

MÜHENDİSLİK ALANINDA AKADEMİK ARAŞTIRMA ve DERLEMELER

Editör

Prof. Dr. Servet Soygüder



**MÜHENDİSLİK ALANINDA
AKADEMİK ARAŞTIRMA ve
DERLEMELER**

Editör

Prof. Dr. Servet Soygüder



Mühendislik Alanında Akademik Araştırma ve Derlemeler
Editör: Prof. Dr. Servet Soygüder

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Baskı: Mayıs 2021
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-7680-60-8

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

Baskı ve Cilt: Vadi Grafik Tasarım ve Reklamcılık Ltd. Şti.
İvedik Org. San. 1420. Cad. No: 58/1
Yenimahalle/ANKARA
Tel: 0 312 395 85 71
Sertifika No: 47479

İÇİNDEKİLER

<i>Bölüm-1</i>	5
Şarap ve Şarap Çeşitleri	5
<i>Tuğsem MUTAFÇILAR</i>	
<i>Binnur KAPTAN</i>	
<i>Bölüm-2</i>	21
Toprak Kirliliğine Genel Bakış ve Afetler Sonrası Toprak Kirliliği	
<i>Halil DERTLİ</i>	
<i>Didem SALOĞLU</i>	
<i>Bölüm-3</i>	39
Tekstilde Bambu Lifinin Kullanımı	
<i>Öznur Özdiç</i>	
<i>Bölüm-4</i>	55
Model Organizma Olarak Zebra Baliği ve Genom Düzenleme Teknolojileri	
<i>Tülay ÖNCÜ ÖNER</i>	
<i>Bölüm-5</i>	71
Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Elektrik Sistemine Entegrasyonu	
<i>Mehmet BULUT</i>	
<i>Bölüm-6</i>	93
Basit Sarkaç Sisteminin Simulink İle Hareket Analizi Ve Pıd Denetimi	
<i>Servet SOYGÜDER</i>	
<i>Hasan GÜLER</i>	
<i>Hasan ÜTEBAY</i>	

Bölüm-7

105

**C# Ve Matlab'da Bilgisayar Programlarında
Görüntü İşleme Teknikleri**

Atıl Emre COŞGUN

Bölüm-8

121

**Multi - Region Self-Tuning Method For
Fuzzy Imc Pid Controllers**

Doğan Onur Yılmaz

*Hikmet Iskender**

– Bölüm-1 –

ŞARAP VE ŞARAP ÇEŞİTLERİ

Tuğsem MUTAFCILAR¹

Dr. Öğr. Üyesi. Binnur KAPTAN²

1 Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye
E-mail: mutafcitugsem@gmail.com

2 Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye
E-mail:bkaptan@nku.edu.tr

1. Giriş

Şarap, üzüm şirasının etil alkol fermantasyonu sonucu üretilen bir içkidir. Tarihi kalıntılardan en eski içeceklerden biri olan şarap ve şarapçılığın insanlık tarihi kadar eski olduğu bilinmektedir.

Şarap yapımı 7000 yıl öncesinde ilk olarak kendiliğinden oluştuğuna dair bilimsel veriler bulunmaktadır. Arkeolojik kazılardan ilk üzüm asması *vitis vinifera*'nın anavatanının Ön Asya olduğunu göstermektedir. Kırmızı şarap üzümlerin olarak *vitis vinifera occidentalis*'in Mezopotamya'dan Ürdün ve Mısır'a, beyaz şarap üzümlerin *vitis vinifera pontica*' ise Toroslar'dan Ege'ye, oradan da Fenikeliler tarafından Avrupa'ya yayılmıştır. Şarap yapımının M.Ö. 4000'li yıllarda yapıldığı, daha sonra Hititler, Lidyalılar ve diğer uygarlıklara yayıldığı bilinmektedir [1].

Arkeolojik kazılarda çıkarılan kadehler, testiler, İyonya döneminden kalma amforalar, üzerinde üzüm salkımı bulunan Kilikya sikkeleri, Hitit Krallarının Tanrılara şarap sunuşunu gösteren resimler, yazıtlar, efsaneler binlerce yıllık bir bağcılık mirasının olduğunu ve Anadolu topraklarının, şarap üretimi ve ticaretinin önemli merkezi olduğunu işaret etmektedir.

M.Ö. 2440 -1400 yıllarında Eski Mısır'da bağcılık ve şarapçılık kültürünün üst düzeyde gerçekleştiğini tasvir eden mozaikler bulunmaktadır. Mezopotamya uygarlıklarında asma bahçeleri ile bilinen Babil'de, Kral Hammurabi' nin M.Ö. 1700 yılındaki yasaları arasında, şarap ticaretini ve tüketimini düzenleyen maddeler bulunmaktadır [2]. Tarihsel süreçte Roma İmparatorluğu'nun gelişmesi ile bağcılık Almanya'nın Ren Vadisi'ne doğru yayılmıştır. Roma imparatorluğu tarafından Fransa, Basel, Tuna ve Ren nehirleri yakınlarındaki yerleşim bölgelerinde şarap üretimi yaygınlaştırılmıştır [3]. Avrupa kıtasında 16. ve 19. yüzyıllar arasında meydana gelen 30 yıl savaşlarının Ren Vadisi'ndeki bağları olumsuz etkilediği, 1709 yılında meydana gelen büyük don olayında ise Fransa ve Almanya'nın kuzey bölgesinde yer alan bağların büyük zarar gördüğü tespit edilmiştir. 1868 yılında Fransa'da görülen ve Avrupa kıtasına hızla yayılan filokseraya rağmen, bağcılık Avrupa kıtasındaki yerini ve değerini koruyarak günümüze kadar gelmiştir [2]. 18. yüzyılın son dönemlerinde Avrupa'da bağ ve şarapçılığın gelişmesi şaraplık üzüm çeşitlerinin yetiştirilmesi ve şarabın şişelenme usulü uygulanması başlanmıştır [4]. 19. Yüzyılın başlarında bilim ve teknolojideki gelişmeler, mikrobiyolojik ve kimyasal buluşlar şarapçılık faaliyetlerini yeniden önemli hale getirmiştir [4].

