir (Kaul ve Goudar, 2016). IoT’nin sağladığı bilgi akışı günlük yaşantımızı, iş hayatını, sağlık hizmetlerini ve endüstriyel üretim sistemlerini olumlu yönde etkileyebilecek değişikliklere neden olacaktır. IoT kullanımı akıllı evler, şehirler, fabrikalardan başlayıp, farklı sağlık ve ziraat alanlarındaki uygulamalara kadar çok geniş bir alanı kapsamaktadır. IoT’nin günümüzde uygulanmakta olduğu başlıca alanlar aşağıda belirtilmiştir (Shahid ve Aneja, 2016).

- ✓ Trafik ve lojistik
- ✓ Sağlık hizmetleri
- ✓ Meteoroloji
- ✓ Tarım
- ✓ Akıllı şehir ve akıllı ev uygulamaları
- ✓ Endüstriyel üretimin takibi ve kalite kontrolü
- ✓ Enerji yönetimi
- ✓ Madencilik
- ✓ Turizm
- ✓ Çevre sorunlarının izlenmesi
- ✓ Güvenlik
- ✓ Askeri uygulamalar

Bu uygulama alanlarına hızla yenileri eklenmekte ve IoT’nin günlük yaşantı üzerindeki etkisi giderek artmaktadır. Ercan ve Kutay (2016: 599-607) IoT uygulamalarının sağlık, tarım ve endüstri gibi birçok alanda maliyetlerin azaltılması, kaliteli hizmet/ürün sağlanması gibi konularda olumlu etki yaratarak yaşam kalitemizin artmasına yardımcı olacağını belirtmişlerdir. Aşağıdaki iki temel neden IoT teknolojisinin sağlık alanında önemli bir yer tutmasını sağlamıştır:

- ✓ Algılayıcı ve veri aktarım teknolojisindeki gelişmeler, özellikle sağlıkla ilgili daha önce erişilemeyen verilerin toplanıp kaydedilmesini ve analiz edilebilmesini sağlamaktadır,
- ✓ IoT cihazlarının kendi başlarına veri toplayabilme ve iletebilme yeteneği, insan tarafından girilen verilerdeki sınırlamaları ortadan kaldırmıştır.

Medikal cihazlara IoT teknolojisini destekleyen bileşenlerin eklenmesi hastaların daha etkin takibini sağlayabilmektedir. Üzerine vücut sıcaklığı, tansiyon, kandaki oksijen miktarı vb. gibi algılayıcıların bulunduğu bir IoT cihazı kullanılarak hastanın periyodik kontrolü düzenli olarak uzaktan yapılabilmektedir (Thakar ve Pandya, 2017). Hasta verileri incelenmek üzere uzman doktorlara gönderilebilmekte, bir problem gözlenmesi durumunda hastanın hastaneye yatırılması için uygun işlemler başlatılmaktadır. Böylece gereksiz hastaneye yatışlar önlenmekte, hastanelerden gerçekten gereksinimi olan hastalar faydalanabilmekte ve sağlık harcamaları azaltılmaktadır. Toplanan veriler daha önce belirti vermemiş rahatsızlıkların tespit edilmesine de yardımcı olarak önleyici sağlık konusuna katkıda bulunmaktadır. ABD’de yapılan bir araştırmada sağlık alanında IoT uygulamalarının yaygınlaştırılmasıyla önümüzdeki yıllarda sağlık harcamalarında sağlanan tasarruf oranının 25%’e kadar yükselebileceği hesaplanmıştır (www.varinsights.com, 2019).

Sağlık alanındaki başlıca güncel uygulamalar aşağıda verilmiştir:

- ✓ Sağlık verisinin toplanması (electronic health record)
- ✓ Teletıp uygulamaları (telemedicine)
- ✓ Mobil sağlık uygulamaları (mhealth)
- ✓ Konum takibi (location tracking)
- ✓ Yaşlıların evde bakımı (elderly care)
- ✓ Kronik hastaların (felç, diyabet, Alzheimer vb.) izlenmesi (chronic patient monitoring)
- ✓ Önleyici sağlık uygulamaları (Preventive healthcare)

Bu çalışmamızda sağlık alanındaki güncel IoT uygulamaları açıklanmakta, sağlanan olumlu katkılar ve gelişmeye açık noktalar hakkında okuyuculara ayrıntılı bilgi verilmektedir. Amaç bölümünde özellikle sağlık alanında hangi uygulamaların IoT etkisiyle nasıl değişiklik göstereceği belirtilmiş ve farklı uygulamalara sağlanan olumlu katkılar güncel örnekleriyle açıklanmıştır. Yöntem bölümünde sağlık uygulamalarında kullanılan genel bir mimari yapı üzerinde donanım ve yazılım katmanları arasındaki ilişkiler açıklanmış, hastalardan, sağlık birimlerinden ve tedavi ortamlarından toplanan farklı verilerin makine öğrenmesi algoritmalarıyla gerçek zamanlı olarak değerlendirilebilmesiyle ilgili çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Bir sonraki Tartışma ve Yorum bölümünde IoT uygulamalarının günümüzdeki uygulamaları ve muhtemel etkileri tartışılmış, sağlık alanında farklı ülkelerdeki IoT uygulamalarına ilişkin bir gelişmişlik düzeyi yorumu yapılmıştır. Son bölümde ise IoT pazarının genişlemesiyle özellikle doktor/hasta görüşmeleri, analiz, teşhis ve tedavi adımları için geliştirilen yeni IoT uygulamaları ve olası etkileri listelenmiştir.

Amaç

Bu bölümün amacı günümüzde sağlık alanındaki başlıca uygulamaların teknolojiye IoT değişimiyle nasıl etkilendiğini göstermek, uygulamalara

sağlanan olumlu katkıları ve gelişmeye açık noktaları güncel örnekleriyle açıklamaktadır.

- Sağlık verisinin toplanması: IoT'nin getirdiği en önemli yeniliklerden biridir. Hastaların hastanede veya başka bir yerde bulunmalarına bakılmaksızın tedavinin gelişimi doktorlar tarafından, sürekli ve ayrıntılı olarak takip edilebilmektedir (www.internetofthingsagenda.techtarget.com, 2019). Hastanın sağlık verilerinin sürekli olarak değerlendirilmesi ile olumsuz bir durum gözlemlendiğinde hızlı müdahale mümkün olmaktadır. Örneğin yüksek risk taşıyan bir hasta evde yalnız olduğu sırada düşer veya rahatsızlanırsa, üzerinde bulunan IoT cihazları hasta yakınlarına ve ilgili sağlık personeline uyarının hızla iletilmesini sağlar. Bu sayede hastaya acil müdahale edilebilme şansı büyük ölçüde artar.

Günümüzde kalp rahatsızlığı olan kişilerin uzaktan takibini sağlayan "BodyGuardian" adı verilen ticari bir izleme sistemi ABD'de kullanılmaktadır. Hasta normal yaşantısını sürdürürken giyilebilir bir algılayıcıdan elde edilen kalp atışı, ECG, nefes alma sıklığı ve fiziksel faaliyetleri akıllı telefon aracılığıyla izleme merkezine gönderilmekte ve uzmanlar tarafından izlenebilmektedir (www.preventicesolutions.com, 2019).

- Teletıp uygulamaları: Teletıp hastalık teşhis hizmetleri ve hasta eğitimlerinin uzmanlarca haberleşme araçları aracılığıyla uzaktan verilmesidir. Bu sayede hasta yerinde ziyaret edilmeden, hastanın durumunun izlenmesi, uzman doktorla görüşme, ilaçların düzenlenmesi ve eğitim çalışmaları, güvenli sesli ve görüntülü bağlantılarla gerçekleştirilmektedir. Teletıp sayesinde özellikle gelişmekte olan ülkelerde, sağlık hizmetinin bulunmadığı uzak bölgelerde yaşayan hastalara uzman doktorların ulaşabilmesi sağlanmaktadır (Segato ve Masella, 2017:268-278).
- Mobil sağlık uygulamaları: Mobil sağlık uygulamaları günümüzde hızla gelişen bir alan olup, akıllı telefonlar ve tabletler gibi mobil haberleşme cihazlarının tedavi ve koruyucu sağlık hizmetlerinde kullanılmasıdır. Günümüzde kullanılmakta olan mobil sağlık uygulamaları aşağıda verilmiştir.
 - ✓ Hastaların mobil cihazlar yardımıyla kendi sağlık verilerine ulaşmaları,
 - ✓ Periyodik doktor ve hasta görüşmeleri,
 - ✓ Diğer hastalarla sohbet ve bilgi paylaşımı,
 - ✓ Mobil cihazların iletişim desteğiyle giyilebilir algılayıcıların topladığı bilgilerin gönderilmesi,
 - ✓ Evden teletıp hizmeti alınması,
 - ✓ Uzaktaki bir fizik tedavi uzmanı yardımıyla evde yapılan fiziksel faaliyetler,

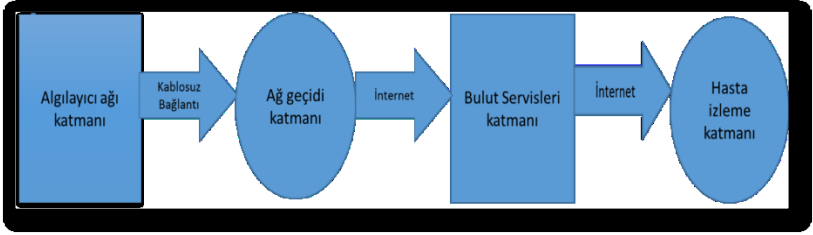
Mobil sağlık uygulamaları yakın gelecekte büyük şehirlerden uzakta yaşayan insanlara ucuz ve hızlı sağlık hizmeti sağlama konusunda önemli bir rol oynayacaktır (Fox ve Connolly, 2018: 995-1019).

- Konum takibi: Hastane içinde doktorların, sağlık personelinin, hastaların ve değerli tıp cihazlarının konumları RFID, Bluetooth, WiFi, ZigBee, NFC gibi teknolojiler yardımıyla kolayca takip edilebilmektedir (AlRasheed vd., 2018:74-78). Ev ve hastane dışında Alzheimer gibi hastalıkları nedeniyle yollarını kaybedip evlerini bulamayan hastaların yanlarında taşıdıkları mobil cihazlar yardımıyla konumları kolayca tespit edilerek, kendilerine kısa zamanda ulaşılabilir (Salama, 2018: 20-37).
- Yaşlıların evde bakımı: Günümüzde insan yaşam süresinin uzamasıyla toplumdaki yaşlı bireylerin sayısı hızla artmaktadır. IoT yaşlı bireylerin karşılaştıkları sağlık problemlerinin takibini kolaylaştırmakta ve karşılaştıkları riskleri azaltmaktadır (Pinto vd., 2017:1378-1383). IoT kullanımı yaşlıların arkadaş bulmalarına yardımcı olmakta ve toplumdan izole olmalarını önlemektedir.
- Kronik hastaların takibi: Bulaşıcı Olmayan Hastalıklar (BOH); herhangi bir enfeksiyon etkeni ile ilişkilendirilmeyen, bulaşıcı olmayan ve çoğu kez uzun süreli olan/kimi zaman yaşam boyu sürebilen, yavaş seyirli, kronik hastalıkları ifade eder (www.tuseb.gov.tr, 2019). Bu kapsama giren hastalıkların başlıcaları, inmeler, diyabet, alzheimer, demans, solunum yolu hastalıkları ve genetik kökenli hastalıklardır. Kronik hastalıklar özellikle yaşlı hastaların sürekli olarak gözetim altında tutulmasını gerektirmektedir. IoT kullanılarak bu tip hastaların sağlık verileri sürekli olarak takip edilebilmektedir. Kronik rahatsızlığı olan hastaların sürekli olarak hastanelerde gözetim altında tutulmaları, sağlık personeli sayısının yetersizliği, yatak sayısının ancak acil tedaviye ihtiyacı olanlara yetmesi ve ekonomik nedenlerle mümkün olmamaktadır. Bu nedenle bu tip hastalar evlerinde yaşamlarını sürdürmek zorunda kalıp, hatta hastanelerde düzenli olarak yapılması gereken sağlık kontrollerine yalnız olarak gidememekte ve yakınlarına bağımlı kalmaktadırlar. IoT, bu hastaların yaşamlarını kolaylaştıracak birçok olanak sunmaktadır. Hastanın üzerine takılan giyilebilir algılayıcılar aracılığıyla ölçülen tansiyon, ateş, kalp atışı, kan şekeri vb. değerleri otomatik olarak ölçülebilmekte ve internet üzerinden merkezi bir sağlık sistemine gönderilmektedir. Veri madenciliği yöntemleri kullanan uygulamalar ile hastanın normal değerleri öğrenilmekte ve anlık sağlık durumu denetlenilmektedir. IoT kullanımı hastadan periyodik olarak veri toplayan ve analiz eden bir sağlık çalışanı bulundurulması zorunluluğunu ortadan kaldırır, hasta bakım kalitesini artırır ve hasta bakım masraflarında önemli ölçüde azalma sağlar (Castillo ve Thierer, 2015).

Yöntem

IoT'nin birçok sağlık uygulamasında kullanılan genel mimari Şekil 1. de gösterilmiştir. Yapı dört ana katman ve katmanlar arası iletişim ortamlarından oluşmaktadır.

- **Algılayıcı ağı katmanı:** Bu katman vücut sıcaklığı, kan basıncı, kandaki şeker seviyesi, kandaki oksijen seviyesi, vb. gibi bilgileri hastanın vücudundan toplar. Algılayıcılar vücuda giyilebilir tipte olup Mobil Vücut Alanı Ağını “Wireless Body Area Network (WBAN)” oluştururlar. Algılayıcılar topladıkları yaşamsal bilgileri, RFID, Bluetooth, WiFi, ZigBee, NFC gibi mobil teknolojileri kullanarak dış dünyaya bilgi aktarmakla görevli ağ katmanına gönderirler. Mobil teknolojilerin kullanılmasının nedeni hastaya her durumda (yatağa bağlı olsun veya olmasın) hareket serbestisi sağlamaktır.



Şekil 1: Sağlık uygulamalarında kullanılan IoT mimarisini

Ağ geçidi katmanı: Algılayıcılar toplanan veriyi ağ geçidi adı verilen ve görevi bulut servislerine gerçek zamanlı olarak internet üzerinden veri aktarımı olan bir ağ geçidine gönderirler. Ağ geçidi akıllı bir telefon, tablet veya bir bilgisayar olabilir. İnternet bağlantısı kablolu veya kablosuz teknolojiler ile sağlanır.

- **Bulut Servisleri katmanı:** Bu katmanda algılayıcı ağı katmanından gelen bilgiler mantıksal çözümleme (analytics), karar verme ve diğer amaçlar için kullanılmak üzere saklanır (Jangra ve Gupta, 2018). Bulut servislerinde birçok hastadan anlık olarak toplanan çok büyük miktarda veri depolanır. Toplanan veri hastanın yalnızca geçmişi ile ilgili olmayıp aynı zamanda kullanılan akıllı algoritmalar aracılığıyla hastalığın iyi ya da kötü yönde mi ilerlediği ve tedavide ne gibi iyileştirmeler yapılabileceği gibi sorulara da cevap vermek için kullanılır. Kullanılan Makine Öğrenmesi (Machine Learning) algoritmalarıyla toplanan veri ihtiyaca göre filtre edilir, sınıflandırılır ve mantıksal çözümleme algoritmalarıyla anlamlı bir bilgiye dönüştürülür (Rueda ve Krishnan, 2017:2308-2311). Makine öğrenmesi algoritmaları üç amaca hizmet eder:
 - ✓ Toplanan verinin filtre edilmesi ve sınıflandırılması,
 - ✓ Toplanan uzun süreli veri kullanılarak hastalığın özelliklerinin ve gelişiminin öğrenilmesi,

- ✓ Öğrenilen bilgiler ile geleceğe yönelik bir tahmin modeli oluşturulması.

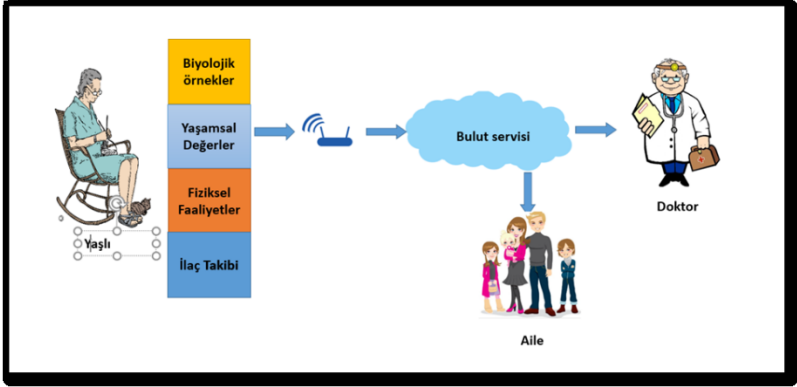
Makine öğrenmesi algoritmaları teşhis ve tedavi yöntemlerinin tespiti için harcanan zamanı azaltır ve otomatikleştirir. Elde edilen bilgiler internet yoluyla tedaviden sorumlu uzmanlara iletilir.

- Hasta izleme katmanı: Sorumlu doktorlar kişisel bilgisayarları ya da akıllı cihazları ile bulut sistemine bağlanır ve bulut sisteminde çalışan mantıksal çözümleme algoritmaları sonucunda ortaya çıkan detaylı hasta bilgilerini kolaylıkla görüntüleyerek istediği bilgileri elde eder. Bu sistemin en büyük faydası doktorların yer ve zamandan bağımsız olarak kullanabilmesidir.

Hasta sağlığının takibi için doktorların değerlendirmeleri ve sağlık birimleri resmi kayıtları için statik ve dinamik olmak üzere başlıca iki tür veriye ihtiyaç vardır. Dinamik veriler anlık hasta takibi için hastanın bulunduğu ortamdan ve hastanın kendisinden gerçek zamanlı olarak toplanıp sürekli değerlendirilmesi gereken verilerdir.

- Doktor ve sağlık birimleri kayıtları: Bu kayıtlarda hasta kişisel bilgileri yanında, geçmişte geçirdiği hastalıklar, güncel hastalıkları, alerjileri, aldığı ilaçlar, yaptırdığı aşılar, geçmişte yapılan tahlil sonuçları, radyoloji kayıtları, patoloji raporları, genetik problemleri, travma raporları, finansal kayıtlar vb. bilgilerle birlikte, gözetiminde olduğu doktorlar tarafından yazılmış olan hastanın tedavisi ve tedavinin gelişimine ilişkin kayıtlar yer alır ([www. https://www.verywellhealth.com](https://www.verywellhealth.com), 2019).
- Gerçek zamanlı olarak hastadan toplanan veriler: Hastanın süregelen rahatsızlığının tedavi sürecinin anlık takibi için gerekli verilerdir. Dört grupta sınıflandırılabilir;
 - ✓ Kan şekeri, kandaki oksijen seviyesi gibi biyolojik veriler,
 - ✓ Kalp atışı hızı, tansiyon ölçümü, vücut sıcaklığı, nefes alma hızı gibi yaşamsal değerler,
 - ✓ Uyku, yürüme gibi fiziksel faaliyetler,
 - ✓ Hastanın alması gereken ilaçları zamanında alıp almadığının takibi (www.synapse.koreamed.org, 2019).

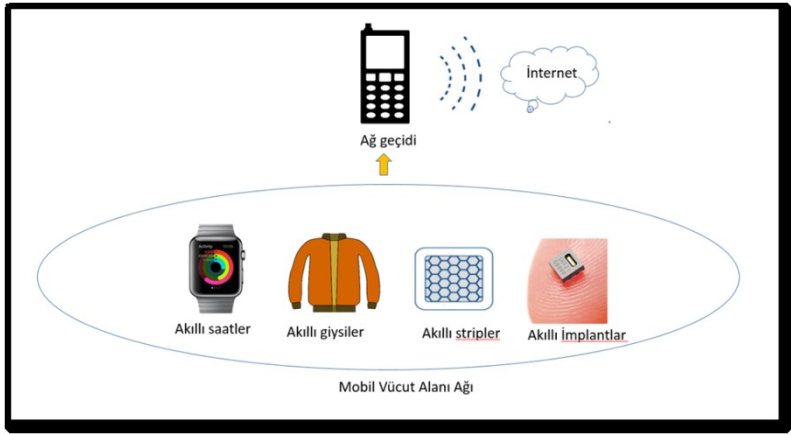
Şekil 2. de evde yalnız olan yaşlı bir bireyin IoT araçlarıyla anlık olarak takip edilen verileri, bu verilerin bir kablosuz erişim noktasıyla internet ve bulut ortamına aktarılması, burada analiz edilen ve görselleştirilen verilerin doktoru ve ailesi tarafından izlenebilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2: Sağlık uygulamalarında kullanılan anlık verinin toplanması ve aktarımı.

- Veriler Nasıl toplanıyor? Doktorların ve sağlık birimlerinin kayıtları, düzenli olarak doktorlar, hemşireler, diğer sağlık personeli veya idari personel tarafından ilgili bütün bilgilerin uygun şekilde veri tabanlarına aktarılmasıyla gerçekleşmektedir. IoT teknolojisinin gelişmesi uzaktan anlık sağlık verisinin doğru olarak toplanabilmesi için son derece yararlı olmuştur. Sağlık verisi toplamak için kullanılmakta olan cihazların ortak özellikleri aşağıda özetlenmiştir (www.breathe.ersjournals.com, 2019):
 - ✓ Çok az enerji tüketmeleri, uzun ömürlü küçük bataryaları enerji kaynağı olarak kullanmaları,
 - ✓ Hastayı rahatsız etmeden vücut üzerinde taşınabilecek kadar küçük ve hafif olmaları,
 - ✓ Mobil iletişim teknolojisi ile ağ geçidine gerçek zamanlı veri iletmeleri.

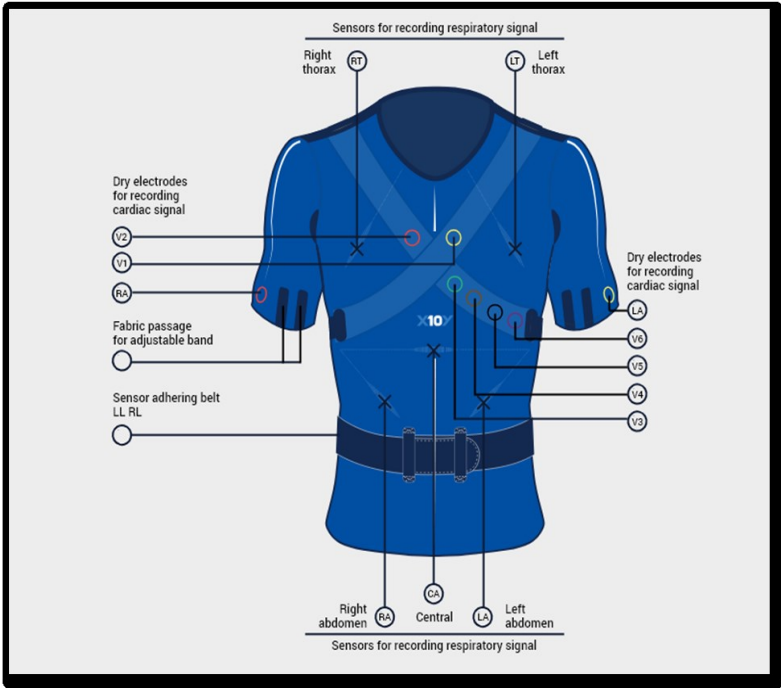
Vücut üzerinde taşınabilen algılayıcılar, vücut üzerinde bir haberleşme ağı (WBAN:Wireless Body Area Network) oluştururlar. Bu tür ağlara, vücut algılayıcı ağı (BSAN: Body Sensor Area Network) adı da verilmektedir. Şekil 3. te bir bu tür bir ağın gösterimi verilmiştir.



Şekil 3: Algılayıcılar ve mobil vücut alanı ağı

Teknolojinin gelişmesi aşağıda sınıflandırılmış olan birçok algılayıcı tipinin üretilmesini sağlamıştır:

- ✓ Akıllı saatler: Birçok kişinin günlük yaşamında kullandığı bu tür cihazlar, tansiyon, nabız, oksijen seviyesi, günlük adım miktarı gibi verileri ölçüp Bluetooth teknolojisi ile akıllı telefonlara aktarabilmektedirler. Bu cihazların ayak bileklerine ve kola takılabilen benzer modelleri de vardır.
- ✓ Akıllı giysiler: Tekstil ve elektroniğin birleştirilmesi ile üzerinde birçok algılayıcı bulunan akıllı giysiler üretilmiştir. Bu tür giysiler ve üzerindeki algılayıcılar ter ile oluşan neme, harekete ve gerilmeye dayanıklıdır. Akıllı bir giysi örneği Şekil 4. te verilmiştir.
- ✓ Akıllı stripler: Vücuda yapıştırılabilen algılayıcılar, 2-4 hafta gibi kısa süreler için kullanılmakta ve kesintisiz olarak ECG sinyallerini izleyebilmektedirler. Özellikle rastgele oluşan belirtilerin tespiti için uygundur. Sürekli izleme modunda kullanabildikleri gibi anormal bir belirti ortaya çıktığında da otomatik olarak çalışabilirler veya cep telefonuna yüklenen bir uygulama ile kumanda edilebilirler. Bir akıllı stribin vücut üzerindeki fotoğrafı Şekil 5. te verilmiştir.
- ✓ Akıllı implantlar: Bu tür sensörler vücut üzerinde en uygun veri kaydedebilecekleri bölgelere deri altına enjekte edilirler. Boyutları bir pirinç tanesi kadar küçük olup birkaç yıl süreyle kullanılabilirler ([www. https://www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)). Göz tansiyonu, şeker seviyesi, PH değeri, sinirsel aktivite ölçümü gibi kullanım alanları vardır.



Şekil 4. Akıllı giysi (www.x10y.com/cts-med-man).

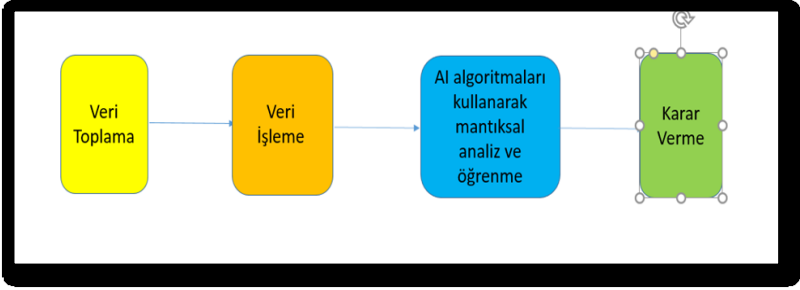


Şekil 5: Strip algılayıcı (www.ncbi.nlm.nih.gov).

- Veriler nerede saklanıyor? Sağlık verilerinin farklı sistemlerde depolanması hasta tedavisinde gecikmelere yol açar ve topyekûn değerlendirmelerindeki verimlilik düşer. Çok sayıda hasta alınan gerçek zamanlı verilerin saklanabilmesi için büyük veri depolama alanlarına ihtiyaç vardır. Bu tür sistemlerin bizzat sağlık hizmeti veren kuruluşlar tarafından kurulması çok maliyetli olduğu için, günümüzde veri depolama hizmetlerinin yanı sıra mantıksal veri analizi programlarını da sağlayan ve bulut servisi adı verilen uzman kuruluşlar vardır. Bu kuruluşların verdikleri farklı hizmetler, sağlık kuruluşlarının bilgi sistemleri maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir. Ticari olarak sağlık alanında hizmet veren servislerden bazıları Google Cloud, Microsoft Azure, Avrupa Birliği Komisyonu (EC) tarafından kurulan CPHS (Cloud-based Cyber Physical Health Sytem) sistemleridir. Ülkemizde de kişisel sağlık verilerine ait kayıtların tutulmasını amaçlayan Sağlık Bakanlığı tarafından geliştirilen e-Nabız uygulaması kullanılmaktadır.
- Nasıl değerlendiriliyor? Hasta ile ilgili toplanan veriler başlıca iki gruba ayrılır:
 - ✓ Yapılandırılmış veriler (Structured data): Doktorlar ve sağlık organizasyonları tarafından sınıflandırılmış, gereksiz kısımları çıkarılmış ve zaman bilgisi kaydedilmiş verilerdir.
 - ✓ Yapılandırılmamış veriler (Unstructured data): Sensörlerden gelen gerçek zamanlı bilgilerdir. Gereksiz olanların süzülmesi, sınıflandırılması ve zaman bilgisi ile kaydedilmesi gereklidir.

Verilerin tamamının kullanıma hazır hale getirilmesi, veri ön işleme (data pre-processing) olarak adlandırılır. Bir sonraki adım genel olarak Yapay Zekâ (Artificial Intelligence) algoritmalarını kullanarak sistemin hastanın geçmişini ve şimdiki durumunu tanımasıdır. Bu işlem öğrenme (Training) olarak adlandırılır. Öğrenme işleminin düzgün çalışabilmesi için verinin yeterli büyüklükte olması gereklidir. Bu nedenle oldukça uzun bir zaman ve çok miktarda veri toplanması gereklidir. Hastanın geçmişini ve şu andaki durumunu öğrenen algoritma ilgili hasta için bir model oluşturur. Bu model hastanın teşhis ve tedavi işlemleri ile ilgili karar verme işlemlerinde kullanılır. Son adımda sistemin verdiği kararların doğruluk ve performansı incelenir. Gerekirse veri seti ve uygulanan algoritmalarda değişiklik yapılır. Veri değerlendirme adımları Şekil 6. da gösterilmiştir. Kullanılan önemli öğrenme algoritmaları aşağıda verilmiştir (Kaur ve Kumari, 2018).

- ✓ Yapay sinir ağları (Artificial Neural Network-ANN),
- ✓ k-en yakın komşu (k-nearest neighbor, k-NN),
- ✓ Çok etkenli boyut küçültme (Multifactor dimensionality reduction-MDR),
- ✓ Doğrusal çekirdek destek vektörü makinesi (Linear kernel support vector machine- (SVM-linear).



Şekil 6: Veri değerlendirme adımları.

- Veri güvenliği—buraya kadar tamam IoT teknolojisinin hızla geliyor olması ve özellikle sağlık alanında bireylere ait sağlık kayıtlarının toplu olarak veritabanı sunucu sistemlerinde saklanması, bilgi güvenliği sorununun daha çok önem kazanmasına yol açmıştır. Sağlık verileri kişiye özeldir ve kötü niyetli üçüncü kişilerin eline geçmesi birçok soruna yol açabilir. Sağlık verilerinin korunması ile ilgili HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) standardı yayınlanmıştır. HIPAA 1996 yılında ABD’de kabul edilen bir yasa olup kısa bir süre sonra dünya standardı olarak kabul edilmiştir (www.homederma.com, 2019). Bu standart aşağıda belirtilen konularla ilgili temel kuralları belirler:
 - ✓ İdari Kurallar: Sağlık sektöründe çalışan organizasyonların uyulacak yönetmelikleri belirlemesi, saklanacak bilgilerin sınıflandırılarak kimin hangi bilgiye erişebileceğinin belirlenmesi, bu konularla ilgilenecek sorumluların atanması vb. konulardaki kurallardır.
 - ✓ Fiziksel Koruma ile İlgili Kurallar: Kişisel sağlık bilgilerinin saklandığı sistemlerin fiziksel güvenliğinin sağlanması ve denetlenmesi için gereken kurallardır.
 - ✓ Teknik Koruma ile İlgili Kurallar: Siber saldırılara karşı korunma tedbirleri, saldırıların kayıt altına alınması, kullanılacak şifreleme yöntemleri, bilgi bütünlüğünün korunması ve bilgi kaybına yol açabilecek arıza ve doğal afet gibi risklere karşı yapılması gerekenler bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Ülkemizde 24/3/2016 tarihli ve 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu’nun kabul edilmesinden sonra, Eylül 2018’de Sağlık Bakanlığı tarafından Uluslararası bir standart olan ISO 27001, Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi (ISMS)’ne uygun olarak hazırlanan Bilgi Güvenliği Politikaları Kılavuzu yayınlanmıştır. Bu kılavuzda Bakanlık ve bağlı kuruluşları ile merkez ve taşra teşkilatı için bilgi güvenliğinin sağlanmasına yönelik olarak alınması tavsiye edilen ve bu amaçla yaygın olarak kullanılan temel tedbirler açıklanmıştır (www.dosyamerkez.saglik.gov.tr, 2019).

Günümüzde teknik korumanın artırılması konusunda yoğun olarak çalışılmaktadır. Çünkü geleneksel güvenlik çözümleri güncel tehditler

karşısında yetersiz kalabilmektedir. Bu konudaki yeni çalışmalara örnek olarak sağlık verisinin depolanması ve yönetiminde Blokzinciri (Blockchain) teknolojisinin kullanılması gösterilebilir (www.endustri40.com, 2019). Ancak yine de yapılan bütün çalışmalara rağmen bilgi güvenliğinin tam olarak sağlanabildiğini söylemek mümkün değildir.

Tartışma ve Yorum

IoT uygulamaları alanında yakın gelecekte aşağıda kısmen belirtilmiş olan önemli gelişmelerin olması beklenmektedir:

- Hasta tedavi süreçlerinin yakından takibi: Dünya sağlık örgütü (WHO) tarafından yapılan bir açıklamada hipertansiyon, kanser, HIV gibi rahatsızlığı olan hastaların yarısının doktorların tedavi programlarına uymadığı vurgulanmıştır (ioturkiye.com, 2019). IoT tabanlı yeni uzaktan hasta izleme teknolojileri, doktorların bu tip hastaların tedavilerini yakından izleyerek daha uzun ve rahat bir hayat yaşayabilmelerini sağlayacaktır.
- Hasta ve tedavi bilgilerine erişim kolaylığı: Doktorlar hastalarının teşhis ve tedavi bilgilerine yer ve zamana bağlı kalmadan hızla ulaşılabilir. Bu da önemli bir zaman ve maddi tasarruf sağlayacaktır.
- Giyilebilir algılayıcı teknolojisindeki gelişmeler: IoT'nin yaygınlaşması birçok algılayıcının bir arada bulunduğu giyilebilir algılayıcı teknolojisine olan talebi arttırmaktadır. Giyilebilir algılayıcılar hastanın eve ya da hastane odasına bağlı kalmadan kendisine ait birçok biyolojik ve hayati verinin toplanmasını sağlayabilmektedir.
- Tanı koyma süreçlerinin hızlanması: Yapay zekâ uygulamalarının ve uzaktan veri toplama teknolojisinin gelişmesi doğru hastalık tanısı konulması sürecini hızlandıracak ve hata payını azaltacaktır.
- Verilerin farklı veri merkezlerinde dağılmış olması: Hasta sağlık verileri farklı veri merkezlerinde dağıtık olarak bulunmaktadır. Ülkemizde kullanılmasına başlanan e- Nabız gibi uygulamalarla verilerin merkezi bir sistemde toplanması konusunda çalışılmaya başlanmış olsa da verilerin depolanması konusunda tam bir merkezileştirme oldukça zordur. Blokzincir teknolojisi bu soruna bir çözüm getirebilir.
- Teşhis ve tedavi yöntemlerinde güvenilirlik: Yapay zekâ teknolojisi özellikle MR, tomografi, ultrason gibi cihazlardan elde edilen verilerin daha hızlı işlenmesini ve doğru bir teşhis yapılabilmesini sağlamaktadır. Örneğin, Çin Bilimleri Akademisinden araştırmacılar, yapay zekâ uygulamaları ile bilinç bozukluğu yaşayan 63 hastadan 10 binlerce görüntüyü inceleyerek bilinci geri gelebilecek ve gelemeyecek hastaları yüzde 88 oranında doğru teşhis edebilmişlerdir (www.ioturkiye.com, 2019). Bu tür uygulamaların zamanla geliştirilerek dünya çapında yaygınlaşması beklenmektedir.
- Farklı ülkelerdeki uygulamalar: Dünya üzerindeki ülkelerin sağlık alanında IoT uygulamalarını kullanmaları, o ülkenin ekonomik ve teknolojik gelişmesi ile doğrudan bağlantılıdır. Ekonomisi güçlü ve teknolojik olarak gelişmiş ülkeler sağlık alanındaki yeni teknolojilere

daha hızlı uyum sağlayabilmektedirler. Bu konuda gelişmekte olan ülkeler ise daha çok “bekle-gör politikası” izlemekte ve bazı pilot uygulamalar ile yetinmektedirler. 2016 yılında Amerikan Ticaret Bakanlığı Uluslararası Ticaret Yönetimi (ITA) tarafından yapılan araştırma sonucunda, dünya ülkeleri sağlık alanındaki IoT pazarı büyüklüklerine göre sıralanmışlardır. Bu araştırmada yatırım harcamaları ile birlikte teknolojik altyapı (sağlık, haberleşme ve bilgi sistemleri), nüfus istatistikleri, nüfusun sağlık durumu, yaşlıların yaşam kalitesi ve makroekonomik göstergeler de dikkate alınmıştır. Bu sıralamada Türkiye 52. Sırada yer almıştır (www.trade.gov, 2016).

Rank	Country	Rank	Country	Rank	Country
1	Luxembourg	35	Slovenia	69	Paraguay
2	Norway	36	Argentina	70	Maldives
3	Netherlands	37	Latvia	71	Vietnam
4	Denmark	38	Brazil	72	Thailand
5	Singapore	39	Poland	73	Nicaragua
6	Iceland	40	Russia	74	Republic of Moldova
7	Germany	41	Montenegro	75	Indonesia
8	Finland	42	Colombia	76	Ecuador
9	Japan	43	Lithuania	77	Bhutan
10	Sweden	44	Belarus	78	Honduras
11	Belgium	45	Romania	79	India
12	France	46	Bulgaria	80	Kyrgyzstan
13	Canada	47	Costa Rica	81	Guatemala
14	Switzerland	48	Dominican Republic	82	Iraq
15	United Kingdom	49	Ukraine	83	Philippines
16	Austria	50	Croatia	84	Bolivia
17	Malta	51	Jordan	85	Laos
18	New Zealand	52	Turkey	86	Afghanistan
19	Italy	53	Albania	87	Pakistan
20	Spain	54	Panama	88	Sri Lanka
21	Republic of Korea	55	Mauritius	89	Bangladesh
22	Greece	56	Serbia	90	Ghana
23	Ireland	57	Mexico	91	Tajikistan
24	Czech Republic	58	Cambodia	92	East Timor
25	Australia	59	Morocco	93	Nigeria
26	Portugal	60	Mongolia	94	Zambia
27	Uruguay	61	Peru	95	Rwanda
28	Estonia	62	Venezuela	96	Nepal
29	Chile	63	Georgia	97	Mozambique
30	Cyprus	64	China	98	Tanzania
31	Hungary	65	Armenia	99	Malawi
32	Israel	66	Bosnia-Herzegovina	100	Uganda
33	Slovakia	67	El Salvador		
34	Saudi Arabia	68	South Africa		

Şekil 7: 2016 ITA dünya sağlık IoT pazarları sıralaması
(www.trade.gov, 2016).

Sonuç ve Öneriler

IoT kullanımı gelecek yıllarda sağlık hizmetlerinde önemli değişikliklere yol açacaktır. Doktorlar hastalarla görüşme, analiz, teşhis ve tedavi adımlarında IoT teknolojilerini yoğun olarak kullanacaklardır. Hastalar daha kaliteli ve ucuz hizmet alırken sağlık personelinin iş yükünde de azalma gözlenecektir. Pazarın genişlemesi sonucunda yeni üreticiler ortaya çıkacak ve kullanılan IoT cihazlarının fiyatları düşecektir. IoT'nin sağlık alanında getirmekte olduğu yenilikler aşağıda belirtilmiştir (www.becominghuman.ai, 2019):

- ✓ Sağlık harcamalarında azalma,
- ✓ Teşhiste yapılan hataların azaltılması,
- ✓ Hastalıkların tedavisinde daha etkili yöntemlerin geliştirilmesi,
- ✓ Sağlık alanındaki kaynakların daha verimli kullanılması,
- ✓ Sağlık personeli üzerindeki iş yükünün azalması,
- ✓ Hastaların iyileşme oranlarında artış ve artan yaşam kalitesi,
- ✓ İlaç yönetiminin iyileştirilmesi,
- ✓ Sağlık sigortası servislerine doğru ve hızlı bilgi aktarımı.

