

2023
Ekim

MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ

Alanında Akademik
Çalışmalar

EDİTÖR

Prof. Dr. Çoşkun ÖZALP

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi • Yaşar Hız
Genel Yayın Yönetmeni • Eda Altunel
Yayına Hazırlayan • Gece Kitaplığı
Editör • Prof. Dr. Çoşkun ÖZALP

Birinci Basım • Ekim 2023 / ANKARA

ISBN • 978-625-425-213-6

© copyright

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

Gece Kitaplığı

Adres: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak Ümit Apt

No: 22/A Çankaya/ANKARA Tel: 0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com
gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt
Bizim Buro
Sertifika No: 42488

Mühendislik Bilimleri Alanında Akademik Çalışmalar

Ekim 2023

Editör

Prof. Dr. Çoşkun ÖZALP

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

HARMONİK BİLEŞENLER İÇEREN GÜÇ SİSTEMİNDE SERİ REZONANSIN ANALİZİ

Süleyman ADAK..... 1

BÖLÜM 2

AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİT HAVZASI'NDAKİ KÖMÜRLERİN GAZLAŞTIRILMASI VE SIVILAŞTIRILMASI STRATEJİSİNİN EKONOMİK DEĞERLEMESİ

Murat ŞENTÜRK..... 21

BÖLÜM 3

YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ KULLANILARAK EL HAREKETLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

İrem ŞENYER YAPICI..... 37

BÖLÜM 4

DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ÜRÜN ÖNERME SİSTEMİ ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Ali SARIKAYA, Ali GÜNEŞ 47

BÖLÜM 5

KIRMA-ÖĞÜTME TESİSLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ (İSG) ÇALIŞMALARINDA GÜRÜLTÜ VE TOZ

Metin UÇURUM 59

BÖLÜM 6

ET ÜRÜNLERİNDE NİTRAT/NİTRİT KAYNAĞI OLARAK DOĞAL KÜRLEME MADDELERİ

Zeynep Feyza YILMAZ ORAL..... 83

BÖLÜM 7

BİNAURAL VURUŞ KULLANILARAK DİKKAT VE RAHATLIK SEVİYESİNİN ELEKTROENSEFALOGRAFI CİHAZI ÖLÇÜMÜYLE TESPİTİ

Mehmet Üsame KARAOSMAN, Firdevs Banu ÖZDEMİR..... 101

BÖLÜM 8

ATIKSU ARITIMINDA MANYETİK İYONLAR İLE ADSORPSİYON UYGULAMALARININ İNCELENMESİ

Ahmet AKBURAK, Murat SOLAK, Mehmet KILIÇ..... 117

BÖLÜM 9

FERMENTE SOSİSLERDE YEREL KOAGÜLAZ NEGATİF STAFİLOKOKLAR

Zeynep Feyza YILMAZ ORAL..... 139



BÖLÜM 1

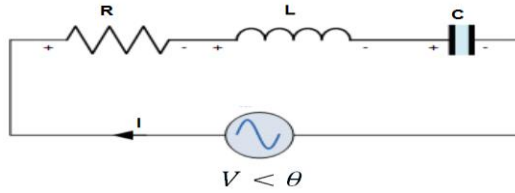
HARMONİK BİLEŞENLER İÇEREN GÜÇ SİSTEMİNDE SERİ REZONANSIN ANALİZİ

Süleyman ADAK¹

¹ Dr.Öğr.Üyesi, Mardin Artuklu Üniversitesi, MYO Elektrik ve Enerji Bölümü, suleymanadak@artuklu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1436-2830

1 GİRİŞ

Seri rezonans devre elemanlarından endüktans (L) ile kapasitör © arasındaki gerilimlerin aynı fazda eşit ve birbirine zıt olması koşulunda oluşur. Seri bağlı R,L,C devresinde sinüzoidal sinyallerin aynı frekansta olmaları koşulunda fazörler yardımı ile birleştirilebilirler. Seri bağlı R,L,C devresi, indüktörün endüktif reaktansı kapasitörün kapasitif reaktansına eşit olduğu bir frekans değeri vardır. $X_L = X_C$ eşit olduğunda devrenin rezonans frekans noktası (f_r) vardır. Bu frekansa rezonans frekansı denir. Seri rezonans devreleri elektronikte kullanılan önemli devrelerdir. Seri rezonans devreleri gürültü filtreleri, farklı frekans kanallarının alınması ile radyo ve televizyon ayar devrelerinde kullanılırlar.



Şekil 1 Seri rezonans devresi

Bu seri bağlı devrenin toplam empedansı,

$$Z_{toplam} = R_s + j(X_L - X_C) \quad (1)$$

olarak yazılır. Rezonans frekansında reaktif terim sıfır olur. Sonuçta devrenin empedansı dirençten ibarettir. ($X_L = X_C$ olması durumunda) Devrede seri rezonans oluşur ve bu noktadaki frekansa rezonans frekansı denir. Rezonans frekansının analizini yazarsak,

$$X_L = X_C \quad (2)$$

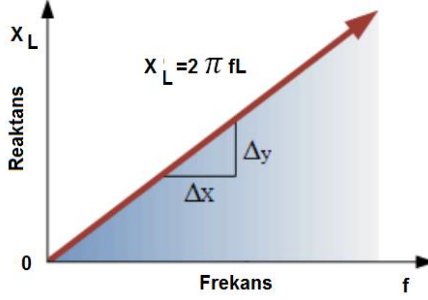
açılımını yaparsak,

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (3)$$

Rezonans frekansı

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

şekilde hesaplanır. Endüktif reaktans (4) denkleminde görüldüğü gibi frekans veya endüktansın artırılması koşulunda indüktörün toplam endüktif reaktansı artar. Frekans değerinin sonsuza yaklaşması durumunda indüktörlerin reaktansı da açık devre gibi davranır. Frekans sıfıra yaklaştıkça, indüktörlerin reaktansı sıfıra düşerek kısa devre elemanı gibi davranır. Bu, endüktif reaktans frekansla orantılıdır. Düşük frekanslarda küçük ve yüksek frekanslarda yüksektir.

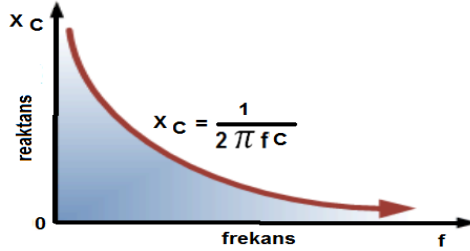


Şekil 1 Endüktif reaktansın frekansla değişimi

Endüktif reaktansın grafiği doğrusal bir eğridir. Endüktif reaktans pozitif olup frekansla doğru orantılıdır.

$$(X_L \propto f) \quad (5)$$

Kondansatörde frekans artırılması durumunda kapasitif reaktansın değeri azalır. Frekans değeri sonsuza yaklaşması durumunda, kapasitörlerin reaktansı değeri sıfıra düşer. Devre 0Ω 'luk süper bir iletken şeklinde davranır.



Şekil 2 Kapasitif reaktansın frekansla değişimi

Kapasitif reaktansın değeri frekans ile ters orantılıdır. Frekansa karşı kapasitif reaktansın grafiği hiperbolik formunda bir eğri şeklindedir. Bir kapasitörün reaktansı düşük frekans değerlerinde çok yüksektir. Buna karşılık frekans değeri arttıkça hızla azalır. Bu koşulda kapasitif reaktans negatif bir karakter gösterip, frekansla ters orantılıdır.

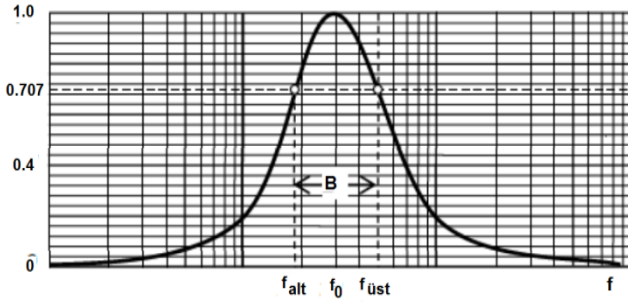
$$(X_C \propto f^{-1}) \quad (6)$$

f_0 frekansında devre empedansı minimum ($Z_{\text{toplama}} = R_s$) olduğundan akım maksimum değerdedir. Rezonans durumunda açılarının toplamı değe-

ri sıfırdır. Devrede akımın yüksek olduğu durumdaki frekans rezonans frekansı olarak adlandırılır. Gerilimin en yüksek değeri (V_{max}) değerinin 0.707'sine düştüğü andaki frekanslar alt kesim ve üst kesim frekansı şeklinde isimlendirilir. Her iki frekansın farkına devresinin frekans bant genişliği olarak adlandırılır.

$$Bant\ genişliği = f_{üst} - f_{alt} \quad (7)$$

Şekil 3'te seri bir rezonans devresinde gerilim değerinin frekansla değişimi verilmiştir



Şekil 3 Seri rezonansta gerilimin frekansa ile değişimi

2 GÜÇ SİSTEM HARMONİKLERİ

Harmonik bileşenler genel olarak nonlineer devre elemanları ile nonsinüzoidal kaynaklardan herhangi birisi veya bunların ikisinin beraber bir şekilde güç sisteminde olması durumunda oluşurlar. Harmonikli akım ve gerilimin güç sisteminde var olması durumunda sinüzoidal dalganın sinüs formu bozular. Bozulan bu dalgalar nonsinüzoidal dalga olarak adlandırılır.

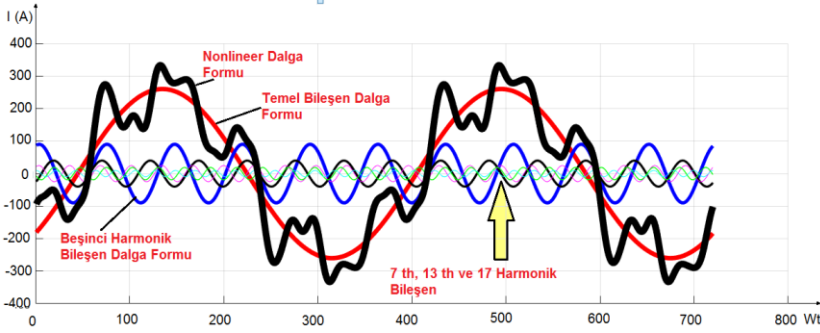
Nonlineer özellikteki yüklerin oluşturduğu harmonik frekanslı akımlar devrelerini şebeke ve civar tüketiciler üzerinden tamamlayarak harmonik frekansa sahip gerilimlerin oluşmasına sebep olurlar. Nonlineer dalga formu, temel bileşen ile harmonik bileşenlerin toplamından meydana gelir.

DC kıyıcılar, motorların kontrol devreleri, statik VAR generatörleri ile anahtarlamalı güç kaynakları nonlineer karakteristiğe sahiptirler. Harmonik bileşenlerin oluşmasına neden olurlar. Pozitif harmonik bileşenler (4, 7, 10, 13...) temel frekansla aynı dönüş yönündedir buna karşılık, negatif bir harmonik bileşenler ise (2., 5., 8., 11....) temel frekansla ters dönüş yönündedir. Pozitif harmonikler, iletkenlerin, güç hatlarının ve trans-

formatörlerin aşırı ısınmasına neden oldukları için istenmemektedirler. Güç sistemindeki nonlinear karakteristikli akım formu aşağıda verildiği gibidir.

$$i(\omega t) = 260 \sin(\omega t - 45) + 90 \sin(5\omega t + 70) + 40 \sin(7\omega t - 45) + 25 \sin(11\omega t + 50) + 19 \sin(13\omega t - 170) + 10 \sin(17\omega t + 80) \quad (8)$$

Bu dalga formuna ait grafik Şekil 4'te verilmiştir.

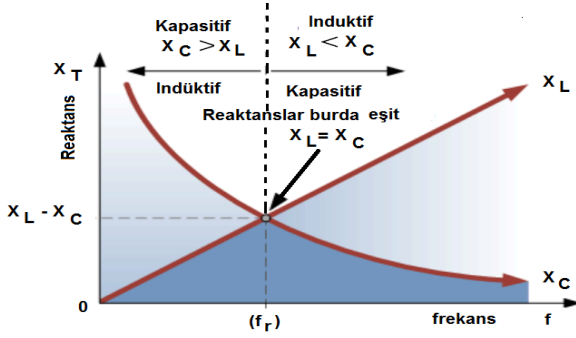


Şekil 4 Bir nonlinear dalga ile harmonik bileşenleri

Harmonik bileşenlerin neden olduğu sorunların önemlilerinden birisi güç faktörüne (PF) olan etkileridir. Bundan dolayı harmonik bileşenlerin bulunduğu devrelerde güç faktörü hesabında güç sisteminin toplam harmonik distorsiyonunun (THD) da göz önünde bulundurulması gerekir. Düşük PF'de kalite açısından düzeltilmesi gereken en önemli problemlerden biridir. Toplam harmonik bozulma gerilim için (THD_V) ve toplam harmonik bozulma akım için (THD_I) değerleri arttıkça PF değeri gerçek değerinden daha aşağı düşmektedir.

3 SERİ REZONANS DEVRESİNİN ANALİZİ

Bir elektrik devresinde yüksek frekans değerlerinde endüktif reaktans (X_L) değeri yüksektir buna karşılık düşük bir frekansta kapasitif reaktans (X_C) değeri yüksektir. X_L değeri ile X_C değerinin eşit olduğu bir frekans noktası vardır. Endüktif reaktans eğrisinin kapasitif reaktans eğrisi ile üst üste yerleştirirsek kesişme noktası bize seri rezonans frekansını (f_r veya ω_r) verir.



Şekil 5 Seri rezonans parametreleri

AC devresinde elektriksel rezonans, zıt ve eşit olan iki reaktansın etkileşimi, ($X_L = X_C$) birbirinin etkisini yok ettiğinde seri rezonans oluşur. Rezonans noktası Şekil 5'te görüldüğü gibi iki reaktans eğrisinin birbirini kestiği noktadır. Seri rezonans devresinde rezonans frekansı (f_r) değeri aşağıda verildiği şekliyle hesaplanır.

$$X_L = X_C \quad (9)$$

(9) denklemini açarsak,

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (10)$$

Olarak bulunur. Rezonans frekansı,

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad (11)$$

$$f = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 LC}} \quad (12)$$

İfadesini sadeleştirirsek rezonans frekansı,

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ (Hz)} \quad (13)$$

olarak bulunur. Acısal frekans cinsinden yazarsak,

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ (rads)} \quad (14)$$

Rezonansta matematiksel olarak iki reaksiyonun birbirinin etkisini yok ediyor.

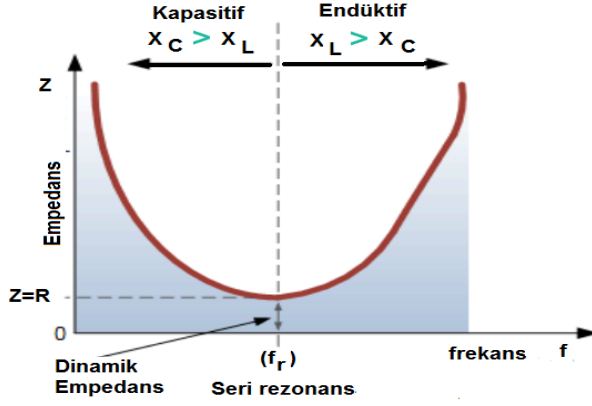
$$X_L - X_C = 0 \quad (15)$$

Rezonans frekansı, bir seri R,L,C devresinin toplam empedansının dirence eşit hale geldiği frekanstır. Bunun nedeni rezonansta reaktansların

birbirinin etkisini yok ederler. Böylece seri devrenin toplam empedansı direncin değerine eşit olur:

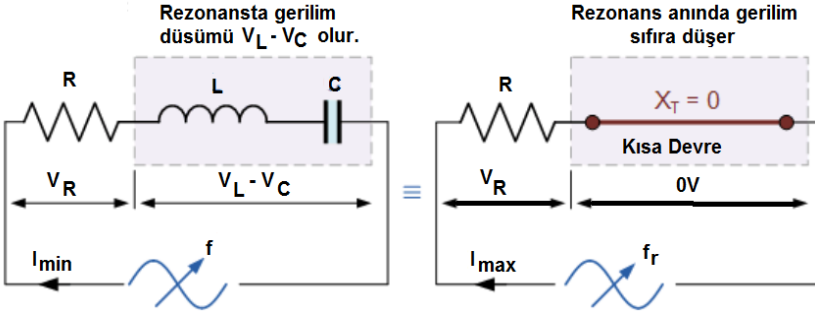
$$Z = R \quad (16)$$

Rezonansta seri devrenin empedansı minimum değerini alır ve R direncine değerine eşittir. Rezonanstaki devre empedansı dinamik empedansı olarak isimlendirilir ve frekansa bağlı olarak, X_C (tipik olarak yüksek frekans değerlerinde) veya X_L (tipik olarak düşük frekans değerlerinde), aşağıda gösterildiği gibi rezonansın her iki tarafında devreye hakim olacaktır.



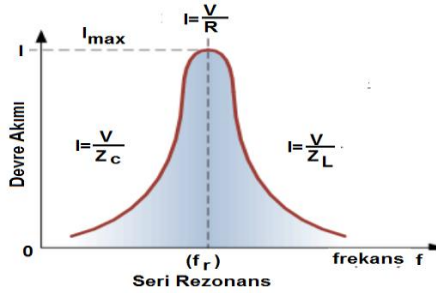
Şekil 6 Seri rezonans devresinde empedans

R,L,C devresine kapasitif reaktans etkin olduğunda, empedans eğrisinin hiperbolik bir forma sahip olur. Buna karşılık, endüktif reaktansın devrede etkin olduğu zaman, X_L 'nin lineer olması nedeniyle eğri simetrik değildir. Devrelerin empedansı rezonansta minimumdaysa devrelerin admittansıda maksimumdadır. Seri rezonans devresinin özelliklerinden birinin, admittans değerinin çok yüksek olmasıdır. Ancak bu kötü tehlikeli olabilir. Çünkü rezonansta çok düşük bir direnç değeri olması durumunda devreden geçen akım çok yüksek olur.



Şekil 7 Rezonans anında gerilim değişimi

Seri rezonans devresinden Z minimum değerindedir ($Z=R$). Bu nedenle, bu frekanstaki devre akımı, aşağıda gösterildiği gibi maksimum V/R değerini alır. Şekil 8’de gösterildiği gibi.



Şekil 8 Rezonansta seri devre akımı

Seri rezonans devresinde akımın büyüklüğü frekansın bir fonksiyonudur. Rezonans anında $I_{MAX} = I_R$ eşit olur. Rezonans frekansında akım maksimum değerine ulaşır. f sonsuz hale geldikçe tekrar sıfıra düşer. Bunun sonucu, indüktör ve kondansatör üzerindeki gerilimin değeri rezonans bile besleme geriliminden birçok kez daha büyüktür. ancak eşit olduklarında karşılıklı olarak birbirlerini yok ederler. Daha sonra, bir seri rezonans devresinin gerilini ve akımı arasındaki faz açısı aynı zamanda sabit bir besleme gerilimi için frekansın bir fonksiyonudur ve rezonans frekans noktasında sıfırdır. Sonuç olarak, faz açısı sıfır ise, güç faktörü bire eşittir. Ayrıca, faz açısı rezonansının üzerindeki frekanslar için pozitif buna karşılık altındaki frekans değerleri için negatiftir. Seri R,L,C devresi sabit bir gerilimde değişken bir frekansla sürülürse, akımın büyüklüğü, I empedans ile orantılıdır, bu nedenle rezonans devre tarafından emilen güç maksimum değerinde olmalıdır.

$$P_{max} = I^2 Z \quad (17)$$

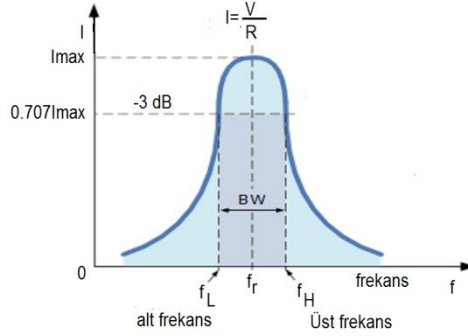
Seri rezonans devresinde dirençteki ortalama güç rezonanstaki maksimum değerinin yarısına eşit olana kadar frekansı azaltır veya arttırırsak yarı güç noktaları olarak adlandırılan maksimumdan -3dB aşağısında iki frekans noktası üretiriz. Bu -3dB noktaları bize maksimum rezonans değerinin %70.7'sine eşit olan akım değeri verir:

$$0.5(I^2 R) = (0.707 \times I)^2 R \quad (18)$$

Gücün yarısındaki alt frekansa karşılık gelen nokta alt kesme frekansı olarak adlandırılır. Bu değer f_L ile etiketlenir. Yarım güçte üst frekansa karşılık gelen nokta ise üst kesim frekansı olarak isimlendirilir. Bu değer f_H olarak etiketlenir. Bu iki nokta arasındaki mesafe, yani $(f_H - f_L)$, bant genişliği, (BW) olarak adlandırılır. Maksimum güç ve akımın en az yarısı olduğu frekans aralığıdır. Seri rezonanstaki bant genişliği,

$$BG = f_H - f_L \quad (19)$$

Olarak gösterilir. Grafikselsel olarak Şekil 9'da verildiği gibidir.



Şekil 9 Seri rezonans devresinde bant genişliği

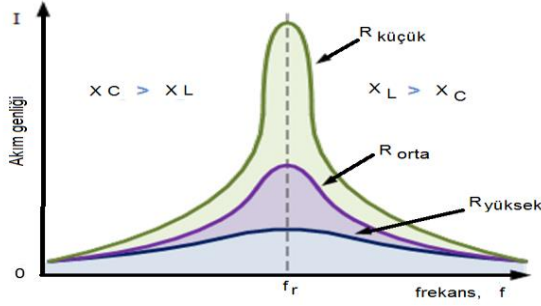
Şekil 9'daki grafikten anlaşılacağı üzere elektrik devrelerin frekans tepkisi seri rezonans devresindeki rezonansın olayının keskinliği ile ilgili kavramdır. Tepe noktasının keskinliği kantitatif şekilde ölçülür ve devrenin kalite faktörü (Q) şeklinde isimlendirilir. Kalite faktörü, elektrik devresinde rezonans frekansının bant genişliğine oranı olarak tanımlanır. Değeri ne kadar yüksek olursa, bant genişliği o nispette küçüktür. Kalite faktörü,

$$Q = f_r / BW \quad (20)$$

Formülü ile bulunur. Bir elektrik devresinin seçiciliği, bu noktaların her iki tarafındaki herhangi bir frekansı reddetme özelliğinin bir ölçüsüdür. Seçici özellikte devreler daha dar bir bant genişliğine sahip olurken, daha az seçici bir devre daha geniş bir bant genişliğine sahiptirler. R,L,C devre elemanlarından oluşan seri rezonans devresinin seçiciliği,

$$Q=(X_L \text{ veya kapasitörün reaktansı } X_C)/R \quad (21)$$

olduğundan, diğer tüm bileşenleri aynı tutarak yalnızca direncin değerini ayarlayarak kontrol edilebilir.



Şekil 10 Devre elemanları seri bağlı R,L,C rezonans devresinin bant genişliği

Seri rezonans devrenin rezonansını, bant genişliğini, seçicilik ile kalite faktörü ilişkisi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

a). Devrenin rezonans Frekansı

$$X_L = X_C \quad (22)$$

(22) denklemini acarsak,

$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} = 0 \quad (23)$$

İçler dışlar çarpımını yaptığımızda,

$$\omega_r^2 = \frac{1}{LC} \quad (24)$$

elde edilir. Rezonansın oluştuğu açısal hız,

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{“} \quad \text{“} \quad (25)$$

Olarak bulunur.

b). Akım, (I)

ω_r de $Z_T = \min$ $I_s = \max$ değerlerini alır. Akımın maksimum değeri,

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{Z} = \frac{V_{max}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{V_{max}}{\sqrt{R^2 + (\omega_r - \frac{1}{\omega_r C})^2}} \quad (26)$$

c) Alt kesim frekansı,

Yarım güçte,

$$\frac{P_m}{2} \quad (27)$$

Akımın değeri,

$$I = \frac{I_m}{2} = 0.707 I_m \quad (28)$$

Formülü ile bulunur. Empedans değeri,

$$Z = \sqrt{2}R \quad (29)$$

$$X = -R \text{ (Kapasitif)} \quad (30)$$

İle bulunur. Bobindeki manyetik alanın açısal hızı,

$$\omega_L = \frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \quad (31)$$

Formülü ile hesaplanır.

d) Üst kesim frekansı, Yarım güçte,

$$\frac{P_m}{2} \quad (32)$$

Akımın değeri,

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m \quad (33)$$

$$Z = \sqrt{2}R \quad V=+R \text{ (Endüktif)} \quad (34)$$

Üst kesim frekansı aşağıda verildiği gibidir.

$$\omega_H = \frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}} \quad (35)$$

Formülü ile hesaplanır.

e). Bant genişliği, (BW)

$$BW = \frac{f_r}{Q} \quad (36)$$

Alt ve üst frekans değerleri,

$$f_H - f_L = \frac{R}{L} \frac{R}{L} \text{ (rads)} \quad (37)$$

Formülü ile bulunur. Hz olarak bu değer,

$$f_H - f_L = \frac{R}{2\pi L} \text{ (Hz)} \quad (38)$$

f). Kalite Faktörü, (Q)

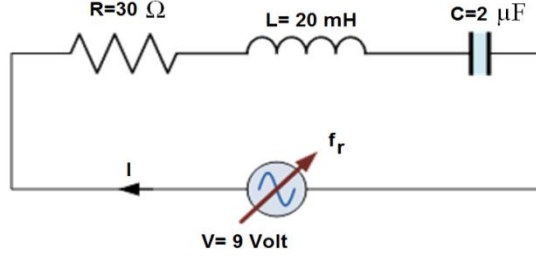
$$Q = \frac{\omega_r}{R} = \frac{X_L}{R} = \frac{1}{\omega_r CR} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (39)$$

Olarak bulunur.

Örnek. 1

Seri bağlı bir elektrik devresi 30Ω 'luk bir direnç elemanı, $2\mu\text{F}$ 'lik bir kapasitör devre elemanı ile 20mH 'lik bobin sevre elemanından oluşmaktadır. Devre elemanları tüm frekanslarda 9 voltluk sabit bir gerilim kaynağına bağlanmıştır. Rezonans frekansını, rezonans noktasındaki akımı,

indüktör ve kapasitör gerilimlerini, kalite faktörü ile devrenin bant genişliğini bulalım.



Şekil 11 Rezonans frekansı, f_r

Rezonans frekansı aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.02 * 2 * 10^{-6}}} = 796 \text{ Hz}$$

Rezonanstaki devre akımı,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{30} = 0.3 \text{ A}$$

Rezonansta endüktif reaktans,

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi 796.0.02 = 100 \Omega$$

İndüktör ve kapasitör üzerindeki gerilim değerleri,

$$V_L = V_C$$

$$V_L = I * X_L = 300\text{mA} * 100 \Omega$$

$$V_L = 30 \text{ V}$$

Kaynak gerilimi 9 volt olmasına karşılık rezonans frekansında kapasitör, V_C gerilimi ile self elemanı V_L üzerine düşen gerilim değerleri 30 voltur. Kalite faktörü,

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{100}{30} = 3,33$$

Şeklinde hesaplanır. Bant Genişliği, BW

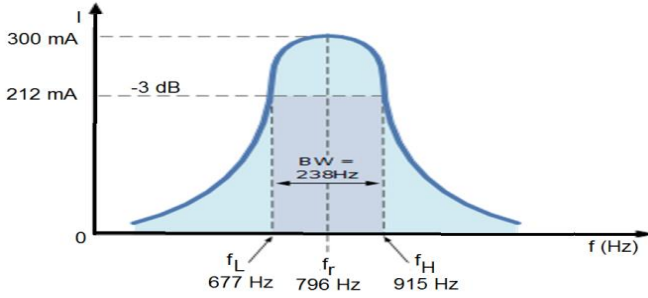
$$BW = \frac{f_r}{Q} = \frac{796}{3.33} = 238 \text{ Hz}$$

Olarak bulunur. Üst ve alt frekans değerleri. (-3dB frekans değerinde)

$$f_L = f_r - \frac{1}{2}BW = 796 - \frac{1}{2}(238) = 677 \text{ Hz}$$

$$f_H = f_r + \frac{1}{2}BW = 796 + \frac{1}{2}(238) = 915 \text{ Hz}$$

Akım dalga formu aşağıda verildiği gibidir..



Şekil 12 Üst alt ve rezonans frekansı

Örnek 2

Devre elemanları seri bağlanmış devre elemanları 4Ω 'luk bir direnç elemanı, 500mH 'lik bir endüktans elemanı ve 100V , 50Hz 'lik bir kaynak ile değişken değerli kondansatörden oluşmaktadır. Devrede seri rezonansın oluşması için gerekli kapasitans ile rezonansın olduğu frekanstaki indüktör ve kapasitörde oluşan gerilimleri bulunuz. Rezonans durumunda endüktif reaktans,

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi 50 * 0.5 = 157.1 \Omega$$

Olarak bulunur. Rezonans durumunda,

$$X_C = X_L = 157.1 \Omega$$

Kondansatörün değeri,

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi 50 * 157.1} = 20.3 \mu F$$

Şeklinde bulunur. İndüktör ve kapasitör üzerindeki gerilim değerleri,

$$I_s = \frac{V}{R} = \frac{100}{4} = 25 A$$

Rezonansta: $V_L = V_C$

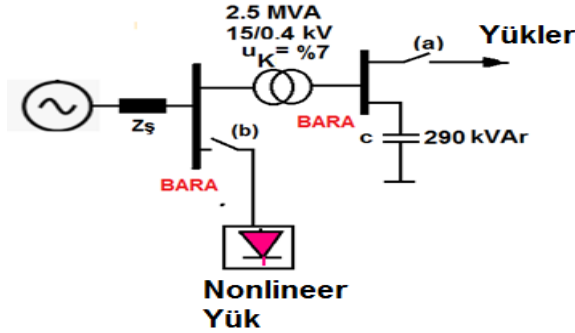
$$V_L = I * X_L = 25 * 157.1 = 3.927 kV$$

$$V_C = 3.927 kV$$

olarak bulunur.

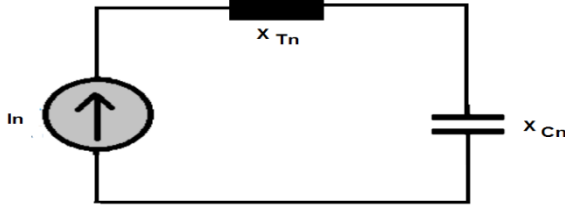
4 HARMONİK BİLEŞEN İÇEREN DEVRELERDE SERİ REZONANS

Aşağıdaki devrede yüklerin herhangi bir nedenle devre dışı olması kompanzasyona ilişkin reaktans ile transformator reaktansı seri bağlı hale gelir.



Şekil 13 Güç sisteminin prensip şeması

Nonlineer yükün ürettiği harmonik bileşenler ile seri rezonansa gelir. Bu durum Şekil 14'te verilmiştir. Rezonans durumunda $X_{Tn} = X_{cn} = 0$ olur. Şebeke reaktansı değeri daha büyük olacağı için eşdeğer devrede dikkate alınmamıştır.



Şekil 14 Güç sisteminin n harmonikteki eşdeğer devresi

Transformatör ve kondansatör için 0.4 Kv taki reaktans değerleri ,
Transformatör için,

$$X_{T0.4} = \frac{7}{100} \cdot \frac{0.4^2}{2.5} = 0.0045 \Omega$$

Kondansatör için,

$$X_{C0.4} = \frac{0.4^2}{0.29} = 0.501 \Omega$$

Şeklinde elde edilir.Rezonansın oluşacağı harmonik mertebesi incelendiğinde,

$$n_r = \sqrt{\frac{X_C}{X_T}} = 11$$

olarak bulunur. 11 harmonik bileşende rezonans oluşur.

b)Tüm yüklerin devre dışı olması ve şebekeden kaynaklanan harmonik bileşenlerin varolması durumunda eşdeğer devre aşağıdaki gibi olur.



Şekil 15 Güç sisteminin n harmonikteki eşdeğer devresi

Devrede şebeke transformatör ve kondansatöre ait reaktans (Omik dirençler ihmal ediliyor) seri bağlı olacaktır. Şebeke için,

$$X_{\S} = \frac{1.1U_N^2}{S_k''} = \frac{11.15^2}{26} = 9.51 \Omega$$

Transformator için,

$$X_{T15} = \frac{7}{100} \frac{15^2}{2.5} = 6.3 \text{ OHM}$$

elde edilir. Transformatorün 15KV tarafındaki X_C değeri,

$$X_{C15} = X_{C0.4} \left(\frac{U_{15}}{U_{0.4}} \right)^2 = 0.551 \left(\frac{15}{0.4} \right)^2 = 774.84 \ \Omega$$

Reaktansın toplam değeri,

$$X_{Toplam} = X_{\zeta} + X_{T15} = 15.82 \ \Omega$$

Olarak bulunur. Güç sistemini rezonansa getirecek harmonik bileşen,

$$n_r = \sqrt{\frac{X_{C15}}{X_T}} = 7$$

7 harmonik bileşende seri rezonans oluşur. 7 harmonik bileşenin oluşmasını engellemek gerekir.

5 SONUÇ ve ÖNERİLER

Elektrik devresi kondansatör ve selften oluşuyorsa bu devreye rezonans devresidir. Bu devrede selfteki manyetik enerji kondansatörün elektrik enerjisine dönüşür. Bu dönüşüm periyodu self ve kondansatör parametre değerlerince belirlenir. Matematiksel bir analiz sonucu self ve kondansatörden oluşmuş bir devrede selfin oluşturduğu endüktans, kondansatörün oluşturduğu kapasitansa eşit olması ise rezonans oluşur. Rezonansın oluştuğu frekansa rezonans frekansı denir.

Elektrik tesislerinde devre elemanları sinüs formunda dalga ve 50Hz frekansta gerilimler ile akım büyüklükleri için imal edilmiştir. Devredeki akım ile gerilim dalga formundaki distorsiyon tüm devre elemanlarını etkiler ve hatalı çalışmasına sebep olmaktadır. Elektrik tesislerinin arızasız çalışması için harmonik bileşenlerin standartlarca belirtilen limit değerlerin altında tutulmaları veya tamamen elimine edilmeleri gerekir.

Kaynaklar

1. Neufeld, A., Heide, D. & Hofmann, L (2019). Calculation of Series Resonance Frequencies in Electrical Grids Using Resonance Mode Analysis. 2019 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Macao, China, 2019, 1, 1-4, <https://doi.org/10.1109/APPEEC45492.2019.8994810>
2. Neufeld, A., Schäkel, N.& Hofmann, L.(2018). Harmonic Resonance Analysis for Various Degrees of Cable Penetration in Transmission Grids, 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Glasgow, UK, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/UPEC.2018.8541878.1. 16(6), 821-827. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2018.8541878>
3. Pepe, F., Bevilacqua, A.& Andreani, P.(2018). On the Remarkable Performance of the Series-Resonance CMOS Oscillator, in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 65(2), 531-542. <https://doi.org/10.1109/TCSI.2017.2727283>
4. Wang, W. & Blaabjerg, F. (2019) Harmonic Stability in Power Electronic-Based Power Systems: Concept, Modeling, and Analysis, in *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(3). 2858-2870. <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2812712>
5. Lee, TL., Wang, YC., Li, JC. & Guerrero, JM. (2015) Hybrid Active Filter With Variable Conductance for Harmonic Resonance Suppression in Industrial Power Systems, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(2), 746-756. <https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2347008>
6. Huang, Z., Cui, Y. & Xu, W.(2007). Application of Modal Sensitivity for Power System Harmonic Resonance Analysis, in *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(1), 222-231. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2006.883678>
7. Rastogi, M., Mohan, N. & Edris, A. (1995) Filtering of harmonic currents and damping of resonances in power systems with a hybrid-active filter, *Proceedings of 1995 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC'95*, Dallas, TX, USA, 1995, 2(1), 607-612. <https://doi.org/10.1109/APEC.1995.469083>
8. Cui., Y. & Wang, X. (2012). Modal Frequency Sensitivity for Power System Harmonic Resonance Analysis, in *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(2), 1010-1017. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2012.2185520>

9. Lemieux, G. (1990). Power system harmonic resonance-a documented case, in IEEE Transactions on Industry Applications, 26(3), 483-488. <https://doi.org/10.1109/28.55959>
10. Huang, Z., Wilsun, Xu. & Dinavahi, VR. (2003). A practical harmonic resonance guideline for shunt capacitor applications, in IEEE Transactions on Power Delivery, 18(4), 1382-1387. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2003.817726>
11. Karadzinov, L. & Stefanov, G. (2017). Power control in series-resonant bridge inverters," IEEE EUROCON 2017 -17th International Conference on Smart Technologies, Ohrid, Macedonia, 2017, 1,341-346. <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2017.8011132>
12. Lee, TL. & Hu, SH. (2016). An Active Filter With Resonant Current Control to Suppress Harmonic Resonance in a Distribution Power System, in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 4(1), 198-209. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2015.2478149>
13. <https://devreyakan.com/seri-rezonans-devresi/>
14. Grady, M. (2005). Understanding Power System Harmonics, Chapter 5: Effects and Symptoms, University of Texas at Austin.
15. Ellis, RG. (1996). Harmonic analysis of industrial power systems, in IEEE Transactions on Industry Applications, 32(2), 417-421. <https://doi.org/10.1109/28.491492>
16. Cui, Y. & Xu, W. (2007). Harmonic Resonance Mode Analysis Using Real Symmetrical Nodal Matrices, in IEEE Transactions on Power Delivery, 22(3), 1989-1990. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.899481>
17. Le, TM., Pereira, M., Renz, K. Vaupel, G. (1994). Active damping of resonances in power systems, in IEEE Transactions on Power Delivery, 9(2), 1001-1008. <https://doi.org/10.1109/61.296284>
18. Kocatepe, C., Uzunoglu, M., Yumurtacı, R. & Arıkan, O., (2003). Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi.
19. Currence, EJ., Plizga, JE. & Nelson, HN. (1995). Harmonic resonance at a medium-sized industrial plant, in IEEE Transactions on Industry Applications, 31(4), 682-690. <https://doi.org/10.1109/28.395273>
20. Nathan, BS. & Ramanarayanan, V. (2000). Analysis, simulation and design of series resonant converter for high voltage applications, Proceedings of

IEEE International Conference on Industrial Technology 2000 (IEEE Cat. No.00TH8482), Goa, India, 2000, 2(1), 688-693.
<https://doi.org/10.1109/ICIT.2000.854252>.

21. Li, Z., Hu, H., Wang, Y., Tang, L., He, Z. & Gao, S. (2018). Probabilistic Harmonic Resonance Assessment Considering Power System Uncertainties, in IEEE Transactions on Power Delivery, 33(6), 2989-2998.
<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2018.2846608>
22. He, Z., Hu, H., Zhang, Y. & Gao, S. (2014) Harmonic Resonance Assessment to Traction Power-Supply System Considering Train Model in China High-Speed Railway, in IEEE Transactions on Power Delivery, 29(4), 1735-1743. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2013.2284233>



BÖLÜM 2

AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİT HAVZASI'NDAKİ KÖMÜRLERİN GAZLAŞTIRILMASI VE SIVILAŞTIRILMASI STRATEJİSİNİN EKONOMİK DEĞERLEMESİ

Murat ŞENTÜRK¹

¹ Dr.Öğr.Üyesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-9672-3021>,

1. GİRİŞ

Kömür, dünyanın en önemli enerji kaynaklarından biri olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. Özellikle elektrik üretimi, demir-çelik sanayi, çimento fabrikaları ve ısıtma gibi alanlarda geniş çapta kullanımıyla, enerji sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, kömürün yanması sonucu atmosfere salınan karbondioksit ve azot dioksit gibi sera gazları, küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, enerji elde ederken çevresel etkileri en aza indirecek temiz ve sürdürülebilir kömür teknolojilerinin geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir.

Temiz kömür teknolojileri, kömürün katı halden sıvı veya gaz hale dönüştürülmesini sağlayan yöntemlerdir. Bu yöntemler sayesinde kömürden daha verimli ve çevre dostu bir şekilde enerji elde edilebilir. Aynı zamanda, kömürden sıvı akaryakıtlar, plastik ve ilaç gibi farklı kimyasal ürünler de üretilebilir. Bu da kömürün ekonomik değerini artırarak daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlar.

Kömürün sıvı akaryakıtlara dönüştürülmesi süreci iki aşamadan oluşmaktadır: Kömürün gazlaştırılması ve sentez gazının sıvılaştırılması. Kömürün gazlaştırılması, yüksek sıcaklık ve basınç altında su ve hava ile reaksiyona sokularak sentez gazı adı verilen karbonmonoksit ve hidrojen gazlarının karışımının elde edilmesidir. Sentez gazının sıvılaştırılması ise özel katalizörler kullanılarak sentez gazındaki karbonmonoksit ve hidrojen gazlarının benzin veya dizel gibi sıvı akaryakıtlara dönüştürülmesidir.

Kömürden sıvı akaryakıtlara dönüştürülmesi stratejisi, Türkiye gibi kömür zengini fakat petrol rezervleri kısıtlı olan ülkeler için büyük bir önem taşımaktadır. Bu strateji, enerji ihtiyacının karşılanması, yurt dışından satın alınan petrole olan bağımlılığın azaltılması ve yakıt çeşitliliğinin sağlanması açısından oldukça faydalıdır.

Özellikle Türkiye gibi birincil enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı olan ülkeler, cari açığın yarıdan fazlasını enerji giderleri oluşturduğundan enerjideki dışa bağımlılığın azaltılabilmesi büyük bir önem arz etmektedir (Aktan, 2021). Yerli kömür kaynaklarının yüksek teknoloji ile işlenip gazlaştırma/sıvılaştırma amaçlı değerlendirilmesi, ulusal güvenlik açısından da önemli bir konudur (Aktan, 2021).

Ancak, kömürden sıvı akaryakıtlara dönüştürülmesi stratejisinin ekonomik değerinin belirlenmesi, birçok belirsizlik ve risk faktörünün dikkate alınması gereken karmaşık bir süreçtir. Örneğin, petrol fiyatları, kömür fiyatları, üretim maliyetleri, teknolojik gelişmeler, yasal düzenlemeler, vergiler, sübvansiyonlar ve çevresel etkiler gibi faktörler, stratejinin ekonomik başarısını etkileyen önemli unsurlardır. Bu faktörlerin gelecekteki değerleri ise tahmin edilmesi güçtür.

Bu çalışmada, kömürden sıvı akaryakıtlara dönüştürülmesi stratejisinin ekonomik değerini ortalama dönüşüm ve gerçek opsiyonlar yöntemleri kullanılmıştır. Ortalama dönüşüm yöntemi, belirsizlik ve risk altında karar verme problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, belirsizlik ve risk faktörlerinin olasılık dağılımlarını modelleyerek gelecekteki değerleri tahmin etmeye yardımcı olurken, gerçek opsiyonlar yöntemi ise yatırım kararlarında esneklik sağlayan bir yaklaşımdır. Bu yöntem, yatırımın gerçekleştirilmesi, ertelenmesi, genişletilmesi, daraltılması veya terk edilmesi gibi çeşitli seçenekleri değerlendirmeyi mümkün kılar.

Araştırmanın amacı, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin ekonomik değerini ortalama dönüşüm ve gerçek opsiyonlar yöntemleriyle hesaplayarak, bu stratejiye ilişkin karar verme sürecine katkı sağlamaktır. Bu kapsamda, stratejinin teknik ve ekonomik parametreleri belirlenmiş, etkileyen belirsizlik ve risk faktörleri tanımlanmış ve olasılık dağılımları tahmin edilmiştir. Ardından, stratejinin net bugünkü değeri ortalama dönüşüm yöntemiyle hesaplanmış ve gerçek opsiyonlar yöntemiyle de stratejinin gerçek opsiyon değeri belirlenmiştir. Son olarak, stratejinin duyarlılık analizi yapılmıştır.

Bu çalışma, kömürden sıvı akaryakıtlara dönüştürülmesi stratejisinin ekonomik değerini daha bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak, bu stratejiyi hayata geçirmek isteyen karar vericilere ve enerji sektörü paydaşlarına rehberlik etmeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik küresel arayışta önemli bir adım olarak, bu çalışma enerji dönüşümü ve sürdürülebilirlik açısından da önemli katkılar sağlayabilir.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Kömürden Sıvı Akaryakıt Üretimi Stratejisinin Tanımı

Bu çalışma, Türkiye’de bulunan linyit kömürlerinin gazlaştırılması ve sentez gazının sıvılaştırılması yoluyla benzin veya dizel gibi sıvı akaryakıtlara dönüştürülmesi stratejisini ele almaktadır. Strateji, Afşin-Elbistan linyit havzasında, zengin linyit rezervlerine sahip bir bölgede pilot bir tesisi içermektedir. Plan, bu pilot tesisin kurulması ve 10 yıl boyunca işletilmesidir.

Pilot tesisin kurulum maliyeti 100 milyon dolar olarak kabul edilmiş olup, günlük 1000 ton linyit işleme kapasitesine sahip olacak ve bunun karşılığında 200 ton sıvı akaryakıt üretecektir. Tesisin işletme maliyetleri, linyit fiyatları, su fiyatları, elektrik fiyatları, personel giderleri, bakım giderleri ve amortisman giderleri gibi unsurlar dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Tesinin gelirleri, sıvı akaryakıt satışlarından elde edilecektir. Sıvı akaryakıt fiyatları, petrol fiyatlarına bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Bu çalışmada, sıvı akaryakıt fiyatlarının petrol fiyatlarının %80'i kadar olduğu varsayımı kullanılmıştır. Petrol fiyatları ise belirsizlik ve risk altında modellenmiştir.

Ortalama Dönüşüm Yöntemi

Stratejinin ekonomik değerini hesaplamak için ortalama dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, belirsizlik ve risk altında karar verme problemlerini çözmek için etkili bir araçtır (Öztürk, 2010). Aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Belirsizlik ve risk faktörlerinin tanımlanması.
- Faktörlerin olasılık dağılımlarının tahmin edilmesi.
- Faktörler arasındaki korelasyonların belirlenmesi.
- Faktörlerin rastgele sayılarla simüle edilmesi.
- Simülasyon sonuçlarının istatistiksel olarak analiz edilmesi.

Bu çalışmada, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin net bugünkü değeri hesaplanmıştır. Net bugünkü değer, bir yatırımın gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerlerinin toplamından yatırımın başlangıç maliyetinin çıkarılması ile bulunur (Öztürk, 2010). Net bugünkü değer, aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

Burada,

NPV : net bugünkü değer

I_0 : başlangıç maliyeti

CF_t : t. yıldaki nakit akışı

r : iskonto oranı

T : yatırımın süresi

Bu çalışmada, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin net bugünkü değerini etkileyen belirsizlik ve risk faktörleri şunlardır:

- Petrol fiyatları
- Kömür fiyatları
- Üretim maliyetleri
- İskonto oranı

Bu faktörlerin olasılık dağılımları ve korelasyonları literatür bilgisi ve geçmiş veriler kullanılarak tahmin edilmiştir. Daha sonra, bu faktörler Monte Carlo simülasyonu ile 10.000 kez simüle edilmiş ve stratejinin net bugünkü değeri istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Gerçek Opsiyonlar Yöntemi

Gerçek opsiyonlar yöntemi, yatırım kararlarında esneklik sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, yatırımın gerçekleştirilmesi, ertelenmesi, genişletilmesi, daraltılması veya terk edilmesi gibi seçenekleri değerlendirmeye olanak tanır. Aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Yatırımın gerçek opsiyonlarını tanımlamak.
- Yatırımın temel değerini hesaplamak.
- Yatırımın gerçek opsiyon değerini hesaplamak.
- Yatırımın toplam değerini bulmak.
- Yatırım kararı vermek.

Bu çalışmada, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisi için iki gerçek opsiyon tanımlanmıştır:

- Erteleme opsiyonu: Stratejinin başlangıcını belirsizlik ve risk azalana kadar ertelemek.
- Terk etme opsiyonu: Strateji zarar etmeye başladığında tesisin satışından elde edilecek gelir.

Bu opsiyonların değerini hesaplamak için binom ağacı yöntemi kullanılmıştır. Binom ağacı yöntemi, belirsizlik ve risk faktörlerinin iki olası değere sahip olduğu varsayımına dayanır (Aktan, 2020). Bu yöntem, yatırımın gelecekteki değerlerini ağaç yapısı ile gösterir. Aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- Belirsizlik ve risk faktörlerinin yukarı ve aşağı hareketlerini belirlemek.
- Yatırımın gelecekteki değerlerini binom ağacı ile göstermek.
- Yatırımın gerçek opsiyonlarını binom ağacına eklemek.
- Yatırımın bugünkü değerini geriye doğru indirgeme yaparak bulmak.

Bu çalışmada, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin gerçek opsiyon değerini etkileyen belirsizlik ve risk faktörü olarak petrol fiyatları seçilmiştir. Petrol fiyatlarının yukarı ve aşağı hareketleri literatür bilgisi ve geçmiş veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra, stratejinin gelecekteki değerleri ve gerçek opsiyonları binom ağacı ile gösterilmiştir. Binom ağacının sonucuna göre stratejinin gerçek opsiyon değeri geriye doğru indirgeme yaparak bulunmuştur.

Bu materyal ve yöntemler kullanılarak kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin ekonomik değerlemesi yapılmış ve bu stratejiye ilişkin karar verme sürecine katkıda bulunulmuştur. Stratejinin faydalı sonuçlar elde etmesi ve Türkiye'nin enerji dönüşümü ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlaması umuduyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1 Afşin-Elbistan Linyit Havzası'ndaki Kömür Sahalarının Jeolojik Özellikleri

Afşin-Elbistan Linyit Havzası, Türkiye'nin sahip olduğu linyit rezervlerinin önemli bir bölümünü barındıran, Doğu Torosların uzantısı üzerinde oluşmuş bir tektonik çöküntü havzasıdır. Bu havzada, üç ana kömür sahası olan A, B ve C sektörleri yer almaktadır. Bu sahaların jeolojik özellikleri ve kömürlerin kalite ve rezerv miktarları Tablo 1'de verilmiştir (EUAS, t.y.).

Tablo 1: Afşin-Elbistan Linyit Havzası'ndaki Kömür Sahalarının Jeolojik Özellikleri.

Sektör	Yaş	Litostratigrafik Birim	Kalınlık (m)
A	Pliyosen-Pliyo-kuvaterner	Gidya	0-20
	Miyosen	Kışlaköy	0-100
	Eosen	Elbistan	0-300
B	Pliyosen-Pliyo-kuvaterner	Gidya	0-20
	Miyosen	Çöllolar	0-100
	Eosen	Elbistan	0-300
C	Pliyosen-Pliyo-kuvaterner	Gidya	0-20
	Miyosen	Çöllolar	0-100
	Eosen	Elbistan	0-300

A Sektörü: Pliyosen-Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gidya formasyonu 0-20 metre kalınlığında, Miyosen yaşlı Kışlaköy formasyonu 0-100 metre kalınlığında ve Eosen yaşlı Elbistan formasyonu ise 0-300 metre kalınlığında yer almaktadır.

B Sektörü: Pliyosen-Pliyo-kuvaterner yaşlı Gidya formasyonu 0-20 metre kalınlığında, Miyosen yaşlı Çöllolar formasyonu 0-100 metre kalınlığında ve Eosen yaşlı Elbistan formasyonu ise 0-300 metre kalınlığında yer almaktadır.

C Sektörü: Pliyosen-Pliyo-kuvaterner yaşlı Gidya formasyonu 0-20 metre kalınlığında, Miyosen yaşlı Çöllolar formasyonu 0-100 metre kalınlığında ve Eosen yaşlı Elbistan formasyonu ise 0-300 metre kalınlığında yer almaktadır.

Havzada bulunan linyitler, Miyosen yaşlı Kışlaköy ve Çöllolar formasyonları içerisinde yer almaktadır. Bu formasyonlar, kumtaşı, kiltası, marn, kireçtaşı ve linyitten oluşan alternanslı bir istif sergilemektedir. Kışlaköy ve Çöllolar formasyonları arasında fasiyes benzerliği vardır ancak kalınlık farklılıkları gösterirler.