2. Dünya ve Türkiye’de Üzüm ve Şarap Üretimi

Üzüm, dünyadaki ve ülkemizdeki kullanım şekilleri incelendiğinde ürün alternatifleri oldukça fazla olan sayılı meyvelerden biri olarak bilinmektedir. Ülkemizde 448 bin hektar bağ alanından yaklaşık 4 ton üzüm üretimi gerçekleştirilmektedir. Üzümlerin %52’i sofralık olarak tüketilirken, %37’ si kurutulmakta, %11’i başta şarap olmak üzere, üzüm suyuna, sirkeye, pekmeze, pestile, sucuğa, rakıya ve köftelere işlenmektedir [5-6]. Türkiye, Dünya’ da bağcı ülkeleri arasında alan bakımından 5.sırada yer alırken; üzüm üretimi bakımından 6.sırada yer almaktadır. Ülkemizde şaraba işlenen üzüm miktarı ise %2,5 ile sınırlı kalmıştır [5]. Dünya genelinde ise özellikle gelişmiş bağcı ülkelerde üretilen üzümlerin ortalama %50’si şaraplık, %37,6’sı sofralık ve %8,4’ü kurutmalık olarak değerlendirilir. Ülkemizde şaraba işlenen üzüm miktarı ise %2,5 düzeyinde sınırlı kalmaktadır [6].

Avrupa Birliği (AB) sınırlarında bağlık alanların, dünyadaki toplam bağ alanlarının %45’ini oluşturmakta, dünya şarap üretiminin %62’si ve şarap tüketiminin %60’ı da yine AB ülkelerinde yapılmaktadır.

Bağcılık ve Şarapçılık Raporu (OIV 2019)’na göre Dünya’da İspanya %13 bağ alanı ile bir önceki yıla göre az bir artışla birinci sırada bulunmaktadır. Şarap tüketiminde ise 2019 itibarıyla 33’lük oranla ABD en çok şarap tüketen ülkeler arasında bulunmaktadır [6].

Türkiye’de en fazla şarap tüketimi Ege Bölgesi’nde, en düşük tüketim ise Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri’nde gerçekleştirilmektedir [7]. Ülkemizde şarap tüketimi az olduğundan üretilen üzümün çok düşük bir kısmı şaraba işlenmekte ve oldukça yüksek bir katma değere sahip olan bu sanayiden yeterli düzeyde yararlanılamamaktadır. Yeterli düzeyde yararlanabilmek için kaliteli ve belirlenen standartlarda üzüm yetiştiriciliği yapılmalı, kontrollü olgunlaştırma ile üretimi sağlanmalıdır. Bu yüzden ülkemizde şaraplarda kaliteyi arttırmak için çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Şarabın hammaddesi üzümün bileşiminde çeşit, yetiştirme yılı, iklim koşulları (yağmur, sıcaklık, nem) yetiştirme bölgesi ve toprak yapısı gibi faktörler etkili olmaktadır [8].

Şaraplık üzüm yetiştirilmesinde balçık zeminler, kumlu ve çakıllı toprak yapısı ve eğimli arazilerin uygun tarım alanlarıdır [9]. Şarap yapımında kullanılan üzümün yetiştirileceği bölgelerde, yıllık yağış ortalamasının 650-700 mm civarında, sıcaklığın yaz aylarında 19°C’nin üzerinde (yıllık ortalama sıcaklık 14-15°C) olması gerekmektedir.

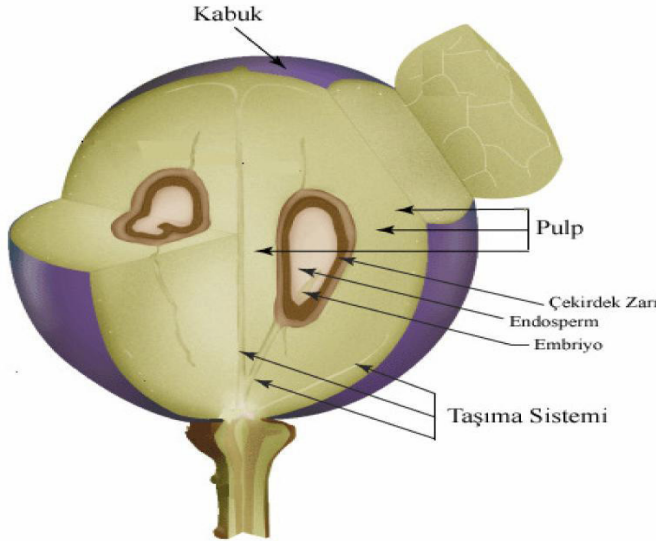
Türkiye’de bulunan yaklaşık 1200 üzüm çeşidinden 12 tanesi yerli, 22 tanesi yabancı kökenli olarak 34 çeşit şarap üretiminde kullanılmaktadır [10]. Türkiye’de yetiştirilen kaliteli şaraplık üzüm çeşitlerinden kırmızı şaraplık üzüm çeşitleri; Papaz karası, Öküzgözü, Boğazkere, Horoz Karası, Ada Karası, Kalecik Karası, ve