Sağlık sektöründe IoT uygulamalarında güvenlik ve mahremiyet biyometrik uygulamalar ve blokzincir teknolojisinin geliştirilmesi ile daha üst seviyede sağlanabilecektir.

Kaynakça

1. AlRasheed, A., Atkins, A.S., and Campion, R. (2018). "Developing A Guideline for Hospital Tracking and Monitoring Systems Evaluation". *Proceedings of the 2018 International Conference on Computers in Management and Business*, 74-78.
2. Castillo, A. and Thierer A. (2015). "Projecting the Growth and Economic Impact of the Internet of Things". *George Mason University - Mercatus Center*.
3. Ercan, T. ve Kutay M. (2016). "Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları". *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 599-607.
4. Fox, G. and Connolly, R. (2018). "Mobile Health Technology Adoption Across Generations: Narrowing the Digital Divide". *Information Systems Journal*, 28, 995-1019.
5. Jangra, P., ve Gupta, M. (2018). "A Design of Real-Time Multilayered Smart Healthcare Monitoring Framework using IoT". *International Conference on Intelligent and Advanced Systems*.
6. Kaul, H. and Kumari, V. (2018). "Predictive Modelling and Analytics for Diabetes Using a Machine Learning Approach". *Applied Computing and Informatics, Open Access*.
7. Kaur, L. and Goudar, H. (2016). "Internet of Things and Big Data-Challenges". *International Conference on Green Engineering and Technologies*.
8. Mettler, M. (2016). "Blockchain Technology in Healthcare: The Revolution Starts Here". *International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*.
9. Pinto, S., Cabral, J., Gomes T. (2017). "We-Care: An IoT-based Health Care System for Elderly People". *International Conference on Industrial Technology*, 1378-1383.
10. Rueda, A., and Krishnan, S. (2017). "Feature Analysis of Dysphonia Speech for Monitoring Parkinson's Disease". *International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*, 2308-2311.
11. Salama, D. (2018). "Smart Life Saver System for Alzheimer Patients, Down Syndromes, and Child Missing Using IoT". *Asian Journal of Applied Sciences*, 6(1), 20-37.
12. Segato, F. and Masella, C. (2017). "Telemedicine Services: How to Make Them Last Overtime". *Health Policy and Technology*, 6, 268-278.
13. Shahid, N. and Aneja, S. (2017). "Internet of Things: Vision, Application Areas and Research Challenges". *International conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud*.
14. Thakar, A. and Pandya S. (2017). "Survey of IoT Enables Healthcare Devices". *International Conference on Computing Methodologies and Communication*.
15. Türkiye Halk Sağlığı ve Kronik Hastalıklar Enstitüsü, <https://www.tuseb.gov.tr/tuhke/makaleler/bulasici-olmayan-hastaliklar-nelerdir>, erişim tarihi (14/04/2019).
16. <https://becominghuman.ai/iot-is-the-future-of-healthcare-its-cheap-advanced-and-universal-610804fe055f>, erişim tarihi (23/04/2019).
17. <https://breathe.ersjournals.com/content/13/2/e27>, erişim tarihi (18/04/2019).
18. <https://dosyamerkez.saglik.gov.tr/Eklenti/25755,bilgi-guvenligi-politikalari-kilavuzu-ekler-haricpdf.pdf?0>, erişim tarihi (20/04/2019).
19. <https://www.endustri40.com/saglik-hizmetleri-icin-5-iot-cozumu/>, erişim tarihi (21/04/2019).
20. <https://www.homederma.com/hipaa.php>, erişim tarihi (19/04/2019).

21. <https://www.internetofthingsagenda.techtarget.com/tip/Value-of-healthcare-IoT-devices-resides-in-data-collection>, erişim tarihi (15/04/2019).
22. <https://ioturkiye.com/2017/09/internet-of-things-milyonlarca-hayat-kurtarmaya-geliyor/>, erişim tarihi (21/04/2019).
23. <https://ioturkiye.com/2018/10/yapay-zeka-beyin-hasarlarini-tanimlayacak/>, erişim tarihi (22/04/2019).
24. <https://www.preventicesolutions.com/technologies/body-guardian-heart.html>, erişim tarihi (15/04/2019).
25. <https://synapse.koreamed.org/DOLx.php?id=10.4258/hir.2016.22.3.156>, erişim tarihi (16/04/ 2019).
26. https://www.trade.gov/topmarkets/pdf/Health_IT_Top_Markets_Report.pdf, erişim tarihi (23/04/ 2019).
27. <https://www.varinsights.com/doc/the-internet-things-its-quest-cut-healthcare-costs-0001>, erişim tarihi (14/04/2019).
28. <https://www.verywellhealth.com/sources-of-big-data-in-health-care-1739184>, erişim tarihi (18/04/ 2019).
29. <https://www.x10y.com/cts-med-man>, erişim tarihi (19/04/ 2019).

TEK DİŞ İMPLANT ÜSTÜ KRONLARIN STRES DAĞILIMI: BİR SONLU ELEMANLAR ÇALIŞMASI

Mehmet Sami GULER¹



¹ Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami Güler. Ordu Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü ORDU.

GİRİŞ

Geçmişten günümüze pek çok farklı materyal kullanılarak eksik veya kaybedilen dişlerin yerini alabilecek tedavi alternatiflerinin üretilmesine çalışılmıştır. Günümüzde gittikçe artan tercih oranı ile implant uygulamaları, özellikle tek diş eksikliklerinde bir tedavi alternatifi olarak popülerlik kazanmıştır. Bununla birlikte implantlarda doğal diştan farklı olarak periodontal ligament yoktur ve implantlar kemik ile doğrudan temas halindedirler. Buna bağlı olarak implantlar doğal diştan farklı biyomekanik davranışlar sergilerler (1).

İmplant tarafından karşılanan oklüzal yükler direkt olarak kemiğe aktarılır ve bu kuvvetlerin kemikte daha fazla tahribat oluşturmaları beklenmektedir (2, 3). Bu nedenle implanta gelen kuvvetin miktarı, kemik dokuya iletimi ve stresin kemikteki dağılımını değerlendirmek önemli bir konudur. İmplant ve periferik kemik arasındaki stres transferi implant veya restoratif kuronun tasarımı, materyalin özellikleri ve gelen kuvvet gibi bazı faktörlerden etkilenmektedir (4, 5).

Sonlu elemanlar analizi; diş materyalleri, dişler ve implantların mekanik davranışlarını değerlendirmek için kullanılabilen bir analiz yöntemidir. Bu analiz, biyomekanik problemleri küçük parçalara bölerek çözer ve bilgisayar destekli tasarım modellerinde stres ve gerilmeleri hesaplayan cebir tabanlı bir simülasyon tekniğidir.

Günümüz diş hekimliğinde bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) sistemi geniş kullanım alanı bulmaktadır. CAD/CAM sistemi laboratuvar basamaklarını ortadan kaldırmaktadır. Bu sistem ile hazırlanan restorasyonlar, tek seansta hasta ağzına uygulanabilmektedir. Ayrıca üretim basamaklarının ve üretim hatalarının azalması sayesinde CAD/CAM sistemler ile tedavi ekonomiktir, tabaka kalınlığı ve siman aralığı gibi parametreler kontrol edilebilmektedir, bitim sınırı μm düzeyinde belirlenerek klinik olarak kabul edilebilirliği yüksek uyuma sahip hassas restorasyonlar elde edilebilir ve dijital arşivlemeye olanak vermektedir (6, 7). CAD/CAM sisteminde kullanılmak üzere özel olarak geliştirilen farklı içeriklerdeki bloklar sayesinde, çeşitli mekanik ve estetik özelliklere sahip porözite içermeyen materyaller restorasyonlarda kullanılabilir (8).

Rezin esaslı restoratif materyaller hem implant hem de kemik üzerindeki stresleri azaltabilir (1, 9). Yeni geliştirilen CAD_CAM materyalleri ile çiğneme kuvvetleri daha iyi absorbe edilerek üst yapının alt yapıdan ayrılması ve kırılmalar önenebilir (1, 10, 11). Yapılan literatür taramasında CAD/CAM restoratif bloklardan yapılan tek diş implant üstü kron uygulamalarında sonlu elemanlar analizi kullanılarak stres dağılımının değerlendirildiği sınırlı çalışmaya rastlanmıştır (1, 12). Bu çalışmanın amacı mandibular molar bölgede farklı CAD/CAM restoratif bloklarından yapılan tek diş implant üstü kronlarda stres dağılımını sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmektir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamızda stres dağılımı üzerinde implant, abutment ve yapıştırıcı simandan kaynaklanan etkileri göz ardı edebilmek için tek tip implant, abutment ve yapıştırıcı siman kullanılmıştır. İnsan mandibular çene kemiği, dental implant ve abutmentin üç boyutlu modelinin oluşturulması için, bilgisayarlı tomografiden orijinal DICOM verileri bir yazılım programına (Mimics 9.0; Materialise, Leuven, Belgium) aktarılmıştır. Çalışmada kullanılan implant (Nobel Active, Kolten, Swisse) üzerine mandibular birinci molar diş morfolojisinde kron tasarlanmıştır. Bu amaçla ilgili dişin bukkal, lingual, mesial, distal ve oklüzal görüntüleri ve dış boyutları Wheeler Diş Anatomisi Atlası'ndan alınmıştır (13). Bir bilgisayar destekli tasarım programı (Solidworks 2015; Dassault Systèmes Solidworks Corp) yardımıyla, geometri basitleştirilmiş ve tasarım geliştirilmiştir (Resim 1). İmplant mandibular çene kemiği üzerinde molar bölgede uygun pozisyonda yerleştirilmiştir. Hazırlanan kron abutment üzerine anatomisine uygun olacak şekilde yerleştirilmiştir (Resim 2).

Matematiksel modellerin, analiz programında çalışabilmesi ve sonuçların doğru olarak elde edilebilmesi için, sistem elemanlarının programa tanıtılması gerekmektedir. Çalışmamızda kortikal kemik, spongios kemik, titanyum implant ve abutment ile farklı estetik monolitik kronlar kullanılmıştır. Ağız mukozasının elastiklik modülü ve poisson oranının çok düşük değerlerde olması nedeniyle mukoza modellere dahil edilmemiştir. Simantasyon için tek tip yapıştırıcı siman (dual kür rezin siman) 50 µm kalınlığında uygulanmıştır. 3 farklı CAD/CAM restoratif blok materyalinin (transluzent zirkonya, lityum dislikat ile güçlendirilmiş cam seramik, lityum slika ve zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramik) mekanik özellikleri kullanılarak toplam 3 çalışma modeli oluşturulmuştur. Modelleri oluşturan yapıların her birine, fiziksel özelliklerini tanımlayan materyal değerleri (elastiklik modülü ve poisson oranı) üretici firma ve yayınlanmış çalışmalardan elde edilerek verilmiştir ve bu değerler Tablo 1'de sunulmuştur (1, 14-17).

Çalışmamızda incelediğimiz tüm modellerde, kortikal kemik ile spongios kemiğin kendi iç özelliklerine uygun olarak yük aktarımı yaptıkları ve birlikte çalıştıkları kabul edilmiştir. Aynı şekilde, implant ile kemik yapısı, implant ile abutment ve abutment ile restoratif kron arasındaki bağlantı, basıncı kesintisiz olarak iletecek şekilde sağlanmıştır. İmplantların mandibulaya %100 osseointegre olduğu varsayılmıştır. Modeller, matematiksel çözümler için ANSYS Workbench v13.0 (Swanson ANSYS Inc., Houston, PA, USA) programına aktarılmıştır. Meşleme program tarafından otomatik olarak yapılmıştır (Resim 3). Her bir model için 314368 eleman ve 458429 düğüm kullanılmıştır. Tüm modeller lineer, homojen ve izotropik materyaller olarak kabul edilmiştir.

Çalışmamızda kullandığımız modeller kemiğin alt ve yan taraflarından sıfır harekete sahip olacak şekilde sabitlenmiştir. Yükleme için her bir modelde kronun oklüzal tablasının santral fossasından 300 N'luk kuvvet dik

yönde uygulanmıştır. Krona meydana gelen Von Mises stresleri analiz edilmiştir.

BULGULAR

Çalışmamızda oluşturulan 3 modelde de krona meydana gelen von Mises stresleri değerlendirilmiştir. Tüm modellerde stres dağılımı kuvvetin uygulandığı alanda dağılım göstermiştir. Maksimum von Mises stres dağılımı Tablo 2’de sunulmuştur. Resim 4-6’da tüm modellerde stres dağılımı görülmektedir. En düşük von Mises değeri Model 1’de (680,61 MPa), en yüksek von Mises değeri ise Model 2’de (706,53 MPa) elde edilmiştir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada üç farklı CAD/CAM restoratif bloktan yapılan tek diş implant üstü kronların von Mises stres dağılımı değerlendirilmiştir.

Sonlu elamanlar analizi kullanılarak diş, restoratif materyal, yapıştırıcı siman, implant veya kemikte meydana gelen stres dağılımları incelenebilir. Bu yöntem günümüzde güvenilirliği ve doğruluğu nedeniyle biyomekanik uygulamalar için çok sağlam bir araç haline gelmiştir. Sonlu elamanlar analizi diş hekimliğinde özellikle deneysel yaklaşımın yeterli bilgi sağlayamadığı durumlarda kullanılmaktadır (18,19). Klinik olarak test edilmesi zor olan durumları bu teknik yardımı ile simülasyon yaparak değerlendirmek oldukça kolay, daha az zaman alıcı ve ekonomiktir. Ancak bu tekniğin bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar; verilerin bir kullanıcı tarafından girilmesi gerektiği için kullanıcı hatasına açıktır, kullanılan bilgisayar programında sistemin kapasitesi analizin doğruluğunu ve güvenliğini belirler (18-21).

Stern ve ark. (22), molar bölgede oklüzal kuvveti 130-395 N olarak bildirmiştir. Stern ve Zarb (23) ise maksimum ısırma kuvvetini bu bölgede yaklaşık olarak 275 N olarak belirtmiştir. Ferrario ve ark. (24), çalışmalarında yine bu bölgedeki ısırma kuvvetini bayanlarda ortalama 235 N, erkeklerde ise 306 N olduğunu belirtmiştir. Tüm bunlar dikkate alınarak çalışmamızda maksimum ısırma kuvvetini simüle edebilmek için 300 N’luk dik kuvvet kronun santral fossasına uygulanmıştır.

CAD/CAM sistemindeki gelişmelere paralel olarak üretilen bloklar sayesinde, farklı mekanik ve estetik özelliklere sahip materyaller kullanılabilir. CAD/CAM sisteminde ilk kez kullanılan materyal feldspatik bloklardır. Bu materyalin anterior ve posterior tam kron restorasyonlarında endikasyonu olmakla birlikte kırılma dayanımı 150 MPa’dır. Seramik içine lösit kristalleri eklenerek kırılma dayanımı 160 MPa’ya çıkarılmıştır. Lityum disilikat kristalleri ile güçlendirilen cam seramikler sayesinde, materyalin kırılma dayanımı 360 MPa’ya yükseltilmiştir (25-27).

Monolitik zirkonyanın içeriğine katılan ürünler sayesinde geleneksel zirkonyaya göre translusent özelliği artırılmıştır. Monolitik zirkonya tam-ark

restorasyonlarda, posterior kronlarda ve anterior sabit bölümlü protezlerde kullanılabilir (28). Yapılan bir çalışmada monolitik zirkonya kronların; monolitik lityum disilikat, tabakalı zirkonya ve metal seramik kronlara göre daha yüksek kırılma dayanımına sahip olduğu, 1 mm kalınlığındaki monolitik zirkonya kronların kırılma direncinin metal seramik kronlar ile eşit değerlerde olabileceği belirtilmiştir (29). Çalışmamızda da translusent (monolitik) zirkonya, molar bölgede tek diş implant üstü kron olarak Model 1'de kullanılmıştır. Yapılan stres analizi değerlendirmesinde en düşük von Mises stres değeri bu kronda tespit edilmiştir.

Lityum disilikat ile güçlendirilmiş cam seramikler tam seramik restorasyonların kullanım alanını genişletebilmek ve onların köprü yapımında da kullanımını sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. IPS e.max sistemi, ince veneerler, parsiyel kuronlar, anterior ve posterior kuronlar, 3 üyeli anterior köprüler, destek diş olarak ikinci premolara kadar uzanan 3 üyeli köprüler, anterior ve posterior bölgelerde implant üstü tek kuronlar, ikinci premolara kadar uzanan implant üstü 3 üyeli köprüler ve teleskop kuronlarda kullanılabilmektedir. Çalışmamızda da lityum disilikat ile güçlendirilmiş cam seramik, molar bölgede tek diş implant üstü kron olarak Model 2'de kullanılmıştır. Yapılan stres analizi değerlendirmesinde en yüksek von Mises stres değeri bu kronda tespit edilmiştir.

Lityum siliyat ve zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramikler; cam seramiğin optik özellikleri ve zirkonyanın olumlu mekanik özelliklerini birleştiren bir materyaldir. Yapısındaki zirkonya partikülleri sayesinde oldukça dayanıklıdır (30). Yapılan bir çalışmada frezelemeden sonra kırılma direnci 210 MPa iken kristalleşme sonrası kırılma direncinin 420 MPa'a ulaştığı bildirilmiştir (31). Çalışmamızda da lityum siliyat ve zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramik, molar bölgede tek diş implant üstü kron olarak Model 3'de kullanılmıştır. Yapılan stres analizi değerlendirmesinde bu kronda von Mises streslerinin Model 1'den yüksek, Model 2'den ise düşük değer sergilediği tespit edilmiştir.

Cam seramik kronların kırılma direncini artırmak için simantasyon işleminde geleneksel simanlar yerine rezin simanların kullanılması gerektiği bildirilmiştir (32). Çalışmamızda da bu sebeple bir dual kür rezin siman kullanılmıştır. Ayrıca, siman kalınlığı ve tipi ile ilgili sonuçları etkileyen bir durum olmaması adına bir standardizasyon yapılmış ve tek tip siman 50 µm kalınlığında kullanılmıştır.

CAD/CAM restoratif bloklardan yapılan tek diş implant üstü kron uygulamalarında sonlu elemanlar analizi kullanılarak stres dağılımının değerlendirildiği sınırlı çalışmaya rastlanmıştır (1, 12). Kaleli ve ark. (1) implant ve periferik kemikteki stres dağılımı üzerinde farklı restoratif kronların ve farklı abutmentin etkisini incelemişler; oblik kuvvetlerin implant, restoratif kron ve kortikal kemikte daha yüksek streslere neden olduğunu, restorasyon ve abutmentlerdeki farklı materyallerin implant ve periferik kemikteki stresleri etkilemediğini belirtmişlerdir. Akca ve ark. (12) tek diş implant üstü kronlarda farklı CAD/CAM monoseramik kronların (alüminosilikat ve lösit cam seramikler) stres dağılımını değerlendirmişler; en

yüksek sıkıştırma streslerinin bukkal servikal bölgede, gerilme streslerinin ise lingualde collar bölgede tespit edildiğini bildirmişlerdir. Duan ve Griggs (33) lityum dislikat seramik ve rezin nanoseramik kronların stres dağılımını karşılaştırmışlar ve rezin nanoseramik kronların dik kuvvetler altında daha düşük stres değerleri sergilediğini rapor etmişlerdir. Çalışmamızda da lityum dislikat ile güçlendirilmiş cam seramik hem translusent (monolitik) zirkonyadan hem de lityum slika ve zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramikten daha yüksek stres değerleri sergilemiştir.

Çalışmamızın sınırları dahilinde, sadece 3 farklı CAD/CAM restoratif bloktan yapılan tek diş implant üstü kronun stres dağılımı değerlendirilmiştir. İmplant ve periferik kemik arasındaki stres transferi implant veya restoratif kronun tasarımı, materyalin özellikleri ve gelen kuvvet gibi bazı faktörlerden etkilendiği için implant, abutment ve periferik kemikte meydana gelen streslerin değerlendirileceği ilave çalışmalar yapılmalıdır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

Materyaller	Elastiklik Modülü (GPa)	Poisson Oranı
Kortikal kemik	13,7	0,30
Spongios kemik	1,37	0,30
Titanyum implant	110	0,35
Titanyum abutment	110	0,35
Yapıştırıcı siman (Panavia F 2.0; Kuraray Medical Inc)	18,6	0,28
Transludent (monolitik) zirkonya (InCoris TZI, Dentsply, Sirona)	210	0,26
Lityum dislikat ile güçlendirilmiş cam seramik (Ips e.max CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	95	0,20
Lityum slika ve zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramik (Vita Suprinity, Vita Zahnfabrik)	65,6	0,23

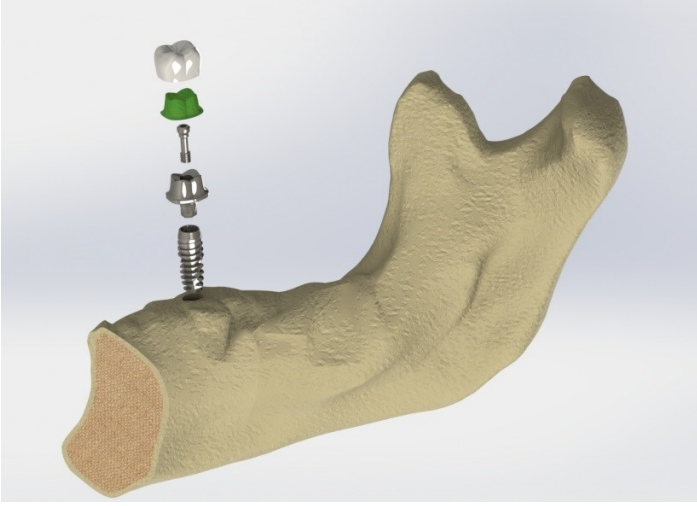
Tablo 2. Maksimum von Mises stres dağılımı

Çalışma Grupları	Maksimum Von Mises Stres Değerleri (MPa)
Model 1	680,61
Model 2	706,53
Model 3	698,45

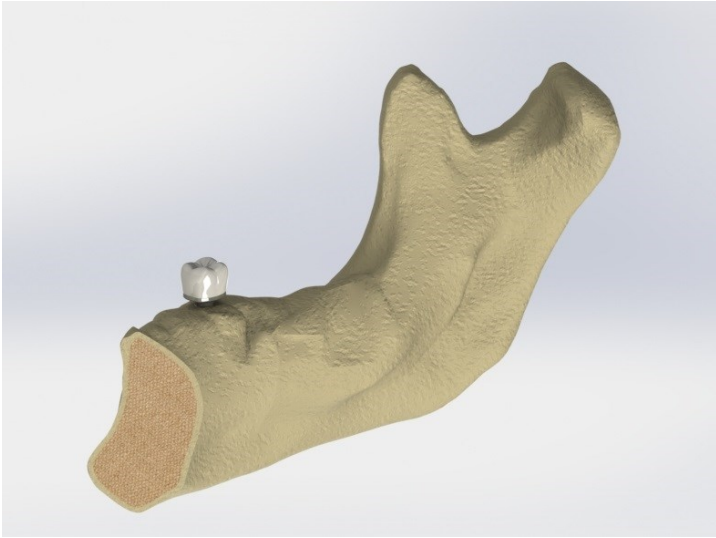
Model 1: Transludent (monolitik) zirkonya

Model 2: Lityum dislikat ile güçlendirilmiş cam seramik

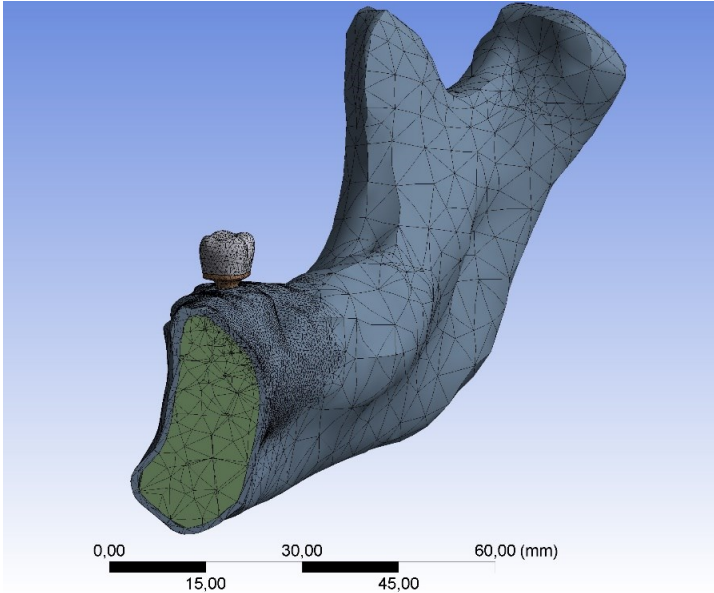
Model 3: Lityum slika ve zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramik



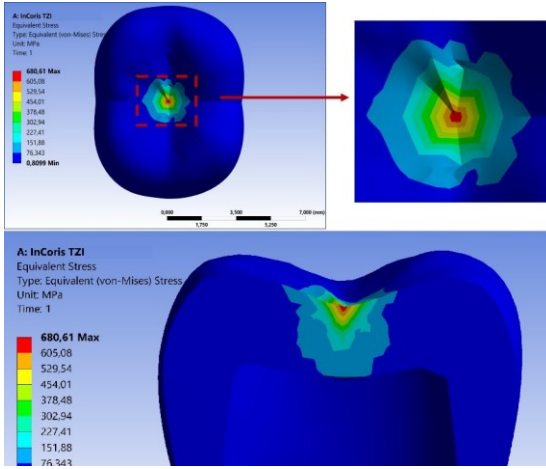
Resim 1: Çene kemiği, implant, abutment, siman ve kronun Solidworks 2015 programı ile üç boyutlu hale getirilmesi.



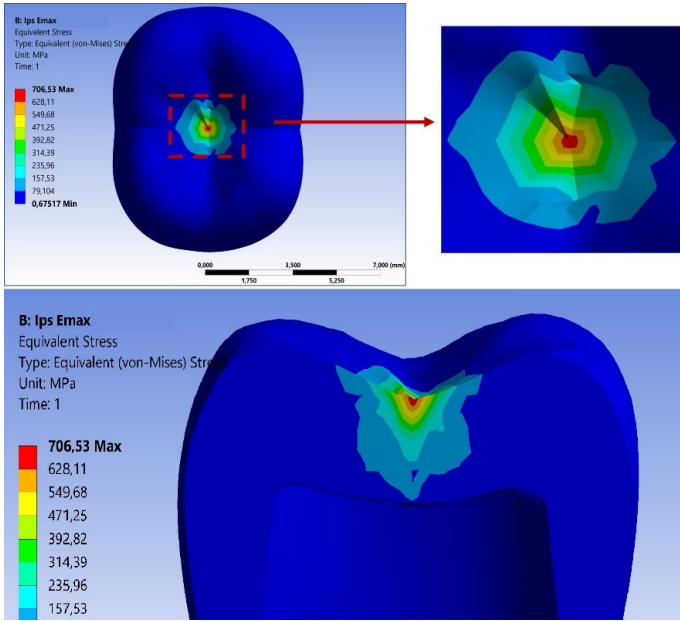
Resim 2: Çene kemiği üzerinde implant, abutment ve kronun uygun pozisyonda yerleştirilmesi.



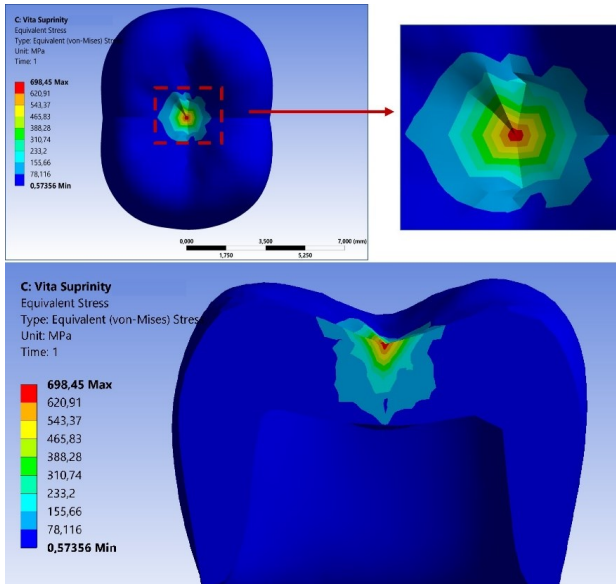
Resim 3: ANSYS Workbench v13.0 programı ile üç boyutlu modelin meşlenmesi.



Resim 4: Model 1'de [Translucent (monolitik) zirkonya] von Mises stres dağılımı



Resim 5: Model 2’de (lityum dislikat ile güçlendirilmiş cam seramik) von Mises stres dağılımı



Resim 6: Model 3’de (lityum slika ve zirkonya ile güçlendirilmiş cam seramik) von Mises stres dağılımı

KAYNAKLAR

1. KALELİ, N. SARAC, D. KÜLÜNK, S. ÖZTÜRK, Ö. (2018), Effect of different restorative crown and customized abutment materials on stress distribution in single implants and peripheral bone: A three-dimensional finite element analysis study, *J Prosthet Dent*, 119(3),437-445.
2. ISHIGAKI, S. NAKANO, T. YAMADA, S. NAKAMURA, T. TAKASHIMA, F. (2003), Biomechanical stress in bone surrounding an implant under simulated chewing, *Clin Oral Implants Res*,14(1),97-102.
3. PESQUEIRA, A.A. GOIATO, M.C. FILHO, H.G. MONTEIRO, D.R. SANTOS, D.M. HADDAD, M.F. PELLIZZER, E.P. (2014), Use of stress analysis methods to evaluate the biomechanics of oral rehabilitation with implants, *J Oral Implantol*, 40(2),217-28.
4. DE FÁRIA ALMEIDA, D.A. PELLIZZER, E.P. VERRI, F.R. SANTIAGO, J.F. J.R. DE CARVALHO, P.S.P. (2014), Influence of tapered and external hexagon connections on bone stresses around tilted dental implants: three-dimensional finite element method with statistical analysis, *J Periodontol*, 85(2),261-9.
5. MAGNE, P. SILVA, M., ODERICH, E. BOFF, L.L. ENCISO, R. (2013), Damping behavior of implant-supported restorations, *Clin Oral Implan Res*, 24(2),143-8.
6. MEHL, A. HICKEL, R. (1999), Current state of development and perspectives of machine-based production methods for dental restorations, *Int J Comput Dent* 2(1),9-35.
7. MÖORMANN, W. BINDLE, A. (2002). All-ceramic chair-side computer-aided design/computer-aided machining restorations, *Dent Clin North Am*, 46(2),405-26.
8. BEUER, F. SCHWEIGER, J. EDELHOFF, D. (2010), *CAD/CAM in dentistry: New Materials and Technologies*.
9. SKALAK, R. (1983), Biomechanical considerations in osseointegrated prostheses, *J Prosthet Dent*, 49(6),843-8.
10. SCHEPKE, U. MEIJER, H.J.A. VERMEULEN, K.M. RAGHOEBAR, G.M. CUNE, M.S. (2016), Clinical bonding of resin nano ceramic restorations to zirconia abutments: a case series within a randomized clinical trial, *Clin Implant Dent Relat Res*, 18(5),984-92.
11. AWADA, A. NATHANSON, D. (2015), Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials, *J Prosthet Dent*, 114(4),587-93.
12. AKCA, K. CAVUSOGLU, Y. SAGIRKAYA, E. AYBAR, B. CEHRELİ, M.C. (2013), CAD/CAM glass ceramics for single-tooth implant crowns: a finite element analysis. *Implant Dent*, 22(6):623-6.
13. WHEELER, R.C. ASH, M.M. (1984). *Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion*. (6. Baskı). Michigan: W.B. Saunders Co.
14. RAMOS NDE, C. CAMPOS, T.M. PAZ, I.S. MACHADO, J.P. BOTTINO, M.A. CESAR, P.F. MELO, R.M. (2016), Microstructure characterization and SCG of newly engineered dental ceramics, *Dent Mater*, 32(7),870-8.
15. SEVIMAY, M. TURHAN, F. KILICASLAN, M.A. ESKITASIOGLU, G. (2005), Three-dimensional finite element analysis of the different bone quality on stress distribution in an implant-supported crown, *J Prosthet Dent*, 93(3),227-34.
16. SCHMITTER, M. MUELLER, D. RUES, S. (2012), Chipping behavior of all-ceramic crowns with zirconia framework and CAD/CAM manufactured veneer, *J Dent* 40(2),154-62.
17. ZARONE, F. SORRENTINO, R. APICELLA, D. VALENTINO, B. FERRARI, M. AVERSA, R. APICELLA, A. (2006), Evaluation of the biomechanical behavior of maxillary central incisors restored by means of endocrowns compared to a natural tooth: A 3D static linear finite element analysis, *Dent Mater*, 22(11),1035,44.

18. GULER, M.S. GULER, C. CAKICI, F. CAKICI, E.B. SEN, S. (2016), Finite element analysis of thermal stress distribution in different restorative materials used in class V cavities. *Niger J Clin Pract*, 19(1),30-4.
19. YAMAN, S.D. SAHIN, M., AYDIN, C. (2003), Finite element analysis of strength characteristics of various resin based restorative materials in Class V cavities. *J Oral Rehabil*, 30(6),630-41.
20. AUSIELLO, P. APICELLA, A. DAVIDSON, C.L. RENGU, S. (2001), 3D-finite element analyses of cusp movements in a human upper premolar, restored with adhesive resin-based composites, *J Biomech*, 34(10),1269-77.
21. ER, O. YAMAN, S.D. HASAN, M. (2007), Finite element analysis of the effects of thermal obturation in maxillary canine teeth, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 104(2),277-86.
22. STERN, M.R. ASSAL, P. MERICKSKE, E. BURGİN, W. (1995), Occlusal force and oral sensibility measured in partially edentulous patients with ITI implants, *Int J Oral Maxillofac. Implants*, 10(3),345-349.
23. STERN, M.R. ZARB, G.A. (1996), In vivo measurements of some functional aspects with mandibular fixed prostheses supported by implants, *Clin Oral Imp Res*, 7(2),153-161.
24. FERRARIO, C. SFORZA, G. SERRAO, C. DELLAVIA, G.M. (2004), Single tooth bite forces in healthy young adults, *J Oral Rehabil*, 31(1),18-22.
25. ERTURK, B.K. (2016), Aşırı Kron Harabiyeti Olan Kanal Tedavili Dişlerde CAD/CAM İle Endokron Uygulamaları: Olgu Serisi. *Atatürk Üniv Dış Hek Fak Derg.* 14, 56-65.
26. FASBINDER, D.J. (2010), Materials for chairside CAD/CAM restorations, *Compend Contin Educ Dent*, 31(9),702-4, 706, 708-9.
27. KARATASLI, B. BULTAN, O. OZER, Y. (2015), Dental CAD/CAM materyalleri, *Türkiye Klinikleri J Prosthodont-Special Topics*, 1(1),1-7
28. ZHANG, Y. (2014), Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater*, 30(10), 1195-203.
29. SUN, T. ZHOU, S. LAI, R. LIU, R. MA, S. ZHOU, Z. LONGQUAN, S. (2014), Load-bearing capacity and the recommended thickness of dental monolithic zirconia single crowns. *J Mech Behav Biomed Mater*, 35, 93-101.
30. KRUGER, S. DEUBENER, J. RITZBERGER, C. HOLLAND, W. (2013), Nucleation kinetics of lithium metasilicate in ZrO₂-bearing lithium disilicate glasses for dental application, *International Journal of Applied Glass Science*, 4(1), 9-19.
31. GUTH, J.F. ZUCH, T. ZWINGE, S. ENGELS, J. STIMMELMAYR, M. EDELHOFF, D. (2013), Optical properties of manually and CAD/CAM-fabricated polymers, *Dent Mater J*, 32(6), 865-871.
32. CONRAD, H.J. SEONG, W.J. PESUN, I.J.(2007), Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J Prosthet Dent* 98(5), 389-404.
33. DUAN, Y. GRIGGS, J.A. (2015), Effect of elasticity on stress distribution in CAD/CAM dental crowns: Glass ceramic vs. polymer-matrix composite. *J Dent* 43(6), 742-9.

OFİS ÜRÜNLERİ SATAN BİR E-PERAKENDE SİTESİNİN SATIŞ VE TESLİM PERFORMANSININ ÖZDÜZENLEYİCİ HARİTALAR İLE ANALİZİ

Metin ÖZŞAHİN ¹

Oya H. YÜREGİR ²



¹ Dr. Öğretim Üyesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi.

² Doç. Dr. Öğretim Üyesi, Çukurova Üniversitesi.

1. GİRİŞ

Günümüzden yaklaşık 25 yıl önce Amazon.com ile başlatılan E-ticaret, geleneksel ticaretin yerini büyük oranda almaktadır. Başlangıç evresi oldukça sıkıntılı olan E-ticaret aslında Elektronik iş başlığı altında yer bulan ve bu iş türünün en önemli temsilcilerinden biri olan bir iş modelidir. Her ne kadar E-ticaret ve E-iş eş anlamlı olarak kullanılsa da, e-iş bir organizasyonun iç süreçlerindeki işleyiş ile ilgili işlemlerin yönetimidir. Chaffey(2004)'e göre e-ticaret, e-iş'in bir alt kümesi olarak değerlendirilmelidir.

İşletmelerin temel amaçları elde edilen malzeme ya da temin edilen ürünlerin üzerine belirli katma değerler yaratarak müşteriye ulaştırılmasıdır. Bir firmanın yarattığı değer onun iş modelinin kalbinde yer almaktadır. Bir değer yaratma; müşteri ihtiyaçlarını karşılamada bir firmanın ürünleri ve hizmetleri nasıl ulaştırdığının açıklanmasıdır (Kambil ve Diğerkleri, 1998).

Perakende bir ürünün satış zincirinde en son tüketici ile buluştuğu noktadır. B2C yani e-perakende olarak değerlendirilen bu e-iş modelinde firmadan tüketiciye direk satışın gerçekleştirildiği bir e-ticaret modelidir. Dünyada yer alan e-iş modellerinin büyük bir çoğunluğunu E-perakende yani B2C iş modeli ile çalışan web siteleri oluşturmaktadır.

Perakende e-ticareti geniş düzeyde ürün ve hizmeti içinde barındıran e-ticaret yöntemidir. 2000 yılında online satışların %27.2'sini oluşturmaktadır (Bakos, 2001).

E-Perakende yapısının anlaşılması ve geleceğe yönelik öngörülerde bulunulması; bu organizasyon yapısının içerisinde işleyiş yapısının iyi modellenmesi ile mümkündür. Bir müşterinin siteyi ziyaret ederek etkileşimde bulunması ile başlayan süreç satışa dönüşmesi, ardından tesliminin sağlanması ile son bulmaktadır. Bu süreçte başarının ölçülmesi ve sorunlu noktaların tespit edilmesi diğer firmalara önemli rehberlikler sağlayacaktır. Bu maksatla ofis ürünleri satarak Türkiye'de başarıyı yakalamış bir e-perakende sitesinin homojen 50 farklı ürünü seçilerek 2014 ve 2015 tarihleri arasında 13 aylık bir süreçte gerçekleştirdiği satışlar ve teslim bilgileri kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde E-ticaret geniş bir araştırma alanına sahiptir. Bu nedenle çok sayıda çalışmanın gerçekleştirildiği görülmektedir. Özellikle site performansının analiz edilmesi, başarısının nasıl arttırılacağına araştırılması ve çeşitli uygulamalar ile e-ticaret süreçlerinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. İyileşmenin sağlanabilmesi için e-ticaret sitelerinin neden başarısız olduklarının araştırılması da önemli noktalardan biri olmuştur.

Lee (2004) çalışmasında; E-ticaretin, işletmelerin iş yapma şekillerini değiştirdiğini ancak dijital bir ekonomi yaratmanın ve de kurmanın en iyi yolu nedir probleminin tüm işletmeler için sorun olduğunu belirtmiştir. Lee (2004)'e göre bazı işletmeler tüm işlerini olduğu gibi çevrimiçi mağazalara aktarmakta ve ayrı bir iş kolu olarak bu dijital ekonomiyi kullanmaktadırlar,

bazıları da genellikle bu işe önceden girmiş işletmeler ile birleşme veya ortaklık yoluna gitmektedir.