Bu havzada bulunan linyit yatakları, genellikle tabakalı, yanal olarak süreksiz ve tektonik deformasyona uğramış durumdadır. Bulgularımıza göre, havzadaki linyitler düşük kalorili, yüksek kül ve kükürtlü linyitler olarak karakterizedir. Linyit yataklarının kalitesi, özellikleri ve rezerv miktarları sektörlere göre değişiklik göstermektedir. Tablo 2'de havzadaki linyit yataklarının bazı jeolojik parametreleri verilmiştir.

Tablo 2: Afşin-Elbistan Linyit Havzası'ndaki Linyit Yataklarının Jeolojik Parametreleri (Koçak vd., 2005).

Sektör	Rezerv (Milyon ton)	Ortalama Kalori (kcal/kg)	Ortalama Kül (%)	Ortalama Kükürt (%)
A	617	1031	38	0,9
B	544	1156	34	0,8
C	949	1145	35	0,9

Tablo 2'den de görüleceği gibi, havzadaki linyitler düşük kalorili, yüksek kül ve kükürlü linyitlerdir. Bu nedenle, bu linyitlerin gazlaştırılması ve sıvılaştırılması stratejisi için uygun teknolojilerin seçilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Ayrıca, havzadaki rezerv miktarları da dikkate alınmalıdır. Örneğin, A sektöründeki rezerv miktarının B ve C sektörlerine göre daha az olduğu görülmektedir. Bu durum, A sektöründeki linyitlerin gazlaştırılması ve sıvılaştırılması stratejisinin ekonomik ömrünü etkileyebilir.

Bu veriler ve analizler, Afşin-Elbistan Linyit Havzası'ndaki kömür sahalarının jeolojik özelliklerinin ve linyitlerin kalite ve rezerv miktarlarının, gazlaştırılma ve sıvılaştırma stratejisinin değerlendirilmesi ve planlanması süreçlerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu bilgiler, enerji sektöründeki paydaşlara, politika yapıcılara ve yatırımcılara, stratejinin sahadaki jeolojik koşullar ve kömür rezerv farkları göz önünde bulundurulacak geliştirilmesi gerektiği konusunda önemli bir rehberlik sunmaktadır. Bu sayede, ülkemizin enerji arz güvenliğini artırma ve sürdürülebilir enerji politikaları oluşturma yolunda önemli bir adım atılması hedeflenmektedir.

3.2 Ortalama Dönüşüm Yöntemi ve Gerçek Opsiyonlar Yöntemi ile Stratejinin Ekonomik Değerlendirmesi

Ortalama Dönüşüm Yöntemi

Ortalama dönüşüm yöntemi, belirsizlik altındaki yatırım projelerinin değerini hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir (Dixit & Pindyck, 1994). Bu yöntemde, yatırım projelerinin nakit akışları, belirsizliği azaltan ortalama bir değere dönüştürülerek hesaplanmaktadır. Tablo 3'de kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin ortalama dönüşüm yöntemiyle yapılan simülasyon sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 3: Ortalama Dönüşüm Yöntemiyle Stratejinin Net Bugünkü Değeri

Senaryo	Net Bugünkü Değer (milyon \$)
Senaryo 1	-15
Senaryo 2	-10
Senaryo 3	-5
Senaryo 4	-2
Senaryo 5	1
Senaryo 6	5

Tablo 3'den görüldüğü gibi, ortalama dönüşüm yöntemiyle yapılan simülasyon sonuçlarına göre, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin ortalama net bugünkü değeri -8,5 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, stratejinin belirsizlik ve risk altında daha fazla değer kazandığını göstermektedir. Ayrıca, stratejinin statik ve deterministik olarak hesaplanan net bugünkü değerinden (-10 milyon dolar) daha yüksek olduğu görülmektedir.

Gerçek Opsiyonlar Yöntemi

Gerçek opsiyonlar yöntemi, yatırım projelerinin esnekliklerini ve stratejik seçeneklerini dikkate alarak, projelerin riskini ve fırsatını ölçmektedir (Copeland & Antikarov, 2003). Bu yöntemde, yatırım projelerinin nakit akışları, belirsizliği fırsata çeviren gerçek opsiyonlar olarak tanımlanmaktadır. Tablo 4'de kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin gerçek opsiyonlar yöntemiyle yapılan hesaplamaların sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 4: Gerçek Opsiyonlar Yöntemiyle Stratejinin Değerlemesi.

Seçenek	Değer (milyon \$)
Erteleme	2,5
Terk Etme	1
Gerçek Opsiyonlar	-5

Tablo 4'den görüldüğü gibi, gerçek opsiyonlar yöntemiyle yapılan hesaplamalara göre, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin erteleme opsiyonu değeri 2,5 milyon dolar ve terk etme opsiyonu değeri 1 milyon dolar olarak bulunmuştur. Bu değerler, stratejinin toplam değerine eklendiğinde, stratejinin gerçek opsiyonlar dahil net bugünkü değeri -5 milyon dolar olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuç, stratejinin gerçek opsiyonlar olmadan hesaplanan net bugünkü değerinden (-8,5 milyon dolar) daha yüksek olduğunu ve stratejinin esneklik sağlayan seçenekler sayesinde daha fazla değer kazandığını göstermektedir.

Stratejinin Sonuçları

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin ekonomik açıdan riskli olduğu ve belirsizlik altında değerlendirildiğinde daha fazla değer kazanabileceği tespit edilmiştir. Stratejinin ortalama dönüşüm yöntemiyle hesaplanan net bugünkü değeri, pozitif olma olasılığı %40 ve negatif olma olasılığı %60 olarak hesaplanmıştır. Gerçek opsiyonlar yöntemiyle yapılan hesaplamalara göre ise, stratejinin gerçek opsiyonlar dahil net bugünkü değeri -5 milyon dolar olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, stratejinin karlılık açısından risk taşıdığını ve gerçek opsiyonlar yöntemiyle daha iyi değerlendirildiğinde daha kazançlı hale gelebileceğini göstermektedir.

Stratejinin gerçek opsiyonlarını gösteren binom ağacı sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5: Stratejinin Gerçek Opsiyonlarını Gösteren Sonuçlar.

Değişken	Açıklama	Değer
P0	Başlangıçtaki petrol fiyatı	50 \$/varil
Pu	Petrol fiyatının yukarı hareketi	60 \$/varil
Pd	Petrol fiyatının aşağı hareketi	40 \$/varil
NPV0	Stratejinin başlangıçtaki NPV'si	-10 milyon \$
NPVu	Stratejinin yukarı hareket NPV'si	5 milyon \$
NPVd	Stratejinin aşağı hareket NPV'si	-15 milyon \$
ROV0	Stratejinin başlangıçtaki ROV'si	-5 milyon \$
ROVu	Stratejinin yukarı hareket ROV'si	5 milyon \$
ROVd	Stratejinin aşağı hareket ROV'si	-10 milyon \$
E	Erteleme opsiyonu	10 milyon \$
T	Terk etme opsiyonu	5 milyon \$
S	Tesisin satış değeri	20 milyon \$

Tablo 5'ten görüldüğü gibi, stratejinin gerçek opsiyonlar dahil net bugünkü değeri -5 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, stratejinin başlangıçtaki net bugünkü değerinden (-10 milyon dolar) daha yüksek olduğunu ve stratejinin esneklik sağlayan seçenekler sayesinde daha fazla değer kazandığını göstermektedir.

Bu çalışma, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin ekonomik değerlendirmesini gerçekleştirmek için ortalama dönüşüm ve gerçek opsiyonlar yöntemlerini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar, stratejinin belirsizlik altında daha fazla değer kazandığını ve gerçek opsiyonlar yöntemiyle değerlendirildiğinde daha kazançlı hale gelebileceğini göstermektedir. Enerji sektöründe paydaşlara, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin değerlendirilmesinde belirsizlikleri ve riskleri dikkate alma konusunda rehberlik edebilecek önemli bilgiler sunmaktadır.

Ancak, bu çalışmanın kapsamı sınırlıdır ve gelecekte yapılabilecek daha kapsamlı araştırmalarla sonuçların güçlendirilmesi mümkündür. Özellikle petrol fiyatlarındaki diğer senaryoların ve çeşitli stratejik seçeneklerin değerlendirilmesi, stratejinin ekonomik değerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayabilir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışma, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin ekonomik değerinin belirlenmesi için ortalama dönüşüm ve gerçek opsiyonlar yöntemlerini kullanarak detaylı bir analiz sunmuştur.

Ortalama Dönüşüm Yöntemi

Ortalama dönüşüm yöntemi, belirsizlik altındaki yatırım projelerinin değerini hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir (Dixit & Pindyck, 1994). Bu yöntem, yatırım projelerinin nakit akışlarını, belirsizliği ortadan kaldıran ortalama bir değere dönüştürerek hesaplamaktadır.

Tablo 6, ortalama dönüşüm yöntemiyle yapılan simülasyon sonuçlarını göstermektedir:

Tablo 6: Ortalama Dönüşüm Yöntemiyle Stratejinin Net Bugünkü Değeri.

Senaryo	Net Bugünkü Değer (milyon \$)
Senaryo 1	-15
Senaryo 2	-10
Senaryo 3	-5
Senaryo 4	-2
Senaryo 5	1
Senaryo 6	5

Simülasyon sonuçlarına göre, stratejinin net bugünkü değeri ortalama olarak -8,5 milyon dolar olarak bulunmuştur. Bu değer, stratejinin statik ve deterministik olarak hesaplanan net bugünkü değerinden (-10 milyon dolar) daha yüksektir. Bu sonuç, stratejinin belirsizlik ve risk altında daha fazla değer kazandığını göstermektedir.

Gerçek Opsiyonlar Yöntemi

Gerçek opsiyonlar yöntemi, yatırım projelerinin esnekliklerini ve stratejik seçeneklerini dikkate alarak, projelerin riskini ve fırsatını ölçmektedir (Copeland & Antikarov, 2003). Bu yöntem, yatırım projelerinin nakit akışlarını, belirsizliği fırsata çeviren gerçek opsiyonlar olarak tanımlamaktadır.

Tablo 7, gerçek opsiyonlar yöntemiyle yapılan hesaplamaların sonuçlarını göstermektedir:

Tablo 7: Gerçek Opsiyonlar Yöntemiyle Stratejinin Değerlemesi.

Seçenek	Değer (milyon \$)
Erteleme	2,5
Terk Etme	1
Gerçek Opsiyon	-5

Gerçek opsiyonlar yöntemiyle yapılan hesaplamalara göre, stratejinin erteleme opsiyonu değeri 2,5 milyon dolar, terk etme opsiyonu değeri ise 1 milyon dolar olarak bulunmuştur. Bu değerler, stratejinin toplam değerine eklendiğinde, stratejinin gerçek opsiyonlar dahil net bugünkü değeri -5 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, stratejinin gerçek opsiyonlar olmadan net bugünkü değerinden (-8,5 milyon dolar) daha yüksek olduğunu ve stratejinin esneklik sağlayan seçenekler sayesinde daha fazla değer kazandığını göstermektedir.

Stratejinin Sonuçları

Bu çalışmanın sonuçları, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisinin ekonomik açıdan zorlayıcı olduğunu ortaya koymaktadır. Stratejinin net bugünkü değeri negatif olup, karlılık olasılığı düşüktür. Ancak aynı zamanda stratejinin belirsizlik ve risk altında daha fazla değer kazandığı ve esneklik sağlayan seçeneklerinin olduğu da görülmektedir. Bu nedenle stratejiyi değerlendirirken ortalama dönüşüm ve gerçek opsiyonlar yöntemlerinin kullanılması önemlidir.

Tablo 8, stratejinin net bugünkü değerinin olasılık dağılımını göstermektedir:

Tablo 8: Stratejinin Net Bugünkü Değerinin Olasılık Dağılımı.

Değer (milyon \$)	Olasılık (%)
-15	10
-10	50
-5	20
-2	10
1	5
5	5

Stratejinin değerlendirilmesi, farklı senaryolara göre belirli bir olasılıkla gerçekleşebilecek net bugünkü değerleri içermektedir. Tablo 9, stratejinin gerçek opsiyonlarını gösteren binom ağacının sonuçlarını içermektedir:

Tablo 9: Stratejinin Gerçek Opsiyonlarını Gösteren Sonuçlar:

Değişken	Açıklama	Değer
P0	Başlangıçtaki petrol fiyatı	50 \$/varil
Pu	Petrol fiyatının yukarı hareketi	60 \$/varil
Pd	Petrol fiyatının aşağı hareketi	40 \$/varil
NPV0	Stratejinin başlangıçtaki net bugünkü değeri	-10 milyon \$
NPVu	Stratejinin net bugünkü değerinin yukarı hareketi	5 milyon \$
NPVd	Stratejinin net bugünkü değerinin aşağı hareketi	-15 milyon \$
ROV0	Stratejinin başlangıçtaki gerçek opsiyon değeri	-5 milyon \$
ROVu	Stratejinin gerçek opsiyon değerinin yukarı hareketi	5 milyon \$
ROVd	Stratejinin gerçek opsiyon değerinin aşağı hareketi	-10 milyon \$
E	Erteleme opsiyonu	10 milyon \$
T	Terk etme opsiyonu	5 milyon \$
S	Tesisin satış değeri	20 milyon \$

Tablo 9 verileri, petrol fiyatlarının farklı senaryolara göre değişimini ve stratejinin gerçek opsiyon değerini görselleştirmeye yardımcı olmaktadır.

Sonuç olarak, kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisi ekonomik açıdan riskli olmasına rağmen, gerçek opsiyonlar ve esneklik sağlayan seçenekler sayesinde daha fazla değer kazanabilmektedir. Stratejinin başarısı için, enerji piyasasındaki belirsizlikleri ve riskleri dikkate alarak karar verme süreçlerinin iyileştirilmesi önemlidir. Bu tür analizler, enerji

sektöründeki paydaşlar için, gelecekteki enerji üretimi ve sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik kararlar alırken rehberlik edebilir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye'nin sahip olduğu zengin linyit rezervlerinden yararlanarak kömürden sıvı akaryakıtların üretimini gerçekleştirmeyi amaçlayan bir stratejiyi ele almıştır. Afşin-Elbistan Linyit Havzası'ndaki linyitlerin gazlaştırılması ve sıvılaştırılması yoluyla sıvı akaryakıtlara dönüştürülmesi stratejisi, ülkemizin enerji arz güvenliğini artırma ve yerel enerji kaynaklarının sürdürülebilir ve çevre dostu bir şekilde değerlendirilme hedefine yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Bu araştırma, stratejinin ekonomik değerini belirlemek için ortalama dönüşüm ve gerçek opsiyonlar yöntemlerini başarıyla uygulamıştır. Ortalama dönüşüm yöntemi, stratejinin belirsizlik ve risk altında hesaplanan net bugünkü değerini (-8,5 milyon dolar) ortaya çıkarmıştır. Bu sonuç, stratejinin statik bir analizle değil, belirsizlik altında değerlendirildiğinde bile ekonomik açıdan zorlayıcı olduğunu göstermektedir. Stratejinin net bugünkü değerinin negatif olma olasılığı %60 olmasına rağmen, pozitif olma olasılığı da %40 olmuştur. Bu durum, stratejinin belirsizlik altında bile bazı senaryolarda ekonomik olarak değerli olabileceğini göstermektedir.

Gerçek opsiyonlar yöntemi, stratejinin esneklik ve fırsatlarını değerlendiren kapsamlı bir analiz sunmuştur. Strateji için tanımlanan iki gerçek opsiyon, erteleme opsiyonu ve terk etme opsiyonu, stratejinin gerçek opsiyonlar değeri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Gerçek opsiyonlar yöntemine göre, stratejinin erteleme opsiyonu değeri 2,5 milyon dolar ve terk etme opsiyonu değeri 1 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, stratejinin gerçek opsiyonlar dahil net bugünkü değerini (-5 milyon dolar) ortaya çıkarmıştır. Bu sonuç, stratejinin esneklik sağlayan seçeneklerinin stratejinin değerini artırdığını ve gerçek opsiyonların strateji üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, kömürden sıvı akaryakıtların üretimi stratejisi, enerji sektöründeki paydaşların dikkate alması gereken önemli bir seçenektir. Stratejinin ekonomik açıdan zorlayıcı olmasına rağmen, belirsizlik altında bazı senaryolarda ekonomik olarak değerli olabileceği unutulmamalıdır. Stratejiyi değerlendirirken, ortalama dönüşüm ve gerçek opsiyonlar yöntemlerinin birlikte kullanılması, farklı senaryoların değerlendirilmesi ve risk yönetimi önemlidir. Ayrıca, strateji için teknik ve ekonomik parametrelerin güncellenmesi ve daha detaylı analizler yapılması, stratejinin gerçek dünya koşullarına daha uygun hale getirilmesine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, enerji sektöründe yatırımcılar, politika yapımcılar, akademisyenler ve diğer paydaşlar için önemli bilgiler sunmaktadır. Stratejinin

belirsizlik altında ekonomik değerinin ortaya konması, enerji politikalarının geliştirilmesi ve enerji kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımını yolunda stratejik kararların alınmasına yardımcı olacaktır. Gelecekteki enerji taleplerini karşılamak ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak için alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve uygulanması, enerji sektörünün dönüşümü ve ilerlemesi için önemli bir adım olacaktır. Bu tür analizlerin paydaşlar arasında iş birliğini teşvik ederek, daha sürdürülebilir bir enerji geleceği için temel bir kılavuz olacağına inanıyoruz.

Ancak, bu çalışmanın bazı sınırlılıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Stratejinin teknik ve ekonomik parametreleri literatüre dayalı varsayımlar üzerine dayandırılmıştır ve gerçek dünya koşullarında değişebilir. Bu nedenle, güncel verilere dayalı senaryoların kullanılması ve gelecekteki belirsizliklerin daha kapsamlı analiz edilmesi önemlidir. Ayrıca, politika değişiklikleri, teknolojik gelişmeler ve enerji talebindeki dalgalanmalar gibi diğer faktörlerin de strateji üzerindeki etkisi değerlendirilmelidir.

Bu çalışmanın önerileri doğrultusunda, stratejinin teknik ve ekonomik parametrelerinin güncellenmesi ve detaylı bir şekilde araştırılması önemlidir. Stratejiyi etkileyen diğer belirsizlik ve risk faktörlerinin modellenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, farklı gerçek opsiyonların strateji için incelenmesi ve değerlendirilmesi, stratejinin esnekliğini artıracaktır. Son olarak, strateji için daha gelişmiş finansal modellerin kullanılması, analizlerin daha kesin ve gerçekçi sonuçlar üretmesine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, Türkiye'nin enerji dönüşümü ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir adım olan kömürden sıvı akaryakıt üretimi stratejisini desteklemektedir. Enerji sektöründeki tüm paydaşların katılımı ve iş birliğiyle, yerel enerji kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir şekilde kullanılması ve enerji arz güvenliğinin artırılması yolunda önemli adımlar atılmaktadır. Bu tür stratejiler, Türkiye'yi enerji alanında öncü bir ülke haline getirerek, küresel enerji dönüşümüne katkıda bulunma potansiyeline sahiptir.

Sonuç olarak, enerji sektöründeki ilgili paydaşların bu tür stratejileri değerlendirirken ortalama dönüşüm ve gerçek opsiyonlar yöntemlerini birlikte kullanmaları ve gelecekteki belirsizlikleri göz önünde bulunduran kapsamlı analizler yapmaları, enerji alanında sürdürülebilir ve verimli bir gelecek için kritik öneme sahiptir. Bu tür analizler, enerji politikalarının şekillenmesinde, yatırımların planlanmasında ve enerji sektöründeki diğer stratejik kararlarda karar vericilere rehberlik edecek önemli bir araç olacaktır. Enerji sektöründe, bilimsel araştırmalar ve teknolojik ilerlemelerle desteklenen stratejilerin uygulanması, Türkiye'yi enerji alanında öncü ve örnek bir ülke konumuna taşıyacaktır. Bu dönüşüm, enerji arz güvenliğini artırma, çevresel sürdürülebilirliği sağlama ve ekonomik bağımsızlığı güçlendirme yolunda önemli bir adım olacaktır.

KAYNAKLAR

- Öztürk, S. (2010). Reel opsiyonlar ile yatırım projelerinin değerlendirilmesi: Madencilik sektöründe bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul. [Erişim: <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/1951/1/10541.pdf>]
- Aktan, M. (2020). Kömür gazlaştırma ürünlerinin gerçek opsiyonlar yöntemi ile değerlemesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara. [Erişim: <http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080/xmlui/handle/11655/22712>]
- Aktan, M. (2021). Kömür gazlaştırmanın Türkiye açısından stratejik önemi. MT Bilimsel, 20, 85- 106. [Erişim: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mtb/issue/64376/977713>]
- Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994). Investment under uncertainty. Princeton University Press.
- Copeland, T., & Antikarov, V. (2003). Real options: a practitioner's guide. Texere New York.
- MTA (2010). Türkiye Kömür Kaynakları Envanteri Raporu. Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2019). Kömürden Sıvı Akaryakıt Üretimi Stratejisi Raporu. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Demir, H., & Ata, E. (2016). Afşin-Elbistan Linyit Havzası'na Özgü Gıda Biriminin Geçirimsizlik
- Parametrelerinin Belirlenmesine Yönelik Ön Çalışmalar. 69. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Kitabı, Ankara, Türkiye.
- Koçak, Ç., Tamzok, N., & Yılmaz, S. (2005). Afşin-Elbistan linyit rezervlerinin elektrik üretimi bakımından değeri ve izlenmesi gereken politikalar. Elektrik Mühendisliği Dergisi, 419, 27-33.
- Tamzok, N. (Mayıs 2011). "Kaza"nın Ardından: Afşin-Elbistan Linyit Havzası'nın Kısa ve Hazin Tarihi. [Erişim: https://www.researchgate.net/publication/264852241_Kazanın_Ardından_Afsin-Elbistan_Linyit_Havzasi'nin_Kisa_ve_Hazin_Tarihi]
- Elektrik Üretim A.Ş. (n.d.). Afşin-Elbistan linyit sahası. [Erişim: <https://www.euas.gov.tr/santraller/afsin-elbistan-lyinyit-sahasi>]
- EUAS. (t.y.). AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİT SAHASI. [Erişim: <https://www.euas.gov.tr/santraller/afsin-elbistan-lyinyit-sahasi>]



BÖLÜM 3

YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ KULLANILARAK EL HAREKETLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

İrem ŞENYER YAPICI¹

¹ Dr.Öğr. Üyesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Yazılım Anabilim Dalı E-mail: senyerirem@beun.edu.tr

İletişim, bireylerin duygu, düşünce ve bilgi gibi ifadelerini karşısındakine çeşitli yöntemler vasıtasıyla aktarması olarak tanımlanmaktadır. Günlük hayatta bireyler kendilerini ifade edebilmek, temel ihtiyaçlarını karşılayabilmek için etrafındakilerle dil aracılığıyla iletişim kurmaktadır (Çınar, Erkuş ve Tuncer, 2023; Çelik ve Odabaş, 2020). Dil toplumlar arasında farklılıklar gösterebilmektedir (Hassen, 2016). Bireyler de toplumlarına özgü konuşma dilini kullanarak birbirleriyle doğrudan veya dolaylı olarak iletişim kurmaktadır. Ancak işitme ve/veya konuşma yetisini kaybetmiş engelli bireyler, buldukları ortamlarda kendilerini ifade etmekte büyük zorluklarla karşılaşabilmektedirler. İşitme ve/veya konuşma engelli bireylerin hayatını kolaylaştırmak adına toplumların kendilerine has geliştirdikleri işaret dilleri bulunmaktadır. İşaret dili, bireylerin yüz mimiklerini ve el hareketlerini kullanarak harfleri, özel karakterleri ve rakamları ifade edebildiği bir beden dilidir (Çınar, Erkuş ve Tuncer, 2023; Toğaçar, Cömert ve Ergen, 2021; Vijayalakshmi ve Aarthi, 2016). İşitme ve/veya konuşma engelli bireyler işaret dili kullanarak kendi aralarında rahat bir şekilde iletişim kurabilirken, işaret dilini bilmeyen engelli ya da engelsiz bireylere kendilerini ifade etmekte ve onları anlamakta zorluk yaşayabilmektedirler. Bunun üstesinden gelebilmek ve engelli bireyleri topluma kazandırmak adına günümüzde işaret dili tanıma sistemleri geliştirilmiştir. Bu bağlamda ülkelerin kendilerine özgü işaret dillerini tanımaya yönelik farklı yöntemlerin kullanıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur (Kın, 2019). Örneğin, Chuan ve diğerleri (2014) k-en yakın komşu ve destek vektör makinesi (DVM) yöntemlerinin Amerikan işaret dilindeki 26 harfin sınıflandırılmasındaki başarılarını irdelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada destek vektör makinesinin (%79,83) k-en yakın komşu (%72,78) yöntemine kıyasla daha yüksek sınıflandırma başarımlarını sergilediğini göstermişlerdir. Piqou ve diğerleri (2015) İtalyan işaret dilindeki el hareketlerinin tespitinde evrişimsel sinir ağına (ESA) ve yapay sinir ağına (YSA) dayalı bir model önermişlerdir. Önerilen modelle söz konusu el hareketlerinin %91,7'lik bir başarımla tespit edilebildiği gösterilmiştir. Başka bir çalışmada Türk işaret dilindeki temel el hareketlerinin tespitinde rasgele orman (RO) ve çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) yöntemlerinin başarımlarını araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla ÇKA'nın RO'ya kıyasla daha yüksek başarımla sahip olduğu ortaya konulmuştur (Chuan, Regina ve Guardino, 2014). Karacı ve diğerleri (2018), Türk işaret dilindeki 10 harfin tespitinde YSA, derin sinir ağı ve karar ağacı yöntemlerine dayalı modeller önermişlerdir. Önerilen modellerden en yüksek sınıflandırma başarımlarına derin sinir ağı (%100) yönteminin kullanılması durumunda elde edildiğini ortaya koymuşlardır. Kalam ve arkadaşları (2019), işaret dilindeki rakamları algılamaya yönelik 10 katmandan oluşan ESA temelli bir model önermişlerdir. Önerilen model kullanılarak %97,28 bir doğruluk değeri elde etmişlerdir. Çelik ve Odabaş (2020), Türk işaret dilindeki 29 harfe ve 10 rakama karşılık gelen hare-

ketleri algılayarak işaret diline çeviren bir model önermişlerdir. Önerilen modelle derin öğrenme tekniklerinden ESA ve uzun kısa süreli bellek yöntemlerinin kullanılması durumunda %97'lik bir başarımla elde etmişlerdir. Özcan ve Baştürk (2020), engelli bireylere yönelik acil servislerde yaygın şekilde kullanılan 25 kelimedenden oluşan veri setinin sınıflandırılmasında GoogLeNet tabanlı bir ESA modeli önermişlerdir. Çalışmada önerilen modelin performansını arttırmak için grid arama (GS), rastgele arama (RS) ve genetik algoritma (GA) yöntemleriyle optimizasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan benzetim çalışmaları neticesinde GA ile optimize edilmiş GoogLeNet tabanlı ESA modelinin en yüksek sınıflandırma başarımına (%93,93) sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Seveli ve Kemaloğlu (2020), Türk işaret dilindeki rakamlara ait görüntülerin analizi için ESA'ya dayalı bir model önermişlerdir. Önerdikleri modelde parametrelerin güncellenmesine yarayan öğrenme hızını optimize etmek için dört farklı optimizasyon tekniği kullanarak, bunların başarımını kıyaslamışlardır. Yapılan benzetim çalışmalarıyla en yüksek başarımla Adam optimizasyon tekniğinin kullanılması durumunda ulaşıldığı gösterilmiştir. Toğaçar ve arkadaşları (2021), Türk işaret dilindeki rakam görüntülerinin tanımlanmasında siyam sinir ağıyla yüksek başarımlar elde edilebileceğini göstermişlerdir. Li ve arkadaşları (2022), Amerikan işaret dilinin özelliklerini çıkarmak için ESA sinir ağını kullanan ve daha sonra karakter düzeyinde işaret dilinin (Amerikan işaret dili, Arap rakamları) tanınmasını gerçekleştirmek için uzun kısa süreli bellek sınıflandırıcısına yerleştiren ve ayrıca sistem aracılığıyla işaret dilinin çevirisini sağlayan ve kullanıcı metnini veya konuşma girişini ilgili Amerikan işaret diline veya Arap rakam işaret diline dönüştürebilen bilgisayar görüşüne dayalı bir işaret dili tanıma sistemi tasarlamışlardır. Joshi ve diğerleri (2022) Amerikan işaret dilindeki iletişim problemini aşmak adına kullanıcıların hareketini tanımak ve gerçek zamanlı olarak geri bildirim sağlayabilmek için uzun kısa süreli bellek sinir ağlarını kullanan bir model önermişlerdir. Önerilen modelle alfabedeki harflerin eğitiminden %91.01, sayıların eğitiminden ise %98.80'lik başarımla elde etmişlerdir. Çınar ve arkadaşları (2023), Türk işaret dilindeki yer alan 29 harfin tespit edilmesine yönelik gerçek zamanlı görüntüleri kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada YOLOv5 mimarisinin yüksek başarımla sahip olduğunu göstermişlerdir. Pacal ve Alaftekin (2023), Türk işaret dilinde sadece rakamları içeren yeni bir veri seti üzerinde farklı derin öğrenme mimarilerinin (VGG, ResNet, MobileNet, DenseNet ve EfficientNet gibi) rakamları sınıflandırma başarımını araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde en yüksek başarımla ResNet152 (%98,76) modeliyle ulaşılabildiği gösterilmiştir.

Literatürde işaret dili üzerine pek çok çalışma olmasına karşın, Türk işaret dili üzerine yapılan çalışmaların sayısı oldukça sınırlı olduğu görülmek-

tedir. Bundan dolayı bu çalışmada Türk işaret dilindeki anahtar kelimelerine karşılık gelen el hareketlerini gerçek zamanlı tanıyabilen derin öğrenme tabanlı bir model önerilmiştir. Önerilen modelde, uzun kısa süreli bellek yapay sinir ağlarıyla anahtar kelimeler sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma aşamasında 9 adet anahtar kelimenin her biri için 30 karelik 30 adet video kaydından oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Çalışmanın başlıca temel katkısı, işaret dilinde tanımlanan anahtar kelimelerin gerçek zamanlı olarak algılanarak tanımlanmasıdır. Çalışmada, veri seti ve derin öğrenme tekniklerine yönelik genel bilgiler Bölüm 2’de, elde edilen sonuçlar ve sonuçların genel değerlendirilmesi ise sırasıyla Bölüm 3 ve Bölüm 4’ de sunulmuştur.

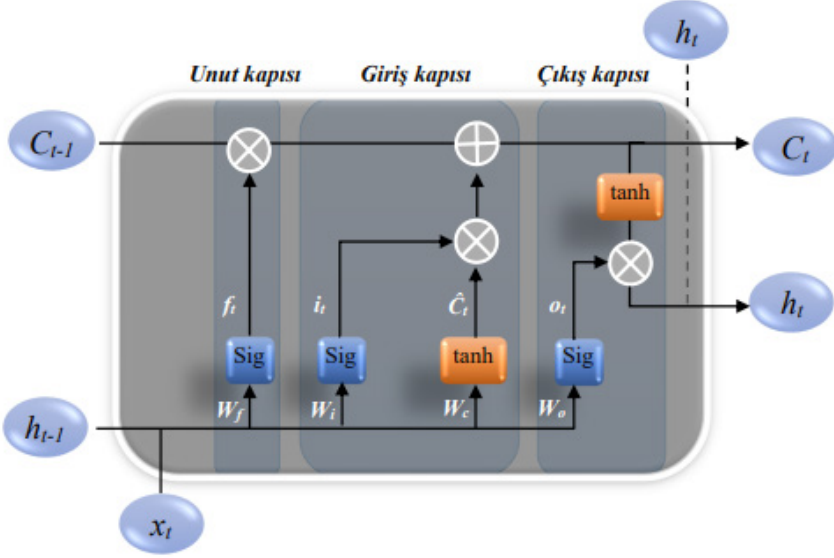
2. Materyal ve metot

2.1. Veri seti

Çalışmada, Türk İşaret Dilinde yer alan 9 adet kelime ve kelime gruplarını içeren anahtar kelimeler (hayır, evet, bilmiyorum, pardon, lütfen, güle güle, özür dilerim, teşekkürler ve günaydın hareketi) temel alınmıştır. Bu anahtar kelimelere karşılık gelen el hareketlerine ait verilerin sabit bir el hareketini içeren görüntü yerine, art arda gelen hareketlerden oluşan videolardan oluşması halinde verilerin daha anlamlı hale geldiği tespit edilmiştir. Bundan dolayı çalışmada anahtar kelimelerin her biri için 30 karelik 30 video kaydından oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Video veri seti, Jupyter Notebook IDE’deki web kamerası kullanılarak gerçek zamanlı oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı videolar OpenCV Kütüphanesi aracılığıyla çekilmiş olup, el ve yüz yer işaretleri MediaPipe kütüphanesi ile tespit edilmiştir. Ardından ilgili veriler numpy dizileri olarak kaydedilmiştir. Böylelikle 270 videodan oluşan ve 8100 numpy dosyası içeren bir veri seti elde edilmiştir.

2.2. Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short Term Memory- LSTM)

Makine öğrenmesinin bir alt dalı olan derin öğrenme, evrişimli katman (convolutional layer), havuzlama katmanı (pooling layer) ve tam bağlantılı katman (fully connected layer) olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. İnsan beyninin aktivitesini taklit etmek için tasarlanmış olan bu sinir ağı içerisinde uzun kısa süreli bellek ünitesi (Long Short Term Memory -LSTM) uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilen bir derin öğrenme ağıdır. Bu sinir ağı sırasıyla 1 unutma kapısı, 1 giriş kapısı ve 1 çıkış kapısından meydana gelmektedir (Şekil 1). Unutma kapısı (ft), var olan bilgilerin unutulmasını ve yeni verilerin hafızada tutulmasını sağlamaktadır. Girdi kapısı ise bir önceki hücrenin durumunu güncelleyebilmek için eklenecek olan bilgilere karar verirken, çıkış kapısı da hücrede yer alan bilginin hücre çıkışına ne zaman aktarılacağını denetlemekten sorumludur.



Şekil 1. LSTM sinir ağının yapısı (Çınar, Erkuş ve Tuncer, 2023)

LSTM sinir ağı yapısına ait matematiksel ifadeler aşağıdaki verilmiştir. Burada W_f , W_i , W_c ile W_o ağırlıkları, f_t unutma kapısını, o_t çıkış kapısını, i_t giriş kapısını, x_t t zamanındaki giriş verisini ve h_t mevcut durumu ifade etmektedir.

$$f_t = \sigma(W_f[h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$

$$i_t = \sigma(W_i[h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

$$\hat{c}_t = \tanh(W_c[h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (3)$$

$$c_t = f_t * c_{t-1} + i_t * \hat{c}_t \quad (4)$$

$$o_t = \sigma(W_o[h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

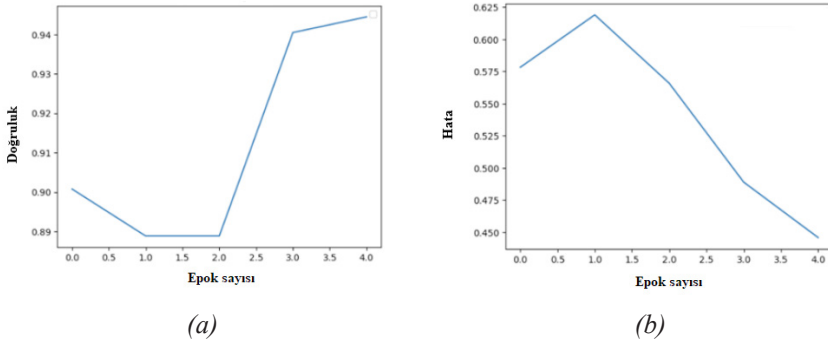
$$h_t = o_t * \tanh(c_t) \quad (6)$$

LSTM'nin işaret dilindeki anahtar kelimeleri tanımlayabilme yeteneğine ve sıralı hareketler ile jestlerin zaman içindeki değişimlerini başarılı bir şekilde öğrenebilme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle çalışma kapsamında LSTM sinir ağından yararlanılmıştır. LSTM'nin yapısında yer alan hafıza hücreleri, işaret dilindeki sıralı hareketlerin ve yapıların öğrenilmesi için kullanılmıştır. Modelin eğitim aşamasında ise gradiyent tabanlı bir optimizasyon algoritması olan geri yayılım algoritması kullanılmıştır.

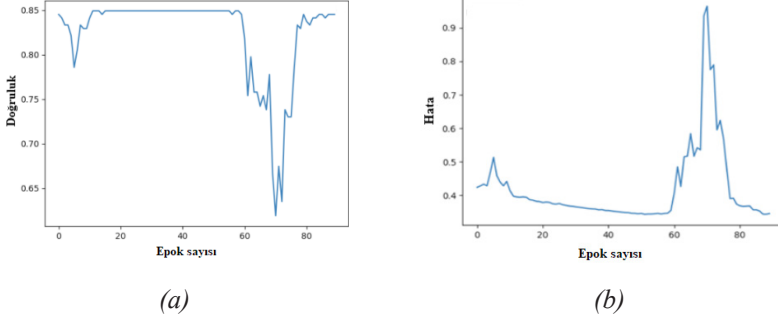
3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında Türk işaret diline ait anahtar kelimeleri tespit etmek için derin öğrenme algoritmalarından biri olan LSTM sinir ağına dayalı bir model geliştirilmiştir. Modelin eğitimi Tensorflow Kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model sırasıyla 3 adet LSTM katmanı ve 3 adet Dense (Yoğun) katmanı olacak şekilde tasarlanmıştır. LSTM katmanları sırasıyla 64, 128 ve 64'lük birimlerden, Dense katmanları ise sırasıyla 64 ve 32'lik birimlerden oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak LSTM ve Dense katmanlarının her birinde Relu, tanh ve sigmoid fonksiyonları kullanılmıştır. Çıktı katmanında ise softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılarak, çıktıların normalize edilmesi sağlanmıştır. Katmanlarda üç farklı aktivasyon fonksiyonu kullanması durumunda modelin performansı doğruluk ve eğitim kayıpları (loss) açısından değerlendirilmiştir. Buna göre Relu, tanh ve sigmoid aktivasyon fonksiyonları kullanılması durumunda modelin doğruluk ve eğitim kayıplarına ait sonuçlar sırasıyla Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4' de sunulmuştur.

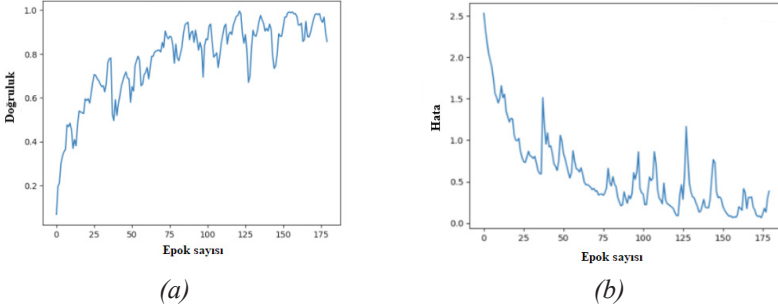
Şekil 2 (a)'da görüldüğü gibi LSTM ve Dense katmanlarında Relu aktivasyon fonksiyonunun kullanılması durumunda oluşturulan modelin doğruluk değeri yaklaşık %95'lere ulaşmıştır. Bununla birlikte eğitim kaybının da azalma eğiliminde olduğu görülmüştür (Şekil 2 (b)). Şekil 3'de aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunun kullanılması durumunda modelin doğruluk değerinin %85 civarında kaldığı, ancak eğitim kaybının ise minimum seviyelere düştüğü tespit edilmiştir. Tanh aktivasyon fonksiyonu kullanılması durumunda ise modelin doğruluk değerinin %97,2 değerine ulaştığı, aynı zamanda azalma eğiliminde olan eğitim kaybının diğer aktivasyon fonksiyonlarının kullanılmasına kıyasla daha az olduğu saptanmıştır (Şekil 4).



Şekil 2. Relu aktivasyon fonksiyonunun kullanılması durumunda modelin epok sayısına karşı (a) doğruluk ve (b) hata değerleri.



Şekil 3. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun kullanılması durumunda modelin epok sayısına karşı (a) doğruluk ve (b) hata değerleri.



Şekil 4. Tanh aktivasyon fonksiyonunun kullanılması durumunda modelin epok sayısına karşı (a) doğruluk ve (b) hata değerleri.

Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde LSTM sinir ağı modelinde tanh aktivasyon fonksiyonu diğer aktivasyon fonksiyonlarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Modelin sınıflandırma başarımını ölçmek için doğruluk değerlendirme metriği göz önüne alındığında tanh aktivasyon fonksiyonuna sahip LSTM sinir ağı modelinde %97'lik bir başarıım elde edilmiştir. Böylece oluşturulan LSTM modelinin tahmin sonuçlarını ortaya koymada başarılı olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

İletişim, bir bilginin gönderici tarafından alıcıya aktırılma süreci olarak tanımlanmaktadır. Aktarma işlemi sözlü, sözsüz, yazılı ve elektronik olarak gerçekleştirilebilmektedir. İşitme engelli bireyler kendi aralarında kendilerini ifade etmek için sıklıkla sözsüz iletişim tekniği olan işaret dilini kullanmaktadırlar. İşaret dili, el hareketleri, jestler, yüz mimikleri ve ağız hareketlerinden oluşan görsel bir dildir. İşaret dilini bilen kişiler arasında bu şekilde iletişim sağlanabilirken, işaret dilini bilmeyen engelli

veya engelsiz bireyler için iletişim kurmak oldukça zordur. Bundan dolayı engelli bireyleri topluma kazanırdırmak ve yaşadıkları zorulukları minimize edebilmek adına şaret dilini tanıyan sistemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Türk işaret dilinde yer alan anahtar kelimelerin otomatik olarak tahmin edilebilmesi için LSTM modeli oluşturulmuştur. Model 3 LSTM ve 3 Dense katmanında oluşturulmuştur. Veri seti, 270 videodan oluşmakta olup, 8100 tane numpy dosyasını içermektedir. Modelin katmalarında çeşitli aktivasyon fonksiyonları (Relu, tanh ve sigmoid) arasından tanh aktivasyon fonksiyonunun modelde en yüksek sınıflandırma başarımını verdiği tespit edilmiştir. Bu çalışma işaret dilinin algılanarak metne dönüştürülmesi sayesinde işitme engelli bireylerin çevreleriyle iletişim kurabilmelerine olanak tanımaktadır.

Kaynakça

- Chuan, C. H., Regina, E., & Guardino, C. (2014, December). American sign language recognition using leap motion sensor. In *2014 13th International Conference on Machine Learning and Applications* (pp. 541-544). IEEE.
- Çelik, Ö. & Odabas, A. (2020). Sign2Text: Konvolüsyonel Sinir Ağları Kullanarak Türk İşaret Dili Tanıma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 923-934.
- Çınar, A., Erkuş, M. & Tuncer, T. (2023, April). Türk İşaret Dilindeki Harflerin Tespiti İçin Derin Öğrenme Tekniğinin Kullanımı. In *International Conference on Scientific and Innovative Studies* (Vol. 1, No. 1, pp. 360-365).
- Demircioğlu, B., Bülbül, G., & Kose, H. (2016). Leap Motion ile Türk İşaret Dili Tanıma. *Turkish Sign Language Recognition With Leap Motion*.
- Donuk, K., & Hanbay, D. (2022). Konuşma Duygu Tanıma için Akustik Özelliklere Dayalı LSTM Tabanlı Bir Yaklaşım. *Computer Science*, 7(2), 54-67.
- Hassen, R. (2016). Language as an index of identity, power, solidarity and sentiment in the multicultural community of Wollo. *Journal of Socialomics*, 5(3), 1-5.
- Joshi, J., Gandhi, P., & Sawant, R. (2022, June). Sign Language Certification Platform with Action Recognition using LSTM Neural Networks. In *2022 International Conference on Computing, Communication, Security and Intelligent Systems (IC3SIS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Kalam, M. A., Mondal, M. N. I., & Ahmed, B. (2019, February). Rotation independent digit recognition in sign language. In *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)* (pp. 1-5). IEEE.
- Karaci, A., Akyol, K., & Gültepe, Y. (2018, May). Turkish Sign Language Alphabet Recognition with Leap Motion. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Technologies, Computer Engineering and Science (ICATCES'18), Safranbolu, Turkey* (pp. 11-13).
- Kın, Z. B. (2019). *Türk işaret dili alfabesinin derin öğrenme yöntemi ile sınıflandırılması* (Master's thesis, Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Li, T., Yan, Y., & Du, W. (2022, June). Sign language recognition based on computer vision. In *2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA)* (pp. 927-931). IEEE.
- Özcan, T., & Baştürk, A. (2020). ERUSLR: Yeni bir Türkçe işaret dili veri seti ve hiperparametre optimizasyonu destekli evrişimli sinir ağı ile tanınması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(1), 527-542.
- Pacal, I., & Alaftekin, M. (2023). Türk İşaret Dilinin Sınıflandırılması için Derin Öğrenme Yaklaşımları. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(2), 760-777.
- Pigou, L., Dieleman, S., Kindermans, P. J., & Schrauwen, B. (2015). Sign language

- recognition using convolutional neural networks. In *Computer Vision-EC-CV 2014 Workshops: Zurich, Switzerland, September 6-7 and 12, 2014, Proceedings, Part I 13* (pp. 572-578). Springer International Publishing.
- Sevli, O., & Kemaloğlu, N. (2020). Turkish sign language digits classification with CNN using different optimizers. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 4(3), 200-207.
- Toğaçar, M., Cömert, Z. & Ergen, B. (2021). Siyam Sinir Ağlarını Kullanarak Türk İşaret Dilindeki Rakamların Tanımlanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(68), 349-356.
- Vijayalakshmi, P., & Aarthi, M. (2016, April). Sign language to speech conversion. In *2016 international conference on recent trends in information technology (ICRTIT)* (pp. 1-6). IEEE.



BÖLÜM 4

DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ÜRÜN ÖNERME SİSTEMİ ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ÇALIŞMASI¹

Ali SARIKAYA², Ali GÜNEŞ³

¹ “DERİN ÖĞRENME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ÜRÜN ÖNERME SİSTEMİ” adlı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

² Öğrenci, yüksek lisans, İstanbul Aydın Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği

³ Prof. Dr., İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik.-Mimarlık Fakültesi. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

1. GİRİŞ

Makine öğrenmesi, klasik algoritma yapısı içerisinde mevcut olan şarta uygun şekilde aksiyon alma halleri için aksiyona ait parametrelerin algoritmalar vasıtası ile değişik değişkenler kullanılarak test edilmesi ile, ulaşılan neticeye göre modele ait verim düzeyini yükseltebilecek biçimde mimarisinin yenilenmesine imkân tanımaktadır. Algoritma, var olan mimari yapı kullanılarak çözümlenmeler gerçekleştirilir. Algoritma, gerçekleştirilen çözümlenmeler aracılığıyla sonuca varan parametrelerin değişmesi neticesinde hangi duyarlılık ile etkilediğini model haline getirmektedir. Optimal modelde ise faaliyete alınır ve var olan model yenilenir. Klasik algoritmaların gruplandırılma prensibini kendiliğinden meydana getirmesini sağlaması gereksinimini gidermek için, ortaya koyulan makine öğrenmesi, parçaya ait yapı üzerinde inceleme yapma ve sonunda ise elde edilen verilerin analizini yaparak parçaları uygun olan ölçüde en iyi hale getirebilecek yapıya ulaşmışlardır. Neticeye varan yollara ait parametreleri tespit eden, parametre değişimlerin neticesi hangi boyutta etkilediği konusunda inceleme yapabilen ve var olan veriler vasıtası ile belirsizlikleri açıklayabilen ve öngörülerini doğru bir biçimde modelleme yaparken kullanılabilecek kapasitesine sahip olan makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmaktadır. Mevcut verilerin ve varsayımların modelinin oluşturulması sırasında kullanılan önemli yöntemler içerisinde pekiştirmeli, gözetimli, mantıksal, gözetimsiz, lineer ve derin öğrenme metotları kullanılmaktadır.

Genel olarak değerlendirdiğimizde, makine öğrenmelerinde ileri düzey sinir ağları oluşturmaları ile modelleme kurgusu esnasında büyük çaplı verilerin işlenebilme özelliğine sahip algoritmalar geliştirilmiştir. Sanal ortamda potansiyel alıcıların ürüne ve hizmete olan ilgi ve alakasını, alıma etki eden etmenleri, verim miktarı, mala ait fiyat, kalite hareketlilikleri ile ilgili etkisini ve parametrelerde mevcut olan değişimlerin eyleme çevrilme olasılıklarını en doğru biçimde modelleyebilme uğraşlarında makine öğrenmesi algoritmaları da kullanılmaktadır. Günümüz internet ortamında çeşitli sayfalarda reklamlarda kullanıcılara ürünler önerilmektedir. Bu ürün önermelerinde çeşitli parametreler yardımıyla, makine öğrenmesi aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu çalışmada ürün önerme sistemine yönelik literatür incelemesine yer verilmiştir.

2. MAKİNE ÖĞRENMESİ

“Arthur Lee Samuel” ilk defa 1959’da makine öğrenimi kavramını kullanmıştır. “Arthur Lee Samuel” IBM için hazırladığı dama oyununu dizayn ederken bu terimi ortaya atmıştır. Arthur Lee Samuel makine öğrenimi için; “bilgisayarların açık bir biçimde programlanma yapmadan öğrenmesini sağlaması gerekli olan bir çalışma konusudur” şeklinde bir ifade

kullanmıştır.¹ 1962’de bir dama oyunu uzmanı olan Robert Nealey, IBM vasıtası ile imal edilen IBM7094 bilgisayarına karşı gerçekleştirilen yarışmada, oyunda bilgisayara karşı yenilmiştir. Dama oyunu oynamak için dizayn edilen program oldukça az miktarda bilgisayar hafızası bulduğundan tahtada yer alan taşların gerçekleştireceği hamleler için bir çeşit puanlama işlevi dizayn edildi. Puanlama görevinin esas amacı iki taraftaki bireyin de oyunu alma şansını hesaplamaktı. Programda bir sonraki hamlesinin seçimi yapılırken “minimax algoritması” tercih edilerek oyun taktiğini kullanmıştır. Oynanan oyunun çok daha iyi bir düzeye çıkması için Samuel yalnızca bununla kalmayıp, birtakım mekanizmalar da hazırladı. “Ezberci öğrenme” şeklinde isimlendirilen öğrenme yöntemi ile, program içerisine tüm pozisyonlar kaydedildi ve daha sonra bunları hatırlamasını sağladı. Bununla beraber Ödül fonksiyonunda yer alan değerler ile bir araya getirdi. Gerçekleştirilen bu çalışma ile Samuel aracılığıyla ortaya atılan “Makine Öğrenmesi” kavramı meydana geldi.²

Makine öğrenmesi esasında yapay zekâ ve bunun yanı sıra da derin öğrenme ile alakalıdır. Yapay zekânın meydana gelebilmesi için makine öğrenmenin gerçekleşmesi mecburidir. Veri grubunu bir model haline getirmek için makine öğrenimi en doğru algoritma yetisidir. Makine öğrenimi tekniğinin istatistiksel metotların da kullanılması ile, gruplandırma ve öngörülerde bulunulması için algoritmalar düzenlenirler. Geniş veriler büyüyüp daha geniş hale gelse bile makine öğreniminin fonksiyonsuzlaşması yerine, çok daha iyi öngörülerde bulunulması ve neticelerin daha kesin hale gelmesini sağlar.