Sergi Karası gibi yerli çeşitleridir. Pinot Noir, Gamay, Alicante Bouschet, Cabernet Sauvignon, Cinsault, Carignane, Grenache, ve Merlot yabancı çeşitler arasında yer alır. Yerli beyaz şaraplık üzüm çeşitlerinden en önemlileri Misket, Emir, Hasandede, Narince, Dökülgen olup yabancı çeşitleri Cabernet Blanc, Reisling, Semillon, Clairette oluşturur.

3. Üzüm ve Şarabin Bileşenleri

3.1 Üzümün yapısı ve bileşimi

Üzümün yaklaşık %75-85pulp, %4-9 kabuk ve %3-4 çekirdek olmak üzere 3 kısımdan oluşmuştur. Organik asitler, şekerler, fenolik bileşikler, mineraller ve aroma maddeler gibi üzüme özgü biyokimyasal bileşikler üzümün histokimyasal yapısı oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Üzümün histokimyasal yapısı

3.2. Şarabin Bileşenleri

3.2.1. Organik asitler

Şarapta toplam asitliğin %90 dan fazlasını oluşturan tartarik asit ve malik asit yanında [11], sitrik, laktik, asetik, süksinik, galaktronik, glukonik, şikimik ve fumarik asit şarap kalitesini yönünden oldukça önemlidir [12].

3.2.2. Şekerler

Üzümde temel şekerler glikoz ve fruktozdur. Üzümlerde bu şekerlere ek olarak oldukça düşük miktarlarda da olsa rafinoz, melibioz, maltoz, galaktoz, arabinoz ve ksiloz bulunmaktadı [13].

3.2.3. Fenolik bileşikler

Fenolik bileşikler, kimyasal yapılarında bir aromatik halkaya bağlı hidroksil grubu içeren ikincil bitkisel metabolitlerdir. Flavonoidler ve flavoid olmayanlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Flavonoidler; flavanoller (tanenler, epikateşin, kateşin), flavonoller (kuarsetin, mirisetin, kaemferol) ve antosiyaninlerden, flavonoid olmayan bileşikler ise; fenolik asitler ve stilbenlerden oluşmaktadır [14]. Şaraplık üzümde kalite kriteri olarak değerlendirilen fenolik bileşikler renk, tat ve aromadan sorumludurlar. Bu bileşikler doğal antioksidan olmasıyla, beslenme ve sağlık üzerinde etkisi bulunmaktadır. Üzümlerde fenolik maddelerin %60-70'i çekirdekte, %28-35'i kabukta ve %10'u pulpta bulunmaktadır. Üzüm çekirdeğinde bulunan tanenler, fenolik bileşiklerin şeker esterlerinden oluşan kompleks yapılarıdır [16].

Fenolik maddelerin alt grubunu oluşturan antosiyaninlerden siyadin (kırmızı), peonidin (açık kırmızı), petunidin (mavi ve mor tonlar) şarap ve üzümün özgü renkleri maddeleri olarak alkolde çok, şıradan ve suda az çözünen doğal renk pigmentleridir [16].

3.2.6. Aroma maddeleri

Üzümlerde aroma maddeleri çoğunlukla kabukta ve az miktarda tane etinde bulunurlar [17]. Uçucu ve koku verme özelliğine sahip aroma maddeleri ve uçucu olmayan kokusuz aroma maddeleri olarak [18] terpenler, tiyoller, norisoprenoidler (özellikle C13- norisoprenoidleri), ve metoksiprazinlerdir [19].

3.2.7. Vitaminler

Vinifera çeşitlerinde olgunlaşma süresince A, B₁, B₂, B₃ ve C vitamini miktarı artmakta, tane kabuğunda biriktirilmektedir. B grubu vitaminlerinden tiamin bakımından zengin olan üzümün askorbik asit miktarı orta düzeydedir [13].

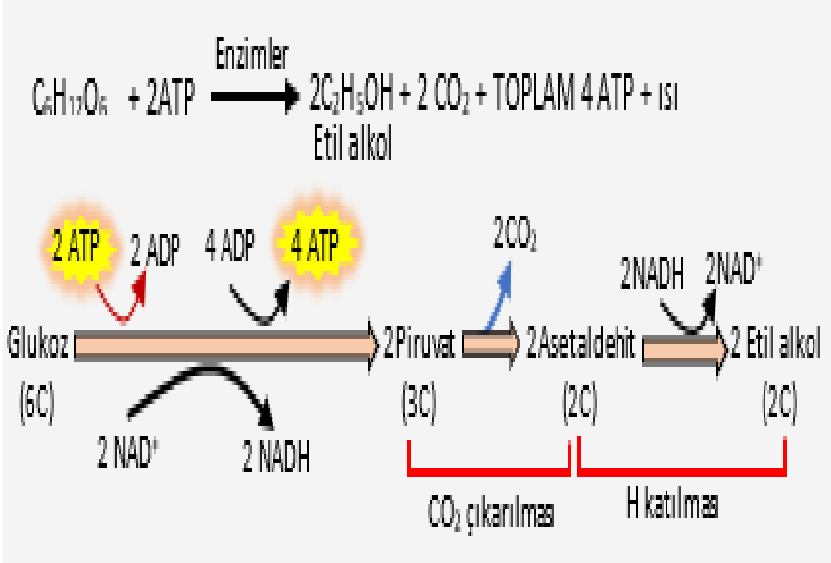
3.2.8. Mineraller

Kökler yoluyla topraktan alınan mineral maddeleri, üzüm tanesi ağırlığının %0.2-0.6'sını oluşturmaktadır [20]. Üzümde demir, bor ve bakır mineralleri tane kabuğu ve etinde, çinko ise çekirdekte depolanmaktadır [21].