Abbasi ve arkadaşları (2011)'na göre internet üzerinden satış yapan firmaların başarılı olabilmesi için; ekonomik, sosyal, fiziksel-mantıksal, yönetim ve endüstriyel alanlarda güven problemini aşmaları gerektiğini belirtmişlerdir.

Applegate ve arkadaşları(1996) elektronik ticaretin sadece satınalma ve satış süreçlerinden çok daha fazlası olduğunu ve odak noktası; sadece satış öncesi ve satış sonrası çabalar ile ilgilenmek değil aynı zamanda bu iki süreç arasındaki tüm dinamizm olduğunu vurgulamışlardır. Sürecin içerisinde yer alan bu aktivitelerin ise; pazar araştırmaları için yeni bir sonuç, kalifiye satış personellerine duyulan gereksinim, reklam, halkla ilişkiler, müşteri desteği, ürün satınalma ve dağıtım, bilgi geliştirme ve finansal hareketler olduğunu belirtmişlerdir.

Cao ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmalarında bir B2C e-ticaret sitesinin kalitesini gösteren özellikleri belirlemek istemişlerdir. Yazarlar site kalitesini system kalitesi, bilgi kalitesi, hizmet kalitesi ve etkililik faktörlerine göre değerlendirmişlerdir. Yazarlar site tasarımının B2C başarısında oldukça önemli olduğu sonucuna varmışlardır.

Lin ve Fu (2012) ise yurtdışı seyahat acenetelerinin kurmuş olduğu B2C e-ticaret siteleri için kritik başarı faktörlerini belirlemek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışma sonucunda ürün bilgisi, satınalma süreci, fiyatlandırma politikalarını iyi bir şekilde yöneten işletmelerin başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Bu nedenle bu değişkenlerin kritik olduğunu vurgulamışlardır.

Literatürde azda olsa B2C ve özdüzenleyici haritalar ile ilgili çalışmalara rastlamak mümkündür. Bu çalışmalardan birinde; Makkoken ve Frank (2018) çevrimiçi mağazalardaki satış eğilimlerini belirlemek için özdüzenleyici haritalar yönteminden faydalanmıştır. Çalışmalarında 390 online mağazadan veri toplayan yazarlar satış trendlerini dört eşit kategoriye bölmüşlerdir. Açıkça yükselen trende sahip olanlar ve açıkça düşüş trendine sahip olanlar çalışmanın önemli bulguları olmuştur. Özdüzenleyici haritaların birçok farklı sektör ve problemde de uygulandığını başarılı sonuçlar verdiğini görmek mümkündür.

Çalıcı (2017) çalışmasında Türkiye'de yer alan bankaların bir takım finansal oranlarını kullanarak, onları sınıflandırmak için özdüzenleyici haritaları tercih etmiştir. Analiz sonucunda bankaların bir dönem üç kümeye diğer dönemde iki kümeye sınıflandırılarak değerlendirilmiştir.

3. B2C:E-Perakende

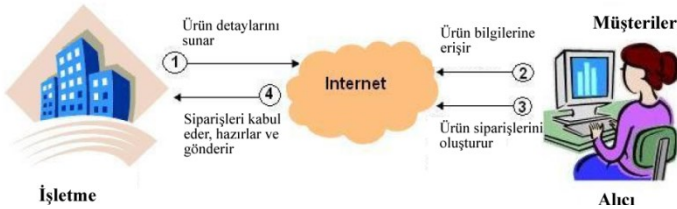
Uluslararası ilişkilerin yoğunlaşması ve ülkeler arasındaki anlaşmaların önem kazanması ile birlikte; bilinen pazarlama, dünya çapında rekabete dönüşmekte, globalleşen pazarlar, global ekonomilere neden olmaktadır. Ekonominin globalleşmesi, işletmeler arasındaki mesafeleri uzatmakta; bu

durum da işletmeler arasında gerçekleşen ticari işlemlerin; iletişim ve yönetim açısından gittikçe zor olmasına neden olmaktadır.

Yaşanan gelişmeler sonucunda; ilk kullanımına ordu ve savunma sanayiinde başlanan, intranet, yaygınlaşarak internet adını almıştır. Sağlanan internet ortamı, sadece kişisel kullanımı desteklememek ile birlikte aynı zamanda ticari faaliyetleri de destekleyen bir iletişim aracı haline gelmiştir. Günümüzün teknolojisi olan internet; birçok yeni kavramı da iş hayatına kazandırmıştır. Bu yeni ticari kavramlardan biri; E-iş (Elektronik İş)'tir. E-iş'i; kurumlar ya da kişiler arasında kurulan online veri alışveriş sistemleri olarak nitelendirmek mümkündür. Elektronik veri değiş tokuşu üzerine kurulan bu bilgi sistemlerinde, son kullanıcı olarak nitelendirilen, müşterilerin de sisteme katılmasıyla, takip edilmesi gereken bilgi boyutları; kontrolü çok zor noktalara ulaşmıştır. Diğer yandan ticari faaliyetlerin yürütüldüğü E-iş kategorisi sınıflarını; E-ticaret olarak da ifade edebilmek mümkündür.

E-ticaret telekomünikasyon ağlarını kullanarak gerçekleşen işlemleri birleştiren, iş ilişkilerini iyileştiren ve aynı zamanda iş bilgilerinin paylaşımını sağlayan bir sistem yaklaşımıdır (Zwaas,1996).

Farklı yapıda ve özelliklerde kurulan E-ticaret bilgi sistemlerinden; B2C Şekil 1'de görüldüğü gibi bir firma ve firmanın tüketiciler arasındaki elektronik veri alışverişini, sanal perakende mağazacılığı ifade etmektedir.



Şekil 1. B2C İş Modeli

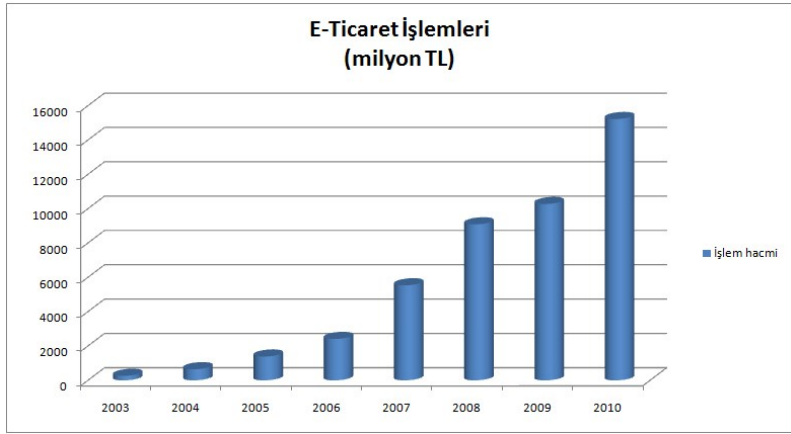
E-ticaret ile birlikte işletmelerin yapıları değiştiği gibi, ticaret anlayışları da büyük bir değişim geçirmek zorunda kalmıştır. Daha dinamik bir çevrede binlerce kullanıcının ziyaret ettiği sanal mağazalar bu sayede; gerçek mağazaların yerini almakta, sahip olduğu birçok avantaj ile varlıklarını devam ettirmektedir.

3.1.E-Perakende'nin Türkiye'deki ve Dünyadaki Durumu

E-ticaret istatistikleri sunan, Statista.com tarafından paylaşılan rakamlara göre; sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllık ortalama E-perakende pazarı büyüme oranı; %13.47 olmuştur. Almanya'da E-perakende gelir miktarı, 2012 yılında; 24.6 milyar dolar iken, 2014 yılında bu rakam; 41.9 milyar dolar olmuştur. 2015 yılında ise bu tutarın, 49.8 milyar dolar

civarında olduğu tahmin edilmektedir. Avrupa pazarının tamamı dikkate alındığında, toplamda 2012 yılında 276.82 milyar dolar olan pazarın, 2018 yılında 534.9 milyar dolar düzeyinde olması beklenmektedir. Dünya geneli düşünüldüğünde ise yapılan tahminler; 2016 yılında toplam gelir miktarının, 1.92 trilyon dolar düzeyinde olacağını ortaya koymaktadır. ABD Ticaret Bakanlığı'nın yayınladığı raporda; 2015 yılı için E-ticaret E-perakende pazarı; ilk çeyrekte 80.3 milyar dolar olarak belirlenmiştir. Bu oran geçen yılın aynı dönemine göre %3,5 artış göstermiştir.

Bankalar arası Kart Merkezi (BKM) verilerine göre, ülkemizdeki E-ticaret hacmi 2010 yılında bir önceki seneye göre %48 büyüme göstererek, 15.2 milyar TL'ye ulaşmıştır. Şekil 2'de BKM tarafından hazırlanmış olan yıllara göre Türkiye'deki E-ticaret hacminin parasal değişimi görülmektedir.



Şekil 2. Türkiye'de E-ticaret'in Yıllara Göre Değişimi

TÜSİAD tarafından 2014 yılında yayınlanan E-ticaret raporunda ise dünya istatistikleri karşısında; Türkiye'de E-ticaret hacminin düşük olduğu ancak buna rağmen önemli bir ilerleme kaydedildiği açıklanmıştır. Raporda yer verilen IDC firmasının araştırma sonuçlarına göre; Türkiye'de E-ticaret işlem hacmi; son 4 yılda %28 büyümüştür.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Çalışmanın Materyali

Çalışmada kullanılan materyaller; E-perakende iş modelindeki E-ticaret sitelerinden elde edilen verilerdir. Yapılan görüşmeler neticesinde; ABC.com olarak adlandırılan, E-perakende sitesi, bilgi materyali ile çalışmayı desteklemiştir. Bu maksatla; test verileri için ABC.com sitesinin genel ziyaret

ve satış istatistikleri bulunabilmesi için yaklaşık 13 aylık ziyaret, 50 farklı ürünü için çekilen 15.525 adet satış ve teslimat verisi kullanılmıştır

ABC.com; Türkiye’de ofis malzemeleri satışı konusunda ilerleyen, E-perakende iş modeli uygulayan web sitesidir. Kuruluşu üzerinden çok kısa süre geçmesine rağmen, fikrinin özgünlüğü ve belirli bir ihtiyaca yönelmesi nedeniyle oldukça iyi bir pazar payına ulaşan, ticari bir web sitesi olmuştur. Site üzerinde ürünler; 9 farklı kategoride satışa sunulmaktadır. Ürünlerin müşteri satın alma motivasyonu için öne çıkarıldığı, vitrin denilen kısım; temelde 3 bölümden oluşmaktadır.

- i. Reklam ve tanıtım ürünlerinin olduğu anlık değişebilen;
- ii. “Sizin için seçtiklerimiz denilen”; orta vitrin,
- iii. Haftalık olarak, belirli oranlarda indirimlerin yapıldığı; alt vitrin bölümleridir. Sitede satılan ürün kategorileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. ABC.com Ürün Kategorileri ve Sayısal Bilgiler

Kategori Tanımı	Alt Kategori Sayısı	Ürün Çeşidi
Kağıt Ürünleri	7 Adet	845 ürün
Ofis Kırtasiye	8 Adet	2296 ürün
Temizlik Ürünleri	8 Adet	752 ürün
Gıda Maddeleri	5 Adet	578 ürün
Kartuş-Toner	4 Adet	666 ürün
Ofis Yapı Market	6 Adet	811 ürün
Okul Kırtasiye	8 Adet	2738 ürün
Sanatsal Ürünler	4 Adet	212 ürün
Kitap-Hobi-Hediye	4 Adet	503 ürün
Ofis Elektronik	8 Adet	945 ürün
Toplam	62 Adet	10346 ürün

Tablo 1’e göre firma yoğunlukla ofis malzemeleri ve okul kırtasiye ürünleri satmaktadır. Bunlar haricindeki ürünler ile beraber E-perakende sitesinde 10346 farklı ürün satışa sunulmaktadır.

4.2. Çalışmanın Metodolojisi

4.2.1. Değişken Seçimi

E-perakende tarzında çalışan web sitelerinde site kalitesinin ölçülmesi için literatürde bir çok farklı kriter ortaya konmuştur. Bu çalışmada elde edilen verilerin yarattığı kısıtlar nedeniyle aşağıdaki iki ölçüt üzerinden veriler analiz edilmeye çalışılmıştır. Bunlar;

- i. **Satışların Sürekliliği:** belirli bir ürünün sipariş sayısı ve sipariş miktarı gibi veriler ile ilgilenmektedir,

- ii. **Satışların Teslim Performansı:** Ürünün teslimat süreleri ve gecikmeleri ile ilgilenmektedir.

Satışların sürekliliği faktörü ile ilgili olarak; ABC.com firmasının performansı analiz edilmiş ve yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Bu değerlendirmelerden sonra amaç problemleri ürünleri tespit etmektir. Bu nedenle ABC.com firmasından alınan veriler, bir takım sektör verileri ile birleştirilmiştir. Burada amaç ürün özelliklerinden yola çıkarak gelecek performans tahmin ederek, ürünün satışına devam edilip edilmemesi gibi kararları alabilmektir. Bu analizde kullanılan bağımsız değişkenler ya da girdi değişkenleri;

- i. Ürün Kodu,
- ii. Rakip Fiyat Sayısı (rekabet düzeyi için),
- iii. Talep Türü (site uzmanları tarafından bildirilen görüşler),
- iv. Ziyaret Yoğunluğu (site uzmanları tarafından bildirilen görüşler),
- v. Birim Karlılık (satınalma ve satış bedelleri arasındaki kar oranı),
- vi. Vitrin Ürünü (site giriş sayfasındaki vitrinde yer alma durumu),
- vii. Fiyatın Rakiplere Göre Durumu (fiyat arama motoru karşılaştırmalarından alınmıştır),
- viii. Müşteri Tipi (bireysel kullanım, kurumsal kullanım ya da her ikisi için mi),
- ix. Tedarikçi Sayısı (ürünün satın alınabileceği alternatif tedarikçi sayısı),
- x. Ürün Değeri (ürünün satış fiyatı)

Bu girdiler neticesinde ürün performansını gösteren ve değişimin kaynaklarını saptayacak değişkenler olan, çıktı değişkenleri ise;

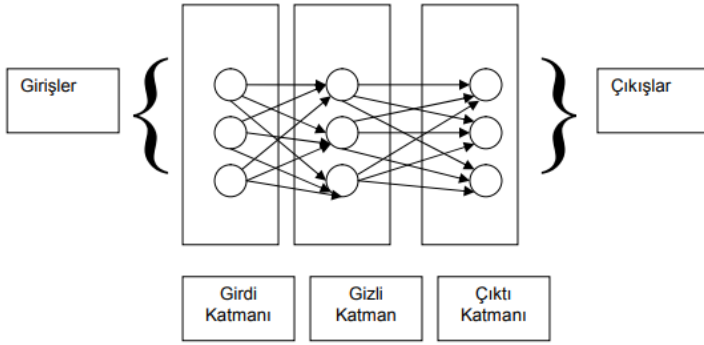
- i. Satışlı Gün Oranı (Ürünün satış sürekliliğini saptamak için),
- ii. Üründen Alınan Sipariş Sayısı (Ürünün satış favoriliğini saptamak için),
- iii. Satış Hacmi (Günlük Ortalama Satış Miktarı),
- iv. Geciken Sipariş Sayısı (Ürünün lojistik performansını saptamak için),

4.2.2. Yapay Sinir Ağları ve Özdüzenleyici Haritalar

Karar destek sistemleri ile başlayan akıllı sistemler bugün yapay zekanın gelişimiyle beraber son şeklini almaktadır. Yapay zeka temel mantığında insanın öğrenme yapısının bilgisayarlar tarafından kopyalanmasıdır. İnsanda öğrenme hücresi nöron olarak bilinmektedir. Bu hücreler arasındaki bağlantılar sayesinde de öğrenme dediğimiz süreç gerçekleşmektedir.

Yapay sinir ağları (YSA) paralel dağıtık işleme sistemleri ve örüntülü sistemler olarak bilinen, biyolojik yapılar benzer bir şekilde bilgisayarların yapılarının modellenebilmesi amacıyla keşfedilmiştir. YSA yapıları genellikle, çeşitli işleme elemanlarına ve bağlantılara sahip olan geri beslemeli ve geri

beslemesiz şekilde sınıflandırılan yapılardan oluşmaktadır (Bose ve Liang, 1996). Örnek bir YSA yapısının Şekil 3'te görülmektedir.

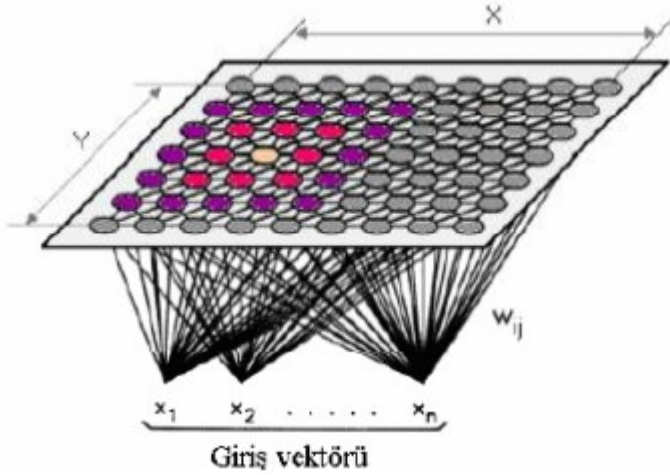


Şekil 3. Yapay sinir ağının katmanları

Yapay sinir ağlarında öğrenme genel olarak iki sınıfta incelenmektedir. Bunlardan birincisi danışmanlı öğrenme ikincisi ise danışmansız öğrenmedir. Öğrenme de amaç yapay sinir ağının tahmin de hata payını en aza indireyecek ağırlıkların bulunması için ağı eğitilmesidir (Özşahin, 2007).

Danışmansız öğrenmeli YSA yöntemlerinden biri olan özdüzenleyici haritalar algoritması; ilk olarak T. Kohonen tarafından geliştirilmiş olmakla birlikte bu konuda daha sonraları birçok çalışma yapılarak değişik yaklaşımlar ortaya atılmıştır. (Kohonen, 1998). Veri madenciliği uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılan bu yöntem verilerin kümelenmesi ile anlamlı sonuçlar üretmesi üzerine çalışmaktadır.

Özdüzenleyici haritalar, girdi katmanı ve Kohonen katmanı (çıktı katmanı) olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır. Girdi katmanındaki her bir nöronun çıktı katmanındaki nöronlarla bağlantısı vardır (Özçalıcı, 2017). Bu bağlantılar sayesinde öğreticisiz öğrenme dediğimiz süreç gerçekleşmektedir. Şekil 4'te de görüldüğü gibi tüm veriler girdi düğümü olarak beslenmektedir. Veriler eğitim dediğimiz süreçte benzerliklerine göre birbirlerine yaklaşıp ağırlıklarını ayarlamaktadır.



Şekil 4. Bir özdüzenleyici haritanın yapısı (Alpdoğan,2007)

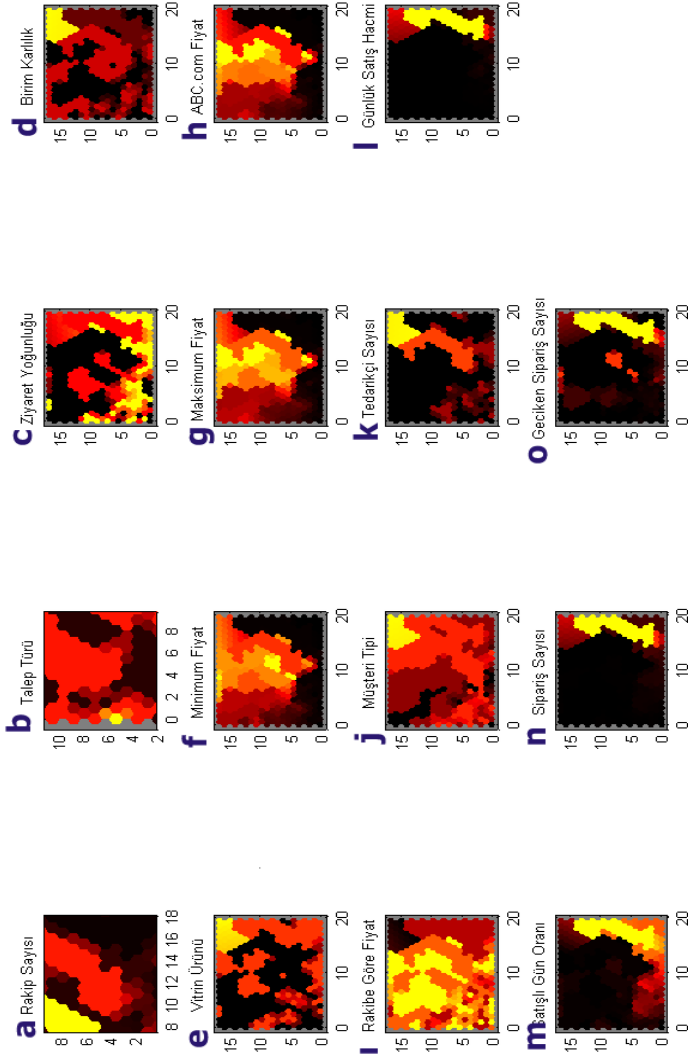
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kohonen haritaları da denilen SOM(self organizing maps) özdüzenleyici haritalarında amaç; yapay sinir ağlarında danışmansız öğrenmeyi sağlamaktır. Bu yöntemin tercih edilmesinin nedeni; istatistiksel olarak analizi uzun sürebilecek ya da insan zekası ile değerlendirilmesi zaman alacak; çok sayıda değişken içeren veri setleri için hızlıca analizler yapılmasını sağlamak olmuştur.

Genellikle veri kümelemede ya da bir veri seti içerisindeki; gizli ilişki örüntülerini bulmada büyük kolaylık sağlayan bu yöntemin, çalışmanın bu kısmında;

- i. ABC.com E-ticaret politikalarının öğrenilmesinde ve değerlendirilmesinde,
- ii. Ürünlerdeki satış ve teslim performanslarına etki eden gizli örüntüleri bulmada faydalanılmıştır.

Belirtilen amaçlar ile gerçekleştirilen analizde tüm değişkenler girdi değişkenleri olarak SOM'a beslenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde; Matlab programının Neural Net Clustering aracı kullanılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen haritayı Şekil 5'de görebilmek mümkündür.



* Siyah renkler düşük, kırmızı renkler yüksek değerleri, sarı orta düzey

Şekil 5. Satış ve Teslim Performansı Özdüzenleyici Haritaları

Şekil 5 incelendiğinde; ABC.com'un ürün politikaları ile ilgili bazı önemli bulgulara rastlanmıştır. Bu kısımda elde edilen bulguların; hem ABC.com sitesi için hem de ABC.com'un Türkiye'de yakaladığı başarısını dikkate alarak; diğer B2C tarzında çalışan işletmeler için de iyi bir öneri teşkil edeceği düşünülmektedir. Elde edilen bu bulgular;

- i. Rakip sayısının fazla olduğu ürünlerde; (a haritası) genellikle uzman görüşü talep değişkenliği için (b) yüksek değişken olmaktadır. Bu da belirli ürünlerde firmanın rekabete yenik düştüğünü göstermektedir.
- ii. a ve m haritaları birlikte değerlendirildiğinde; rakip sayısının yüksek ya da orta olduğu ürünlerde, firmanın satışlı gün oranı ve günlük satış hacmi düşük olmaktadır. Kısaca; firma rakip sayısının yüksek olduğu ürünlerde; düşük performans göstermektedir. Bu haritalara, ı haritası dahil edildiğinde, bu bölgede genellikle firma; piyasaya göre orta ya da yüksek düzey fiyat tercih etmektedir. Bu da başarısızlığın fiyat kaynaklı olduğunu destekler niteliktedir.
- iii. I ve j haritaları birlikte değerlendirildiğinde ise firma; kurumsal müşteri tipinde genellikle en düşük fiyat politikası belirlemektedir. Bu durumun kaynağının, firmalarla çalışmalara büyük önem verilmesinin olduğu düşünülmektedir. Bu haritalar ile birlikte I haritası da değerlendirildiğinde; günlük satış hacmi, sadece kurumsal müşterilere yönelik ürünlerde, "En Yüksek" olmaktadır. K haritası da dahil edildiğinde; firmanın bu bölgede en az 2 tedarikçi ile çalıştığı görülmektedir. d haritası eklenip birim karlılığa bakıldığında ise bu bölgede orta düzey birim kar politikasının tercih edildiği görülmekte ve firma bu nedenlerle başarılıdır yorumu yapılabilmektedir.
- iv. Günlük satış hacmi yüksek olan ürünlerde; geciken sipariş sayısı da yüksek olmaktadır. Bu durum; firmanın ne kadar çok sipariş alırsa, yönetimde o kadar çok zorlanabildiğini göstermektedir.
- v. c ve e haritaları birlikte incelendiğinde bazı ürünlerin; vitrin ürünü olmasına rağmen, düşük ziyaret yoğunluğu aldığı görülmektedir. Bu aşamaya; ı haritası yani rakibe göre fiyat haritası eklendiğinde; rakibe göre genellikle yüksek fiyat verilen ürünlerin düşük ziyaret yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir.
- vi. K haritası incelendiğinde; firmanın yüksek sayıda alternatif tedarikçiyi, sadece günlük satış hacmi düşük olan ürünlerde ve yılda çok az sayıda sipariş edilen ürünlerde tercih ettiği görülmektedir. Bu bölgedeki ürünlerin fiyatlarının (h haritası) yüksek olması değeri yüksek olan ürünlerde tedarik değil de maliyet kaynaklı olarak alternatif tedarikçiler ile çalışıldığını göstermektedir.
- vii. Ürünlerin büyük bir çoğunluğunda satış performansları düşüktür. Yani düşük satış hacmi, düşük satışlı gün oranı olan ürünler tercih edilmiştir. Rakip sayısının yüksek olduğu ürünlerin hepsinde; firmanın satış performansı düşüktür. Bu; firmanın çok çeşitli sayıda ürünle çalışmasının, bir nedeni ya da sonucu olabilmektedir. Rakip sayısının yüksek olduğu ürünlerde; firma stok bulundurmamakta, stok bulunduramadığı için miktar iskontosu alamamakta bu da ürün de yaratacağı talebi düşürebilmektedir.

- viii. j ve ı haritası incelendiğinde ise sadece bireysel kullanıcılara hitap eden ürünlerde başarı en düşük olmaktadır.
- ix. c ve ı haritaları birlikte incelendiğinde ise ziyaret yoğunluğu yüksek ürünlerde rakip sayısı düşük düzeydedir. Bu durum; alternatif site sayısının artmasının, ziyaret yoğunluğunu, ürünlerde düşüreceğinin, önemli bir sonucu olabilir.
- x. F ve g haritaları incelendiğinde; ürünlerdeki minimum ve maksimum fiyat haritasının, hemen hemen aynı çıkması; piyasadaki E-ticaret sitelerinin birbirlerini, yakından takip ettiğinin göstergesi gibi görülebilir. Ya da bu durum; piyasa artış ya da azalışlarına, tüm sitelerin eş tepkiler vermesinin bir sonucu olarak görülebilir.
- xi. A ve n haritası birlikte değerlendirildiğinde; satış açısından yüksek başarılı ürünlerin, temel nitelikleri arasında; rakip sayısının düşük olduğu, hem bireysel hem de kurumsal müşterilerin tercih ettiği, talebinin uzmanlara göre çok fazla değişkenlik göstermediği, düşük fiyatlı ürünler olduğu görülmektedir. Bu kategorideki ürünler satışa sunulacak yeni ürünlerin seçiminde; klavuz veriler olarak dikkate alınmalıdır. Bu ürünler aynı zamanda firma tarafından da vitrine koyma amaçlı seçilmiş ürünlerdir.
- xii. K ve o haritası birlikte değerlendirildiğinde; tedarikçi sayısı yüksek olan ürünlerde, hiç gecikme yaşanmadığı görülmektedir. Bu durum da alternatif tedarikçiler ile çalışmanın; lojistik performansını arttıracakını özetler niteliktedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada E-perakende sektöründe Türkiye’de faaliyet gösteren ve ofis, kırtasiye ürünlerini çoğunlukla satan ABC.com firmasının 13 aylık satış, ziyaret ve teslimat verileri kullanılmıştır. Alınan bu veriler, ürün özellikleri ile birleştirilmiş ve 15 farklı değişken kullanarak çok boyutlu bir analiz yapılmaya çalışılmıştır. Amaç değişkenler arasındaki gizli ilişkileri bularak öneriler getirmektir. İstatistiksel yöntemlerin bu kadar değişkeni açıklamada yetersiz kalabildiği böyle ortamlarda, verileri iki boyutlu haritalara indirgeyerek açıklama özelliğine sahip, yapay sinir ağlarının öğreticisiz öğrenme yöntemini kullanan bir türü olan; özdüzenleyici haritalar ya da diğer adıyla Kohonen haritaları kullanılmıştır. Yapılan analizlerde önemli bulgular elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Analiz bulgularına göre e-perakende firmaları için elde edilen sonuçlar;

SOM’dan elde edilen yorumlar ışığında Tablo 2’de gösterilen sonuç tablosunun kullanılmasının e-perakende firmalarının ürün, tedarikçi ve fiyat kararları seçimi için faydalı olacağı düşünülmektedir.

Tablo 2. Özdüzenleyici Analiz Sonuçları

Değişkenler	Durumu	Sonuç	Genel Yorum
Rakip Sayısı	Orta/Yüksek	Satışlı Gün Oranı ve Günlük Satış Hacmi Düşük	Rakip sayısı arttıkça performans düşer.
Müşteri Tipi, Karlılık	Kurumsal Müşteri Ürünleri, Orta Düzey Karlılık	Satışlı Gün Oranı ve Günlük Satış Hacmi Yüksek	Kurumsal müşteri politikalarının başarısını gösterir.
Vitrinde Olma, Rakibe Göre Fiyat	Vitrin Ürünü, Rakibe Göre Yüksek Fiyat	Düşük Ziyaret Yoğunluğu	Vitrin ürünü fiyatı iyi seçilmeli
ABC.com Satış Fiyatı	Yüksek Fiyatlı Ürünler	Alternatif tedarikçi sayısı yüksektir.	Risk arttıkça alternatif tedarikçi arayışı başlar.
Müşteri Tipi	Bireysel Müşteri Hedefli Ürün	Satışlı Gün Oranı ve Satış Hacmi en düşük.	Kurumsala yönelmek daha fazla başarı getirir.
Rakip Sayısı	Alternatif Site Sayısı artarsa	Ziyaret yoğunluğunu düşürmektedir.	Çok sayıda rakip ziyaret yoğunluğunu azaltır
Tedarikçi Sayısı	Yüksek ise	Teslim performansı yüksek olmaktadır.	Alternatif tedarikçiler ile çalışmak her durumda iyi sonuç verir.
Ürün Seçimi	Düşük Rakip Sayısı, Hem bireysel hem kurumsal müşteriler tarafından tercih edilen, talep değişkenliği düşük ve satış fiyatı düşük ürünler	<i>Satış için ideal ürünü</i> temsil etmektedir. Bu grup yüksek performansa sahiptir.	Odaklanacak ürünler kümesini temsil etmektedir.

Bu bulgulardan yola çıkarak;E-perakende siteleri ve çoklu ajan sistemi için bazı öneri sonuçları üretilmiştir. Buna göre bir E-perakende sitesi;

1. Rakip sayısının düşük olduğu ürünleri tercih etmeli, rekabetten mümkün olduğunca kaçınmalı,
2. Eğer rakip sayısı yüksek ürünler tercih edilmişse, piyasa koşullarına adapte olabilmek için diğer tüm sitelerin yaptığı gibi, farklı E-ticaret sitelerinin fiyatlarına göre fiyat belirlemesi gerekmekte,

3. Birim karlılığı düşük, ancak günlük satış potansiyeli yüksek ürünler tercih etmeli ve vitrinde kullanmalıdır.
4. Artan siparişler ile başa çıkabilmek ve lojistik performansı iyileştirmek amaçlı olarak her üründe mümkünse en az 2 ya da 3 tedarikçi ile birlikte çalışmalı, tek tedarikçi seçimi sipariş gecikmelerini yaşatmaktadır.
5. Vitrinde mümkün olduğunca; hem bireysel hem de kurumsal müşterilere aynı anda hitap eden ürünlere fazlaca yer vermesi faydalı olabilmektedir.
6. Sadece kurumsal müşteriler tarafından satın alınacak ürünlerde minimum fiyat politikası belirlemek; performansı büyük oranda etkilediğinden, firmaların, bu ürünlerde; rakibe göre fiyatı düşük tutması gerekebilmektedir.

İyi bir analiz aracı olan özdüzenleyici haritalar gizli örüntüleri bulmada faydalı olmaktadır. Gelecek çalışmalarda yapay sinir ağlarının danışmanlı öğrenme yöntemleri kullanarak daha başarılı sonuçlar elde etmenin mümkün olabileceği düşünülmektedir. Analizde sadece bir adet site verileri kullanılmıştır. Daha çok sayıda site verileri elde edilebilirse daha anlamlı sonuçlara ulaşp daha net yorumlarda bulunmak ve sınıflandırma yapabilmek mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Alpdoğan, Y., 2007. Kendinden Düzenlenen Haritalar ile Doküman Sınıflandırma. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
2. Bakos Y. (2001), The Emerging Landscape for Retail E Commerce, Journal of Economic Perspectives—Volume 15, Number 1—Winter 2001—Pages 69–80
3. Bose N. K. and Liang P. (1996), Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms and Applications, McGraw-Hill International Editions, (1996) pp.3
4. Cao M., Zhang Q and Seydel J. (2005), "B2C e-commerce web site quality: an empirical examination", Industrial Management & Data Systems, Vol. 105 Issue: 5, pp.645-661, <https://doi.org/10.1108/02635570510600000>.
5. Chaffey D. (2004), E-Business and E-Commerce Management, Prentice Hall, 2004
6. Feliu J. G., Ambrosini C., Routhier J. (2012). New trends on urban goods movement: Modelling and simulation of e-commerce distribution. European Transport, 2012, 50, Paper No 6, 23 p. ffhals-00626152f.
7. Kambil A. Ginsberg A and Bloch (1997), Rethinking Value Propositions, Working Paper, NYU Center for Research on Information Systems.
8. Lin S. and Fu H. (2012), Uncovering Critical Success Factors for Business-to-Customer Electronic Commerce in Travel Agencies, Journal of Travel & Tourism Marketing, 29:6, 566-584, DOI: 10.1080/10548408.2012.703034
9. Makkonen, M., and Frank, L. (2018). Identifying the Sales Patterns of Online Stores with Self-Organising Maps on Time Series Data. In P. Kourouthanassis, P. Markopoulos, A. Pateli, N. Pouloudi, A. Pucihar, & J. V. d. Cunha (Eds.), MCIS 2018 : 12th Mediterranean Conference on Information Systems (pp. 1-15). MCIS.
10. Özçalıcı M. (2017), Özdüzenleyici Haritalar Yöntemi ile Bankacılık Sektörü Piyasa Değerlendirmesi, BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar Cilt: 11, Sayı: 2, 2017.
11. Özşahin M. (2007), Otomotiv Sektörünün Kendini Örgütleyen Haritalar ile Finansal Analizi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2017
12. ZWAAS, V. (1996), Electronic Commerce: Structures and Issues, International Journal of Electronic Commerce Volume 1, Number 1, Fall, 1996, pp. 3 - 23.

ELEKTROFORETİK BİRİKTİRME YÖNTEMİNİN BİYOMEDİKAL MALZEME UYGULAMALARI

Ali İhsan BAHÇEPINAR¹,
İbrahim AYDIN²



¹ Öğr. Gör., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

² Dr. Öğr. Üyesi., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

1.GİRİŞ

Biyomalzemeler, insan vücudundaki organ ya da dokuların işlevlerini yerine getirmek için kullanılan biyomalzemelerdir. Bu malzemeler metaller, polimerler, seramikler ve kompozit biyomalzemeler olarak 4 gruba ayrılırlar.[1]

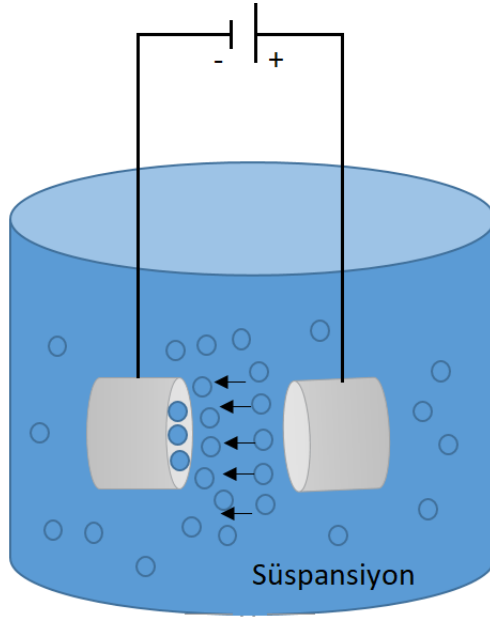
Metalik biyomalzemelerin aşınma dayanımının yüksek olması ve kolay şekil verilebilir olması biyomalzeme olarak tercih edilme nedenlerinin başında gelmektedir. Ancak biyoyoumluluğunun zayıf olması, vücut sıvılarında korozyona uğramaları, vücut dokularına göre çok sert olmaları gibi dezavantajları vardır [2]. Bu nedenle metalik biyomalzemelerin biyoyoumluluğunu artırmak için yüzey kaplama işlemleri yapılmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan yüzey kaplama işlemlerinde; sol-jel, elektroforetik biriktirme, kimyasal çöktürme, plazma püskürtme gibi yöntemler yer almaktadır [3].

Kaplama malzemesi seçimide anamalzeme kadar önemli olup kemik yapısına uygun biyoyoumlu bir malzeme olması gerekmektedir. Hidroksiapatit seramik grubuna giren bir biyomalzeme olup kaplama işlemleri için uygun bir biyomalzemedir. Yapılan kaplama işlemleri sonucu kemik yapısı ile biyoyoumlu ve kemiğin kimyasal yapısına yakın bir malzeme elde edilmektedir [3].

Bu çalışmada biyomalzemelerin kaplama yöntemlerinden biri olan elektroforetik biriktirme işlemi ve bu işleme etki eden parametreler değerlendirilmiştir.

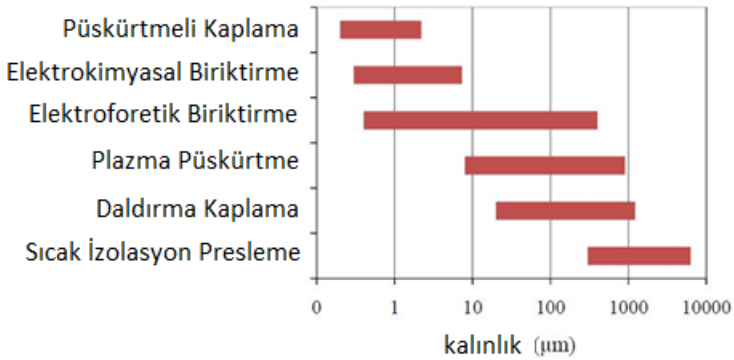
2.ELEKTROFRETİK BİRİKTİRME

Elektroforetik biriktirme temelinde 2 aşamalı bir işlemdir. Birinci aşamada şekil 1 de görüldüğü gibi bir elektrolitik süspansiyon içerisinde asılı olarak duran parçacıklar, süspansiyona bir elektrik alanı uygulanarak elektroda doğru hareket etmeye zorlanır. İkinci aşamada ise hareket etmeye zorlanan parçacıklar elektrotların birinde toplanır ve tutarlı bir birikim oluşturur [4].



Şekil 1. Elektroforetik Biriktirme Sistemi

Basit, hızlı ve ekonomik bir yöntem olan elektroforetik biriktirme yöntemi biriktirme kalınlığı ve biriktirme hızının kontrol edilebilme kolaylığından dolayı yüzey kaplama işlemlerinde önemli bir yere sahiptir [5]. Şekil 2 de farklı kaplama yöntemlerine ait yüzey kalınlıkları verilmiştir. Burada EPD yöntemi ile farklı kalınlıklarda kaplama yapılabileceği görülmektedir [6].