Makine öğrenmelerinde algoritmaların karışık yapıya sahip ileri düzey sinir ağları oluşturmaları ile modelleme kurgusu esnasında büyük çaplı dataları işleyebilme yeteneği olan algoritmalar üretilmiştir. Alıcıların ürüne ve hizmet rağbetlerine olan alakasını, rağbet üzerine etki eden etmenleri, imalatçıların mallarında ulaşacakları verim miktarını, mala ait fiyat, kalite hareketliliklerinin aksiyon üzerine olan etkisini ve parametrelerde mevcut olan değişimlerin eyleme çevrilme olasılıklarını en doğru biçimde modelleyebilme uğraşlarında makine öğrenmesi algoritmaları da kullanılmaktadır. Şirketlerin ciro imalatında başarı oranlarını en üst seviyeye çıkarmalarında, alıcı memnuniyetlerini giderme hususundaki verimlerini koruma ve yükseltme uğraşlarında, ürün ve hizmet arzlarındaki eksikliklerin giderilmesinde, rekabetçi taraflarını muhafaza etmede, uygulama verimlerinin daha iyi hale getirilmesinde seçilebilecek algoritma yapıları makine öğrenmesi yöntemleri ile kurgusu yapılabilmektedir. Finansal verilerde ise makine öğrenmesi faaliyetlerinden, her gün değişim gösteren piyasa

1 Andreas MOCKENHAUPT (2021). Maschinelles Lernen.” Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Produktion. Wiesbaden: Springer Vieweg.

2 Keith D. FOOTE (2019). A brief history of machine learning. dataversity web page, Homepage, Data education, Smart Data News, Articles, & Education.

koşulları ve hareketlerinin hesaplanması konusunda, finansal cihazların arz edilme süreçlerinde rağbetin ne düzeyde olacağını, arzın talebi giderip gideremeyeceğini, rağbetin farklı zaman periyotlarına göre arz işleminin başarılı olup olmama durumunun tespitinde faydalanılmaktadır.³

3. DERİN (PEKİŞTİRMELİ) ÖĞRENME

Derin öğrenme, makine öğrenmesi sınıflarından biridir. Derin öğrenme, özellik çıkarma ve dönüştürme için birçok doğrusal olmayan işlem birimi katmanını kullanılmaktadır. Bu sistemde yer alan her ardışık katman, kendisinden bir önceki katmanda yer alan çıktıyı girdi olarak almaktadır.⁴ Sistemde yer alan algoritmalar denetimli (sınıflandırma gibi) veya denetimsiz (desen analizi gibi) olabilmektedir.⁵

Bolat ve Kızrak (2018) “Derin öğrenmenin temelleri” 1980 ve bu yılı takip eden süreçte atıldığını vurgulamıştır. Derin öğrenme, doksanlı dönemde donanım dolayısıyla meydana gelen engeller sebebi ile bir çeşit duraklama devri içerisine girmiş olsa da, bugün yapay zekânın en bilinen alt dalı olma niteliğine sahiptir. Bilgisayarlı görü her geçen gün gelişim göstermektedir. Bilgisayarlı görü, savunma sanayii, doğal dil işleme, sanat, finans, otonom araçlar, müzik ve güvenlik şeklindeki pek çok çalışma çevresinde faaliyetleri olan derin öğrenme alanında çalışma gerçekleştiren yüksek hızlı grafik işlem birimlerine (GPU), yüksek hacimli bellekler ile veya bulut çalışma alanlarında gereksinim duyulmaktadır.” biçiminde ifade edilmektedir.

Donanım alanında meydana gelen gelişmelerin sonrasında derin öğrenme kavramının 1990 ve takip eden senelerde içerisine girdiği duraksama dönemi biterek gelişimini devam ettirmeyi sürdürmektedir. Büyük çaplı veri kümelerini işleme yeteneğine sahip olan algoritmalar derin öğrenme olarak isimlendirilir. Veri bir davranışın başladığı andan bittiği ana kadarki süre içerisinde imal edilen ve bu davranışın sona erdirilmesinden sonra imalatı süren deneyimin kaydedilebilen versiyonudur. Deneyimin güvenli kayıtlarını meydana getiren verilerin, bahsedilen deneyimi deneyimlemeyen veya tecrübe edemeyenler aracılığıyla karşılanıp, işlenebilir duruma getirilmesi, değişik amaçlar için kullanılarak, daha yeni verilerin elde edilmesi de oldukça önemlidir. Veri kümelerinin incelenmesi ve elde edilen bu yeni neticelerle tekrardan veri kümeleri meydana getirilme fırsatı mevcuttur. Veri işleme neticesi bulunan veri kaynağının ve gerçekleştirilen

3 Selahaddin Bilal ÖZGÜR. Algoritmalar, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme ve Uygulamaları: Beşeri Fayda Üretimini Yazılımlar Tarafından Karşılama. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 10(1), 1-29.

4 L. Deng and D. Yu, “Deep Learning: Methods and Applications,” Found. Trends® Signal Process., vol. 7, no. 3–4, pp. 197–387, 2014.

5 Şeker, A., Diri, B., & Balık, H. H. (2017). Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(3), 47-64.

işlemlere bağımlı biçimde meydana getirilen yeni veri kümelerinin pek çok konuda ilerlemelere destek olabilecek yetenekte olduğunu ifade edebilir. Algoritmalara ait sorunları çözmek için başarı düzeylerini de yükseltecekleri tahmin edilmektedir. Makine öğrenme fonksiyonları içerisindeki en temel birimlerinden biri olarak veri gösterilmektedir. Verilerin ne kadar erişilebilir olduğu makine öğrenmesinin ilerleyişini etkiler. Verinin ulaşılabilir nitelikte olması, veri manipülasyonu işleminin bugün basitçe uygulanır duruma gelmesi vasıtası ile derin öğrenme de yaygın hale gelmiştir. Veri işleme sürecinde ve derin öğrenme konusunda yüz yüze gelinebilecek önemli tehlikelerden bir tanesi ulaşılan ilk verilerin doğruluk ve güvenlik düzeyinin yeterli seviyede bulunmamasıdır. Bahsedilen tehlikenin ortadan kaldırılması için verinin doğru olup olmadığı kontrol edilmeli, çözüme ulaştırılacak sorun için kullanılmasının uygunluğu tespit edilmelidir. Bu sayede makine öğrenmesi işleminde kullanılacak derin öğrenme sürecinde meydana gelecek yenilikler algoritmaya ait verim düzeyini de yükseltmektedir.⁶

Derin öğrenmenin özelinde altı mimari yapı olduğu gözlemlenmektedir. İlk olarak, “Konvolüsyonel Sinir Ağları” mimarisine değinmek mümkündür. Bu mimaride bilgisayarlı görme görevlerinde etkili bir mimari olarak yer almaktadır. Ayrıca bu çalışmanın modellenmesinde ayrıntılı kullanılmaktadır. derin öğrenme kavramına ait temel mimarilerden biri de CNN yapısıdır. Yann Le Cun (1988) tarafından geliştirilmiştir. 1998 yılına kadar sürekli gelişim göstermiştir. Le Net ilk CNN mimarisine örnek olarak verilmektedir.⁷ CNN mimarisi görüntüleri girdi olarak almak için tasarlanmıştır. konvolüsyonel katman ve standart çok katmanlı bir sinir ağı gibi bir veya daha fazla tamamen bağlı katmanlardan meydana gelmektedir.⁸ Bir CNN’yi oluşturan katmanlar; “*Giriş Katmanı, Konvolüsyon Katmanı, Düzleştirilmiş Doğrusal Birim Katmanı, Havuzlama Katmanı, Tam Bağlantılı Katman, DropOut Katmanı ve Sınıflandırma Katmanı*”dır.⁹

Diğer derin öğrenme mimari ¹⁰yapılardan biri olan “Tekrarlayan Sinir Ağları”; birimler arası verilerin yönlendirilmiş bir döngü oluşturduğu yapay sinir ağı olarak tanımlanmaktadır.

6 Özgür, S. B. Algoritmalar, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme ve Uygulamaları: Beşeri Fayda Üretiminin Yazılımlar Tarafından Karşılanması. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 10(1), 1-29.

7 Y. Le Cun et al.; “Handwritten digit recognition: applications of neural network chips and automatic learning,” IEEE Commun. Mag., Vol. 27, no. 11, pp. 41–46, Nov. 1989

8 Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” Nature, Vol. 521, pp. 436–444, 2015.

9 Gündüz, G., & Cedimoğlu, İ. H. (2019). Derin öğrenme algoritmalarını kullanarak görüntüden cinsiyet tahmini. Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences, 2(1), 9-17.

10 Abdulkadir ŞEKER, “Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme” Doktora Semineri, YÜ Bilgisayar Müh. Bölümü, İstanbul, 2017.

“Uzun-Kısa Vadeli Hafıza Ağları”; değerleri rastgele aralıklarla hatırlayan tekrarlayan sinir ağı mimarisi olarak tanımlanmaktadır.

“Sınırlı Boltzman Makineleri”; girdi seti üzerinde olasılık dağılımlarını öğrenebilen görünür katman ve gizli katman olmak üzere iki katmandan oluşan bir yapay sinir ağı yapısı olarak tanımlanmaktadır.

“Derin İnanç Ağları” yapısı; Sınırlı Boltzman Makineleri’nin yığılını ve oto kodlayıcılarla bileşimi olarak tanımlanmaktadır.

“Derin Oto Kodlayıcılar” mimari yapısı ise; denetimsiz öğrenme için ve verinin üretken modellerini öğrenmek için kullanılan, girdi katmanını ve- rilerini, çıktı katmanına kopyalayan bir yapı olarak tanımlanmaktadır.

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme için farklı kurumlar, üniversiteler ve şirketler tarafından geliştirilmiş olan, farklı özellikler barındıran ve derin öğrenme çalışmalarını pratikleştirip kolaylaştıran çok sayıda hazır kütüphane ve API (Application Programming Interface-Uygulama Programlama Arayüzü) mevcuttur. Derin öğrenme sisteminin kendi yapısı içerisinde birden fazla kütüphane mevcuttur. Kullanıcının çalışılacağı konu özelinde, en uygun kütüphanelerin bilgisayara kurması gereklidir. Derin öğrenmede kütüphaneler, yapılacak işin basitleşmesine olanak sağlamaktadırlar. Bu özellik ise derin öğrenme için büyük öneme sahiptir. Bu bağlamda değerlendirdiğimizde derin öğrenme yapısında her kütüphanenin her biri farklı işleve sahiptir. Python programlama dilinde, bir düzineden fazla derin öğrenme kütüphanesi olduğu görülmektedir. “Theano, TensorFlow, Caffe, Keras, Mxnet, Pylearn2, Lasagne, Torch, Covnetjs, Sci-Kit Learn, Deeplearning4j, Apache Spark” yoğun olarak tercih edilen kütüphanelerden bazılarıdır.¹¹

3.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

İsminden de anlaşıldığı üzere, yapay sinir ağları, beynin oldukça basit bir nöron formunun benzetimidir. Bu sayede oluşturulan ağ vasıtası ile öğrenme meydana gelir. Yapay sinir ağları tahmini arıza analizi, haberleşme, kontrol ve sistem tanımlama, görüntü ve ses tanıma, trafik, tahmin ve kestirim analizi, imalat yönetimi şeklinde sıralanabileceği oldukça fazla sayıda alanda kullanılabilir. Yapay sinir ağları, birey beyнинin nitelikleri içerisinde bulunan öğrenme aracılığı ile yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme şeklindeki yetileri, yardımsız kendi kendine meydana getirmek amacıyla biyolojik sistemde yer alan sinir ağlarından ilham alınarak tasar-

11 Gündüz, G., & Cedimoğlu, İ. H. (2019). Derin öğrenme algoritmalarını kullanarak görüntüden cinsiyet tahmini. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences*, 2(1), 9-17.

lanan bilgisayar sistemleri olarak ifade edilebilir.^{12 13} Yapay sinir ağlarının herhangi bir olaydaki girdi ve çıktılar içerisindeki ilişkiyi, doğrusal olan ya da olmayan, mevcut olan örneklerden öğrenerek, öncesinde hiç rastlanmamış olan olayları, daha önceki örneklerden benzetim yaparak mevcut olaya dair çözümler hazırlayabilmesi, algoritmik çözümü keşfedilememiş sorunların çözülmesi konusunda kullanımını daha yaygın hale gelmiştir. Yapay sinir ağları içerisindeki en ciddi sorun kompleks problemlere çözüm bulmak için çok katlı ve çok sayıda nöron barındıran yapay sinir ağlarına gerek duyulmasıdır.¹⁴

Yapay Sinir Ağları yapay sinir hücrelerinin birleşmesi ile meydana gelir. Sinir hücreleri rastgele biçimde birleşmez. Çoğunlukla hücreler 3 tabaka şeklinde ve tabakalardan her biri içerisinde paralel biçimde birleşerek ağı meydana getirirler. Hücrelerin meydana geldiği bu katmanlar şu şekilde listelenebilir:¹⁵

- Girdi katmanı: Bu katman içerisinde yer alan işlem elemanları dışarıdaki dünyada yer alan bilgileri içeriye alır. Daha sonra bu bilgileri ara tabakalara aktarmakla görevlidir. Kimi ağlarda girdi tabakasında herhangi bir bilginin işlenmesi gerçekleşmez.
- Ara katmanlar: Girdi katmanını aşarak gelen bilgiler ara katmanda işlenir ve buradan da çıktı katmanına transfer edilir. Söz konusu bilgiler ara katmana geldiğinde işlenir. Mevcut bir ağ için bir taneden daha fazla sayıda ara katman bulunabilir.
- Çıktı katmanı: Çıktı katmanında yer alan işlem elemanları ara tabakadan gelmiş olan bilgiler üzerinde işleme yaparak, ağın girdi tabakasından gelen örnek diğer bir ifade ile girdi seti için hazırlanması gerekli olan çıktıyı hazırlarlar. Meydana getirilen bu çıktı dış dünyaya yollarır.

Genel olarak yapay sinir ağları modellerini;

- a) Ağın yapısına,
- b) İleri beslemeli (feed forward),
- c) Geri beslemeli (feed back),
- d) Ağırlık matrislerinin simetrik veya asimetrik olmasına
- e) Ağırlık matrisi değerlerinin sabit veya değişken oluşuna,

12 Fausett, L. (1994), "Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications", Prentice Hall.

13 Öztemel, Ercan (2003), "Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık", İstanbul.

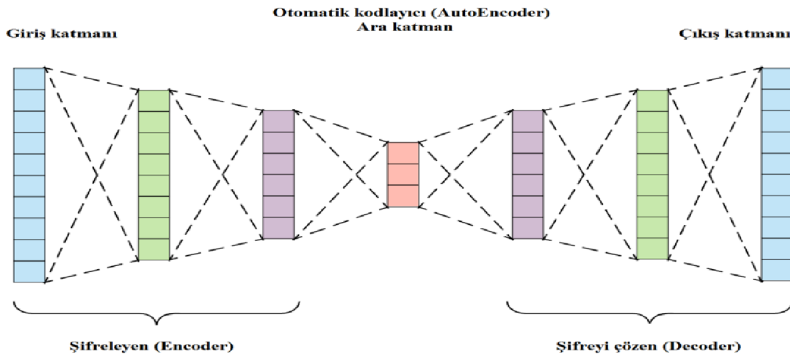
14 KOHONEN, T. (1987). "Int. Conf. on AI", State of the Art in Neural Computing, pp. 1-79, 1-90

15 Öztemel, a.g.e.31-33

- f) Ağda yer alan düğümlerin özelliklerine,
- g) Kullanılan eşik fonksiyonuna,
- h) Düğüme sadece analog / ikil veya sürekli değerlerin uygulanabilmesine,
- i) Eğitim veya öğrenme kurallarına bağlı olarak görülmektedir.¹⁶

3.2. Otomatik kodlayıcılar

Otomatik Kodlayıcılar (AutoEncoder) bir YSA türüdür. Otomatik Kodlayıcılar sıklıkla sunulan giriş değerleri ile çıkışta varılan değerlerin kendi içinde yakın olmasını talep eden YSA'lar olarak bilinir. Bazen bir bazen de birden fazla gizli katman içerirler. Verilen şekilde de görüldüğü gibi YSA ilk önce giriş verisini şifreleyen (Encoder), ardından kendisi tarafından şifrelenen veriyi çözümleyen (Decoder) katmanlardan meydana gelmektedir.



Şekil 1. Bir YSA türü olan Otomatik Kodlayıcılar

Burada verilen YSA'lar içerisinde sıklıkla maliyet fonksiyonu şeklinde Ortalama Karesel Hatanın Karekoku-Root Mean Squared Error (RMSE) tercih edilir. RMSE'de mevcut olması gerekli olan değerden öngörülen değer eksiltilir ve karesi alınır. Ardından tüm sonuçların toplamından bir karekök hesabı yapılarak, total örnek adedine bölünür ve hataya ulaşılır. Çoklu katmanlardan meydana gelen Otomatik Kodlayıcı, eğitilmesi sürecinde geri yayılım algoritmasından (backpropagation) faydalanılır.

16 Şen, Z. (2004). Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Otomatik Kodlayıcılar sıklıkla dataların boyutlarını düşürmede ve gereken oranda veri mevcut olmadığı durumlarda veri çoğaltma amacıyla tercih edilir.

Tavsiye sistemleri bakımından matrisi çarpanlarına ayırma tekniği ile kıyaslandığında, matrisi çarpanlarına ayırma tekniği lineer diğer bir ifade ile doğrusal bir algoritmadan faydalandığında doğrusal gizli nitelikleri (latent factor) algılayabilme yetisine sahiptir. Otomatik Kodlayıcılarda ise lineer olmayan aktivasyon fonksiyonları tercihe edildiğinden lineer olmayan oldukça karmaşık gizli nitelikleri de algılayabilir.¹⁷

3.3. Tekrarlayan yapay sinir ağları

Sıralı verileri eğtmek amacıyla RNN'lerden faydalanılır. Çözümü oldukça güç pek çok sorunun çözülmesi açısından kolaylık sağlayan RNN'ler yazının sese ve sesin yazıya dönüştürülmesi, dil çevirisi, müzik ve yazı yazma, bir yazı içerisinde bir sonra gelecek sözcüğü tahmin etme gibi konularda faydalanılmaktadır.

Öneri sistemleri içerisinde ise örnek olarak, kullanıcı olan bireylerden bir tanesine ait satın alma geçmişi zaman bazlı bir data haline dönüştürülüp, bu data aracılığıyla RNN'ler eğitildiğinde kullanıcı olan kişinin bir daha sonra alma olasılığı olan ürün ön görülebilir. Başka bir örnek verecek olursak, kullanıcı olan kişilerin takip ettiği filmler zamana bazlı ve sıralı bir veriye çevrilirse, bu kişilerin daha sonra izlemek isteyeceği filmler de ön görülebilir.

3.4. Öneri sistemi modelinin eğitilmesi

Öneri sistemi içerisinde kullanıcı olan kişiler siteye giriş yaptığında sistem faaliyete geçer. Kullanıcılardan alınan açık veya kapalı bildirimler sisteme ait eğitim katmanı içerisinde yer alan uygun bir veri tabanına depolanır ve kaydedilir. Bu veriler aracılığıyla makine öğrenmesi bazlı modeller eğitilir ve kullanılacak modele dair bir karar alınır ve ardından model kaydedilir. Burada kaydı gerçekleştirilen model sistemin gereksinimlerine göre zaman içerisinde yenilenebilir. Sistem tarafından siteye gelen kullanıcılara öneride bulunulmak istendiğinde öneri katmanına talep gerçekleştirilir. Yaratılan model uygun tavsiyeleri kural katmanından taşıyarak kullanıcı olan bireye uygun olacak tavsiyeler sunulur. Kural katmanı içerisinde ise sistem için tespit edilmiş olan kurallar yer almaktadır. Kullanıcılara tavsiye edilmemesi gerekli olan mallar veya kimi tarihlerde tavsiye edilmesi gereken ürünler örnek olarak gösterilebilir.

17 Sedhain, S., Menon, A. K., Sanner, S., Xie, L. (2015, Mayıs). Autorec: Autoencoders meet collaborative filtering. In Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web (pp. 111-112). ACM

Sırası ile öneri sistemine ait algoritması altta verilen aşamalardan meydana gelmektedir.

- Kullanıcı olan kişilerden alınan açık veya kapalı bildirimler okunur.
- Toplanan veriler test ve eğitim seti biçiminde ikiye ayrılır.
- Amaçlanmış olan test hatası tespit edilir.
- YSA'ya ait parametreler tespit edilir.
- Tespit edilmiş olan parametreler kullanılarak YSA meydana getirilir
- YSA eğitim verileri kullanılarak eğitilir.
- YSA test verileri kullanılarak test edilir ve ardından test hatası hesaplanır.
- Ulaşılan test hatası amaçlanmış olan test hatasından daha büyük bir değer ise 4. Adıma yeniden başvurulur.
- Ulaşılan test hatası amaçlanan test hatasından daha az ya da eşit çıkarsa model kaydedilir.

4. madde de tespit edilen YSA parametreleri YSA'nın kaç katmandan meydana geleceği, kaç devir altında eğitileceği yani tüm eğitim seti ile eğitilme adedi de ve kullanılan aktivasyon fonksiyonu parametrelerinden meydana gelir.

Şekil. Verilen şekilde algoritma akış şeması gösterilmektedir

Ortaya konana araştırma çalışmasına dair iş akış şeması basamakları altta maddelerle belirtilmiştir

GroupLens çalışanlarının MovieLens internet sitesini kullanan kişilerden elde ettiği açık geri dönüşler tez çalışması kapsamında kullanılmıştır.

- Toplanan veri seti test ve eğitim amaçlı şekilde iki ayrı gruba ayrılmıştır. Eğitime dair veriler YSA'nın eğitimi sürecinde, test seti ise meydana getirilen YSA'yı test etmek amacıyla kullanılmıştır.
- Eğitim ve test seti kullanıcı olan kişilerden her biri için ayrı bir vektör halini almıştır.
- Otomatik Kodlayıcıların eğitilmesi amacıyla hazır duruma gelen veriler aracılığıyla YSA'nın kaç katmandan meydana geleceği, katmanlarda yer alan noron miktarı ve aktivasyon fonksiyonları tespit edilmiştir.
- Hazırlanan modelde 4 ayrı optimizasyon algoritması denenmiştir.
- Veri sayısındaki yükseliş ve düşüşün seçilmiş olan optimizasyon algoritmasına olan etkisi değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- FAUSETT, L. (1994), "Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications", Prentice Hall.
- KEİTH D. Foote (2019). A brief history of machine learning. dataversity web page, Homepage, Data education, Smart Data News, Articles, & Education.
- KOHONEN, T. (1987). "Int. Conf. on AI", State of the Art in Neural Computing, pp. 1-79, 1-90
- MOCKENHAUPT, Andreas (2021). Maschinelles Lernen." Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Produktion. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- ÖZGÜR, S. B. Algoritmalar, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme ve Uygulamaları: Beşeri Fayda Üretiminin Yazılımlar Tarafından Karşılanması. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 10(1), 1-29.
- ÖZTEMELE, Ercan (2003), "Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık", İstanbul.
- SEDHAIN, S., MENON, A. K., SANNER, S., XIE, L. (2015, Mayıs). Autorec: Autoencoders meet collaborative filtering. In Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web (pp. 111-112). ACM
- ÖZGÜR. S. B. Algoritmalar, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme ve Uygulamaları: Beşeri Fayda Üretiminin Yazılımlar Tarafından Karşılanması. Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 10(1), 1-29.
- ŞEN, Z. (2004). Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- TABACHNICK, B.G. & FIDELL, L.S. (2007). Using Multivariate Statistics (5th ed.). Pearson Education, Inc. / Allyn and Bacon.
- L. Deng and D. Yu, "Deep Learning: Methods and Applications," Found. Trends® Signal Process., vol. 7, no. 3-4, pp. 197-387, 2014.
- Rende, F. Ş., Bütün, G., Karahan, Ş., & TÜBİTAK BİLGEM, G. (2016). Derin Öğrenme Algoritmalarında Model Testleri: Derin Testler. *Bilişim Teknolojileri Enstitüsü, TÜBİTAK BİLGEM, Gebze, Kocaeli*.
- Şeker, A., Diri, B., & Balık, H. H. (2017). Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 47-64.



BÖLÜM 5

KIRMA-ÖĞÜTME TESİSLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ (İSG) ÇALIŞMALARINDA GÜRÜLTÜ VE TOZ

Metin UÇURUM¹

¹ Prof. Dr., Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bayburt, Türkiye
E-mail: mucurum@bayburt.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0725-9344

1. Giriş

Madencilik faaliyetlerini temelde iki başlık altında toplamak mümkündür. Bunlardan birincisi Maden İşletme olarak isimlendirilen ve madenlerin yeraltından çıkartılması işlemini gerçekleştiren çalışmalar bütünü ikincisi ise Cevher Hazırlama ismi ile anılan ve yeraltından çıkartılan cevherin işlenmesi ve değer kazandırılması olarak kabaca ifade edilebileceğimiz bilimsel esaslı çalışmaları kapsamaktadır. Maden işletme mühendisliği yeraltı madenciliği (kapalı işletme) ve yerüstü madenciliği (açık işletme) olarak iki farklı yöntemi bünyesinde barındırmakta ve toprak altı madenlerinin kazanımı bu birbirinden farklı iki teknik ve teknoloji ile sağlanmaktadır. Bu çalışmalardan kamuoyunca en iyi bilinen yeraltı madenciliğinin kömür üretimidir. Bunun da en önemli sebebi tahmin edileceği üzere yaşanan maden kazalarıdır. Ancak yeraltı işletme tekniği ile ülkemizde ve Dünya da sadece kömür üretilmemektedir kömürle birlikte birçok maden çeşidi yeraltı işletme tekniği ile ekonomiye kazandırılmaktadır.

Maden Mühendisliğinin az bilinmeyen yüzü ise Cevher Hazırlama Anabilim Dalı olarak isimlendirilen ve maden işletme teknikleri ile yer yüzüne çıkarılan cevherlerin sanayide kullanılabilir hale getirilmesi ve değerinin artırılması çalışmalarını içine alan bilim dalıdır. Cevher Hazırlama, kimya, fizik, biyoloji gibi temel alanlar ile jeoloji, makine, endüstri, enerji ve metalürji-malzeme gibi mühendislik alanlarından da yararlanan çok disiplinli bilimsel çalışmalardan oluşmaktadır. Cevher hazırlama Anabilim Dalı da kendi içerisinde Cevher Hazırlama ve Cevher Zenginleştirme olarak iki farklı bilim dalına sahiptir. Cevher Hazırlama çalışmaları içerisinde iki temel konu olup bunlar ufalama ve sınıflandırmadır. Cevher Zenginleştirme çalışma konuları ise, boyuta göre sınıflandırma ve triyaj ile zenginleştirme, özgül ağırlık farkı (gravite) ile zenginleştirme, manyetik ve elektrostatik ayırma ile zenginleştirme, flotasyon ve kimyasal zenginleştirme başlıkları altında toplanmaktadır.

Cevher Hazırlama bilim dalının temel çalışma alanları ufalama (kıırma-öğütme) ve sınıflandırma (eleme-klasifikasyon) çalışmalarıdır. Cevher Hazırlama tesislerinin çalışma şekli fabrika özelliklerine haiz olup kendine özgü iş sağlığı ve güvenliği (İSG) bağlamında tehlikeler ve riskler içermektedir. Dünyada ve ülkemizde ufalama ve sınıflandırma tesisleri başta madencilik ve inşaat olmak üzere bazı temel mühendislik alanlarına hizmet etmek üzere kurulmaktadır. Bu tesislerde iş sağlığı ve güvenliğinin (İSG) madenciliğin ve inşaatın diğer çalışma alanlarında olduğu gibi ön plana çıkan bir olgu olduğu gerçeği vardır. Bu nedenle söz konusu tesislerde İSG adına yapılması gereken bilimsel içerikli çalışmalar söz konusu olup bu yazıda cevher hazırlama tesislerinden olan kırma-öğütme işletmelerinde dominant risklerden Gürültü ve Toz üzerinde durulacaktır.

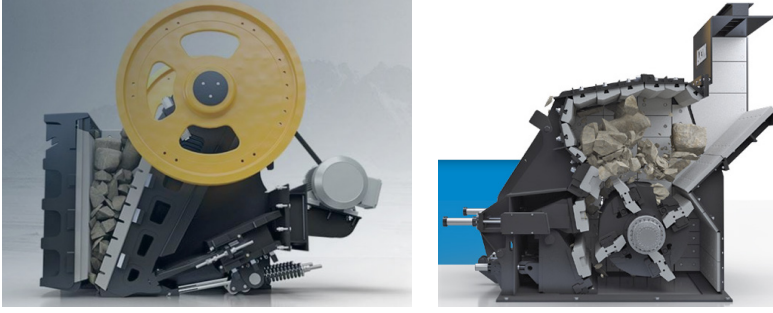
2. Kırma-Öğütme Tesisleri

Cevher hazırlama bilim dalına ait çalışmalar gerek akademide gerekse sanayide yüzyıllardır devam ede gelmektedir. Ufalama (kırma, öğütme) ve sınıflandırma (eleme, klasifikasyon) işlemleri sanayi alanında ağır iş makineleri sınıfında değerlendirilebilecek kapasite ve ağırlıktaki makineler ile yapılmaktadır. Bu makineler gerek kurulumu gerekse işletimi özel uzmanlık gerektiren sanayi araçlarıdır. Özellikle ufalama için kullanılan kırıcılar ve değirmenler yüksek enerji tüketimine sahip iş makineleridir. Büyük kapasiteli ufalama tesislerinin enerji ihtiyacının karşılanması kapsamında işletmeciler tarafından bazı durumlarda küçük kapasiteli elektrik üretim tesislerinin kurumu yoluna dahi gidilebilmektedir.

Madencilikte genel olarak cevherin ocaktan patlatılarak değirmende toz haline getirilmesine kadar yapılan işlemlere “ufalama ifadesi kullanılmaktadır. Cevher hazırlamada ufalama işlemi için “kırma” veya “öğütme” terimleri bilimsel olarak kullanılmaktadır. Aralarındaki fark, kırmayla elde edilen ürünün, öğütle elde edilenden daha iri olmasıdır. Boyut küçültme işleminde çeşitli şekil, konfigürasyon ve boyutlarda mekanik akşamlara sahip makineleri kullanılır. Ufalama makinesinin yapısına ve özelliklerine bağlı olarak mekanik olarak üretilen güç, basınç, darbe veya kesme kuvvetlerinden birine veya birkaçına dönüştürülür ve bu kuvvetlere maruz kalan malzeme daha küçük boyutlara ufalanır [1]. Ufalamanın birinci aşaması kırma işlemleridir. Bu işlem teknik ismi ile kırıcılar olarak bilinen makinelerde gerçekleştirilmekte olup sanayide bu makineler konkasör olarak da anılmaktadır. Sanayide kırma işlemi neticesinde amaçlanan bir boyut söz konusu olup bu amaca ulaşmak için kırılmaya tabi tutulan cevherin tane boyutuna bağlı olarak üç farklı kırmadan söz etmek mümkündür. Bunlar iri (kaba) kırma (+100 mm), orta kırma (-100+10 mm) ve ince kırma (-10 mm)’dir. Kırma prosesi tek aşamada sonuçlanan bir işlem olmaktan ziyade kademeli bir kırma silsilesi söz konusu olup bunun temel nedeni ise kırıcı makinelerinin ulaşacağı kırma oranlarının sınırlı olmasıdır. Buna göre kırıcılar primer, sekonder ve tersiyer olmak üzere temelde üç sınıfta toplanabilmektedir. Bu makinelerin parçaların kırıcıya giriş kısmı (ağız açıklığı), kırma işleminin gerçekleştiği kısım (kırma odası) ve kırılmış parçaların kırıcıdan çıkış kısmı (çıkış açıklığı) olmak üzere üç ana ünitesi mevcuttur Primer (birincil) kırma işlemleri teknik isimleri ile çeneli, döner ve şoklu kırıcılar ile yapılmaktadır. İkincil (sekonder) kırma işleminin gerçekleştirildiği kırıcılardan olan Jiroskopik döner kırıcılar, konik kırıcılar, çekimli kırıcılar ve merdaneli kırıcılarlardır [2]. Primer kırıcılardan çeneli kırıcı sekonder kırıcılardan darbeli kırıcı örnekleri Şekil 1’de verilmiştir. Sekonder yani ikincil kırıcılar primer kırıcılar kadar kapasiteli ve ağır tonajlı olmamakla birlikte bu makinelerde ağır iş makinesi sınıfında yer alabilecek özelliklere haiz oldukları bilinmektedir. Tersiyer kırıcılar

olarak adlandırılan ve üçüncül kırma işlemi için tasarlanmış kırma makineleri daha ince ürün eldesi için kullanılmakta olup daha çok sekonder kırıcıların daha küçük kapasiteli ve daha büyük kırma oranına sahip versiyonları olarak karşımıza çıkabilmektedir. Söz konusu bu makinelerin kapasiteleri, ağız açıklıkları gibi bazı değerleri küçük olup enerji tüketimleri kısmen sekonder kırıcı grubuna nazaran daha düşük sayılabilecek değerlere sahiptir.

Kırma öğütme tesislerinde ocaktan üretilen malzemenin yerinde küçültülmesi, taşıma girdilerinin azaltılması ve kolaylaştırılması için mobil primer kırıcılar kullanılabilirken ocağın rezervine bağlı olarak sabit primer kırma tesisi kurulumuna da gidilebilmektedir. Mobil veya sabit kırma tesislerinde kırılan cevher öğütme tesisinde kurulan ve primer kırma işlemine tabi tutulmuş cevher, öğütme için daha ince boyutlara kırmak amacı ile sekonder kırma tesisine beslenir ve buradan elde edilen ürün öğütme tesisine sevk edilir.

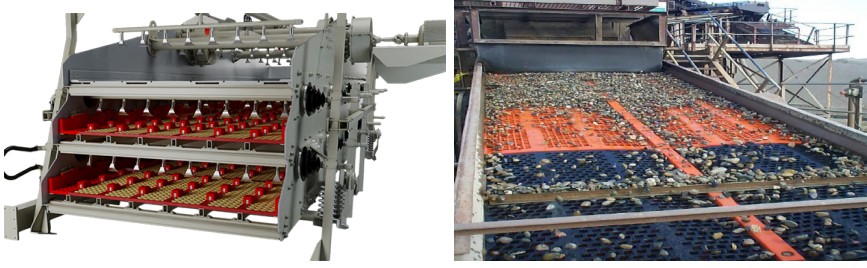


(a)

(b)

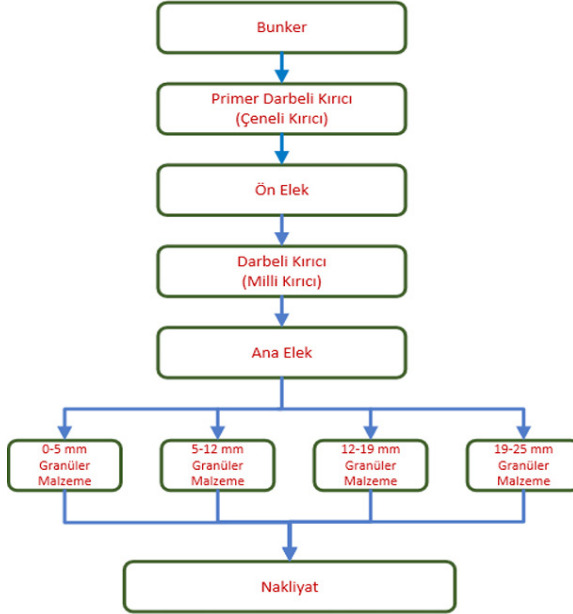
Şekil 1. Çeneli (a) ve Darbeli Kırıcı (b) [3]

Cevher hazırlama çalışmaları içinde yer alan ve kırılan tanelerin sınıflandırılması amacıyla yapılan işlemler serisi de elemedir. Eleme, farklı boyutlara kırılan parçaların tane büyüklüğüne göre sınıflandırılması veya birbirinden ayrılması için sabit ya da hareketli elekler kullanılarak gerçekleştirilen endüstriyel bir ayırma işlemidir. Şekil 2’de endüstride kullanılan elek görünümüne bir örnek verilmiştir. Eleme işlemleri endüstriyel ölçekte yine büyük kapasiteli farklı açıklıklara sahip elekler ile yapılmaktadır. Kırma devrelerinde kullanılan ilk elek tipi ızgaralardır. Bunlar birbirine paralel kalın çubuklardan oluşmuş olup barlar arasındaki açıklık, bir sonraki makine için yani genellikle kırıcılar için uygun üst boyuta yani kırıcı ağız açıklığına yakındır. Bununla birlikte sabit millî elekler, titreşimli yatay ve eğimli elekler, salınlı ve sallantılı elekler, dairesel ve konik hareketli elekler, gyrotor ve merkezkaç elekler, titreşimli elekler, tromel ve rotary elekler gibi birçok elek çeşidi mevcuttur sanayinin kullanımındadır [4].



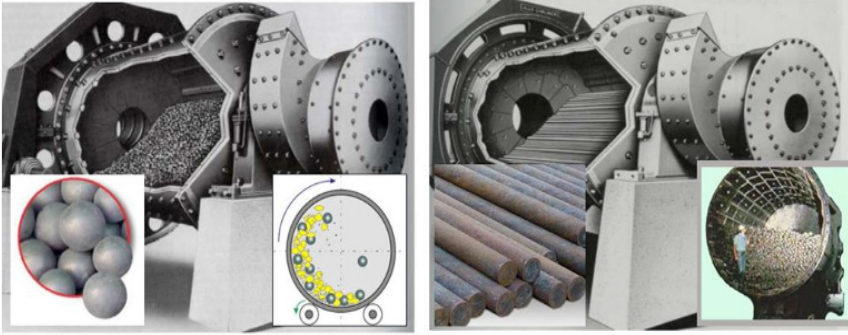
Şekil 2. Endüstride Kullanılan Elek Örnekleri [5, 6].

Kırma-eleme tesislerinde kullanılan eleklerin daha çok büyük ve kare açıklıklı elekler olduğu görülmektedir. Mekanik aksam olarak sabit eleklerin ihtiyaç duyulması durumunda primer kırıcılarla birlikte çalıştırıldığı hareketli (daha çok titreşimli) hareket mekanizmalı endüstriyel eleklerin ise sekonder ve üçüncül kırma olan tersiyer kırma devrelerinde çalıştırılmaktadırlar. Sanayi ölçekli bakıldığında sınıflandırıcıların en önemli makineleri elekler olup uygulanmada daha çok kırıcılar ile birlikte kapalı devre çalıştırıldığı uygulamalar ağırlıktadır. Yani burada üzerinde durulması gereken husus kırma ve eleme makinelerinin tek başına çalıştırılmalarından ziyade çoğunlukla bir sistemim parçası olarak görev yapmalarıdır. Bunun teknik ismi Kırma-Eleme sistemleridir. Bununla ilgili bir örnek akım şeması Şekil 3’de verilmiştir. Bu akım şemasında da görüldüğü üzere kırıcılar ve elekler bir sistemi daha doğrusu bir tesisi oluşturmaktadır.



Şekil 3. Kırma-Eleme Tesisi Örnek İş Akış Şeması [7].

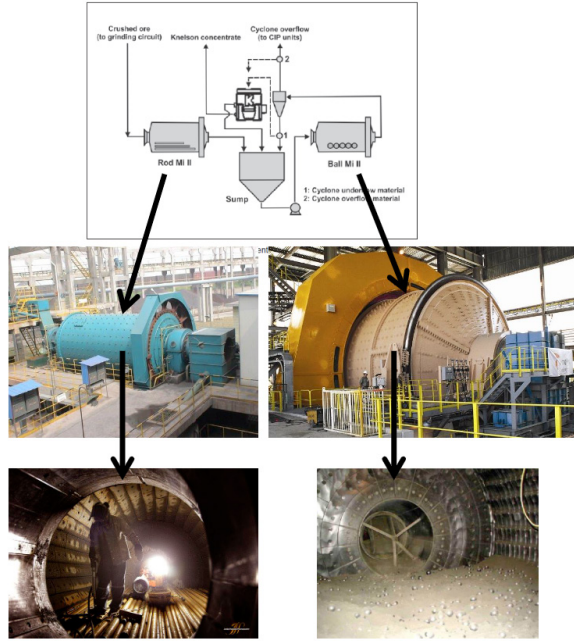
Öğütme işlemleri oldukça pahalı ve karmaşık sistemleri içinde barındırır. Öğütme kuru veya yaş olmak üzere iki uygulamaya sahiptir. Sanayi ölçekli bilyeli ve çubuklu değirmenlerin (Şekil 4) bazı teknik değerleri örnek olması bakımından verilmesi gerekirse boy *çap değeri 9*6 m, 6000 kW motor gücüne sahip ve 367 ton öğütme amaçlı kullanılan ortam (bilye veya çubuk) ağırlığı ile çalışan [8] çok ağır iş makineleri ile öğütme prosesleri gerçekleştirilmektedir (Şekil 5). Verilen örnekten anlaşılacağı üzere söz konusu makineler ağır iş makineleri sınıfında yer almaktadırlar. Kırma-eleme işlemlerinde olduğu gibi değirmenlerde bir sınıflandırıcı (klasifikatörler, hidrosiklonlar, Şekil 6) ile birlikte tesislerde görev yaparlar. Buna ait bir basit akım şeması Şekil 5’de verilmiştir. Bu akım şemasında çubuklu ve bilyeli değirmen seri ve hidrosiklon ile kapalı devre birlikte çalışmaktadır. Bu sistemin yaş çalışan öğütme prosesi olduğunu belirtmek gerekmektedir.



(a)

(b)

Şekil 4. Bilyeli (a) ve Çubuklu (b) Değirmen [9]



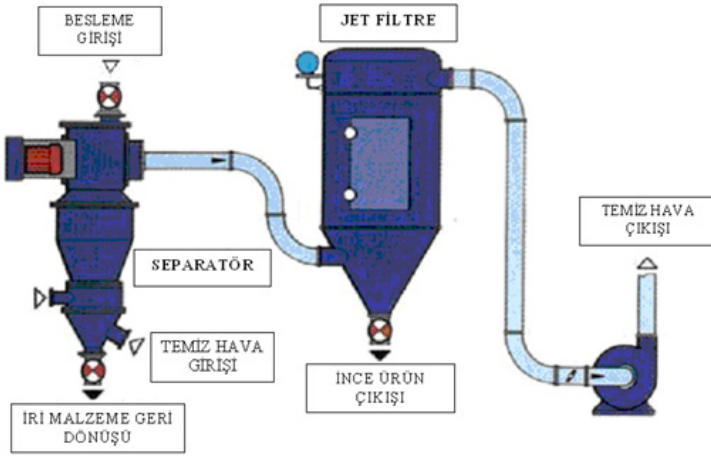
Şekil 5. Bilyeli ve Çubuklu Değirmenlerden Oluşan Klasik Öğütme Devresi [9]



Şekil 6. Spiral Klasifikatör (a) ve Hidrosiklon (b) [10, 11]

Değirmenler özellikle mikronize öğütme tesislerinde kuru olarak çalıştırılırlar ve bir seperatör ile kapalı devre halindedir. Değirmen olarak mikronize öğütme tesislerinde bilyeli değirmen kullanılabilirdiği gibi dik karıştırmalı değirmenlerin ülkemizde ve Dünyada kullanım ağırlığı giderek artmaktadır. Bu tesislerde değirmen bir sınıflandırıcı ile kapalı devre olarak çalıştırılırlar. Bu kapalı devre sistemi yaş öğütmede olduğu gibi basit bir düzeneden ziyade daha kompleks ve daha fazla makinenin yer aldığı sınıflandırma üniteleri şeklindedir. Şekil 7’de bu sınıflandırma

ünitesinin parçaları verilmiştir. Mikronize öğütme tesisleri ülkemizde ve Dünya’da çok ince öğütülmüş endüstriyel hammadde (kalsit, dolomit, talk, kuvars vb.) ihtiyacı arttıkça çoğalan ufalama tesisleridir. Bu işletmelerin temel özelliği cevheri doğadan tüvanan olarak kırma-sınıflandırma+öğütme-seperatör prosesleri ile d_{50} değeri 2-3 mikrona kadar öğütme yapan tesislerdir. Elde edilen mikronize ürünler başta plastik ve boya olmak üzere birçok sanayi kuruluşuna satışları yapılmaktadır. Bu tesislerin çoğunluğunun kuru olarak çalıştırılmaları ve paketlenmesi nedeni ile özellikle toz probleminin söz konusu olduğu işletmelerdir.



Şekil 7. Kuru Öğütmede Kullanılan Seperatör Sistemi [12, 13].

3. Kırma-Öğütme Tesislerinde Gürültü ve Toz

3.1. Gürültü

Ses, havada ses dalgaları şeklinde ilerleyen hava parçacıklarının titreşimidir. Hava parçacıkları titreştiğinde ses üretilir. Bu titreşimlerin kaynağı (yani sesin kaynağı) titreşen bir nesne, makine veya bir darbe olabilir. Fiziksel olarak ses ile gürültü arasında bir fark yoktur. Gürültü, “hoşa gitmeyen, istenmeyen, rahatsız edici ses” olarak tanımlanmaktadır. Genellikle yapay olarak ortaya çıkan, istenmeyen sesler olarak tanımlanır. Gürültü temel de üç şekilde sınıflandırılabilir bunlar;

-sabit gürültü: bir zaman dilimi içinde sabit bir şekilde aynı dozda süren gürültüyü tanımlar, jeneratör buna örnek verilebilir,

-değişken gürültü, bu da adı üzerinde olup zaman içinde değişiklik gösteren gürültü olup buna da sanayi üretimi örnek verilebilir

-anlık gürültü, kısa süreli oluşan ve sonrasında kaybolan gürültü olup

bir araba kazası buna örnek oluşturabilir [14].

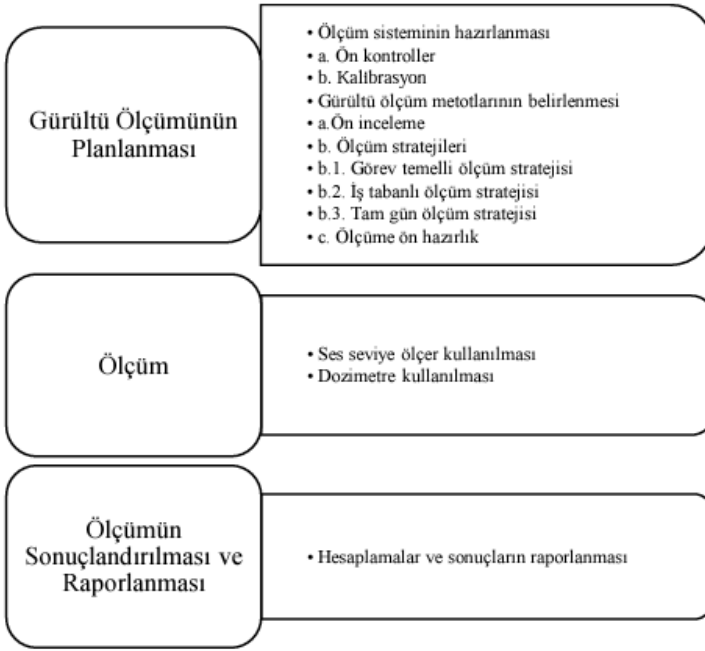
Kırma-eleme tesisleri gürültü bazlı incelendiği zaman değişken gürültü sınıfına daha yakın olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Çünkü kırma ünitelerinde kırılan kayaçların heterojen yapılı olduğu bilimsel gerçeğinden yola çıkıldığı zaman kırıcıların her bir parçayı kırmak için kullandıkları güç farklı olacağından kırma esnasındaki oluşacak gürültüde sürekli farklı desibellerde olacaktır. Öğütme tesislerinde ise kullanılan değirmenlerin çok büyük enerji tüketen motorlar ile çalışması ve değirmen içindeki öğütücü ortam (çubuk-bilye) hareketinden kaynaklı sabit gürültü sınıfında değerlendirilebilecek bir ses söz konusu olabilmektedir. Bununla birlikte değirmen ile seri çalışan sınıflandırıcılarında tesis gürültüsünün artmasına katkı sağlayacak oranlarda ses çıkardığının belirtilmesinde fayda vardır. Bu durum İSG açısından irdelendiği zaman öncelikle sağlıklı bir gürültü ölçümünün yapılarak ve haritalandırılarak işletmede gürültü ile mücadeleye başlanması gerekmektedir. Bilindiği üzere gürültünün çalışanların üzerinde fiziksel ve psikolojik olumsuz etkileri sürekli maruziyetle birlikte meslek hastalıklarına evrilebilmektedir. Bu nedenle özellikle iş yeri hekiminin bu tabloyu iyi değerlendirerek gerekli sağlık önlemleri için adımlar atması şarttır.

Tablo 1’de farklı gürültü seviyelerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri özetlenmiştir. 60 dB-65 dB’den başlayarak gürültü sağlık üzerinde olumsuz etkilerine başlamaktadır. Burada göz ardı edilmemesi gereken nokta psikolojik etkinin orta seviye sayılabilecek bir desibelde stres ve huzursuzluğa yol açtığıdır. Bilindiği üzere insan kaynaklı iş kazalarının oranı oldukça yüksek seviyelerde olup bunun temel unsuru ise strestir. Gürültü miktarı arttıkça kalp ve damar hastalıkları, uyku bozuklukları ve sonrasında işitme kaybına kadar ulaşan biyolojik riskler çalışanların karşısına çıkabilmektedir. Bu tesislerde açığa çıkan gürültü sürekli maruziyet durumunda özellikle kulak ve ruh sağlığını etkilediğini genel olarak belirtmek gerekir. Gürültünün neden olduğu diğer bir problem ise tesis içi insanlar arası konvansiyonel iletişimin aksamasıdır. Bu bazen bu iş aksamalarına ve kazalarına neden olabilecek seviyeye kadar çıkabilmektedir.

Tablo 1. Gürültü Düzeyi ve Sağlık Etkileri Arasındaki İlişki [14]

Gürültü Seviyesi Aralığı	Sağlık Üzerine Etkileri
20 dB – 55 dB	----
60 dB – 65 dB	Stres, Huzursuzluk
70 dB – 75 dB	Kardiyovasküler Etkiler, Uyku Bozuklukları
85 dB	İşitme Kaybı, Tinnitus (kulak çınlaması)
90 dB – 140 dB	İşitme Sisteminde Ani Hasarlar Oluşması

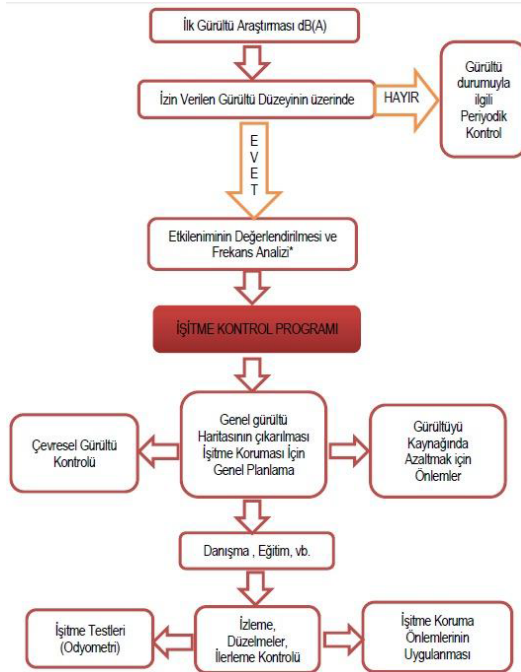
İşletmelerde gürültü ile mücadelenin başlangıç noktası gürültünün doğru ölçülmesi ile başlamaktadır. Gürültü ölçümleri takdir edileceği gibi uzmanlık gerektiren İSG çalışmalarındandır. Günlük hayatta rastgele cihazlarla yapılan ses-gürültü ölçümleri bağlamında değerlendirmemek gerekmektedir. İSG adına yapılan bütün ölçümlerin yasal bir dayanağı ve gerekçesi söz konusu olup ölçümlerin yönetmelik ve standartların öngördüğü çerçevede yaparak dökümanite edilmesinde faydalar vardır. Gürültü ölçümünde kullanılacak cihazların kalibrasyonundan ölçümü yapacak kişiye kadar birçok teknik detaylar vardır. Bu çalışmalar gerek iş yeri hekimi gerekse İSG uzmanının kontrolünde yapılması sağlıklı sonuçların alınmasının temel şartıdır. Gürültü ölçümü basamakları Şekil 8’de topluca verilmiştir.