3.3. Etil alkol fermantasyonu

Şarap teknolojisinde alkol fermantasyonunda spontan veya saf maya ile gerçekleştirilir (Şekil 2). Spontan fermantasyonda doğal maya florası, saf maya fermantasyonunda ise özellikleri bilinen mayalar kullanılmaktadır [22]. Fermantasyonda saf maya kullanımı mikrobiyal kontaminasyon riskini azaltmak açısından önemlidir

[23]. Fermantasyon, mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri yardımıyla karbonhidratlardan alkol veya organik asit oluşumunu sağlayan reaksiyon zincirleridir [24].



Şekil 2. Etil alkol fermantasyonu

Alkol fermantasyonu süresince mayaların gelişimi ve fermantasyonun verimi; fermantasyonda kullanılan hammadde çeşidine ve miktarına, maya türü ve miktarına; fermantasyon ortamına ilave edilen maddelere, pH'ya, sıcaklığa ve üretim sırasındaki teknik şartlara bağlıdır [25-26]. Ticari mayalarının tümü fermantasyon karakteristiklerine göre farklı yöntemlerle doğal olarak, tek bir maya hücrelerinin çoğaltılarak saf starter kültür olarak elde edilmektedir [27]. Starter kültür kullanımının tercih edilmesinin nedeni lag fazının azalması, fermantasyon süresinin kısılması ve doğal olarak bulunan maya türlerinin önemli ölçüde azaltıcı etkisi olmasıdır [28]. Ticari şarap mayalarının kullanımından önce, şarap üretimi üzümün kabuğundaki doğal mikroflora faaliyeti ile spontan fermantasyon yoluyla sürdürülmekteydi. Spontan fermantasyonda endojen *Saccharomyces cerevisiae* suşları yanısıra farklı maya ve bakteri (asetik asit ve laktik asit bakterileri) faaliyeti ile gerçekleşen spontan fermantasyon tekniğiyle üretilen şaraplar daha aromatik ve kompleks özelliklere sahip bulunmaktadır [29].

3.4. *Saccharomyces cerevisiae*

Mayalar binlerce yıldır insanlar tarafından değişik amaçlar için kullanılmıştır. İlk kullanımı Babil, Sümer ve Mısır medeniyetleri tarafından bira, şarap üretimi

ile hamur mayalanmasında olduğu düşünölmektedir. Modern çağda ise mayalar geleneksel gıda endüstrisinde; *Saccharomyces cerevisiae* üretimi, çeşitli enzimler, gıda asitlendiricilerinin elde edilmesi gibi kullanım alanlarının dışında şarap, bira gibi alkollü içecek fermantasyon prosesinde de kullanılmaktadır [30]. Mayalar; küresel, silindirik veya oval yapıda olup, ökaryot hücre yapısına sahip canlılar olarak nitelendirilmektedir. Mayalar her canlı organizmasında gelişebilen, iyi bir B vitamini ve protein kaynağıdır. Hayatta kalmaları için ortamda su, şeker, albümin, azot gibi besin değerlerine ihtiyaç duyar ve optimum ortam sıcaklıklarında aktif hale geçerler [31].

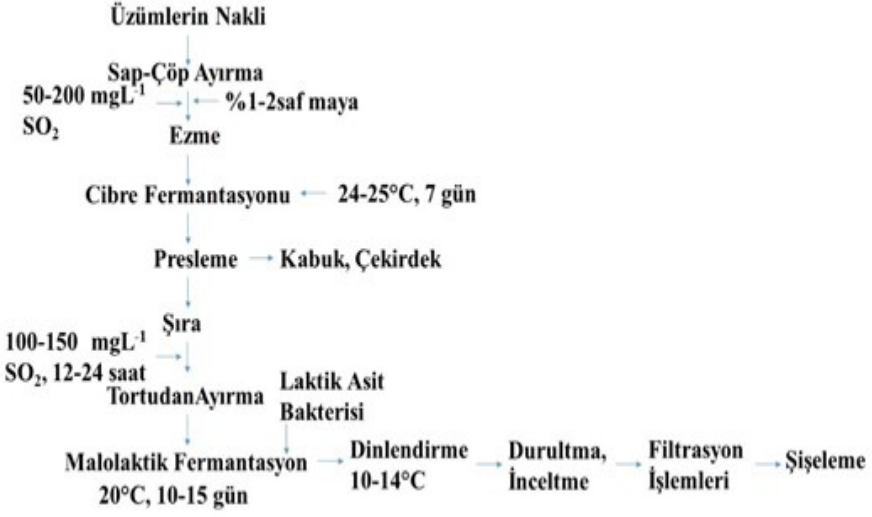
Şarap mayalarının düşük düzeyde uçar asit, şekerin tamamını fermente etme, yüksek fermantasyon hızı, alkol konsantrasyonuna dayanıklılık, yüksek sıcaklıklarda gelişme, kükürt dioksit dayanıklılık, düşük düzeyde kükürt dioksit, hidrojen sülfür, asetaldehit oluşturma, fermantasyon sonunda kolay dibe çökme, killer mayalardan etkilenmemesi gibi özelliklerine sahip olması arzu edilir [32].