Şekil 2. Farklı Kaplama Yöntemleriyle Elde Edilen Kaplama Kalınlıkları[9]

Elektroforetik biriktirme yönteminin düzgün kaplama kalınlığı elde etmek, karmaşık yüzeyleri kaplayabilme, ucuz ve hızlı olması gibi avantajlarının yanında kaplamaların çatlaklı olması ve yüksek sıcaklıklarda sinterlemeye ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları vardır.

3. ELEKTROFORETİK BİRİKTİRME PAREMETRELERİ

Elektroforetik Biriktirme yöntemi ile elde edilen kaplamaların kalitesini belirleyen bazı parametreler vardır. Yoğun ve düzgün kaplamalar elde etmek için bu parametreleri optimize etmek gerekmektedir.

Elektroforetik biriktirme parametrelerini süspansiyon parametreleri ve proses parametreleri olmak üzere iki grupta incelenecektir.

3.1. SÜSPANSİYON PARAMETLERİ

Elektroforetik Biriktirme işlemi için süspansiyonlar askıya alınacak, partüküllerin özellikleri, süspansiyon sıvısının dielektrik sabiti, vizkozitesi, iletkenliği ve zeta potansiyeli dikkate alınarak hazırlanmalıdır [7].

3.1.1. Partikül Özellikleri

Elektroforetik biriktirmeye uygun partikül boyutu belirlemek için genel bir kural olmamakla beraber 1-20 mikrometre aralığında iyi birikim meydana geldiği görülmüştür. Ancak bu, bu aralık dışındaki partiküller için birikim meydana gelmeyeceği anlamına gelmemektedir. Kaliteli bir birikme işlemi için partiküllerin süspansiyon içerisinde tamamen dağılması gerekmektedir. Büyük boyutlu parçacıklarda yer çekiminden dolayı çökme eğiliminde olduğundan homejen bir birikme elde etmek zordur [8,9]

3.1.2. Dielektrik Sabiti

Powers bir çok farklı süspansiyon ortamında yapmış olduğu çalışmalar neticesinde dielektrik sabitinin ve süspansiyonun iletkenliğinin bir fonksiyonu olarak çökelmenin nasıl meydana geldiğini belirlemiştir [4,10].

Powers dielektrik sabitinin 12-25 aralığında olduğu sıvı ile çözeltiler elde etmiştir. Düşük dielektrik sabitlerinde yetersiz çözünme gücü nedeniyle birikim başarısız olmuş, dielektrik sabitinin yüksek olduğu çözeltilerde yüksek iyonik konsantrasyon elektroforetik hareketliliğini azalttığını belirlemiştir [4,10].

Çözücü	Dielektrik Sabiti
Metanol	32,63
Etanol	24,55
n-Propanol	20,33
Iso-Propanol	19,92
Etilen Glikol	37,7
Aseton	20,7
n-Butanol	17,51

Şekil 3. Bazı Çözücülerin Dielektrik Sabitleri

3.1.3. Vizkozite

Süspansiyon sıvısının vizkozitesi, süspansiyon içerisinde dağıtılmış partiküllerin hareketini doğrudan etkileyen bir parametredir. Elektrik alan kuvveti etkisi altında hareket eden partiküllerin hızını, hareket yönünün tersi bir sürtünme kuvveti azaltır. Bunun sonucunda süspansiyon vizkozitesinin düşük olması istenir [9]. Bazı çözücülere ait vizkozite değerleri aşağıda verilmiştir

Çözücü	Vizkozite
Metanol	0,557
Etanol	1,0885
n-Propanol	1,9365
Iso-Propanol	2,0439
Etilen Glikol	16,265
Aseton	0,3087
n-Butanol	2,5875

Şekil 4. Bazı Çözücülerin Vizkozite Değerleri

3.1.4. Süspansiyonun İletkenliği:

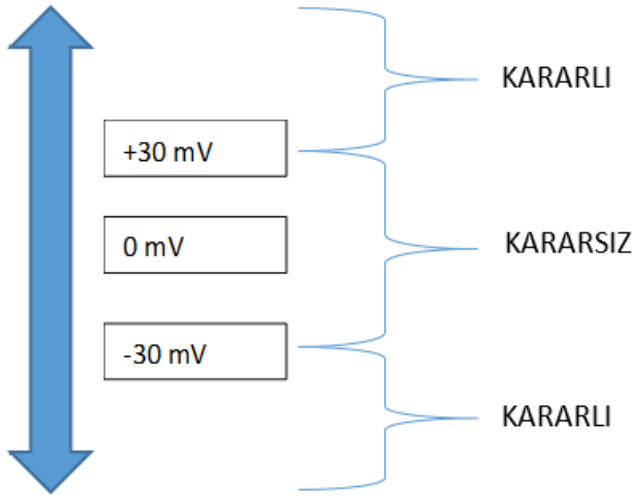
Fori B ve ark. bir alüminyum substrat tarafından desteklenen bir gözenekli alümin filminde süspansiyon iletkenliğinin SiO₂ partiküllerinin elektroforetik biriktirme üzerinde etkisini incelemişlerdir [11]. Düşük iletkenlikteki süspansiyonlar sadece anodik film yüzeyinde biriken tortular

oluştururken, yüksek iletkenlikteki süspansiyonların gözenekler içinde partikül birikmesine yol açtığını görmüşlerdir [11].

3.1.5. Süspansiyonun Zeta Potansiyeli:

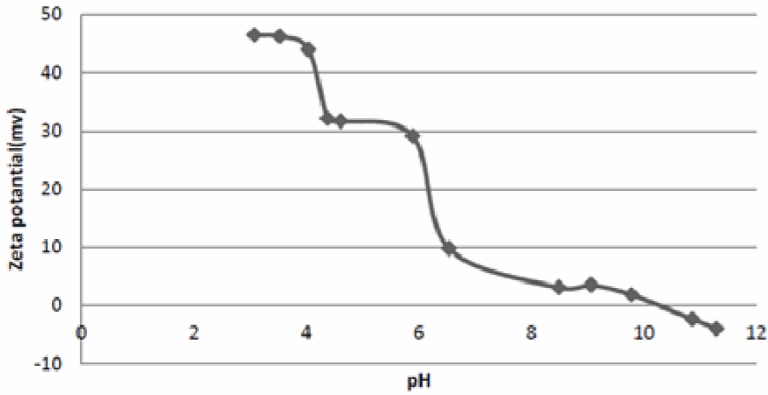
Zeta potansiyeli, taneler arasındaki itme veya çekme değeri ölçüsüdür. Zeta potansiyelinin büyüklüğü kolloidal sistemin kararlılığını gösterir. Süspansiyon içerisindeki partiküller çok büyük ve ya çok küçük zeta potansiyeline sahipse, tanecikler birbirini iter ve süspansiyon kararlı olur [12].

Kararlı ve kararsız süspansiyonlar için ayırım, +30 mV ve -30 mV değerlerine göre yapılır. +30 mV dan daha pozitif zeta potansiyeline sahip süspansiyonlar ve -30 mV dan daha negatif zeta potansiyeline sahip süspansiyonlar kararlı olarak kabul edilir [12].



Şekil 5. Zeta Potansiyeli için Kararlı ve Kararsız Süspansiyon Aralığı

Zeta Potansiyelini etkileyen en önemli faktör süspansiyonun pH değeridir. Merve G. ve arkadaşları elektroforetik biriktirme proses parametrelerinin nano hidroksiapatit kaplamalara etkisini incelemiş, hidroksiapatit/etanol süspansiyonunun pH'ın bir fonksiyonu olarak zeta potansiyelini belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda ideal pH değer aralığının 3-4 olduğunu tespit etmişlerdir [13].



Şekil 6. Hidroksiapatit/Etanol Süspansiyonunun Ph-Zeta Potansiye Değişimi

3.2. PROSES İLE İLGİLİ PARAMETRELER

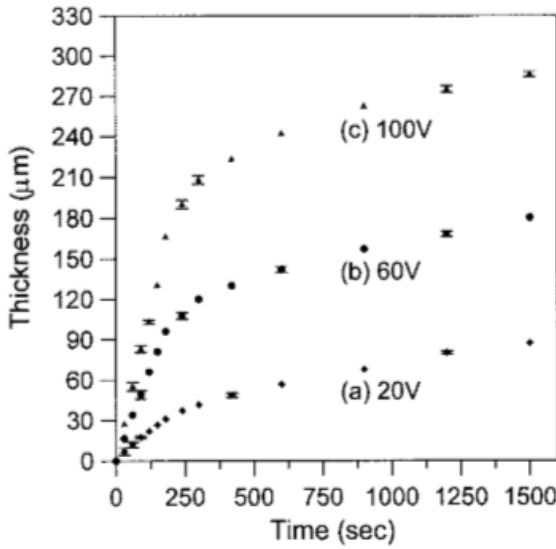
Proses parametreleri olarak uygulanan voltajın etkisi, biriktirme süresinin etkisi, altlık malzemenin iletkenliği, süspansiyondaki katı konsantrasyonu etkilidir [7].

3.2.1. Uygulanan Voltajın Etkisi

Meng Xianwei ve ark. uygulanan gerilimin titanyum altıklarına hidroksiapatit kaplanması üzerindeki etkisini incelemiş; 20 V'luk sabit düşük voltajda hazırlanan HA kaplamanın ince ve yoğun olduğunu, 200 V'luk sabit yüksek voltajda hazırlanan HA kaplamanın daha kalın ve gözenekli olduğunu belirlemişlerdir [14].

3.2.2. Biriktirme Süresinin Etkisi

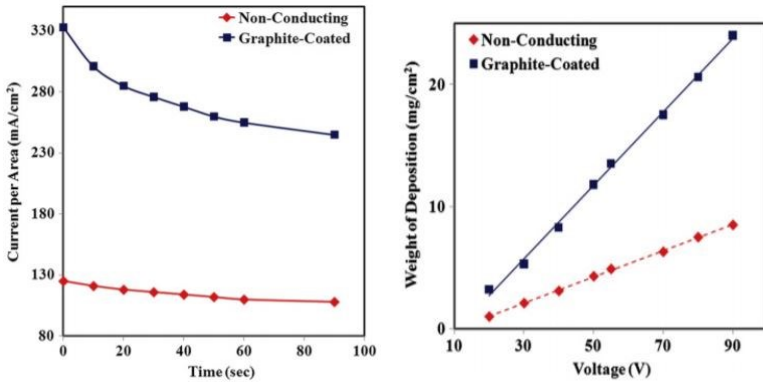
Yuan-Chung Wang ve ark. nanokristalin ZnO kaplamaların 20-100 V arasında sabit voltajlarda 30-1500 saniye biriktirme sürelerinde elektroforetik birikimini incelemiş, başlangıçta kaplamanın doğrusal olduğunu ancak gittikçe daha fazla zamana izin verildiğinde kaplama oranının düştüğünü belirlemişlerdir [8].



Şekil 7. Biriktirme Süresinin Kaplama Kalınlığına etkisi

3.2.3. Altlık Malzemenin İletkenliği

Tahereh Talebi ve ark. iletken olmayan ve grafit kaplı NiO-YSZ kompozitleri üzerine elektroforetik biriktirme yöntemiyle kaplamalar hazırlamışlardır. Her iki altlıktada kaplama işlemi gerçekleşmiş olup, uygulanan voltaj ile kaplama kalınlığı arasında doğrusal bir ilişki olmasına rağmen grafit kaplı altlıklarda kaplama kalınlığının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Altlıkların mikro sertlik testleri sonucu yapışma kuvvetinin grafit kaplı altlıklarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir[15].



Şekil 8. Uygulanan Voltajın ve Biriktirme Süresinin Altlık Malzemenin İletkenliğine Etkisi

3.2.4. Süspansiyondaki Katı Konsantrasyonu

Süspansiyondaki katı parçacıkların her biri aynı zeta potansiyeline sahip olsa da, süspansiyondaki katı hacmine bağlı olarak farklı oranlarda kaplamalar gerçekleşebilir. Katıların hacminin yeterince yüksek olması durumunda tozlar eşit oranda çöktürülür, katıların hacminin yeterince düşük olması durumunda parçacıklar kendi elektroforetik hareketliliğiyle orantılı olarak birikebilir [16].

4. SONUÇ

Elektroforetik biriktirme yöntemi basit, kullanımı kolay, uygun maliyetli bir yöntem olmasından dolayı son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Uygun elektroforetik biriktirme için süspansiyonun kararlılığını sağlamak ve süspansiyondaki toz yüzeyinde uygun yüzey yükü oluşacak şekilde bir çözücü seçilmesi gerekmektedir.

Elektroforetik biriktirme işleminde optimum süspansiyon parametresi olarak düşük viskozite, yüksek dielektrik sabiti ve düşük iletkenlik olduğu belirlenmiştir. Proses parametreleri olarak hazırlanan süspansiyona göre deneysel çalışmalar yapılarak optimum değerler belirlenebilir.

KAYNAKLAR

1. Aydın i., Cetinel H., Pasinli A., Yuksel M., "Preparation of Hydroxyapatite Coating by Using Citric Acid Sodium Citrate Buffer System in the Biomimetic Procedure", *Materials Testing*, 2013, 2013-10, pp 782-788. DOI:10.3139/120.110501
2. GÜVEN Şevki Yılmaz, "Ortopedik Malzemelerin Biyouyumlulukları ve Mekanik Özelliklerine Göre Seçimi", 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 11-12 Kasım 2010, Balıkesir
3. ALBAYRAK Sevdâ, ÇİNCİ Hanifi, ÇALIN Recep, CÖMERT Canser, " AZ91 Magnezyum Alaşımının Sol-Jel Yöntemiyle Hidroksiapatit Kaplanması ", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, s.954-956
4. Besra L., Liu M., A Review On Fundamentals And Applications of Electrophoretic Deposition (EPD), *Prog. Mater. Sci.*, 2007, 52, 1-61
5. KICIR Kübra, Elektroforetik Biriktirme Metodu ile Yüzeyi Modifiye Titanyum İmplantlarının Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013
6. Önder Albayrak, Hydroxyapatite Coating on Ti and Ti6Al4V Substrates By Using Electrophoretic deposition Method, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2013
7. TOZAR Ali ve KARAHAN H. İsmail, "A Comparative Study On The Effect of Collagen and h-BN Reinforcement of Hydroxyapatite/Chitosan Biocomposite Coating Electrophoretically Deposited on Ti-6Al-4V Biomedical Implants", *Surface&Coating Technology*, 340, 2018, s.167-176
8. YAVAŞ U. Deniz, Ti6Al4V İmplantlarının Elektroforetik Biriktirme Yöntemi ile Hidroksiapatit Kaplanması, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013
9. ALDIÇ Gürol, Bor'un Elektroforetik Yöntemle Biriktirilmesine Yönelik Koloidal Özelliklerinin ve Birikme Kinetiğinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2013
10. Powers RW. The electrophoretic forming of beta-alumina ceramic. *J Electrochem Soc* 1975;122:482-6
11. B.Fori, P.L. Taberna, L.Arurault, J.P. Bonino., Decisive influence of colloidal suspension conductivity during electrophoretic impregnation of porous anodic film supported on 1050 aluminium substrate, *Journal of Colloid and Interface Science.*, 2014, pp.413. pp.31-36. ISSN 0021-9797
12. <https://docplayer.biz.tr/7528461-Kolloitler-yuzey-yuku-zeta-potansiyel-prof-dr-murat-erdemoglu.html> (ET:08.05.2019)
13. Merve G., Zeynep A., Yapıncak G., Nuray A., Elektroforetik Biriktirme Proses Parametrelerinin Nano Hidroksiapatit Kaplamalara Etkisi, *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Odası*, 2015, s.174
14. Meng X., Kwon Y.T., Yang Y., Ong L.J., Kim H.K., Effects of Applied Voltages on Hydroxyapatite Coating of Titanium by Electrophoretic Deposition., *Wiley Interscience*, 2015
15. Tahereh Talebi, Babak Raissi, Mohsen Haji, Amir Maghsoudipour., The role of electrical conductivity of substrate on the YSZ film formed by EPD for solid oxide fuel cell applications. *International Journal of Hydrogen Energy* 35 (2010) 9405-9410
16. Jae Ik Choi, Electrophoretic Deposition of Highly Efficient Phosphors for White Solid State Lighting Using near UV-Emitting LEDs, (University of California San Diego, 2014)

IEEE 802.15.4

DÜŞÜK HIZLI KABLOSUZ KİŞİSEL ALAN AĞLARI

Ali GEZER ¹



¹ Dr. Öğr. Üyesi., Kayseri Üniversitesi.

Giriş

IEEE 802 tarafından yerel ve metropol alan ağ standartlarını belirlemek için bir çok çalışma grubunu desteklenmektedir. 802.15 çalışma grubu kablosuz kişisel alan ağ standartlarının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmaktadır. IEEE 802.15.1 ile Mavi Diş (Bluetooth), IEEE 802.15.3 ile Yüksek Hızlı Kablosuz Kişisel Alan Ağları (HR-WPAN) ve IEEE 802.15.6 ile Kablosuz Vucut Alan Ağları (WBAN) için protokol tanımlamaları yapılmıştır. IEEE 802.15 çalışma grubunun 4 nolu iş paketiyle düşük karmaşıklığa sahip, düşük maliyetli ve düşük güçlü bir kablosuz kişisel alan ağ standardı geliştirilmesi hedeflemiştir. İlk olarak 2003 yılında tanımı yapılan IEEE 802.15.4 (IEEE Working Group, 2003), Düşük Hızlı Kablosuz Kişisel Alan Ağ standardıdır (LR-WPAN). Standartın sürekliliği, IEEE 802.15 çalışma grubu tarafından desteklenmektedir. IEEE 802.15.4, Zigbee (ZigBee Alliance, 2012), ISA100 (ISA100, 2008), WirerelessHART (Song vd., 2008), MiWi (Flowers ve Yang, 2007) ve 6LoWPAN (Shelby ve Carsten, 2011) gibi düşük hızlı kablosuz kişisel alan ağ çözümleri için alt katman tanımlarını içerir.

Düşük hızlı kablosuz kişisel alan ağları özellikle bilgisayarlar, telefonlar ve endüstriyel cihazlar arasında haberleşme için tercih edilen ağ yapılarıdır. Bu yapıda olan ağlar düşük güçte radyo sinyalleri ile kısa mesafelerde iletim yapmaktadır. Alt katmanında IEEE 802.15.4 desteği olan ağlar ile deprem izleme, araç takip, bina otomasyonu, etkileşimli oyuncaklar, uzaktan ölçüm, askeri gözlem, sağlık durumu izleme ve tarım uygulamaları gibi düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetli haberleşmeye ihtiyaç duyulan çözümler desteklenmektedir (Öztaş vd., 2011). Bazı düşük hızlı kablosuz kişisel alan ağları için üst katman tanımı içeren Zigbee, WirelessHART ve 6LoWPAN gibi protokoller, ortam erişim kontrolü (MAC) ve fiziksel katman desteği için IEEE 802.15.4 standardını kullanırlar. Standart kendisine özellikle nesnelerin interneti (IoT), kablosuz sensör ağları (WSN) gibi sahalarında geniş uygulama alanı bulmuştur. Tablo 1' de sınırlı kaynakları ile düşük hızlı kablosuz haberleşmeyi kotaran ve alt katman olarak IEEE 802.15.4 protokolü kullanan bazı IoT cihazları verilmiştir.

Tablo 1. Radyo katmanında IEEE 802.15.4 protokolü kullanan bazı IoT cihazları ve özellikleri

Cihaz	Ağ katmanı	Radyo katmanı	Bant genişliği
T-Mote Sky	6LoWPAN	IEEE 802.15.4	250 kbps
Z1-Mote	6LoWPAN	IEEE 802.15.4	250 kbps
Openmote	6LoWPAN	IEEE 802.15.4	250 kbps
Waspote	Zigbee	IEEE 802.15.4	250 kbps
Arduion Uno	6LoWPAN	IEEE 802.15.4	250 kbps
Weptech	6LoWPAN	IEEE 802.15.4	250 kbps

Çoğu IoT cihazı IEEE 802.15.4 radyo linkleri üzerinden, 6LoWPAN protokolü kullanarak IPv6 haberleşmesi yapar. Düşük hızlı kablosuz kişisel alan ağları için IPv6 haberleşmesine imkan tanıyan 6LoWPAN protokolü, çoğu uygulamasında fiziksel katman ve MAC katmanı desteği için IEEE

802.15.4 protokolünü kullanır. IEEE 802.15.4 protokolünün, 802.11 standardı yani Wi-Fi ismiyle bilinen haberleşmeye göre en büyük artıları az enerji tüketimi ve küçük boyutlarda düşük maliyetli olarak gerçekleştirilebilmesidir. Protokolün ilk ortaya çıktığı 2003' ten günümüze fiziksel ve MAC katmanında güncelleme ve iyileştirmeler yapılmıştır. Tablo 2' de bazı IEEE 802.15.4 versiyonları ve getirmiş olduğu yenilikler paylaşılmıştır. Standardın bir çok yeni versiyonu çıkmasına rağmen, oldukça popüler olan Zigbee teknolojisi hala IEEE 802.15.4' ün ilk versiyonu olan IEEE 802.15.4 – 2003' ü kullanmaktadır.

Tablo 2. Bazı IEEE 802.15.4 versiyonları

IEEE 802.15.4- 2003	802.15 çalışma grubunun 4 nolu iş paketi ile 2003 yılında önerilen ilk versiyondur.
IEEE 802.15.4 - 2006	808 ve 915 MHz için fiziksel katman tanımlamaları güncellenerek veri hızında iyileşme sağlanmıştır.
IEEE 802.15.4a	Ultra geniş bant (UWB) ve 2.4 GHz için iki yeni fiziksel katman standardı tanımlanmıştır.
IEEE 802.15.4c	2.4 GHz, 868 Mhz ve 915 Mhz, UWB ve Çin 779-787 MHz bantları için güncellemeler yapılmıştır.
IEEE 802.15.4e	ISA SP10011.a uygulama desteği için MAC katmanı iyileştirmesi tanımlanmıştır.
IEEE 802.15.4f	UWB, 2.4 GHz ve 433 MHz için yeni fiziksel katman tanımlamaları belirlemiştir.
IEEE 802.15.4g	Akıllı komşu ağları için yeni fiziksel katman tanımlamaları yapılmıştır.

IEEE 802.15.4 Fiziksel Katmanı

IEEE 802.15.4 standardının fiziksel katmanı enerji sezimi, alınan paketler için bağlantı kalite bildirimi, CSMA/CA için temiz kanal değerlendirmesi (CCA) ve kanal frekans seçimi görevlerinden sorumludur (Arslan ve Ökdem, 2015:3). Kullanılan alıcı ve verici modüllerinin fiziksel özellikleri ve radyo frekans (RF) sinyal seviyeleri bu katmanda tanımlanır. IEEE 802.15.4 radyo yayınında minimum güç seviyesi -3 dBm veya 0.5 mW' dir. 100 mw modüller mevcut olmakla beraber, pratikte bir çok modül 0 dBm yani 1 mW güç seviyesini kullanır. Uygulamalarda kapsama alanı genellikle 10 ile 75 metre arasında olan modüller kullanılmaktadır (Frenzel, 2013).

İlk IEEE 802.15.4 versiyonunun (IEEE 802.15.4–2003) fiziksel katmanı üç farklı frekans bandında işletilmektedir. Üç frekans bandından en çok tercih edilen 2.4 GHz bandı, 1985' te Federal Haberleşme Komisyonunun (FCC) endüstriyel, bilimsel ve tıbbi frekans bantlarının kamusal kullanıma açılması amacıyla kullanımına izin verdiği ISM bantları içinde yer almaktadır. ISM bandında çalışmak için bir FCC lisansına gerek duyulmaması bu bantları kablosuz yerel alan ağ cihaz üreticileri için çekici hale getirmiştir. Dünya genelinde kullanılan 2.4 GHz frekans bandından başka, Avrupa' da 868

MHz ve ABD’ de 915 MHz frekans bantlarında IEEE 802.15.4 için tahsis edilmiştir. Bu bantlar herhangi bir lisansa gerek duyulmadan kullanılabilir. Fakat birçok çip üreticisi ürettikleri modüller için, yüksek bant genişliği gereksiniminden dolayı genellikle 2.4 GHz frekans bandını tercih etmektedir. 2.4 GHz bandında ideal şartlarda veri hızı 250 Kb/s hızı olup, kod iletim hızı ise saniyede 2 Mçip’ dir. IEEE 802.15.4-2003, 2.4 GHz bandında 16 kanal, 915 MHz bandında 10 kanal ve 868 MHz bandına 1 fiziksel radyo kanalı barındırır. IEEE 802.15.4-2003 standardına ait bazı teknik detaylar Tablo 3’ te paylaşılmıştır.

Tablo 3. IEEE 802.15.4-2003 versiyonuna ait özellikleri

Ülke	Avrupa	Amerika	Dünya geneli
Frekans Tahsisi	868-868.6 MHz	902-928 MHz	2.4-2483.5 GHz
Kanal Sayısı	1	10	16
Kanal bant genişliği	600 KHz	2 MHz	5 MHz
Sembol oranı	20 ksymbo/s	40 ksymbo/s	62.5 ksymbo/s
Veri hızı	20 kbits/s	40 kbits/s	250 kbits/s
Modülasyon	BPSK	BPSK	O-QPSK

IEEE 802.15.4-2006 (IEEE Working Group, 2006)’ da, bir önceki sürümde 868/915 MHz bantlarında kullanılan ikili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK) modülasyon tanımına ek olarak genlik kaydırmalı anahtarlama (ASK) ve dikgen dördün faz kaydırmalı anahtarlama (O-QPSK) teknikleri de kullanılmaya başlanmıştır. Bu yenilik ile hız ideal şartlarda 100 ve 250 kbit/s seviyelerine ulaşmıştır. Kullanılan ek modülasyon teknikleri ile 868/912 MHz 2003 sürümünde var olan 2 fiziksel kanal tanımına ilave olarak 4 fiziksel katman tanımı daha eklenmiştir. Bu tanımlamaların bazı teknik detayları Tablo 4’ te paylaşılmıştır.

Tablo 4. IEEE 802.15.4-2006 versiyonu için fiziksel katman tanımları

Frekans (MHz)	Versiyon	Modülasyon	Bit Oranı (Kb/s)	Sembol Oranı (Ksembol/s)
868-868.6	2003-2006	BPSK	20	20
902-928	2003-2006	BPSK	40	40
868-868.6	2006	ASK	250	12.5
902-928	2006	ASK	250	50
868-868.6	2006	O-QPSK	100	25
902-928	2006	O-QPSK	250	62.5

Şekil 1’ de, bir IEEE 802.15.4 çerçevesinde bulunan alanlar paylaşılmıştır. 2450 MHz bandında her bir çerçeve başlangıç sinyal (preamble) dizisi ile başlar; devamında senkronizasyon ve fiziksel katman başlıkları bulunur. IEEE 802.15.4 için maksimum PSDU uzunluğu 127 oktet’ tir.

Başlangıç Sinyali (Preamble) 4 Byte	Çerçeve Ayırıcı (SFD) 1 Byte	PHY Başlığı (PHY) 1 Byte	PHY Hizmet Veri Birimi (PSDU) Maks. 127 Byte
---	------------------------------------	--------------------------------	--

Şekil 1. IEEE 802.15.4 Çerçevesi

IEEE 802.15.4 protokol tanımının bir çoğunda gürültü ve girişim gibi etkilere karşı iletimi daha dayanıklı hale getirmek için fiziksel katman verisi Doğrudan Dizili Yayılı Spektrum tekniği (DSSS) kullanılarak yayma işlemine tabii tutulur. Gürültülü ortamlarda daha sağlıklı bir iletim imkanı sağlayan DSSS ile aynı zamanda tek bir kanal üzerinden birden çok haberleşme verisinin gönderimine imkan tanıyan çoklu erişim kotasılmaktadır. DSSS işlemi, uygulanan yayma faktörü ile karakterize edilir. Bant genişliğinin verimli kullanımı açısından yayma faktörünü optimum seviyede tutarak kaynakların verimli kullanılması ve aynı zamanda gürültü ve girişime karşı daha dayanıklı bir haberleşme sağlanması hedeflenmektedir.

IEEE 802.15.4-2003 versiyonunda, her üç bant için de DSSS tekniği kullanılmıştır. 2006 versiyonunda ise 868/915 MHz için tanımlanan yeni 4 fiziksel katmanın üçünde yayma işlemi DSSS tekniği ile yapılırken, sadece bir tanesinde Paralel Yayılı Spektrum Tekniği (PSSS) kullanılmıştır.

IEEE 802.15.4' ün fiziksel katman protokol veri birimine (PPDU) ait tüm semboller sözde gürültü (PN) dizileri ile eşlenir. O-QPSK modülasyonu için yapılan DSSS işleminde, kullanılan yayma faktörü $32/8=4$ ' tür. İletim sırasında 4 bitlik her bir veri sembolü IEEE 802.15.4 standardında tanımlanan ilgili 32 bit sözde rasgele gürültü dizisi ile eşlenerek çip dizileri elde edilir. Bu yöntemle göre PPDU' nun ikili veri dizisi 4 bitlik semboller halinde gruplanır. Yayma işlemi, sıralı olarak senkronizasyon başlığı ve başlangıç alanı ile başlar ve Fiziksel Katman Hizmet Veri Biriminin (PSDU) son baytı ile biter. Böylece, her bir sembol 16 farklı 32 bitlik çip kümesinden birisi ile gönderilir. Alıcı taraftaki çip/sembol dönüşümünde ise alınan çip dizilerinin IEEE 802.15.4 PN dizileri ile korelasyon işlemine tabi tutulur ve sonucu en yüksek korelasyon değerini sağlayan PN dizisine ait sembol tesbit edilir. Tablo 5 'te IEEE 802.15.4 standardında tanımlı 32 bitlik PN dizileri verilmiştir.

Tablo 5. IEEE 802.15.4 için 16' lık PN Çip Dizileri

Sembol (onlu)	Sembol (İkili) (b ₀ ,b ₁ ,b ₂ ,b ₃)	Çip Değerleri (C ₀ ,C ₁ ,C ₂ , C ₃₁)
0	0 0 0 0	1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0
1	1 0 0 0	1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0
2	0 1 0 0	0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0
3	1 1 0 0	0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1
4	0 0 1 0	0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1
5	1 0 1 0	0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0
6	0 1 1 0	1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 0
7	1 1 1 0	1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1
8	0 0 0 1	1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1
9	1 0 0 1	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1
10	0 1 0 1	0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1
11	1 1 0 1	0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0
12	0 0 1 1	0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0
13	1 0 1 1	0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1
14	0 1 1 1	1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0
15	1 1 1 1	1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0

IEEE 802.15.4' de kullanılan PN dizileri dikgen özelliktedir. Yani her bir PN dizisinin diğer bir dizi ile çapraz korelasyon değeri sıfıra yakındır. Ayrıca, her bir PN dizisinin öz ilinti fonksiyonu sadece bir tepe barındırır, diğer bölgelerde sıfıra yakın değer verir. Bu şekilde dikgen dizilerin kullanımı ile girişimden daha az etkilenilecektir.

DSSS sürecinden sonra elde edilen çip dizileri kullanılan IEEE 802.15.4 versiyonuna ve frekans bandına göre BPSK, O-QPSK veya ASK modülasyon tekniklerinden birisi kullanarak modüle edilir. Çip üreticileri tarafından en çok tercih edilen 2.4 GHz bandında, yarım dalga sinüs darbe şeklini içeren O-QPSK modülasyon tekniği ile 250 Kb/s iletim hızına ulaşılmıştır. IEEE 802.15.4-2003 versiyonu 868/915 MHz' lik düşük frekans bantlarda ikili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK) tekniği tercih edilmesine rağmen, 2006 versiyonunda bunlara ilave olarak ASK ve O-QPSK modülasyon teknikleri de çip üreticileri tarafından kullanılmıştır.

IEEE 802.15.4 Ortam Erişim Katmanı (MAC)

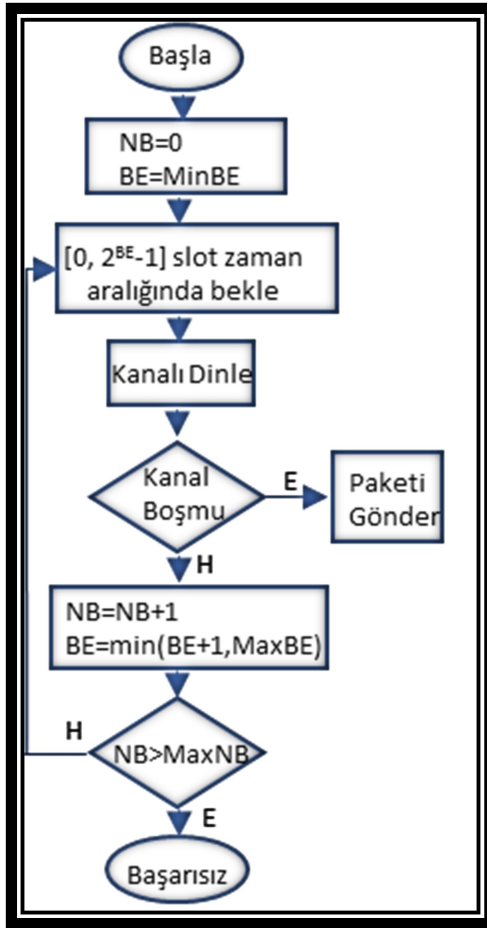
MAC katmanının amacı fiziksel katman ve uygulama katmanı arasında bir arayüz sağlamaktır. MAC katmanı, kullanılan ağ teknolojisine ait çerçevelerin radyo frekans kanalı aracılığı ile iletimini sağlamak için gerekli tanımlamaları içerir. IEEE 802.15.4 protokolünün MAC katmanı çerçeveleri kanal boşluğunu değerlendirme (CCA) sürecinin ardından iletir. MAC katmanı CSMA/CA mekanizmasının işletilmesi, ağ içindeki birimlerin senkronizasyonunun sağlanması için kontrol bilgi (beacon) çerçevelerinin iletimi gibi görevlerden sorumludur. Ayrıca slot zamanlarının senkronize edilmesi, kişisel alan ağ koordinatörüne bağlanma ve ayrılmanın sağlanması, cihaz güvenliğinin desteklenmesi, garanti edilmiş slot zamanı (GTS) mekanizmasının işletilmesi görevleri vardır (Ökdem, 2017: 5). IEEE 802.15.4 için MAC katmanında bulunan alanlar Şekil 2' de paylaşılmıştır.

Çerçeve Kontrol (FCF) 2 Byte	Veri Sıra No 1 Byte	Adres Alanları 0-20 Byte	Güvelik Başlığı 0-8 Byte	MAC Veri Yüğü Değişken Uzunlukta	Çerçeve Kontrol FCS 1 Byte
------------------------------------	------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--	----------------------------------

Şekil 2. 802.15.4 MAC katmanı

Protokolün MAC katmanı iki farklı çalışma modunu destekler. Bunlar slotlu (beacon enabled) ve slotsuz (beaconless) haberleşme türündedir (Ökdem, 2015: 30). Slotlu haberleşme, geri çekilme sürelerinin beacon çerçeveleri ile belirlendiği slotlu CSMA/CA mekanizması kullanılmaktadır. Koordinatör bağlı olduğu elemanlara belirli süreler tanıyarak veri iletimini senkronize eder. Kanal her bir kullanıcıya belirli periyotlar dahilinde paylaşılır. Bu modda iki tür ağ cihazı kullanılmaktadır. İlk tip kordinatör ve aynı zamanda istemci olarak çalışabilen tam fonksiyonel bir cihazdır. İkinci tür ise sınırlı fonksiyonlu bir cihaz olarak sadece ağ istemcisi olarak çalışır. Bu modda kullanılan her bir cihazın kordinatöre bağlanması gerekir. Kordinatör beacon çerçeveleri kullanarak senkronizasyon ve cihaz kontrolünü sağlar. Slotlu mod periyodik haberleşmeye ihtiyaç duyan süreç takibi gibi uygulamalar için kullanılır. Slotlu CSMA/CA mekanizmasında alındı bildirim paketleri (ACK) ve beacon çerçeveleri CSMA/CA mekanizması iletilmeden gönderilir.

Slotsuz modda ise birimler slotsuz CSMA/CA (Carrier sense multiple access/collision avoidance) tekniğini kullanarak kanala erişirler. Slotsuz mod genellikle çarpışma ihtimalinin düşük olduğu küçük ağlar için tercih edilmektedir. Kanalı kullanmak isteyen birimler kanalı kontrol ederek herhangi bir zaman diliminde iletim isteği yapabilir. Slotsuz versiyonda kullanılan CSMA-CA tekniği ile çok sayıda kullanıcı ve birim aynı kanala erişebilir. IEEE 802.12.5 slotsuz modu için kullanılan CSMA-CA algoritmasına ait akış diyagram Şekil 3' te verilmiştir. Ağ elemanları kanalı ele geçirmek istediğinde kanal boşluğunu değerlendirme (Clear Channel Assessment) sürecini işletir. Bu süreçte CSMA/CA parametreleri değiştirilerek elemanların kanala bakma sıklıkları değiştirilebilir.



Şekil 3. 802.15.4 CSMA/CA Süreci

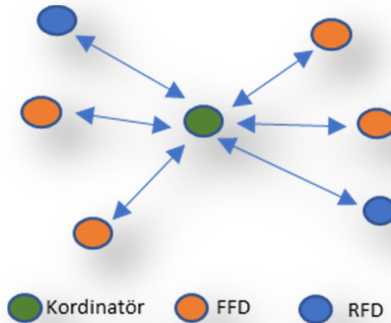
Belirtilen akış diyagramında NB, MaxNB, BE, MinBE, MaxBE ile gösterilen parametreler sırasıyla kanal erişim isteği, maksimum kanal erişim isteği, bekletilen gecikme periyodunun üstel değeri, minimum gecikme ve maksimum gecikme üstel periyot değerlerini ifade eder. Standart IEEE 802.15.4 tanımı için MaxNB 4, MinBE 3 ve MaxBE ise 5 olarak tanımlanmıştır. İlk olarak verici birim bir çerçeve göndermek istediğinde, MAC alt katmanı 0 ile $2^{BE}-1$ aralığında rasgele sayıda gecikme periyodu bekler ve sonra PHY katmanından CCA uygulanmasını ister. CCA sürecinde kanal dinlenilir ve kanalın boş bulunulması durumunda MAC alt katmanı çerçevenin iletimine başlar. Kanalı dinleme sürecinde kanalda bir taşıyıcı sezilmesi durumunda MinBE değeri bir artırılarak aynı süreç tekrarlanır. Tekrar kanalın dolu

olması durumunda ise MaxBE değerine ulaşıncaya kadar devam ettirilir. Her bir başarısız kanal erişimi denemesinde kanal erişim isteği (NB) 1 artırılır. MaxNB' ye ulaşıp hala kanal boş bulunamaması durumunda ise çerçeve gönderimi başarısız olur. Herhangi bir erişim denemesinde kanalın boş bulunması durumunda paket iletilir. Hedef birim tarafından paketin başarılı alınması durumunda, kaynağa alındı bildirimi (ACK) çıkarılır. Slotlu CSMA/CA' da alındı bildiriminin iletimi için, yine yukarıda bahsedilen süreç tekrarlanır. Gürültü veya girişim gibi etkiler nedeniyle ACK paketinde hatalı bitler oluşabilir. Bu durumda, maksimum çerçeve yeniden gönderim parametresi (standart olarak 3) sayısınca, yeni bir iletim prosedürü başlatır.

IEEE 802.15.4 Ağ Topolojileri ve Cihaz Tipleri

802.15.4 ağlarında 3 farklı cihaz türü bulunmaktadır. Tam fonksiyonel cihaz (FFD) veri alabilir, gönderebilir ve aynı zamanda veriyi yönlendirebilir. Sınırlı fonksiyonel cihaz (RFD) maliyet ve karmaşıklığı azaltmak için daha sınırlı kaynaklara sahiptir. RFD' ler genellikle sensör veya anahar olabilen bir uç birimdir. RFD' ler sadece FFD' ler ile konuşabilir. Bu cihazlar düşük güçlü cihazlardır. Yönlendirme yapmazlar ve kullanılmadıklarında uyku modunda beklerler. Kordinatör olarak kullanılan üçüncü tip cihaz ise IEEE 802.15.4 ağını kontrol eden birimdir. FFD fonksiyonuna ek olarak, IEEE 802.15.4 ağını kurabilecek ve ağı yönetebilecek kapasitededir.