Şekil 8. Gürültü Ölçümü Basamakları [15, 16]

Şekil 9’da gürültü kontrol programının aşamaları verilmiştir. İşlemin ilk basamağını sesin şiddetinin dB olarak ölçülmesi almaktadır. Yönetmelik esasları temel alınarak yapılan ölçüm değeri izin sınırlarının üstünde ise bu durumda frekansının da değerlendirilmeye alınması gerekmektedir. Elde edilen sonuçlara göre ona göre kulak koruyucular tespit edilmelidir. Ayrıca gürültü azaltma teknikleri de masaya yatırılması gerekmektedir. Gürültü Yönetmeliğinin yanı sıra TS 2607 ISO 1999 “İşyerinde gürültüye maruz kalmanın belirlenmesi ve bu gürültüden kaynaklanan işitme kaybının tahmin edilmesi” ve TS EN ISO 9612 “Gürültü ölçümü ve de-

ğerlendirilmesine ilişkin esaslar” başlıklı standartlar geliştirilmiştir. 2008 yılında Resmi Gazete’de yayımlanan “Mesleki Çalışma Kapasitesi Kayıp Oranının Belirlenmesi ve Kapasite Kazanılması Hakkında Yönetmelik”e göre gürültü tehlikeleri meslek hastalığı sayılmakta olup, gürültülü işlerde en az iki yıl çalışılması ve ayrıca Gürültü yoğunluğunun sürekli olarak 85 dB’den yüksek olması işyerinde en az 30 gün (1 ay) çalışılmış olması gereklidir. Ayrıca gürültüden kaynaklanan işitme kayıplarında sorumluluk süresi 6 aydır [17]. Bütün tesislerde olduğu üzere kırma öğütme tesislerinde de tesisin her noktasında gürültü düzeyinin aynı olması doğal olarak beklenmez. Bu nedenle teknik yönetmelikler doğrultusunda kırma-öğütme tesisinin belirli noktalarında gürültü ölçümleri yapılarak kayıt altına alınmalı ve gürültü haritası hazırlanarak çalışanlar elde edilen veriler doğrultusunda bilgilendirilmelidirler. Gürültü azaltmada üzerinde durulan önemli teknik detaylardan bir tanesi de gürültünün kaynağında azaltılması veya yok edilmesidir. Bu söz konusu tesisler için çok mümkün olan bir durum değildir. Bu tesislerde gürültü işin doğasında olup sıfırlanmaları yerine minimize edilmeleri üzerinde çalışılması gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Ancak yeni nesil kırma ve eleme makineleri gürültünün kaynağında minimize edilmesi düşüncesi ile imal edilmekle birlikte istenilen seviyelere inmek yukarıda belirtildiği gibi işin doğası gereği çok mümkün olmamaktadır.



Şekil 9. Gürültü Kontrol Programı [17, 18].

Gürültülü işyerlerinde çalışan kişilerin işe giriş sınavlarında da işitme ölçümleri yapılmaktadır. Başlangıçta işitme sorunu olan kişiler işe alınmamalıdır. Düzenli işçi muayeneleri sırasında işitme kaybı izlenmelidir. Teknik korumaya yönelik en etkili tedbir gürültü yoğunluğunu 85 desibelin altında kontrol altına alacak tedbirlerin alınmasıdır. Bu nedenle daha az gürültülü üretim teknikleri tercih edilmektedir. Gürültü üreten ekipmanlar izole edilmeli ve düzenli olarak bakımı yapılmalıdır. Ayrıca kişisel koruyucu ekipmanlar (kulak tıkacı, kulak tıkacı, başlık) kullanılabilir. Gürültülü ekipmanların izole edilmesi, çalışanların çalışma saatlerinin azaltılması ve bu ortamda mümkün olduğunca az kişinin çalıştırılması gibi organizasyonel önlemler de gereklidir. Güvenli Gürültü Seviyeleri Güvenli gürültü seviyeleri temel olarak iki şeye bağlıdır. Gürültü seviyesi, gürültüye ne kadar süreyle maruz kaldığımız süredir [19]. Bütün tesislerde olduğu gibi kırma-öğütme tesislerinde de risklerin önlenmesinde toplu koruma önlemlerinin öncelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmaların ilkinde de işe giriş ve sonrası için rutin sağlık kontrollerinin oluşturduğunu bilmek gerekmektedir. Kişisel koruyucular en son çare olarak görülmeli ve onun öncesinde yapılabilecek bütün teknik ve yönetsel önlemler devreye alınmalıdır. Ufalama tesislerinde dominant risklerinden olan gürültünün işletmelerde yasal sınırlara çekilememesi sonrası İSG çalışmalarında son başvurulması gereken kişisel koruyucu donanımlarından (KKD) yararlanmamız doğru bir İSG adımı olacaktır. Ancak çalışanlar için kişisel koruyucu donanımı (KKD) seçiminde dikkat edilmesi gereken birçok nokta vardır. Bunlar genel olarak “Kişisel Koruyucu Donanım Yönetmeliği” hükümlerine uygun olarak dizayn edilmiş ve üretilmiş olmalıdır. Diğer önemli husus ise bu KKD’leri kullanacak kişinin bu konuda eğitilmesidir. Genel olarak irdelendiğinde çalışma hayatında çalışanlara uygulanan yaptırımlarda en fazla zorlanılan konu KKD kullanımlarında karşımıza çıkmaktadır. Bunun aşılması için denildiği gibi çalışanın bu konuda eğitilerek sorumluluklarının ve haklarının öğretilmesi gerekmektedir.

Mevzuat, kulak koruyucu ekipmanların gürültü risklerini ortadan kaldıracak veya en aza indirecek şekilde seçilmesi gerektiğini belirtmektedir. Genel olarak bu kişisel koruyucu ekipmanlar ek risk oluşturmamalıdır. Bu nedenle, herhangi bir kişisel koruyucu ekipmanda olduğu gibi, kulak koruyucunun da doğru seçimi bir öncelik olmalıdır. Avrupa ve Türkiye’de kabul edilen kulak koruyucu donanım standardı EN 352’dir. EN 352 standart serisi (EN 352-1: Kulaklıklar, EN 352-2: Kulak tıkaçları, EN 352-3: Kaska monte kulaklıklar), kulak koruyucu ekipmanların yapısını, tasarımını, performansını, işaretlenmesini ve kullanıcı bilgilerini kapsar. Öncelikle EN 458’e göre aşağıdaki maddeler bir kulak koruyucu donanım için olmazsa olmazlardandır: CE işareti, Ses zayıflatma özelliği, Kullanıcı konforu, Ortam ve aktivite, Tıbbi bozukluklar, Baret, gözlük gibi diğer

kişisel koruyucu donanımla uyumluluk [20, 21]. KKD'lerden gürültü koruyucular genellikle üç kategoriye ayrılır: kulak tıkaçları, kulaklıklar ve kaska takılan kulaklıklardır (Şekil 10).



Şekil 10. Kulak Tıkaçı, Kulaklık ve Barete Takılabilir Kulaklık [22]

Genel olarak madencilik esaslı bütün tesislerde gürültünün İSG çalışmalarında mücadele edilmesi gereken en önemli risklerden olduğu bir gerçektir. Ufalama tesislerinde ise bu risk bir adım daha öne çıkarak çalışma ortamını zorlaştıran ve başta psikolojik ve kulak problemleri olmak üzere meslek hastalıklarına neden olan önemli iş yeri risklerinden olduğu bilinmektedir. Bir riskin meslek hastalığına sebep olabilmesi için temel şart sürekli maruziyetin olmasıdır. Gürültüde ufalama tesislerinde sınırlanamayan bir problem olduğu için çalışanların gerekli önlemlerin alınmaması halinde sürekli maruziyet kaçınılmaz bir durum olabilmektedir. Bu nedenle söz konusu tesislerde gürültü ile mücadeleye ayrı bir parantez açarak İSG çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Özellikle gürültünün iletişimi engelleyecek bir düzeyde tutulmaması bir başka deyişle bu işletmelerde günümüz teknolojilerinden de yararlanarak çalışanlar arasındaki iletişimin kesintisiz ve anlaşılır bir formda olması sağlanmak zorundadır. Zira insan kaynaklı iş kazalarının bir kısmını iletişimsizlik veya yanlış anlamalar neticesinde vuku bulduğu göz ardı edilmemelidir.

3.2. Toz

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, havada bir süre asılı kalan, ancak kendi ağırlıkları altında çöken, 100 mikrondan (μm) küçük katı parçacıklara toz adı verilmektedir [23]. Toz tiplerini ise Tablo 2'deki gibi sınıflandırılmak mümkündür. Tablonun irdelenmesi sonrasında tozların biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre sınıflandırmanın mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Burada tozun en önemli özelliği olan ve toz adıyla anılmasının nedeni olan boyut dağılımı da ayrı bir öneme sahiptir. Üzerinde çalışılan kırma öğütme tesisleri büyük cevher parçalarının (en büyük +1 m kadar olabilen) mikron (μm) boyutuna kadar indirgenmesini sağlayan endüstriyel işletmelerdir. Genellikle kuru olarak gerçekleştirilen bu prosesler sonrasında her boyutta hatta mikron altı boyutlarda partiküllerin açığa çıkması kaçınıl-

maz olmaktadır. İşte bu mikron altı ve özellikle -10 μm boyutlu tanelerin iş yerinde toz olarak yer alması ve meslek hastalıkları noktasında tehdit oluşturabilmektedir. Bu nedenle söz konusu işletmeler de İSG adına yapılması gereken çalışmaların başında toz ile mücadele gelmektedir. Burada vurgulanması gereken hususlardan bir tanesi söz konusu tozların inorganik olmaları biyolojik ve kimyasal risk faktörlerinden çoğunu bünyelerinde taşıyor olmaları gerçeğidir.

Tablo 2. Genel Toz Tiplerinin Sınıflandırılması [23, 24].

Biyolojik Etkilerine Göre	Fiziksel Özelliklerine Göre	Kimyasal Özelliklerine Göre	Parçacık Boyutuna Göre	Endüstriye Göre
Fibrojeniktozlar (silis, asbest, talk vb.)	Kristal tozlar (moleküler sekansı bilinmemektedir)	Organik toz (odun tozu, pamuk tozu vb.)	Çok ince toz (0,1-50 μm),	Ultra ince tozlar (0,1-1 μm dolaylarında)
Toksiktozlar (kurşun, kadmiyum, berilyum)	Amorf tozlardır (moleküler sekansı bilinmemektedir).	İnorganik tozlardır (asbest, silika, kömür tozu)	İnce toz (50-100 μm)	Süper ince tozlar (1-10 μm dolaylarında)
Kanserojen tozlar (asbest, krom, nikel)			Kaba toz (100-1000 μm)	Granülömsü ince tozlar (10-100 μm dolaylarında)
Radyoaktif tozlar (uranyum, radyum, toryum)				
Alerjik tozlar (pamuk tozu, un, tahıl)				
Inerttozlar (kireçtaşı, tütün tozu)				

Tozlu ortamda çalışmak görüş alanınızı daraltabilir, iş verimliliğinizi azaltabilir ve meslek hastalıklarına neden olabilir. Ortamdaki yüksek toz ve partikül madde içeriği insan sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. 0,5-5 mikronluk bant büyüklüğündeki tozlar, solunum yoluyla akciğerlere ulaşır ve orada birikerek pnömokonyoz hastalığına neden olur. Toz ölçümü, iş sağlığı ve güvenliğinde olası risklerin önlenmesini amaçlayan mesleki ortam ölçümlerinden biridir. Tozun olumsuz etkilerini önlemek ve tozla mücadele etmek için işyerlerinde toz ölçümü yapılmalıdır. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve Toz Yönetmeliği bu zorunluluğu zorunlu kılmaktadır. Tüm toz ölçümleri Toz İş Sağlığı Yönetmeli-

ği ve Toz Ölçümü Yönetmeliğine uygun olarak yapılmaktadır. Tozdan korunma açısından çalışan sağlığına en zararlı olan 0,5-5 mikron partikül boyutundaki tozları yakalayabilen uygun toz maskesinin seçilmesi ve kullanılması önemlidir. Toz ölçüm cihazları; konimetre, filtreli aletler, gravimetrik ölçüm, ısısal çökeltici, tinalometre, elektrostatik presipitator, radyasyon dedektörü, yüzeysel toz ölçüm cihazlarıdır (toz kovaları) [25].

Kırma öğütme tesislerinde tahmin edileceği üzere özellikle kuru prosesin söz konusu olduğu işletmelerde toz konsantrasyonunun nispeten daha yüksek olduğu işletmeler olarak değerlendirmek yanlış olmayacaktır. Çalışanların konforunun sağlanmasının temel gereksinimi tozun çalışma alanlarından teknik önleyici yani mühendislik tedbirlerle uzaklaştırılarak toz konsantrasyonunun yasal limitlere çekilebilmesi ve çalışanların toz maskesi kullanmadan çalışmalarının sağlanmasıdır. Ancak üzerinde çalışılan tesislerin özellikle bu çok olası olmamaktadır. Bu nedenle kırma ve kuru öğütme tesislerinde doğru toz ölçümünün yapılarak raporlanması ve gerekli İSG çalışmalarının hayata geçirilmesi özellikle meslek hastalıklarının gelişmemesi bakımından hayati rol oynamaktadır.

Tozlu ortamlara sahip işyerleri çalışan sağlığı açısından birçok riski beraberinde getirmekte, solunabilen tozlar mesleki solunum yolu hastalıklarına neden olarak çalışan sağlığını tehdit etmektedir. Risk değerlendirmeleri yaparak ve işyeri tozuna karşı proaktif önlemler alarak güvenli bir çalışma ortamı oluşturabilir ve meslek hastalıklarını önlenebilmektedir [26]. Bu tozların kırma öğütme tesislerinde ortaya çıkan ve akciğerde depolanıp ve fibroz oluşturma riski olan inorganik tozlar literatürde sınıflandırılması şu şekilde verilmektedir; metal tozları (demir tozu, çinko tozu, bakır tozu vb.), metalik olmayan tozlar (kömür tozu, kükürt), doğal bileşik tozlar (kil, mineraller), kimyasal bileşik tozlar (çinko oksit, manganez oksit, vb.), mineraller (kristalin silika tozu), asbest lifleri içeren tozlar ve yapay mineral lifler (alüminyum silikat lifleri) [26, 27]. Yeryüzüne çıkarılarak ekonomiye kazandırılan değerli cevherlerin mineralojik yapıları dolayısı ile kimyasal özellikleri birbirinden farklıdır ve birçok zararlı element içermesi olasıdır. Genel olarak bakıldığında kırma-öğütme tesislerinde inorganik tozlardan bahsetmek doğru olacaktır. Burada vurgulanması gereken hususlardan bir tanesi kırma-öğütme-sınıflandırmaya tabi tutulan cevherin mineralojik yapısına bağlı olarak tozlar açığa çıkması ve her tesis için bu toz tiplerinin belirlenmesi ve konsantrasyonlarının ölçülmesi gerekliliğidir. Örneğin kömürün içerdiği mineral maddenin %95'inden fazlasını içeren majör mineraller; alümina silikat mineralleri (killer), (ii) karbonat mineralleri (kalsit- CaCO_3 , siderit- FeCO_3 , dolomit- $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ gibi), (iii) kükürtlü mineraller (pirit- markazit- FeS_2 gibi) ve (iv) silikat mineralleri (kuvars- SiO_2 gibi) olmak üzere başlıca dört guruba ayrılmaktadır [28]. Diğer bir örnek olarak metal cevheri olan krom verilecek olursa bu

cevher genellikle saf kromit-(FeO.Cr₂O₃), serpantin-3MgO₂.SiO₂.2H₂O, olivin-2(Mg, Fe)O.SiO₂, feldspatlar-CaO.Al₂O₃.2SiO₂, kloritler- 5(MgFe)O.Al₂O₃.3SiO₂.4H₂O, enstatit-MgO.SiO₂ ve proksen diopsit- CaOMgO.2SiO₂ [29] gibi minerallerden meydana gelmektedir.

Toz, genellikle havada veya diğer gazlarla karışım halinde bulunan çeşitli boyutlardaki katı parçacıkları tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Toz, aşındırıcı malzemeleri küçük parçacıklara ayıran mekanik bir işlemle oluşur. Bu işlemler, mikroskop altında bile neredeyse görülemeyen küçük parçacıklardan, çıplak gözle görülebilen ve ana malzemeye aynı yapıya sahip büyük parçacıklara kadar farklı boyutlarda toz oluşumuna yol açar. Toz genellikle havada asılı kalabilen veya zamanla çökebilen çapı 1 mm'den küçük parçacıklardır [30,31]. Endüstride toz olarak adlandırılan partikül maddenin partikül boyutu genellikle 300 µm'den küçüktür. Özgül ağırlığı daha hafif olan tozun partikül boyutu 1 mm'ye ulaşabilir. Solunum yolu tozunun partikül boyutu 60 µm'den küçüktür, bu da solunum yoluyla alveollere girerek pnömokonyoz hastalığına neden olur. Akciğer tozu hastalığına neden olan tozlar “ince toz” olarak adlandırılmakta olup, bu tozların partikül büyüklüğünün 0,5-5,0 µm arasında olduğu belirlenmiştir. [31,32]. Bu örneklerden anlaşılacağı üzere madencilik faaliyetleri kapsamında yapılan ufalama ve sınıflandırma esnasında açığa çıkacak tozlar ve özellikleri cevherin içeriğine bakılmak sureti ile çok kolayca tespit edilebilecek bir çalışma olup gerekli önlemlerde bu doğrultuda önceden alınabilecektir. Öncelikle toz ile mücadelenin başlangıç noktası elbette işletmede toz konsantrasyonunun belirlenmesi için yapılacak ölçümlerdir. Bu ölçümler sonrasında yönetmelikler temel alınarak tozla mücadelenin yapılmasına ihtiyaç vardır. Toz konsantrasyonunun belirlenmesi, izin verilen toz miktarının günde 8 saat ve haftada 40 saat çalışırken işçilerin sağlığına zarar vermemesini sağlamalıdır. Bu değerler; Alt Eşik Değer (Threshold Limit Value-TLV), izin verilen maksimum değer (MAK) veya zaman ağırlıklı ortalama (Time Weighted Average-TWA) olarak bilinmektedir [33, 34, 35]. Türkiye’de aynı değer eşik sınırı (ESD) olarak kullanılmaktadır. Tablo 3, 1989-1990’da Amerikan Devlet Endüstriyel Hijyen Uzmanları Konferansı tarafından belirlenen farklı tozlar için TWA değerlerini göstermektedir [33,36].

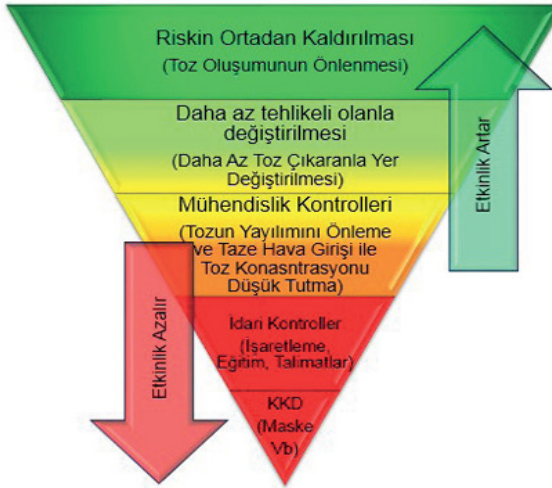
Tablo 3. Bazı Tozların İzin Verilen Zaman Ağırlıklı Ortalama Değerleri (TWA)
[33,36]

Madde	Toz Yoğunluğu (mg/m ³)
Al metal tozu	10
Cr metal tozu	0,5
Asbest	
- Amosit	0,5 lif/cm ³
Krizotil	2 lif/cm ³
- Krozidolit	0,2 lif/cm ³
- Diğer türler	2 lif/cm ³
Jips (CaSO ₄)	10
Kömür Tozu	2 (Silika içeriği %5'den az)
Talk	2 (Hiç asbest içermiyor)
Mermer (CaCO ₃)	10 (Toplam toz. Asbest yok, %1'den az kristal silika)
Silika (Kristalize)	
- Kristobalit	0,05 solunabilir toz
- Kuvars	0,10 solunabilir toz
Tridimit	0,05 solunabilir toz
- Tripoli	0,10 solunabilir toz

Risk kontrol hiyerarşisine göre, öncelikli olarak toplu koruma yöntemleri alınır, eğer toplu koruma yöntemleri uygulanamıyorsa, kişisel koruyucu donanımlar kullanılabilir. Şekil 10'da toz için risk kontrol hiyerarşisi verilmiştir [37]. Şekil 11 incelendiğinde risk kontrol hiyerarşisinde riskin ortadan kaldırılması yani toz oluşumunun önlenmesi ile ters piramidin başladığı görülmektedir. Üzerinde çalışılan ufalama tesislerinde tozla mücadele söz konusudur. Bu tesislerde proseslerin doğası gereği toz oluşumunun sıfırlanma olasılığı yok denecek kadar azdır. İkinci safhada yer alan daha az toz çıkaranlar yer değiştirme ise kısmen mümkün olan bir ikamedir. Zira son yıllarda özellikle kırma ve kuru öğütmede kullanılan makinelerin toz çıkan bölümlerine yerleştirilen toz çekme sistemleri ile bu mümkün olacaktır ancak bu tozu kaynağından yok etme anlaşılmalıdır. Ters piramidin bir sonraki basamağında yer alan mühendislik ve idari kontrolleri ise söz konusu tesislere uygulanması zorunlu çalışmalar kapsamında zaten yer almaktadır. Son aşamada zikredilen kişisel koruyucu donanımlarından faydalanma İSG'de son çare olarak bilinen ve burada da bu kapsamda verilmiş doğru bir bilgidir. Kısacası ufalama tesislerinde tozun sıfırlanması çok mümkün değildir ancak minimize edilebilmekte olup bu aşamada da KKD kullanımına şiddetle ihtiyaç duyulmaktadır.

İşletmelerde iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında öncelikle toplu koruma önlemleri uygulamaya alındıktan sonra bireysel koruma uygulamalarına geçilir. Toz ile mücadelede yukarıda sıralanan maddelerden ilk beşinin toplu koruma önlemleri kapsamında olurken altıncı sırada verilen ve İSG'de en son başvurulacak çare olarak kabul edilen kişisel koruma uy-

gulamaları verilmiştir. Kırma-öğütme tesisleri için bu maddelerin birincisi irdelendiği zaman riskin yani tozun ortadan kaldırılması mümkün olmayıp sadece minimize edilebildiğinin bilinmesi gerekir. Zira çalışmanın doğasında var olan bu durumun sıfırlanması çok olası bir yaklaşım değildir. İkame özellikle eski kırma ve eleme sistemlerinin yerine toz emişi olan yeni nesil ufalama ve sınıflandırma sistemlerine geçiş söz konusu olabilir. Ancak bu fayda-maliyet hesabına tabi tutulması gereken bir çalışma olacağı da açıktır. Kontrol işletmelerde periyodik toz ölçümleri yapılarak özellikle kırıcı çıkışına ve girişine yakın noktalarda izalasyon yapılması faydalı olacaktır. Mühendislik çalışmaları ise oldukça geniş bir içeriğe sahip olup tesisin dizaynından bakım onarımına kadar birçok kalemde çalışmayı gerektiren bir yaklaşımdır. Esasında iş sağlığı ve güvenliğinin ana omurgasını zaten mühendislik çalışmaları ve önlemleri teşkil etmektedir. Yönetmelikler özellikle riskli çalışmalarda hayati öneme sahiptir. Çünkü özellikle meslek hastalıklarının ortaya çıkmasında ana maruziyet süresi en önemli kriterdir. Bu nedenle söz konusu tesislerde çalışanların toz ve diğer risklere karşı maruziyet sürelerinin azaltılması için mesai saatlerinde düzenlenmeye gidilmesi ilk akla gelen yönetmelik tedbirlerdendir. Bununla birlikte yönetmeliklerde var olan rutin sağlık muayenelerinin takibi de yine söz konusu maddenin içeriğindedir.



Şekil 11. Risk Kontrol Hiyerarşisi [37].

Kırma öğütme tesislerinde toz ile mücadele elbette kuru prosese sahip işletmelerde çok daha öne çıkan bir risk olup daha detaylı İSG çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bunların başında tozu kaynağından azaltma yaklaşımı gelmektedir. Kırma-eleme tesislerinin tamamı kuru işleme sahip olup bu

işletmelerde toz maksimum konsantrasyonlarda kendisini gösterebilmektedir. Burada kuru ve ıslak toz kontrol yöntemleri devreye alınabilir. Islak toz kontrol sistemleri çok etkilidir ve düşük kurulum ve işletme maliyetlerine sahiptir, ancak mineral özelliklerine, sonraki işlemlere veya müşteri spesifikasyonlarına bağlı olarak uygun olmayabilir. Kuru yöntemlerde oldukça etkin olabilmektedir. Solunan tozun ve işlenmiş minerallerin kontrolü, tozlu havanın yakalanması, uzaklaştırılması ve arıtılmasıyla sağlanabilir. Kuru kontrol olarak adlandırılan bu yöntemin kurulumu ve çalıştırılması ıslak kontrol yöntemlerine göre daha pahalı olabilir ancak oldukça etkilidir. Ayrıca ürünün su ilavesinden (trona veya kil malzemeleri gibi) olumsuz etkilenmesi durumunda kuru toz kontrolü gerekebilir. Kuru toz kontrolü, tozlu havanın kontrol alanından işçilerin bulunduğu alana girmesini önleyecek koşulları oluşturmalıdır. Bu kontrol, kontrollü alanın dışına göre kontrollü alanda negatif hava basıncı oluşturmak için egzoz havalandırması kullanılarak gerçekleştirilir [38]. Kırma öğütme tesislerinde kırma ve özellikle mikronize öğütme gerçekleştirilen tesislerde sulu kontrol tekniklerinin işletme işleyişine çok uygun olmayacağı öngörülmektedir. Buralarda kuru tozdan arınma tekniklerinin düşünülerek hayata geçirilmesi daha gerçekçi bir çözümdür. Ayrıca tozla mücadelede kaçak tozları kontrol altına almak için aşağıdaki çalışmalar faydalı olacaktır.

- Havalandırma sistemleri, transfer noktalarını ve taşıma bantlarını kapatan davlumbaz ve mahfazalarla birlikte kullanılmalıdır.
- Ayarlanabilir konveyörler ile düşme ve boşaltma mesafeleri en aza indirilmelidir.
- Toz oluşumunu azaltmak için yollar gibi tozlu alanlar nemlendirilmelidir.
- Alanda taşınan havadaki malzeme miktarını en aza indirmek için uygun yağmur suyu ve akış kontrol sistemleri kullanılmalıdır [39] .

Kırma-öğütme ve sınıflandırma tesislerinde tozun kaynağından minimize edilmesi söz konusu olurken özellikle kuru proseslerde toz riskinin sıfırlanması çok olası bir durum değildir. Bu nedenle bu işletmelerde çalışanların kişisel koruyucular kullanması çoğu zaman kaçınılmaz olabilmektedir. Toz riskinden çalışanları korumak maksadı ile klasik olarak bilinen toz maskeleri öncelik kazanmaktadır. Daha önce belirtildiği üzere toplu koruma önlemlerinin hayata geçirilmesi sonrası bireysel koruma önlemleri işletmelerde devreye alınır. Ancak uygulamada daha pratik ve ucuz olduğu için maalesef bireysel koruma önlemleri önceleyebilmektedir. Kişisel koruyucu önlemleri iki başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar sağlık kontrolleri ve kişisel koruyucu donanımlarıdır (KKD). İSG denilince maalesef sadece KKD çalışmaları olduğu algısı oldukça yaygın-

dır. KKD çalışmaları İSG’de son başvurulması gereken çözümdür. Çalışanların en fazla zorlandıkları uygulamalardan olan KKD kullanımı işletmelerde ağır aksak yürüyebilmektedir. Bunun önüne geçebilmenin en iyi yolu yasal yaptırımlardan önce konunun uzmanları tarafından çalışanlara riskler ve sonuçları hakkında bilgi verildikten sonra söz konusu kişisel koruyucuyu nasıl verimli bir şekilde kullanacağını öğretilmesidir. Yani çalışanların “EĞİTİLMESİ” zorunlu İSG çalışmalarındandır. Çalışanları toz riskinden korumak için genel başlık altında solunum sistemi koruyucularından bahsetmek gerekecektir. Solunum sistemi koruyucuları da gaz ve toz koruyucular olmak üzere iki başlık altında toplamak gerekmektedir. Kırma-Elemente tesislerinde CE işaretli toz maske koruyucularının kullanılması gerekmektedir (Şekil 12). Ayrıca söz konusu tesislerde baret, çelik uçlu ve tabanlı ayakkabı ve yönetim tarafından gerekli görülen diğer KKD malzemeleri çalışanlarının kullanımı sağlanmalıdır.



Şekil 12. Toz Maskelerinden Bir Görünüm [40]

Kırma öğütme tesislerinde mevcut ve sıfırlanması nerdeyse imkânsız olan ve prosesin doğasında mevcut dominant risklerin ikincisinin toz olduğu defeatla vurgulanmıştır. Bu risk madencilik çalışmalarının hemen hemen hepsinde karşımıza çıkan ve özellikle meslek hastalıkları noktasında mücadele edilmesi elzem risk grubu içindedir. Burada genellikle hemen hemen her cevherde gang minerali olarak bulunan ve oksijenden sonra tabiatta en fazla bulunan element olan silis kaynağı kuvarsa (SiO_2) ayrı bir parantez açmak gerekmektedir. Kırma öğütme tesislerinde silis tozu olarak karşımıza çıkan birçok akciğere bağlı meslek hastalıklarına neden olduğu bilimsel olarak kanıtlanmış olan bu elementin işletmede çalışan İSG uzmanlarının üzerine ayrıca düşülmesi gerekmektedir. Öncelikli olarak kırma öğütme tesislerinde işlenecek cevherin mineralojik yapısının incelenerek silis tenörünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu değer yüksekliği çalışma ortamında daha fazla silis tozu olacağı anlamına gelmektedir ve daha etkin mücadele ve korunma önlemlerine ihtiyaç olacak demektir. Bu kapsamda iş yeri hekimlerinin çalışanlar üzerindeki gözetimlerinin silis tozunun varlığı da hesaba katılarak yapılması gerekmektedir.

Kuvars içeren solunabilir toz ve solunabilir kuvars tozu içeriğine göre toz tehlike düzeyi Tablo 4’de gösterilmiştir. Sağlığa zararlı tozların bulunduğu yer üstü çalışma yerleri ile kırma, eleme ve öğütme tesislerinde, solunabilir kuvars tozu içeriği 5 mg/m^3 veya solunabilir kuvars tozu $0,25 \text{ mg}'ı$ aşıyorsa işçi çalıştırılmaz. Bu tür işyerlerinde toz oluşumunun engellenmesi veya tozun bastırılması yoluyla toz miktarı alt eşik altına indirildikten sonra çalışma yapılması gerekmektedir [33,41,42] .

Tablo 4. Toz Risk Dereceleri ve Eşik Sınır Değerleri [33, 41]

Toz Risk Derecesi	Kuvars İçeren Solunabilir Toz Yoğunluğu (mg/m^3)	Solunabilir Kuvars Toz Yoğunluğu (mg/m^3)
I	0-2,5	0-0,125
II	2,6-6	0,130-0,25
III	5,1-10	0,27-0,50
IV	>10	>0,5

4. SONUÇLAR

Ülkemizde ve Dünya’da hammadde ihtiyacı giderek artmakta olup bu ihtiyacın büyük bir oranı yeraltı ve yerüstü maden yataklarından karşılanmaktadır. Bu kaynakların ekonomiye kazandırılması için cevherin doğadan kazanılması sonrası bazı işlemlerden geçirilmesi teknik bir zorunluluktur. Söz konusu bu teknik işlemlerin ilk basamağı ufalama ve sınıflandırma olarak ifade edebileceğimiz çalışmaları barındırmaktadır. Bu işlemlerin gerçekleştirildiği tesisler ise kırma-eleme ve öğütme-sınıflandırma tesisleri olup bu işyerlerinin de konvansiyonel İSG riskleri ile birlikte kendine özgü riskler (işlenen cevherin özelliklerinden kaynaklı riskler gibi) de söz konusu olabilmektedir. Günümüz üretim Dünyasında gerek yasal zorunluluklar gerekse üretimin aksamaması için İSG çalışmalarına büyük önem verilmekte ve uygulamalarda iş sağlığı ve güvenliğinden taviz verilmeden çalışılma yoluna gidilmektedir. Bu kapsamda kırma öğütme tesislerinde makine alımından çalıştırılacak personel seçimine kadar bütün aşamalarda İSG risklerini minimize edebilecek türden seçimlerin yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu tesislerin inşaat planlama aşamasında da İSG riskleri de hesaba katılarak yapılması işletmenin hayata geçmesi sonrası iş kazalarının ve meslek hastalıklarının minimize edilmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1]. Aslan, N. Cevher Hazırlama, <https://Docplayer.Biz.Tr/6890719-Cevher-Hazirlama-Doc-Dr-Nevzat-Aslan.Html> (Erişim tarihi:13.09.2023)
- [2]. Toraman, Ö. Y., Uçurum, M., Çayırılı, S. (2015). Kırıcı Ekipmanlar, Yeni Tasarımlar ve Kırıcı Seçimine İlişkin Bazı Kriterler, Türkiye 5. Uluslararası Maden Makinaları Sempozyumu ve Sergisi, 1-2 Ekim, Eskişehir
- [3] <https://www.mekaglobal.com/tr/urunler/kiricilar/ceneli-kiricilar> (Erişim tarihi:13.09.2023)
- [4] Yıldız, N. (2007). Cevher Hazırlama, ERTEM Basım Ankara.
- [5]. https://www.gur-san.com.tr/Urunler_Titresimli-Elekler-TR.html (Erişim tarihi:29.08.2023)
- [6]. <https://www.nskeurope.com.tr/tr/bearings/industries/quarrying-mining-and-construction/vibrating-screen.html> (Erişim tarihi:29.08.2023)
- [7]. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, BEBKA (Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı), (2020). Bilecik İli Atık Doğal Taşları (Mermer) Kırma Eleme Tesisi Ön Fizibilite Raporu, <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bebka.org.tr/wp-content/uploads/2021/10/bilecik-ili-atik-dogal-taslari-mermer-kirma-eleme-tesisi-on-fizibilite-raporu2020.pdf> (Erişim tarihi:13.09.2023)
- [8] https://www.ersel.com/sayfalar/urun/bilyali_cubuklu_degirmen.html (Erişim tarihi: 30.08.2023)
- [9] İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü 00321 Cevher Hazırlama Laboratuvarı Öğütme Deney Föyü, <https://docplayer.biz.tr/58062002-Gnunu-ungversgtesg-maden-muhendsglsgg-bolumu-cevher-hazirlama-laboratuvari-l-ogutme-deney-foyu.html> (Erişim tarihi:13.09.2023)
- [10] <https://turkish.ballmillmining.com/sale-13627885-high-weir-spiral-classifier-gravity-separation-plant-high-classifying-efficiency.html> (Erişim tarihi:13/09/2023)
- [11] <https://dasenmining.com/tr/product/hydrocyclone/> (Erişim tarihi:13.09.2023)
- [12]. Anon. a. (2010) Classifiers, <http://www.bikudo.com/airclassifier> (Erişim tarihi: 15.03.2010)
- [13]. Toraman, Ö. Y. , Sönmez, A.T. (2012). Mikronize Öğütmede Havalı Ayırıcıların Tasarım Değişkenleri, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, 30-36.
- [14] Özkan, M.O., Çiftçi, S.E., Öztürk Akbaş, A., Bozcan Postalcıoğlu, F.E., Çalışma Yaşamında Gürültü İle Mücadele Rehberi, T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.csgb.gov.tr/medias/12239/calismayasamindagurultuilemucadelerehberi.pdf> (Erişim

tarihi: 16.08.2023)

- [15] Çalış, Serenay, (2022). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Ölçüm Gürültü, ISBN: 978-625-8423-96-9 Cover Design: İbrahim Kaya Ankara. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2022/01/IS-SAGLIGI-VE-GUVENLIGINDE-OLCUM-GURULTU.pdf (Erişim Tarihi:16.09.2016)
- [16] TUBİTAK, https://www.ume.tubitak.gov.tr/sites/images/ume/mesleki_gurultu_olcum_ve_raporlama-h.sezek.pdf, (Erişim tarihi: 18.01.2022)
- [17]. Kürklü, G., Görhan G., Burgan, H.İ. (2013). Çalışma Hayatında Gürültünün Etkisi ve İnşaat Teknolojileri Eğitimi Açısından Değerlendirilmesi, SDU International Journal of Technologic Sciences, Vol. 5, No 1, June 2013, pp. 22-35.
- [18]. Stranks, J., (2005). Noise and Vibration, The Handbook of Health and Safety Practice 7.Ed:Dorset Press, Dorchester.
- [19]. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, (2011). Çevre Sağlığı- Gürültü Kirliliği 850CK0036, Ankara
- [20] <https://www.fliqa.com/blog/icerik/kulak-koruma-secimi-ve-standartlari> (Erişim tarihi: 31.08.2023)
- [21]. <https://www.mfaisguvenligi.com.tr/is-guvenligi-ve-sagligi/kulak-koruyucu-secimi-3.html> (Erişim tarihi: 13.09.2023)
- [22] <https://www.igeltd.com/is-kulakligi-> (Erişim tarihi: 02/08/2023)
- [23]. Karabulut, M., (2021). Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü Başkanlığı (İSGÜM). Kişisel ve İşyeri Ortamı Toz Konsantrasyonu Gravimetrik Tayini. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.csgb.gov.tr/media/80072/toz-sunu-mu-17haziran.pdf (Erişim Tarihi:17.09.2023)
- [24] Toz Teknolojisi ve Mikromeritik, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/157093/mod_resource/content/0/1_Hafta_Toz_Teknolojisi_Mikromeritik.pdf (Erişim Tarihi:11.09.2023)
- [25]. <https://www.okco.com.tr/toz-olcumu/> (Erişim Tarihi:07.10.2023)
- [26]. Kahraman, Z., Yürüten Özdemir, K., (2022). Tozlu Çalışmalarda Meslek Hastalıkları ve Tozla Mücadele, MCBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi Sayı:34 Cilt: II.
- [27] Kaplan, E. (2016). Tekstil Sektöründe Tozla Mücadele Rehberi". Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlık Yayınları İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [28] Ural, S., Yıldırım, M., ve Anıl, M. (2002). Kömürün Mineral Madde İçeriğinin Toz Kömür Yakma Sistemindeki Rolü, Türkiye 13 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, Türkiye

- [29] Bozkurt, B., (2019). Kromun Zenginleştirme Tesis Atıklarından Geri Kazanımında Knelson Gravite Konsantratörün Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- [30] Güyagüler, T., Durucan, Ş., (1986). Ocak Tozları, Yeraltı Kömür Madenciliğinde Çevre Sorunları ve Kontrol Yöntemleri seminer El Kitabı, s. 14-15.
- [31] Ediz, İ. G., Beyhan, S., Yuvka, Ş. (2001). Madencilikte Tozlara Bağlı Meslek Hastalıkları. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, (002), s.111-120.
- [32] Baysal, F., (1979). İşyerlerinde Toz Sorunu, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 6. Kongresi, s.8-5/8-8, Ankara.
- [33] Ediz, İ. , Beyhan, S., Yuvka, Ş. (2001). Madencilikte Toz Kaynakları ve Kontrolü. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 002, s.121-132.
- [34] Vutukuri, V.S., Lama, R.D., (1986). Dusts in Mine Air and Its Control. Environmental Engineering In Mines, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 163.
- [35] Walli, R.A., (1982). Mine Dusts. Mine Ventilation and Air Conditioning, pp. 87-91.
- [36] Güyagüler, T., (1992). Tozun Önemi, Meslek Hastalıkları ve Toz Yönetmeliği”, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [37] Ç.S.G.B. (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı) (2016). İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Tekstil Sektöründe Tozla Mücadele Rehberi, Bakanlık Yayın No: 58, ISBN: 978-975-455-262-1 Ankara
- [38] <http://teknofilter.com/blog/kirma-ogutme-eleme-toz-kontrolu/>. (Erişim Tarihi: 03/08/2023).
- [39]. Ç.S.G.B. (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı) (2016). İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Çimento Sektöründe Tozla Mücadele Rehberi, Bakanlık Yayın No: 57 ISBN: 978-975-455-264-5 Ankara.
- [40] <https://www.ekipmandeposu.com/blog/toz-maskesi-standartlari/> (Erişim Tarihi: 03/08/2023)
- [41] Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Tozla Mücadeleyle İlgili Yönetmelik, (1990). Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Resmi Gazete, Sayı: 20635, 12-14 s.
- [42] <http://www.donusumakademi.com/guncel-mevzuat/page/17/> (Erişim Tarihi: 10/10/2023).



BÖLÜM 6

ET ÜRÜNLERİNDE NİTRAT/NİTRİT KAYNAĞI OLARAK DOĞAL KÜRLEME MADDELERİ

Zeynep Feyza YILMAZ ORAL¹

¹ Öğretim Görevlisi, Atatürk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye. ORCID NO: 0000-0002-6295-0509, email: zeynep.yilmaz@atauni.edu.tr

GİRİŞ

Et içerdiği yüksek biyolojik değerlikli proteini, B grubu vitaminleri, demir ve çinko gibi mineral maddeleri ile insan beslenmesinde önemli rol oynayan bir gıda maddesidir. Besin maddelerince zengin olmasının yanı sıra et, mikroorganizmaların gelişimi için uygun pH ve a_w değerlerine de sahiptir (Gökalp ve ark., 2012; Pereira & Vicente, 2013). Kolay bozulabilir bir gıda maddesi olan et, soğutma ve dondurma uygulanarak taze halde muhafaza edilebildiği gibi ısıtma işlemi, tuzlama, kurutma ve kürlenme gibi teknolojik işlemlerin bir veya birkaçı uygulanarak da muhafaza edilmektedir. Kürlenme, etin tuz (sodyum klorür, NaCl) ile birlikte nitrat, nitrit veya nitrat/nitrit ile muamele edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Gökalp ve ark., 2012).

Et ürünleri taze işlenmiş et ürünleri, fermente sosisler, emülsifiye et ürünleri, pişirilmiş sosisler, parça halde işlenen çiğ ya da pişirilmiş et ürünleri olarak sınıflandırılmaktadır. Taze işlenmiş et ürünlerinde kürlenme işlemi uygulanmazken, fermente sosisler grubunda yer alan sucuk, ısıtma işlemi görmüş sucuk, salami, pepperoni ve chorizo gibi kuru ve yarı kuru fermente sosisler ile Mettwurst, sobrasada ve teewurst gibi fermente sosisler ürün tipine göre nitrit ve/veya nitrat ile kür edilmektedir (Kaya ve Kaban, 2010). Fermente sosisler için Kuzey Avrupa’da nitrit kürlenme ajanı olarak kullanılırken, Güney Avrupa’da ise kürlenme ajanı olarak daha ziyade nitrattan yararlanılmaktadır. Genellikle uzun bir olgunlaştırma süresine sahip fermente sosislerde nitrat, kısa süreli olgunlaştırma periyoduna sahip ürünlerde ise nitrit kullanılmaktadır (Lücke, 1998; Kaya ve Kaban, 2019). Kür edilmiş et ürünleri grubunda yer alan frankfurter, hot dog, wiener gibi emülsifiye et ürünlerinde ise kürlenme ajanı olarak nitrit formülasyona girmektedir (Kaban ve Kaya, 2010; Honikel, 2008). Pastırma ve benzeri parça halde işlenen kür edilmiş kurutulmuş/olgunlaştırılmış et ürünlerinde de kürlenme amacıyla nitrat ve/veya nitrite yer verilmektedir (Gökalp ve ark., 2012). Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen kürlenme işlemi ürün tipine bağlı olarak birkaç günden birkaç aya kadar çıkabilmektedir. Ayrıca bu ürünlerin üretim süresi pastırmada olduğu gibi bir ay kadar sürebildiği gibi diğer bazı ürünlerde iki yıla kadar uzanabilmektedir. Bu ürünlerde genellikle kuru kürlenme uygulanmakla birlikte endüstride yaş kürlenme yöntemine de başvurulmaktadır (Kaya ve Kaban, 2010). Bununla birlikte parma ham, jamon serrano, jamon savoie gibi geleneksel ürünler sadece tuz kullanılarak üretilmektedir (Kaya ve Kaban, 2010). Pişmiş jambon gibi parça halde işlenen kür edilmiş pişirilmiş et ürünlerinde de kürlenme ajanı olarak nitrit kullanılmaktadır. Bu ürünlerde kürlenme yöntemi olarak genellikle yaş kürlenme yöntemi uygulanmaktadır (Heinz & Hautzinger, 2007; Kaban ve Kaya, 2010).

Etin tuz ile muhafaza edilmesi eski çağlara kadar uzanmaktadır. Kürlenme işlemi ise 19. yüzyılda potasyum nitrat (KNO_3) ile kontamine tuzun

renk üzerindeki olumlu etkisinin anlaşılmasıyla gündeme gelmiştir. Daha sonra nitratın mikroorganizmalar aracılığıyla nitrite dönüştüğü ve nitritin esas kürlenme ajanı olduğu ortaya çıkarılmıştır. 20. yüzyılın ilk yarısında, et endüstrisindeki gelişmelere bağlı olarak nitrit kullanımı artmıştır. Nitrit, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelerin yanı sıra renk oluşumu ve lezzet gelişiminde de etkili olmaktadır. Ancak 1970'li yılların başında nitritin kanserojen etki gösteren nitrozaminlerin oluşumunda rol oynadığı ortaya çıkmış ve böylelikle nitrit kullanımı tartışılmaya başlanmıştır. Diğer taraftan yapılan araştırmalarda nitrozamin oluşumunda kalıntı nitrit miktarının önemli bir faktör olduğu belirlenmiş ve kalıntı nitrit miktarını kontrol edebilmek için nitrat kullanımı oldukça kısıtlanmıştır. Günümüzde nitrat sadece uzun süre olgunlaştırılan bazı kuru kür edilmiş et ürünleri ile fermente sosislerde kullanılmaktadır (Sebranek & Bacus, 2007). Olgunlaştırma süresince nitrat, iyi bir nitrit kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Çok fonksiyonlu bir katkı maddesi olan nitritin nitrozamin oluşumunda etkili olmasından dolayı nitrit miktarının azaltılması veya formülasyondan tamamen çıkarılmasına yönelik stratejiler uzun zamandan beri gündeme gelmektedir. Tüketicinin bilinçlenmesi bu konuda oldukça etkili olmuş ve nitrat ve nitritin kullanım seviyelerinin azaltılmasına yönelik stratejiler geliştirilmiştir. Nitrit seviyesini düşürmek için bitki kaynaklı alternatifler başta olmak üzere laktat ve asetat gibi organik asitlerin kullanımı, bakteriosinler, koruyucu kültürler gibi alternatifler üzerinde araştırmalar yapılmıştır (Alahakoon et al., 2015; Sucu & Yıldız Turp 2018; Kim et al., 2019; Ferysiuk & Wojciak 2020; Jo et al., 2020; Flores & Toldra 2021; Yong et al., 2021; Dalzini et al., 2022). Bunun yanı sıra son yıllarda ışınlama, yüksek basınç, soğuk plazma teknolojisi, nitrit içeren aktif ambalaj kullanımı gibi yeni potansiyel uygulamalara da başvurulmaktadır (Yıldız Turp ve Avcı, 2022). Mevcut bu çalışmada kür edilmiş et ürünlerinde kürlenme ajanı olarak kullanılan nitrat ve nitritin fonksiyonları ve nitrozamin oluşumundaki rollerinin yanı sıra bitkisel kaynaklı doğal kürlenme maddelerinin nitrat veya nitrit kaynağı olarak kullanılabilme imkanlarına yönelik araştırmalar incelenmiş ve tartışılmıştır.

KÜR EDİLMİŞ ET ÜRÜNLERİNDE NİTRAT VE NİTRİTİN FONKSİYONLARI

Nitrat ve nitritin potasyum ve sodyum tuzları, et ürünlerine karakteristik rengi kazandırmak, kür lezzetini oluşturmak ve mikrobiyal stabiliteyi sağlamak amacıyla farklı kürlenme yöntemleri ile uygulanan kürlenme maddeleridir. Et endüstrisinde en yaygın kullanılan kürlenme yöntemi kuru kürlenmedir. Bu tip kürlenme sucuk, ısıl işlem görmüş sucuk, salami, pepperoni gibi fermente sosisler, frankfurter, wiener gibi emülsifiye et ürünleri, pastırma, kuru kür edilmiş ham gibi parça halde işlenen kür edilmiş kurutulmuş et ürünlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca parça halde işlenen kür edilmiş

kurutulmuş et ürünlerinde yaş kütleme (daldırma ve enjeksiyon) yöntemi-ne de başvurulmaktadır. Bazı ürünlerde yaş kütleme ve kuru kütleme kombinasyonlarına da yer verilmektedir. Bu ürünlerde yaş kütlemede %10 ile %20 oranında tuz içeren kütleme salamuraları kullanılmaktadır (Gökalp ve ark., 2012). Parça halde işlenen kür edilmiş pişirilmiş et ürünlerinde ise kütleme için enjeksiyon ve daldırma yöntemlerine başvurulmaktadır. Salamuradaki tuz konsantrasyonu ise ürünün tipine ve üretim tekniğine bağlı olarak %6 ile %20 arasında değişiklik göstermektedir. Kütleme ajanı olarak da nitrite yer verilmekte ve salamura nitritli kütleme tuzu ile hazırlanmaktadır. Ayrıca bu ürünlerde kütleme prosesi tumbling ve massaging uygulamaları ile birlikte de yürütülebilmektedir (Heinz & Hautzinger, 2007; Krause, 2009; Kaban ve Kaya, 2010; Gökalp ve ark. 2012).

Nitrat ve nitritin, kür edilmiş et ürünlerindeki ana fonksiyonlarında biri, renk oluşumu ve oluşan rengin stabilitesidir. Taze ette karakteristik parlak kiraz kırmızısı renk, kür edilmiş kurutulmuş et ürünlerinde karakteristik pembemsi-kırmızı renk, kür edilmiş pişirilmiş et ürünlerinde ise parlak koyu pembe-kırmızı renk önemli kalite kriteridir. Taze etin renginden sorumlu olan miyoglobinin oksijenasyonu sonucu parlak kiraz kırmızısı renk oluşmaktadır (Gökalp ve ark., 2012). Ete ilave edilen nitrit (NO_2^-), nitroz aside (HNO_2), nitroz asit ise dinitrojen trioksit (N_2O_3) ve suya (H_2O) parçalanmaktadır. Dinitrojen trioksit, nitrik oksit (NO) ve nitrojenioksit (NO_2) disosiyasyonuna uğruşmaktadır. Nitritin parçalanması sonucu oluşan NO , nitritin kür edilmiş et ürünlerindeki rolünü üstlenen en önemli bileşiktir. NO , miyoglobin (Fe^{+2}) ve metmiyoglobin (Fe^{+3}) ile reaksiyona girmektedir. NO 'nun miyoglobin (Fe^{+2}) ile reaksiyonu sonucu nitrozomiyoglobin (NO-Mb) oluşmaktadır. NO-Mb kararsız bir bileşik olup ısı işlem sonucunda nitrosil hemokroma dönüşmekte ve böylelikle stabil bir renk oluşmaktadır. Ayrıca miyoglobin (Fe^{+2}) nitroz asit ile de reaksiyona girerek metmiyoglobine (Fe^{+3}) oksitlenmektedir. Metmiyoglobinin (Fe^{+3}), NO ile reaksiyonu sonucunda ise nitrozometmiyoglobin (NO-metmiyoglobin) oluşmaktadır. NO-metmiyoglobin 'in indirgen bir madde mevcudiyetinde NO-Mb 'ye ve NO-Mb ise ısı işlem sonucunda nitrosilhemokroma dönüşmektedir (Sebranek & Bacus, 2007; Alahakoon et al., 2015; Jo et al., 2020). Kür edilmiş et ürünlerinde askorbat, erithorbat gibi indirgen maddeler kullanılarak nitrik oksit oluşumu hızlandırılabilir ve böylelikle renk oluşumuna katkı sağlanmaktadır. Kütleme prosesinde önem arz eden diğer bir husus ortamın pH değeridir (Sebranek & Bacus, 2007; Alahakoon et al., 2015). Diğer taraftan nitrat ile kür edilen et ürünlerinde nitrattan beklenen fonksiyonların yerine getirilebilmesi için nitrite dönüşmesi gerekmektedir. Nitratın nitrite dönüşümü nitrat redüktaz aktivitesine sahip mikroorganizmalar aracılığıyla olmaktadır. Et endüstrisinde nitratın nitrite dönüşümü için koagülaz negatif stafilkoklar ve *Kocuria varians* suşları

starter kültür olarak kullanılmaktadır. Nitrat redüktaz aktivitelerine sahip bu starter kültürler sebze ekstraktı kullanılan kür edilmiş et ürünlerinde sebze kaynaklı nitratı nitrite dönüştürmektedir (Yılmaz Oral, 2022).