4. Şarap Üretimi

Hasat olgunluğuna gelen üzümlerin toplanıp işletmeye getirilmesiyle prosese başlanır. Burada üzümler saplarından ayrılır, Üzümler ezilerek şıranın ayrılması sağlanır. Mikroorganizmaların neden olabileceği bozulmalardan korumak için şıraya kükürt dioksit ilave edilir. Şarabın çeşidine göre şıra üzüm kabuğuyla beraber ya da ayrı olarak işlenmektedir. Maya ilavesi ile üzüm suyundaki şekerleri mayaları tarafından etil alkol ve karbondioksit fermantasyonu sonucu 10-30 gün arasında üzüm suyu şaraba dönüşmektedir. Şarabın içerisindeki ölmüş maya kalıntıları ve diğer partiküllerin aktarma, tortu ayırma ve durultma işlemleri ile ayrılmasının ardından soğutma ve filtrasyon işlemleri tamamlanıp, tercihen kupaj yapılarak şarap şişelenmektedir.

Kırmızı şaraplarda, tanen maddesi buruk tat verdiğinden üzümün sapları ayrılmadan bir miktar kükürt dioksit ilave edildikten sonra maya eklenerek direkt ezme işlemine alınmaktadır. Ezme işlemi ile üzüm kabuğunun çatlatılması sağlanarak daha iyi şıra elde etmek amacıyla presleme işlemi uygulanmaktadır. Elde edilen şıra, cibre fermantasyonunun yapılacağı tanklara %10 kabarma payı bırakılarak gönderilir.

Kırmızı şarap üretimi akış şeması Şekil 3.'te beyaz şarap üretimi akış şeması Şekil 4.'te verilmiştir



Şekil 3. Kırmızı şarap üretimi

Sadece kırmızı şarap üretiminde renk ve tanenin şıraya geçmesi için cibre fermentasyonu yapılmaktadır. Fermentasyon başlayınca oluşan CO_2 gazı ortamdan ayrılırken ortamda bulunan kabuk ve çekirdekleri kabın yüzeyine doğru iterek yüzeyde toplanmasına neden olmaktadır.

Cibre fermentasyonunun başında $24-25^\circ\text{C}$ 'de olan sıcaklığın ilerleyen aşamalarda 28°C 'nin üzerine çıkmamasına dikkat edilir. Yoğunluk değeri 1.010 gösterince cibre fermentasyonu tamamlanıp şıra cibreden ayrılarak preslere gönderilir.

Presten çıkan şıranın renginin koyulaşmasını önlemek ve oksidasyonunu engellemek için $100-150 \text{ mgL}^{-1}$ oranında kükürt dioksit kullanarak 12-24 saat arasında kükürtlenir ve kendiliğinden oturan tortusundan ayrılır.

Preslerden alınan şıra yapısındaki doğal bulunan şekerler, mayaları tarafından etil alkol fermentasyon ile şaraba dönüştürülür. Dinlendirme süresi şarap türüne göre değişiklik göstermektedir. Kırmızı şaraplar için $10-14^\circ\text{C}$ sıcaklık, nispi nem miktarı da %75'dir. Fermentasyonu sona eren kırmızı şaraplar görünüm olarak bulanık olduğundan durultma ve inceltme işlemlerine tabi tutulmaktadır. Şaraplar şişelemeye gelmeden sıvı içindeki katı parçacıkların süzülmesi, aroma ve tat profilinin korunmasının sağlanması için filtrasyon işlemi uygulanır.

Şarap üretiminin son aşamasında şişelenen şarapların, hava almasını engelleyecek şekilde tıpa mantarlarının şişe boynuna iyice yerleştirilerek bir süre dik daha sonra ters ya da yatık halde yerleştirilir.



Şekil 4. Beyaz şarap üretimi

Beyaz şaraplık üzümler parçalanarak saplarından ayrılır. Ezme sırasında çatlayan üzüm tanelerinin kabuklarının açılmasıyla çıkan şıra süzülerek ağzı kapalı bir kaptaki bir iki gün bekletilir.

Beyaz şarap üretiminde, ayırıcılardan gelen üzüm tanelerinin sıkma işlemi preslerde yapılır. Preslerden işlemi ile elde edilen şıra 50 mgL⁻¹ kükürt dioksit kullanılarak, 12–24 saat arasında kükürtleme yapılır ve saf maya ilavesi ile düşük sıcaklıklarda fermantasyon yapılmalıdır. Fermantasyonunu tamamlayan şarap 1-2 ay tanklarda dinlendirilerek bulanıklık yapan tanenleri ortamdan ayırma ve durultma işlemi yapılır. Şaraplar filtrasyon işlemi sonrasında tam otomatik dolum makinesine ile el değmeden şişelere dolur.