IEEE 802.15.4 standardında iki temel ağ topolojisi kullanılmaktadır. Yıldız (Star) topolojisinde bir kişisel alan ağ kordinatörü adıyla merkezi bir birim bulunur. Diğer birimler bu merkezi birimle haberleşir. Kordinatör görevini yerine getirecek cihaz aktif olduğunda kendi ağını kurar ve kişisel alan ağı kordinatörü haline gelir. Yıldız ağlar diğer yıldız ağlardan bağımsız çalışır. Bu kapsama alanı içinde bulunan diğer ağlardan farklı bir PAN ID seçildiği içindir. PAN ID seçildikten sonra, kordinatör diğer FFD ve RFD cihazlarının bu PAN ID kullanılarak kendi ağına katılmasına imkan tanır.



Şekil 4. Yıldız Topoloji

Noktadan noktaya (P2P) ağ topolojisi de bir kordinatör vardır. Tam fonksiyonelliğe sahip olan her bir cihaz kordinatör olabilecek kapasitededir. Fakat, birbirinin kapsama alanında bulunan cihazlar kendi aralarında kordinatöre ihtiyaç duymadan haberleşebilirler. P2P örgü topoloji gibi daha kompleks kişilen alan ağları oluşturmaya izin verir. Bu topolojide kullanılan FFD' ler trafiği yönlendirebilecek kapasitede iken RFD' ler sadece basit haberleşme yapabilir.



Şekil 5. P2P Topoloji

IEEE 802.15.4 Kullanan Bazı Üst Katman Uygulamaları

IEEE 802.15.4 bir çok üst katman standardı için fiziksel ve MAC katmanı desteği sağlamaktadır. Aşağıda IEEE 802.15.4 kullanan bazı üst katman standartları paylaşılmıştır.

WirelessHART: 2-20 mA HART enstrümanlar kontrol ve otomasyon uygulamalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Uzaktan enstrüman bilgisine ulaşım için sistemlere kablosuz Hart adaptörü takılarak düşük hızlı haberleşme ihtiyacı karşılanır. WirelessHART 7 standardı, 2.4 Ghz ISM bandında kullanılmak üzere HART iletişim kurumu tarafından gerçekleştirilmiş açık kaynak kodlu bir kablosuz haberleşme standardıdır. Sistem alt katmanlar için IEEE 802.15.4 desteğini kullanmaktadır.

Zigbee RF4CE (Radyo Frekans 4 Tüketici Elektronik): Uzaktan kumanda ile televizyon, garaj kapısı, tuşsuz giriş sistemleri, ağ geçidi, ev haberleşme ve eğlence amaçlı tüketici elektronik cihazları arasında kablosuz haberleşme imkanı sağlanır. Standart, Zigbee uzaktan kumanda ve Zigbee cihazı arasında

düşük maliyetli, düşük güç ve gecikmeli kablosuz haberleşme çözümleri vermektedir.

Zigbee: Zigbee, aydınlatma, ev-içi ekranlar, sayaçlar, ısıtma ve diğer bir çok uygulamanın düşük güçlü radyo sinyalleri ile uzaktan kontrolü için Zigbee Alliance tarafından desteklenen bir üst katman standardıdır. Zigbee ile düşük veri hızında uzun pil ömrüne sahip güvenli kablosuz haberleşme gerektiren uygulamalar hedeflenmiştir.

MiWi: MiWi ve MiWi P2P desteğine sahip sistemler Microchip Teknoloji tarafından geliştirilmiştir. Düşük veri hızlı, kısa mesafelerde kablosuz iletim yapabilen düşük maliyetli MiWi ağları ile endüstriyel kontrol, süreç kontrol, bina otomasyonu, uzaktan kontrol ve uzaktan sayaç okuma uygulamalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

ISA100.11a: Açık standartlı kablosuz ağ teknolojilerine yönelik olarak ISA tarafından geliştirilmiş bir protokoldür. Süreç kontrol türü uygulamalar da dahil olmak üzere endüstriyel otomasyon için düşük hızlı kablosuz haberleşme sistemlerini tanımlar.

6LoWPAN: 6LoWPAN protokolü düşük hızlı kablosuz kişisel alan ağları için IPv6 haberleşme desteği sağlar. Birçok IoT cihazı IEEE 802.15.4 linkleri üzerinden IPv6 protokolü kullanarak haberleşme yapar. Bunun için bağlantısız iletim imkanı sağlayan UDP taşıma katman protokolü kullanılmaktadır. UDP protokolü fragmantasyonu desteklemez.

IEEE 802.15.4 Başlığı 25 Byte	Uyum Başlığı 11-25 Byte	IPv6 Adres Başlığı 40 Byte	UDP Başlığı 8 Byte	IPv6 Verisi 29-43 Byte
-------------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	--------------------------	---------------------------

Şekil 6. 6LoWPAN haberleşmesi için IEEE 802.15.4 Çerçevesi

İki IoT cihazı arasında, paketler IEEE 802.15.4 radyo linki üzerinden 250 kbps bantgenişliği ile iletilirler. IEEE 802.15.4 protokolünün maksimum MTU büyüklüğü 127 oktetdir. IPv6 paketlerinin MTU büyüklüğü 1280 oktetdir. Bundan dolayı, bir IPv6 paketi IEEE 802.15.4 çerçevesine sığmaz. 802.15.4 çerçevesinde maksimum paket başlığı 98 oktet olduğu için, minimum uygulama katmanı sadece 29 oktetten oluşur (Hossain, 2018). Şekil 6' da 6LoWPAN haberleşmesinde kullanılan bir IEEE 802.15.4 çerçevesi gösterilmiştir. 29 oktetten daha büyük olan uygulama veriyükleri çoklu fragmentler halinde gönderilir. Uyum katmanı sadece paket bölümlere ve tekrar birleştirmeyi içermez. Aynı zamanda paket kayıp ve paketlerin tekrar gönderilme sıklığına bakarak IPv6 adres sıkıştırma desteği verir.

Teşekkür

Çalışmalarım sürecinde bana gerekli imkanı ve desteği sağladıkları için eşim ve oğluma teşekkür ederim. Ayrıca, bu çalışmaya olan katkılarından dolayı Doç.Dr. Selçuk ÖKDEM'e teşekkür ederim.

Kaynakça

1. Arslan, S., Ökdem, S. (2015). "Düşük Hızlı Kablosuz Kişisel Alan Ağlarında Gürültülü Sinyallere Yönelik Adaptif Veri Dizisi Üretici," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol (3): 371-380.
2. Flowers, D., Yang, Y. (2007). MiWi Wireless Networking Protocol Stack. *MicroChip AN1066*. 24 Mart 2019 tarihinde www.microchip.com.ru/download/MiWi/01066a.pdf web adresinden alınmıştır.
3. Hossain, M. (2018). *Towards a Holistic Framework for Secure, Privacy-aware, and Trustworthy Internet of Things Using Resource-efficient Cryptographic Schemes*, Doktora Tezi, Birmingham Alabama, USA.
4. IEEE P80215 Working Group (2003). IEEE 802.15.4 - 2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). *IEEE Protocol Specifications*. IEEE 2003, 24 Mart 2019 tarihinde IEEE veritabanından alınmıştır.
5. IEEE P80215 Working Group (2006). IEEE 802.15.4 - 2003: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). *IEEE Protocol Specifications*. IEEE 2003, 24 Mart 2019 tarihinde IEEE veritabanından alınmıştır.
6. ISA100 (2008). Wireless Systems for Automation. *The ISA 100 Standards*. 24 Mart 2019 tarihinde www.isa.org/pdfs/2008-seminar/ISA100_Overview_Oct_2008/ web adresinden alınmıştır.
7. Ökdem, S. (2015). "A real-time noise resilient data link layer mechanism for unslotted IEEE 802.15.4 networks," *International Journal of Communication Systems*, 30: 1-15.
8. Frenzel, L. (2013). What's the Difference between IEEE 802.15.4 and ZigBee Wireless. 24 Mart 2019 tarihinde www.Electronicdesign.com/what-s-difference-between/what-s-difference-between-ieee-802154-and-zigbee-wireless adresinden ulaşılmıştır.
9. Ökdem, S. (2017). "Slotsuz IEEE 802.15.4 Ağlarda CSMA/CA Parametre Değerlerinin Hesabına Yönelik Monte Carlo Makinesinin Tasarımı," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi PART C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2):247-256.
10. Öztaş, Ş., Belen, M., Kaya, İ. ve Kaya, A. (2011), "Zigbee Teknolojisi Kullanılarak Kablosuz Kafe Otomasyon Sistemi Tasarımı", *Elektrik- Elektronik Bilgisayar Sempozyumu (FEEB2011)*, 5-7 Ekim, Elazığ/Türkiye.
11. Shelby, Z., Carsten, B. (2011). *6LoWPAN: The wireless embedded Internet*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
12. Song, J. vd. (2008). "WirelessHART: Applying wireless technology in real-time industrial process control", *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium*, 22-24 Nisan, ST. Louis, Missouri.
13. ZigBee Alliance (2012). ZigBee Specification, *ZigBee Standards Organization*. 24 Mart 2019 tarinden www.zigbee.org/wp-content/uploads/2014/11/docs-05-3474-0csg-zigbee-specification.pdf adresinden erişilmiştir.

OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI İLE ÇOKLU GERİ-BESLEMELİ YÜKSEK GEÇİREN AKTİF FİLTRE TASARIMI

Burhanettin DURMUŞ¹, Hasan TEMURTAŞ²,
Serdar ÖZYÖN³



¹ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE.

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE.

³ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE.

Giriş

İnsan beyni aynı anda birçok uyarıcı noktayı algılayabilmesine rağmen, tek bir noktaya konsantre olabilmektedir. Elektronik sistemlerde çevrede ne kadar çok sayıda ve farklı yapıda sinyal algılasa da, bu sinyallerin sadece bir tanesiyle işlem yapacak şekilde tasarlanmışlardır. İşte bu tek bir sinyali geçirme işlemine filtreleme, bu işlemi yapan devrelere de filtre (süzgeç) denir. Genel olarak filtre devreleri istenmeyen sinyali engelleyen devrelerdir. Bu devreler sadece tasarlanan sistemin çalışmasını sağlayan sinyali geçirmektedirler. Engellenen sinyaller parazit, gürültü veya diğer sistem sinyalleri olabilir. Elektrik elektronik mühendisliğinde filtreler haberleşme sistemleri ve kontrol devreleri gibi birçok elektronik devre uygulamasında önemli görevler yapmaktadır. Gerçek dünya mühendislik problemlerinde de geniş kullanım alanlarına sahip olan bu filtreler doğru bileşenlerin süzülmesinde, gürültü azaltmada, rezonanstan kaçınmada veya rezonans oluşturmada, işaret biçimlendirmede, işaret zayıflatmada ve güç faktörü düzeltmede kullanılırlar. Elektrik elektronik sistemlerde büyük bir öneme sahip olan filtreler özellikle telsiz, telefon, radyo, televizyon gibi ses, resim veya bilgi haberleşmesinde elzem devrelerdir. Örnek vermek gerekirse filtreler, çağımızın en önemli haberleşme araçlarından biri olan telefon devreleri için olmazsa olmaz devre yapılarıdır, telefon devreleri filtresiz gerçekleştirilemezler. Ayrıca filtrelerin sismoloji, jeofizik, tıbbi elektronik, beyin dalgaları ve uzaktan ölçüm gibi birçok bilimsel araştırma konusunda da çok önemli işlevleri mevcuttur [1].

Elektronik filtreler genel olarak yapım elemanlarına göre aktif ve pasif filtreler olmak üzere ikiye, çalışma prensiplerine göre de alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren ve band durduran olmak üzere dört sınıfa ayrılırlar. Pasif filtre devreleri pasif bileşenlerden oluşan sinyal kazancı sağlamayan bir devre türüdür. Bu devrelerin tasarımında direnç, kondansatör ve bobin (self) gibi pasif devre elemanları kullanılır. Aktif filtrelerde ise pasif devre elemanlarına ilaveten transistör ve tümdevre gibi yarıiletken devre elemanları da kullanılır. Bu tür filtreler teorik olarak belirli bir kazanç ile sinyali yükseltebilirler. Daha düşük çıkış empedansı ve daha yüksek giriş empedansına sahip olduklarından uygulamalarda art arda bağlanabilirler. Bundan dolayı birçok uygulama alanında aktif filtre tasarımları sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışma prensiplerine göre ise tasarlanan filtreye, belirlenen frekansın altındaki frekansları geçirip üstündekileri zayıflatıyorsa “alçak geçiren filtre”, üstündekileri geçirip altındaki frekansları zayıflatıyorsa “yüksek geçiren filtre”, belirli bir frekans aralığındaki frekansları geçiriyorsa “bant geçiren filtre” ve frekans aralığını zayıflatıyorsa “bant durduran filtre” adı verilir [2].

Aktif filtre kullanımının pasif filtrelerle göre birçok avantajı vardır. Bunlar;

- Aktif filtre tasarımında bobin (self) elemanı kullanılmaz. Bu nedenle tasarımı kolay ve ucuzdur.
- Aktif filtre devrelerinin çıkış empedansı çok düşük, giriş empedansı ise oldukça yüksektir. Bu nedenle, aktif filtrelerin girişlerine veya

çıkışlarına bağlanacak devre veya devre elemanlarının etkilenmesi söz konusu değildir.

- Aktif filtrelerde, filtrenin geçirgen olduğu frekanslarda herhangi bir zayıflatma olmaz. Çünkü aktif filtre tasarımıyla kullanılan opamp, filtre edilen işaretleri yükselterek çıkışına aktarabilir.
- Aktif filtre devrelerinde entegre üretim teknolojilerinden kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle self (bobin) elemanı kullanılamaz. Bu eleman yerine negatif empedans dönüştürücülerden yararlanılarak kondansatörden self elde edilebilir.
- Daha düşük maliyettedir. Aktif filtreler düşük frekanslı pasif filtreler için gerekli olan büyük indüktör ve kapasitörlere duyulan ihtiyacı ortadan kaldırır [1,2].

Aktif filtre tasarımlarında genel olarak kullanılan sellen-key ve çoklu geri-beslemeli olmak üzere iki yapı vardır [3-5]. Bu yapıların farklı tasarımlarıyla da Bessel, Butterworth, Chebyshev ve Elliptic gibi tiplerde aktif filtre tasarımları bulunmaktadır [6-8]. Literatürde çeşitli filtre tasarımları yapılmış ve farklı problemlerin çözümü için başarıyla kullanılmıştır. Bunlar; görüntü işleme problemi için tasarlanmış dijital kesirli dereceli Butterworth tip filtre [9], filtrelerin genlik ve frekans davranışlarının incelenmesi için tasarlanan çeşitli derecelerde Butterworth tip filtre tasarımı [10], sinyal iletiminde performans artışı sağlamak için Elliptic tipte alçak-geçiren bir filtre tasarımı [11], görüntü işleme uygulaması için band durduran ve farklı Chebyshev tip filtre tasarımları [12-14] şeklinde sayılabilir.

Öte yandan, aktif filtre tasarımıyla kullanılan direnç ve kapasitör gibi pasif elemanların seçimi önemli bir konudur. Zira, filtrenin genlik ve frekans cevabı bu bileşen değerlerine bağlı olduğundan hedeflenen bir genlik cevabına ulaşmak için uygun bileşen değerlerinin seçilmesi gerekir. Olası bileşen değerlerinin seçiminin zorluğu nedeniyle klasik metodların yerine, daha kısa sürelerde bileşen değeri belirlenebilen optimizasyon algoritmaları yardımıyla yapılan tasarımlar öne çıkmaktadır. Bu çalışmalarda, filtre tasarımıyla ilgili pasif bileşen değerlerinin seçimi bir optimizasyon problemine dönüştürülerek, bu probleme çeşitli algoritmalarla çözüm aranmış ve birçok farklı optimizasyon algoritması ile geleneksel yöntemlere göre daha uygun çözümler elde edilmiştir. Bütün bunlara ek olarak, tasarlanan filtrenin filtre cevabının ideal filtreye benzemesini sağlamak amacıyla derecesinin artırılması tasarım karmaşıklığını da bir üst seviyeye çıkarmaktadır. Özellikle art arda bağlı filtrelerde pasif eleman seçiminde çok fazla kombinasyonun oluşu, tasarım sürecinin hesaplama maliyetini arttırmakta ve tasarımı daha karmaşık bir problem haline getirebilmektedir [15-17]. Bu zorluğun aşılmasında optimizasyon algoritmalarının kullanımı giderek artmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada, filtre bileşen seçimi için optimizasyon algoritması temelli bir tasarıma odaklanılmıştır.

Yapılan geniş literatür taramalarında birçok optimizasyon algoritmasıyla farklı yapılarda ve derecelerdeki aktif filtrelerin parametreleri belirlenmiştir.

Aktif filtre tasarımı için daha önce literatürde kullanılan optimizasyon metodları klonal seçim algoritması [18], paralel tabu arama algoritması [19], ortalama diferansiyel gelişim algoritması [20], girdap arama algoritması [21], bakteri yiyecek arama optimizasyonu [22], geri beslemeli arama algoritması [23, 24], bozkurt arama algoritması [25-27], balina optimizasyonu algoritması [27], sinüs kosinüs algoritması [27], diferansiyel gelişimi algoritması [28], armoni arama algoritması [28], parçacık sürü optimizasyonu [26, 29, 30], yapay arı koloni optimizasyonu [29, 31], tabu arama algoritması [32] ve genetik algoritmalar ve türevleri [29, 32-34] olarak sayılabilir.

Bu çalışmada bileşen seçimleri ve kazanç hesapları geleneksel yöntemlerle uzun süreler alan 10. dereceden çoklu geri-beslemeli yapıda Chebyshev tip yüksek geçiren aktif bir filtre tasarımı yapılmıştır. 1-dB ve 3-dB kazançlar için filtrenin bileşen değerleri dört farklı optimizasyon algoritması (PSO, CSS, DE, ADE) kullanılarak hem sürekli hem de ayrık değerler için optimize edilmiştir. Sürekli değerlerin kullanıldığı ilk durumda bileşen değerleri ideal ve sınırsız kabul edilerek kazanç minimize edilmiştir. İkinci durumda ise sadece endüstriyel E196 serisi bileşen değerleri kullanılarak, tasarım problemi bir ayrık optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Tasarım probleminin daha da zorlaştığı bu durumda, uygulanan optimizasyon algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan geniş literatür taramalarından çıkarılan sonuca göre 10. dereceden çoklu geri-beslemeli yapıda Chebyshev tip yüksek geçiren aktif bir filtre tasarımı, E196 seri değerleri için ilk kez bu çalışmada yapılmıştır. Tasarlanan 10. dereceden filtrenin optimal bileşen değerlerinin belirlenmesi için ortalama diferansiyel gelişim (ADE) algoritması önerilmiştir. ADE algoritması yeni önerilen optimizasyon algoritmalarından biri olup etkin ve basit bir yapıya sahiptir [20]. DE temelinde geliştirilen bu metod, kümülatif bir mutasyon operatörü kullanır. Önerilen metodun performansı literatürde geniş bir kullanım alanına sahip olan üç algoritma (PSO [35], CSS [36] ve DE [37]) ile karşılaştırılmıştır. Bileşen değerlerinin seçiminde hem sürekli değerler hem de endüstriyel E192 serisindeki değerler göz önüne alınmıştır. Filtreye ait frekans ölçeklendirme faktörü FSF ve kalite faktörü Q , amaç fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. Elde edilen optimal filtre bileşen değerleri ile kalite faktörleri (Q) her bir kademe için ayrı ayrı sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sunulan bu kalite faktörü değerlerinin daha sonra yapılacak farklı çalışmalara referans olması amaçlanmaktadır.

2. Ortalama Diferansiyel Gelişim Algoritması (ADE)

ADE algoritması yeni önerilen algoritmalarından biri olup hızlı bir yakınsama hızına sahiptir [20]. DE algoritmasının bir versiyonu olarak geliştirilen bu sezgisel, DE 'den farklı bir mutasyon operatörü kullanır. Mevcut popülasyondaki bireylerin ortalaması ve en iyi bireyin izlenmesi suretiyle olası çözüm vektörlerinin gelişimi iterasyonlar boyunca sürdürülür. Dolayısıyla global çözüme ulaşmada elbirliği (kooperatifsel) yapılan bir arama stratejisi kullanılmaktadır.

ADE algoritması ilklendirme, değerlendirme, geliştirme, sınır aşımı ve kısıt kontrolü, seçim ve sonlandırma olmak üzere altı işlem basamağına sahiptir. İlklendirme adımında, izin verilen sınırlar içinde D değişkenli, PS popülasyon boyutuna sahip olası çözüm vektörleri rastgele oluşturulur. Bu işlem denklem (1)'deki gibi tanımlanır.

$$x_{i,G}^j = x_{i,L} + rand \cdot (x_{i,U} - x_{i,L}), \quad i = 1, 2, \dots, PS \text{ ve } j = 1, 2, \dots, D \quad (1)$$

Burada, x çözüm vektör setini, PS popülasyondaki birey sayısını, D her bir bireydeki değişken sayısını, $x_{i,U}$ ve $x_{i,L}$ değişkenlerin alt ve üst sınır değerlerini, $rand$ $[0,1]$ aralığında rastgele sayıyı, G ise kuşak sayısını temsil eder.

Başlangıç havuzu oluşturulduktan sonra her bir çözüm vektörü problemin amaç fonksiyonuna $f_{objective}(x)$ göre değerlendirilir. Amaç fonksiyonu aslında olası çözümlerin uygunluk fonksiyonu temsil eder.

Geliştirme fazında, sonraki nesillere aday çözüm üretimi gerçekleştirilir. İlk olarak mevcut popülasyondaki çözüm vektörlerinin ortalaması olan ortalama vektörü $\vec{A}_G$ hesaplanır:

$$\vec{A}_G = \frac{1}{PS} \sum_{i=1}^S \vec{x}_{i,G} = (1/PS) \cdot (\vec{x}_{1,G} + \vec{x}_{2,G} + \dots + \vec{x}_{PS,G}) \quad (2)$$

Burada, $\vec{A}_G$ vektörü G . kuşaktaki ortalama vektörü temsil eder.

Daha sonra mutasyon işlemi yürütülür. Bu işlemde, hedef vektör ile ortalama vektör farkı, rastgele ölçeklendirilerek en iyi bireye ilave edilir. Böylece aşağıdaki denklemde tanımlandığı gibi her bir hedef vektör için bir mutant vektörü oluşturulur.

$$\vec{u}_{i,G+1} = \vec{x}_{best,G} + \gamma \cdot rand_i[-1,1] \cdot [\vec{A}_G - \vec{x}_{i,G}] \quad (3)$$

Burada, $\vec{u}_{i,G+1}$ mutant vektörünü, $\vec{x}_{best,G}$ G . kuşaktaki en iyi vektörü, γ ölçekleme faktörünü ve $rand_i[-1,1]$ ise $[-1, 1]$ aralığındaki rastgele sayıları temsil eder.

Mutasyon işleminin ardından, hedef vektör $\vec{x}_{i,G}$ ile mutant vektör $\vec{u}_{i,G+1}$ arasında C_r olasılıklı çaprazlama işlemi uygulanır. Çözümlere ait her bir parametre için gerçekleştirilen bu işlem sonunda sonraki kuşağa aday bir çözüm vektörü $\hat{x}_{i,G+1}$ elde edilmektedir. Çaprazlama işlemi aşağıdaki denklem ile gerçekleştirilir:

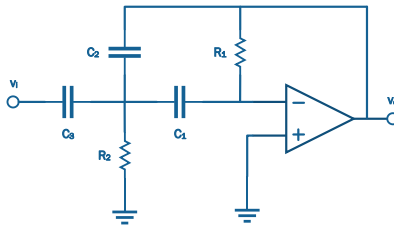
$$\hat{x}_{i,G+1} = \begin{cases} rand_j[0,1] \leq C_r \text{ ise } u_{i,G+1}^j \\ \text{else } x_{i,G}^j \end{cases} \quad (4)$$

Çaprazlama işlemi ile ADE'nin gelişim aşaması tamamlanmış olur. Sonraki işlem fazında ise sınır aşımalarının kontrolü yapılır. Gelişim fazında üretilen aday bireylerin önceden tanımlanmış parametrik sınırlardan kaçıp kaçmadığı kontrol edilir. Eğer herhangi bir sınır kaçışı varsa ilgili parametre en yakın sınır değerine çekilir. Sonraki işlem fazı ise seçim fazıdır. Bu fazda, aday çözüm vektörün ve hedef vektörün uygunlukları karşılaştırılır. Uygunluğu daha iyi olan birey sonraki kuşağa aktarılır.

Son olarak durdurma kriteri kontrol edilir. Önceden tanımlanan iterasyon sayısına ulaşıncaya hesaplamaya durdurularak uygunluğu en iyi vektör çözüm olarak kabul edilir [20].

3. Çoklu Geri-Beslemeli Chebyshev Yüksek Geçiren Aktif Filtre

Yüksek geçiren aktif bir filtre, belirlenen bir frekans değerinin üstündeki tüm frekans bileşenlerinin geçişine izin veren ve bu frekans değerinin daha altında olan tüm frekans bileşenlerinin geçişini reddeden veya azaltan elektronik bir cihazdır. Bu filtreler literatürde çeşitli yapılarla dizayn edilirler. Bu çalışmada kullanılan çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin 2. dereceden devre şeması Şekil 1'de verilmiştir [24, 38, 39].



Şekil 1. 2. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtre devre şeması

Şekilde devrenin transfer fonksiyonu denklem (5)'de verilmiştir.

$$H_{HPF}(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{-C_3/C_2}{1 + \frac{C_1 + C_2 + C_3}{sR_1C_1C_2} + \frac{1}{s^2R_1R_2C_1C_2}}, \quad s = j2\pi f \quad (5)$$

$$H_{HPF}(f) = \frac{-C_3/C_2}{1 - \frac{1}{(2\pi f)^2 R_1 R_2 C_1 C_2} - j \frac{C_1 + C_2 + C_3}{(2\pi f) R_1 C_1 C_2}}$$

Transfer fonksiyonunun sabit kazanç durumunda ($C_3=C_2$) standart formu denklem (6)'daki gibi tanımlanmıştır [38, 39].

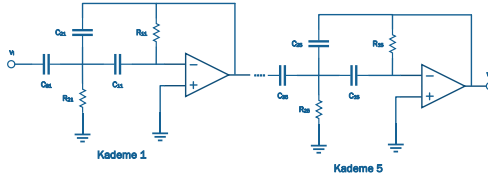
$$H_{HPF}(f) = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_c}{FSF \cdot f} \right)^2 - j \frac{f_c}{Q \cdot FSF \cdot f}} \quad (6)$$

$$FSF = 2\pi f_c \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}; \quad Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{R_2 (C_1 + 2C_2)}$$

Denklemden f_c kesim frekansını, FSF frekans ölçeklendirme faktörünü ve Q kalite faktörünü göstermektedir. Tasarlanan filtrenin genlik tepkisi ise denklem (7)'de tanımlanmıştır.

$$|H_{HPF}(f)| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{f_c}{FSF \cdot f} \right)^2 \right)^2 + \left(\frac{f_c}{Q \cdot FSF \cdot f} \right)^2}} \quad (7)$$

Çalışmada tasarlanan 10. dereceden yüksek geçiren bir filtre, Şekil 2'de görüldüğü gibi, 5 adet 2. dereceden yüksek geçiren filtrenin birbirine ardına bağlanması ile kurulmuştur. 10. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin devre şemasının her kademesi için hedeflenen, frekans ölçeklendirme faktörü (FSF) ve kalite faktörü (Q) değerleri, 1-dB dalgalanma faktörü için Tablo 1'de, 3-dB dalgalanma faktörü için Tablo 2'de verilmiştir. Bu çalışmada tasarlanan filtre devresinin kesim frekansı (f_c) 10 kHz olarak alınmıştır.



Şekil 2. 10. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtre devre şeması

Tablo 1. Çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin her kademesi için hedeflenen FSF ve Q değerleri (**1-dB dalgalanma faktörü**)

Filtre Derecesi	Kademe 1		Kademe 2		Kademe 3		Kademe 4		Kademe 5	
	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q
2	1,0500	0,9565								
3	0,9971	2,0176	0,4942							
4	0,5286	0,7845	0,9932	3,5600						
5	0,6552	1,3988	0,9941	5,5538	0,2895					
6	0,3532	0,7608	0,7468	2,1977	0,9953	8,0012				
7	0,4800	1,2967	0,8084	3,1554	0,9963	10,9010	0,2054			
8	0,2651	0,7530	0,5838	1,9564	0,5538	2,7776	0,9971	14,2445		
9	0,3812	1,1964	0,6623	2,719	0,8805	5,5239	0,9976	18,0069	0,1593	
10	0,2121	0,7495	0,4760	1,8639	0,7214	3,5609	0,9024	6,9419	0,9981	22,2779

Tablo 2. Çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin her kademesi için hedeflenen FSF ve Q değerleri (**3-dB dalgalanma faktörü**)

Filtre Derecesi	Kademe 1		Kademe 2		Kademe 3		Kademe 4		Kademe 5	
	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q
2	0,8414	1,3049								
3	0,9160	3,0678	0,2986							
4	0,4426	1,0765	0,9503	5,5770						
5	0,6140	2,1380	0,9675	8,8111	0,1775					
6	0,2980	1,0441	0,7224	3,4597	0,9771	12,7899				
7	0,4519	1,9821	0,7920	5,0193	0,9831	17,4929	0,1265			
8	0,2228	1,0558	0,5665	3,0789	0,8388	6,8302	0,9870	22,8481		
9	0,3559	1,9278	0,6503	4,3179	0,8716	8,8756	0,9897	28,9400	0,0983	
10	0,1796	1,0289	0,4626	2,935	0,7126	5,7012	0,8954	11,1646	0,9916	35,9274

Çalışmada, filtrenin parametre değerleri, denklem (8)'de tanımlanan hata miktarı minimize edilinceye kadar art arda ADE algoritması tarafından ayarlanır. Filtrenin tasarım hatası FSF ve Q 'nun maliyet fonksiyonu hatalarının toplamı kadardır. Denklemden yer alan FSF_{ti} hedeflenen FSF , Q_{ti} ise hedeflenen Q 'dur.

$$Hata_1 = \sum_{i=1}^5 \frac{|FSF_{t,i} - FSF_i|}{FSF_{t,i}}, \quad Hata_2 = \sum_{i=1}^5 \frac{|Q_{t,i} - Q_i|}{Q_{t,i}} \quad (8)$$

$$Hata_{Toplam} = 0.5 \times Hata_1 + 0.5 \times Hata_2$$

ADE algoritmasının uygulanmasında, Şekil 2’de verilen filtrenin her bir pasif bileşeninin değeri, Tablo 3’te görüldüğü gibi bir dizi şeklinde kodlanmıştır.

Tablo 3. Filtre bileşen değerlerinin dizi biçiminde temsil edilmesi

Kademe 1					...	Kademe 5				
R ₁₁	C ₁₁	R ₂₁	C ₂₁	C ₃₁	...	R ₁₅	C ₁₅	R ₂₅	C ₂₅	C ₃₅

4. Sayısal Sonuçlar

10. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin bileşen değerlerinin belirlenmesi için bu çalışmada ADE optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Önerilen algoritmanın performansının, diğer optimizasyon algoritmalarıyla karşılaştırılması için literatürdeki güçlü optimizasyon algoritmalarından olan PSO, CSS ve DE metotları ile de aynı çözümler yapılmıştır. Çözümler yapılırken algoritmaların parametre değerleri literatürdeki değerlere bağlı alınarak Tablo 4’te verilmiştir. Filtre tasarımı, sürekli ve ayrık bileşen değerler için 1-dB ve 3-dB dalgalanma faktörleri dikkate alınarak dört farklı durum düşünülmüştür. Her bir durum için algoritmaların ayrı ayrı 30 kez koşturulmasından elde edilen sonuçlar aşağıdaki alt başlıklarda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 4. Algoritmaların parametre değerleri

Metot	PSO	CSS	DE	ADE
Parametreler	İterasyon sayısı=1000			
	Popülasyon sayısı=50			
	Fonksiyon Çağırma Sayısı:50000			
	$w_{min} = 0.1$	$kv = 0.9$	$F = 0.8$	$K = 2$
	$w_{max} = 0.5$	$kv = 0.1$		
	$c_1 = 2$	$ka = 0.9$	$CR = 0.4$	$CR = 0.8$
	$c_2 = 2$	$ka = 0.1$		

4.1. Durum-1: 10. dereceden Çoklu Geri-Beslemeli Chebyshev Yüksek Geçiren Aktif Filtrenin 1-dB dalgalanma faktörü için simülasyon sonuçları (sürekli durum)

Birinci durumda, sürekli değerler için 10. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin bileşen değerleri, 1-dB dalgalanma

faktörü için PSO, CSS, DE ve ADE algoritmalarıyla 30 kez çözülmüştür. Bu çözümlere ait istatistikî değerler Tablo 5’de verilmiştir. Tasarlanan filtre için algoritmalar tarafından bulunan en iyi çözümlere ait bileşen değerleri Tablo 6’da, bulunan bu bileşen değerleriyle bütün kademeler için hesaplanan *FSF* ve *Q* değerleri ise Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 5. 30 çalışmadan elde edilen istatistiksel sonuçlar (1-dB - sürekli)

Metot	En iyi	Ortalama	En kötü	Std Sap.	Süre (sn)
PSO	3.208545e-14	4.523874e-01	1.135347e+00	3.052300e-01	2.15306
CSS	3.479600e-09	1.006988e-01	9.886307e-01	2.005586e-01	11.6471
DE	7.002983e-04	4.534338e-03	1.048994e-02	2.593498e-03	2.37322
ADE	1.110223e-16	8.086343e-02	4.577212e-01	1.323391e-01	2.12245

Tablo 5 incelendiğinde 30 çalışma için elde edilen en iyi sonuçlara göre en iyi hata değerini veren algoritmalar ADE ve PSO olmuştur. Bu iki algoritma standart sapma değerleri ve arama aralıkları bakımından karşılaştırıldığında ise ADE’nin daha kararlı yapıda arama yaptığı görülmüştür. Süre bakımından CSS algoritmasının diğer yaklaşımlara göre daha yavaş arama yaptığı söylenebilir.

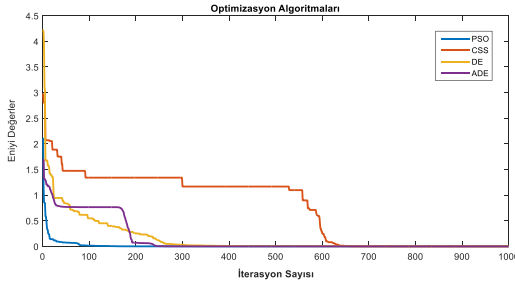
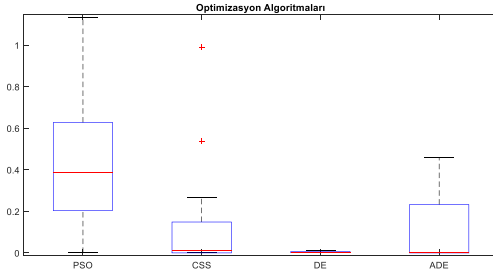
Tablo 6. En iyi çözümlere ait bileşen değerleri (1-dB - sürekli)

Metot	Bileşen	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4	Kademe 5
PSO	R ₁ (kΩ)	3.036083	10.000000	100.000000	48.641809	453.653344
	R ₂ (kΩ)	0.375325	0.327403	0.587840	0.100000	0.100000
	C ₁ (nF)	10.000000	4.344484	1.000000	5.633155	4.824675
	C ₂ (nF)	1.000000	4.034911	2.242506	7.527955	1.152912
	C ₃ (nF)	1.000000	4.034911	2.242506	7.527955	1.152912
CSS	R ₁ (kΩ)	3.634416	14.517424	63.392620	42.570944	295.512883
	R ₂ (kΩ)	0.805704	0.472683	0.615080	0.098132	0.072491
	C ₁ (nF)	2.624171	5.625009	2.292033	7.024314	5.711614
	C ₂ (nF)	1.482925	1.486866	1.475032	7.029248	2.062376
	C ₃ (nF)	1.482925	1.486866	1.475032	7.029248	2.062376
DE	R ₁ (kΩ)	0.907603	9.885586	12.352484	99.893225	686.693009
	R ₂ (kΩ)	0.199012	0.181428	0.108130	0.258483	0.037739
	C ₁ (nF)	9.951171	3.360847	9.911642	3.799027	1.094434
	C ₂ (nF)	6.341834	9.517431	9.953029	2.102310	8.901308
	C ₃ (nF)	6.341834	9.517431	9.953029	2.102310	8.901308
ADE	R ₁ (kΩ)	0.778530	5.368962	62.105614	70.259041	259.659380
	R ₂ (kΩ)	0.152402	0.191049	0.259452	0.102444	0.051872
	C ₁ (nF)	9.651907	9.520774	1.496911	3.415834	9.998984
	C ₂ (nF)	9.950447	5.876891	5.465227	8.389816	1.873682
	C ₃ (nF)	9.950447	5.876891	5.465227	8.389816	1.873682

Tablo 7. Tasarlanan filtrenin tasarım parametre değerleri (1-dB - sürekli)

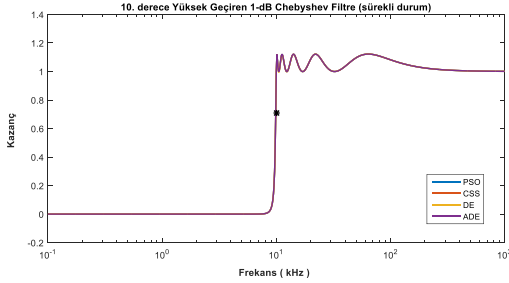
Metot	Kademe 1		Kademe 2		Kademe 3		Kademe 4		Kademe 5	
	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q
Hedef	0.2121	0.7495	0.4760	1.8639	0.7214	3.5609	0.9024	6.9419	0.9981	22.2779
PSO	0.2121	0.7495	0.4760	1.8639	0.7214	3.5609	0.9024	6.9419	0.9981	22.2779
CSS	0.2121	0.7495	0.4760	1.8639	0.7214	3.5609	0.9024	6.9419	0.9981	22.2779
DE	0.2121	0.7495	0.4759	1.8641	0.7212	3.5603	0.9023	6.9414	0.9983	22.2799
ADE	0.2121	0.7495	0.4760	1.8639	0.7214	3.5609	0.9024	6.9419	0.9981	22.2779

Tablo 6 ve 7 birlikte ele alındığında ise bütün algoritmaların birinci durum için, farklı bileşen değerleri ile bütün kademelerde *FSF* ve *Q* değerlerini yaklaşık yakaladığı görülmektedir. Durum-1 için algoritmaların en iyi çözüm değerlerine ait yakınsama eğrileri Şekil 3'de, kutu grafikleri ise Şekil 4'de verilmiştir. Filtre parametrelerinin optimizasyonundan elde edilen kazanç eğrisi grafikleri ise Şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir.