Nitritin kür edilmiş et ürünlerindeki diğer bir fonksiyonu ürüne karakteristik kür lezzetinin kazandırılmasıdır. Bu kürleme maddesinin kür lezzetinin oluşumundaki etkisi henüz yeterince açıklanamamıştır. Kür lezzetinden sorumlu olan uçucu ve uçucu olmayan bileşiklere yönelik tartışmalar halen devam etmektedir (Krause, 2009; Alahakoon et al., 2015; Jo et al., 2020). Bununla birlikte kür lezzetinde, nitritin lipit oksidasyonuna karşı antioksidan aktivite göstererek warmed-over flavor oluşumunun baskılanmasında etkili olabileceği belirtilmekte ve kür edilmiş et ürünlerinde lipit oksidasyonunun bir göstergesi olarak da dikkate alınan hekzanal seviyesinin kür edilmemiş et ürünlerine göre daha düşük olduğu vurgulanmaktadır (Jo et al., 2020). Diğer taraftan kür lezzetinin oluşumu için 50 mg/kg nitrit düzeyinin yeterli olduğu ifade edilmektedir (Alahakoon et al., 2015).

Nitrit kürlenmiş etlerde güçlü bir antioksidan etki göstererek lipit oksidasyonunu engelleyebilmektedir (Honikel, 2008; Krause, 2009). Nitrit oksit, etin kürlenmesi sırasında et pigmentlerinde yer alan hem demir bağlanarak etkili olmaktadır. Böylelikle Fe^{+2} 'nin Fe^{+3} 'e dönüşümü önlenmekte ve Fe^{+3} 'ün lipit oksidasyonundaki katalitik etkisi ortadan kaldırılmaktadır (Öztürk ve ark., 2015). Nitrit, aynı zamanda et ürünlerinde önemli prooksidan olarak bilinen metal iyonlarının şelatörü olarak da rol oynamaktadır (Jo et al., 2020). Bunun yanı sıra nitritin indirgenmesi sonucu oluşan NO oksijenle reaksiyona girerek NO_2 'ye dönüşmektedir (Honikel, 2008; Jo et al., 2020). Nitrik oksidin lipit radikalleri ile reaksiyona girerek otooksidasyonun radikal zincir reaksiyonlarını kırdığı belirtilmektedir (Jo et al., 2020). Ayrıca nitrit duyuusal özelliklerin gelişimde etkili olan aminopeptidazlar ve lipazlar gibi kas enzimlerinin aktivitesini etkilememektedir (Flores & Toldra, 2021). Bu kürleme maddesinin antioksidan etki gösterebilmesi için de 40 mg/kg düzeyinde kullanılmasının yeterli olduğu da ifade edilmektedir (Alahakoon et al., 2015).

Et, zengin besin ve yüksek su içeriği nedeniyle mikroorganizmalar için ideal bir ortam oluşturmaktadır. Pek çok mikroorganizma ette bozulmaya neden olarak raf ömrünü kısaltmaktadır. Bakteriyostatik ve bakteriyosidal etkiye sahip olan nitrit, bozulmaya neden olan mikroorganizmaların yanı sıra gıda kaynaklı patojen mikroorganizmaların gelişimini de engelleyen önemli bir antimikrobiyal ajandır (Krause, 2009). Bu ajan, mutlak anaerob özelliğe sahip *Clostridium botulinum*'un inhibisyonunda oldukça etkili olmaktadır. Ayrıca nitrit, *Listeria monocytogenes* gibi gıda kaynaklı patojen bakterilerin kontrolü açısından da önemli bir antimikrobiyal maddedir (Krause, 2009; Sebranek, 2009; Gassara et al., 2016). Diğer bir ifade ile nitrit sadece raf ömrünün uzatılması açısından değil, gıda güvenliğinin

sağlanması açısından da önemli bir kürlenme ajanıdır. Bundan dolayı kürlenme işleminin en önemli amaçlarından birinin mikrobiyolojik güvenliğin sağlanması olduğu belirtilmektedir. Nitritin mikroorganizmalara etkisi farklılık arz ettiğinden inhibisyon mekanizmaları arasında farklılıklar söz konusu olmaktadır (Krause, 2009). Bununla birlikte nitritin antibakteriyel etkisinin, nitritten, peroksinitrit ve nitrik oksit oluşumuna bağlı olduğu belirtilmektedir (Jo et al., 2020). *C. botulinum* spor oluşturan bir mikroorganizma olduğundan ısı işlem görmüş ürünlerin güvenliği açısından oldukça önemlidir. Nitrit, *C. botulinum* sporlarının çimlenerek vejetatif forma geçmesini ve dolayısıyla gelişip toksin oluşturmasını engellemektedir. *C. botulinum*'un ürettiği toksinler bilinen en toksik maddelerden olup botulizm olarak adlandırılan intoksikasyona neden olmaktadır (Krause, 2009; Jo et al., 2020). Nitritin antimikrobiyal aktivitesinde pH ve tuz içeriği gibi faktörler de etkili olmaktadır. Tuz tek başına su aktivitesini düşürerek *C. botulinum* üzerinde etkili olabilmektedir. Ancak tuzun tek başına *C. botulinum*'un inhibe edebilmesi için et ürününe fazla miktarda tuz ilave edilmesi gerekmektedir. Fazla miktarda tuz kullanımı ise hem ürün lezzeti hem de tüketici açısından uygun olmadığından et ürünlerinde tuza ek olarak nitrite ihtiyaç duyulmaktadır (Krause, 2009).

KÜR EDİLMİŞ ET ÜRÜNLERİNDE DOĞAL KÜRLEME AJANLARININ KULLANIMI VE ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Et endüstrisinde kürlenme amacıyla nitrat ve nitritin sodyum ve potasyum tuzları kullanılmaktadır. Potasyum veya sodyum nitrat kullanılan ürünlerde kürlenmeden beklenen etkilerin sağlanabilmesi için nitratın nitrite dönüştürülmesi gerekmektedir. Bundan dolayı günümüzde nitrat genellikle parça halde işlenen kür edilmiş kurutulmuş geleneksel ürünler ile yavaş olgunlaştırmaya tabi tutulan fermente sosislerde kullanılmaktadır (Sebranek & Bacus, 2007; Kaya ve Kaban, 2019). Diğer kür edilmiş et ürünlerinde ise nitrit, tuz ile birlikte ürün formülasyonlarına dahil edilmektedir. Multifonksiyonel bir katkı maddesi olan nitrit antimikrobiyal, antioksidan aktivitelerinin yanı sıra renk oluşumu ve stabilitesinin sağlanması ve otooksidasyonun geciktirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca nitrit bu fonksiyonlarına ilaveten nitrozamin oluşumunda da etkili olmaktadır (Sallan et al., 2023). Bundan dolayı Avrupa Birliği'nin ilgili mevzuatlarında et ürünlerinde kullanılan nitrit seviyesi 150 mg/kg ile sınırlandırılmıştır (Anonymous, 2006). Türk Gıda Kodeksi Katkı Maddeleri Yönetmeliği'ne göre de bu seviye 150 mg/kg'dır (Anonim, 2013). Nitrozaminler kanserojenik, teratojenik ve mutajenik bileşikler olduğundan kür edilmiş et ürünleri tüketiciler için önemli bir endişe kaynağıdır (Sallan et al., 2023). Tüketicilerin bu konudaki endişeleri, organik ve doğal gıda tüketimine yönelimin artmasına neden olmuştur (Jo et al., 2020). Bundan dolayı nitrat ve nitritin

kullanım seviyelerinin düşürülmesi ve sentetik nitrat/nitrit kullanılmayan ürün üretmek amacıyla değişik stratejiler geliştirilmektedir. Bu kapsamda nitratça zengin sebzelerin doğal kürlenme maddesi olarak kullanımı, laktat ve asetat kullanımı, biyokoruyucu kültürler, yüksek basınç, soğuk plazma teknolojisi gibi uygulamalara yönelik araştırmalar yapılmaktadır (Alahakoon et al., 2015; Jo et al., 2020; Yıldız Turp ve Avcı, 2022). Bunun yanı sıra son yıllarda kür edilmiş et ürünlerinde nitrozamin seviyesini düşürmek amacıyla laktik asit bakterilerinin kullanımına yönelik araştırmalar da yürütülmektedir (Sallan et al., 2023).

Nitratça zengin sebzelerin kür edilmiş et ürünlerinde kullanımı uzun bir zamandan beri araştırılmaktadır. Araştırmalar daha ziyade nitratça zengin kereviz tozu veya kereviz suyu tozuna yöneliktir (Sindelar et al., 2007b; Horsch et al., 2014). Ayrıca pazı, turp, marul ve ıspanak gibi sebzelerin alternatif kürlenme maddesi olarak kullanımına yönelik çalışmalar da yürütülmektedir (Jo et al., 2020). Sebze ürünleri doğrudan nitrat kaynağı olarak kullanılabilirken nitrit kaynağı olarak kullanılabilmesi için ilave uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır (Golden et al., 2014; Jo et al., 2020). Sebze ürünlerinin doğrudan nitrat kaynağı olarak kullanıldığı ürünlerde nitratın nitrite dönüşümünü sağlamak için nitrat redüktaz aktivitesine sahip *Staphylococcus xylosus* veya *Staphylococcus carnosus* içeren starter kültürlerin kullanılması ve bu mikroorganizmalar ile belirli bir süre inkübasyona tabi tutulması gerekmektedir (Sullivan et al., 2012b). Burada nitratın nitrite yeterli oranda dönüşümünün sağlanması büyük önem arz etmektedir. Sucuk ve benzeri fermente sosislerde sebzelerin nitrat kaynağı olarak kullanılması durumunda nitrat redüktaz aktivitesine sahip mikroorganizmaların yanı sıra fermentasyon sırasındaki asit oluşum hızı ve derecesi de oldukça önemlidir. Aşırı asitleşme durumunda nitrat redüktaz aktivitesine sahip mikroorganizmaların yeterli bir dönüşüm sağlaması mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı bu tip uygulamalarda fermentasyon başlangıç sıcaklığı, asit oluşum hızı ve derecesi, yeterli düzeyde starter kültür inokülasyonu oldukça önemlidir (Sebranek & Bacus, 2007). Ayrıca kullanılan sebze ürünlerinin içerdiği bileşiklerin (organik ve inorganik), pH ve kürlenme prosesi üzerinde etkili olabileceğinden doğal kürlenme ajanları ile yapılacak kürlenmelerde bu hususun da göz ardı edilmemesi gerekmektedir (Horsch et al., 2014).

Et ürünlerinde nitrat ve nitritin azaltılması veya bu kürlenme ajanlarının yerine doğal katkıların kullanılmasına yönelik olarak yürütülen araştırmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 1’de özetlenerek sunulmuştur. Kereviz, ıspanak, turp, pazı ve marul gibi sebzelerin 2500 mg/kg’den daha fazla nitrat içerdiği rapor edilmiştir. Kereviz suyu ve kereviz tozunun işlenmiş et ürünlerinde lezzet üzerinde olumsuz bir etkisinin olmaması nedeniyle doğal nitrat kaynağı olarak daha çok kullanım alanı bulduğu belirtilmektedir

(Alahakoon et al., 2015). Ancak kerevizin allerjen özellik göstermesi kullanımını önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (Shin et al., 2017). Diğer taraftan doğal kürlenme ajanlarının yüksek konsantrasyonlarda kullanılması ürünün duyuşal özelliklerini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Alahakoon et al., 2015).

Frankfurter, wiener ve hot dog gibi emülsifiye et ürünlerinde yegane kürlenme ajanı nitrittir. Emülsifiye et ürünleri yüksek pH ve a_w değerlerinden dolayı soğukta muhafaza edilmektedir. Bu ürünlerde nitrit, mikrobiyal stabilitenin sağlanması açısından önemli bir etkidir. Sebze suyu tozunun alternatif kürlenme ajanı olarak kullanıldığı bir çalışmada sebze tozu *S. carnosus* ile muamele edilmiş ve böylelikle nitratın nitrite dönüşümü sağlanmıştır. Sonuç olarak da biyodönüştürülmüş sebze suyu tozunun sentetik nitrit kullanılarak üretilen frankfurter grubu ile benzer özellikler gösterdiği rapor edilmiştir (Sindelar et al., 2007a). Frankfurter üzerinde yürütölen diğör bir çalışmada da kırmızı pancar tozu fermente edilmiş ve üretimde kullanılmış ve çalışmada fermente kırmızı pancar oranı arttıkça kırmızı renk değerinin arttığı rapor edilmiştir (Hwang et al., 2017). Sebze ekstraktlarının ürünün duyuşal özelliklerindeki etkileri bu ürünlerin kullanımını sınırlayan en önemli faktörlerden biridir. Emülsifiye bir et ürünü üzerinde yapılan bir çalışmada, pazı suyu ekstraktının renk açısından sentetik nitrite benzer sonuçlar verdiği ancak kırmızı pancarın ürünün rengini olumsuz yönde etkilediği rapor edilmiştir (Schopfer et al., 2022). Buna karşın diğör bir çalışmada ise et emülsiyonunda fermente edilmiş kırmızı pancar ekstraktının askorbik asit ile birlikte kullanılması durumunda ürünün renk açısından sentetik nitrit kullanılan gruplara benzer özellik gösterdiği rapor edilmiştir (Choi et al., 2017).

Parça halde işlenen kür edilmiş pişirilmiş et ürünlerinde kürlenme ajanı olarak nitrit kullanılmaktadır. Büyük parça etlerin hammadde olarak kullanıldığı ürünlerde kürlenme için enjeksiyon yöntemi küçük parça etlerde ise daldırma yöntemi kullanılmaktadır. Kürlenme karışımında yer alan bileşenlerin ete daha iyi difüze olabilmesi için tumbling ve massaging işlemlerine de başvurulmaktadır (Gököl ve ark., 2012). Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışimleri ve Et Ürünleri Tebliği'nde bu tip ürünler jambon olarak adlandırılmaktadır (Anonim, 2019). Tüketime hazır bu et ürünlerinde nitrit önemli bir katkı maddesidir. Jambon üzerinde yapılan bir çalışmada, kereviz suyu tozu kullanılarak üretilen örnekler ile geleneksel yöntemlerle üretilen örnekler arasında *L. monocytogenes*'in davranışı açısından önemli bir farklılığın olmadığı rapor edilmiştir (Sullivan et al., 2012a). Kereviz suyu tozunun içerdiği nitratın *S. carnosus* ile muamelesi sonucu elde edilen preparatın jambon üretiminde kullanıldığı bir çalışmada, kereviz suyu tozunun %0,2 oranında ilavesinin sentetik nitrit ile benzer sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Sindelar et al., 2007b). Jambon üzerinde

yürütülen diğer bir çalışmada ise nitratı nitrite dönüştürülmüş pazı tozunun doğrudan kütleme ajanı veya ikame maddesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır (Kim et al., 2019). Fermente sosislerde kullanılan ekstraktların miktarı ürün özelliklerinin korunması açısından büyük önem arz etmektedir. Örneğin, ıspanak ekstraktının ilave oranı arttıkça kırmızı renk yoğunluğunun arttığı rapor edilmiştir (Kim et al., 2017).

Jambon ve benzeri tüketime hazır et ürünlerinde *L. monocytogenes* önemli gıda kaynaklı bir patojen mikroorganizmadır (Kaban et al., 2010). Jambon ve kür edilmiş pişirilmiş hindi etlerinde biyodönüştürülmüş kereviz tozu kullanımının *L. monocytogenes*'in davranışı üzerinde önemli bir farklılığa neden olmadığı rapor edilmiştir (Myers et al., 2013; Golden et al., 2014). Buna karşın maydanoz ekstraktının motadella tipi salamda 4,29 g/kg düzeyinde kullanılması durumunda *L. monocytogenes*'in daha yavaş bir gelişme sergilediği bildirilmiştir (Riel et al., 2017). Diğer taraftan nitratı nitrite dönüştürülmüş kereviz suyu tozunun kür edilmiş pişirilmiş hindi etinde soğukta muhafazada *Clostridium perfringens*'in inhibisyonu açısından sentetik nitrite benzer sonuçlar verdiği bildirilmiştir (King et al., 2015).

Yarı kuru bir fermente sosis çeşidi olan ısıtılmış sucukta kereviz tozunun ürünün karakteristik özelliklerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı, N-Nitrozodietilamin ve N-Nitrozodimetilamin içeriğinin kereviz tozundan etkilenmediği rapor edilmiştir. Ancak aynı çalışmada kereviz tozunun N-Nitrozopiperidin içeriğini artırdığı bildirilmiştir (Yılmaz Oral, 2022). Isıtılmış sucukta yürütülen diğer bir çalışmada ise pazı tozunun kalıntı nitrit seviyesinde artışa neden olduğu ve bu doğal kütleme maddesinin oranı arttıkça pH değerinin arttığı rapor edilmiştir. (Öztürk Kerimoğlu & Serdaroğlu, 2020). Buna karşın aynı ürün üzerinde yürütülen diğer bir çalışmada kereviz ve siyah havuç konsantresinin ürünün son pH değeri ile duyu özelliklerinde önemli farklılıklara neden olmadığı saptanmıştır (Işıksal, 2021).

Kuru fermente sosislerde alternatif kütleme ajanlarının kullanımına yönelik de araştırmalar yürütülmüştür. Sucukta pazı ve ıspanak tozlarının doğal kütleme ajanları olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir (Babaoğlu & Karakaya, 2022). Ayrıca pancar tozunun sucuğun kırmızı renk yoğunluğunu artırdığı ve kırmızımsı rengin muhafaza süresince önemli bir değişime uğramadığı rapor edilmiştir (Sucu & Yıldız Turp, 2018). Kuru fermente bir sosis çeşidinde de %1 oranında turp tozu kullanımının olumlu sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Ozaki et al., 2021). Fermente sosislerde mikrobiotanın önemli bir parçası olan koagülaz negatif stafilkoklar nitrat redüktaz aktiviteleri ile nitratı nitrite indirgeyerek renk oluşumu ve stabilitesi üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca oluşan nitrit antimikrobiyal aktivite göstererek ürün güvenliğine de katkı sağlamaktadır. Nitrit oksidasyonun gecikti-

rilmesi/engellenmesi ve lezzet oluşumunda da etkili olmaktadır (Sallan et al., 2023). Sebze ürünlerinin nitrat kaynağı olarak kullanıldığı üretimlerde koagülaz negatif stafilokoklar nitrati nitrite dönüştürebilmektedir. Ancak nitratin yeterli oranda nitrite dönüşümünün sağlanması için *S. xylosus* ve *S. carnosus* gibi starter kültürlerin fermente sosis hamurlarına yeterli miktarda ilave edilmesi gerekmektedir. Aksi durumda nitrattan beklenen etkiler sağlanamayacağından hem ürün güvenliği hem de ürün özellikleri açısından riskler söz konusu olacaktır. Nitekim kereviz tozu ile yapılan bir çalışmada starter kültür seçiminin çok önemli bir faktör olduğu ifade edilmiştir (Eisinaite et al., 2020).

Doğal kürlenme ajanlarının et ürünlerinde kullanımını kısıtlayan pek çok faktör söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle bu katkı maddeleri et ürünlerine sınırlı miktarda ilave edilebilmektedir. Ayrıca bazı sebzelerin karbonhidrat içeriğinin starter kültürler için iyi bir substrat olma ihtimali de oldukça yüksektir. Bu nedenle bu katkıların kullanımında bu hususun da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Aksi durumda ürünün pH değerinde düşüşler söz konusu olabilmektedir. Diğer bir önemli husus ise aynı sebze çeşidinin farklı zamanlarda farklı nitrat içeriği gösterebilmesidir. Bu durum standart bir üretim için de kısıtlayıcı bir faktördür (Yıldız Turp ve Avcı, 2022). Diğer taraftan doğal kürlenme maddelerinin N-nitrozaminlerin oluşumunu engellemeyeceği bildirilmektedir (Flores & Toldra, 2021). Nitekim Yılmaz Oral (2022) tarafından yapılan bir çalışmada ısıl işlem görmüş sucukta kereviz tozunun N-Nitrozodietilamin ve N-Nitrozodimetilamin içeriğini etkilemediği ancak kereviz tozunun N-Nitrozopiperidin seviyesini artırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca doğal kürlenme maddelerinin pestisitler, ağır metaller ve bazı mikotoksinler gibi maddeleri içerebileceği bildirilmiştir (Flores & Toldra, 2021).

Tablo 1. Doğal kürlenme maddelerinin et ürünlerinin fiziko-kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerine etkisi

Ürün	Doğal Kürlenme Maddesi	Sonuç	Kaynak
Frankfurter	Sebze suyu tozu	<i>Staphylococcus carnosus</i> ile muamele edilen sosis hamurlarında nitratin nitrite dönüşümü için gerekli sürenin önemli bir faktör olduğu belirlenmiş ve kontrol grubuna benzer özelliklerde ürün elde edilmiştir.	Sindelar et al., (2007a)
Frankfurter	Kırmızı pancar (Fermente edilmiş)*	Fermente kırmızı pancar oranı arttıkça parlaklık ve sarı renk yoğunluğunun azaldığı, kırmızı renk değerinin arttığı belirtilmiştir.	Hwang et al., (2017)

Et emülsiyonu	Kırmızı pancar ekstraktı (Fermente edilmiş)*	Fermente kırmızı pancar ekstraktı ve askorbik asit kombinasyonu, et emülsiyonunda renk açısından sentetik nitrite uygun bir alternatif olabileceği belirlenmiştir.	Choi et al., (2017)
Emülsifiye et ürünü (sosis)	Kırmızı pancar ve pazı suyu ekstraktı	Pazı suyu ekstraktının renk açısından sentetik nitrite benzer sonuçlar gösterdiği ancak kırmızı pancar ekstraktına renk veren bileşenlerin türünün görünüşünü maskeleydiği belirlenmiştir.	Schopfer et al., (2022)
Jambon	Kereviz suyu tozu	Doğal kürlenme maddeleri ile geleneksel yöntemlerin <i>Listeria monocytogenes</i> 'in inhibisyonu bakımından benzer sonuçlar verdiği saptanmıştır.	Sullivan et al., (2012a)
Jambon	Kereviz suyu tozu	Nitratin nitrite dönüşümü için <i>S. carnosus</i> kullanılmış ve kereviz suyu tozu (%0,2) ile sentetik nitrit kullanılan gruplara benzer duyuşal özellikler tespit edilmiştir.	Sindelar et al., (2007b)
Jambon	Pazı tozu (Fermente edilmiş)*	Nitrati nitrite dönüştürülmüş pazı tozunun doğal kürlenme ajanı ve sentetik nitrite ikame maddesi olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.	Kim et al., (2019)
Jambon	Ispanak ekstraktı (Fermente edilmiş)*	Kırmızı renk yoğunluğunun fermente ıspanak ekstraktı ilave oranı arttıkça arttığı, buna karşın TBARS değerinin düştüğü tespit edilmiştir.	Kim et al., (2017)
Jambon (Dilimlenmiş)	Kereviz tozu (Bio-dönüştürülmü)*	<i>Listeria monocytogenes</i> 'in gelişiminde sodyum nitrit kaynağının önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.	Myers et al., (2013)
Kür edilmiş pişirilmiş hindi eti	Kereviz tozu (Bio-dönüştürülmü)*	<i>Listeria monocytogenes</i> 'in gelişimi (4 °C'de 12 hafta) açısından geleneksel üretime benzer sonuçlar elde edilmiştir.	Golden et al., (2014)
Kür edilmiş pişirilmiş hindi eti	Kereviz suyu tozu(Bio-dönüştürülmü)*	Sentetik nitrite eşdeğer kereviz suyu tozu kaynaklı nitrit ile sentetik nitritin soğuk muhafazada <i>Clostridium perfringens</i> 'in inhibisyonu açısından benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir.	King et al., (2015)
Salam (Mortadella tipi)	Maydanoz ekstraktı	Toz haline getirilmiş ekstrakt (4,29 g/kg) mevcudiyetinde (dolundan sonra bio dönüşüm için 40 °C'de 90 dak) soğuk muhafazada (28 gün) <i>Listeria monocytogenes</i> 'in daha yavaş geliştiği belirlenmiştir.	Riel et al., (2017)

Isıl işlem görmüş sucuk	Kereviz tozu	Kereviz tozunun ürünün karakteristik özelliklerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı, N-Nitrozodietilamin ve N-Nitrozodimetilamin içeriğinin kereviz tozundan etkilenmediği belirlenmiştir. Ancak kereviz tozunun N-Nitrozopiperidin içeriğini artırdığı tespit edilmiştir.	Yılmaz Oral, (2022)
Isıl işlem görmüş sucuk	Pazı tozu	Pazı tozu oranı arttıkça ürünün pH değerinin arttığı ve pazı tozu kaynaklı nitrat kullanılarak üretilen örneklerin kalıntı nitrit seviyesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.	Öztürk Kerimoğlu & Serdaroğlu, (2020)
Isıl işlem görmüş sucuk ve sucuk	Kereviz ve siyah havuç konsantresi	Her iki ürünün son pH değeri ve duyuşal özellikler açısından doğal kaynaklı nitrit kullanımından etkilenmediği tespit edilmiştir.	Işıksal, (2021)
Sucuk	Pazı, ıspanak, dereotu tozu	Pazı tozunun örneklerin pH değerini düşürdüğü, sebze tozlarının mikrobiyolojik özellikleri etkilemediği ancak kırmızı renk yoğunluğunu düşürdüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak da pazı ve ıspanak tozlarının sucukta doğal kürlenme maddesi olarak kullanılabilceği vurgulanmıştır.	Babaoğlu & Karakaya, (2022)
Sucuk	Pancar tozu	Sucuk üretiminde pancar tozu kullanımının ürünün a* değerini artırdığı ve kırmızimsi rengin muhafaza boyunca korunduğu belirlenmiştir.	Sucu & Yıldız Turp, (2018)
Soğuk tütsülenmiş fermente sos	Kereviz (dondurulmuş-kurutulmuş)	Soğuk tütsülenmiş fermente sos üretiminde sentetik nitrit yerine dondurulmuş-kurutulmuş kerevizin ürün güvenliği ve kalitesi açısından olumsuz bir etkisinin olmadığı tespit edilmiş, ancak uygun starter kültür seçimine de dikkat çekilmiştir.	Eisinaite et al., (2020)
Kuru fermente sos	Turp ve pancar tozu	Turp tozu (%1) kullanımının alternatif bir nitrit ikame maddesi olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.	Ozaki et al., (2021)

*: Nitrat, nitrat redüktaz aktivitesine sahip mikroorganizmalar ile nitrite dönüştürülmüş

SONUÇ

Et ürünlerinin kürlenmesinde temel kürlenme ajanı nitrittir. Diğer bir kürlenme ajanı olan nitrat ise etkisini ancak nitrite dönüştüğünde gösterebilmektedir. Bu kürlenme ajanları ürün tipine bağlı olarak tek başına veya birlikte kullanılabilir. Nitrat ve nitritin sağlık üzerindeki potansiyel risklerinden dolayı tüketicilerin doğal ürünlere olan talebi gün geçtikçe artmaktadır. Bu talebi karşılamak amacıyla nitratça zengin sebzelerin

kürleme ajanı olarak kullanımına yönelik araştırmalar yapılmış ve endüstriyel üretimde belirli oranda bu ürünler kullanılmaya başlanmıştır. Bitkisel kaynaklı ürünler doğrudan nitrat kaynağı olarak kullanılabilir. Bunun yanı sıra bu ürünlerde bulunan nitrat, nitrat redüktaz aktivitesine sahip koagülaz negatif stafilokoklar aracılığıyla nitrite dönüştürülmekte ve böylelikle elde edilen ürün doğal nitrit kaynağı olarak da formülasyona dahil edilmektedir. Ancak bu doğal kürleme maddelerinin kullanımını kısıtlayıcı bazı faktörler bulunmaktadır. Bu doğal ürünlerin, et ürünlerinin tipik karakteristik özelliklerini etkilemeyecek seviyede formülasyona ilave edilmesi ve bu ürünlerin pestisit ve ağır metal gibi kalıntılar açısından güvenilir olması gerekmektedir. Bitkisel ürünlerin nitrat içeriğinin değişkenlik göstermesi de dikkate alınması gereken diğer önemli husustur. *Salmonella*, *C. botulinum* ve *L. monocytogenes* gibi gıda kaynaklı patojenlerin inhibisyonu açısından nitrit önemli bir antimikrobiyal ajandır. Bundan dolayı üretim sırasında nitratın nitrite dönüştürülmesini sağlayacak ortam koşullarının oluşturulması büyük önem arz etmektedir. Ayrıca biyodönüştürülmüş ürünlerde yeterli miktarda nitrit bulunması gerekmektedir. Diğer taraftan bitkisel kaynaklı doğal ürünlerin içerdikleri bazı bileşikler nedeniyle nitrozamin oluşumunu inhibe edebileceği yönünde çalışmaların yanı sıra bu doğal ürünlerin bazı nitrozaminlerin oluşumunu teşvik edebileceğine yönelik araştırmalar da mevcuttur. Nitrozamin oluşumunda kalıntı nitrit miktarı önemli bir faktör olduğundan hem sentetik nitrat/nitrit hem de doğal nitrat/nitrit kaynaklarının kullanım seviyeleri oldukça önem arz etmektedir. Bundan dolayı nitrat/nitrit kaynağından ziyade başlangıç nitrat/nitrit seviyesini ve son ürünlerdeki kalıntı nitrit miktarını düşürmeye yönelik araştırmalara halen ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alahakoon, A.U., Jayasena, D.D., Ramachandra, S. & Jo, C. (2015). Alternatives to nitrite in processed meat: Up to date. *Trends in Food Science and Technology*, 45 (1), 37-49.
- Anonim, (2013). Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği. Sayı: 28693, Ankara.
- Anonim, (2019). Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği, Sayı. 30670, Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Anonymous, (2006). Directive 2006/52/EC of the European Parliament and of the Council of 5 July 2006 amending Directive 95/2/EC on food additives other than colours and sweeteners and Directive 95/35/EC on sweeteners for use in foodstuffs. O.J., L204.
- Babaoğlu, A. S. & Karakaya, M. (2022). Investigation of the quality characteristics of naturally cured sucuks with dill, spinach and Swiss chard powders during refrigerated storage. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 36(1), 98-104.
- Choi, Y. S., Kim, T. K., Jeon, K. H., Park, J. D., Kim, H. W., Hwang, K. E. & Kim, Y. B. (2017). Effects of pre-converted nitrite from red beet and ascorbic acid on quality characteristics in meat emulsions. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(2), 288.
- Dalzini, E., Merigo, D., Caproli, A., Monastero, P., Cosciani-Cunico, E., Losio, M.N. & Daminelli, P. (2022). Inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* spp. in Milano-type salami made with alternative formulations to the use of synthetic nitrates/nitrites. *Microorganisms*, 10 (3), 562.
- Eisainaitė, V., Tamkutė, L., Vinauskienė, R. & Leskauskaitė, D. (2020). Freeze-dried celery as an indirect source of nitrate in cold-smoked sausages: Effect on safety and color formation. *LWT Food Science and Technology*, 129, 109586.
- Ferysiuk, K. & Wójciak, K.M. (2020). Reduction of nitrite in meat products through the application of various plant-based ingredients. *Antioxidants*, 9(8), 711.
- Flores, M. & Toldrá, F. (2021). Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products-Invited review. *Meat Science*, 171, 108272.
- Gassara, F., Kouassi, A.P., Brar, S.K., Belkacemi, K. (2016). Green alternatives to nitrates and nitrites in meat-based products– A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 2133-2148.
- Golden, M. C., McDonnell, L. M., Sheehan, V., Sindelar, J. J. & Glass, K. A. (2014). Inhibition of *Listeria monocytogenes* in deli-style Turkey breast formulated with cultured celery powder and/or cultured sugar–vinegar blend during storage at 4 °C. *Journal of Food Protection*, 77(10), 1787–1793.

- Gökalp, H.Y., Kaya, M. ve Zorba, Ö. (2012). Et Ürünleri İşleme Mühendisliği Atatürk Üniversitesi Yayın No:786, Ziraat Fak. Yayın No: 320, Ders Kitapları Serisi No:70, Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.
- Heinz, G. & Hautzinger, P. (2007). Meat Processing Technology. FAO, RAP Publication 2007/20, Bangkok.
- Honikel K.O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78(1-2), 68-76.
- Horsch, A. M., Sebranek, J. G., Dickson, J. S., Niebuhr, S. E., Larson, E. M., Lavieri, N. A. & Wilson, L. A. (2014). The effect of pH and nitrite concentration on the antimicrobial impact of celery juice concentrate compared with conventional sodium nitrite on *Listeria monocytogenes*. *Meat Science*, 96(1), 400-407.
- Hwang, K. E., Kim, T. K., Kim, H. W., Oh, N. S., Kim, Y. B., Jeon, K. H. & Choi, Y. S. (2017). Effect of fermented red beet extracts on the shelf stability of low-salt frankfurters. *Food Science and Biotechnology*, 26, 929-936.
- Işıksal, S. (2021). Sucuk üretiminde bitkisel kaynaklı nitrat kullanımı. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Jo, K., Lee, S., Yong, H. I., Choi, Y. S. & Jung, S. (2020). Nitrite sources for cured meat products. *LWT Food Science and Technology*, 129, 109583.
- Kaban, G. ve Kaya, M. (2010). Et Ürünleri Teknolojisi-2. Et ve Et Ürünlerinin Kalite Kontrolü. Ed: Merih KIVANÇ, ss. 44-61, ISBN: 978-975-06-0763-9, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Kaban, G., Kaya, M. & Lücke, F. K. (2010). The Effect of *Lactobacillus sakei* on the behavior of *Listeria monocytogenes* on sliced Bologna-type sausages. *Journal of Food Safety*, 30(4), 889-901.
- Kaya, M. ve Kaban, G. (2010). Et Ürünleri Teknolojisi-1. Et ve Et Ürünlerinin Kalite Kontrolü. Ed: Merih KIVANÇ, ss. 24-42, ISBN: 978-975-06-0763-9, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Kaya, M. ve Kaban, G. (2019). Fermente Et Ürünleri. Gıda Biyoteknolojisi. Ed: Necla ARAN, ss.157- 195, 7. Basım, ISBN: 978-605-133-134-8, Nobel Yayıncılık, İstanbul.
- Kim, T. K., Hwang, K. E., Song, D. H., Ham, Y. K., Kim, Y. B., Paik, H. D. & Choi, Y. S. (2019). Effects of natural nitrite source from Swiss chard on quality characteristics of cured pork loin. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(12), 1933.
- Kim, T. K., Kim, Y. B., Jeon, K. H., Park, J. D., Sung, J. M., Choi, H. W. & Choi, Y. S. (2017). Effect of fermented spinach as sources of pre-converted nitrite on color development of cured pork loin. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(1), 105.
- King, A. M., Glass, K. A., Milkowski, A. L. & Sindelar, J. J. (2015). Comparison of the effect of curing ingredients derived from purified and natural sources

- on inhibition of *Clostridium perfringens* outgrowth during cooling of deli-style turkey breast. *Journal of Food Protection*, 78(8), 1527-1535.
- Krause, B. L. (2009). Incubation of curing brines for the production of ready-to-eat uncured ham. Iowa State University Capstones, Theses and Dissertations, Ames.
- Lücke, F. K. (1998). Fermented sausages. pp. 441-483. In: *Microbiology of Fermented Foods*. Volume 2, Eds. B. J. B. Wood. Blackie Academic and Professional, London.
- Myers K, Cannon, J., Montoya, D., Dickson, J. Lonergan, S. & Sebranek, J. (2013). Effects of high hydrostatic pressure and varying concentrations of sodium nitrite from traditional and vegetable-based sources on the growth of *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat (RTE) sliced ham. *Meat Science*, 9469-76.
- Ozaki, M. M., Munekata, P. E., Jacinto-Valderrama, R. A., Efraim, P., Pateiro, M., Lorenzo, J. M. & Pollonio, M. A. R. (2021). Beetroot and radish powders as natural nitrite source for fermented dry sausages. *Meat Science*, 171, 108275.
- Öztürk, B., Serdaroğlu, M. ve Ergezer, H. (2015). Et ve et ürünlerinde nitrit-nitrat; kullanım avantajları, yasal sınırlamalar ve güncel alternatif yaklaşımlar. *Akademik Gıda*, 13(3), 257-264.
- Öztürk-Kerimoğlu, B., & Serdaroğlu, M. (2020). Residual nitrite content of heat-treated sucuk as affected by chard powder incorporation and processing. *Gıda/The Journal of Food*, 45, 825-835.
- Pereira, P. M. D. C. C., & Vicente, A. F. D. R. B. (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*, 93(3), 586-592.
- Riel, G., Boulaaba, A., Popp, J. & Klein, G. (2017). Effects of parsley extract powder as an alternative for the direct addition of sodium nitrite in the production of mortadellatype sausages—Impact on microbiological, physicochemical and sensory aspects. *Meat Science*, 131, 166-1.
- Sallan, S., Yılmaz Oral, Z. F. & Kaya, M. (2023). A Review on the role of lactic acid bacteria in the formation and reduction of volatile nitrosamines in fermented sausages. *Foods*, 12(4), 702.
- Schopfer, B., Mitrenga, S., Boulaaba, A., Roofls, K., Plötz, M., & Becker, A. (2022). Red beet and Swiss chard juice extract as natural nitrate sources for the production of alternatively-cured emulsion-type sausages. *Meat Science*, 188, 108780.
- Sebranek, J. G. & Bacus, J. N. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues?. *Meat Science*, 77(1), 136-147.
- Sebranek, J.G. (2009). Basic Curing Ingredients. In: *Ingredients in Meat Products*. Ed. Tarte, R., pp:1-24, NY:Springer, New York.
- Shin, D. M., Hwang, K. E., Lee, C. W., Kim, T. K., Park, Y. S. & Han, S. G. (2017).

- Effect of Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla*) as nitrite replacement on color stability and shelf-life of cooked pork patties during refrigerated storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(3), 418.
- Sindelar, J. J., Cordray, J. C., Sebranek, J. G., Love, J. A. & Ahn, D. U. (2007a). Effects of vegetable juice powder concentration and storage time on some chemical and sensory quality attributes of uncured, emulsified cooked sausages. *Journal of Food Science*, 72(5), 324-332.
- Sindelar, J. J., Cordray, J. C., Sebranek, J. G., Love, J. A. & Ahn, D. U. (2007b). Effects of varying levels of vegetable juice powder and incubation time on color, residual nitrate and nitrite, pigment, pH, and trained sensory attributes of ready-to-eat uncured ham. *Journal of Food Science*, 72(6), S388-S395.
- Sucu, C. & Turp, G. Y. (2018). The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. *Meat Science*, 140, 158-166.
- Sullivan, G. A., Jackson-Davis, A. L., Niebuhr, S. E., Xi, Y., Schrader, K. D., Sebranek, J. G. & Dickson, J. S. (2012a). Inhibition of *Listeria monocytogenes* using natural antimicrobials in no-nitrate-or-nitrite added ham. *Journal of Food Protection*, 75, 1071-1076.
- Sullivan, G. A., Jackson-Davis, A. L., Schrader, K. D., Xi, Y., Kulchaiyawat, C., Sebranek, J. G. & Dickson, J. S. (2012b). Survey of naturally and conventionally cured commercial frankfurters, ham, and bacon for physio-chemical characteristics that affect bacterial growth. *Meat Science*, 92(4), 808-815.
- Yıldız Turp, G. ve Avcı, T. (2022). Et ürünlerinde nitrit kullanımını azaltma yöntemlerinde güncel yaklaşımlar ve sanayiye aktarılma potansiyelleri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(3), 475-488.
- Yılmaz Oral, Z.F. (2022). Kereviz tozu kullanımının ısı işlem görmüş sucukta nitrozamin oluşumuna ve ürün özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Yong, H.I., Kim, T.K., Choi, H.D., Jang, H.W., Jung, S. & Choi, Y.S. (2021). Clean label meat technology: Pre-converted nitrite as a natural curing. *Food Science of Animal Resources*, 41 (2), 173.



BÖLÜM 7

BİNAURAL VURUŞ KULLANILARAK DİKKAT VE RAHATLIK SEVİYESİNİN ELEKTROENSEFALOGRAFİ CİHAZI ÖLÇÜMÜYLE TESPİTİ

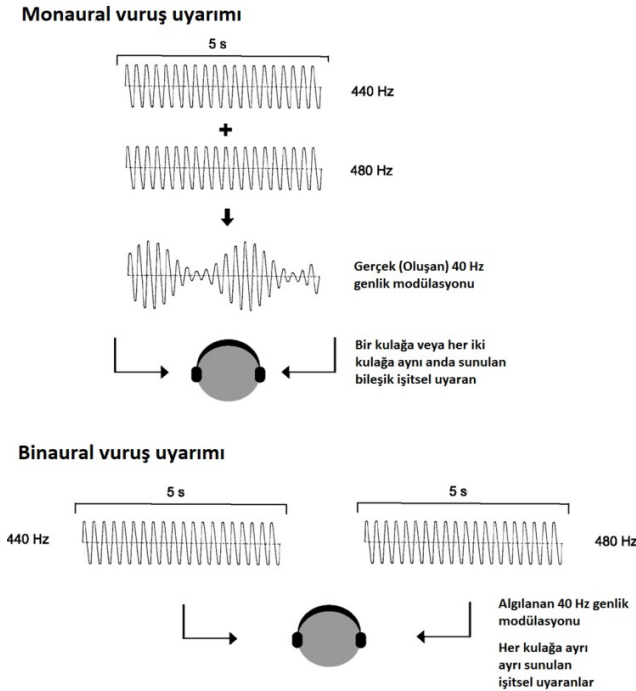
*Mehmet Üsame KARAOSMAN¹,
Firdevs Banu ÖZDEMİR²*

1 Öğr. Gör., Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Simav Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Simav-Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8786-8317) email: mehmetusame.karaosman@ksbu.edu.tr

2 Öğr. Gör. Dr., Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Simav Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Simav-Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7935-2062) email: firdevsbanu.ozdemir@ksbu.edu.tr

1.Giriş

Her iki kulağa farklı frekanslarda ses sırasıyla verildiği zaman beyin iki sinyali bütünleştirir ve üçüncü bir ses hissi üretir. Üretilen bu ses Binaural vuruş olarak adlandırılmaktadır [1]. Heinrich Wilhelm Dove tarafından 1839 yılında bulunmuştur. Binaural ses beyin dalgalarını etkileme özelliği bulunan ritimlerdir. Bu teknikle alfa, theta, beta, delta ve gama frekanslı beyin dalgaları oluşmaktadır. Beyin dalgaları saniyedeki dalga boyu veya hertz (Hz) cinsinden bir salınım hızına sahiptir. Örneğin sol kulağa 74 Hz'lik bir ton ve sağ kulağa 76 Hz'lik bir ton çalarsak, beyin 2 Hz frekanslı bir binaural vuruş algılamış olacaktır. Sinüs dalgalarının yakındaki frekanslarla üst üste binmesiyle işitsel vuruş uyarımları oluşur ve bunlar genlik modülasyonlu sinyallerdir. Şekil 1'de gösterildiği gibi Monaural (Tek sesli vuruşlar) ve Binaural vuruş olarak iki temel yaklaşımla incelenmiştir. İki akustik dalganın fiziksel süperpozisyonundan Tek sesli vuruşlar oluşur. Örneğin, frekansları 440 ve 480 Hz olan iki sinüs dalgasının üst üste binmesi, taşıyıcı frekansı 460 Hz olan ve genliği 40 Hz oranında modüle edilen bir bileşik sinüs dalgası üretir. Binaural vuruşlarda, bir sinüs dalgası (örneğin 440 Hz) sol kulağa, diğer sinüs dalgası (örneğin 480 Hz) sağ kulağa verildiğinde gerçekte (yani fiziksel) bir süperpozisyonun olmamasına rağmen, aynı zamanda genlik modülasyonlu bir tonun (örn. 40 Hz modülasyon) binaural vuruş frekansının subjektif algılanmasına yol açmaktadır [2].



Şekil 1. Mono ve Binaural Vuruşların Uygulanması [2]

Binaural ses çalışmaları; Kaygı ve stresin azalması [3] ve uykusuzluğun hafifletilmesine yardımcı olmak için, meditasyon uygulamasının bir parçası olarak da kullanılıp daha hızlı bir şekilde rahat bir uykuya ulaşmaya yardımcı olmaktadır. Kronik ağrısı olanlar ya da ağrılı durumlarda binaural seslerle beyin dalgaları sakinleştirilip acı yönetimi sağlanabilir. Farklı frekans (Hz) aralıklarında beyin dalgalarını arttırarak bireyler üzerinde odaklanma ve dikkatin artması gibi etkilere de sahip olabilir. Binaural vuruş ile elde edilen yüksek frekanslar bireylerin bilgiyi daha etkili bir şekilde tutmasına, hatırlamasına ve hafızayı geliştirmesine yardımcı olmaktadır [4]. Yalnızca kişinin duyabileceği kulak içi sesler kulak çınlaması olarak ifade edilir ve kulak çınlamasının sebep olduğu sıkıntının azaltılmasında binaural sesler kullanılmaktadır [5]. Binaural vuruşlar, kişinin hipnoza duyarlılığını artırabilir [6]. Binaural vuruşlar kullanılarak gelişimsel zorlukları olan bazı çocuklar için terapötik iyileştirmeler sağlanmaktadır [7].

Monaural vuruş fiziksel olarak algınarken Binaural vuruş öznel olarak algılanmaktadır. Monaural vuruşlarda karma (kompozit) frekanslar bir kulağa veya her iki kulağa aynı anda verilirken, binaural vuruşlarda birbirine yakın farklı frekanstaki sesler her bir kulağa ayrı ayrı verilir. Monaural vuruşlar çevresel, binaural vuruşlar merkezidir. İç kulağın işitsel kısmı olan koklea, monaural vuruşlarda demodüle edilmektedir. Binaural vuruşlar medial superior olivary de işlenir. Monaural vuruşlar bir veya her iki kulakta algılanabilir fakat binaural vuruşlar her iki kulağın birleşik hareketini gerektirir. Monaural vuruşlar, daha geniş bir vuruş frekansı aralığında ve daha yüksek taşıyıcı tonlarda duyulur binaural vuruşlar ise vuruş frekansları düşük olduğunda ve taşıyıcı tonlar 1000 Hz'nin altında olduğunda mevcuttur [8].

1.1 . Binaural İşitme Performansı

1.1.1 Ses Lokalizasyonu

Binaural vuruş duyuları, iki kulağa ayrı ayrı sunulan, zamansal olarak kodlanmış iki farklı tonun merkezi kombinasyonuna bağlıdır [9]. İşitsel olaylar, uzayda belirli uzantılarda ve belirli konumlarda bulunmaktadır. Çift taraflı dinleme esnasında işitsel bölge, tek sesli dinleme esnasındaki işitsel bölgeden önemli ölçüde farklılık göstermektedir [8].

Tek sesli dinleme sırasındaki işitsel olaylar, çift kulaklı olarak dinleme durumuna göre uzaysal olarak daha çok bulanıktır. Örneğin, azimutta yalnızca 1^0 aralıklı olan iki işitsel olay, ön ses gelişi açısından çift kulaklı olarak ayırt edilebilirken mono dinlemede ilgili yerelleştirme bulanıklığı en az 10 kat daha fazladır [8].

1.1.2 Yansımaya Karşı Refleks

İşitsel olayın merkezi genelde ses kaynağının yönündedir. Lokalizasyon ve füzyon hakimiyetinin bu birleşimine, psikoakustikte “öncelik etkisi” denmekte ve bu “ilk dalga cephesinin kuralı” olarak bilinmektedir [10]. Bu etki, farklı etkenlere göre ses kaynağının tanımlanmasını desteklediği için yansıtıcı duvarları olan odalarda işitsel bölgenin düzgün bir şekilde oluşturulması için temel öneme sahiptir. Kulakta yansıyan ve doğrudan sesler arasındaki gecikme yaklaşık olarak 1 ms’den az olduğu durumda füzyon olayı meydana gelmektedir. İşitsel olayın yönünü yansıtıcı sesler birlikte belirlemektedir. Surround ve stereofoni ses teknik uygulamalarının temelini toplama yerelleştirmesi olarak adlandırılan etki oluşturmaktadır. Gecikme beklenenden fazlaysa, birden farklı işitsel olay oluşmaktadır. Yansımalar sonucu oluşan doğrudan ses kaynaklarının yankı olarak adlandırığımız tekrarları olarak duyulmaktadır. Yankı eşiği yankıların duyulduğu minimum gecikmeye denmektedir. Bu eşik sinyale bağlı olarak değişmektedir. Kısa darbelerde 1 ms’den devamlı konuşma durumu için 50 ms’ye ve klasik müzikte 80 ms’ye kadar değişmektedir.

Kulaklardaki sıfır gecikmede işitsel olay iki hat arasındaki orta hatta görünmektedir. 1 ms’lik gecikme durumu, işitsel olayın, gecikmesinin artmasına bağlı olarak ana konuşmacı yönünde yanal kayması şeklinde sonuçlanmaktadır. Yankı eşiğine kadar olan 1 ms’den büyük gecikmeler işitsel olayın merkezinde, ana hoparlör yönüne doğru olmaktadır. Yansımakta olan sesin varlığını dinleyen kişi iyi bir şekilde hissedebilmektedir. Böylece işitsel olayın sesi normalden yüksektir ve tınısı değişmektedir. Buna renk denmektedir. Konumu ana ses çıkışının olduğu ses tarafından belirlenmektedir. Yankı eşiğinde olan gecikmelerdeki işitsel olay, ana konuşmacı yönünde direkt bir alana ve gecikmeli konuşmacı yönünde bu olayın tekrarlarına bölünmektedir [8].

Sıfır gecikme durumunda dinleyicideki işitsel olay iki hoparlör arasında orta hatta belirmektedir. 1 ms’ye kadar olan gecikme gerçekleşmesi, işitsel olaydaki artan gecikmeye bağlı ana konuşmacı yönünde yanal olarak kaymaya neden olmaktadır. 1 ms’den büyük gecikmelerde işitsel olayın merkezi, ana hoparlör yönünde olmaktadır. Dinleyici yansımakta olan sesi hissedebilmekte, işitsel olayın tınısı değişmekte ve yüksek olmaktadır. Buna renklenme denmektedir [11].

Her iki kulaktan işitmenin tek kulaktan işitmeye göre avantajlarından biri de renklenme ve yankılanma hissini azalmasıdır. Yankılanma, ses alanında artan zamansal yoğunluğun farklı yansımalarını içerdiğinde algılanmakta; genelde birincil ses azaldığında veya bittiğinde üstel bir şekilde azalmaktadır. Bu ses alanları kulaklardan biri tıkalyken, her iki kulakta daha belirgin bir şekilde daha yankılı bir ses çıkarmaktadır. Bu etkiye bi-

naural yankılanma denmektedir [11].

1.2 Binaural Vuruşlar ve İzokronik Tonlar

Binaural Vuruşlar, birbirinden farkı az olan iki frekansın oluşturulmasıyla elde edilmektedir. Beyin sonrasında açıkça duyulabildiği hayali bir binaural vuruş oluşturmaktadır; %100 sağa veya sola kaydırıldığında vuruş hemen kaybolmaktadır. Örnek olarak sağ kulakta 50 Hz ve sol kulakta 55 Hz frekans duyulduğunda, 5 Hz'lik "hayalet" binaural vuruş meydana gelmektedir. Benzer binaural vuruş 120 Hz ve 125 Hz kullanılarak oluşturulabilmektedir. Ancak kişi daha yüksek bir 'temel frekans' duymuş olur. İki frekansın birbirine yakınlığı arttıkça, vuruş yavaşlamakta ve böylece genel olarak git gide daha derin gevşeme seviyelerinin oluşmasına yardımcı olmaktadır [12].