5. Şarapların Sınıflandırılması

Tablo 1. Kalitelerine göre sınıflandırılması

Kalitelerine Göre Şaraplar	
Kaliteli Şaraplar	Üstün özelliklere sahip, sadece belirli bölgelerde yetişen şaraplık üzüm çeşitlerinden üretilen genç şarapların yıllandırılması ile elde edilen şaraplar
Sofralık Şaraplar	Alkol derecesi nispeten düşük yıllandırmaya uygun olmayan şaraplar

Tablo 2. Renklerine göre sınıflandırılması

Renklerine Göre Şaraplar	
Kırmızı Şaraplar	Cibre fermantasyonu ile siyah renkli üzümün kabuk altındaki renk maddelerinin sıraya geçirilmesi ile üretilen şaraplar
Pembe Şaraplar	Cibre fermantasyonu ile siyah üzümün pembe şarap üretimine uygun olan çeşitlerden üretilen şaraplar
Beyaz Şaraplar	Beyaz şaraplık üzümlerden üretilen şaraplar

Tablo 3. Köpüklü şarapların sınıflandırılması

Köpüklü Şarapların Sınıflandırılması	
Doğal Köpüren Şaraplar	3.5 atmosfer basıncında karbondioksit (CO ₂) gazı içeren şaraplar
Yapay Köpüren Şaraplar	Karbondioksit gazıyla emprengelenen köpüklü şaraplar

Tablo 4. Yıllanmalarına göre sınıflandırılması

Yıllanmalarına Göre Şaraplar	
Premium Şaraplar	Genç şarap olarak bilinmektedir ve en fazla 6 ay içerisinde tüketilmesi gereken şaraplar
Yıllandırılmayacak Şaraplar	En fazla 2 yılda tüketilmesi gereken şaraplar
Yıllandırılabilen Şaraplar	Bu şarapların içeriği zengin olduğundan tüketiminin uzun yıllar sonra yapılması gereken şaraplar

Tablo 5. Şeker miktarına göre sınıflandırılması

Şeker Miktarlarına Göre Şaraplar	
Sek Şaraplar	Fermantasyonu tamamlamış, içinde 4 gL ⁻¹ veya daha az şeker bulunur
Yarı Tatlı Şaraplar	İçerisinde 20gL ⁻¹ şeker
Dömişek	5-20 gL ⁻¹ şeker
Dömidü	20-50 gL ⁻¹ şeker bulunur
Tatlı Şaraplar	İçildiklerinde tatlılıkları direkt anlaşılan şaraplardır 50 gL ⁻¹ şeker
Tabii tatlı şaraplar	Alkol içeriği %13-20, şeker içeriği ise 20 gL ⁻¹ 'nin üzerinde
Likör	Meyve sırası üzerine alkol ilavesi ile alkol miktarının hacmen %15-17'ye çıkarılması ile elde edilen şaraplardır
Mistel	

Tablo 6. Meyve çeşidine göre sınıflandırılması

Meyve Şarapları Çeşitleri	
Elma, Armut Şarabi Ekstraktı	En az %5,5 hacim alkol içeren şaraplar
Elma, Armut Şarabi	En az %5,0 hacim alkol içeren şaraplar
Elma Armut Şaraplarının Karışımı	En az %5,0 hacim alkol içeren şaraplar
Üzümsü meyve (Kiraz ve benzeri meyve şarapları)	En az %8,0 hacim alkol içeren şaraplar
Meyve likör (çerez) şarapları (Elma ve armut şarapları Üzümsü meyve)	En az %13 hacim alkol içeren şaraplar

Tablo 7. Aromalarına göre sınıflandırılması

Aromalarına Göre Şaraplar	
Normal Şaraplar	Koku yoğunluğu normal olan şaraplar
Aromatik Şaraplar	Koku yoğunluğu fazla olan şaraplar
Aromatize Şaraplar	İçlerine aroma maddeleri ile aromalandırılan şaraplar

5.9. Şarapların Muhafaza Koşulları

1. Şarapların muhafazasında uygun olmayan koşullar kısa sürede tüketilecek şaraplar için sorun oluşturmasa da yıllandırma yapılacak şaraplar için kayıplara neden olmaktadır.
2. Şarapların düşük sıcaklıkta, gün ışığından uzak, sessiz ve sakin ortamda muhafaza edilmeli.
3. Muhafaza için ideal sıcaklık 13°C olmakla birlikte, kırmızı şaraplarda 12-16°C' de, beyaz şaraplar 8-12°C' dir.
4. Ortamın yeterince rutubetli, (nem %90 olmalı ve %70'in altına düşmemeli) olmalı.
5. Mahzenleri karanlık olması ve şarabın ışık görmemesi sağlanmalı, aydınlatmada ultraviyole lambalar kullanılmalıdır.
6. Şişeli şaraplar daima yatık ve mantar şişede daima ıslak kalmalıdır.