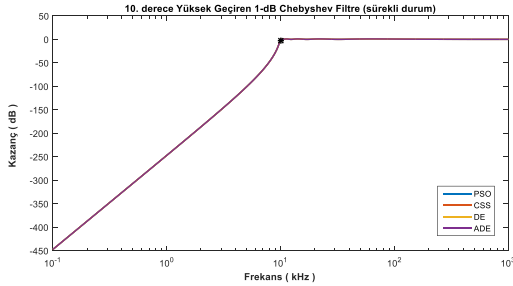
**Şekil 3.** Yakınsama eğrileri (1-dB - sürekli)**Şekil 4.** 30 çalışma için kutu grafikleri (1-dB - sürekli)

Birinci durum için Şekil 3'deki yakınsama grafiği incelendiğinde, PSO yaklaşık 90. iterasyonda minimum değerine ulaşmıştır. Burada PSO ve ADE ile çok hızlı bir yakınsama elde edildiği görülmektedir. Şekil 4'de yer alan algoritmaların 30 kez çalıştırılması ile elde edilen kutu grafikleri incelendiğinde ise DE algoritması en küçük arama aralığına sahip olmasına

rağmen eniyi hata değerinden belirli bir aralıkta yerel minimuma takıldığı gözlemlenmektedir. Şekil 5 ve 6'daki kazanç eğrileri incelendiğinde ise bütün algoritmaların en az hata oranıyla ideal eğri üzerinde yer aldıkları söylenebilir.



Şekil 5. Kazanç eğrileri (1-dB - sürekli)



Şekil 6. Kazanç eğrileri - dB (1-dB - sürekli)

4.2. Durum 2: 10. dereceden Çoklu Geri-Beslemeli Chebyshev Yüksek Geçiren Aktif Filtrenin 1-dB dalgalanma faktörü için simülasyon sonuçları (ayrık durum)

İkinci durumda, ayrık değerlere göre 10. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin bileşen değerleri, 1-dB dalgalanma faktörü için PSO, CSS, DE ve ADE algoritmalarıyla 30 kez çözülmüştür. Bu çözümlere ait istatistiki değerler Tablo 8'de verilmiştir. Tasarlanan filtre için algoritmalar tarafından bulunan en iyi çözümlere ait bileşen değerleri Tablo 9'da, bulunan bu bileşen değerleriyle bütün kademeler için hesaplanan FSF ve Q değerleri ise Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 8. 30 çalışmadan elde edilen istatistiksel sonuçlar (1-dB - ayırık)

Metot	En iyi	Ortalama	En kötü	Std Sap.	Süre (sn)
PSO	4.549152e-03	3.000011e-01	9.496790e-01	2.416140e-01	2.84168
CSS	5.258062e-03	1.888057e-01	1.152529e+00	2.997966e-01	12.76
DE	1.947541e-02	7.597153e-02	1.902595e-01	3.952055e-02	2.66237
ADE	4.918189e-03	2.318443e-01	8.527451e-01	2.205763e-01	2.40732

İkinci durum için Tablo 8 incelendiğinde 30 çalışma için elde edilen en iyi sonuçlara göre en iyi hata değerini veren algoritmalar PSO ve ADE olmuştur. Bu iki yaklaşımla elde edilen standart sapma, ortalama ve arama aralığı değerlerine bakıldığında ADE yaklaşımının daha kararlı bir yapıda olduğu söylenebilir. Diğer yaklaşımlarda birbirine çok yakın en iyi hata değerleri yakalamıştır.

Tablo 9. En iyi çözümlere ait bileşen değerleri (1-dB - ayırık)

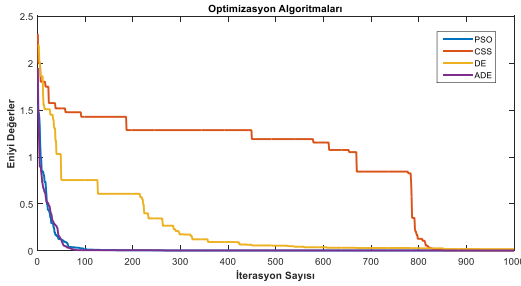
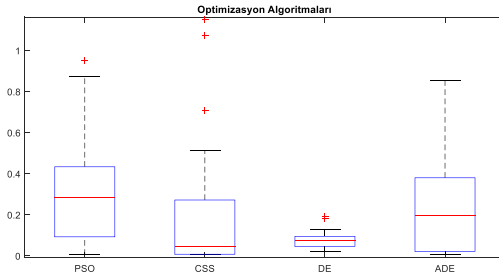
Metot	Bileşen	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4	Kademe 5
PSO	R ₁ (kΩ)	1.320000	19.100000	24.000000	38.800000	796.000000
	R ₂ (kΩ)	0.182000	0.493000	0.213000	0.100000	0.100000
	C ₁ (nF)	4.750000	1.930000	10.000000	10.000000	1.040000
	C ₂ (nF)	10.000000	3.160000	2.580000	5.300000	3.050000
	C ₃ (nF)	10.000000	3.160000	2.580000	5.300000	3.050000
CSS	R ₁ (kΩ)	3.360000	21.300000	22.900000	54.200000	196.000000
	R ₂ (kΩ)	0.556000	0.517000	0.223000	0.133000	0.041700
	C ₁ (nF)	2.000000	1.690000	6.730000	6.040000	5.170000
	C ₂ (nF)	3.050000	3.090000	3.830000	4.750000	5.970000
	C ₃ (nF)	3.050000	3.090000	3.830000	4.750000	5.970000
DE	R ₁ (kΩ)	1.740000	9.090000	98.800000	98.800000	1010.000000
	R ₂ (kΩ)	0.255000	0.324000	0.942000	0.100000	0.221000
	C ₁ (nF)	3.650000	6.120000	1.370000	2.290000	1.020000
	C ₂ (nF)	7.060000	3.200000	1.020000	9.310000	1.100000
	C ₃ (nF)	7.060000	3.200000	1.020000	9.310000	1.100000
ADE	R ₁ (kΩ)	5.490000	11.500000	28.000000	96.500000	612.000000
	R ₂ (kΩ)	1.000000	0.365000	0.264000	0.249000	0.147000
	C ₁ (nF)	1.300000	3.650000	4.870000	3.880000	1.910000
	C ₂ (nF)	1.600000	3.740000	3.650000	2.210000	1.470000
	C ₃ (nF)	1.600000	3.740000	3.650000	2.210000	1.470000

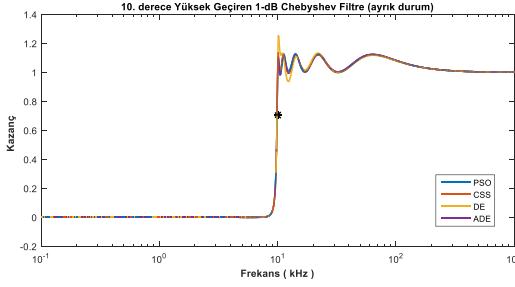
Tablo 10. Tasarlanan filtrenin tasarım parametre değerleri (1-dB - ayrık)

Metot	Kademe 1		Kademe 2		Kademe 3		Kademe 4		Kademe 5	
	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q
Hedef	0.2121	0.7495	0.4760	1.8639	0.7214	3.5609	0.9024	6.9419	0.9981	22.2779
PSO	0.2123	0.7499	0.4761	1.8632	0.7216	3.5565	0.9010	6.9612	0.9984	22.2549
CSS	0.2121	0.7496	0.4765	1.8638	0.7209	3.5753	0.9036	6.9581	0.9979	22.2609
DE	0.2125	0.7462	0.4772	1.8722	0.7165	3.5503	0.9119	6.9409	0.9943	22.2385
ADE	0.2123	0.7509	0.4756	1.8633	0.7202	3.5678	0.9019	6.9454	0.9986	22.2921

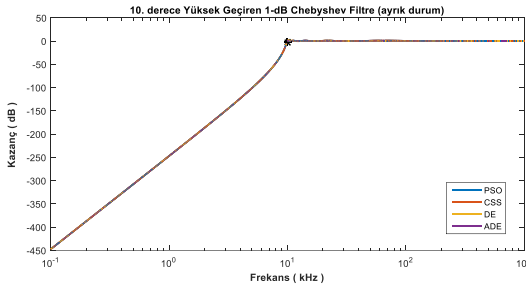
Tablo 9 ve 10 birlikte ele alındığında ise bütün algoritmaların bu durum için, farklı bileşen değerleri ile bütün katlarda FSF ve Q değerlerini yaklaşık yakaladığı görülmüştür.

Durum-2 için algoritmalarla elde edilen en iyi çözüm değerlerine ait yakınsama eğrilerini gösteren grafikler Şekil 7'de ve 30 çalışma için kutu grafikleri ise Şekil 8'de verilmiştir. Algoritmalarından elde edilen optimum bileşen değerlerine göre tasarlanan filtrenin kazanç eğrileri Şekil 9 ve 10'da gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Yakınsama eğrileri (1-dB - ayrık)**Şekil 8.** Yakınsama eğrileri ve kutu grafikleri (1-dB - ayrık)



Şekil 9. Kazanç eğrileri (1-dB - ayırık)



Şekil 10. Kazanç eğrileri - dB (1-dB - ayırık)

İkinci durum için Şekil 7'deki yakınsama grafiği incelendiğinde, ADE yaklaşık 80. iterasyonda, PSO ise yaklaşık 100. iterasyonda minimum değerlerine ulaşmıştır. Buna karşın DE yaklaşık 550. iterasyonda ve CSS ise yine yaklaşık 820. iterasyonda minimum değerini yakalamıştır. Burada ADE ve PSO ile yeterli düzeyde bir yakınsama elde edildiği görülmüştür. Şekil 8'de yer alan algoritmaların 30 kez çalıştırılması ile elde edilen kutu grafikleri incelendiğinde ise ADE ve PSO algoritmalarının arama aralığı birbirine yakın olmasına rağmen PSO algoritmasında bir adet sapan değer görülmektedir. Bu durumda DE algoritması en iyi minimum değere sahip olmasada, arama kararlılığı bakımından daha iyi konumdadır. Şekil 9 ve 10'daki grafiklerden tasarlanan filtrelerin kazanç eğrileri incelendiğinde ise ADE ve PSO algoritmalarının en az hata oranıyla ideal eğri üzerinde yer aldıkları söylenebilir. DE ve CSS algoritmaları için eksenden küçük sapmalar görülmektedir.

4.3. Durum 3: 10. dereceden Çoklu Geri-Beslemeli Chebyshev Yüksek Geçiren Aktif Filtrenin 3-dB dalgalanma faktörü için simülasyon sonuçları (sürekli durum)

Üçüncü durumda, sürekli değerler için 10. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin bileşen değerleri, 3-dB dalgalanma faktörü için PSO, CSS, DE ve ADE algoritmalarıyla 30 kez çözülmüştür. Bu çözümlere ait istatistiksel değerler Tablo 11'de verilmiştir. Tasarlanan filtre için algoritmalar tarafından bulunan en iyi çözümlere ait bileşen değerleri Tablo 12'de, bulunan bu bileşen değerleriyle bütün katmanlar için hesaplanan *FSF* ve *Q* değerleri ise Tablo 13'de verilmiştir.

Table 11. 30 çalışmadan elde edilen istatistiksel sonuçlar (3-dB - sürekli)

Metot	En iyi	Ortalama	En kötü	Std Sap.	Süre (sn)
PSO	1.665335e-16	2.357313e-01	7.276938e-01	2.005911e-01	2.1751
CSS	1.687945e-09	1.767011e-01	1.039651e+00	2.672988e-01	12.5704
DE	1.122283e-03	3.403358e-03	1.000185e-02	2.026329e-03	2.18105
ADE	5.551115e-17	1.309434e-02	3.605109e-01	6.456743e-02	2.06676

Tablo 11 incelendiğinde 30 çalışma için elde edilen en iyi sonuçlara göre ADE algoritması en iyi hata değeri ile tasarımı tamamlamıştır. ADE ve PSO algoritmaları standart sapma değerleri, arama aralıkları ve süre bakımından karşılaştırıldığında ise ADE'nin daha kararlı ve hızlı arama yaptığı görülmüştür.

Tablo 12. En iyi çözümlere ait bileşen değerleri (3-dB - sürekli)

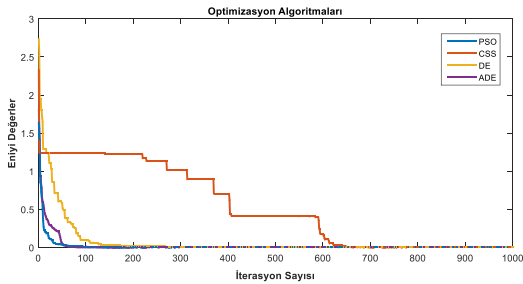
Metot	Bileşen	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4	Kademe 5
PSO	R_1 (k Ω)	1.000000	10.000000	131.611412	62.028455	1000.000000
	R_2 (k Ω)	0.100000	0.143228	0.094578	0.062161	0.039379
	C_1 (nF)	8.455676	9.754107	1.033349	10.000000	1.281136
	C_2 (nF)	9.662835	3.880042	10.000000	5.266992	4.936890
	C_3 (nF)	9.662835	3.880042	10.000000	5.266992	4.936890
CSS	R_1 (k Ω)	0.960207	9.881583	24.993449	85.566192	848.778695
	R_2 (k Ω)	0.098151	0.140207	0.083121	0.083872	0.030103
	C_1 (nF)	8.965913	7.612763	7.566032	6.466379	1.487709
	C_2 (nF)	9.669368	5.139424	8.183292	4.376193	6.552333
	C_3 (nF)	9.669368	5.139424	8.183292	4.376193	6.552333
DE	R_1 (k Ω)	1.016251	10.171117	24.954656	60.726306	545.811602
	R_2 (k Ω)	0.099190	0.099322	0.093514	0.056399	0.052816
	C_1 (nF)	8.166825	5.403884	8.925475	8.241163	3.999377
	C_2 (nF)	9.919508	9.931532	6.178013	7.199881	2.161040
	C_3 (nF)	9.919508	9.931532	6.178013	7.199881	2.161040
ADE	R_1 (k Ω)	0.919950	7.402928	47.777906	58.769631	767.551289
	R_2 (k Ω)	0.100000	0.093282	0.132895	0.054029	0.024100
	C_1 (nF)	9.976609	8.567426	3.547299	8.404062	1.621710
	C_2 (nF)	8.902371	9.162234	5.710814	7.610399	8.302786
	C_3 (nF)	8.902371	9.162234	5.710814	7.610399	8.302786

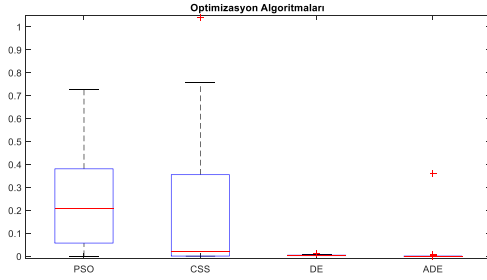
Tablo 13. Tasarlanan filtrenin tasarım parametre değerleri (3-dB - sürekli)

Metot	Kademe 1		Kademe 2		Kademe 3		Kademe 4		Kademe 5	
	<i>FSF</i>	<i>Q</i>	<i>FSF</i>	<i>Q</i>	<i>FSF</i>	<i>Q</i>	<i>FSF</i>	<i>Q</i>	<i>FSF</i>	<i>Q</i>
Hedef	0.1796	1.0289	0.4626	2.9350	0.7126	5.7012	0.8954	11.1646	0.9916	35.9274
PSO	0.1796	1.0289	0.4626	2.9350	0.7126	5.7012	0.8954	11.1646	0.9916	35.9274
CSS	0.1796	1.0289	0.4626	2.9350	0.7126	5.7012	0.8954	11.1646	0.9916	35.9274
DE	0.1796	1.0287	0.4626	2.9341	0.7127	5.7000	0.8957	11.1639	0.9918	35.9141
ADE	0.1796	1.0289	0.4626	2.9350	0.7126	5.7012	0.8954	11.1646	0.9916	35.9274

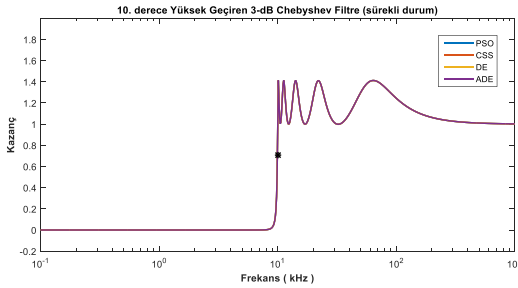
Üçüncü durum için Tablo 12 ve 13 birlikte ele alındığında ise bütün algoritmaların farklı bileşen değerleri ile bütün katlarda *FSF* ve *Q* değerlerini yaklaşık yakaladığı görülmektedir.

Durum-3 için algoritmalarla elde edilen en iyi çözüm değerlerine ait yakınsama eğrilerini gösteren grafikler Şekil 11'de ve 30 çalışma için kutu grafikleri ise Şekil 12'de verilmiştir. Algoritmalarından elde edilen optimum bileşen değerlerine göre tasarlanan filtrenin kazanç eğrileri Şekil 13 ve 14'de gösterilmiştir.

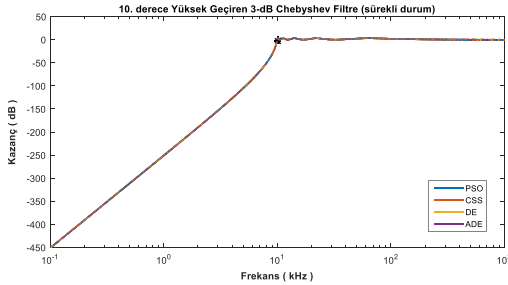
**Şekil 11.** Yakınsama eğrileri (3-dB - sürekli)



Şekil 12. Yakınsama eğrileri ve kutu grafikleri (3-dB - sürekli)



Şekil 13. Kazanç eğrileri (3-dB - sürekli)



Şekil 14. Kazanç eğrileri - dB (3-dB - sürekli)

Şekil 11'deki yakınsama grafiği incelendiğinde, ikinci durumdaki gibi ADE ve PSO yaklaşık 80. iterasyonda minimum değerlerine ulaşmışlardır. Buna karşın DE yaklaşık 220. iterasyonda ve CSS ise yaklaşık 640. iterasyonda minimum değerlerini yakalamıştır. Şekil 12'de yer alan algoritmaların 30 kez çalıştırılması ile elde edilen kutu grafikleri incelendiğinde ise ADE

algoritmasının arama aralığı PSO ve CSS algoritmalarına göre çok azdır. ADE ve DE algoritmaları benzer arama kararlılıklarına sahip olmalarına rağmen, ADE 30 çalışmada, iki adet sapan değere sahiptir. Bu durumda DE algoritmasının en iyi minimum değere sahip olmasada, arama kararlılığı bakımından iyi konumda gibi görünmesinin nedeni lokal minimum noktalarda takılması olabilir. Şekil 13 ve 14'deki grafiklerden tasarlanan filtrelerin kazanç eğrileri incelendiğinde ise bütün algoritmalarının en az hata oranıyla ideal eğri üzerinde yer aldıkları görülmektedir.

4.4. Durum 4: 10. dereceden Çoklu Geri-Beslemeli Chebyshev Yüksek Geçiren Aktif Filtrenin 3-dB dalgalanma faktörü için simülasyon sonuçları (ayrık durum)

Son durumda, ayrık değerlere göre 10. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin bileşen değerleri, 3-dB dalgalanma faktörü için PSO, CSS, DE ve ADE algoritmalarıyla 30 kez çözülmüştür. Bu çözümlere ait istatistiki değerler Tablo 14'de verilmiştir. Tasarlanan filtre için algoritmalar tarafından bulunan en iyi çözümlere ait bileşen değerleri Tablo 15'de, bulunan bu bileşen değerleriyle bütün katmanlar için hesaplanan FSF ve Q değerleri ise Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 14. 30 çalışmadan elde edilen istatistiksel sonuçlar (3-dB - ayrık)

Metot	En iyi	Ortalama	En kötü	Std Sap.	Süre (sn)
PSO	2.134513e-02	3.193077e-01	1.151903e+00	2.792802e-01	2.4026
CSS	5.232950e-03	3.481994e-01	1.049526e+00	3.514955e-01	12.488
DE	6.663799e-03	3.395152e-02	7.288782e-02	1.803475e-02	2.55197
ADE	5.844813e-03	2.553778e-01	9.315979e-01	2.520342e-01	2.14982

Son durum için Tablo 14 incelendiğinde 30 çalışma için elde edilen en iyi sonuçlara göre yine en iyi hata değerini ADE yakalamıştır.

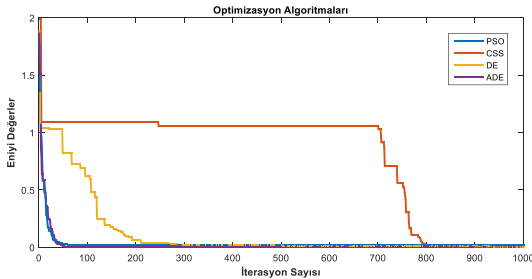
Tablo 15. En iyi çözümlere ait bileşen değerleri (3-dB - ayırık)

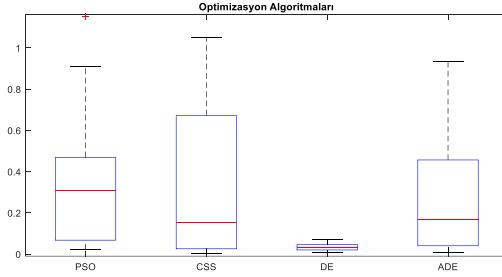
Metot	Bileşen	Kademe 1	Kademe 2	Kademe 3	Kademe 4	Kademe 5
PSO	R ₁ (kΩ)	0.920000	10.000000	135.000000	61.200000	1000.000000
	R ₂ (kΩ)	0.100000	0.100000	0.094200	0.061200	0.100000
	C ₁ (nF)	10.000000	5.420000	1.000000	9.880000	2.490000
	C ₂ (nF)	8.870000	10.000000	10.000000	5.490000	1.000000
	C ₃ (nF)	8.870000	10.000000	10.000000	5.490000	1.000000
CSS	R ₁ (kΩ)	1.000000	8.250000	96.500000	232.000000	352.000000
	R ₂ (kΩ)	0.113000	0.117000	0.365000	0.075000	0.032400
	C ₁ (nF)	9.650000	9.200000	2.370000	1.500000	8.250000
	C ₂ (nF)	7.500000	6.120000	1.540000	7.770000	2.640000
	C ₃ (nF)	7.500000	6.120000	1.540000	7.770000	2.640000
DE	R ₁ (kΩ)	1.010000	7.230000	100.000000	100.000000	1020.000000
	R ₂ (kΩ)	0.100000	0.090900	0.101000	0.100000	0.098800
	C ₁ (nF)	8.350000	8.760000	1.400000	6.120000	2.180000
	C ₂ (nF)	9.760000	9.420000	9.200000	3.320000	1.130000
	C ₃ (nF)	9.760000	9.420000	9.200000	3.320000	1.130000
ADE	R ₁ (kΩ)	4.170000	17.400000	72.300000	336.000000	427.000000
	R ₂ (kΩ)	0.448000	0.196000	0.249000	0.305000	0.037000
	C ₁ (nF)	2.180000	3.360000	2.710000	1.450000	4.020000
	C ₂ (nF)	2.000000	4.750000	2.640000	1.370000	3.920000
	C ₃ (nF)	2.000000	4.750000	2.640000	1.370000	3.920000

Tablo 16. Tasarlanan filtrenin tasarım parametre değerleri (3-dB - ayırık)

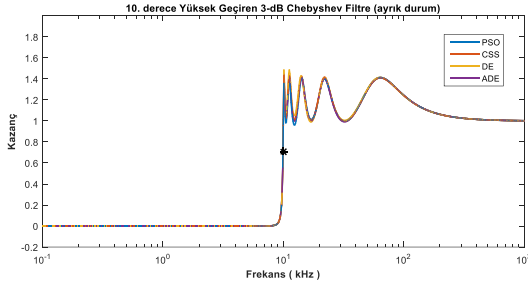
Metot	Kademe 1		Kademe 2		Kademe 3		Kademe 4		Kademe 5	
	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q	FSF	Q
Hedef	0.1796	1.0289	0.4626	2.9350	0.7126	5.7012	0.8954	11.1646	0.9916	35.9274
PSO	0.1795	1.0298	0.4626	2.8962	0.7086	5.7006	0.8956	11.1648	0.9915	35.1442
CSS	0.1797	1.0267	0.4632	2.9389	0.7124	5.6997	0.8948	11.1429	0.9903	35.9526
DE	0.1803	1.0294	0.4627	2.9353	0.7166	5.7034	0.8956	11.1711	0.9900	35.9175
ADE	0.1793	1.0308	0.4636	2.9270	0.7131	5.7044	0.8965	11.1648	0.9914	35.9571

Durum-4 için algoritmalarla elde edilen en iyi çözüm değerlerine ait yakınsama eğrilerini gösteren grafikler Şekil 15'de ve 30 çalışma için kutu grafikleri ise Şekil 16'da verilmiştir. Algoritmalarından elde edilen optimum bileşen değerlerine göre tasarlanan filtrenin kazanç eğrileri Şekil 17 ve 18'de gösterilmiştir.

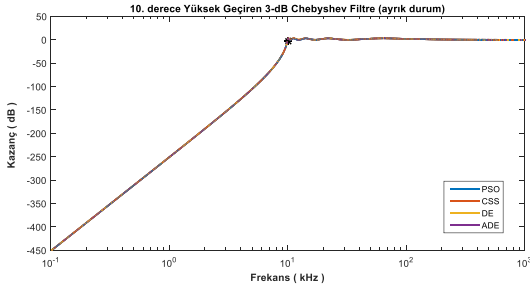
**Şekil 15.** Yakınsama eğrileri (3-dB - ayırık)



Şekil 16. Yakınsama eğrileri ve kutu grafikleri (3-dB - ayrık)



Şekil 17. Kazanç eğrileri (3-dB - ayrık)



Şekil 18. Kazanç eğrileri - dB (3-dB - ayrık)

Şekil 15'deki yakınsama grafiği incelendiğinde, ADE ve PSO algoritmalarının benzer yakınsama eğrilerine sahip olduğu ve yaklaşık 60. iterasyonda minimum değerlerine ulaştıkları görülmüştür. Buna karşın DE yaklaşık 300. iterasyonda ve CSS ise yaklaşık 800. iterasyonda minimum değerlerini yakalamıştır. Şekil 16'da yer alan algoritmaların 30 kez

çalıştırılması ile elde edilen kutu grafikleri incelendiğinde ise DE algoritmasının arama aralığı ADE ve PSO algoritmalarına göre daha dar aralıktadır. DE kararlı bir arama davranışı sergilemesine rağmen Tablo 14'deki verilere göre en iyi çözüm sıralamasında ADE'nin gerisinde kalmıştır.

Şekil 17 ve 18'deki grafiklerden tasarlanan filtrelerin kazanç eğrileri incelendiğinde ise ADE, PSO ve CSS algoritmalarının en az hata oranıyla ideal eğri üzerinde yer aldıkları, fakat DE algoritmasında bazı sapmalar olduğu görülmektedir.

5. Sonuç

Filtre tasarımında bileşen seçimi filtrenin kazanç ve kalite faktörlerini doğrudan etkileyen bir husustur. Hedeflenen kazanç ve kalite faktörleri için optimal bileşen seçimi olası kombinasyonların fazla olması nedeniyle çözümü zaman alan bir problemidir. Ayrıca filtre derecesinin artmasıyla birlikte fazlaşan bileşen sayısı, tasarımı daha karmaşık bir hale dönüştürebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı bu tip problemlerin çözümünde optimizasyon algoritmaları tercih edilmektedir. Bu çalışmada, ADE algoritması 10. dereceden çoklu geri-beslemeli Chebyshev yüksek geçiren aktif filtrenin tasarımına başarıyla uygulanmıştır. Filtrenin idealdeki kazanç ve kalite faktörleri hesaplanmış, bu hedef değerler için filtrenin bileşen değerleri ADE ve diğer algoritmalar ile optimize edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre optimizasyon algoritmaları sürekli değerlerin kullanıldığı durumlarda benzer performans sergilemişlerdir. Sezgisel metotların ürettiği filtre kazanç eğrilerinin ideal Chebyshev eğrisini çok yakın izledikleri görülmüştür. Sayısal sonuçlara göre, ADE algoritması diğer metotlara göre en düşük hata seviyesine ulaşmıştır. Ayrıca yakınsama eğrilerinde ADE ve PSO 'nun diğer metotlara göre daha hızlı yakınsama yaptıkları görülmüştür.

Pratik uygulamalarda kullanılan ayrık bileşen değerlerinin göz önüne alındığı durumlarda ise, ADE ve PSO algoritmaları diğerlerine göre daha başarılı olmuştur. DE algoritması ile üretilen hata değerleri dar bir aralıkta olmasına rağmen, daha büyük hatalar elde edilmiştir. Bu durum, onun lokal minimuma takıldığı ve çözüm çeşitliliğini arttıramadığı şeklinde yorumlanabilir. Durum 2 ve 4'deki kazanç eğrilerinde DE ve CSS'nin ideal eğriden biraz saptığı görülmektedir. Bu sapma yukarıdaki yorumu desteklemektedir. ADE algoritması hem hızlı bir yakınsama performansı sergilemiş, hem de en düşük hata değerine ulaşmıştır. Sonuç olarak, önerilen metodun hesaplama gücü her iki problem türü için de kaydadeğerdir. Gelecek çalışmalarda daha karmaşık yapıya sahip gerçek dünya problemlerinin çözümü düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. <http://hu-ham.blogspot.com/2013/11/p-margin-bottom-0.html>
2. <https://www.electronics-tutorials.ws/category/filter>
3. R.P. Sallen, E.L. Key, A practical method of designing RC active filters, IRE Trans. Circuit Theory, 2 (1) (1955) 74-85.
4. H. Zumbahlen, Multiple Feedback Filters, Mini Tutorial (MT-220), Analog Devices, Inc. (2012).
5. M. Steffes, Design Methodology for MFB Filters in ADC Interface Applications, Texas Instruments, Application Rep. (SBOA114). (2006).
6. H. Zumbahlen (Editor), Basic Linear Design, Analog Devices, Inc. (2007).
7. K. Lacanette, A Basic Introduction to Filters: Active, Passive, and Switched-Capacitor, National Semiconductor Corporation Application Note, USA, (1991).
8. R. Schaumann, M.E. Van Valkenburg, Design of Analog Filters, Oxford University Press, Oxford, (2010).
9. C.C. Tseng, S.L. Lee, Closed-form designs of digital fractional order Butterworth filters using discrete transforms, Signal Process. 137 (2017) 80-97.
10. S.N. Yao, T. Collins, P. Jancovic, Hybrid method for designing digital Butterworth filters, Comput. Electr. Eng. 38 (2012) 811-818.
11. N. Thammasawongsa, R. Phromlounsri, M. Jamsai, N. Pornsuwancharoen, Design elliptic low pass filter with inductively compensated parallel-coupled lines, Procedia Eng. 32 (2012) 550-555.
12. S. Ding, W. Bian, T. Sun, Y. Xue, Fingerprint enhancement rooted in the spectra diffusion by the aid of the 2D adaptive Chebyshev band-pass filter with orientation-selective, Inf. Sci. 415-416 (2017) 233-246.
13. L.J. Karam, J.H. McClellan, Chebyshev digital FIR filter design, Signal Process. 76 (1999) 17-36.
14. A. Vaezi, F.G. Gharaklili, Synthesis and design of an LPF with wide-stop band and high rejection level, AEU Int. J. Electron. Commun. 95 (2018) 139-145.
15. C. Goh, Y. Li, GA automated design and synthesis of analog circuits with practical constraints, Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No.01TH8546) (2001) 170-177.
16. A.H. Reja, A.A.M. Al-Salih, S.N. Ahmad, A metamaterialized design for 7th order type-I Chebyshev LPF, Mater. Today: Proc. 4 (2017) 10383-10389.
17. P. Prommee, P. Thongdit, K. Angkeaw, Log-domain high-order low-pass and band-pass filters. AEU Int. J. Electron. Commun. 79 (2017) 234-242.
18. M. Jiang, Z. Yang, Z. Gan, Optimal components selection for analog active filters using clonal selection algorithm, Proceedings of International Conference on Intelligent Computing, (2007) 950-959.
19. A. Kalinli, Component value selection for active filters using parallel tabu search algorithm. AEU Int. J. Electron. Commun. 60 (1) (2006) 85-92.
20. B. Durmuş, Optimal components selection for active filter design with average differential evolution algorithm, AEU Int. J. Electron. Commun. 94 (2018) 293-302.
21. B. Doğan, T. Ölmez, Vortex search algorithm for the analog active filter component selection problem, AEU Int. J. Electron. Commun. 69 (9) (2015) 1243-1253.
22. S. Gholami-Boroujeny, M. Eshghi, Non-linear active noise cancellation using a bacterial foraging optimisation algorithm, IET Signal Proc. 6 (2012) 364-373.
23. B. Hıçdurmaz, B. Durmuş, H. Temurtaş, S. Özyön, The prediction of butterworth type active filter parameters in low pass sallén key topology by backtracking search algorithm. Proceedings of 2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences, 9 (2016) 2422-2428.

24. B. Durmuş, B. Hiçdurmaz, H. Temurtaş, S. Özyön, Defining the parameters of the high pass active filter by using backtracking search algorithm, *Proceedings of 2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences*, 9 (2016) 2429-2435.
25. G.G. Bulut, H. Güler, M.T. Özdemir, Optimal selection of components in a sixth-order Butterworth low-pass filter with using grey wolf algorithm, *Int. J. Electr. Electron. Data Commun.* 5 (10) (2017) 1-4.
26. B. Nayak, T.R. Choudhury, B. Misra, Component value selection for active filters based on minimization of GSP and E12 compatible using Grey Wolf and Particle Swarm Optimization, *AEU Int. J. Electron. Commun.* 87 (2018) 48-53.
27. B. Nayak, B. Misra, T.R. Choudhury, Meta-heuristic optimization algorithms for design of gain constrained state variable filter, *AEU Int. J. Electron. Commun.* 93 (2018) 7-18.
28. R.A. Vural, U. Bozkurt, T. Yildirim, Analog active filter component selection with nature inspired metaheuristics, *Int. J. Electron. Commun. (AEÜ)* 67 (3) (2013) 197-205.
29. R.A. Vural, T. Yildirim, T. Kadioglu, A. Basargan, Performance evaluation of evolutionary algorithms for optimal filter design, *IEEE Trans. Evol. Comput.* 16 (1) (2012) 135-47.
30. B.P. De, R. Kar, D. Mandal, S.P. Ghoshal, Optimal selection of components value for analog active filter design using simplex particle swarm optimization, *Int. J. Mach. Learn. Cybern.* 6 (4) (2015) 621-636.
31. D. Bose, S. Biswas, A.V. Vasilakos, S. Laha, Optimal filter design using an improved artificial bee colony algorithm, *Inf. Sci.* 281 (2014) 443-461.
32. T. Kaya, H. Guler, A hybrid genetic algorithm for analog active filter component selection, *AEU Int. J. Electron. Commun.* 86 (2018) 1-7.
33. D.H. Horrocks, M.C. Spittle, Component value selection for active filters using genetic algorithms, *Proceedings IEEE Workshop on Natural Algorithms in Signal Processing*, 1 (13) (1993) 1-6.
34. S.S. Mostafa, N. Horta, A.G. Ravelo-García, F. Morgado-Dias, Analog active filter design using a multi objective genetic algorithm, *AEU Int. J. Electron. Commun.* 93 (2018) 83-94.
35. J. Kennedy, R. Eberhart, Particle Swarm Optimization, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, vol. IV (1995) 1942-1948.
36. A. Kaveh, S. Talahatari, A novel heuristic optimization method: Charged system search, *Acta Mech.* 213 (3-4) (2010) 267-289.
37. R. Storn, K. Price, Differential evolution-A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *J. Global Optim.* 11 (1997) 341-359.
38. S.A. Pactitis, *Active Filters Theory and Design*. CRC Press, Taylor & Francis Group, (2007).
39. J. Karki, *Active low-pass filter design*, Texas Instruments, Dallas-Texas, Application Rep. (SLOA049b) (2002).

KURU ÜZÜMLERDE OKRATOKSİN A'NIN (OTA) VARLIĞI

Fatma HEPSAĞ¹



¹ Dr. Öğr. Üyesi., Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler
Yüksekokulu, Kadirli, Osmaniye.

GİRİŞ

Dünyada yetişen bir meyve olan küresel üzüm üretimi yıllık 3 milyon tonun üzerindedir; bunun% 71'i şarap yapımında,% 27'si taze tüketimde ve % 2'si kuru üzüm üretiminde kullanılır. Üzümler, olgunlaşma sırasında ve ayrıca hasat sonrası ve işleme sırasında uygun şekilde saklanmadıklarında *Alternaria spp* enfeksiyonuna karşı hassastır (Somma vd., 2012). Kuru üzüm, dünyadaki besleyici ve popüler kurutulmuş meyvelerden biridir. Üzüm, lif içeren ancak doymuş yağ veya kolesterol içermeyen, aynı zamanda antioksidanlar, demir, kalsiyum, potasyum ve bazı B vitaminleri de dahil olmak üzere birçok gerekli mineral ve vitamin içeren besleyici bir çerezdir. Aynı zamanda polifenoller, özellikle flavonoller, kuersetin ve kaempferol ve fenolik asitler, kaftatik ve kotarik asit bakımından zengin konsantre bir karbonhidrat kaynağıdır (Kim vd., 2008). Kuru üzüm, *Vitis vinifera L.* (Vitaceae) 'nın meyveleridir ve dünyanın çoğu coğrafi bölgesinde üretilmektedir. Üretici ülkeler Amerika Birleşik Devletleri, İran, Türkiye, Çin, Şili, Güney Afrika, Yunanistan, Avustralya ve Özbekistan'dır (Ghraiia vd., 2013). Kurutulmuş üzümlerin kalitesi esas olarak kurutulmuş asma meyvesini kirleten patojenik ve toksijenik mikroorganizmaları içeren mikrobiyolojik güvenlik parametrelerine bağlıdır.

Kurutulmuş üzümler ve diğer kurutulmuş meyveler, yeterli miktarda su ve şeker içerdiklerinden genellikle gıdalarda tüketicinin sağlığı için tehlike oluşturan filamentli mantarlar yani mikotoksinler tarafından kirlenmeye karşı hassastırlar. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* ve *Alternaria*, kurutulmuş üzümleri kirleten filamentli mantarların başlıcalarıdır (Pitt, 2009). Kurutulmuş üzümlerin okratoksin A ile kirlenme sorunu, İspanya (Bau vd., 2005), Fransa (sage vd., 2002), İtalya (Battilani vd., 2006) ve Avustralya (Leong vd., 2006) gibi bir çok ülkelerde çalışma konusu olmuş ve olmaktadır.

Kurutulmuş üzümde son ürünün kirlenme riskini azaltmak için, mikotoksin potansiyeli olan mikotoksin üreticilerinin büyüme ve gelişme teknolojilerinin ve inhibe etme yöntemlerinin geliştirilmesine büyük önem verilmektedir. Kurutma uygulaması coğrafi bölgeye ve üzüm çeşitlerine bağlı olarak değişmektedir (Domingo vd., 2006). Kurutulmuş asma meyvelerinin üretiminde kullanılan üç ana yöntem vardır; açıkta güneşte kurutma (veya açık havada kurutma), gölgede kurutma ve mekanik kurutma. Geleneksel açıkta güneş kurutma yöntemi Asya'da ve dünyadaki diğer ülkelerde binlerce yıldır kullanılmaktadır. Dünyanın bütün ülkelerinde üretilen kurutulmuş ürünlerin %90-95'ten fazlası açık güneş kurutma yöntemi ile hazırlanmaktadır. Geleneksel güneşte kurutma yöntemiyle birlikte, asma üzerinde başka bir kurutma yöntemi (DOV) kullanılır. Bu yöntem özellikle Özbekistan ve ABD'de yaygındır. Küf mantarlarının gelişmesini ve mikotoksinlerin sentezini önlemek için, süreci hızlandıran ve kurutma koşullarının kontrolünü basitleştiren güneş kurutucularının kullanılması tavsiye edilir (Pangavhane vd., 2002). Son zamanlarda, Amerika'da, olumsuz hava koşullarının etkilene riskinin yanı sıra işçilerin hammaddeler ve nihai ürünlerle teması riskinin azaldığı çeşitli mekanik üzüm kurutması yöntemleri

geliştirilmiştir (Williams vd., 2002). Bu yöntemlerin temeli, tüm işlemlerin mekanizasyonla ürünlerin toplanması, kurutulması ve toplanmasıdır. Üzüm yetiştiriciliğinde uygun agroteknik önlemlerin ve mantar ilaçlarının kullanılması, *Aspergillus* cinsinden mantarların büyümesini ve nihai ürünün okratoksin A ile kirlenmesini önemli ölçüde önleyebilir (Covarelli vd., 2012). Ürünün toplanmasından sonra, küf mantarları gelişimini sınırlandırılması için en etkili yöntem, kükürt dioksit kullanımıdır. SO₂ ve türevleri, mantarlar ve diğer mikroorganizmaların gelişmesini inhibe eden bir koruyucu olarak, üzümlerde kullanılmaktadır. Ayrıca, oksidasyon işlemlerini önleyen ve nihai ürünün renginin değişmesine neden olan bir antioksidan görevi görür (Bilay vd., 1988).