Gün (ve gece) boyunca beyin dalgalarınız aşağıdaki ölçekte 1,5 Hz-40 Hz arasında değişen frekanslarda doğal olarak titreşir:

Tablo 1. *Beyin Dalgalarının Hz Karşılığı ve Özellikleri*

Gama	40 Hz	Yüksek farkındalık-en yüksek performans
Beta	15-40 Hz	Normal uyanıklık bilinci -yüksek farkındalık
Alfa	8-14 Hz	Hafiften derine rahatlama
Teta	4-8 Hz	Derin rahatlama (Meditasyon)
Delta	0.1-4 Hz	Derin Uyku

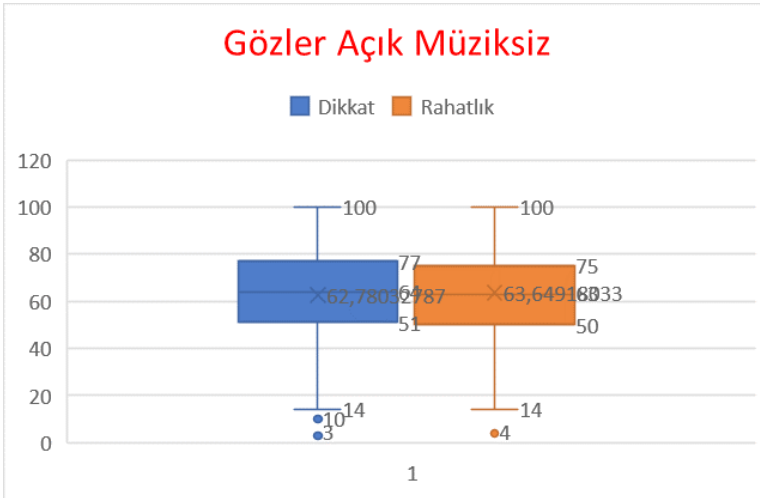
Alfa dalgaları tipik olarak büyük amplitüdlere sahiptir ve orta düzeydeki beyin aktivitesi sırasında ortaya çıkar [13]. Spesifik olarak, alfa dalgaları, kişi geçici olarak hareketsiz ama yine de uyanıkken ortaya çıkar. Bu dalgaların önemli miktarlarının uyku veya uykululuk durumunda ortaya çıkması alışılmadık bir durumdur. İşlevsel olarak alfa dalgaları korteks bölgelerini engeller ve nöronlar arasındaki ağ oluşumunda hayati bir rol oynar [14].

Beta dalgaları (13-30 Hz) genel bilinç sırasında daha senkronizedir ve kişinin gözleri açıkken dikkatli olduğunu gösterir [15]. Uyanıklık durumunda sol temporal lobda beta dalgaları gözlenebilmektedir (16).

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın amacı, 13 ve 30 Hz'lik binaural vuruşlara beyin tepkilerini araştırmak ve bu vuruşlar indüklendikten sonra 18-25 yaş arası gençlerin dikkat ve rahatlık seviyesini Neurosky cihazı ile ölçmek ve analiz etmektir. Çalışma 2 farklı deneyden oluşmaktadır. İlk deney 3 aşamadan

oluşmaktadır. İlk aşamada deneklere herhangi bir ses dinletmeden Neurosky cihazı ile beş dakika boyunca EEG verileri alınmış dikkat ve rahatlama seviyesi ölçülmüştür. 2. aşamada deneklere internetten alınan binaural vuruş yapılarak alfa dalgası hedeflenerek yapılan müzik dinletilmiştir. Neurosky cihazı ile beş dakika boyunca EEG verileri alınmıştır, dikkat ve rahatlama seviyesi ölçülmüştür. 3. aşamada ise binaural vuruş yapılarak 13 Hz'lik elde edilen sesler Matlap programında oluşturulmuştur ve bu müzikler dinletilmiştir. Beş dakika boyunca dikkat ve rahatlama seviyesi ölçülmüştür. İkinci deneyde 3 aşamadan oluşmaktadır. İkinci aşamada deneklere herhangi bir ses dinletmeden Neurosky cihazı ile beş dakika boyunca EEG verileri alınmış dikkat ve rahatlama seviyesi ölçülmüştür. 2. aşamada deneklere internetten alınan binaural vuruş yapılarak beta dalgası hedeflenerek yapılan müzik dinletilmiştir. Neurosky cihazı ile beş dakika boyunca EEG verileri alınmış, dikkat ve rahatlama seviyesi ölçülmüştür. 3. aşamada ise binaural vuruş yapılarak 30 Hz'lik elde edilen sesler Matlap programında oluşturulmuştur. Müzikler dinletilmiş ve beş dakika boyunca dikkat ve rahatlama seviyesi ölçülmüştür. Neurosky cihazından gelen beş dakikalık veriler Visual Studio'da gerçekleştirilen yazılım (Şekil 3) ile Excel'e aktarılmıştır. Çalışmada kutu grafiği yöntemi kullanılmıştır. Kısaca kutu grafiği yöntemi bir veri kümesinin dağılımını göstermek amacıyla kullanılan istatistiksel bir metottur. Kutu grafikleri, maksimum değer, üçüncü (%75) çeyrek, medyan, ilk (%25) çeyrek ve minimum değerler olmak üzere veri kümesinin beş farklı özelliğini yansıtmaktadır [17]. Excel'e aktarılan veriler kutu grafiği yöntemiyle analiz edilerek dikkat ve rahatlık seviyelerinde artış ve azalışlar analiz edilmiştir (Şekil 2).



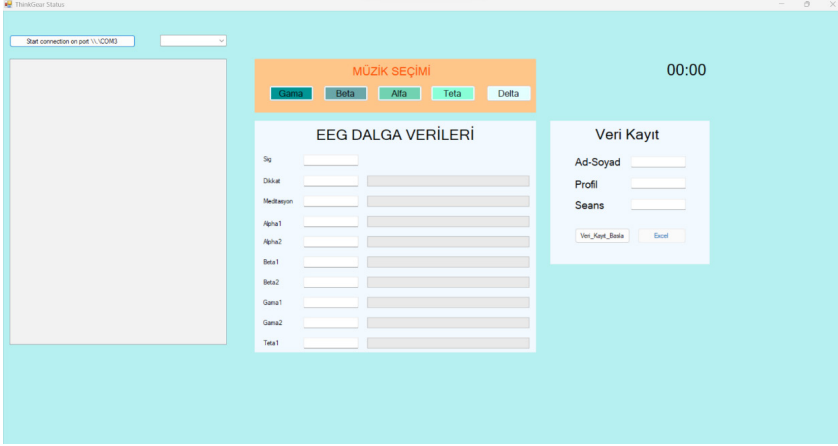
Şekil 2. Neurosky'dan Gerçekleştirilen Yazılımla Alınan Beş Dakikalık Verinin Kutu Grafiği Yöntemiyle Analiz Grafiği

Deney sonucunda ilk aşama için; 13 Hz'lik alfa dalgasını hedefleyen binaural vuruşun dinletildiği aralıkta alınan EEG verileri, müziksiz ve internetten alınan binaural vuruş yapılarak alfa dalgası hedeflenerek yapılan müzik dinletildiği aralıkta alınan EEG verileri ile kıyaslandığında; 13 Hz'lik alfa dalgasını hedefleyen binaural vuruşun dinletildiği esnada alınan rahatlık seviyesinin; müziksiz ve internetten alınan binaural vuruş yapılarak alfa dalgası hedeflenerek yapılan müzik dinletildiği esnada alınan rahatlık seviyesinden daha yüksek olması beklenmiştir. Bu durum dikkat seviyesi için tam tersi olarak beklenmiştir.

İkinci aşamada ise; 30 Hz'lik beta dalgasını hedefleyen binaural vuruşun dinletildiği aralıkta alınan EEG verileri, müziksiz ve internetten alınan binaural vuruş yapılarak beta dalgası hedeflenerek yapılan müzik dinletildiği sürede alınan EEG verileri ile kıyaslandığında; 30 Hz'lik beta dalgasını hedefleyen binaural vuruşun dinletildiği esnada alınan rahatlık seviyesinin; müziksiz ve internetten alınan binaural vuruş yapılarak beta dalgası hedeflenerek yapılan müzik dinletildiği sürede alınan rahatlık seviyesinden daha düşük olması beklenmiştir. Bu durum dikkat seviyesi için tam tersi olarak beklenmiştir.

2.2 C# da sistem tasarımı ve uygulanması

Üretilen yazılımda öncelikle Neurosky cihazı ile bluetooth bağlantısı gerçekleştirmek üzere COM seçimi gerçekleştirilmiştir. Sistemde öncelikle COM seçimi yapılmaktadır. Daha sonra Neurosky cihazı deneğin kafasına yerleştirildikten sonra 5 farklı EEG dalgası için üretilmiş binaural vuruşlardan hangisi isteniyorsa seçilmiştir. Bu çalışmada alfa ve beta dalgası için seçim yapılmıştır. Binaural vuruş seçimiyle beraber Neurosky cihazından beş dakika boyunca gelen veriler kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler Şekil 3'de görüldüğü üzere kişinin ad-soyad, hedeflenen Hz (alfa, beta, theta vb.) veya normal müzik, dikkat ve rahatlama verileri Excel programına aktarılmıştır. Beş dakika boyunca dikkat ve rahatlama parametreleri için 300'er veri alınmıştır.

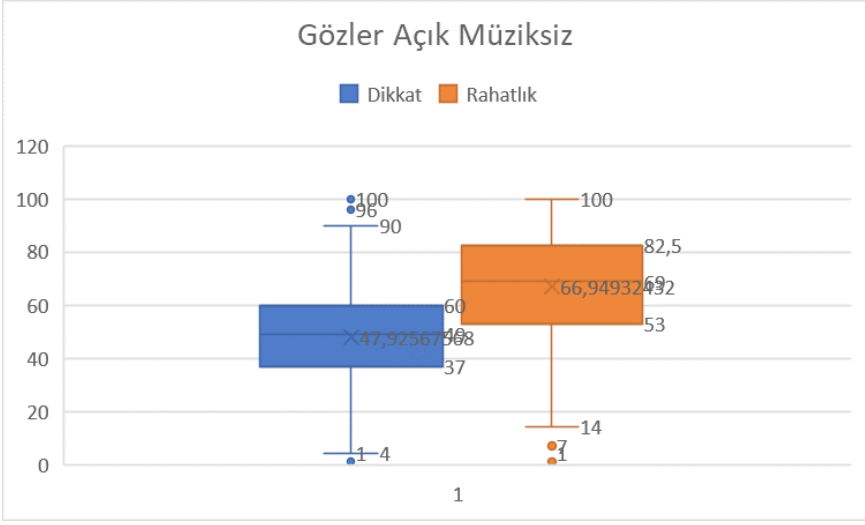


Şekil 3. Binaural Seslerin Dinletilmesi Esnasında Alınan EEG verilerini Veritabanına Kaydeden Yazılım Sistemi

3. Bulgular ve Tartışma

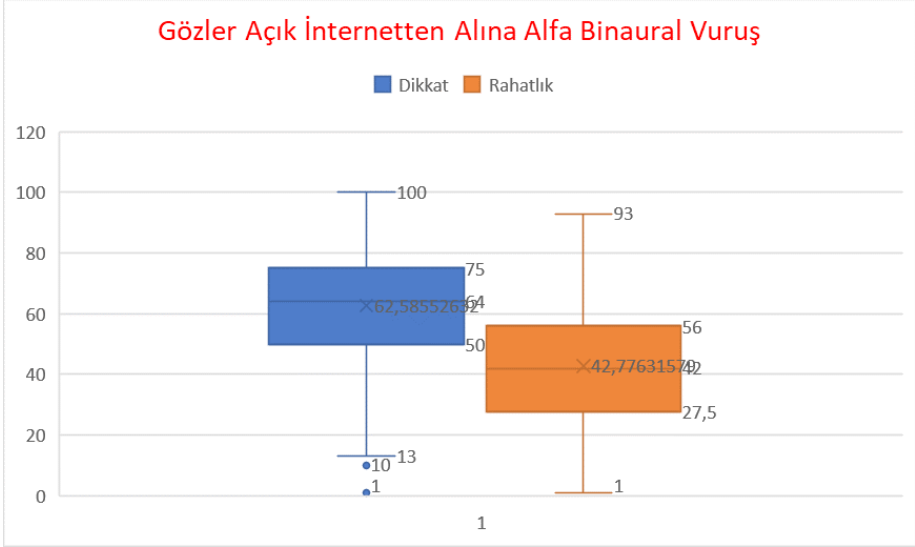
Herhangi bir müzik olmadan, internetten alınan alfa dalgasını uyaran binaural vuruş, 13 Hz binaural vuruş, internetten alınan beta dalgasını uyaran binaural vuruş ve 30 Hz binaural vuruş kullanılmıştır. Her bir ses beş dakika dinletildikten sonra yazılım ile alınan veriler Excel'e kaydedildikten sonra kutu grafiği yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışmada %25 çeyrek, %75 çeyrek ve medyan değerleri üzerinden analizler yapılmıştır.

Denek gözü açık beş dakika boyunca herhangi bir müzik dinlemeden EEG verileri alındığında dikkat seviyesi için; %25 çeyrek değeri 37, %75 değeri 60 ve medyan değeri ise 47,92 olarak kaydedilmiştir. Rahatlık seviyesinde %25 değeri 53, %75 değeri 82,5 ve medyan değeri 66,94 olarak kaydedilmiştir (Şekil 4).



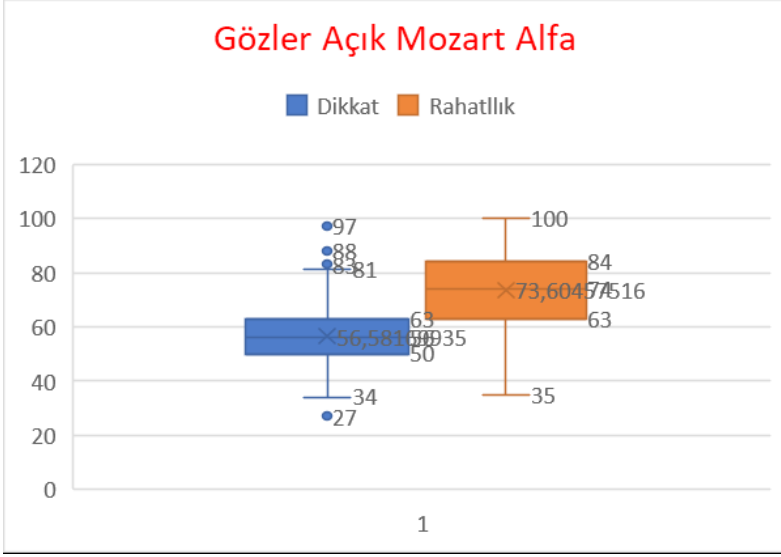
Şekil 4. *Gözler Açık Herhangi Bir Müzik Dinletmeden Neurosky Cihazı ile Beş Dakika Boyunca Alınan Dikkat ve Rahatlık Seviyesi*

Denek gözü açık beş dakika boyunca internetten alınan alfa binaural vuruşlu ses dinlerken EEG verileri alındığında dikkat seviyesi için; %25 çeyrek değeri 50, %75 değeri 75 ve medyan değeri ise 62,58 olarak kaydedilmiştir. Rahatlık seviyesinde %25 değeri 27,5, %75 değeri 56 ve medyan değeri 42,77 olarak kaydedilmiştir (Şekil 5).



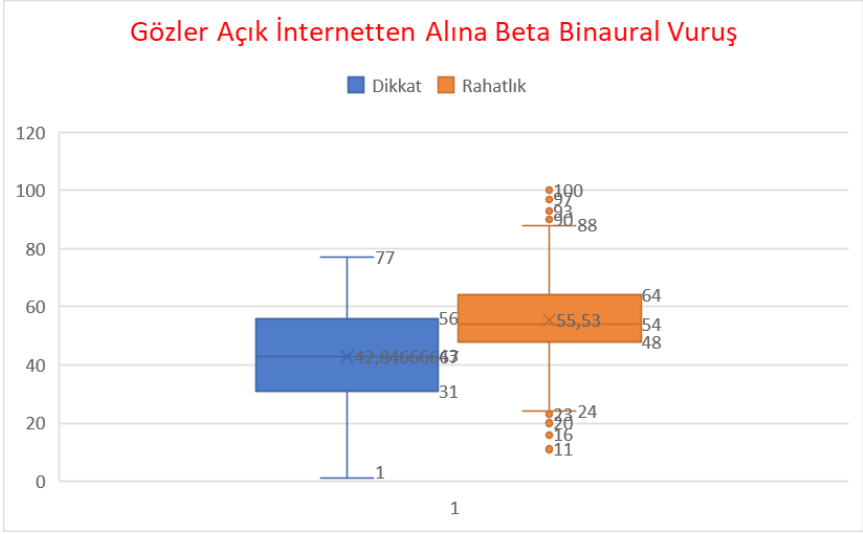
Şekil 5. *Gözler açık internetten alınan binaural vuruş yapılarak alfa dalgası hedeflenerek yapılan müzik dinletilirken neurosky cihazı ile beş dakika boyunca alınan dikkat ve rahatlık seviyesi*

Denek gözü açık beş dakika boyunca çalışmada gerçekleştirilen 12 Hz binaural vuruşlu Mozart dinlerken EEG verileri alındığında dikkat seviyesi için; %25 çeyrek değeri 50, %75 değeri 63 ve medyan değeri ise 56,58 olarak kaydedilmiştir. Rahatlık seviyesinde %25 değeri 63, %75 değeri 84 ve medyan değeri 73,6 olarak kaydedilmiştir (Şekil 6).



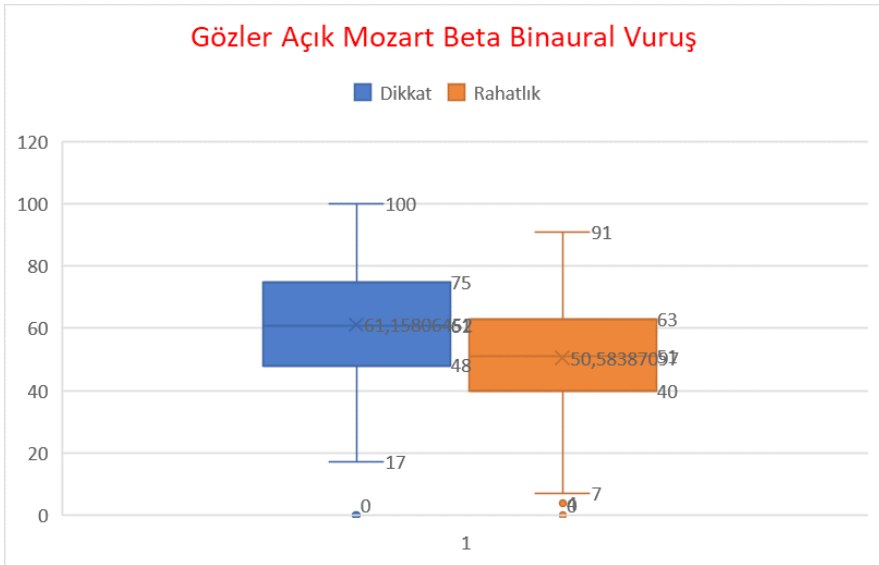
Şekil 6. Gözler Açık 12 Hz'lik Binaural Mozart Dinletilirken Neurosky Cihazı ile Beş Dakika Boyunca Alınan Dikkat ve Rahatlık Seviyesi

Denek gözü açık beş dakika boyunca internetten alınan beta binaural vuruşlu ses dinlerken EEG verileri alındığında dikkat seviyesi için; %25 çeyrek değeri 31, %75 değeri 56 ve medyan değeri ise 42,84 olarak kaydedilmiştir. Rahatlık seviyesinde %25 değeri 48, %75 değeri 64 ve medyan değeri 55,53 olarak kaydedilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Gözler Açık İnternette Alınan Beta Binaural Vuruş Müzik Dinletilirken Neurosky Cihazı ile Beş Dakika Boyunca Alınan Dikkat ve Rahatlık Seviyesi

Denek gözü açık beş dakika boyunca çalışmada gerçekleştirilen 30 Hz binaural vuruşlu Mozart dinlerken EEG verileri alındığında dikkat seviyesi için; %25 çeyrek değeri 48, %75 değeri 75 ve medyan değeri ise 61,15 olarak kaydedilmiştir. Rahatlık seviyesinde %25 değeri 40, %75 değeri 63 ve medyan değeri 50,58 olarak kaydedilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Gözler Açık 30 Hz'lik Binaural Mozart Dinletilirken Neurosky Cihazı ile Beş Dakika Boyunca Alınan Dikkat ve Rahatlık Seviyesi

Denekten alınan EEG verilerine incelendiğinde (Tablo 1) dikkat seviyesi; herhangi bir müzik dinlemediği durumda 47,9, İnternette alınan alfa binaural vuruş için 62,5 ve 12 Hz'lik binaural vuruş Mozart için 56,5 olarak tespit edilmiştir. Oluşturulan 12 Hz'lik binaural vuruş Mozart dinleyen deneğin dikkat seviyesi herhangi bir müzik dinlemediği duruma göre 8.6 puan ve %18 fazladır. Oluşturulan 12 Hz'lik binaural vuruş Mozart dinleyen deneğin dikkat seviyesi internette alınan alfa binaural vuruşa göre 6 puan ve %10,6 azdır.

Denekten alınan EEG verilerine incelendiğinde (Tablo 1) rahatlama seviyesi; herhangi bir müzik dinlemediği durumda 66,9, İnternette alınan alfa binaural vuruş için 42,7 ve 12 Hz'lik binaural vuruş Mozart için 73,6 olarak tespit edilmiştir. Oluşturulan 12 Hz'lik binaural vuruş Mozart dinleyen deneğin rahatlama seviyesi herhangi bir müzik dinlemediği duruma göre 6,7 puan ve %10 fazladır. Oluşturulan 12 Hz'lik binaural vuruş Mozart dinleyen deneğin dikkat seviyesi internette alınan alfa binaural vuruşa göre 30,9 puan ve %72,3 fazladır.

Denekten alınan EEG verilerine incelendiğinde (Tablo 1) dikkat seviyesi; herhangi bir müzik dinlemediği durumda 47,9, İnternette alınan beta binaural vuruş için 42,85 ve 30 Hz'lik binaural vuruş Mozart için 61,15 olarak tespit edilmiştir. Oluşturulan 30 Hz'lik binaural vuruş Mozart dinleyen deneğin dikkat seviyesi herhangi bir müzik dinlemediği duruma göre 13,25 puan ve %27,6 fazladır. Oluşturulan 30 Hz'lik binaural vuruş Mozart dinleyen deneğin dikkat seviyesi internette alınan beta binaural vuruşa göre 18,3 puan ve %42,7 fazladır.

Denekten alınan EEG verileri incelendiğinde (Tablo 1) rahatlama seviyesi; herhangi bir müzik dinlemediği durumda 66,9, İnternette alınan beta binaural vuruş için 55,5 ve 30 Hz'lik binaural vuruş Mozart için 50,5 olarak tespit edilmiştir. Oluşturulan 30 Hz'lik binaural vuruş Mozart dinleyen deneğin rahatlama seviyesi herhangi bir müzik dinlemediği duruma göre 16,4 puan ve %32,4 azdır. Oluşturulan 30 Hz'lik binaural vuruş Mozart dinleyen deneğin dikkat seviyesi internette alınan beta binaural vuruşa göre 5 puan ve %10 azdır.

Tablo 1. *Deney 1 ve Deney 2’de Alınan Dikkat ve Rahatlık Parametre Verileri*

	Dikkat			Rahatlık		
	25%	Medyan	75%	25%	Medyan	75%
Müziksiz	37	47,9	60	53	66,9	82,5
İnternette Alınan Alfa Binaural Vuruş	50	62,5	75	27,5	42,7	56
12 HZlik Binaural Vuruş Mozart	50	56,5	63	63	73,6	84
İnternette Alınan Beta Binaural Vuruş	31	42,85	56	48	55,5	64
30 HZlik Binaural Vuruş Mozart	48	61,15	75	40	50,5	63

4. Sonuç

Çalışmanın sonucunda literatürdeki verilerle karşılaştırdığımızda doğru sonuca ulaşılmıştır. Alfa dalgası hedeflenerek oluşturulan 13 Hz’lik binaural vuruşların deneklere dinletilmesi sonucunda müziksiz ve internette alınan binaural vuruş yapıları alfa dalgası hedeflenerek yapılan müziğe göre rahatlık seviyesi daha yüksektir. Rahatlık seviyesinin daha yüksek olmasının sebebi; beynin alfa dalgasındayken rahat olması, bilişsel faaliyetlerinin düşük olmasıdır. Beta dalgası hedeflenerek oluşturulan 30 Hz’lik binaural vuruşların deneklere dinletilmesi, müziksiz ve internette alınan binaural vuruş yapıları beta dalgası hedeflenerek oluşturulan müziğe göre dikkat seviyesi daha yüksek rahatlık seviyesi daha düşüktür. Bunun sebebi; beynin beta dalgasındayken daha çok çalışması ve yüksek bilişsel faaliyetlerde bulunmasıdır.

Çalışmadaki verilere bakıldığında teta dalga boyunu hedefleyen bir binaural vuruşun düzenli olarak uyku problemi olan kişilere dinletilmesi durumunda kişilerin uyku probleminin çözümünde bir yöntem olarak kullanılabilmesi ön görülmektedir. Benzer şekilde çalışmada gerçekleştirilen 13 Hz’lik bir binaural vuruşun kişilerin rahatlama seviyesini artıracağı için anksiyete, öfke kontrolü gibi psikolojik rahatsızlığa sahip kişiler üzerinde kullanılabilmesi ön görülmektedir. 30 Hz’lik binaural vuruş ise kişinin dikkat seviyesini artırmakta ve bununla beraber Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite Bozukluğu (DEHB) tanısı konmuş hastaların dikkat seviyesini artırmakta kullanılabilmesi ön görülmektedir. Yine mevcut sağlıklı bireylerin yüksek bilişsel faaliyette kalma sürelerinin artırılması ve 30 Hz’lik binaural vuruş dinletisi kullanmaları bireylerin daha uzun sürelerde çalışmalarına yardımcı olacaktır. Yaşlılarda alzheimer, demans gibi hastalıkların öncesinde bu hastalıklara yakalanmamak için beynin yüksek bilişsel faaliyette kalıp nöroplastisite üretiminin devamı için 45-60 yaş arası kişilere düzenli 30 Hz’lik binaural vuruş dinletilmesi faydalı olabilir.

Kaynaklar

- [1] Gao, X., Cao, H., Ming, D., Qi, H., Wang, X., Wang, X., ... & Zhou, P. (2014). Analysis of EEG activity in response to binaural beats with different frequencies. *International Journal of Psychophysiology*, 94(3), 399-406.
- [2] Becher, A. K., Höhne, M., Axmacher, N., Chaieb, L., Elger, C. E., & Fell, J. (2015). Intracranial electroencephalography power and phase synchronization changes during monaural and binaural beat stimulation. *European Journal of Neuroscience*, 41(2), 254-263.
- [3] Padmanabhan, R., Hildreth, A. J., & Laws, D. (2005). A prospective, randomised, controlled study examining binaural beat audio and pre-operative anxiety in patients undergoing general anaesthesia for day case surgery. *Anaesthesia*, 60(9), 874-877.
- [4] Kennerly, R. C. (1994). an Empirical Investigation into the effect of Beta Frequency Binaural-beat Audio Signals on 4 Measures of Human Memory. Department of Psychology, West Georgia College, Carrolton, Georgia.
- [5] David, J. B., Naftali, A., & Katz, A. (2010). Tinntrain: A multifactorial treatment for tinnitus using binaural beats. *The Hearing Journal*, 63(11), 25-26.
- [6] Brady, B., & Stevens, L. (2000). Binaural-beat induced theta EEG activity and hypnotic susceptibility. *American Journal of Clinical Hypnosis*, 43(1), 53-69.
- [7] Morris, S. E. (1996). Music and Hemi-Sync in the treatment of children with developmental disabilities. *Open Ear*, 2, 14-17.
- [8] Chaieb, L., Wilpert, E. C., Reber, T. P., & Fell, J. (2015). Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood states. *Frontiers in psychiatry*, 6, 70.
- [9] Schwarz, D. W., & Taylor, P. J. C. N. (2005). Human auditory steady state responses to binaural and monaural beats. *Clinical Neurophysiology*, 116(3), 658-668.
- [10] Blauert, J. (1997). *Spatial hearing: the psychophysics of human sound localization*. MIT press.
- [11] Tsilfidis, A., Westermann, A., Buchholz, J. M., Georganti, E., & Mourjopoulos, J. (2013). Binaural dereverberation. *The technology of binaural listening*, 359-396.
- [12] Putra, M. B. P. (2022). Binaural Beat of Bringbrung Music. *JOMANTARA*, 2(1), 46-53.
- [13] Palva, S., & Palva, J. M. (2007). New vistas for α -frequency band oscillations. *Trends in neurosciences*, 30(4), 150-158.
- [14] Desai, R., Tailor, A., & Bhatt, T. (2015). Effects of yoga on brain waves and structural activation: A review. *Complementary therapies in clinical practice*, 21(2), 112-118.

- [15] Ray, W. J., & Cole, H. W. (1985). EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science*, 228(4700), 750-752.
- [16] Overman, A. A., Hoge, J., Dale, J. A., Cross, J. D., & Chien, A. (2003). EEG alpha desynchronization in musicians and nonmusicians in response to changes in melody, tempo, and key in classical music. *Perceptual and motor skills*, 97(2), 519-532.
- [17] Gıtmez M; Aydilek İ B, Gümüşçü A, 2019, İstatistik Kutusu Grafik Yöntemi ve Aykırı Değerlerin Meta Sezgisel Algoritmalarla Belirlenmesi, 1. Uluslararası Bilişim ve Yazılım Mühendisliği Konferansı (UBMYK), 6-7 Kasım 2019, Ankara.



BÖLÜM 8

ATIKSU ARITIMINDA MANYETİK İYONLAR İLE ADSORPSİYON UYGULAMALARININ İNCELENMESİ

Ahmet AKBURAK¹, Murat SOLAK², Mehmet KILIÇ³

1 Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği ABD Or-cid: 0000-0003-1321-4641

2 Dr. Öğr. Üyesi Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Orcid: 0000-0003-1542-1599

3 Prof. Dr. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Orcid: 0000-0002-1050-6430

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamak için gelişen endüstriyel faaliyetler sonucu su kullanım miktarları artarken bu süreç atıksu oluşumunu da artırmıştır. Suyun sürdürülebilirliği açısından atıksuların arıtılarak üretim süreçlerinde tekrar kullanımı veya arıtıldıktan sonra su döngüsüne sorunsuz şekilde dahil edilmesi son derece önemlidir. Atıksular fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere, mevcut karakterizasyonuna bağlı olarak çeşitli prosesler kullanılmaktadır. Atıksudan kirleticilerin gideriminde etkin bir şekilde kullanılan adsorpsiyon prosesi ile organik ve inorganik maddeler uzaklaştırılabilmektedir. Süreç, fiziksel ve kimyasal bağlar yoluyla gözenekli bir yapının yüzeyinde tutulması şeklinde gerçekleşir (Foo ve Hameed, 2009). Tasarımı oldukça basit, temininde kolaylık sunan ve üretim maliyeti düşük olan aktif karbon, adsorpsiyon süreçlerine sık kullanılan bir adsorbandır. Adsorpsiyon, atıksu arıtımında etkili ve temel bir yaklaşım olarak kabul edilir (Kurniawan, Lo ve Chan, 2006). Genel olarak; doğal malzemeler, geliştirilmiş doğal malzemeler (örn. aktif karbon), reçineler, zeolitler, tarımsal ve endüstriyel atıklar ve yan ürünler, biyolojik adsorbantlar olarak sınıflandırmak mümkündür. Bir adsorbantta aranabilecek en önemli özelliklerden biri, yüksek yüzey alanı, daha iyi ve daha hızlı kirlilik gidermeye yol açan yüksek gözenekli yapıdır (Dąbrowski, 2001).

Adsorpsiyon proseslerin kullanılan yeni adsorbantlardan biri de manyetik iyonlardır. Bu sistem, su arıtım süreçlerinde baskın bir konuma sahiptir ve manyetik alan prosesi ile ileriye dönük bir öneme sahiptir. Manyetik malzemeler, geri dönüşüm için etkili bir strateji olan adsorbantları ayırmak için her zaman yardımcı yöntem olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte manyetik alan adsorpsiyon sürecini ve performansını belirleyecek bir etkiye sahiptir. Prosesin diğer parametreleriyle ele alındığında, saflaştırma işlemlerinde verimliliği iyileştirdiği belirlenmiştir (Ambashta ve Sillanpää, 2010).

Manyetik alan prosesleri, kullanım kolaylığı, ulaşılabilirliği, verimliliği, düşük ekonomik maliyeti, çevre dostu olması sebebiyle su arıtımında oldukça umut vericidir (Ambashta ve Sillanpää, 2010; Zaidi, Sohaili, Muda ve Sillanpää, 2014). Adsorpsiyon prosesini kontrol etmek, belirli bir aşamada adsorpsiyon sürecini geliştirmek veya belirli kirleticilerin adsorpsiyonunu seçici olarak arttırmak için manyetik alanı oluşturmak, mevcut araştırmaların ortak sorunudur. Manyetik alan, çözücülerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini, adsorbantların yapısını ve adsorbantın kütle transfer hızını vb. etkileyerek adsorpsiyon performansını arttırdığı bilinmektedir. Bu sebeple, manyetik alanların adsorpsiyon prosesi üzerindeki olası etkilerini açıklamak için birçok mekanizma mevcuttur.

Lorentz kuvveti, manyetik alanın adsorpsiyon üzerindeki etkinin ana mekanizması olarak kabul edilmiştir. Çözeltideki kirletici iyonların yönünü etkileyen ve onları adsorbana aktaran manyetik alandır. Manyetik alana maruz kalmanın adsorbant üzerinde heterojen olması gibi bir etkisi vardır. Ek olarak, manyetik alan altında, suyun özellikleri ve su ile katı yapı arasındaki arayüz belirgin şekilde değişir. Ayrıca arıtma sürecinde daha fazla hidrojen bağının oluşumu ve yüzey geriliminin azaldığı ortaya çıkmıştır (Zaidi ve diğerleri, 2014). Yüklü parçacıklar manyetik alandan geçerken Lorentz kuvvetinden etkilenirler. Kuvvetin yoğunluğu, parçacık yükü, parçacık hızı ve manyetik alan kuvvetinin ortogonal vektör bileşenleri ile doğrusal olarak değişir. Yüklü bir parçacık manyetik alana dik yönde hareket ettiğinde, yüklü parçacığın hareket yönüne ve manyetik alanın yönüne dik bir Lorentz kuvvetine maruz kalır (Spiegel, 1998). Manyetik kuvvet altında, parçacığın yüzeyindeki yük orijinal konumundan aktarılarak molekülün kararsız hale gelmesine neden olur. Lorentz kuvvetinin çözünme arttırma (Busch, Busch, Darling, Maggard ve Kubala, 1997), kristalleşme çekirdeklenmesi, koordineli olarak suyun dengelenmesi (Srebrenik ve Lin, 1993), çift katmanlı distorsiyon gibi su ile ilgili mekanizmaları iyileştirebileceği belirlenmiştir.

2. MANYETİK ALAN DESTEKLİ ADSORPSİYON MEKANİZMASI

Adsorpsiyon işlemi üç adımdan oluşur. İlk aşama, partikülün dış difüzyon aşaması (membran difüzyonu), ikinci aşama, partikülün iç difüzyon aşaması (sıvı film yoluyla adsorbantın yüzeyine yayılan adsorbant, gözeneklerin derinliklerine yayılır), üçüncü aşama, adsorpsiyonun reaksiyon aşamasıdır (adsorbant gözeneklerin iç yüzeyine doğru çekilir).

Mevcut çözelti, adsorpsiyon sürecinin hem birinci hem de ikinci adımlarında birincil rol oynar. Bu iki adım hızlandırılabilirse, adsorpsiyon süreci daha da etkin olabilir. Manyetik alanın solvent üzerine etkisi şu şekilde keşfedilmiştir: (a) Kütle transferini geliştirme; (b) Rezonans yoluyla kristal çekirdeğin üretilmesi, sudaki minerallerin kristal formunun değişmesi; (c) Oksijen hidratların oluşturulması, hidrojen bağ ağlarının oluşumunun teşvik edilmesi; (d) Yüzey geriliminin değiştirilmesi, sudaki oksijen içeriğinin artırılması; (e) Hidrojen bağının rolünü azaltmak; (f) Su moleküllerinin bağ açısını, dipol momentini değiştirmek ve su moleküllerinin küme yapısını azaltmak; (g) Sıvı viskozitesinin değiştirilmesi ve pH'ın düşürülmesi; (h) Flokülasyonun hızlandırılması ve askıda katıların yapısını iyileştirme (Gokon ve diğerleri, 2002; Krzemieniewski, Dębowski, Janczukowicz ve Pesta, 2003; Otsuka ve Ozeki, 2006; Y. K. Sun, Ma, Zhang ve Gu, 2004).

Li vd. (2016), manyetik alanın kirleticilerin adsorpsiyon süreci üzerine yaptıkları çalışmada, tutulması istenen kirleticilerin partikül iç difüzyon hızına göre, manyetik alanın adsorbanın, adsorpsiyon sürecini etkileyeceğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada Fe_3O_4 -ZnO partikülleri kullanılarak fosfor (P) adsorpsiyon verilerini analiz etmek için Weber-Morris modelini kullanmışlardır. Manyetik alan olmadan, çözeltideki negatif yüklü P'nin adsorpsiyon işlemi şu şekilde gerçekleştirilmiştir: ilk olarak P, elektrostatik çekimle yüklü Fe_3O_4 -ZnO yüzeyine tutulmuştur. Daha sonra P, sorbentin iç por yapısına taşınmıştır ve bu oldukça önemli, bir parçacık difüzyon hız sınırı adımıdır. Son olarak P daha küçük bir por yapıda tutularak dengeye ulaşmak için bağlanma yerine kimyasal olarak adsoplanmıştır. Manyetik alan varlığında adsorpsiyon işlemi için, normal işlemin ilk iki aşaması tek aşamada birleşmesi sağlanmıştır. Bu manyetik alanın altında P'nin doğrudan çözeltiden Fe_3O_4 -ZnO partiküllerindeki por yapıya tutulabileceğini göstermiştir.

Bir manyetik alana maruz kalma, adsorpsiyon kapasitesinin artmasına yol açan adsorbanın mikroskobik topografyasını etkiler. Manyetik alan varlığında malzemelerin yüzeyi homojen değildir. Numunenin artan yüzey alanı, tutulması hedeflenen monomerin adsorpsiyonunu kolaylaştırır. Bu sebeple, sorpsiyon bölgelerinin, uygun şekilde yönlendirilmiş dipoller tarafından aktive edildiği düşünülebilir. Oshitani vd. (1999), adsorbanın manyetik alana maruz kalmasının büyük ölçüde değişebileceğini öne sürmüşlerdir ve adsorbe edilen tabakanın manyetik işlemle kalınlaştığını belirtmişlerdir. Bel'chinskaya vd. (2009), değişken manyetik alana maruz kalmanın sorbent yüzeyini daha heterojen hale getirdiğini, yüzey alanının ve buna bağlı olarak adsorpsiyon kapasitesinin arttığını, manyetik indüksiyon azaldığında adsorpsiyon kapasitesinin de azaldığını belirtmişlerdir.

3. MANYETİK İYON KULLANILARAK GİDERİLEN KİRLETİCİLER

Arsenik, oldukça toksik ve kanserojen olan arsenik içme suyunda ağırlıklı olarak As (III) (H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$ ve $HAso_3^{2-}$) ve As(V) ($H_3AsO_4^-$, $HAso_3^{2-}$) formlarında bulunur (Mohan ve Pittman, 2007). Bu oksitlerin yok edilmesi oldukça zordur ve sadece çözünmeyen bileşiklere dönüştürülebilirler. Arsenikle kirlenmiş suya kronik maruziyet, iştahsızlık, cilt kanseri, akciğer ve mesane kanseri gibi ciddi tıbbi komplikasyonlara neden olabilir. Bu nedenle, sağlık riskini en aza indirmek için Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyunda bulunabilecek maksimum arsenik limiti olarak $10 \mu g/L$ belirlemiştir. Arsenik'in endüstriyel atıksulardan uzaklaştırılması son zamanlarda büyük ilgi konusudur. Manyetik olarak işlenmiş adsorbanlar ve bunların sudan arseniği uzaklaştırma süreçleri üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Kilianová vd. (2013), sulu bir çözeltilerden arsenat iyonlarının uzaklaştırılması için adsorban olarak çok ince Fe_2O_3 partikülleri kullanmışlardır. Çalışmada, asidik pH koşullarında tüm $As(V)$ 'in giderildiği belirlenmiştir. Bu, adsorbanın zeta potansiyeli 7.6'ya karşılık gelmektedir. pH 5 ile 7.6 arasında ve $Fe/As \approx 20/1$ arasında %100 verim elde edilmiştir. Dengelede arsenik giderimi 45 mg/g olarak bulunmuştur. 3-9 aralığında pH'nin hiçbir etkisinin olmadığı görülmüştür. Langmuir izoterm modelinden elde edilen adsorpsiyon kapasitesi 16.94 mg/g olarak belirlenirken, Ca^{2+} ve Mg^{2+} varlığı adsorbanın performansını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Başlangıçtaki $As(III)$ konsantrasyonu 983.71 $\mu g/l$ 'den 7.44 $\mu g/l$ 'ye düşmüştür. Sikder vd. ((Tajuddin Sikder, Tanaka, Saito ve Kurasaki, 2014), arsenik için yüksek bir afiniteye sahip mikro küreler oluşturmak için bir kitosan-karboksimetil β -siklodekstrin kompleksi üzerine demir bağlamışlardır. Adsorban ile atıksu arasındaki kütle transferinden sorumlu gözenek yapının boyut dağılımı 3.5-8.7 μm aralığında belirlenmiştir. $As(III)$ ve $As(VI)$ 'ün giderim oranları, adsorban yüzeyinde artan demir yüklemesi ile oranları artmıştır. Geniş bir pH aralığında, $Fe(III)$ 'e oksitlenen FeO , adsorban yüzeyini pozitif yüklü hale getirir ve adsorban ile adsorbant arasında elektrostatik çekim oluşturmuştur. $As(III)$ ve $As(V)$ 'in Langmuir kapasiteleri oda sıcaklığında sırasıyla 18.51 mg/g ve 13.51 mg/g olarak bulunmuştur. Fe_3O_4 partikülleri ile işlevselleştirilmiş bor nitrür nanotüpler (BNNT'ler) (R. Chen ve diğerleri, 2011), pH 9'da 0.96 mg/g'lık bir optimum uzaklaştırma kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir. $As(V)$ 'in adsorpsiyonu, arsenat oksianyonunun, bileşiğin kristal yapısını bozmadan demirli yapı içindeki hidroksil iyonlarının yerini aldığı ligand değişimi yoluyla gerçekleşmiştir. Setiltrimetilamonyum bromür (CTAB) ile Fe_3O_4 modifiye edilmiştir ve adsorpsiyon kapasitesi 7.59 mg/g'dan 23.07 mg/g'a yükselmiştir (Jin, Liu, Tong ve Hou, 2012). İki bölgeyi Langmuir modeli ve Freundlich modeli ile deneysel sonuçların trendi yakalanmıştır. Böylece araştırmacılar, iki tip adsorpsiyon bölgesinin mevcut olduğu sonucuna varmışlardır; biri Fe_3O_4 partikülleri, diğeri ise manyetik yüzeye sabitlenmiş CTAB. pH'nin etkisi 3-11 aralığında incelenmiştir ve $pH < 6$ 'da maksimum adsorpsiyon oranı %95 olarak bulunmuştur. Bunun nedeni, Fe_3O_4 -CTAB'nin zeta potansiyelinin 6.4 olmasıdır. Bu nedenle $pH < 6$ 'da pozitif yüklü adsorban negatif yüklü arsenik türünü olan $H_2AsO_4^{-}$ 'ü çekebilir. pH 6'nın üzerinde, adsorban yüzeyi negatif olarak yüklenir ve böylece adsorban hızı %90'a kadar düşebilmektedir. Benzer şekilde yüklü adsorban yüzeyi ile çözeltideki $As(V)$ türü arasındaki güçlü itme nedeniyle, pH'nin daha da artmasıyla, adsorpsiyon oranı %27'ye kadar düşmüştür. Askorbik asit ile modifiye edilmiş Fe_3O_4 , Fe_3O_4 parçacıklarına (15.63 m^2/g) kıyasla daha yüksek yüzey alanı (178.48 m^2/g) sergilemiştir (Feng, Cao, Ma, Zhu ve Hu, 2012). pH 7'nin üzerine çıktıkça arsenik giderme oranı %45'ten %15'in altına düşmüştür. pH 7'nin üzerine çıktıkça zeta potansiyeli pozitiften negatife değişmiştir,

bu durum da negatif yüklü arsenik türlerinin adsorpsiyonunu azaltmıştır. Zhang vd. (2013), biyokömür matris içine γ -Fe₂O₃ parçacıkları yerleştirerek manyetik adsorban olarak biyokömür potansiyelini incelenmişlerdir. As (V) adsorpsiyon izotermi biyokömür/ γ -Fe₂O₃ 0.1 g karıştırılarak belirlenmiştir. Biyokömür/ γ -Fe₂O₃'ün 5 ila 200 mg/L arasında değişen farklı konsantrasyonlarda 50 mL'lik arsenik solüsyonu ile karıştırılarak elde edilmiştir. İzoterm verileri Langmuir modeli tarafından daha iyi tanımlanmıştır. Biyokömür/ γ -Fe₂O₃ kompozitinin As(V) adsorpsiyon kapasitesi 3147 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Akın vd. (2012), kırmızı çamur kullanarak manyetik Fe₃O₄-NPs nanopartiküller sentezlemişlerdir ve nanoparçacıkların As(V) giderimi için etkisini incelemişlerdir. Adsorpsiyon deneyleri, 10 ile 1000 µg/l arasında değişen As(V) konsantrasyonlarına sahip sulu çözeltiler üzerinde gerçekleştirilmiştir. As(V) giderilmesinin pH'a bağlı olduğu saptanmıştır ve maksimum giderim pH 2.5'te gerçekleşmiştir. Adsorpsiyon mekanizması Freundlich modeli ile daha iyi açıklanmıştır. Ayrıca araştırmacılar, diğer benzer çalışmalarda, daha yüksek adsorban partikül boyutu ve başlangıç As(V) konsantrasyonu nedeniyle adsorpsiyon kapasitesinin daha fazla bulunduğunu belirtmişlerdir. Hazırlanan adsorban, 1570 µg/l As(V) ve 280 µg/l As(III) içeren doğal yeraltı suyu örneklerinden arsenik giderimini test etmek için kullanılmıştır. As(V) için optimum koşullarda maksimum adsorpsiyon verimi %99.2 olarak kaydedilmiştir. Kalıntı As(V) konsantrasyonu 12.56 µg/l olarak bulunmuştur. Araştırmacılar, içme suyu arıtımında kullanım için iki aşamalı adsorpsiyon işleminin kullanılmasını önermişlerdir.

Kromun neden olduğu su kirliliği, ağır metallerin krom kaplama, boyalar, pil, deri tabaklama vb. gibi çeşitli endüstrilerde kullanılması nedeniyle oluşan bir sorundur. Kromun daha toksik formu altı değerlikli form olan Cr(VI)'dir. Güçlü maruziyet üzerine kanser, epigastrik ağrı ve mide bulantısı gibi hastalıklara sebep olabilir (H. Li ve diğerleri, 2008). ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), atık suya Cr (VI) deşarjını 0.5 mg/L ve toplam Cr'yi 2 mg/L olarak sınırlamıştır (Baral ve Engelken, 2002). Bu nedenle, yeraltı sularının kirlenmemesi için Cr(VI) toprağa ve suya deşarj edilmeden önce endüstriyel atıklardan verimli bir şekilde arıtılmalıdır.

Rhizopuscohniiialginat'ı oluşturan manyetik kürecikler, pH 1 ve 4 saatlik temas süresinde atık sudan Cr(VI)'yi %100 giderebilmiştir (H. Li ve diğerleri, 2008). Adsorpsiyon artan sıcaklıkla artmış ve oda sıcaklığında Langmuir adsorpsiyon kapasitesi 5.79 mg/g olarak belirlenmiştir. NH₃⁺, NH₂⁺ ve NH grupları Cr(VI) biyosorpsiyonunda baskın olan sorpsiyon bölgeleri olduğu gözlemlenmiştir. Grafen oksit emprenye edilmesi için bir baz olarak kullanılan Fe₃O₄ parçacıkları nötr pH'ta 5 dakikada %85 Cr(VI) giderebilmişlerdir (L. Zhou, Deng, Wan, Shi ve Su, 2013). Cr(-VI) giderimi için en uygun koşulların pH 3 ve temas süresinin 100 dakika

olduğu bulunmuş ve maksimum adsorpsiyon kapasitesi 55.8 mg/g olarak belirlenmiştir. Langmuir modelinin deneysel verilere iyi uyum sağladığı çalışmada kitosan ve $MnFe_2O_4$ 'ün nanokompozitleri (MCNC), Cr(VI)'yı düşük konsantrasyonlu sulu çözeltilerden (0,6–1 mg/L) uzaklaştırabildiği saptanmıştır (Xiao, Liang ve Wang, 2013). Kromun sudan uzaklaştırılması için manyetik olarak modifiye edilmiş PS-EDTA reçinesinin uygulanabilirliğini araştırmak için bir çalışma yapılmıştır (Mao, Yang, Zhao, Li ve Li, 2012). Reçinenin en yüksek alım kapasiteleri 3-4 pH aralığında gözlenmiştir. pH'nın etkisi NH_2 ve Fe_3O_4 nanoparçacıklarının protonasyonundan kaynaklanmaktadır. %99.3'lük maksimum tutunma 8 saatte, denge seviyesi ise 5 saatte elde edilmiştir. Dengeye ulaşmak için daha kısa süre ve daha yüksek alım, Cr(VI)'nın yüksek afiniteye sahip olduğunu işaret etmiştir. Reçinenin adsorpsiyon kapasitesi başlangıçta hızla artmıştır ve Cr konsantrasyonu 100 mg/L' den fazla olduktan sonra yavaş yavaş artmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 240.2 mg/g olarak bulunmuştur. Bu kapasite ham reçinenin kapasitesine (123.3 mg/g) kıyasla oldukça verimli olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel veriler Langmuir izoterm modeline uymuştur. Onuncu adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünden sonra reçinenin verimliliği hala %91'den fazla olduğu belirtilmiştir. Elde edilen manyetik PS-EDTA'nın rejenerasyonu 0.5 M NaOH kullanılarak sağlanmıştır. Li vd. (2013), manyetik nanopartiküller (RHC-mag-CN) içeren nitrojen katkılı gözenekli bir karbon üretmişlerdir ve kesikli olarak çalıştıkları proseste Cr(VI) giderimi için sorbentin potansiyelini araştırmışlardır. Gözenekli kompozitin yüzey alanı 1136 m²/g olarak tespit edilmiş ve kullanılan partiküllerin süperparamanyetik yapıda olduğu belirtilmiştir. Yüksek yüzey alanı, Cr(VI) iyonlarının giderimine fayda sağlamıştır. Maksimum Cr(VI) giderimi, RHC-mag-CN'nin adsorpsiyon kapasitesinin neredeyse iki katı olan 16 mg/g adsorpsiyon kapasitesiyle pH 3'te gözlemlenmiştir. Langmuir izotermine Cr(VI) adsorpsiyon çalışması için uygun olduğu belirlenmiştir. Cr(VI)'nın atık sudan manyetik demir-nikel oksit ile seçici adsorpsiyonu için Wei vd. (2009), çalışmalar yapmışlardır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi pH 5'te, 30 mg/g olarak bulunmuş ve sudaki artan TDS seviyeleri ile verimin azaldığı belirtilmiştir.