6. Sonuç

Bu derleme çalışmasında şarap hakkında genel bilgiler derlenmiş olup ham maddesi olan üzümün iyi şekilde olgunlaşması süresince gerçekleşen fiziksel ve biyokimyasal olaylar hakkında bilgiler verilmiştir. Yetiştiriciliğin ve çevresel ko-

şulların da (üzüm varyetesi, toprak yapısı, toprak sıcaklığı ve iklim koşulları) kaliteli şarap kavramının ön koşulu olduğu bu doğrultuda söylenebilir. Türkiye’de ya da Dünya’da bağcılık bölgelerine göre seçilen üzüm çeşitleri şarap üretiminde de farklılıklar yaratmıştır. Bu durum üzümlerin çeşitliliğini de arttırmış olup elde edilen şaraplarda aroma zenginliğine bağlı kaliteli şarap kavramını desteklemiştir. Ülkemizde şarap üretiminin yeterli düzeyde olmadığı yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Neden olarak üzümün kuru üzüm şeklinde 1.sırada tüketime sunulmasıdır. Bu araştırma çalışması da göstermiştir ki Türk şarap endüstrisinde bilinen Dünya şarapları ile rekabeti için kaliteye önem verilmeli, şarap teknolojisinde günceli takip etmeli, tüketici talepleri doğrultusunda ilerlemeli, hem de sağlık ile olan ilişkisi göz önünde tutulmalıdır. Aynı zamanda şarapçılığın Avrupa’da olduğu gibi coğrafi bölgelere göre şarap sınıflandırılmasının yapılması ve ‘Kökene Kontrollü İsimlendirme’ sistemi uygulanması şarapta kalitenin gelişimi için gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Çelik, H., Marasalı, B., Söylemezoğlu, G., Tangolar, S. ve Gündüz M., Bağcılıkta Üretim Hedefleri. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Türkiye Ziraat Mühendisliği Teknik Kongresi. 17-21 Ocak, S 645-678, Ankara, 2000.
- [2] Çelik, H., Genel Bağcılık, Sun Fidan A.Ş. Mesleki Kitaplar Serisi:1 Ankara, 2-4,1998.
- [3] Koçkar, M., Şarabın Gizli Renkleri Ada Yayın Yayınları No. 9994348000,192 S İstanbul, 2006.
- [4] Güven, S., Şarap Üretimi ve Kalite Kontrolü. Çanakkale: Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayınları: 003, Çanakkale, 2008.
- [5] Karaoğlu, D. K. Uluslararası Bağ ve Şarap Örgütü (OİV) ve AB Üyeliği Bağlamında Türk Şarap Sektörü: Potansiyel Fırsatlar ve Tehditler, Uluslararası Ekonomik Sorunlar Derneği, Sayı: 24,2007
- [6] OIV (2019). Statistical Report on World Vitiviniculture, s.3-19 <http://www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-worldvitiviniculture.pdf>, Erişim tarihi: 08.03.2021.
- [7] Akar Y., “TR32 Düzey 2 Bölgesinde (Aydın, Denizli, Muğla) Bağcılık Ve Şarap İmalatı”, T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı, 26.01.2014.
- [8] Ekşi, A., Gıdalarda Kimyasal Bileşim Değişimleri ve Kontrolü. Birinci Uluslar Arası Gıda Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayını, S 89-96, Bursa, 1989.
- [9] Boulton, R.B., Singleton, V.L., Bisson, L.F., Kunkee, R.E., Principles And Practises Of Wine Making, Chaman Hall, New York, S 604, 1996.
- [10] Bağış L., Ün B., Yavuz M., Şarabın Abc'si, Kavaklıdere Yayınları, Ankara, 2006.
- [11] Denli, Y., Üzüm Şırası, Şarap ve Sirkede Organik Asitlerin Tayinleri için HPLC Metotları. Gıda 24 (1):21-25, 1999.
- [12] Buhurcu, H., Bazı Şaraplık Üzüm Çeşitlerinde Farklı Gelişme Dönemlerinde Tanelerdeki Organik Asit Dağılımı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [13] Yılmaztekin, M., Cabaroğlu, T., Üzümün Gıda Sanayinde Değerlendirilme Şekilleri, Buldan Sempozyumu , Denizli, Turkey, .1005-1012, 2006.
- [14] van de Wiel, A., van Golde, P.H.M. ve Hart, H.Ch., Blessing of the Grape. European Journal of Internal Medicine, 12, 484-489, 2001.
- [15] Deryaoğlu, A.; Canbaş, A., Elazığ Yöresi Öküzgözü Üzümlerinde Olgunlaşma Sırasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişmeler. Dergi-