Gıda güvenliğini sağlamak için gıda düzenlemeleri önemli bir konu olup, toksinler için daha katı gıda düzenlemeleri sağlamak için adımlar atılmalıdır. Toksinler, izin verilen sınırlardan daha yüksek seviyelerde mevcutsa, insanlar için olduğu kadar hayvanlar için de toksik, kanserojen ve mutajeniktir. Birçok ülke bu besin toksinleri için izin verilen limitler belirlemiştir. Çocuklar dahil yaklaşık iki milyon ölümün, güvenli olmayan gıda kullanımı ile ilişkili olduğu bildirilmektedir. En az yüz ülke ve uluslararası kuruluş, emtia ve gıdada OTA'yı kontrol etmek için düzenlemelere sahiptir. Bu düzenlemeler bir ülkeden diğerine farklılık göstermektedir ve ekonomik ve sağlık hususlarına bağlıdır (Mozaffari Nejad vd., 2013). Kuru üzüm ve diğer kuru üzüm meyveleri, çözünür kahve, meyve suyu ve bazı kuru meyveler için, Avrupa Birliği (AB) tarafından belirlenen maksimum seviye 10 µg/kg'dır (Avrupa Komisyonu 2006). İran Standartlar ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü (ISIRI), kuru üzümdeki OTA için 5 µg / kg sınırını belirlemiştir. Kuru üzümde OTA için Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar yönetmeliğine göre belirlenen maksimum seviye 5 µg/kg'dır. OTA analizi için ince tabaka kromatografisi (TLC), yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), enzim bağlı immün-sorbent deneyi (ELISA) (Kamkar vd., 2014a) ve fluoresans saptama (HPLC / FD) ile bağlantılı sıvı kromatografi yöntemleri kullanılmaktadır (Feizy vd., 2011).

Türkiye'de kuru meyveler (kuru üzüm, kuru kayısı, hurma ve yaban mersini), önemli bir mikotoksini kaynağı olabilir, çünkü kahvaltılarda, reçel, marmelat vb. mamuller ve çaydaki diğer uygulamalar için hammadde girişi olarak kullanılabilirler. Birçok araştırma, kurutulmuş meyvelerde, üzümlerde ve üzüm suyu, şarap ve tahıl ürünlerinde OTA'nın varlığının, genellikle hasat döneminden önce ve sonra meydana gelen üzüm yüzeyinin kontaminasyonunun bir sonucu olduğunu ileri sürmüştür. Bu nedenle, Ortak FAO / WHO Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi (JECFA), geçici olarak haftalık 120 ng OTA / kg vücut ağırlığı alımını (PMWI) oluşturmuştur (JECFA, 2000).

Kuru üzümle ilgili önceki çalışmalar

Kurutulmuş üzümlerdeki mikotoksinlerin oluşumu ile ilgili veriler sınırlıdır. Üzümler mantar enfeksiyonuna karşı hassastır ve bu nedenle üzüm kökenli ürünler üzerinde, özellikle de OTA olmak üzere mikotoksinler

tarafından kirlenip kirlenmediğini kontrol etmek için birçok çalışma yapılmıştır. Çin'de 57 kuru üzümde 11'inde (% 19.3) OTA kontaminasyonu bulunduğu saptanmış 0.19-8.8 µg/kg aralığında ve ortalama değeri 1.9 µg/kg arasında tespit edilmiştir. Numunelerin hiçbirisi AB komisyonu tarafından belirlenen maksimum seviyeyi aşmamıştır (10 µg/kg) (Wei vd., 2017). Han vd., (2016), Çin'de 0.4- 65.7 µg/kg aralığında daha yüksek OTA kontaminasyon seviyeleri (% 56.5) bildirmiş olup, 32 kuru üzüm örneğinden beşi AB sınırını aşmıştır (10 µg/kg). Bu sonuçların nedeni, hasat sırasında çeşitli iklim koşullarıyla ilişkilendirilebilir. Meyvacı vd., (2005) Türkiye'den 1998-2004 döneminde toplanan 264 üzüm örneğinde OTA'nın ortaya çıktığını bildirmiştir. Sonuçlar, numunelerinin % 32.2'sinde LOD değerinin % 58'in altında bulunmuş ve OTA'nın 0.02-10 µg/kg aralığında, numunelerin % 9.8'ininde 10 µg/kg OTA konsantrasyonuna sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca örneklerdeki OTA oluşumunun yıllık bazda önemli farklılıklar gösterdiğine dikkat çekmişlerdir. Palumbo vd., (2015), OTA ile kontamine olmuş kuru üzüm oluşumunun 2012 yılından 2014'e % 17'den % 88'e kadar değiştiğini bildirmiştir. OTA sadece iki örnekte 0.13-0.33 µg/kg oranında tespit edilmiştir. Imanaka vd., (2005) siyah ve beyaz kuru üzümlerin potansiyel olarak toksijenik küflerle kirlenmiş olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmadan en sık izole edilen mantarlar *A. niger*, ardından *A. ochraceus* ve *A. carbonarius*'tur. Bu mantar grubu önemli olup OTA üreticileridir. Sonuçta 5 ng/g üzerindeki seviyelerde siyah kuru üzüm örneklerinin % 33'ünün OTA ile kirlenmiş olduğu tespit edilmiştir. Güney Fransa'daki araştırmalar, üzüm örneklerinin % 54'ünün OTA tarafından kirlendiğini göstermiştir (Sage vd., 2002). Kanada ve Türkiye'de üzüm örneklerinin % 12.9'u ve % 20'si OTA ile kirlenmiştir (Ng vd., 2004; Akdeniz vd., 2013). Yapılan çalışmalarda kurutulmuş asma meyvesi olan üzümün OTA ile sık kirlenmiş olduğu görülmektedir. Çünkü kurutma işlemi sırasında üzümde yüksek konsantrasyonda şeker ve su aktivitesinin 0.95 ila 0.99 arasında bulunması, OTA üreten mantarın büyümesi için çok uygun ve seçici bir ortam yaratır (Imperato vd., 2011). Magnoli vd., (2004) Arjantin'de kurutulmuş siyah ve beyaz üzümlerde okratoksin A'nın oluşumu incelemişlerdir. Okratoksin A, siyah ve beyaz kuru üzüm meyvesi örneklerinin % 68 ve % 88'inde bulundu, sırasıyla 6.3 ve 4.4 ng/g civarındaydı. Aksoy vd., (2007) Türkiye'de 1885 adet üzüm örneğini analiz etmişler ve 0.02-10 µg/kg aralığında daha yüksek seviyelerde OTA kontaminasyonu (%90) bildirmişlerdir. Ancak, bunların yalnızca % 0.6'sı AB seviyesini aşmıştır. Türkiye'de 53 üzüm örneği üzerinde yapılan bir başka çalışma, örneklerin yalnızca % 4'ünün OTA için AB seviyelerini aştığını ve örneklerin % 53'ünün 0.51-58.04 µg/kg aralığında saptanabilir OTA seviyeleri içerdiğini göstermiştir (Bircan, 2009). İngiltere'den yapılan bir başka çalışmada, OTA 100 sultani üzümün 92'sinde, 100 frenk üzümünün 96'sında, sırasıyla 3.42 ve 4.97 µg/kg oranlarında tespit edilmiştir (MAFF, 1999). 66 kuru üzüm numunesi (40 kuş üzümü, 16 sultani ve 10 kuru üzüm) Ekim 2012-Mart 2013 tarihleri arasında İran'ın Hamadan eyaletindeki kuru üzüm fabrikalarından toplanmış olup, örneklerin 23 (% 57.5) kuş üzümü, 10 (% 62.5) sultani ve 6 (% 60) kuru üzüm örneğinde OTA tespit edilmiştir. Beş örnekteki seviyeler, İran Standartları ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü'nün

(ISIRI) maksimum 5 µg/kg seviyesini aşmıştır. Bununla birlikte, örneklerin OTA içeriği hiçbirinde Avrupa Birliği (AB) düzenlemelerinde belirtilen 10 µg/kg olan maksimum limiti aşmamıştır (Heshmati and Mozaffari Nejad, 2015). Kurutulmuş asma meyvelerinde Avrupa yönetmelikleri tarafından belirlenen maksimum tolere edilebilir OTA seviyesi 10 ng/g'dır (FAO 2004).

Kurutulmuş üzümlerde filamentli mantarların büyümesi üzerine kurutma teknolojilerinin etkisi

Üzüm kurutma aşamalarında uygulanan teknolojik işlemlerin, son ürünün mantar ve mikotoksinler tarafından kontaminasyon seviyesini de önemli ölçüde etkiler. Açık havada kurutma sırasında kurutulmuş ürünün küf mantarları ve mikotoksinler tarafından kirlenme riski artar. Bu meyveler açıkta kurutulurken üzüm cildinde yüksek fiziksel hasar olasılığı ortaya çıkar.

Kuru üzüm üretimi için üzümler genellikle 7-14 gün boyunca güneşte kurutulur ve eşit bir kurutma sağlamak için düzenli olarak alt üst ederek çevrilirler. Daha sonra işlenir ve paketlenirler. Bununla birlikte, bu işlem sırasında şeker, nem içeriği azaldıkça, *Aspergillus niger* ve diğer türler neredeyse konsantre edilirler ancak yağmur yağdığı zaman düzensiz kuruma nedeniyle OTA kontaminasyonu daha yüksek bir risk olarak ürünlerde fazlasıyla oluşmaktadır.

Kurutma süresi boyunca kurutulan üzümlerde SO₂ kullanımı ile kirlilik derecesi ile doğrudan ilişkilidir. SO₂ etkili bir koruyucudur ve kurutma ve depolama sırasında toksin üreten türler de dahil olmak üzere misel mantarlarının gelişimi üzerinde önemli bir önleyici etkiye sahiptir.

Kassem vd., (2011) Ermenistan'da kurutma teknolojilerinin filamentli mantarlar ve mikotoksinler tarafından işleme ve son ürünün kontaminasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Üzüm örnekleri SO₂ ile muamele edilmezken ve edildikten sonra (alkali işlemi), 2-4 hafta kadar güneşte kurutulmuştur. Çalışmalar, alkali uygulanmayan örneklerin tüm ürün sürecinde işleme, ürünün kirlenme seviyesinin arttığını göstermiştir. Bununla birlikte, alkali uygulanan örneklerde filamentli mantarların büyüme ve gelişimine SO₂ inhibitör etki gösterdiğinden kirlenme azami miktarda kalmıştır.

Yunanistan'da yapılan bir çalışma sonucu, üzümlerin kurutulması sırasında *Aspergillus carbonarius*'un 10-14 gün boyunca kuruma ile arttığını göstermiştir. Ayrıca Yunanistan'da deniz seviyesindeki tarlaların, 500 ve 1000 m 'lerde bulunması, kirlenmenin deniz seviyesinde daha yüksek olduğunu ve bunun kuruma süresi sonunda daha yüksek düzeyde kirlenmenin varlığı ile desteklendiğini göstermiş olup OTA ortalama 2.83–11.38 µg/kg civarında tespit edilmiştir (Dekanea, 2005). Türkiye'de küçük aile işletmeleri tarafından üretilen, kuru üzüm ve ürünleri OTA ile değişken miktarlarda kirlenmeye açıktır. Çünkü OTA kirliliği, nem ve yüksek sıcaklığın küf gelişimi ve mikotoksin gelişimi için bir ortam oluşturduğu iklim koşulları ile açıklanabilir.

OTA'nın sağlık üzerine etkileri

OTA böbrek, karaciğer ve bağışıklık sistemi gibi organeller üzerindeki etkileri ve ayrıca teratojenik ve kanserojen etkileri nedeniyle insan ve hayvan sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sağlık üzerindeki etkilerinden ve ayrıca ekonomik problemlerdeki artışlarla birlikte OTA, ulusal veya uluslararası ticaret için kabul edilemez hale gelmiştir (Larcher ve Nicolini 2001). OTA'nın *Aspergillus* ve *Penicillium* genus'un önemli mikotoksinlerinden biri olarak üretildiğini göstermiştir (Rosa vd., 2004). Önceki çalışmalara dayanarak, Bulgaristan endemik nefropatisinin, endemik ölümcül böbrek hastalığının, Bulgaristan, Romanya ve Yugoslavya'nın bazı kırsal bölgelerinde OTA maruziyeti ile ilgili olduğu öne sürülmüştür (Battaglia vd., 1996). Bu bağlamda, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), OTA'yı insan kaynaklı kanserojen bileşik olan 2B grubu kanserojen olarak sınıflandırmıştır (WHO, 2002). İran'ın kuzeydoğusundaki OTA'nın özofagus kanserine katıldığı bazı kanıtlar vardır (Lacey, 1998). Hayvan türlerinde böbrek toksisitesi, nefropati ve immünsüpresif etkiler gibi çeşitli semptomlara yol açtığı gösterilmiştir (Battilani vd., 2003). OTA sıklıkla, pelvis, üreter, idrar kesesi ve böbrek tümörlerinde yüksek oranda görülme sıklığı ile bağlantılı olarak tübül interstisyel nefriti ile karakterize olan Balkan endemik nefropatisi adı verilen bir böbrek hastalığı ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Zinedine ve Manes 2009). OTA, çeşitli bitki ürünlerini kirlüten ve temel olarak çeşitli *Aspergillus* ve *Penicillium* türleri tarafından üretilen bir pentaketit mikotoksindir (Jackson vd., 2008).

SONUÇ

Bu incelemeye dayanarak, ticari olarak satılan bitkisel ve kurutulmuş üzümlerin bazı ülkelerde düzenlemeleri aşan seviyelerde OTA ile kirlenebileceği açıktır. Bu yüzden kuru üzüm örneklerinde tüketicinin sağlığı için olası bir tehlike olabilecek ortalama OTA seviyesinin AB'nin maksimum sınırlarını aşıp aşmadığı kontrol edilmelidir. OTA alımını kontrol etmek ve azaltmak için de OTA kontaminasyonunun rutin olarak araştırılması, günlük üzüm alımını ve tüketiminin hesaplanması gerekir. OTA'nın halk sağlığındaki önemini göz önünde bulundurarak, hasat öncesi, sonrası kontrol ve depolama sırasında OTA oluşumunu önlemek için, iyi tarım uygulamaları (GAP), iyi üretim uygulamaları (GMP) ve iyi hijyen uygulamalarına (GHP) uyulmalıdır. Kuru üzümlerde OTA oluşumunu önleyerek hem halk sağlığı korunabilir hem de ekonomik kayıplar önlenir. Ayrıca, kurutulmuş üzümlerin mikotoksin varlığı açısından düzenli olarak izlenmesi, mikotoksin oluşumunu önlemek için stratejiler geliştirmek ve uygulamak da önemlidir.

KAYNAKLAR

1. PITT, J.I., HOCKING, A.D. (2009), *Fungi and Food Spoilage*, 3rd ed., Springer, p. 413–414
2. BAU, M., BRAGULAT, M.R., ABARCA, M.L., MINGUEZ, S., CABAÑES, F.J. (2005), Ochratoxigenic species from Spanish wine grapes, *Int. J. Food Microbiol.* 98, 125–130.
3. SAGE, L., KRIVOBOK, S., DELBOS, E., SEIGLE-MURANDI, F., CREPPY, E.E. (2002), Fungal flora and ochratoxin A production in grapes and musts from France, *J. Agric. Food Chem* 50, 1306–1311.
4. BATTILANI, P., GIORNI, P., BERTUZZI, T., FORMENTI, S., PIETRI, A. (2006), Black Aspergilli and ochratoxin A in grapes in Italy. *Int J Food Microbiol.* 111, 53–60.
5. LEONG, S.L., HOCKING, A.D., PITT, J.I., KAZI, B.A., EMMETT, R.W., SCOTT, E.S. (2006), Australian research on ochratoxigenic fungi and ochratoxin A. *Int J Food Microbiol.* 111 (1), 10–17.
6. DOMINGO, C., GIRALT, L.I., CATALUN, G. (2006), *Inst. Cat. Vin.* 1, 27.
7. PANGAVHANE, D.R., SAWHNEY, R.L. (2002), Review of research and development work on solar dryers for grape drying, *Energy Conversion and Management*, 43, 45–61.
8. WILLIAMS, R.L., SHEPARD, S.A., CASEY, J.E. (2002), *Calif. Agri. Tech. Inst.*, 74 p.
9. COVARELLI, L., BECCARI, G., MARINI, A., TOSI, L. (2012), A review on the occurrence and control of ochratoxigenic fungal species and ochratoxin A in dehydrated grapes, non-fortified dessert wines and dried vine fruit in the Mediterranean area, *Food Cont.* 26, 347–356.
10. MOZAFFARI NEJAD, A.S., SABOURI GHANNAD, M., KAMKAR, A. (2014), Determination of aflatoxin B1 levels in Iranian and Indian spices by ELISA method. *Toxin Rev.* 33:151–154.
11. KAMKAR, A., FALLAH, A.A., MOZAFFARI, NEJAD, A.S. (2014a), The review of aflatoxin M1 contamination in milk and dairy products produced in Iran. *Toxin Rev.* 33:160–168.
12. FEIZY, J., BEHESHTI, H.R., FAKOORJANATI, S.S., KHOSHBAKHT FAHIM, N. (2011), Survey of ochratoxin A in rice from Iran using affinity column cleanup and HPLC with fluorescence detection. *Food Addit Contam Part B.* 4:67–70.
13. WEI, D., WANG, Y., JIANG, D., FENG, X., LI, J., WANG, M. (2017), WangSurvey of alternaria toxins and other mycotoxins in dried fruits in China *Toxins*, 9 (7), p. 200.
14. SOMMA, S., PERRONE, G., LOGRIECO, A.F. (2012), Diversity of black Aspergilli and mycotoxin risks in grape, wine and dried vine fruits. *Phytopathol. Mediterr.* 51, 131–147.
15. HAN, Z., DONG, M., HAN, W., SHEN, Y., NIE, D., SHI, W., ZHAO, Z. (2016), Occurrence and exposure assessment of multiple mycotoxins in dried fruits based on liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *World Mycotoxin J.* 9, 465–474.
16. MEYVACI, K.B., ALTINDISLI, A., AKSOY, U., ELTEM, R., TURGUT, H., ARASILER, Z., KARTAL, N. (2005), Ochratoxin A in sultanas from Turkey: Survey of unprocessed sultanas from vineyards and packinghouses. *Food Addit. Contam.* 22, 1138–1143.
17. PALUMBO, J.D., O'KEEFE, T.F., HO, Y.S., SANTILLAN, C.J. (2015), Occurrence of ochratoxin A contamination and detection of ochratoxigenic Aspergillus species in retail samples of dried fruits and nuts. *J. Food Prot.* 78, 836–842.

18. IAMANAKA, B.T., TANIWAKI, M.H., MENEZES, H.C., VICENTE, E., FUNGARO, M.H. (2005), Incidence of toxigenic fungi and ochratoxin A in dried fruits sold in Brazil. *Food Addit. Contam.* 22: 1258–1263.
19. LARCHER, R., NICOLINI, G. (2001), Survey of ochratoxin A in musts, concentrated musts and wines produced or marketed in Trentino (Italy) *J. Commodity Sci.* 40:69–78.
20. ROSA, C., MAGNOLI, C.E., FRAGA, M.E., DALCERO, A.M., SANTANA, D.M.N. (2004), Occurrence of ochratoxin A in wine and grape juice marketed in Rio de Janeiro, Brazil. *Food Addit. Contam.* 21:358–364.
21. BATTAGLIA, R., HATZOLD, T., KROES, R. (1996), Occurrence and significance of ochratoxin in food. *Food Addit. Contam.* 13:1–3.
22. WORLD HEALTH ORGANIZATION INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. (2002), IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 82 Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene. Lyon, France: IARC Press; pp. 43–5.
23. LACEY, J. (1998), The microbiology of cereal grains from areas of Iran with a high incidence of esophageal cancer. *J. Stored Prod. Res.* 24:39–50.
24. SAGE, L., KRIBOVOK, S., DELBOS, E., SEIGLE-MURANDI, F., CREPPY, E.E. (2002), Fungal flora and ochratoxin A production in grapes and musts from France. *J. Agric. Food Chem.* 50:1306–11.
25. NG, W., MANKOTIA, M., PANTAZOPOULOS, P., NEIL, R.J., SCOTT, P.M. (2004), Ochratoxin A in wine and grape juice sold in Canada. *Food Addit. Contam.* 21:971–81.
26. AKDENIZ, A.S., OZDEN, S., ALPERTUNGA, B. (2013), Ochratoxin A in dried grapes and grape-derived products in Turkey. *Food Addit. Contam. Part B Surveill.* 6:265–9.
27. OCHRATOXIN A JECFA. (2000), Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. WHO/FAO Food Additives Series 44. IPCS-International Programme on Chemical Safety. WHO, Geneva: WHO/FAO Food Additives Series 44. IPCS-International Programme on Chemical Safety; Joint FAO/WHO expert Committee on Food Additives.
28. IMPERATO, R., CAMPONE, L., PICCINELLI, A.L., VENEZIANO, A., RASTRELLI, L. (2011), Survey of aflatoxins and ochratoxin A contamination in food products imported in Italy, *Food Control*, 22 (12), 1905–1910.
29. BATTILANI, P., GIORNI, P., PIETRI, A. (2003), Epidemiology of toxin-producing fungi and ochratoxin A occurrence in grape. *Eur J Plant Pathol.* 109:715–722.
30. ZINEDINE, A., MAÑES, J. (2009), Occurrence and legislation of mycotoxins in food and feed from Morocco. *Food Control.* 20:334–344.
31. JACKSON, L.S., AL-TAHER, F. (2008), Factors affecting mycotoxin productions in fruits, mycotoxins in fruits and vegetables, San Diego (CA): Academic Press; p. 75–105.
32. MAGNOLI, C., ASTORECA, A., PONSONE, L., COMBINA, M., PALACIO, G., C.A.R. ROSA, DALCERO, A.M. (2004), Survey of mycoflora and ochratoxin A in dried vine fruits from Argentina markets, *Letters in Applied Microbiology*, 39, 326–331.
33. [MAFF] (1999), Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1999. 1998 Survey of retail products for ochratoxin A. Food Surveillance Information sheet, Vol. 185. London: Joint Food Safety and Standards Group.
34. BIRCAN, C. (2009), Incidence of ochratoxin A in dried fruits and co-occurrence with aflatoxins in dried figs. *Food Chem Toxicol.* 47:1996–2001.
35. AKSOY, U., ELTEM, R., MEYVACI, K.B., ALTINDISLI, A., KARABAT, S. (2007), Five year survey of ochratoxin A in processed sultanas from Turkey. *Food Addit. Contam.* 24: 292–296.

36. HESHMATI, A., MOZAFFARI NEJAD, A.S. (2015), Ochratoxin A in dried grapes in Hamadan province, Iran Food Addit. Contam. Part B, 8, 255-259.
37. DEKANE, A. (2005), "Ecology and control of *Aspergillus carbonarius* and OTA production in Corinth raisins (currants)". MSc Thesis Cranfield University.
38. KASSEM, A.W.S., EL-SÜLEYMAN, M.A., ABOUKARIMA, A.E.M., KASSEM, S.S. (2011), Predicting drying efficiency during solar drying process of grapes clusters in a box dryer using artificial neural network. Austr. J. Bas. & Appl. Scien. 5 (6), 230-241.

AMELİYATHANE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Hande UFAT¹ , Giray GONCAGÜL² ,
Sibel GONCAGÜL³



¹ Bursa Uludag University, Technical Vocational School of Technical Sciences, Department of Electricity and Energy, Air Conditioning and Refrigeration Technology Programme.

² Bursa Uludag University, Naturel and Applied Sciences Institute, Mechanical Engineering Department, Thermodynamic.

³ Bursa Uludag University, Naturel and Applied Sciences Institute, Mechanical Engineering Department, Thermodynamic..

1. GİRİŞ

Ameliyathane iklimlendirmesi tesisat mühendisliği alanındaki en karmaşık alanlardan birisidir. Ameliyat ekibinin ısıl konforunun sağlamanın yanında mahaldeki partikülleri ve anestezi gazları uzaklaştırarak ortamın hijyenini de sağlamak durumundadır. Hastadan ameliyat ekibine ve ameliyat ekibinden hastaya partikül geçişi de mümkün olduğunca engellenmelidir. Ameliyat enfeksiyonu da oldukça yaygın bir problem olup ameliyat yarasında görülen bakterilerin %98'inin havadan geçmektedir (Sadrazadeh ve Holmberg, 2015). Bunun yanında ameliyatta kullanılan cerrahi aletler de havadaki kirleticilerden kontamine olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ameliyathanelerdeki iklimlendirme sistemleri çok iyi tasarlanmalıdır.

HEPA filtreler partikül kontrolünde oldukça önemlidir ve bu sebepten dolayı temiz odalarla ilgili standartlarda HEPA filtre kullanımı zorunludur. Ameliyathane iklimlendirmesi ile ilgili birçok standart mevcuttur ve bu standartlarda müsaade edilen partikül büyüklükleri ve sayıları belirtilmiştir (Dharan ve Pittet, 2002).

Balaras ve ark. (2007) ameliyathanelerin genel dizayn şartlarını vermişler ve 20 adet hastaneyi standartlarda belirtilen dizayn şartlarına göre değerlendirmişlerdir. Birçok hastanenin standartlara uygun değerlerde olmadığını ancak düzenlenmesi için çalışıldığını belirtmişlerdir. Anıl ve ark. (2007) hastanelerdeki mahalleri sınıflandırmışlar ve hijyenik ortamlardaki kirliliğin nasıl azaltılacağına dair alınacak önlemler üzerinde durmuşlardır. Sıcaklık, bağıl nem, partikül sayıları ve basınçlandırmanın nasıl yapılacağı ile ilgili standartlardaki bilgileri derlemişlerdir. Gaever ve ark. (2014) ameliyat ekibinin termal konforunu ekiptekilerin görevine göre incelemişlerdir. Anestezi uzmanı ile hemşirelerin ortamı çoğunlukla serin veya soğuk bulurken, cerrahların ortamı ılık veya sıcak yakın bulunduğunu tespit etmişlerdir. Atılğan ve Ataer (2009) bir test odası oluşturarak termal mankenler ameliyat pozisyonunda yerleştirilerek Fanger Metodu ile termal konfor değerlendirilmesi yapılmıştır. Ortam sıcaklığı 19°C iken cerrah için uygun ancak hemşireler için serin bir ortam olduğunda bahsedilmiştir. Hasta ise anestezi altında ve hareketsiz olduğundan çevre sıcaklığı 21-24°C arasında uygundur. Bu durumda hemşireler biraz daha korumalı cerrahi kıyafet seçerek kendileri için termal konforu sağlayabilirler ancak hasta için bu sıcaklığın problem oluşturabileceği söylenmiştir.

Ameliyathanelerde genelde hava dağılımı oldukça önemlidir. Eski standartlarda türbülanslı hava dağılımına izin verilirken yeni çıkan standartlarda ameliyathane iklimlendirmelerine sadece laminar hava akımına izin verilmekte ve Laminar Akış (LAF) Ünitesi kullanımı zorunlu tutulmaktadır. Başlangıçta çoğunlukla 120 x 240 cm boyutlarında LAF üniteleri kullanılmaktaydı. Ancak bu ölçülerdeki ünitelerde özellikle personelin üzerinde türbülanslı hava akış bölgeleri oluşmaktadır. Ayrıca steril cerrahi aletlerin bulunduğu masa bu akış bölgesinin dışında kaldığından dolayı bu aletlerin üzerindeki bakteri üremesine engel olunamamıştır (Diab-Elschahawi ve ark. 2011). Sonrasında VDI 2167

standardında 320 x 320 cm boyutlarında LAF ünitesi tavsiye edilmiştir. Bu sayede hastayla birlikte ameliyathane personeli ve steril aletlerin bulunduğu masa da laminar akış altına alınmıştır (Balaras ve ark. 2007). Pasquarella ve ark (2007) ve Smith ve ark. (2013) LAF ünitesi ile bakteriyel kontaminasyon üzerinde inceleme yapmışlar ve aralarında pozitif yönde bağlantı olduğunu tespit etmişlerdir. Sadrizadeh ve ark. (2014) içerideki kişi sayısının ameliyathane enfeksiyonunu ne kadar etkilediğini araştırmışlar ve kişi sayısı arttıkça bakteri sayısının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca bu artışın partikül boyutuna göre de farklılık gösterdiği görülmektedir. 5-10 μm boyutundaki partiküllerin artışı, 20 μm boyutundaki partiküllerin artışından çok daha az olduğu görülmüştür. Chow ve Yang (2003) çalışmalarında mevcut bir ameliyathane odasında hem deneysel çalışma yapmışlar hem de odanın modelini sayısal olarak çözümlemişlerdir. Araştırmalarında ameliyathane personelinin hastaya, hastadan da personele bakteri geçişinden kaynaklanabilecek sağlık riskleri incelenmiştir. Ameliyat lambasının farklı konumları için çalışmalar yapılmıştır. Lambanın konumunun sıcaklık dağılımını pek etkilemediği görülmüştür. Ancak partikül dağılımına etkisi oldukça dikkat çekicidir. Lamba konumuna göre partikül yoğunluğunun olduğu yerler değişmektedir. Balocco ve ark. (2014) mevcut bir hastanenin ameliyathanesinde hem boş konumda hem de ameliyat ekibini temsilen birilerinin bulunması durumunda ölçümler almışlar ve sayısal çözümünü yapmışlardır. Ortamın sıcaklık, hava hızı, partikül sayısı ve karbondioksit ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda ameliyathanenin boş olması durumu için istenilen standartlar sağlanırken, ameliyathane personelinin olması durumunda değerler istenilen aralıkları geçebilmektedir. Ameliyat enfeksiyonunu azaltmak ve ameliyathane kirliliğinin önüne geçebilmek için ameliyathane personelinin dikkatinin önemi vurgulanmıştır. Rui and ark. (2008) farklı iki iklimlendirme sistemin ait ameliyathanede biyolojik kirlilikle ilgili çalışma yapmışlar ve aynı zamanda sayısal modellemesi üzerinde çalışmışlardır. Ameliyathanelerdeki ortalama hava hızlarından biri 0,2 m/s iken diğer 0,43 m/s'dir. Hızı düşük olan ameliyathane 8 personel vardır ve bunların içerisinde bir hemşire ameliyathane esnasında içeride dolaşan bir hemşiredir. Diğerinde ise 9 personel vardır. Bu şartlarda hızı yüksek olan ameliyathanede biyolojik kirlilik daha azdır. Hızın bu kadar yüksek olmasına rağmen daha hijyenik bir ortam olması, diğer ameliyathaneki hemşirenin hareket haline olmasının partikül sayısını ve dolayısıyla mikrobiyolojik kirliliğin artmasıdır. Çalışma içinde ayrıca hızı düşük olan ameliyathanenin farklı hız şartlarında sayısal modellemesi yapılmış ve burası için en uygun ortalama hızın maksimum 0,3 m/s olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu hızdan daha yüksek olan hava hızı türbülans oluşturup partikülleri saçılmasını arttırmakta ve dolayısıyla mikrobiyolojik kirlilik artmakta olduğu sonucuna varılmıştır. Zoon ve ark. (2007) ameliyathane odasına benzetilmiş bir test odasında ölçümler almışlar ve sayısal çözümleme yapmışlardır. Çalışmanın amacı VDI 2167 standardına uygun tasarlanmış bir ameliyathane odasının performansını değerlendirmektir. Giriş havası sıcaklığının önemi de vurgulanmıştır. Sıcaklığın ortam sıcaklığından daha düşük olması gerektiğini, bu sayede havanın kendi ağırlığıyla yere kadar ulaşabileceğinden söz etmişlerdir.

Çalışmalara bakıldığında ameliyathane iklimlendirmesinde aynı anda kontrol edilmesi gereken birçok parametre vardır. Sıcaklık, bağıl nem, hava giriş hızı ve sıcaklığı, havanın dağılımı, ortamın basınçlandırılması, taze hava değişim sayısı ve partikül ile mikroorganizması sayısı kontrol edilmeli ve belirli değerler arasında olmalıdır.

2. AMELİYATHANE İKLİMLENDİRMESİNDE KONTROL EDİLMESİ GEREKEN PARAMETRELER

İyi bir ameliyathane iklimlendirme sistemi ameliyat enfeksiyonu riskini en az düzeye indirmenin yanında cerrahi ekibin ve hastanın termal konforunu da sağlamak durumundadır (Ho ve ark., 2009). Sıcaklık ve bağıl nem değerleri ortamdakilerin termal konforunu sağlayan en önemli parametreleri olmasının yanında belirli değerlerde mikroorganizma üretmesi hızlanma riski de bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı standartlarda belirtilen değerlere uymak oldukça önemlidir. Hava hızı ve havanın dağılımı da benzer şekilde konforu etkilerken aynı zamanda partiküllerin ameliyat alanı içerisine dağılmadan ortamdaki uzaklaştırmak için etkili bir parametredir.

Ameliyathanelerin pozitif basınç altında tutulması da mahalin hijyenini koruyabilmek için önemli bir etkidir. Bunu sağlamak da yine iklimlendirme sistemi ile mümkün olmaktadır.

2.1 Sıcaklık

Ameliyat ekibi ile hastanın ısı konforu için ameliyathane sıcaklığının belirli aralıklarda olması gerekir. Bununla ilgili dünya çapında yayınlanan birçok standartta bu değerler bulunmaktadır.

Ameliyathane içerisindeki sıcaklık dağılımı üniform olmalıdır. Mahale beslenen ve toplanan havanın sıcaklığı belirlenirken içerideki ısı yükleri (cerrahi lambaların ısı, ameliyathane personeli sayısı v.b.) dikkate alınmalıdır (Balaras ve ark.). Tablo 1'de farklı standartlardan alınan ameliyathane sıcaklıkları görülebilir.

Tablo 1 Ameliyathane ısıtma, soğutma ve havalandırma (HVAC) sistemleri için uluslararası standartlarda verilen çevresel şartlar (Gaever ve ark., 2014)

Oda sıcaklığı T_o [°C]	Giren havanın sıcaklığı T_i [°C]	Bağıl Nem [%]	Giren havanın hızı [m/s]	Standartlar
19-26	$T_i < T_r$	a	$v \geq 0.23$	DIN1946
22	$T_i < T_r$	30-50	$v \geq 0.23$	VDI 2167
20-24	a	30-60	0.13-0.18	ASHRAE 170
17-27	a	45-55	1.3-1.8	ASHRAE application handbook

a: standartta belirtilmemiş

Tablo 1'e bakıldığında kullanılan standarda göre farklı sıcaklık aralıkları belirtilmiştir. Sıcaklıklar ameliyatın türüne ve hastalık çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Kalp ameliyatlarında odanın düşük sıcaklıklarda tutulması istenirken, eklem iltahabı gibi vakalarda daha yüksek sıcaklıkta ortamlar istenebilmektedir (Ashrae application handbook, 1999). Sistemin tasarımı standartlarda belirtilen sıcaklıklara göre tasarım yapılmakla birlikte, belirtilen sıcaklık değişimlerine de hızlı cevap vermelidir.

Ameliyathanede bulunanların tamamının termal konforunu sağlamak mümkün değildir. Genellikle 21°C'nin altındaki sıcaklıklarda cerrahlar, ameliyathane sıcaklığını çoğu zaman "hafif ılık" ve "ılık" olarak tanımlarlar. Hatta çoğunlukla operasyonlar sırasında terlerler. Hemşireler ve anestezi uzmanları ise tersine aynı ortamı "hafif serin" veya "serin" olarak tanımlarlar. (Balaras ve ark, 2007; Gaever ve ark., 2014). Yapılan başka çalışmalarda anestezi uzmanlarının 23-24°C, hemşirelerin 22-24,5°C ve cerrahların 18-19°C aralığında kendilerini konforlu hissettiği belirlenmiştir (Balaras ve ark., 2007). Ameliyat lambaları ve cerrahi kıyafetler de termal konforu etkileyen önemli parametreler içerisindedir.

Cerrahi kıyafetler hastanın enfeksiyon riskini düşük tutmak için dokumasız kumaşlardan imal edilmektedirler. Ayrıca hem cerrahi personeli hem de hastayı koruma amaçlı bu kıyafetler uzun kollu olmak durumundadır. Bu sebeplerden dolayı cerrahi kıyafetler ısı konforu etkilemektedir.

Ameliyat lambaları da çeşidine göre ısı konforu oldukça fazla etkileyebilmektedir. Özellikle halojen tip lambalarda ameliyat masasının üst bölgeleri oda sıcaklığına göre 6-7°C daha yüksek olabilmektedir. Ancak LED tipli ameliyat lambalarında bu problem büyük oranda giderilmiştir.

2.2 Bağıl Nem

Bağıl nem değerleri, hem ısı konforu sağlamak hem de ortamın hijyenini üst seviyede tutmak için belirlenen aralıklarda olmalıdır. Tablo 1'de sıkça tercih edilen standartlardaki bağıl nem değerlerinin aralıkları verilmiştir.

Ortam neminin yüksek olduğu durumlarda sıcaklık hissi artar ve ameliyathane personeli sıcaklığı düşürerek bu etkiyi azaltmaya çalışır. Ancak düşük sıcaklıkta, yüksek bağıl nemde bir ortam oluşur ve bu durumda konfor hissi oldukça azalır (Anıl ve ark., 2008). Ayrıca bağıl nemin kanın pıhtılaşması ve ameliyat bölgesindeki yaranın kuruması üzerinde büyük rolü vardır (Anıl ve ark., 2007).

Yüksek bağıl nem konforsuzluk hissine neden olurken aynı zamanda mikroorganizma üreme hızını da artırır. Düşük bağıl nemin ise kanın pıhtılaşması üzerinde olumsuz etkisi vardır. Ayrıca ameliyathanelerde bulunan birçok elektrikli cihaz düşük bağıl nemli ortamda statik elektrik yüklenebilir ve yangın çıkmasına dahi sebep olabilir (Balaras ve ark., 2007).

Dışarıdan alınan havanın bağıl nemi yüksek olduğunda neminin alınması gerekir. Tersisi durumda havanın bağıl nemi standartlarda belirtilen değerlerden düşüğe hava mutlaka nemlendirilmelidir. Bunun için ise buharlı nemlendiriciler tercih edilmeli, sulu nemlendiriciler kullanılmaması gerekir. Sulu nemlendiricilerde iklimlendirme sisteminde bir su haznesi olacağından burada bakteri ve mikroorganizma üreme tehlikesi olacaktır.

2.3 Hava Hızı ve Hava Dağılımı

Havanın mahale giriş hızı ve içerideki dağılım şekli konfor açısından oldukça önemlidir. Ameliyathanelerde ise hava giriş hızı hem cerrahi personeli rahatsız etmemeli hem de ortamdaki partikülleri etrafa dağıtmadan ameliyat alanından uzaklaştırarak yaranın enfekte olma riskini azaltmalıdır.