Jiang vd. (2013), tarafından sentezlenen magemit nanoparçacıkları, hafif asidik ve nötr pH'da Cr(VI)'yı gidermede etkili olduğu belirlenmiştir. Adsorban için pH 6.6 ayarlanmıştır. Başlangıç maghemit konsantrasyonları için adsorpsiyon ilk 5 dakika için oldukça hızlıydı, ancak temas süresi arttıkça bu durum azalmış, doygunluk seviyesine yaklaşılmıştır. Krom adsorpsiyonu Langmuir-Freundlich izotermine uyduğu görülmüştür. Düşük konsantrasyonlarda hümik asit varlığının Cr(VI) adsorpsiyonu üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, ancak nispeten yüksek hümik asit konsantrasyonunda (20 ppm) Cr(VI) adsorpsiyonu kısmen oldu engellediği göz-

lemellenmiştir. Yüzey dendrimerli bir manyetik poli-(MA-DVB) mikroküre içeren amino grupları, metin akrilat (MA) ve etikendiamin (EDA) arasındaki kademeli reaksiyon yoluyla elde edilmiştir (Wang, Guan, Liu, Ren ve Yang, 2012). Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 212.6 mg/g olarak pH 3'te gözlemlenmiştir. Cr(VI)'nın adsorpsiyon dengesi yaklaşık 12 dakikada elde edilmiş ve adsorbe edilen Cr(VI)'nın %98'den fazlası manyetik mikrokürelerden Na_2SO_4 çözeltisi ile yaklaşık 30 dakikada ayrıştırılmıştır. Sun vd. (2013) amino gruplu PGMA mikroküreleri kullanarak Cr(VI) giderim çalışmalarında, adsorpsiyonun asidik koşullar altında elverişli olduğunu ve maksimum adsorpsiyon kapasitesini pH 2'de 362.7 mg/g olarak belirlemişlerdir. Adsorpsiyonda önemli rol oynayan amino gruplarının varlığından dolayı mikroküreler saf Fe_3O_4 partiküllerinden daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmuşlardır. Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu 25'ten 500 mg/L'ye değiştirilerek izoterm deneyleri gerçekleştirilmiş ve deneysel verilerin Langmuir modeline uyduğu görülmüştür.

Fosfor alıcı ortamlarda ötrofikasyon gibi istenmeyen süreçlere neden olmaktadır. Bu nedenle su/atıksulardan etkin şekilde giderilmesi gerekmektedir. Adsorpsiyon prosesi de fosfor gideriminde kullanılan etkin bir prosestir.

Manyetik polimer parçacıkları (PAM/oleik asit/ Fe_3O_4) bir fonksiyonel akrilamid (AA) ve çapraz bağlama maddesi olan etilen glikol dimektakrilat (EDGMA) kullanılarak sentezlenmiştir (Y. F. Lin, Chen, Chen ve Chiou, 2013). Kesikli bir sistemde fosfatın uzaklaştırılması için optimum pH koşullarının 3.0 ± 0.1 olduğu bildirilmiştir. Deneysel veriler, Langmuir izoterm modeliyle iyi bir uyum içinde ve maksimum tek tabakalı fosfat giderimi 37.82 mg/g olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi artan pH ile azalmış ve yazarlar maksimum desorpsiyon veriminin 0.5 M NaOH ile sağlamışlardır. Adsorbanın geri dönüşüm kapasitesi, muhtemelen poliakrilamidin geri dönüşüm işlemleri sırasında manyetit yüzeyinden ayrılması nedeniyle 5 adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünden sonra %21 oranında azalmıştır. Zirkonyum ferrit, Ishiwata ve ark. tarafından atık su arıtma tesislerinin atık sularından fosfor adsorpsiyonu için kullanılmıştır (Ishiwata ve diğerleri, 2010). Adsorbanın güçlendirilmiş formunun partikül formundan daha etkili olduğu belirtilmiştir. Güçlendirilmiş zirkonyum ferrit, 15 dakikada 500 mg/L'lik bir dozla kanalizasyon suyundan %99,1 fosforu giderebilmiştir. Yazarlar, %7'lik bir sodyum hidroksit çözeltisi ile maksimum %83.8'lik bir fosfor geri kazanım oranı elde etmişlerdir.

Li vd. (2016), sudan fosfat giderimi için atomik katman biriktirme yöntemiyle modifiye edilmiş, homojen aktif bölgelere sahip 3D Fe_3O_4 -ZnO nanotüpler geliştirmişlerdir. İyileştirilmiş yüzey alanı ve elektrostatik etkileşimler nedeniyle, Fe_3O_4 -ZnO kompozitler manyetik alan altında ultra hızlı fosfat giderimi sağlar (5 dakikada %94,8). Adsorpsiyon verileri, P'nin

Fe_3O_4 -ZnO yüzeyindeki adsorpsiyon oranını değerlendirmek için yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik modellere uyduğu saptanmıştır. Sonuçlar, Fe_3O_4 -ZnO tarafından P adsorbe etme sürecinde ana rolün kimyasal sorpsiyon olması gerektiğini ve sonucun manyetik alanın varlığından bağımsız olduğunu göstermiştir. Hız sabiti, manyetik alan olmadan 0.007 g/mg/dk'ya ulaşabilir ve manyetik alanın varlığında ise giderim oranı 0.166 g/mg/dk'ya yükselmesi dikkate değer olduğunu ortaya koymuştur.

Kadmiyum iyonu (Cd(II)) endüstriyel atık sularda bulunan en toksik ağır metal iyonlarından biridir. Kirlenmiş sudan ayrıştırılmasındaki zorluk nedeniyle besin zincirlerinde yayılma eğilimi gösterir ve bu nedenle insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturur. ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından B1 grubu kanserojen olarak sınıflandırılmıştır ve itai-itai hastalığına sebep olur (Inaba ve diğerleri, 2005). Bu nedenle Cd'nin su sistemlerinden uzaklaştırılması için hem verimli hem de ekonomik olarak uygulanabilir yöntemlerin geliştirilmesi kaçınılmazdır.

Yang vd. (2014), α -ketoglutarik ile modifiye edilmiş ve daha sonra Fe_3O_4 nano-parçacıkları ile birleştirilmiş bir kitosan sentezlemek için basit bir yoğunlaştırma işlemi ve ardından bir redoks işlemi kullanarak nanoparçacık geliştirme işlemlerini tamamlamışlardır. Elde edilen TEM görüntülerinden yazarlar, α -ketoglutarat asit varlığının adsorbannın (α -KA- Fe_3O_4 /CS) etkin yüzey alanını genişlettiğini ve manyetik nanoparçacıkları daha düzgün bir şekilde dağıttığını gözlemlenmiştir. pH çalışmaları pH 8'e kadar gerçekleştirilmiş ve pH 6'da ve başlangıç Cd(II) konsantrasyonunda 1000 mg/L'de %93'lük maksimum giderme verimliliği elde edilmiştir. Adsorpsiyon davranışı, yüzey yükü ve proton-rekabetçi adsorpsiyon ile açıklanabilir durumda olduğu rapor edilmiştir. Cd(II) giderme kapasitesi, başlangıç Cd(II) konsantrasyonu ile artmış ve maksimum Cd(II) adsorpsiyon kapasitesi, 1000 mg/L'lik başlangıç Cd(II) konsantrasyonu ile 201.2 mg/g'a ulaşmıştır. Baskılı devre kartı (PCB) endüstrisindeki çamurdan geri dönüştürülen manyetik nanopartiküller kullanılarak Cd(II) giderme verimliliğini göstermek için kesikli deneyler yapılmıştır (Tu, You ve Chang, 2012). 1000 mg/L'lik başlangıç Cd(II) çözeltisi ile yapılan deneylerde, 5 ila 6 arasında kontrollü pH altında %85'ten daha fazla giderim etkinliği gözlemlenmiştir. DeltaH'nin pozitif değeri, adsorpsiyon işleminin endotermik olduğunu düşündürmüştür. Cd(II) adsorpsiyon kapasitesi 13.87mg/g'dan 17.54 mg/g'a yükselirken sıcaklık 289 °K'den 318 °K'e yükselmiştir.

Su kaynaklarının ağır metallerle kirlenmesi, insanlar, bitkiler ve hayvanlar üzerindeki toksik ve zararlı etkileri nedeniyle ciddi bir sorundur. Madencilik, galvanik kaplama, boyalar, gübreler, pigmentler vb. gibi çeşitli endüstrilerde bol miktarda bulunan bakır, belediye atıksularına deşarj

edilebilmektedir. İnsan vücudunda karaciğerde, beyinde, pankreasta birikir ve ölümlerle sonuçlanabilir (Y. T. Zhou, Nie, Branford-White, He ve Zhu, 2009). Bu nedenle, bakırın çevreye deşarj edilmeden önce su sistemlerinden uzaklaştırılması için verimli ve etkili yöntemlerin araştırılması gerekmektedir.

Lin vd. (2011), Fe_3O_4 yüzeyini SiO_2 ve N-[3-(trimetoksilil)propil]-etilendiamin (TPED) ile modifiye ederek bir manyetik adsorban sentezlemişlerdir. Adsorban Fe_3O_4 partikülüne kıyasla daha fazla yüzey alanına sahip olduğu bulunmuştur. Maksimum Langmuir tek tabaka adsorpsiyonu, pH 5.5'te 10.41 mg/g ve adsorban dozu 0.5 g/50 mL olarak belirlenmiştir. Başlangıçta adsorpsiyon işlemi hızlı ilerlemiştir, ancak aktif bölgelerin azalması nedeniyle giderek yavaşladığı rapor edilmiştir. Adsorbanı desorbe etmek ve yeniden kullanım için uygun koşullar 0.1 mol/L HNO_3 ile yapılmış, rejenerasyon çalışmaları, geri dönüşüm işlemi sırasında manyetik çekirdekten silika kaplamanın ayrılmasından kaynaklanabilecek adsorpsiyon kapasitesinde %13.6'lık bir kayba neden olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, EDTA ile işlevselleştirilmiş manyetik nanoparçacıkların (MNPs-EDTA) potansiyelini ve bakırın sulu çözeltilerden giderimi için bir dizi araştırma yapmışlardır (Liu, Chen ve Yongmei, 2013). Çalışmada, pH 2'de adsorpsiyon gözlemlenmemiştir. Adsorpsiyon kapasitesi pH'da 6'ya yükseltilerek verim elde edilmiş, Langmuir modelinin pH 6'da 46.27 mg/g adsorpsiyon kapasitesi ile en uygun model olduğu bulunmuştur. Bu optimum şartlar ile kirlenmiş nehirden %98.3'ün üzerinde Cu(II) gidermişlerdir. Sülfonlanmış manyetik grafen oksit kullanarak, araştırmacılar tarafından bakırın sudan giderim potansiyelini test etmek için yürütülen çalışmada (Hu ve diğerleri, 2013). 62.73 mg/g'lık optimum Cu(II) giderimi pH 4.68'de ve 50 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. İzoterm deneysel verileri Langmuir izoterm modeline uyum sağlamıştır. Lan vd. (2013), hyaluronik (HA) asidin manyetik silik mikroküreler üzerinde immobilizasyonu yoluyla manyetik hyaluronik asit ($Fe_3O_4-SiO_2-HA$) mikrokürelerini sentezlemişlerdir. pH 2'den 6.8'e yükseldikçe adsorpsiyon kapasitesi 6'dan 12,2 mg/g'ye yükselmiştir ve pH 8'de yavaş yavaş 11.6'ya düştüğü gözlemlenmiştir. $Fe_3O_4-SiO_2-HA$ mikroküreler ile Cu(II)'nin adsorpsiyon kapasitesi artan konsantrasyonla birlikte azalmıştır. Cu(II) adsorpsiyon kapasitesindeki azalma, 50 mg/L Mg(II) için %10'a ve 50 mg/L Cu^{2+} için %9.1'e kadar ulaşmıştır. Cu(II) iyonlarının adsorpsiyon kapasitesi, tüm konsantrasyonlarda birlikte bulunan ağır metal iyonlarının varlığında da azaldığı gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon çalışması, HA destekli manyetik silika mikrokürelerin Cu(II) adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uyduğunu göstermiştir.

İçme sularında yüksek miktarlarda florür bulunması insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Bu tür kirlenmiş suya uzun süre maruz kalmak, dişleri ve kemikleri etkileyen ve ciddi vakalarda nörolojik

hasara neden olan Florozise yol açabilir (Zhao ve diğerleri, 2010). Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, sudaki optimum Florür aralığı 0.5–1.5 mg/L olmalıdır. Bu nedenle Florürün sudan uzaklaştırılması ciddiye alınması gereken bir konudur.

Araştırmacılar florürün sudan arıtılması için manyetik davranışa sahip polipirol (PPy)/ Fe_3O_4 nanokompozitlerini sentezlemişlerdir (Bhaumik, Leswif, Maity, Srinivasu ve Onyango, 2011). PPy/ Fe_3O_4 başlangıçta hızlı bir tutulma ve ardından yavaş yavaş kademeli bir faz ile iki fazla kinetik sorpsiyon sergilemiştir. Araştırmacılar, mekanizmayı difüzyon yolundaki azalmaya ve artan maruz kalan yüzey alanına dayalı olduğunu öne sürmüşlerdir. XRD sonuçları, baskın florür giderme mekanizmasının iyon değişimi gibi görüldüğünü göstermiştir. ATR-FTIR spektrumları ayrıca florür iyonlarının, katkılı klorür iyonlarının yerini alarak adsorbanın yüzeyinde adsorbe edildiğini doğrulamıştır. PPy/ Fe_3O_4 ile florür etkileşimi endotermiktir ve adsorpsiyon kapasitesinin 17.63-22.31 mg/g aralığında olduğu belirlenmiştir. Florür giderimi için geniş bir pH aralığı olan (4-10), sülfat katkılı Fe_3O_4/Al_2O_3 parçacıkları kullanılarak %70'lik tutarlı giderim verimliliği elde edilmiştir (Chai, Wang, Zhao, Yang ve You, 2013). pH 7'deki adsorpsiyon izotermi, farklı bağlanma enerjisine sahip iki tip aktif bölge olduğunu ve bunların %57.5'inin yüksek enerjili bağlanma bölgeleri olduğunu öne süren iki bölgeyi Langmuir modeli ile iyi bir şekilde tanımlanmıştır. Hesaplanan maksimum adsorpsiyon kapasitesi 70.4 mg/g olarak bulunmuştur. İyon değiştirme ve iç-küre kompleksi oluşumu, Fe_3O_4/Al_2O_3 tarafından florür giderimi için önemli bir mekanizmalar olduğu rapor edilmiştir.

Kurşunun (Pb) çevresel salınımı, esas olarak kurşun-asit pil atıksuyu içeren endüstriyel atıksulardan kaynaklanabilir. Uzun süre maruz kaldığında ciddi sağlık sorunlarına neden olduğu bilinmektedir (Y. H. Li ve diğerleri, 2005). Dünya Sağlık Örgütü içme suyundaki kurşun için 0.05 mg/L'lik bir üst sınır belirlemiştir. Ancak kurşun, doğrudan atıklardan geri kazanılabilir ve bu nedenle kontaminasyonu azaltabilecek ve Pb'yi yeniden oluşturabilecek yenilikçi ve ekonomik yöntemlere talep vardır.

Idris vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada süperparamanyetik boncuklar oluşturmak için sodyum aljinat üzerinde 2 saatlik temas süresinden sonra elde edilen maksimum Pb(II) uzaklaştırma verimliliği, adsorban yüzeyindeki bağlanma bölgeleri için H^+ iyonlarından Pb(II) ile daha az rekabetin mevcut olması nedeniyle, nötr pH'ta %92.5 olmuştur. Süperparamanyetik boncuklar üzerinde adsorbe edilen Pb(II)'nin denge miktarının artan başlangıç konsantrasyonları ile sabit bir değere ulaştığı gözlenmiştir. Bu da, Pb adsorpsiyonunun Langmuir izotermine uyduğunu göstermiştir. Elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi 50 mg/g olarak bulunmuştur. Geniş bir yüzey alanına sahip olan aljinatin avantajından yararlanmak

için Bée vd. (2011), manyetik özellikler sağlamak için kalsiyum-aljinate boncuklarda maghemit ile işlevselleştirilmiş nanoparçacıkları kapşüllemişlerdir. 2.94 g/L konsantrasyona sahip Pb(II) çözeltisi ile gerçekleştirilen toplu deneylerde, 0.15 g adsorban dozu ile 4 saatlik temas süresinde maksimum giderim elde edilmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 97 ± 6 mg/L olarak tespit edilirken, Langmuir modeli kullanılarak analiz edilen denge adsorpsiyon izotermi, hem polimer matrisin hem de işlevselleştirilmiş manyetik nanopartiküllerin karboksilat grupları nedeniyle Pb(II) iyonlarının etkili bir adsorpsiyonunun elde edildiğini göstermiştir. Sonuçlar, adsorpsiyon kapasitesinin, ilk pH 2.3'ün üzerinde ve 6'nın altında olduğunda etkili bir şekilde arttırılabileceğini ortaya koymuştur; bu, Pb(II) ile magsorben arasındaki artan elektrostatik çekim ile açıklanabilir olduğu öne sürülmüştür. Adsorplanan Pb(II) iyonlarını desorbe için 2 mol/L nitrik asit kullanılarak yüksek bir desorpsiyon verimi elde edilmiştir. Kuang ve arkadaşları tarafından, sulu bir çözelti içinde Pb(II) üzerindeki etkilerini incelemek için yeni bir adsorban trietilen-tetramin aşılannmış manyetik kitosan sentezlenmiştir (Kuang, Wang, Liu ve Wu, 2013). Maksimum adsorpsiyon kapasitesi, pH 6, $T = 298$ °K, temas süresi $t = 1.5$ saat, Pb(II) dozu = 200 mg/L ve adsorban dozu = 500 mg/L' de 370.63 mg/g olarak belirlenmiştir. Adsorban, Pb(II)'nin maksimum %97.89 giderilmesini sağlamıştır. Korelasyon katsayısının değeri, sözde ikinci dereceden kinetik denkleme uyum sağlamıştır. Parçacık içi difüzyon modeli, kemisorpsiyonun hız belirleyici adım olduğunu göstermiştir. Langmuir modeli verilen deneysel verilerle iyi bir uyum içinde olduğu belirtilmiştir. Fe_3O_4 -TE-TA-CMS, manyetik alanla kolayca ayrılabilir durumdadır. Kitosan ayrıca manyetik kitosan/grafem oksit partiküllerini (MCGO) imal etmek için kullanılmıştır (Fan, Luo, Sun, Li ve Qiu, 2013). Kurşunun giderilmesi için etkili bir adsorban olduğu kanıtlanmıştır. Optimum pH değerinin 5, maksimum adsorpsiyon kapasitesinin 76.94 mg/g olarak belirlenmiştir. Yazarlar, adsorpsiyon için olası yerler olarak kitosan moleküllerinde -OH ve $-NH_2$ inklüzyonların varlığı sonucuna varmışlardır.

Temiz Su Yasası'nın (CWA) 307 (a) bölümü kapsamında toksik bir kirletici olan cıva (Hg), çok düşük düzenleyici konsantrasyonlarda bile biyolojik olarak birikme kabiliyeti nedeniyle su arıtımında bir zorluk olmaya devam etmektedir (Faulconer, von Reitzenstein ve Mazyck, 2012). Hg'nin ana kontaminasyon kaynakları piller, kağıt ve kağıt hamuru endüstrileri, petrol rafinerileri vb.dir (Parham, Zargar ve Shiralipour, 2012). Adsorpsiyon, daha düşük atıksu konsantrasyonları elde etmek için etkili bir araç olarak kullanılabilir.

Faulconer vd. (2012) manyetik toz haline getirilmiş aktif karbon (MPAC) için manyetit (Fe_3O_4) parçacıkları aktif karbon yüzeyine emdirilmiş A3:1C: Fe-MPAC, başlangıç konsantrasyonu 100 μ g/l olan bir çöz-

tiden Hg(II) iyonlarının %84'ünü adsorbe edebilmiştir. Hg(II), 2-merkaptobenzotiyazol (Parham ve diğerleri, 2012) ile modifiye edilmiş manyetik demir oksit nanoparçacıkları kullanılarak kirli suda arıtım işlemi gerçekleştirilmişlerdir. Hg iyonlarının uzaklaştırılması, 2.5 ila 11 arasındaki geniş bir pH aralığında yer almaktadır. Hg(II)'nin tam adsorpsiyonu, 200 µg/l' den daha düşük başlangıç Hg(II) konsantrasyonu için 4 dakikada elde edilmiştir. Hakami vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, adsorpsiyon verileri Freundlich izotermine uymakta ve 4 mg/L adsorban kullanıldığında Hg(II) için maksimum kapasite 207.7 mg/g olarak hesaplanmıştır. Hg(II)'nin giderimi, 200 µg/l' den düşük konsantrasyonlarda pH'dan bağımsız durumda olduğu belirtilmiştir. 200 µg/l' den büyük Hg(II) konsantrasyonları için, 2'den düşük ve 7'den fazla pH'da giderme verimliliğinde azalma gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, nanoparçacık-cıva kompleksinin zeta potansiyelinin daha yüksek Hg(II) konsantrasyonlarında negatiften pozitifte değişimi olarak tespit edilmiştir. Sorbentin sudan Hg(II) giderimi üzerindeki etkisini incelemek için ditiokarbamat işlevselleştirilmiş Fe₃O₄ parçacıklarıyla kesikli deneyler yapılmıştır. Sips modeli, 21±1 °C'de 206 mg/g maksimum sorpsiyon kapasitesini öngörerek denge verilerinin iyi bir tanımını sağlamıştır.

Chen vd. (2011) fabrikasyon manyetik KMnO₄'ü oleik asitle kaplanmış Fe₃O₄ parçacıklarıyla karıştırarak manganez oksit nanoyapıları imal etmişlerdir. Çeşitli MnO_x kompozitlerinin, geniş yüzey alanı ve gözenek hacmine atfedilen geniş adsorpsiyon özelliklerine sahip olduğu gözlenmiştir. Bileşikler ayrıca elektrostatik çekim ve hidrojen bağının bir kombinasyonundan dolayı metilen mavisinin güçlü bir şekilde bağlandığını göstermişlerdir. Fan vd. (2012) manyetik kitosan ve grafen oksiti (MCGO) oluşturan metilen mavisine doğru bir manyetik adsorban hazırlamışlardır. Adsorpsiyon işlemi birinci dereceden hız denklemine uymayarak ve sözde ikinci dereceden bir model izlemişlerdir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi 180.83 mg/g olarak bulunmuştur. Ai vd. (2011), olağanüstü bir adsorpsiyon kapasitesine ve suda metilen mavisinin (MB) hızlı adsorpsiyon hızına sahip bir grafen nanotabaka (GNS)/manyetit (Fe₃O₄) kompoziti üretmişlerdir. Kompozitin 42.9 emu g⁻¹ doygunluk manyetizasyonuna sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, diğer manyetik karbonlu kompozit, yani AC/Fe₃O₄ ile karşılaştırıldığında MB adsorpsiyonu için daha hızlı bir oran göstermiştir. Yapılan deneylerde adsorpsiyon kapasitesinin çözeltinin pH'ı ile doğru orantılı olduğu bulunmuştur.

Duan vd. (2012), metil menekşe (MV) için yüksek adsorpsiyon kapasiteli Fe₃O₄-halloysite nanotüpten (HNT) oluşan manyetik bir bileşik hazırlamak için kimyasal çöktürme yöntemiyle sentez işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kompozitin, katyonik boyaları atıksudan arıtmak için uygun olduğu belirlenmiştir. Adsorbent dozajının 0.05 g'dan 0.49 g'a çıkarılma-

sıyla giderim etkinliğinde %52.97'den %99.4'e artış gözlemlenmiştir.

Chen vd. (2020), yaptıkları çalışmada Fe^{3+} ile stabilize edilmiş bir manyetik polidopamin kompozit (spesifik yüzey alanı= 32.7 m²/g ve toplam gözenek hacmi=0.1943 cm³/g), tek adsorbanlı sulu çözeltilerde metinler mavisi için oldukça iyi bir adsorpsiyon kapasitesi göstermiştir (maksimum adsorpsiyon kapasitesi=608.8 mg/g). pH aralığı 3-10 olarak belirlenirken sıcaklık 45°C olarak belirlenmiştir. Çalışmada, nanokompozit, karışık boya sulu sistemlerinden (metilen mavisi/metil turuncu, metinler mavisi/karmin ve metilen mavisi/rodamin B) metilen mavisi ve 0.5 mol/L'ye kadar yüksek iyonik kuvvetlere sahip karmaşık sulu çözeltileri seçici olarak adsorbe edilebilmiştir. Metilen mavisi/metil turuncu karışık boya sistemi durumunda, metilen mavisinin daha hızlı ve seçici adsorplanması, negatif yüklü adsorban ile katyonik metilen mavisi molekülleri arasındaki güçlü elektrostatik etkileşimlere neden olduğu düşünülmüştür. Metilen mavisi/rodamin B durumunda, rodamin B'nin zayıf adsorpsiyonu, esas olarak N^{+} 'ya bağlı daha uzun yanak akil zincirinin oluşturduğu sterik engelleme nedeniyle belirlenmiştir, bu da Fe_3O_4 /polidopamin- Fe^{3+} ve rodamin B molekülleri arasındaki $\pi\pi$ istiflenme etkileşimlerini ve elektrostatik çekimleri önemli ölçüde zayıflattığı belirtilmiştir. Simüle edilen tekstil atık suyunda metilen mavisi için başlangıç alım performansının %80'inden daha yüksek bir dört döngülü adsorpsiyon-desorpsiyon adsorptif verimliliği sürdürmesinin yanı sıra, nanokompozit, kolon düzeninde aktif karbon ile daha üstün bir performans sağlayacağı önerilmiştir.

Bir çalışmada (Dong, Chen, Liu, Liu ve Liu, 2014), hümik asiti sentezlenmiş bir çözeltiden uzaklaştırmak için manyetik mitostan nanoparçacıkları kullanmışlardır. Sonuçlar, artan pH'ın adsorpsiyon üzerinde zayıflatıcı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir; çözelti pH'ında 4'ten 10'a bir artış gösterdiğinde, hümik asit adsorpsiyonu için kapasitenin 29.3 mg/g'dan 7.4 mg/g'a düşmesine neden olur. Öte yandan, araştırmacılar iyonik güç ile adsorpsiyon kapasitesi arasında benzer bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir, bu da adsorpsiyon etkinliği için daha düşük iyonik gücün güçlü bir şekilde tercih edildiği ifade edilmektedir. 32.56 mg/g maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C, pH=7 ve minimum iyonik kuvvet koşulları altında optimizasyon sağlanmıştır. Araştırmacılar, birkaç desorpsiyon döngüsünden sonra adsorbanların, saf adsorban parçacıklarına kıyasla adsorpsiyon kapasitesinin %90'ını koruduğunu iddia etmişleridir.

Zhang vd. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, manyetik garden oksit (MGO) kullanılarak hümik, fulvik asitleri ve Pb(II)'yi depolama sahası sızıntı suyundan eş zamanlı olarak gidermeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlarda hümik asit, fulvik asit ve Pb(II) için sırasıyla 98.82 mg/g, 75.38 mg/g ve 58,43 mg/g maksimum adsorpsiyon kapasiteleri gözlemlenmiştir. Bilindiği gibi adsorpsiyon ortamındaki bir bileşimin varlığı (ve

miktarı), diğer bileşikler için adsorpsiyon kapasitesini etkileyebilir. Bu çalışmada 110 mg/L'ye kadar hümik asit varlığının Pb(II) giderimi üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu, 110 mg/L'nin üzerinde ise olumsuz etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yalnızca Pb(II) ve hümik asite sahip çözelti için, pH'ın 5'in altında olduğu gözlemlenmiştir. Ancak pH 5'in üzerine çıktıkça önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. Aynı pH aralığında, Pb(II) giderim etkinliğinde rapor edilmiştir. Pb(II) ve fulvik asit kombinasyonu için, hümik asit kombinasyonuna kıyasla benzer (ancak daha zayıf) bir eğilim gözlemlenmiştir. Öte yandan MGO'nun izoelektronik noktası pH=5 olduğu bildirilmiştir; bu da MGO yüzeyinin pH<5'in pozitif yüklü olduğunu ve pH>5'te negatif yüklü olduğunu göstermektedir. Bu iki faktör yan yana konulduğunda, adsorpsiyon etkinliği sınırlı bir pH aralığında en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Sonuç olarak, yüksek (ancak çok yüksek olmayan) pH değerleri, hümik asit, fulvik asit ve Pb(II) giderim verimliliğinden yadır. Diğer bir sonuç olarak Pb(II) konsantrasyonundaki artışın hümik asit ve fulvik asit giderimine fayda sağladığı bildirilmiştir. Öte yandan, hümik asit ve fulvik asit konsantrasyonundaki değişiklikler de Pb(II) giderimine fayda sağlamıştır. Pb(II) gideriminin fulvik asitten daha çok hümik asitten etkilendiğine dikkat edilmelidir. Ayrıca çalışmada, MGO partikülleri yeniden kullanım ve rejenerasyonda da iyi güvenilirlik göstermiştir.

Hümik asidin kaplanmamış ve kalsiyum kaplı manyetik çok duvarlı karbon nanotüpler (sırasıyla MWCNT ve MMC) ile uzaklaştırılması da incelenmiştir (S. Li, He, Li, Li ve Pan, 2017). Kalsiyum ile kaplandıktan sonra, giderim etkinliğinde önemli bir artış tespit edilmiştir. Öte yandan, her iki adsorban kullanılırken, miknatıslanma sırasında MWCNT parçacıklarının aksine MMC parçacıklarının manyetik alana daha duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca adsorpsiyon işleminin ekzotermik ve kendisinden bir süreç olduğu, yani gerekli koşul sağlandığında müdahaleye gerek olmadığı belirtilmiştir. Her bir adsorban için maksimum giderim oranı MWCNT ve MMC için sırasıyla %63.89 ve %90.27 olarak bildirilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su ve atıksulardan çeşitli kirleticilerin gideriminde kullanılan ve konvansiyonel yöntemlerden biri olan adsorpsiyon prosesi özellikle malzeme teknolojisinin, sentezleme tekniklerinin gelişmesiyle daha etkin hale gelmiştir. Yüzey modifikasyonları ve sentezleme teknikleri ile geliştirilen adsorbanlar adsorpsiyon prosesinin veriminin artmasına neden olmuştur. Yeni nesil adsorban olarak tanımlanan manyetik iyonlar geniş perspektifte su/atıksu içerisinde bulunan kirleticilerin gideriminde ve geri kazanımında oldukça verimlidir. Özellikle alıcı sucul ortamlar için toksik olabilecek nitelikte olan Pb, Cu, Hg, Cr ve boyar maddelerin gideriminde yüksek adsorplama kapasitesine sahip olduğu literatürdeki çalışmalarda görülmüştür.

Manyetik iyonlar ile su/atıksulardan kirletici giderim etkinliği bu iyonların yüzey alanı veya tutma kapasitesinin artmasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ayrıca, adsorpsiyonu etkileyen karıştıurma süresi, adsorban miktarı, sıcaklık gibi parametrelerin yanısıra adsorbanın yüzey yükünü etkilemesi bakımından pH parametresinin önemi oldukça büyüktür. Adsorban olarak manyetik iyonların tercihindeki en önemli avantaj kirletici giderimleri sonrası manyetik alan oluşturularak rejenerasyon prosesi ile tekrar tekrar kullanılabilmesidir. Öyle ki manyetik iyonların manyetik alan oluşturan filtre sistemleri ile entegrasyonu oldukça önemlidir. Adsorpsiyon prosesinde giderilen kirleticinin giderim mekanizması literatürde oldukça fazla çalışmada belirtilmektedir. Özellikle kompleks kirletici içeriğe sahip olan atıksularda mekanizma belirleme noktasında eksiklikler bulunabilmektedir. Endüstriyel atıksularda farklı nitelikteki kirleticilerin bulunması adsorpsiyon çalışmalarının tekil değil, çoklu kirletici unsurların birlikte giderim mekanizmalarının açıklanmasına yönelik araştırmaların artırılması bu tekniğin gerçek ölçekli uygulanması potansiyelini artıracakđı düşünölmektedir.

5. REFERANSLAR

- Ai, L., Zhang, C. ve Chen, Z. (2011). Removal of methylene blue from aqueous solution by a solvothermal-synthesized graphene/magnetite composite. *Journal of Hazardous Materials*, 192(3), 1515–1524. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.06.068
- Akin, I., Arslan, G., Tor, A., Ersoz, M. ve Cengeloglu, Y. (2012). Arsenic(V) removal from underground water by magnetic nanoparticles synthesized from waste red mud. *Journal of Hazardous Materials*, 235–236, 62–68. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.06.024
- Ambashta, R. D. ve Sillanpää, M. (2010). Water purification using magnetic assistance: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1–3), 38–49. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.04.105
- Baral, A. ve Engelken, R. D. (2002). Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA. *Environmental Science and Policy*, 5(2), 121–133. doi:10.1016/S1462-9011(02)00028-X
- Bée, A., Talbot, D., Abramson, S. ve Dupuis, V. (2011). Magnetic alginate beads for Pb(II) ions removal from wastewater. *Journal of Colloid and Interface Science*, 362(2), 486–492. doi:10.1016/j.jcis.2011.06.036
- Bel'chinskaya, L. I., Khodosova, N. A. ve Bityutskaya, L. A. (2009). Adsorption of formaldehyde at mineral nanoporous sorbents exposed to a pulse magnetic field. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 45(2), 203–206. doi:10.1134/S2070205109020130
- Bhaumik, M., Leswifti, T. Y., Maity, A., Srinivasu, V. V. ve Onyango, M. S. (2011). Removal of fluoride from aqueous solution by polypyrrole/F3O4 magnetic nanocomposite. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), 150–159. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.10.098
- Busch, K. W., Busch, M. A., Darling, R. E., Maggard, S. ve Kubala, S. W. (1997). Design of a test loop for the evaluation of magnetic water treatment devices. *Process Safety and Environmental Protection*, 75(2), 105–114. doi:10.1205/095758297528878
- Chai, L., Wang, Y., Zhao, N., Yang, W. ve You, X. (2013). Sulfate-doped Fe₃O₄/Al₂O₃ nanoparticles as a novel adsorbent for fluoride removal from drinking water. *Water Research*, 47(12), 4040–4049. doi:10.1016/j.watres.2013.02.057
- Chen, B., Cao, Y., Zhao, H., Long, F., Feng, X., Li, J. ve Pan, X. (2020). A novel Fe³⁺-stabilized magnetic polydopamine composite for enhanced selective adsorption and separation of Methylene blue from complex wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 392(February), 122263. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122263
- Chen, H., Chu, P. K., He, J., Hu, T. ve Yang, M. (2011). Porous magnetic manganese oxide nanostructures: Synthesis and their application in water treatment.

Journal of Colloid and Interface Science, 359(1), 68–74. doi:10.1016/j.jcis.2011.03.089

- Chen, R., Zhi, C., Yang, H., Bando, Y., Zhang, Z., Sugiur, N. ve Golberg, D. (2011). Arsenic (V) adsorption on Fe₃O₄ nanoparticle-coated boron nitride nanotubes. *Journal of Colloid and Interface Science*, 359(1), 261–268. doi:10.1016/j.jcis.2011.02.071
- Dąbrowski, A. (2001). Adsorption - From theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*, 93(1–3), 135–224. doi:10.1016/S0001-8686(00)00082-8
- Dong, C., Chen, W., Liu, C., Liu, Y. ve Liu, H. (2014). Synthesis of magnetic chitosan nanoparticle and its adsorption property for humic acid from aqueous solution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 446, 179–189. doi:10.1016/j.colsurfa.2014.01.069
- Duan, J., Liu, R., Chen, T., Zhang, B. ve Liu, J. (2012). Halloysite nanotube-Fe₃O₄ composite for removal of methyl violet from aqueous solutions. *Desalination*, 293, 46–52. doi:10.1016/j.desal.2012.02.022
- Fan, L., Luo, C., Sun, M., Li, X., Lu, F. ve Qiu, H. (2012). Preparation of novel magnetic chitosan/graphene oxide composite as effective adsorbents toward methylene blue. *Bioresource Technology*, 114, 703–706. doi:10.1016/j.biortech.2012.02.067
- Fan, L., Luo, C., Sun, M., Li, X. ve Qiu, H. (2013). Highly selective adsorption of lead ions by water-dispersible magnetic chitosan/graphene oxide composites. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 103, 523–529. doi:10.1016/j.colsurfb.2012.11.006
- Faulconer, E. K., von Reitzenstein, N. V. H. ve Mazyck, D. W. (2012). Optimization of magnetic powdered activated carbon for aqueous Hg(II) removal and magnetic recovery. *Journal of Hazardous Materials*, 199–200, 9–14. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.10.023
- Feng, L., Cao, M., Ma, X., Zhu, Y. ve Hu, C. (2012). Superparamagnetic high-surface-area Fe₃O₄ nanoparticles as adsorbents for arsenic removal. *Journal of Hazardous Materials*, 217–218, 439–446. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.03.073
- Figueira, P., Lopes, C. B., Daniel-da-Silva, A. L., Pereira, E., Duarte, A. C. ve Trindade, T. (2011). Removal of mercury (II) by dithiocarbamate surface functionalized magnetite particles: Application to synthetic and natural spiked waters. *Water Research*, 45(17), 5773–5784. doi:10.1016/j.watres.2011.08.057
- Foo, K. Y. ve Hameed, B. H. (2009). A short review of activated carbon assisted electrosorption process: An overview, current stage and future prospects. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2–3), 552–559. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.05.057
- Gokon, N., Shimada, A., Kaneko, H., Tamaura, Y., Ito, K. ve Ohara, T. (2002).

- Magnetic coagulation and reaction rate for the aqueous ferrite formation reaction. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 238(1), 47–55. doi:10.1016/S0304-8853(01)00703-X
- Hakami, O., Zhang, Y. ve Banks, C. J. (2012). Thiol-functionalised mesoporous silica-coated magnetite nanoparticles for high efficiency removal and recovery of Hg from water. *Water Research*, 46(12), 3913–3922. doi:10.1016/j.watres.2012.04.032
- Hu, X. J., Liu, Y. G., Wang, H., Chen, A. W., Zeng, G. M., Liu, S. M., ... Liu, S. H. (2013). Removal of Cu(II) ions from aqueous solution using sulfonated magnetic graphene oxide composite. *Separation and Purification Technology*, 108, 189–195. doi:10.1016/j.seppur.2013.02.011
- Idris, A., Ismail, N. S. M., Hassan, N., Misran, E. ve Ngomsik, A. F. (2012). Synthesis of magnetic alginate beads based on maghemite nanoparticles for Pb(II) removal in aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18(5), 1582–1589. doi:10.1016/j.jiec.2012.02.018
- Inaba, T., Kobayashi, E., Suwazono, Y., Uetani, M., Oishi, M., Nakagawa, H. ve Nogawa, K. (2005). Estimation of cumulative cadmium intake causing Itai-itai disease. *Toxicology Letters*, 159(2), 192–201. doi:10.1016/j.toxlet.2005.05.011
- Ishiwata, T., Miura, O., Hosomi, K., Shimizu, K., Ito, D. ve Yoda, Y. (2010). Removal and recovery of phosphorus in wastewater by superconducting High Gradient Magnetic Separation with ferromagnetic adsorbent. *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 470(20), 1818–1821. doi:10.1016/j.physc.2010.05.214
- Jiang, W., Pelaez, M., Dionysiou, D. D., Entezari, M. H., Tsoutsou, D. ve O’Shea, K. (2013). Chromium(VI) removal by maghemite nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 222, 527–533. doi:10.1016/j.cej.2013.02.049
- Jin, Y., Liu, F., Tong, M. ve Hou, Y. (2012). Removal of arsenate by cetyltrimethylammonium bromide modified magnetic nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 227–228, 461–468. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.05.004
- Kilianová, M., Pucek, R., Filip, J., Kolařík, J., Kvítek, L., Panáček, A., ... Zbořil, R. (2013). Remarkable efficiency of ultrafine superparamagnetic iron(III) oxide nanoparticles toward arsenate removal from aqueous environment. *Chemosphere*, 93(11), 2690–2697. doi:10.1016/j.chemosphere.2013.08.071
- Krzemieniewski, M., Dębowski, M., Janczukowicz, W. ve Pesta, J. (2003). Effect of sludge conditioning by chemical methods with magnetic field application. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12(5), 595–605.
- Kuang, S. P., Wang, Z. Z., Liu, J. ve Wu, Z. C. (2013). Preparation of triethylene-tetramine grafted magnetic chitosan for adsorption of Pb(II) ion from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 260, 210–219. doi:10.1016/j.jhazmat.2013.05.019

- Kurniawan, T. A., Lo, W. H. ve Chan, G. Y. S. (2006). Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 129(1–3), 80–100. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.08.010
- Lan, S., Wu, X., Li, L., Li, M., Guo, F. ve Gan, S. (2013). Synthesis and characterization of hyaluronic acid-supported magnetic microspheres for copper ions removal. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 425, 42–50. doi:10.1016/j.colsurfa.2013.02.059
- Li, G., Zhu, W., Zhang, C., Zhang, S., Liu, L., Zhu, L. ve Zhao, W. (2016). Effect of a magnetic field on the adsorptive removal of methylene blue onto wheat straw biochar. *Bioresource Technology*, 206, 16–22. doi:10.1016/j.biortech.2015.12.087
- Li, H., Li, Z., Liu, T., Xiao, X., Peng, Z. ve Deng, L. (2008). A novel technology for biosorption and recovery hexavalent chromium in wastewater by bio-functional magnetic beads. *Bioresource Technology*, 99(14), 6271–6279. doi:10.1016/j.biortech.2007.12.002
- Li, S., He, M., Li, Z., Li, D. ve Pan, Z. (2017). Removal of humic acid from aqueous solution by magnetic multi-walled carbon nanotubes decorated with calcium. *Journal of Molecular Liquids*, 230, 520–528. doi:10.1016/j.molliq.2017.01.027
- Li, Y. H., Di, Z., Ding, J., Wu, D., Luan, Z. ve Zhu, Y. (2005). Adsorption thermodynamic, kinetic and desorption studies of Pb²⁺ on carbon nanotubes. *Water Research*, 39(4), 605–609. doi:10.1016/j.watres.2004.11.004
- Li, Y., Zhu, S., Liu, Q., Chen, Z., Gu, J., Zhu, C., ... Ma, J. (2013). N-doped porous carbon with magnetic particles formed in situ for enhanced Cr(VI) removal. *Water Research*, 47(12), 4188–4197. doi:10.1016/j.watres.2012.10.056
- Lin, Y., Chen, H., Lin, K., Chen, B. ve Chiou, C. (2011). Application of magnetic particles modified with amino groups to adsorb copper ions in aqueous solution. *Journal of Environmental Sciences*, 23(1), 44–50. doi:10.1016/S1001-0742(10)60371-3
- Lin, Y. F., Chen, H. W., Chen, Y. C. ve Chiou, C. S. (2013). Application of magnetite modified with polyacrylamide to adsorb phosphate in aqueous solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(1), 45–51. doi:10.1016/j.jtice.2012.09.005
- Liu, Y., Chen, M. ve Yongmei, H. (2013). Study on the adsorption of Cu(II) by EDTA functionalized Fe₃O₄ magnetic nano-particles. *Chemical Engineering Journal*, 218, 46–54. doi:10.1016/j.cej.2012.12.027
- Mao, N., Yang, L., Zhao, G., Li, X. ve Li, Y. (2012). Adsorption performance and mechanism of Cr(VI) using magnetic PS-EDTA resin from micro-polluted waters. *Chemical Engineering Journal*, 200–202, 480–490. doi:10.1016/j.cej.2012.06.082
- Mohan, D. ve Pittman, C. U. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using

- adsorbents-A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 142(1–2), 1–53. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.01.006
- Oshitani, J., Yamada, D., Miyahara, M. ve Higashitani, K. (1999). Magnetic effect on ion-exchange kinetics. *Journal of Colloid and Interface Science*, 210(1), 1–7. doi:10.1006/jcis.1998.5952
- Otsuka, I. ve Ozeki, S. (2006). Does magnetic treatment of water change its properties? *Journal of Physical Chemistry B*, 110(4), 1509–1512. doi:10.1021/jp056198x
- Parham, H., Zargar, B. ve Shiralipour, R. (2012). Fast and efficient removal of mercury from water samples using magnetic iron oxide nanoparticles modified with 2-mercaptobenzothiazole. *Journal of Hazardous Materials*, 205–206, 94–100. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.12.026
- Spiegel, M. (1998). Method and apparatus for applying magnetic fields to fluids, (19).
- Srebrenik, S., Nadić, S. ve Lin, I. J. (1993). Magnetic treatment of water - a theoretical quantum model. *Magnetic and Electrical Separation*, 5(2), 71–91. doi:10.1155/1993/56708
- Sun, X., Yang, L., Xing, H., Zhao, J., Li, X., Huang, Y. ve Liu, H. (2013). Synthesis of polyethylenimine-functionalized poly(glycidyl methacrylate) magnetic microspheres and their excellent Cr(VI) ion removal properties. *Chemical Engineering Journal*, 234(1), 338–345. doi:10.1016/j.cej.2013.08.082
- Sun, Y. K., Ma, M., Zhang, Y. ve Gu, N. (2004). Synthesis of nanometer-size maghemite particles from magnetite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 245(1–3), 15–19. doi:10.1016/j.colsurfa.2004.05.009
- Tajuddin Sikder, M., Tanaka, S., Saito, T. ve Kurasaki, M. (2014). Application of zerovalent iron impregnated chitosan-carboxymethyl- β -cyclodextrin composite beads as arsenic sorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 370–376. doi:10.1016/j.jece.2014.01.009
- Tu, Y. J., You, C. F. ve Chang, C. K. (2012). Kinetics and thermodynamics of adsorption for Cd on green manufactured nano-particles. *Journal of Hazardous Materials*, 235–236, 116–122. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.07.030
- Wang, Q., Guan, Y., Liu, X., Ren, X. ve Yang, M. (2012). High-capacity adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution using magnetic microspheres by surface dendrimer graft modification. *Journal of Colloid and Interface Science*, 375(1), 160–166. doi:10.1016/j.jcis.2012.02.037
- Wei, L., Yang, G., Wang, R. ve Ma, W. (2009). Selective adsorption and separation of chromium (VI) on the magnetic iron-nickel oxide from waste nickel liquid. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2–3), 1159–1163. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.09.016
- Xiao, Y., Liang, H. ve Wang, Z. (2013). MnFe₂O₄/chitosan nanocomposites

as a recyclable adsorbent for the removal of hexavalent chromium. *Materials Research Bulletin*, 48(10), 3910–3915. doi:10.1016/j.materres-bull.2013.05.099

- Yang, G., Tang, L., Lei, X., Zeng, G., Cai, Y., Wei, X., ... Zhang, Y. (2014). Cd(II) removal from aqueous solution by adsorption on α -ketoglutaric acid-modified magnetic chitosan. *Applied Surface Science*, 292, 710–716. doi:10.1016/j.apsusc.2013.12.038
- Zaidi, N. S., Sohaili, J., Muda, K. ve Sillanpää, M. (2014). Magnetic field application and its potential in water and wastewater treatment systems. *Separation and Purification Reviews*, 43(3), 206–240. doi:10.1080/15422119.2013.794148
- Zhang, J., Gong, J. L., Zenga, G. M., Ou, X. M., Jiang, Y., Chang, Y. N., ... Liu, H. Y. (2016). Simultaneous removal of humic acid/fulvic acid and lead from landfill leachate using magnetic graphene oxide. *Applied Surface Science*, 370, 335–350. doi:10.1016/j.apsusc.2016.02.181
- Zhang, M., Gao, B., Varnoosfaderani, S., Hebard, A., Yao, Y. ve Inyang, M. (2013). Preparation and characterization of a novel magnetic biochar for arsenic removal. *Bioresource Technology*, 130, 457–462. doi:10.1016/j.biortech.2012.11.132
- Zhao, X., Wang, J., Wu, F., Wang, T., Cai, Y., Shi, Y. ve Jiang, G. (2010). Removal of fluoride from aqueous media by Fe₃O₄@Al(OH)₃ magnetic nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1–3), 102–109. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.08.054
- Zhou, L., Deng, H., Wan, J., Shi, J. ve Su, T. (2013). A solvothermal method to produce RGO-Fe₃O₄ hybrid composite for fast chromium removal from aqueous solution. *Applied Surface Science*, 283, 1024–1031. doi:10.1016/j.apsusc.2013.07.063
- Zhou, Y. T., Nie, H. L., Branford-White, C., He, Z. Y. ve Zhu, L. M. (2009). Removal of Cu²⁺ from aqueous solution by chitosan-coated magnetic nanoparticles modified with α -ketoglutaric acid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 330(1), 29–37. doi:10.1016/j.jcis.2008.10.026



BÖLÜM 9

FERMENTE SOSİSLERDE YEREL KOAGÜLAZ NEGATİF STAFİLOKOKLAR

Zeynep Feyza YILMAZ ORAL¹

¹ Öğretim Görevlisi, Atatürk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye. ORCID NO: 0000-0002-6295-0509, email: zeynep.yilmaz@atauni.edu.tr

GİRİŞ

Besin içeriği (proteinler, vitaminler vb.), yüksek su aktivitesi ve pH değeri ile mikroorganizmaların gelişimi için iyi bir ortam olan etin muhafazasında yüzyıllardır fermantasyon ve kurutma yöntemleri kullanılmaktadır (Zeuthen, 1995; Gökalp ve ark., 2010). Geçmişten günümüze kadar varlığını sürdüren fermente et ürünleri, kültürel mirasın bir parçası (Kaban, 2013) olup duyuusal özellikleri ile et ürünleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Fermente et ürünleri, fermente sosisler ve parça halde işlenen kür edilmiş-kurutulmuş/olgunlaştırılmış et ürünleri olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Fermente sosisler genellikle kuru fermente ve yarı-kuru fermente sosisler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Sucuk, salami, chorizo, Rohwurst, hard salami, peperroni, cervelat, ısıl işlem görmüş sucuk ve thuringer gibi ürünler tipik kuru ve yarı kuru fermente sosis çeşitleridir. Bu ürünlerin yanı sıra bazı ülkelerde Teewurst ve Mettwurst olarak adlandırılan yüksek nem değerine sahip fermente sosisler de üretilmektedir (Kaya ve Kaban, 2019). Fermente kuru sosislerde, fermentasyon ve kurutma, yarı-kuru fermente sosislerde ise fermentasyon, ısıl işlem ve kurutma önemli işlem basamaklarıdır. Nem içeriği, yüksek nemli fermente sosislerde %50-60, yarı kuru fermente sosislerde %35-50 ve kuru fermente sosislerde %20-35 aralığında değişmektedir (Campbell-Plantt, 1995). Bu ürünlerde nem içeriği, ürün güvenliği ve raf ömrü bakımından yeterli bir kalite kriteri olarak görülmemektedir (Vignolo et al., 2010). Fermente sosislerde su aktivitesi ve nem:protein oranı önemli kalite kriterleridir. Su aktivitesi, yarı kuru fermente sosislerde 0.90-0.95 arasında değişirken, kuru fermente sosislerde 0.90'nın altındadır. Diğer taraftan yarı kuru fermente sosisler genellikle 60-68 °C'lik iç sıcaklık uygulamaları esas alınarak ısıl işleme tabi tutulmaktadır (Caplice & Fitzgerald, 1999).

Spontan mikrobiyota, geleneksel kuru kür edilmiş fermente et ürünlerinde ürün güvenliğinin yanı sıra besin içeriği, tekstür ve lezzet üzerinde etkili olmaktadır (Casquete et al., 2012; Landeta et al., 2013). Geleneksel fermente sosis üretiminde genellikle starter kültürler kullanılmamakta ve fermentasyon endüstriyel üretime göre daha düşük sıcaklık ve bağıl nemde gerçekleştirilmektedir. Geleneksel kuru fermente sosislerin üretimi, hammaddeden veya çevreden kaynaklanan spontan mikrofloranın aktivitesine dayanmaktadır. Ancak bu mikrobiyota, teknolojik özelliklere sahip mikroorganizmaların yanı sıra son ürün özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek mikroorganizmaları ve patojen mikroorganizmaları da içerebilmektedir (Lebert et al., 2007; Vignolo & Fadda, 2007). Diğer taraftan kaliteli ve güvenilir bir fermente sosis, starter kültür kullanılmadan veya "back slopping" uygulanmadan da üretilebilmektedir. Ancak böyle bir ürünün üretimi formülasyona ve olgunlaştırmanın iyi yönetilmesine bağlıdır (Lücke, 1998). Bununla birlikte spontan fermentasyonda, prosesin kontrolü

oldukça zor olduğundan starter kültür kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır (Gökalp ve ark., 2010; Kaban et al., 2012; Kaya ve Kaban, 2019).

Fermente sosislerde starter kültür kullanımı 1920'li yıllara kadar dayanmaktadır. İlk ticari kültür preparatı 1957 yılında ABD'de piyasaya arz edilmiştir. *Pediococcus acidilactici* içeren bu ticari kültür preparatı, Amerikan tipi fermente sosislerde kullanılmıştır. Buna karşın Avrupa'da *Micrococcus* suşu içeren bir starter kültür preparatı 1961 yılında piyasaya sunulmuştur (Jessen, 1995). Daha sonraki yıllarda ticari kültür üretiminde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüzde Avrupa'da karışık kültürler (*Lactobacillus* veya *Pediococcus* ve koagülaz negatif stafilocoklar (KNS) veya *Kocuria*), Amerika'da ise laktobasiller ve pediokoklar fermente sosis üretiminde daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Geisen et al., 1992; Kaban et al., 2012; Kaya ve Kaban, 2019).

Fermente sosislerde laktik asit bakterileri ve KNS'ler, teknolojik olarak önem arz eden mikroorganizmalardır (Lücke, 2000). KNS'ler, nitratın indirgenmesi, katalaz aktivitesi, proteolitik ve lipolitik özellikleri ile mikrobiyotanın arzu edilen bir parçasını oluşturmaktadır. KNS'lerden *Staphylococcus xylosus* ve *S. carnosus*, fermente et ürünlerinde starter kültür olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra geleneksel fermente et ürünlerinden izole edilen *S. saprophyticus*, *S. equorum*, *S. warneri* ve hatta *S. epidermis* gibi KNS'lerin de starter kültür olarak kullanılmasına yönelik araştırmalar yürütülmektedir. Fermente et orjinli bu mikroorganizmalar, et fermantasyonunun ekolojisine iyi adapte olabilmektedir (Hugas & Monfort, 1997; Papamanoli et al., 2003; Drosinos et al., 2005). Proteolisiz ve lipolisiz reaksiyonlarında etkili olan bu mikroorganizmalar, renk oluşumu ve stabilitesinde de etkili olmaktadır. Bununla birlikte bazı KNS'ler amino asit dekarboksilaz, hemolitik aktivite ve DNaz aktivitesi göstermekte ve biyofilm de oluşturmaktadır (Sun et al., 2019). Bundan dolayı yerel KNS'lerin güvenilirliği sıklıkla gündeme gelmektedir. Mevcut bu çalışmada, fermente sosislerde KNS türlerinin dağılımının yanı sıra izole edilen suşların özellikleri ve güvenliği incelenmektedir.

FERMENTE SOSİSLERDE KOAGÜLAZ NEGATİVE STAFİLOKOK TÜRLERİNİN DAĞILIMI

Staphylococcus cinsi başlangıçta Micrococcaceae familyası içerisinde değerlendirilmiş ancak daha sonra yapılan moleküler ve filogenetik analizler sonucunda bu cins, Staphylococcaceae adı verilen yeni bir familya içerisinde sınıflandırılmaya başlanmıştır. Stafilocoklar, insan ve hayvanların deri ve mukoza membranlarının normal florasında bulunmaktadır (Becker et al., 2014). KNS'ler, fermente sosisler de dahil hayvansal kaynaklı gıdalarda yaygın olarak bulunan mikroorganizmalardır (Amadoro et al., 2022; Blaiotta et al., 2004a; Coton et al., 2010). KNS'lerin de yer aldığı

Gram pozitif-katalaz pozitif koklar (*Micrococcus/Staphylococcus*) olan bu mikroorganizmaların gelişimi ve canlılıklarını sürdürmesi, fermentasyon aşamasındaki asitleşmenin derecesine oldukça bağlıdır. Geleneksel yöntem ile üretilen fermente sosis hamurlarında 103-105 kob/g civarında olan mikrorok/stafilokoklar, yavaş asitleşmenin olduğu ürünlerde 106-107 kob/g'a kadar çıkabilmektedir (Toldra et al., 2001; Akköse et al., 2023). Buna karşın hızlı asitleşme esas alınarak üretilen ürünlerde bu mikroorganizmalar ya hiç gelişmemekte yada az bir gelişme göstermektedir (Leroy et al., 2006; Kaban & Kaya, 2009; Akköse et al., 2023). Endüstriyel üretimde KNS'ler en az 106 kob/g düzeyinde sosis hamurlarına ilave edilmektedir (Lücke & Hechelmann, 1985; Kaya ve Kaban, 2019).

Kuru ve yarı kuru fermente sosislerde Gram (+), katalaz pozitif koklar içerisinde KNS'ler önemli bir paya sahiptir. Tablo 1' de farklı fermente sosislerden izole ve identifiye edilen KNS türlerinin dağılımı verilmiştir. Sucuk üzerinde yapılan bir araştırmada, izolatların %41.5'ini *S. xylosus*'un oluşturduğu, bu türü %28.5 ile *S. saprophyticus*'un izlediği bildirilmiştir. Ayrıca aynı araştırmada *Staphylococcus* türlerinin toplam izolasyon oranının %99.2 olduğu tespit edilmiştir (Kaban & Kaya, 2008). Diğer fermente sosis çeşitlerinde de *Staphylococcus* cinsinin izolasyon oranı daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Comi et al., 1992; Drosinos et al., 2005; Seager et al., 1986; Samelis et al. 1998; Maurelli et al., 2004; Papamoline et al., 2002). *S. xylosus*'un İtalyan tipi (Blaiotta et al., 2004a; Comi et al., 1992; Coppola et al., 1997) ve İspanyol tipi ürünlerde (Garcia-Varona et al., 2000; Martin et al., 2006; Miralles et al., 1996) de dominant tür olduğu tespit edilmiştir. Garcia-Varona et al. (2000) 426 izolatın, %95'ini *S. xylosus* oluşturduğunu rapor etmişlerdir. Bu türe ait suşlar et endüstrisinde starter kültür olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Kaya ve Kaban, 2019).

Et endüstrisinde starter kültür olarak yaygın bir şekilde kullanılan diğer bir tür *S. carnosus*'dur. Bu tür, fermente sosislerin de dahil olduğu pek çok fermente üründen de izole edilmiştir (Cocolin et al., 2001; Cotton et al., 2010; Heo et al., 2020; Kaban & Kaya, 2008; Martin et al., 2006; Papamoline et al., 2002; Semedo-Lemsaddek et al., 2016). Buna karşın bu tür, pek çok fermente üründen ise izole edilememiştir (Blaiotta et al., 2004a; Coppola et al., 1997; Drosinos et al., 2005, 2007; Garcia-Varona et al., 2000; Mauriello et al., 2004; Samelis et al., 1998).

Yunan tipi fermente sosislerde, *S. saprophyticus* dominant tür olarak belirlenmiştir (Drosinos et al., 2005, 2007; Papamoline et al., 2002; Samelis et al., 1998). Ayrıca bu türün bazı teknolojik özelliklerine dayanılarak Yunan tipi fermente ürünlerde starter olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir (Samelis et al., 1998). Fermente sosislerden izole edilen diğer bir tür ise *S. equorum*'dur (Coppola et al., 1997; Blaiotta et al., 2004b; Kaban & Kaya, 2008; Maurelli et al., 2004). Bu türün tuza toleranslı olması,

düşük sıcaklıklarda gelişebilmesi, proteolitik/lipolitik aktivitesi ile starter kültür olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir (Hammes & Hertel, 1998). Diğer taraftan fermente sosislerde önemli bir tür olduğu belirtilen *S. succinus* (Talon et al., 2008) pek çok fermente sosis çeşidinden izole edilmiştir (Amadoro et al., 2022; Blaiotta et al., 2004a; Coton et al., 2010; Iacumin et al., 2012; Maurelli et al., 2004). Ayrıca starter kültür olarak kullanılma potansiyeline sahip bir tür olduğu belirtilen *S. simulans* (Li et al., 2022) da yine farklı fermente sosis çeşitlerinden izole/identifiye edilmiştir (Cocolin et al., 2001; Coppola et al., 1997; Drosinos et al., 2005;2007; Kaban & Kaya, 2008).

Tablo 1. Fermente sosislerden izole/identifiye edilen KNS türlerinin dağılımı

Ürün	KNS	Kaynak
Fermente sosis	<i>Staphylococcus xylosum</i> , <i>S. saprophyticus</i> , <i>S. warneri</i>	Seager et al. (1986)
İtalyan tipi kuru fermente sosis	<i>S. xylosum</i> , <i>S. sciuri</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>S. intermedius</i>	Comi et al. (1992)
Soppressata Molisana (İtalyan tipi fermente sosis)	<i>S. xylosum</i> , <i>S. simulans</i> , <i>S. equarum</i> , <i>S. kloosii</i>	Coppola et al. (1997)
Geleneksel Yunan tipi kuru fermente sosis	<i>S. saprophyticus</i> , <i>S. xylosum</i> , <i>S. cohnii</i> , <i>S. gallinarum</i> , <i>S. epidermidis</i>	Samelis et al. (1998)
Chorizo (İspanyol tipi fermente sosis)	<i>S. xylosum</i> , <i>S. intermedius</i> , <i>S. saprophyticus</i> , <i>S. hominis</i> , <i>S. epidermidis</i>	Garcia-Varona et al. (2000)
İtalyan tipi fermente sosis	<i>S. xylosum</i> , <i>S. carnosus</i> , <i>S. simulans</i>	Cocolin et al. (2001)
Kuru fermente sosis	<i>S. saprophyticus</i> , <i>S. carnosus</i> , <i>S. xylosum</i>	Papamanoli et al. (2002)
İtalyan tipi fermente sosis	<i>S. saprophyticus</i> , <i>S. xylosum</i> , <i>S. equarum</i> , <i>S. warneri</i> , <i>S. succinus</i> , <i>S. vitulus</i> , <i>S. pasteurii</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>S. haemolyticus</i> , <i>S. lentus</i>	Mauriello et al. (2004)
Salsiccia ve soppressata lucana (Geleneksel İtalyan tipi fermente sosis çeşitleri)	<i>S. xylosum</i> , <i>S. pulvereri/vitulus</i> , <i>S. equarum</i> , <i>S. saprophyticus</i> , <i>S. succinus</i> , <i>S. pasteurii</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>S. warneri</i>	Blaiotta et al. (2004a)
Geleneksel Yunan tipi fermente sosis	<i>S. saprophyticus</i> , <i>S. xylosum</i> , <i>S. simulans</i>	Drosinos et al. (2005)
Arjantin tipi fermente sosis	<i>S. sciuri</i> , <i>S. equorum</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>S. pulvereri</i> , <i>S. saprophyticus</i>	Fontana et al. (2005)

Fermente sosis	<i>S. xylosum, S. warneri, S. epidermidis, S. carnosus</i>	Martin et al. (2006)
Geleneksel kuru fermente sosis	<i>S. equorum, S. succinus, S. saprophyticus, S. xylosum, S. carnosus, S. simulans, S. warneri</i>	Morot-Bizot et al. (2006)
Hirvat tipi geleneksel fermente sosis	<i>S. xylosum, S. capitis, S. carnosus, S. saprophyticus</i>	Kozacinski et al. (2006)
Geleneksel fermente sosis	<i>S. saprophyticus, S. simulans, S. xylosum, S. gallinarum, S. cohnii</i>	Drosinos et al. (2007)
Botillo (geleneksel İspanyol tipi kuru fermente sosis)	<i>S. saprophyticus, S. xylosum, S. lentus, S. cohnii, S. epidermidis, S. sciuri, S. capitis</i>	Fontán et al (2007)
Sucuk	<i>S. xylosum, S. saprophyticus, S. equorum, S. carnosus, S. kloosii, S. gallinarum, S. vitulinus, S. cohnii, S. warneri, S. caprae, S. hominis, S. simulans, S. capitis</i>	Kaban & Kaya (2008)
Kuru fermente sosis	<i>S. xylosum, S. equorum, S. saprophyticus, S. succinus, S. carnosus, S. epidermidis, S. warneri, S. sciuri</i>	Coton et al. (2010)
Kuru fermente sosis	<i>S. equorum, S. saprophyticus, S. xylosum, S. succinus, S. warneri, S. carnosus, S. capitis, S. cohnii, S. fleurettii, S. hominis</i>	Leroy et al. (2010)
Fermente sosis	<i>S. xylosum, S. equorum, S. haemolyticus, S. lentus, S. succinus</i>	Iacumin et al. (2012)
Portekiz tipi kuru fermente sosis	<i>S. xylosum, S. equorum, S. saprophyticus, S. carnosus</i>	Semedo Lemsaddek et al. (2016)
Fermente sosis	<i>S. equorum, S. saprophyticus, S. succinus, S. warneri, S. capitis, S. xylosum, S. pasteurii, S. epidermidis</i>	Rebecchi et al. (2020)
Çin tipi fermente sosis	<i>S. saprophyticus, S. edaphicus, S. epidermidis, S. capitis, S. casei, S. hominis, S. xylosum, S. ureilyticus, S. pasteurii, S. succinus</i>	Chen et al. (2022)
Salame Piemonte (İtalyan tipi kuru fermente sosis)	<i>S. xylosum, S. succinus, S. equorum, S. carnosus, S. saprophyticus</i>	Franciosa et al. (2022)
Ventricina del Vastese (geleneksel İtalyan tipi kuru fermente sosis)	<i>S. succinus, S. xylosum, S. epidermidis, S. equorum, S. saprophyticus, S. warneri</i>	Amadoro et al. (2022)

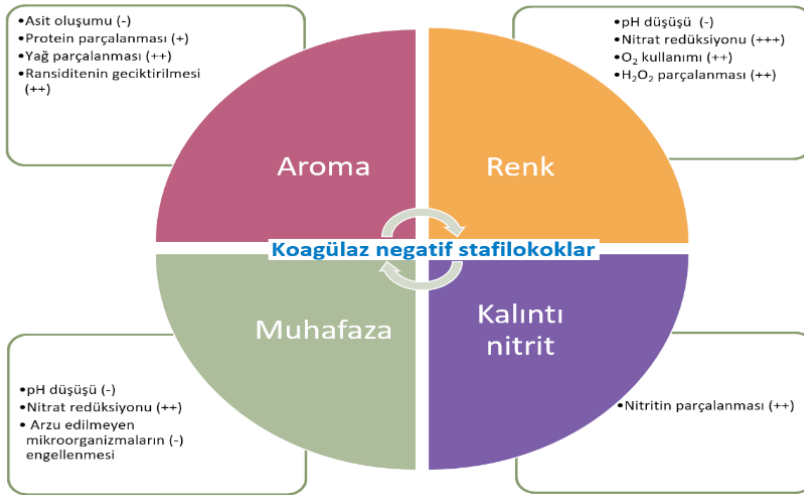
KOAGÜLAZ NEGATİF STAFİLOKOKLARIN TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Fermente sosislerde fermentasyon ve kurutma sırasında gerçekleşen mikrobiyal, biyokimyasal ve duyuşsal değişimler, ürün matrisinde bulunan dominant mikroorganizmaların aktiviteleri ile yakından ilişkilidir (Stegmayer et al., 2023). Et endüstrisinde *S. xyloşus*, *S. carnosus* ve *Kocuria varians*'ın seçilmiş suşları tekli veya laktik asit bakteri suşları ile birlikte çoklu ticari preparat halinde pazarlanmakta ve fermente sosis hamurlarına 106-107 kob/g düzeyinde ilave edilmektedir. Diğer taraftan geleneksel üretimde de spontan LAB'leri ve KNS'ler bu değişimlerde etkili olmaktadır (Kaya ve Kaban, 2019). KNS'lerin fermente sosislerdeki fonksiyonları Şekil 1'de verilmiştir. Fermente et ürünlerinde KNS'ler renk oluşumu, aroma, muhafaza ve kalıntı nitrit üzerinde etkili olmaktadır.

Fermente sosislerde renk önemli bir kalite kriteridir (Gökalp ve ark., 2010). Kürtlemede kullanılan kürtleme ajanının tipi ve kür karışımına giren ingredientler ürün tipine ve proses şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hızlı olgunlaştırılan fermente sosislerde kürtleme ajanı olarak nitrite yer verilirken uzun süreli olgunlaştırılan bazı fermente sosislerde nitrat kürtleme ajanı olarak formülasyona dahil edilmektedir (Gökalp ve ark., 2010; Lücke, 1998; Akköse et al., 2023). KNS'ler nitrat kullanılan proseslerde nitrat redüktaz aktivitelerinden dolayı oldukça önemli mikroorganizmalar (Landeta et al., 2013) olup renk oluşumu ve stabilitesi üzerinde etkili olmaktadır. KNS'ler, nitrat redüktaz aktivitesi ile nitratı nitrite indirgenmekte ve oluşan nitritin redüksiyonu sonucu nitrit oksit (NO) oluşmaktadır. NO'nun miyoglobine bağlanması ile üründe arzu edilen karakteristik renk oluşmaktadır. Nitrozomyoglobin olarak adlandırılan bu kür edilmiş et rengi, ısı işlem uygulanması sonucunda parlak pembemsi-kırmızı renk veren nitrosohemokroma dönüşmektedir (Gökalp ve ark., 2010). Sitoplazmik membranda hücre içi bir enzim olan nitrat redüktaz, nitratı nitrite indirgemektedir (Jessen, 1995). Fermentasyon sırasındaki hızlı pH düşüşü, nitratın nitrite dönüşümünü olumsuz yönde etkilemekte ve neticede üründe renk kusurları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle fermentasyon sırasında yeterli miktarda nitrit oluşuncaya kadar pH'ın 5.4' ün altına düşürülmemesi gerektiği bildirilmektedir (Lücke & Hechelmann, 1985; Kaya ve Kaban, 2019; Kamiloğlu et al., 2016). Ancak fermentasyon sırasındaki asitleşme, nitritin NO'ya parçalanması açısından önemli bir faktördür (Sallan et al., 2023). Renk oluşumunda spontan veya starter kültür olarak ilave edilen LAB'ların asit oluşturma kapasiteleri önemli olduğundan, fermente sosislerde arzu edilen rengin oluşumunun sağlanabilmesi için fermentasyon sıcaklığı ve kullanılan kürtleme ajanı dikkate alınarak uygun suş kombinasyonlarının oluşturulması gerekmektedir. Diğer taraftan KNS'ler nitrat redüktaz aktiviteleri ile oluşan nitrit, temel bir kürtleme ajanıdır. Nitrit, aroma

oluşumu, lipid oksidasyonunun geciktirilmesinin yanı sıra antimikrobiyal ve antioksidan aktivitede göstermektedir (Sallan et al., 2023). Nitritin parçalanması sonucu oluşan NO, son derece reaktif, düşük konsantrasyonlarda dahi etkisini gösterebilen önemli bir moleküldür (Ras et al., 2018). Ayrıca KNS'ler nitriti parçalayarak kalıntı nitrit seviyesini de düşürdüğü ifade edilmektedir (Lücke, 1985; Kaya ve Kaban, 2019) (Şekil 1).

Nitrat redüktaz aktivitesi, starter kültür seçiminde mutlaka dikkate alınması gereken bir kriterdir. *Staphylococcus* cinsi mikroorganizmalar genel olarak nitrat redüktaz aktivitesine sahip olmakla birlikte türler içerisinde farklılıklar söz konusu olabilmektedir (Sun et al., 2019). *S. carnosus*, *S. xylosus*, *S. equorum* ve *S. lentus* gibi çeşitli stafilocok türleri, nitrat redüktaz aktivitesine sahiptir (Casaburi et al., 2005; Coppola et al., 1997; Fedtke et al., 2002; Garcia-Varona et al., 2000; Mauriello et al., 2004; Neubauer & Gotz, 1996; Pantel et al., 1998; Talon et al., 1999;). Kuru fermente sosisler üzerinde yürütülen bir çalışmada, nitrat redüktaz aktivitesine sahip yerel *S. vitulinus* suşunun, *S. vitulinus* ve *L. sakei* içeren gruba göre daha yoğun kırmızı renk oluşumuna sebep olduğu belirtilmektedir (Prpich et al., 2015).



Şekil 1. Koagülaz negatif stafilocokların fonksiyonları (Lücke (1985); Kaya ve Kaban (2019)'dan uyarlanmıştır) (+++: çok etkili, ++: etkili, +: az etkili, -: etkisiz)

Fermente sosis üretiminde gerçekleşen proteoliz, ürünün organoleptik ve tekstürel özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Proteolizde endojen enzimlerin yanı sıra mikrobiyal kaynaklı proteazlar da etkin rol oynamak-

tadır. Bakteriyel kaynaklı proteaz ve peptidazlar, başlangıçta miyofibriller ve sarkoplazmik proteinlerin parçalanmasında, olgunlaşmanın son aşamalarında ise düşük molekül ağırlıklı peptitler ile amino asitlerin oluşumunda etkili olmaktadır (Sun et al., 2019). Tat üzerinde etkili olan bu bileşikler aynı zamanda uçucu bileşikler için ön madde olarak da rol oynamaktadır (Kaya ve Kaban, 2019). KNS'ler proteolitik aktiviteleri ile ürünün aroması üzerinde etkili olmaktadır (Şekil 1). Buna karşın fermente sosislerde dominant mikrobiyotayı oluşturan LAB'lerinin proteolitik aktiviteleri oldukça zayıftır. LAB'lar pH'yı düşürerek tekstür gelişimine ve asidik tadın oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Ordenez et al., 1999). KNS'ler ise Şekil 1'den de görüldüğü gibi asit oluşumunda etkili değildir.

Fermente sosislerde spontan olarak bulunan veya starter olarak ilave edilen KNS'ler, lipolitik aktiviteleri ile ürün aroması üzerinde etkili olmaktadır (Şekil 1). Lipolisizde, fosfolipaz ve lipaz aktiviteleri ile serbest yağ asitleri açığa çıkmaktadır. Proteolisizde olduğu gibi lipolisizde de hem endojen enzim hem de mikrobiyal kaynaklı enzimler etkili olmaktadır (Gandemer, 2022). *S. xylosus* ve *S. carnosus*, serbest yağ asitlerinin yanı sıra aldehitler, esterler ve aminler gibi düşük molekül ağırlıklı bileşikler oluşturabildiği belirtilmektedir (Casaburi et al., 2006). KNS'lerin aktiviteleri uygulanan fermentasyon ve kurutma koşullarına oldukça bağlılık göstermektedir. Konu ile ilgili araştırmalarda inokülasyon düzeyi arttıkça hızlı olgunlaştırma uygulanan ürünlerde metil dallanmış aldehit miktarının arttığı, yavaş olgunlaştırmada ise yüksek inokülasyon düzeyinin asitler ve sülfürlü bileşiklerin oluşumunu artırdığı belirtilmiştir (Tjener et al., 2004 a,b). KNS'lerin aktiviteleri suşa bağlı olarak da değişiklik göstermektedir. Bundan dolayı geleneksel ürünlerin karakteristik özelliklerinin şekillenmesinde etkili olan suşların belirlenebilmesi için izole edilen her bir suşun proteolitik ve lipolitik aktiviteleri de dahil teknolojik özelliklerinin detaylıca incelenmesi gerekmektedir (Li et al., 2022).

KNS'ler tarafından üretilen antioksidan enzimler (katalaz ve süperoksit dismutaz (SOD)) fermente sosislerin duyuusal özelliklerinin korunmasında önemli rol oynamaktadır (Kaya ve Kaban, 2019). SOD, reaktif oksijen türlerini hidrojen peroksit'e dönüştürmektedir (Maurya & Namdeo, 2022). Katalaz enzimi ise SOD aktivitesi ile oluşan veya doğal olarak üründe bulunan hidrojen peroksiti parçalamakta ve böylelikle bu kuvvetli oksitleyici ajanın lipid oksidasyonu üzerindeki etkisini ortadan kaldırmaktadır (Essid et al., 2007; Landeta et al., 2013; Sharma & Ahmad, 2014).

Fermente et ürünlerinde KNS'ler, antimikrobiyal bileşikler oluşturarak ürün güvenliğine katkıda bulunabilmektedir (Ahmad, 2014). KNS'ler bakteriyolitik enzimler, düşük molekül ağırlıklı polipeptitler ve bakteriyosinler gibi antimikrobiyal ajanlar oluşturabilmektedir. Nitekim Villani et al. (1994) İtalyan tipi fermente sosisten izole edilen *S. xylosus*'un *Listeria*

monocytogenes'e karşı antigonostik aktivite gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca Blaiotta et al. (2004b) *S. equorum* suşlarının, Casquete et al. (2012) ise *S. vitulinus*'un *Listeria monocytogenes*'e karşı antimikrobiyal aktivite sergilediği bildirmişlerdir.

YEREL KOAGÜLAZ NEGATİF STAFİLOKOK SUŞLARININ POTANSİYEL RİSK FAKTÖRLERİ

Starter kültürler ürün güvenliğinin sağlanması, kalitenin sürekliliği ve fermentasyon süresinin kısaltılması amacı ile kullanılan seçilmiş özel suşlardan hazırlanan preparatlardır. Et endüstrisinde laktik asit bakterilerinin yanı sıra KNS'ler de bu preparatlarda yer almaktadır. Ancak son yıllarda geleneksel ürünlerdeki tat ve aromanın sağlanması amacı ile bu ürünlerden teknolojik öneme haiz suşların izolasyonu ve identifikasyonu ve starter kültür olarak kullanılabilme imkanlarına yönelik araştırmalar yapılmaktadır. Nitrat redüktaz aktivitesi, katalaz aktivitesi ve lipolitik/proteolitik aktiviteler KNS'lerin en önemli teknolojik özellikleridir. Bununla birlikte suşların amino asit dekarboksilaz aktivitesi, hemolitik aktivite, DNaz aktivitesi, biyofilm oluşturma yeteneği ve antibiyotik direnci bakımından da güvenilir olması gerekmektedir (Sun et al., 2019).

Katalitik etki veya gözenek oluşturarak eritrosinlerin parçalanmasına neden olan hemolitik aktivite, bir virülans faktörü olarak kabul edilmekte ve stafilocok izolatlarının virülanslığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Üretimde kullanılan starter kültürlerin bu aktiviteyi göstermemesi gerektiği bildirilmektedir. KNS'ler ile hemolitik aktivite arasında genellikle güçlü bir ilişki olmayıp, sıklıkla fenotipik ve genotipik tanımlama arasında da farklılıklar söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte bu aktivitenin varlığı, türe ve suşa bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Marty et al., 2012). Potansiyel starter kültür olarak düşünülen *S. carnosus*, *S. equorum*, *S. succinus*, *S. xylosum*, *S. condimentum* ve *S. piscifermentans* içeren 330 izolat arasında en düşük hemolitik aktivite pervalansını *S. carnosus*'un gösterdiği ve incelenen et kaynaklı izolatların sadece %12'sinin orta dereceli bir hemoliz sergilediği tespit edilmiştir (Zell et al., 2008). Ancak *S. epidermidis*'in kullanımı, hemoliz genlerinin varlığından dolayı bir endişe kaynağı olarak düşünülmektedir (Ruiz et al., 2016).

Biyofilm oluşumu, arzu edilmeyen veya patojen mikroorganizmaların gıda yüzeylerine tutunmalarına sebep olduğundan istenmeyen bir özelliktir (Landeta et al., 2013) ve suşa bağlı olarak potansiyel virülans bir özellik olarak da kabul edilmektedir (Ruiz et al., 2016). Bununla birlikte starter kültürlerin yüzeye kolonize olarak istenmeyen mikroorganizmaların yüzey kolonizasyonunun önlenmesi nedeni ile starter kültürler için arzu edilen bir özellik olarak da karşımıza çıkmaktadır (Landeta et al., 2013). KNS'lerin biyofilm oluşturma özellikleri suşa ve çevreye bağlı olarak değişiklik gös-

terebilmektedir. Nitekim, *S. xylosus* suşlarının hidrofilik yüzeylerde biyofilm oluşturmaya tercih ettiği (Planchon et al., 2006), *S. equorum* suşlarının ise genellikle in vitro koşullarda biyofilm oluşturduğu (Leroy et al., 2009) belirlenmiştir. Farklı fermente ürünlerden izole edilen 81 KNS suşunun biyofilm oluşturma açısından değerlendirildiği bir çalışmada 15 *S. saprohyticus*, 5 *S. succinus* ve 1 *S. xylosus* suşunun biyofilm oluşturduğu tespit edilmiştir (Jeong et al., 2016).

Biyojen aminler, mikrobiyal dekarboksilaz aktivitesi ile oluşan organik bazlardır. KNS'ler tarafından üretilen biyojen aminlerin miktarı ve çeşidi, türe ve hatta suşa göre değişiklik göstermektedir (Stravropoulou et al., 2018). İsviçre tipi fermente sosis, geleneksel fermente sosis ve 16 ticari kültürden elde edilen 132 KNS izolatının (*S. xylosus*, *S. carnosus*, *S. equorum*, *S. epidermidis*, *S. warneri* ve *S. capitis*) hiçbirinin fenotipik veya genotipik seviyede biyojen amin üretmediği tespit edilmiştir (Marty et al., 2012). Bununla birlikte farklı fermente ürünlerden izole edilen KNS'lerin biyojen amin üretebileceği belirtilmektedir (Jeong et al., 2016).

Gıdalardan gelen KNS'lerdeki antibiyotik direnci, klinik açıdan önemli olan antibiyotiklere dirençli bakterilere transfer olabilmelerinden dolayı önem arz etmektedir. Fermente sosisler, antibiyotik direnç genleri içeren plazmitlerin ve transpozonların transferi için uygun bir ortam oluşturabilmektedir (Martin et al., 2006). Geleneksel fermente sosislerden izole edilen KNS'lerin %50'den daha az bir oranda en az bir antibiyotiğe karşı direnç gösterdiği, antibiyotik direnç pervalansının türe bağlı olarak değiştiği ve esas olarak *S. warneri*, *S. capitis* ve *S. epidermidis* izolatlarında bulunduğu, ancak *S. carnosus* ve *S. equorum*'da yalnızca sporadik olarak tespit edildiği bildirilmiştir. Ayrıca antibiyotik direncinin, geleneksel fermente sosislerle karşılaştırıldığında, doğal yaşam alanlarından gelen *S. xylosus* izolatlarında daha sık gözlemlendiği de belirtilmiştir (Marty et al., 2012). Zdolec et al. (2013) ise spontan fermentasyon ile üretilen sosislerden %66 oranında *S. epidermidis*'in izole edildiğini ve bu fırsatçı patojenin yüksek oranda tetrasiklin ve eritromisine dirençli olmasından dolayı tüketici açısından risk oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan farklı fermente gıdalardan izole edilen suşların önemli bir kısmının antibiyotiğe hassas olduğu ve suşa bağlı olarak az sayıda antibiyotiğe karşı direncin olduğu belirlenmiştir (Heo et al., 2020).

SONUÇ

Fermente sosislerde pek çok duyuşsal özellik açısından KNS'ler büyük önem arz etmektedir. Spontan fermentasyonda özellikle de yavaş olgunlaş-tırmada bu mikroorganizmalar yüksek sayılara ulaşabilmektedir. Bununla birlikte KNS'ler laktik starter kültürlerin kullanıldığı ürünlerde hızlı asitleşmeden dolayı arzu edilen ölçüde gelişme gösterememektedir. Bundan

dolayı endüstride KNS'ler fermente sosis hamurlarına yüksek düzeyde (en az 106 kob/g) düzeyinde ilave edilmektedir. Nitrat redüktaz, katalaz ve lipolitik/proteolitik aktivite, KNS'lerin önemli teknolojik özellikleridir. Geleneksel ürünlerden izole edilen suşların starter kültür olarak kullanılabilmesi için teknolojik özelliklerinin detaylıca belirlenmesi ve fermentasyon ortamındaki etkilerinin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra yerel KNS suşları, hemolitik aktivite, dekarboksilaz aktivitesi, biyofilm oluşumu ve antibiyotik direnç gibi kriterler yönünden de güvenilir olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, S.A. (2014). The effect of starter cultures on the physico-chemical, microbiological and sensory characteristics of semi-dried sausages. *International Journal of Chemtech Research*, 7(4), 2020-2028.
- Akköse, A., Oğraş Şişik, Ş., Kaya, M. & Kaban, G. (2023). Microbiological, physicochemical and sensorial changes during the ripening of sucuk, a traditional Turkish dry-fermented sausage: effects of autochthonous strains, sheep tail fat and ripening rate. *Fermentation*, 9(6), 558.
- Amadoro, C., Rossi, F., Poltronieri, P., Marino, L. & Colavita, G. (2022). Diversity and safety aspects of coagulase-negative staphylococci in ventricina del vastese Italian dry fermented sausage. *Applied Science*, 12, 13042.
- Becker, K., Heilmann, C. & Peters, G. (2014). Coagulase negative staphylococci. *Clinical Microbiology Reviews*, 27(4), 870-926.
- Blaiotta, G., Pennacchia, C., Villani, F., Ricciardi, A., Tofalo, R. & Parente, E. (2004a). Diversity and dynamics of communities of coagulase negative staphylococci in traditional fermented sausages. *Journal of Applied Microbiology*, 97, 271-284.
- Blaiotta, G., Ercolini, D., Mauriello, G., Salzano, G. & Villani, F. (2004b). Rapid and reliable identification of *Staphylococcus equorum* by a species-specific pcr assay targeting the *sodA* gene. *Systematic and Applied Microbiology*, 27, 696-702.
- Chen, J., Zhang, J., Yang, Z., Niu, Y., Cai, Z., Wang, J., Yin, L., Yin Y. & Lu, X. (2022). Characterization of indigenous coagulase-negative staphylococci isolated from Chinese spontaneously fermented meat products. *Microbiological Research*, 263, 127160.
- Campbell-Plantt, G. (1995). Fermented meats-a world perspective. In: *Fermented Meats*, Eds. G. Campbell-Plantt, P. E. Cook, pp.39-51. Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Caplice, E. & Fitzgerald, G.F. (1999). Food fermentations: Role of microorganisms in food production and preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 50, 131-149.
- Casquate, R., Benito, M., Martin, A., Ruiz-Mayon, Nevado, F.P. & Cordoba, M.G. (2012). Comparison of the effects of a commercial and an autochthonous *Pediococcus acidilactici* and *Staphylococcus vitulus* starter culture on the sensory and safety properties of a traditional Iberian dry-fermented sausage “salchichon”. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-9.
- Casaburi, A., Blaiotta, G., Mauriello, G., Pepe, O. & Villani, F. (2005). Technological activities of *Staphylococcus carnosus* and *Staphylococcus simulans* strains isolated from fermented sausages. *Meat Science*, 71, 643-50.

- Casaburi, A., Villani, F., Toldra, F. & Sanz, Y. (2006). Protease and esterase of staphylococci. *International Journal of Food Microbiology*, 112, 223-229.
- Cocolin, L., Manzano, M., Aggio, D., Cantoni, C. & Comi, G. (2001). A novel polymerase chain reaction (PCR)- denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) for the identification of micrococcaceae strains involved in meat fermentations. Its application to naturally fermented Italian sausages. *Meat Science*, 57, 59-64.
- Comi, G., Citterio, B., Manzano, M., Cantoni, C. & Bertoldi, M. (1992). Evaluation and characterization of Micrococcaceae strains in Italian dry fermented sausages. *Fleischwirtschaft*, 72(12), 1679-1683.
- Coppola, R., Lorizzo, M., Saotta, R., Sorrentino, E. & Grazia, L. (1997). Characterization of micrococci and staphylococci isolated from Soppresata Molisana, a southern Italy fermented sausage. *Food Microbiology*, 14, 47-53.
- Coton, E., Desmots, H.M., Leroy, S., Coton, M., Jamet, E., Christeans, S., Donnio, P.Y., Lebert, I. & Talon, R. (2010). Biodiversity of coagulase-negative staphylococci in French cheeses, dry fermented sausages, processing environments and clinical samples. *International Journal of Food Microbiology*, 137(2-3), 221-229.
- Drosinos, E.H., Mataragas, M., Xiraphi, N., Moschonas, G., Gaitis, F. & Metaxopoulos, J. (2005). Characterization of the microbial flora from a traditional Greek fermented sausage. *Meat Science*, 69 (2), 307-317.
- Drosinos, E.H., Paramithiotis, S., Kolovos, G., Tsikouras, I. & Metaxopoulos, I. (2007). Phenotypic and technological diversity of lactic acid bacteria and staphylococci isolated from traditionally fermented sausages in southern Greece. *Food Microbiology*, 24, 260-270.
- Essid, I., Ismail, H. B., Ahmed, S. B. H., Ghedamsi, R. & Hassouna, M. (2007). Characterization and technological properties of *Staphylococcus xylosum* strains isolated from a Tunisian traditional salted meat. *Meat Science*, 77(2), 204-212.
- Fedtke, I., Kamps, A., Krismer, B. & Götz, F. (2002). The nitrate reductase and nitrite reductase operons and the narT gene of *Staphylococcus carnosus* are positively controlled by the novel Two-component system NreBC. *Journal of Bacteriology*, 184(23), 6624-34.
- Fontán, M. C. G., Lorenzo, J. M., Martínez, S., Franco, I. & Carballo, J. (2007). Microbiological characteristics of Botillo, a Spanish traditional pork sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 40(9), 1610-1622.
- Fontana, C., Coconcelli, P. S. & Vignolo, G. (2005). Monitoring the bacterial population dynamics during fermentation of artisanal Argentinean sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 103(2), 131-142.
- Franciosa, I., Ferrocino, I., Corvaglia, M. R., Giordano, M., Coton, M., Mounier, J., Rantsiou, K. & Cocolin, L. (2022). Autochthonous starter culture selection for Salame Piemonte PGI production. *Food Research Internatio-*

nal, 162, 112007.

- Gandemer, G. (2002). Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products. *Meat Science*, 62, 309-321.
- Garcia-Varona, M., Santos, E.M., Jaime, I. & Rovira, J. (2000). Characterisation of Micrococcaceae isolated from different varieties of Chorizo. *International Journal of Food Microbiology*, 54,189–195.
- Geisen, R., Lücke, F.K. & Kröckel, I.O. (1992). Starter and protective culture for meat and meat products. *Fleischwirtschaft*, 72(6), 894-898.
- Gökalp, H.Y., Kaya, M. ve Zorba, O. (2010). Et ürünleri işleme mühendisliği. Atatürk Üniversitesi yayın no:786, Ziraat Fakültesi Yayın No: 320, Ders kitapları serisi No:70, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Erzurum.
- Hammes, W.P. & Hertel, C. (1998). New developments in meat starter cultures. *Meat Science*, 49, 125-138.
- Heo, S., Lee, J.H., Jeong, D.W. (2020). Food-derived coagulase-negative *Staphylococcus* as starter cultures for fermented foods. *Food Science and Biotechnology*, 29(8), 1023–1035.
- Hugas, M. & Monfort, J.M. (1997). Bacterial starter cultures for meat fermentation. *Food Chemistry*, 59(4), 547–54.
- Iacumin, L., Manzano, M. & Comi, G. (2012). Catalase-positive cocci in fermented sausage: Variability due to different pork breeds, breeding systems and sausage production technology. *Food Microbiology*, 29(2), 178-186.
- Jeong, D.-W., Lee, B., Her, J.Y., Lee, K.G. & Lee, J.H. (2016). Safety and technological characterization of coagulase-negative staphylococci isolates from traditional Korean fermented soybean foods for starter development. *International Journal of Food Microbiology*, 236, 9–16
- Jessen, B. (1995). Starter cultures for meat fermentation, In: Fermented Meats, Eds. G. Campbell-Platt, P.E. Cook, pp. 130-159. Blackie Academic and Professional, Glasgow.,
- Kaban, G., Kaya, M. & Lücke, F.K. (2012). Meat starter cultures. pp.1-4. In: Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food.
- Kaban, G. & Kaya, M. (2008). Identification of lactic acid bacteria and Gram-positive catalase-positive cocci isolated from naturally fermented sausage (sucuk). *Journal of Food Science*, 73, M385-M388.
- Kaban, G. & Kaya, M. (2009). The effects of *Lactobacillus plantarum* and *Staphylococcus xylosus* on the quality characteristics of dry fermented sausage “sucuk”. *Journal of Food Science*, 74, S58-S63.
- Kaban, G. (2013). Sucuk and pastırma: Microbiological changes and formation of volatile compounds. *Meat Science*, 95, 912-918.

- Kamiloğlu, A., Kaban, G. & Kaya, M. (2016). Contribution of catalase positive cocci on flavour formation in fermented sausages. *British Journal of Applied Science and Technology*, 17(1), 1-8.
- Kaya, M. ve Kaban, M. (2019). Fermente et ürünleri. In: Gıda Biyoteknolojisi, Ed. N. Aran, ss. 157-195, 7. Basım, ISBN: 978-605-133-134-8, Nobel Yayıncılık, İstanbul.
- Kozacinski, L., Zdolec, N., Hadziosmanovic, M., Cvrtila, Z., Filipovic, I. & Majic, T. (2006). Microbial flora of the Croatian traditionally fermented sausage. *Archiv für Lebensmittelhygiene*, 57(5), 141.
- Landeta, G., Curiel, J.A. Carrascosa, A.V., Munos, R. & de las Rivas, B. (2013). Technological and safety properties of lactic acid bacteria isolated from Spanish dry-cured sausages. *Meat Science*, 95, 272-280.
- Lebert, I., Leroy, S., Giammarinaro, P., Lebert, A., Chacornac, J.P., Bover-Cid, S., Vidal-Carou, M.C. & Talon, R. (2007). Diversity of microorganisms in the environment and dry fermented sausages of small traditional French processing units. *Meat Science*, 76(1), 112-122.
- Leroy, F., Verluyten, J. & Vuyst, L.D. (2006). Functional meat starter cultures for improved sausage fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 106, 270-285.
- Leroy, S., Lebert, I., Chacornac, J.P., Chavant, P., Bernardi, T. & Talon, R. (2009). Genetic diversity and biofilm formation of *Staphylococcus equorum* isolated from naturally fermented sausages and their manufacturing environment. *International Journal of Food Microbiology*, 134, 46-51.
- Leroy, S., Giammarinaro, P., Chacornac, J. P., Lebert, I. & Talon, R. (2010). Biodiversity of indigenous staphylococci of naturally fermented dry sausages and manufacturing environments of small-scale processing units. *Food Microbiology*, 27(2), 294-301.
- Li, H., Zhu, Q., Chen, X., Zhou, J. & Wu, J. (2022). Isolation and characterization of coagulase negative staphylococci with high proteolytic activity from dry fermented sausages as a potential starter culture. *Food Research International*, 162, 111957.
- Lücke, F.K. & Hechelmann, H. (1985). Starterkulturen für Rohwurst und Rohschinken zusammensetzung und wirkung. pp. 193-218. In: Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken. Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach.
- Lücke, F. K. (1985). Mikrobiologische Vorgänge bei der Herstellung von Rohwurst und Rohschinken. In: Mikrobiologie und Qualität von Rohwurst und Rohschinken. *Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach*, 85-102.
- Lücke, F.K. (1998). Fermented sausages. In: *Microbiology of Fermented Foods*, Ed. B.J.B. Wood, pp.441-483. Blackie Academic and Professional, London.

- Lücke, K.F. (2000). Utilization of microbes to process and preserve meat. *Meat Science*, 56, 105-115.
- Maurya, R. & Namdeo, M. (2022). Superoxide dismutase: A key enzyme for the survival of intracellular pathogens in the host. In: Reactive Oxygen Species, Ed, R. Ahmad, ISBN:978-1-83968-282-7.
- Miralles, M.C., Flores, J. & Perez- Martinez, G. (1996). Biochemical tests for the selection of *Staphylococcus* strains as potential meat starter cultures. *Food Microbiology*, 13(3), 227-236.
- Martin, B., Garriga, M., Hugas, M., Bover-Cid, S., Veciana-Nogues, M.T. & Aymerich, T. (2006). Molecular, technological and safety characterization of Gram-positive catalase-positive cocci from slightly fermented sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 107, 148-158.
- Marty, E., Bodenman, C., Buchs, J., Hadorn, R., Eugster-Meier, E., Lacroix, C. & Meile, L. (2012). Prevalence of antibiotic resistance in coagulase-negative staphylococci from spontaneously fermented meat products and safety assessment for new starters. *International Journal of Food Microbiology*, 159, 74– 83.
- Mauriello, G., Casaburi, A., Blaiotta, G. & Villani, F. (2004). Isolation and technological properties of coagulase negative staphylococci from fermented sausages of southern Italy. *Meat Science*, 67, 149-158.
- Morot-Bizot, S. C., Leroy, S. & Talon, R. (2006). Staphylococcal community of a small unit manufacturing traditional dry fermented sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 108(2), 210-217.
- Neubauer, H. & Gotz, F. (1996). Physiology and interaction of nitrate and nitrite reduction in *Staphylococcus carnosus*. *Journal of Bacteriology*, 178, 2005-2009.
- Ordóñez, J. A., Hierro, E. M., Bruna, J. M. & Hoz, L. (1999). Changes in the components of dry-fermented sausages during ripening. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39, 329-367.
- Pantel, I., Lindgren, P.E., Neubauer, H. & Götz, F. (1998). Identification and characterization of the *Staphylococcus carnosus* nitrate reductase operon. *Molecular and General Genetics*, 259, 105- 114.
- Papamanoli, E., Kotzekidou, P., Tzanetakis, N. & Litopoulou-Tzanetaki, E. (2002). Characterization of Micrococcaceae isolated from dry fermented sausage. *Food Microbiology*, 19, 441-449.
- Papamanoli, E., Tzanetaki, N., Litopoulou-Tzanetaki, E. & Kotzekidou, P. (2003). Characterization of lactic acid bacteria isolated from a Greek dry-fermented sausage in respect of their technological and probiotic properties. *Meat Science*, 65, 859–867.
- Planchon, S., Gaillard-Martinie, B., Dordet-Frisoni, E., Bellon-Fontaine, M.N., Leroy, S., Labadie, J., Hébraud, M. & Talon, R. (2006). Formation of bio-

film by *Staphylococcus xylosus*. *International Journal of Food Microbiology*, 109, 88–96.

- Prpich, N.Z.P., Castro, M.P., Cayré, M.E., Garro O.A. & Vignolo, G.M. (2015). Indigenous starter cultures to improve quality of artisanal dry fermented sausages from Chaco (Argentina). *International Journal of Food Science*, ID 931970.
- Ras, G., Leroy, S. & Talon, R. (2018). Nitric oxide synthase: What is its potential role in the physiology of staphylococci in meat products?. *International Journal of Food Microbiology*, 282, 28-34.
- Rebecchi, A., Miragoli, F., Lopez, C., Bassi, D., & Fontana, C. (2020). Exploring coagulase-negative staphylococci diversity from Artisanal Llama sausages: assessment of technological and safety traits. *Microorganisms*, 8(5), 629.
- Ruiz, P., Barragan, I., Sesena, S. & Palop, M.L. (2016). Is staphylococci population from milk of healthy goats safe?. *International Journal of Food Microbiology*, 238, 146–152.
- Sallan, S., Yilmaz Oral, Z. F. & Kaya, M. (2023). A review on the role of lactic acid bacteria in the formation and reduction of volatile nitrosamines in fermented sausages. *Foods*, 12(4), 702.
- Samelis, J., Metaxopoulos, J., Vlassi, M. & Papa, A. (1998). Stability and safety of traditional Greek salami- a microbiological ecology study. *International Journal of Food Microbiology*, 44, 69-82.
- Seager, M.S., Banks, J.G., Blackburn, C. de W. & Board, R. G. (1986). A taxonomic study of *Staphylococcus spp.* isolated from fermented sausages. *Journal of Food Science*, 51(2), 295-297.
- Semedo-Lemsaddek, T., Carvalho, L., Tempera, C., Fernandes, M. H., Fernandes, M. J., Elias, M., Nar Reto, A.S. & Fraqueza, M. J. (2016). Characterization and technological features of autochthonous coagulase-negative staphylococci as potential starters for portuguese dry fermented sausages. *Journal of Food Science*, 81(5), M1197-M1202.
- Sun, J., Cao, C. C., Feng, M. Q., Xu, X. L. & Zhou, G. H. (2019). Technological and safety characterization of coagulase-negative staphylococci with high protease activity isolated from Traditional Chinese fermented sausages. *LWT Food Science and Technology*, 114, 108371.
- Stegmayer, M. Á., Sirini, N. E., Ruiz, M. J., Soto, L. P., Zbrun, M. V., Lorenzo, J. M., Signorini, M.L. & Frizzo, L.S. (2023). Effects of lactic acid bacteria and coagulase-negative staphylococci on dry-fermented sausage quality and safety: Systematic review and meta-analysis. *Meat Science*, 109337.
- Sharma, I. & Ahmad, P. (2014). Catalase: a versatile antioxidant in plants. In: Oxidative damage to plants, pp. 131-148. Academic Press.
- Stavropoulou, D.A., De Vuyst, L. & Leroy, F. (2018). Nonconventional starter cultures of coagulase-negative staphylococci to produce animal-derived fer-

- mented foods, a SWOT analysis. *Journal of Applied Microbiology*, 125(6), 1570-1586.
- Talon, R., Walter, D., Chartier, S., Barrière, C. & Montel, M.C. (1999). Effect of nitrate and incubation conditions on the production of catalase and nitrate reductase by staphylococci. *International Journal of Food Microbiology*, 52, 47-56.
- Talon, R., Leroy, S., Lebert, I., Giammarinaro, P., Chacornac, J.P., Latorre Moratalla, M., Vidal-Carou, C., Zanardi, E., Conter, M. & Lebecque, A. (2008). Safety improvement and preservation of typical sensory qualities of traditional dry fermented sausages using autochthonous starter cultures. *International Journal of Food Microbiology*, 126, 227-234.
- Tjener, K., Stahnke, L. H., Andersen, L. & Martinussen, J. (2004a). A fermented meat model system for studies of microbial aroma formation. *Meat Science*, 66, 211-218. 77.
- Tjener, K., Stahnke, L. H., Andersen, L. & Martinussen, J. (2004b). Growth and production of volatiles by *Staphylococcus carnosus* in dry sausages: Influence of inoculation level and ripening time. *Meat Science*, 67, 447-452.
- Toldra, F., Sanz, Y. & Flores, M. (2001). Meat fermentation technology. In: *Meat Science and Applications*, Eds. Y. H. Hui, W. K. Nip, R. W. Rogers, O.A. Young. pp. 538-561. Marcel Dekker Inc., New York
- Vignolo, G., Fontana, C. & Fadda, S. (2010). Semi dry and dry fermented sausages, In: *Handbook of Meat Processing*, Ed. F. Toldra, Chapter 22, pp. 379-398, Blackwell publishing, USA
- Vignolo, G. & Fadda, S. (2007). Starter cultures: Bioprotective cultures. In: *Handbook Of Fermented Meat and Poultry*. Ed. F. Toldra, pp.147-157. Blackwell Publishing, Oxford.
- Villani, F., Pepe, O., Mauriello, G., Moschetti, G. & Coppola, S. (1994). Antimicrobial activity of *Staphylococcus xylosus* from Italian sausages against *Listeria monocytogenes*. *Applied Microbiology*, 18, 159-161.
- Zeuthen, P. (1995). Historical aspects of meat fermentations. In: *Fermented Meats*, Eds. G. Campbell-Platt and P. E. Cook, pp.53-54, Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Zell, C., Resch, M., Rosenstein, R., Albrecht, T., Hertel, C. & Gotz, F. (2008). Characterization of toxin production of coagulase-negative staphylococci isolated from food and starter cultures. *International Journal of Food Microbiology*, 127, 246-251.
- Zdolec, N., Racic, I., Vujnovic, A., Zdelar-Tuk, M., Matanovic, K., Filipovic, I., Dobranic, V., Cetnic, Z. & Spicic, S. (2013). Antimicrobial resistance of coagulase-negative staphylococci isolated from spontaneously fermented sausages. *Food Technology and Biotechnology*, 51(2), 240.