Eski hastanelerde daha çok karışık hava akışlı sistemler kullanılmaktaydı. Ancak bu sistemlerde parçacıklar tüm ortama dağılmaktadır. (Anıl ve ark. 2007) Daha sonra tek yönlü laminar akış sağlayan "Laminar Akış Üniteleri" kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta çoğunlukla 120 x 240 cm boyutlarında LAF üniteleri kullanılmaktaydı. Ancak bu ölçülerdeki ünitelerde özellikle personelin üzerin türbülanslı hava akış bölgeleri oluşmaktadır. Ayrıca steril cerrahi aletlerin bulunduğu masa bu akış bölgesinin dışında kaldığından dolayı bu aletlerin üzerindeki bakteri üremesine engel olunamamıştır (Diab-Elschahawi ve ark. 2011). Sonrasında VDI 2167 standardında 320 x 320 cm boyutlarında LAF ünitesi tavsiye edilmiştir. Bu sayede hastayla birlikte ameliyathane personeli ve steril aletlerin bulunduğu masa da laminar akış altına alınmıştır (Balaras ve ark. 2006). Yapılan birçok çalışmada da LAF üniteli sistemlerin partikül sayısını önemli derecede azalttığı görülmüştür (Memarzadeh ve Manning, 2002; Chow ve Yang, 2004)

Partiküllerin ortamdan uzaklaştırılması için hava giriş hızı da oldukça önemlidir. Hava giriş hızı ise ASHRAE standartlarında 0.25-0.45 m/s, VDI 2167'de ise minimum 0.22 m/s civarlarında tavsiye edilmektedir (Anıl ve ark. 2007). Ancak çalışmalarda 0.45 m/s hızın ameliyathane personelini rahatsız ettiği belirtilmiştir (Gaever ve ark. 2014). Tablo 1'de farklı standartlarda hava giriş hızı görülebilir.

Mahalde en uygun akışı yakalayabilmek havanın toplanış şekline de dikkat etmek gerekir. Genelde tavsiye edilen odanın köşelerinden, havanın 2/3'ünün tabandan 1/3'ünün de tavandan yakın olacak şekilde toplamda sekiz noktadan toplanmasıdır (Yamankaradeniz ve ark. 2012). Benzer mantıkla dört noktadan havanın toplandığı uygulamalar vardır. Ancak iki uygulamaya bakıldığında sekiz köşeden hava toplandığında daha düzenli bir hava dağılımının elde edildiği görülmüştür (Ufat ve ark., 2017).

LAF ünitesinden çıkan havanın bir perde görevi görmesi ve partikülleri süpürerek uzaklaştırması için uygun hava giriş hızının yanında, uygun sıcaklıkta mahale girmesi gerekir. Hava giriş sıcaklığının mutlaka ortam şartlarından en az 3-4°C civarında düşük olması gerekmektedir (Zoon ve ark., 2007). Bu sayede mahale giren hava, mahalden daha soğuk olduğundan kendi ağırlığıyla yere kadar inmekte ve bir perde görevi görmektedir.

LAF ünitesi altındaki cerrahi personel ve ameliyathanedeki cihazlar hava akışını bozmaktadır. Özellikle tavana bağlı durumdaki ameliyathane lambaları hava akışını bozmaktadır ve ameliyat lambası altındaki alanda partikül sayısı çok daha fazla olmaktadır (Chow ve ark., 2006). Lambaların yerlerini ayarlarken bu durumu göz önünde bulundurmakta fayda vardır.

2.4 Basınçlandırma

Ameliyathanenin hijyenini koruyabilmek için içeriden dışarıya doğru bir hava akışı oluşturmak gerekir ve buna pozitif basınçlandırma denir. Bu sayede komşu mahalden içeriye doğru toz ve partiküllerin geçişini önlemiş oluruz (Anıl ve ark. 2007). Bunun için üflenen havanın bir kısmı egzoz havası olarak atılırken bir kısmı içeride basınç oluşturmak üzere bırakılır. Ashrae standartlarında ameliyathane basıncının çevre basıncından 2,5 kPa civarında daha yüksek olması istenir (Ashrae, 2003). İçerideki basınç daha yüksek olduğundan hava hareketi ameliyathane içerisinden çevre mahale doğru olacak ve çevreden ameliyathaneye toz ve partikül girişi engellenmiş olacaktır. Eğer karantina altındaki bir mahal ise bu uygulamanın tersi olan negatif basınçlandırma işlemi yapılarak mahaldeki kirliliğin çevreye yayılması önlenir.

2.5 Parçacık ve Mikroorganizma Sayısı

Ameliyat yaralarında meydana gelen enfeksiyonun %98'inin havadan geçtiği belirlenmiştir (Sadrizadeh ve Holmberg 2015). Havayla taşınan deri döküntüleri ve diğer partiküller, anestezi gazları, aerosoller v.b. canlı mikroorganizma kaynaklarıdır (Balaras ve ark. 2006) ve bunlar enfeksiyona sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalarda bakterilerin 1-5 µm (Liu ve ark. 2003), 2.5-20 µm (Chow ve Yang 2003, 2005) ve 5-10µm (Sadrizadeh ve ark. 2013) arasındaki boyutlarda partiküllerle taşınmakla olduğunu söylenmektedir. Partikül sayım işlemlerinde ise 0.5 µm'den büyük partiküllerin sayısı önemsenmektedir (Pasquarella ve ark. 2007, Anıl ve ark. 2009). Ayrıca 5µm'den büyük partiküllerle canlı mikroorganizma arasında bir bağlantı vardır (Sadrizadeh ve ark. 2013). ISO standardında oda

sınıflarına göre mahalde bulunabilecek maksimum partikül sayıları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 ISO standardına göre 1 m³ havada bulunabilecek maksimum partikül sayısı (Dharan and Pittet 2002)

ISO Sınıf	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	1 µm	5 µm
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1,000	237	102	35	8	
4	10,000	2,370	1,020	352	83	
5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
7				352,000	83,200	2,930
8				3,520,000	832,000	29,300
9				35,200,000	8,320,000	293,000

Partikül sayısının mümkün olduğunca en düşük düzeyde tutmak için iklimlendirme sisteminde yüksek verimli filtreler kullanılmaktadır. Konfor klimalarından farklı olarak bir veya iki kademe daha fazla filtre kullanılmaktadır. Filtrelerin verimlerinin ne olması gerektiği ve sistemde kaç kademe filtre olması gerektiği ile ilgili bilgiler ameliyathane iklimlendirme sistemleri ile ilgili standartlarda belirtilmiştir. Sistem içerisinde yüksek kaliteli filtreler kullanılırken mahale üflenene havanın mutlaka HEPA filtreden geçirilmesi gerekir. HEPA filtreler 0.3 µm'den büyük boyuttaki partikülleri tutarlar. İyi kurulmuş ve kaçağı olmayan bir sistemden bu boyuttan büyük partiküller geçemeyecektir. 0.3 µm'den büyük partiküller çoğunlukla ameliyathane giren personel veya hasta vasıtasıyla taşınır. Bu sebepten dolayı ameliyathaneye girenlerin kişisel hijyeni oldukça önemlidir. Ayrıca 0.5 µm'den küçük boyuttaki partiküller çok hafif olduğundan havada uzun süre asılı kalabilirler ve enfeksiyon riskini artırırlar (Coşgun ve ark., 2011).

Partikül sayısı ameliyathane içerisindeki cerrahi personelin sayısına ve hareket durumuna göre de değişiklik gösterecektir. Personel sayısı ve hareketlilik oranları arttıkça partikül sayıları da artış gösterecektir. Çoğu ameliyathane boş halde standartlarda izin verilen partikül sayılarının altında kalırken ameliyat esnasında bu çok büyük artışlar göstererek standartlarda izin verilen değerler aşılabilmektedir.

2.6 Taze ve Toplam Hava Değişim Sayıları

Taze hava, insanların bulunduğu ortamda konfor parametrelerini etkileyen temel etmenlerden biridir. Ameliyathanelerde konforun yanında ortamdaki anestezi gazları uzaklaştırmak ve partikül sayısının azaltmak için de oldukça önemlidir. Bununla ilgili de standartlarda belirtilen belirli değerler vardır. Daha eski uygulamalarda ASHRAE standartlarında 5-15 lt/sn.insan, DIN standartlarında 1200 m³/h saat olarak belirtilmekteydi (Anıl ve ark., 2008). Daha güncel olan standartlarda örneğin VDI 2167 standardında 9m²'lik LAF ünitesi istendiğinden bu boyuttaki bir alandan

mahale giren taze hava miktarı yaklaşık 8000 m³/h civarındadır. Bundan dolayı bu standartta herhangi taze hava miktarı özellikle belirtilmemiştir.

Bazı standartlarda sistem %100 taze havalı olarak istenirken bazı standartlarda (Ashrae, 2003) dönüş havasını uygun şekilde filtrelemek koşuluyla en fazla %30'a kadar karıştırılmasına izin verilmektedir. Bu sayede daha az enerji maliyetli sistemler kurulabilmektedir.

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Ameliyathane iklimlendirme sistemlerinin görevi mahaldeki konfor şartlarını sağlamanın yanın ameliyathane enfeksiyonu riskini de en az düzeyde tutabilmelidir. Günümüzde ameliyathane enfeksiyonuna bağlı çok fazla sağlık problemlerinin yaşandığı ve can kayıplarının olduğu düşünülürse iklimlendirme sistemlerinin önemi oldukça ön plandadır. Birçok araştırmada ameliyat yarasının enfekte olmasının en büyük sebebinin mahaldeki hava olduğu ortaya çıkmıştır.

Havayı yüksek verimli filtrelerden geçirip mahale vermek yeterli değildir. Mutlaka uygun sıcaklık, bağıl nem ve hız değerlerinde havanın verilmesi gerekmektedir. Ayrıca cerrahi personelin havanın olması gerektiği sıcaklık ve bağıl nem değerleri konusunda bilgilendirmekte fayda vardır. Çoğu zaman yüksek bağıl nemden kaynaklı yüksek sıcaklık hissini azaltmak için ortam gerektiğinden fazla soğutulabilmektedir. Buna bağlı olarak yüksek bağıl nemde ve düşük sıcaklıkta ortam oluşacak ve konforsuzluk hissi verecektir. Ayrıca bakteri ve mikroorganizmalar yüksek nemde çok daha hızlı çoğaldığından dolayı ortamdaki havanın hijyeni bozulacaktır.

Cerrahi personelin kişisel hijyeni ve içerideki hareketliliğinin dışında ameliyathanedeki partikül sayısını etkileyen en önemli parametre havanın giriş hızı ve dağılım şeklidir. Özellikle LAF ünitesi bulunan ameliyathanelerde, ünite altındaki alanda hava akışını bozmamaya mümkün olduğunca dikkat edilmelidir.

Görüldüğü gibi birçok parametrenin göz önünde bulundurulması gerektiğinden dolayı ameliyathane iklimlendirme sistem tasarımı ve işletilmesi oldukça zahmetli bir konudur. Çok iyi bir sistem tasarımı yapılsa bile sistemin işletilmesi ve kullanılmasında standartlara uymak önemlidir. Ameliyathanedeki iç hava kalitesinin ve kullanılan sistemin mutlaka periyodik olarak kontrolden geçirilmesi ve testlerinin yapılması önemlidir.

KAYNAKLAR

1. A. Coşgun, A. Korkmaz ve N. Doğdu. "Hastanelerde Hijyenik Ortamlarda İç Hava Kalitesinin Araştırılması ve Modelellenmesi (Antalya Örneği)," İklim 2011 Ulusal İklimlendirme Kongresi ve Fuarı," Antalya, 2011.
2. C.A. Balaras, E. Dascalaki, and A. Gaglia, "HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms," *Energy and Buildings*, 39 (4): 454-470 2007.
3. C. Pasquarella , G.E. Sansebastiano, S. Ferretti, E.Saccani, M.Fant, U. Moscato, G.Giannetti, S.Fornia, P.Cortellini, P.Vitali ve C.Signorelli, "A mobile laminar airflow unit to reduce air bacterial contamination at surgical area in a conventionally ventilated operating theatre," *Journal of Hospital Infection*, 66: 313-319, 2007.
4. E.B. Smith, I.J. Raphael, M.G. Maltenfort, S. Honsawek, K. Dolan ve E.A. Younkins, "The effect of laminar air flow and door openings on operating room contamination." *The Journal of Arthroplasty* 28 (9), 1482-1485, 2013.
5. H. Ufat, Ö. Kaynaklı, N. Yamankaradeniz ve R. Yamankaradeniz, "Three-dimensional air distribution analysis of different outflow typed operating rooms at different inlet velocities and room temperatures," *Advances in Mechanical Engineering*, 9(7), 2017.
6. İ. Atılğan ve Ö.E. Ataer, "Isıl konfor analizinin uygulanması. 9. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi", 6-9 Mayıs 2009, İzmir, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, 2009.
7. M. Diab-Elschahawi, J. Berger, A. Blacky, O. Kimberger, R. Oguz, R. Kuelpmann, A. Kramer, ve O. Assadian, "Impact of different-sized laminar air flow versus no laminar air flow on bacterial counts in the operating room during orthopedic surgery," *American Journal of Infection Control*, 39(7): 25-29, 2011.
8. O.B. Anıl, M. Mobedi and M.B. Özerdem, "Hastane hijyenik ortamları için klima ve havalandırma sistemleri tasarım parametreleri," 8. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 25-28 Ekim 2007, İzmir, 497-509, 2007.
9. O.B. Anıl, M. Mobedi and M.B. Özerdem, "Hastanelerin Hijyenik Sınıf 1 Ortamlarında Kullanılan Klima ve Havalandırma Sistemleri İçin Tasarım Parametreleri," *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 58, 23-30, 2008.
10. R. Van Gaever, V.A. Jacobs, M. Diltor, L. Peeters ve S. Vanlanduit, "Thermal comfort of the surgical staff in the operating room," *Building and Environment*, 81: 37-41, 2014.
11. R. Yamankaradeniz, İ. Horuz, Ö. Kaynaklı, S. Coşkun ve N. Yamankaradeniz, "İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları," Dora Yayınevi, Bursa, 602, 2012.
12. S. Dharan ve P. Didier, "Environmental controls in operating theatres," *Journal of Hospital Infection* 51 (2): 79-84, 2002.
13. S.H. Ho, L. Rosario ve M.M. Rahman, "Three-dimensional analysis for hospital operating room thermal comfort and contaminant removal," *Applied Thermal Engineering*, 29(10): 2080-2092, 2009.
14. S. Sadrizadeh, A. Tammelin, P. Ekolind, ve S. Holmberg, "Influence of staff number and internal constellation on surgical site infection in an operating room," *Particuology*, 13: 42-51, 2014.
15. S. Sadrizadeh ve S. Holmberg, "Effect of a portable ultra-clean exponential airflow unit on the particle distribution in an operating room," *Particuology*, 18: 170-178, 2015.
16. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, "Air Conditioning Applications," American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, USA, Chapter 7, 1999.

17. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, "HVAC Design Manual for Hospital and Clinics," Ashrae, Atlanta, 2003.
18. T.T. Chow, ve X.Y. Yang, "Performance of ventilation system in a non-standard operating room," Building and Environment, 38(12): 1401-1411, 2003.
19. T.T. Chow, ve X.Y. Yang, "Ventilation performance in operating theatres against airborne infection: review of research activities and practical guidance," Journal of Hospital Infection, 56(2): 85-92, 2004.
20. T.T. Chow, ve X.Y. Yang, "Ventilation performance in the operating theatre against airborne infection: numerical study on an ultra-clean system," Journal of Hospital Infection, 59(2): 138-147, 2005.
21. T. T. Chow, L. Zhang and B. Wei, "The integrated effect of medical lamp position and diffuser discharge velocity on ultra-clean ventilation performance in an operating theatre," Indoor and Built Environment, 15 (4): 315-331, 2006.
22. W.A.C. Zoon, S.A.M. Heijkant, J.L.M Hensen ve M.G.L.C Loomans, "Assessment of the performance of the airflow in an operating theatre," 10th International Roomvent conference, 13-15 Haziran 2007, Helsinki, 2007.
23. Y. Liu, A. Moser ve K. Harimoto, Numerical study of airborne particle transport in an operating room. International Journal of Ventilation, 2(2): 103-110, 2003.
24. Z. Rui, Y. Guangbei, L. Jihong, "Study on biological contaminant control strategies under different ventilation models in hospital operating room. Building and Environment," 43(5): 793-803, 2008.

SİLİKA OPTİK FİBERİN BAĞIL DİRENÇ DEĞİŞİMİNİN BRILLOUIN FREKANS KAYMASI VE GÜÇ DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Abdurrahman GÜNDAY¹



¹ Dr. Öğr. Gör., Bursa Uludağ Üniversitesi, Orhangazi Yeniköy Asil Çelik Meslek Yüksek Okulu.

1. GİRİŞ

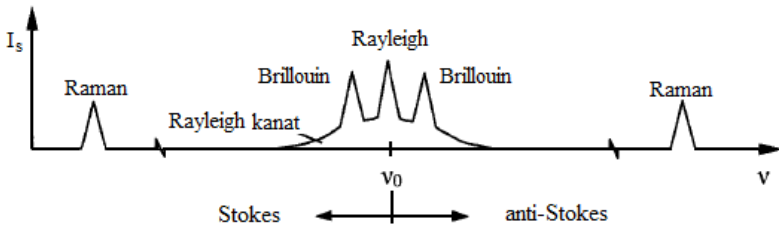
Silika optik fiber teknolojisinde son yıllarda elde edilen gelişmeler, optik fiberin gerek haberleşme alanında, gerekse sensörel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Böylelikle, silika optik fiberin algılama amaçlı kullanıldığı dağınık algılamalı çalışmalarda, yüksek çözünürlüklü olarak sıcaklık, gerginlik, basınç, kuvvet ve vibrasyon gibi fiziksel büyüklüklerin modüle ettiği algılama sistemleri geliştirilmiştir. Silika optik fiberli dağınık algılamalı sistemlerde bu fiziksel büyüklüklerin algılanması ve ölçümünde genellikle Rayleigh, Raman ve Brillouin saçılma mekanizmalarından yararlanılmaktadır. Bu sistemlerde, ölçümü yapılacak büyüklükler hakkındaki enformasyon, ileri veya geri yönde saçılan optik sinyalin frekansı, fazı ve gücünde meydana gelen değişimler esas alınarak elde edilmektedir (Geng vd. 2007, Bao vd. 2012).

Bu çalışmada, öncelikle teorik altyapı oluşturmak amacıyla Brillouin saçılma mekanizması ve çalışmaya konu olan BOTDR (Brillouin optik zaman domeni reflektometri) algılamalı bir sistem modeli üzerinde durulmuştur. Çalışmada, literatürdeki benzer çalışmalardan farklı olarak silika optik fiber çekirdeğinin elektriksel direncindeki bağlı değişimin (bağlı direnç değişiminin) Brillouin frekans kayması ve Brillouin güç değişimi üzerindeki etkileri teorik olarak analiz edilmiş ve analizlere ilişkin lineer ve ikinci dereceden denklemler türetilmiştir. Daha sonra, algılayıcı olarak 1400 m uzunluklu 1550 nm'de tek-modlu silika optik fiberin kullanıldığı BOTDR algılamalı bir sistem modeli konfigüre edilmiştir. Bu sistem üzerinde, fiberin 1200 metrelik kısmında makara ünitesi yardımıyla 460 $\mu\epsilon$ – 820 $\mu\epsilon$ değerleri arasında değişen harici gerginlik oluşumu modellenerek bağlı direnç değişimi ile harici gerginlik, gage faktörü (gerginlik faktörü), Brillouin frekans kayması ve Brillouin güç değişimi bağımlılıklarına ilişkin benzetimler elde edilmiştir. Sonraki bölümde ise benzetimler ve teorik sonuçlar değerlendirilerek elde edilen bulgular yorumlanmıştır.

2. TEORİK ALTYAPI

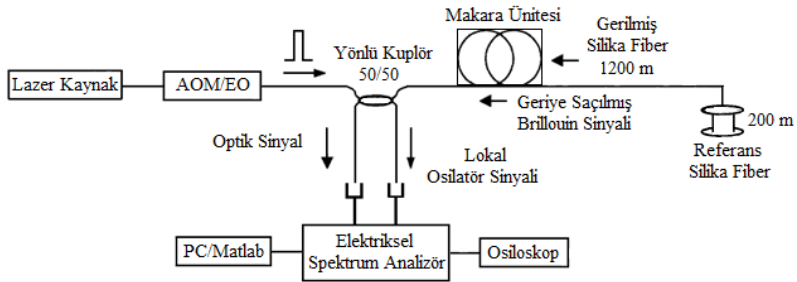
Brillouin saçılma mekanizması, algılayıcı olarak kullanılan silika optik fiber içerisine pompalanan ışık fotonları ile ortamda ısı etkilerine bağlı olarak meydana gelen akustik dalgaların etkileşmesi ve ışık fotonlarının kılavuzlama yönüne ters yönde saçılması olarak ifade edilmektedir. Saçılma esnasında geriye saçılan ışık fotonları, akustik dalgaların hızı ile orantılı olarak değişen Doppler frekans kaymasına maruz kalmaktadır. Bu frekans kayması, Brillouin frekans kayması olarak tanımlanmaktadır (Yu 2006). Brillouin frekans kayması, ortamdaki sıcaklık ve gerginlik oluşumlarına lineer olarak bağımlılık göstermektedir (De Souza 1999, Alahbabi 2006, Günday 2016).

Brillouin, Rayleigh ve Raman sinyallerine ait saçılma spektrumu Şekil 1'de gösterilmektedir (Boyd 2003).



Şekil 1. Brillouin, Rayleigh ve Raman sinyallerine ait saçılma spektrumu

BOTDR esaslı silika optik fiberli dağıtık gerginlik algılamalı bir sistem modeli Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. BOTDR algılamalı bir sistem modeli

BOTDR algılamalı sistemler, geriye saçılan Brillouin sinyali ile lazer kaynak tarafından silika fibere pompalanan optik sinyal arasındaki frekans kaymasının, yani Brillouin frekans kaymasının algılandığı spontane Brillouin saçılmasını kullanmaktadır. Bu çalışmada, ilk 200 m’si referans olarak alınmış sonraki 1200 m’lik kısmına ise gerginlik uygulanmış silika optik fiberin algılayıcı olarak kullanıldığı BOTDR algılamalı bir sistem modelinden yararlanılmaktadır. Modelde, fiber uzunluğu boyunca, fiber çekirdeğine ait bağıl direnç değişimi verileri kullanılarak, Brillouin frekans kayması ve güç değişimi profilleri elde edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, gerginliğe maruz kalan silika optik fiber çekirdeğinin elektriksel direncinde bağıl değişimler meydana geldiğinden, bu değişimler gerginlik oluşumları ile ilişkilendirilerek Brillouin parametrelerine ulaşılmaktadır.

Bir cisme kuvvet uygulandığında, cisim üzerinde enine ve boyuna gerginlikler oluşmaktadır. Gerginliklerin yanı sıra, ortamdaki ısı değişimlerin de etkisi ile cismin bağıl direncinde kombine değişimler meydana geldiğinden, elde edilen değişimler ölçülerek cisim hakkında karakteristik bilgilere ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Bağıl direnç değişimi (1)'de verilmektedir.

$$\frac{\Delta R}{R} = GF. \epsilon + \alpha. \Delta T \quad (1)$$

Eşitlikte $\Delta R/R$ (R_r) bağıl direnç değişimine, GF gage faktörüne veya gerginlik faktörüne, ϵ gerginlik oluşumuna, α sıcaklık katsayısına ve ΔT ortamdaki sıcaklık değişimine karşılık gelmektedir.

Sıcaklık değişiminin ihmal edildiği ($\Delta T = 0$) sadece gerginlik oluşumlarının olduğu çalışma ortamları için tasarlanmış dağınık algılamalı sistemlerde, silika optik fiber çekirdeğinin bağıl direnç değişimi, fiberin uzunluğu (L) boyunca (2)'de verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$R_r(L) = GF. \epsilon \quad (2)$$

Brillouin frekans kayması ΔV_B ve Brillouin güç değişimi ΔP_B , sıcaklık ve gerginliğe bağlı olarak değişim gösterdiğinden, sıcaklık ve gerginlik oluşumlarının fonksiyonu olarak (3.a) ve (3.b)'de verilmektedir (De Souza 1999, Alahbabi 2006).

$$\Delta V_B(T, \epsilon) = K_T^V \Delta T + K_\epsilon^V \Delta \epsilon \quad (3.a)$$

$$\Delta P_B(T, \epsilon) = K_T^P \Delta T + K_\epsilon^P \Delta \epsilon \quad (3.b)$$

Eşitliklerde K_T^V ve K_ϵ^V Brillouin frekans kaymasının, K_T^P ve K_ϵ^P ise Brillouin güç değişiminin sıcaklık ve gerginlik katsayılarını ifade etmektedir (Alahbabi 2006, Günday 2018).

Bu çalışmada sıcaklık değişimi ihmal edildiğinden ($\Delta T = 0$), (3.a) ve (3.b), gerginlik oluşumlarının fonksiyonu olarak (4.a) ve (4.b)'de verildiği gibi yazılmaktadır.

$$\Delta V_B(\epsilon) = K_\epsilon^V \Delta \epsilon \quad (4.a)$$

$$\Delta P_B(\epsilon) = K_\epsilon^P \Delta \epsilon \quad (4.b)$$

Tek-modlu fiberde Brillouin frekans kayması ve Brillouin güç değişimi gerginlik katsayıları Tablo 1'de verilmektedir (Alahbabi 2006, LV vd. 2017).

Tablo 1. Tek-modlu fiber için sıcaklık ve gerginlik katsayıları

Katsayılar	Değerleri
K_ϵ^V	$0.048 \pm 0.004 \text{ MHz}/(\mu\epsilon)$
K_ϵ^P	$-9 \times 10^{-4} \pm 1 \times 10^{-5} \% / (\mu\epsilon)$

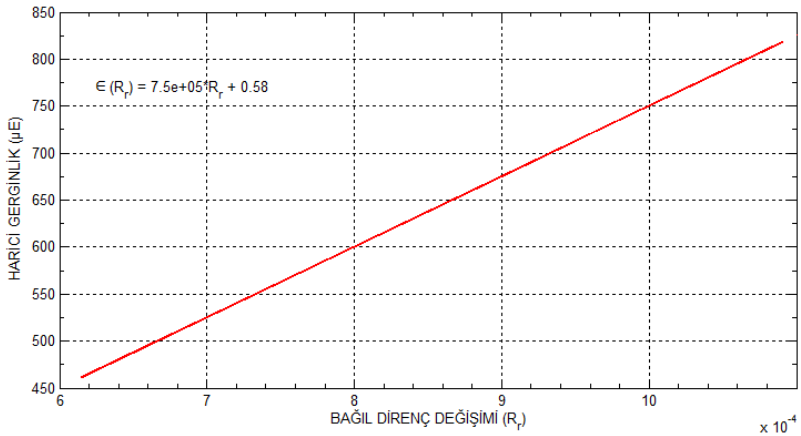
3. BENZETİMLER

Benzetimler, Şekil 2'deki model esas alınarak ve optik fiberin bağıl direnç değişimi ile Brillouin frekans kayması ve güç değişimi bağımlılıkları analiz edilerek, Matlab R2019 ortamında elde edilmiştir.

Benzetimlerde kullanılan lazer kaynak ve algılayıcı silika optik fibere ait parametreler ve değerleri aşağıda verilmektedir:

- Silika optik fiberin uzunluğu: $L = 1400$ m.
- Lazerin pompaladığı optik sinyalin maksimum gücü: $P_0 = 1.20$ mW.
- Pompalanan optik sinyalin dalga boyu: $\lambda_0 = 1550$ nm.
- Pompalanan optik sinyalin darbe süresi: $\tau = 12$ ns.
- Silika optik fiberin çekirdek kırılma indisi: $n_1 = 1.45$.
- Silika optik fiberin kılıf kırılma indisi: $n_2 = 1.44$
- Işığın boşluktaki hızı: $c = 2.99793 \times 10^8$ m/s.
- Uzamsal çözünürlük: $l = c\tau/2n_1 = 1.2405$ m.
- BOTDR algılamalı sistem modeli için ölçüm alınan nokta sayısı: $R = 967$.
- Işığın silika optik fiber içerisindeki hızı: $v_g = c/n_1 \approx 2 \times 10^8$ m/s.
- Silika optik fiberde meydana gelen akustik dalgaların hızı: $v_a = 5960$ m/s.
- Foto elastik (Pockel) katsayı: $p = 0.286$.
- Silika optik fiberin yoğunluğu: $\rho = 2330$ kg/m³.
- Boltzmann sabiti: $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J.K⁻¹.

Bağıl direnç değişimi ile harici gerginlik arasındaki ilişki Şekil 3'te gösterilmektedir.



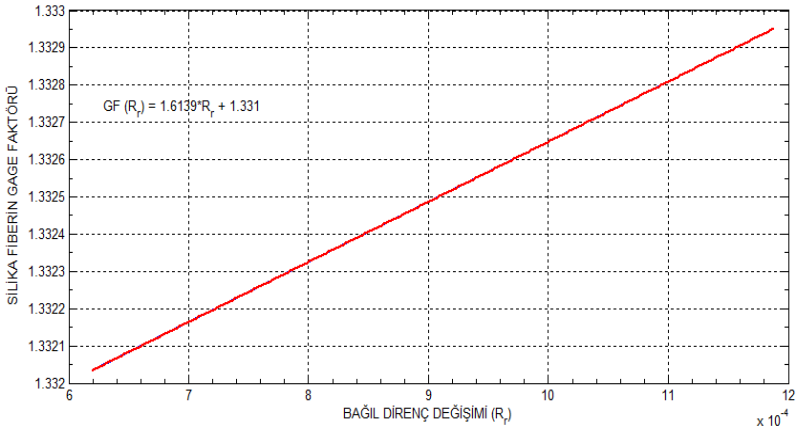
Şekil 3. Harici gerginliğin bağıl direnç değişimi bağımlılığı

(2) ve Şekil 3'teki benzetim kullanılarak, algılayıcı silika optik fiber boyunca meydana gelen gerginlik oluşumları (ϵ) ile bağıl direnç değişimi arasındaki ilişkiyi veren lineer denklem (5)'teki gibi elde edilmektedir.

$$\epsilon (R_r) = 7.5 \times 10^5 R_r + 0.58 \quad (5)$$

Şekil 3'ten de görüldüğü üzere, gerginlik oluşumlarının $460 \mu\epsilon - 820 \mu\epsilon$ değerleri arasındaki değişimine karşılık, bağıl direnç değişimi 6.126×10^{-4} ile 10.926×10^{-4} değerleri arasında değişmektedir.

Gage faktörü veya gerginlik faktörü ile bağıl direnç değişimi arasındaki ilişki Şekil 4'te gösterilmektedir.



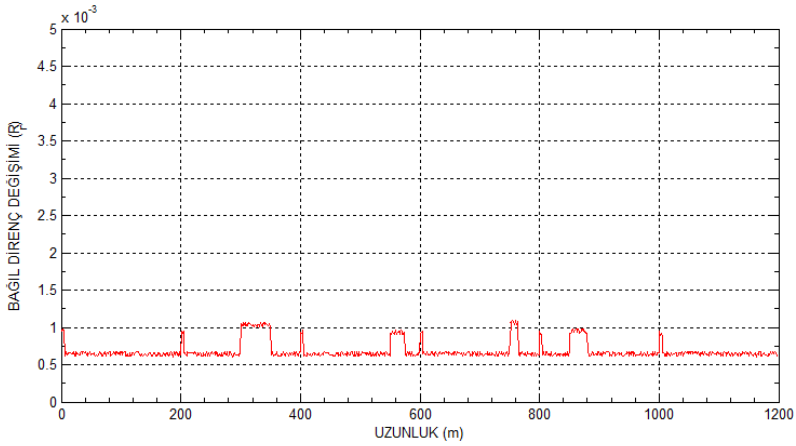
Şekil 4. Gage faktörünün bağıl direnç değişimi bağımlılığı

(2) ve Şekil 4 kullanılarak, gage faktörü (GF), bağıl direnç değişiminin fonksiyonu olarak (6)'da verildiği gibi elde edilmektedir.

$$GF(R_r) = 1.6139 R_r + 1.331 \quad (6)$$

Bağıl direnç değişimi $\sim 6.18 \times 10^{-4}$ ile $\sim 11.90 \times 10^{-4}$ değerleri arasında değişirken, gage faktörü ~ 1.33200 ile ~ 1.33292 değerleri arasında değişim göstermektedir.

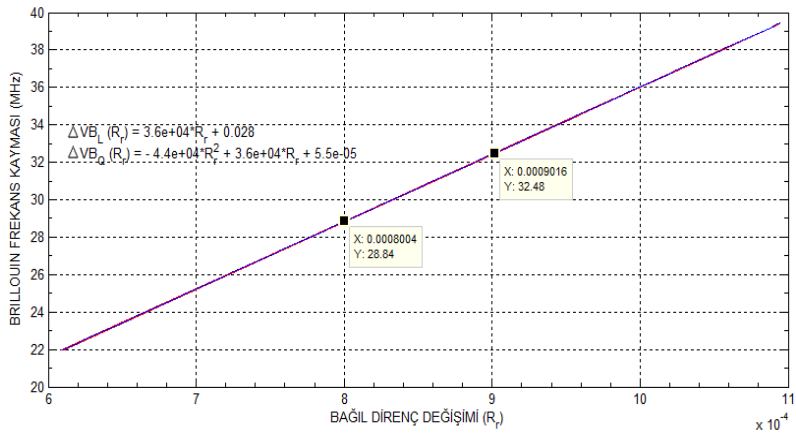
Silika optik fiber çekirdeğinin bağıl direnç değişimi profili Şekil 5'te verilmektedir. Bağıl direnç değişimi $\sim 0.6 \times 10^{-3}$ ile $\sim 1.1 \times 10^{-3}$ değerleri arasında değişmektedir. Bu değişim, optik fiber boyunca meydana gelen gerginlik oluşumlarındaki dalgalanmaların bir sonucudur.



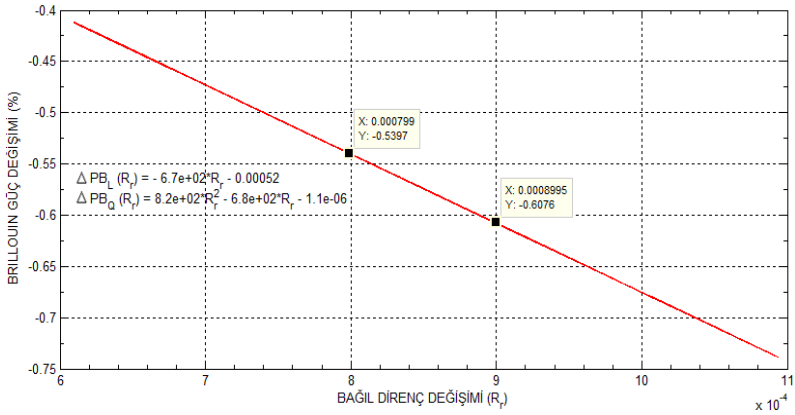
Şekil 5. Silika optik fiber çekirdeğinin bağıl direnç değişimi profili

Silika optik fiberin 1200 metrelik kısmında meydana gelen gerginlik oluşumlarındaki dalgalanma, bağıl direnç değişiminin, kablo boyunca bazı bölgelerde yüksek değerlere ulaşmasına neden olmuştur. Bu durum, modelde kullanılan makara ünitesinden kaynaklanmaktadır.

Brillouin frekans kaymasının ve Brillouin güç değişiminin bağıl direnç değişimi bağımlılıkları sırasıyla, Şekil 6'da ve Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Brillouin frekans kaymasının bağıl direnç değişimi bağımlılığı



Şekil 7. Brillouin güc değişiminin bağıl direnç değişimi bağımlılığı

Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiş olan benzetimlerden açık bir biçimde görüldüğü gibi, Brillouin frekans kayması ve Brillouin güc değişimi, bağıl direnç değişimi ile sırasıyla artan ve azalan yönde eğilim göstermektedir.

(4.a), (4.b), Şekil 6 ve Şekil 7 kullanılarak, Brillouin frekans kayması ve Brillouin güc değişiminin bağıl direnç değişimine ilişkin lineer ve ikinci dereceden denklemler sırasıyla, (7.a), (7.b), (8.a) ve (8.b)’de verildiği gibi elde edilmektedir.

$$\Delta VB_L(R_r) = 3.6 \times 10^4 R_r + 0.028 \quad (7.a)$$

$$\Delta VB_Q(R_r) = -4.4 \times 10^4 R_r^2 + 3.6 \times 10^4 R_r + 5.5 \times 10^{-5} \quad (7.b)$$

$$\Delta PB_L(R_r) = -6.7 \times 10^2 R_r - 0.00052 \quad (8.a)$$

$$\Delta PB_Q(R_r) = 8.2 \times 10^2 R_r^2 - 6.8 \times 10^2 R_r - 1.1 \times 10^{-6} \quad (8.b)$$

Bağıl direnç değişiminin 6.126×10^{-4} – 10.926×10^{-4} değerleri arasındaki değişimine karşılık Brillouin frekans kayması ve Brillouin güc değişimi sırasıyla, 22.0816 MHz ile 39.3616 MHz ve % -0.411 ile % -0.733 değerleri arasında değişmektedir. (7) ve (8) kullanıldığında, bağıl direnç değişimindeki 1 birimlik değişimin, Brillouin frekans kaymasında ve güc değişiminde sırasıyla, 3.6×10^4 MHz ve % -6.7 $\times 10^2$ değerinde değişimlere neden olduğu hesaplanmaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, BOTDR algılamalı bir sistem modeli üzerinden Brillouin frekans kaymasının ve Brillouin güc değişiminin, silika optik fiber çekirdeğinin bağıl direnç değişimi bağımlılıkları teorik olarak analiz edilerek lineer ve ikinci dereceden bağımlılık denklemleri formüle edilmiştir. Teorik olarak türetilen bağıntılar ve oluşturulan model kullanılarak, bağıl direnç

değişimleri ile silika optik fibere etkiyen harici gerginlik oluşumları, gage faktörü ve Brillouin parametreleri arasındaki ilişkiye ait benzetimler elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca, benzetimler ve teorik sonuçlardan yararlanılarak gerginlik oluşumları ve gage faktörü ile bağıl direnç değişimi arasındaki ilişkiyi veren ifadeler çıkartılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, bağıl direnç değişiminin 6.126×10^{-4} – 10.926×10^{-4} değerleri arasındaki değişimine karşılık, Brillouin frekans kayması ve Brillouin güç değişiminde sırasıyla, 22.0816 MHz – 39.3616 MHz ve % -0.411 – % -0.733 değerleri arasında değişim olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, Brillouin frekans kayması ve Brillouin güç değişimi ile bağıl direnç değişimi arasındaki ilişkinin, silika optik fiberli dağıtık algılamalı sistemlerde kullanılabileceğini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, bağıl direnç değişimi ile bağımlılığı olan gerginlik, gage faktörü gibi parametreler bu çalışmada olduğu gibi direk olarak elde edilebileceği gibi, bağıl direnç değişiminin Brillouin parametreleri üzerindeki etkilerinden yararlanılarak sıcaklık, gerginlik ve basınç gibi fiziksel büyüklükleri algılamak ve gerçek zamanlı olarak ölçmek mümkün olabilecektir. Dolayısıyla, çalışma bu yönü ile benzer nitelikteki sensörel uygulamalarda ve bu alandaki akademik çalışmalarda kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Alahbabi, M. (2005). Distributed optical fiber sensors based on the coherent detection of spontaneous Brillouin scattering, PhD Dissertation, University of Southampton.
2. Boyd, R.W. (2003). Nonlinear Optics. 2nd Edition, Academic Press, Rochester, NewYork, USA, Chapter 8 - 9, pp: 371 - 450.
3. De Souza, K.R.C.P. (1999). Fiber optic distributed sensing based on spontaneous Brillouin scattering. Ph.D. Thesis, University of Southampton, UK.
4. Günday, A. (2018). Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communication, 12 (9 - 10), 502 - 511.
5. Günday, A. (2016). Optik fiberli dağınık algılamalı sistemlerde ısı etkilerinin analizi ve modellenmesi. Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye.
6. R. LV, T. Zhou, L. Zhang, H. Peng, Y. N. Zhang, (2017). Optoelectron. Adv. Mat. 11(11-12), 633.
7. Yu, Q. (2006). Distributed Brillouin sensing using polarization - maintaining fibers with high measurement accuracy. Ph.D. Dissertation, Ottawa - Carleton Institute for Physics, University of Ottawa, Canada.
8. Bao, X., Chen, L. (2012). Sensors, 12, 8601.
9. Geng, J., Staines, S., Blake, M., Jiang, S. (2007). Appl. Opt. 46(23), 5928.