- Park, 28, Sayı 2, 2003.
- [16] Harbertson, J.F., Kennedy, J.A., Adams, D.O., Tannin In Skins And Seeds of Cabernet Sauvignon, Syrah, And Pinot Noir Berries During Ripening. *Am. J. Enol And Vitic.*, 53(1): 54-59, 2002.
- [17] Luan, F., Wüst, M., Differential Incorporation Of 1-Deoxy-Dxylulose Into (3S)-Linalool And Geraniol In Grape Berry Exocarp And Mesocarp. *Phytochemistry*; 60:451–459, 2002.
- [18] Cabaroğlu, T., Üzümlerde Aroma Maddeleri Ve Şarapçılık Açısından Önemi. *Gıda*, 28(6):599-605, 2003.
- [19] Fontes, N., Gerós, H., Delrot, S., Grape Berry Vacuole: A Complex And Heterogeneous Membrane System Specialized In The Accumulation Of Solutes. *Am. J. Enol. Vitic.* 62(3): 270- 278, 2011.
- [20] Possner, D.R.E., Kliewer, W.M., The Localization Of Acids, Sugars, Potassium And Calcium In Developing Grape Berries. *Vitis* 24: 229-240, 1985.
- [21] Rogiers, S.Y., Greer, D.H., Hatfield, J.M., Orchard, B.A., Keller, M., Mineral Sinks within Ripening Grape Berries (*Vitis vinifera L.*). *Vitis* 45(3): 115-123, 2006.
- [22] Canbaş, A., Şarap Teknolojisi Ders Notları, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana, 2007.
- [23] Orlic, S., Redzepovic, S., Jeromel, A., Herjavec, S., Iacumin, L., Influence Of Indigenous *Saccharomyces Paradoxus* Strains On Chardonnay Wine Fermentation Aroma. *Int. Journal of Food Science And Technology*, 42: 95–101, 2007.
- [24] Anonim. Fermentasyon mayalanama glikozun dönüşümü nedir. URL: <http://cengizdamar.blogcu.com/fermentasyon-mayalanma-glikozun-donusumunedir/9475650>, Erişim Tarihi: 22.02.2021.
- [25] Zöhre, D.E., Şarapçılıkta Etil Alkol Fermantasyonu Üzerine *Saccharomyces Spp.* Dışındaki Mayaların Etkisi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, S 46, 2002.
- [26] Canbaş, A., Cabaroğlu, T., Nevşehir-Ürgüp Yöresi Şaraplık Beyaz Emir Üzümü Üzerinde Teknolojik Bir Araştırma. *Gıda*, 17(2):109-116, 1992.
- [27] Nurgel C., Erten H., Canbas A., Cabaroglu T., Selli S., Contribution By *Saccharomyces Cerevisiae* Yeasts To Fermentation and Flavour Compound in Wines From Cv. Kalecik Karası Grape. *Journal of The Institute of Brewing*, 108 (1) : 68–72, 2002b.
- [28] Zuzuarregui, A. And Del Olmo, M.L. Expression Of Stress Response Genes in Wine Strains with Different Fermentative Behavior. *FEMS Yeast*

Research, 4(7): 699- 710, 2004.

- [29] Ribereau-Gayon P, Glories Y, Maujean A Ve Duourdieau D, Phenolic Compounds. In: Handbook of Enology. The Chemistry of Wine and Stabilization and Treatments (2nd Ed., Vol. 2). John Wiley and Sons Ltd., 141-199 P, England, 2006a.
- [30] Gönen F., Atık Sulardaki Tekstil Boyar Maddeleri ve Metal İyonlarının Tekli ve İkili Karışımlarının Serbest ve Tutuklanmış Mikroorganizma Sistemleri ile Biyogideriminin Kesikli ve Sürekli Sistemlerde İncelenmesi. Doktora Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2006.
- [31] Sabir, A., Ünver, A., Kara, Z., 21 Üzüm Çeşidinden (Vitis Spp.) Ekstrakte Edilen Tohum Yağının Yağ Asidi ve Tokoferol Bileşenleri, 92(9): 1982-1987., <https://doi.org/10.1002/Jsfa.5571>., Erişimtarihi 22.02.2021.
- [32] Pamir, MH., Fermentasyon Mikrobiyolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 936-328, Ankara, 1985.

– Bölüm-2 –

**TOPRAK KİRLİLİĞİNE GENEL BAKIŞ ve
AFETLER SONRASI TOPRAK KİRLİLİĞİ**

Kimya Yük. Müh. Halil DERTLİ¹

Doç. Dr. Didem SALOĞLU²

1 İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Maslak-İstanbul

2 İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Enstitüsü, Afet ve Acil Durum Yönetimi ABD, Maslak-İstanbul
e-mail:saloglu@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

200 yıldan fazla süredir devam etmekte olan endüstrileşme sürecinde toprağın kirlenmesi ve kullanılamaması tüm dünya genelinde başlıca çevre problemlerinden birini oluşturmaktadır. Bununla birlikte toprak kirliliği kavramı toplumda henüz yaygınlık kazanmamış durumda olup genellikle hava ve su kirliliği kadar kabul görmemekte veya anlaşılammaktadır. Günümüzde bilim insanları, havada ve suda oluşan kirlilik kadar toprak kirliliğinin de insan sağlığı için ciddi etkilerinin olduğunu ortaya koymaktadır.

Toprak kirliliğinin etkilediği alanlar ve kirliliğin insan sağlığı ve nüfus üzerinde sağlık etkileri konularında örnek çalışmalar ağırlıklı olarak gelişmiş ülkelerdeki akademisyenler tarafından yapılmaktadır. Yine bu ülkeler toprak kirliliğinin tespit edilmesi, temizlenmesi ve en önemlisi kirlilik oluşmadan önlenmesi için de gerekli yasal ve teknik düzenlemelerin hazırlanması konusunda da öncülük etmektedir.

Ülkemizde toprak kirliliği konusunda ilk temel yasal düzenlemeyi 2001 yılında başlamış olup Avrupa Birliği uyum çalışmaları kapsamında 2010 yılında yürürlüğe giren “Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik” ile uluslararası yaklaşım benimsenmiştir. İlgili mevzuat kapsamında “Şüpheli Saha”, “Kirlenmiş Saha” veya “Takip Gerektiren Saha” gibi temel kavramlar tanımlanmış ve uygulamada kirliliğin ele alınma esasları ana hatları ile ortaya konmuştur.

Bu çalışmada toprak kirliliğinin temel kavramları, kirleticiler, ilgili yönetmeliğin uygulama esasları ile afetler sonrasındaki toprak kirliliği gibi konular üzerinde durulmuştur.

2. TOPRAK KİRLİLİĞİ KAVRAMI

Kirleticiler geri dönüşsüz ya da geri dönüşlü biçimde zarar verme potansiyeli olan maddeler olarak tanımlanmaktadır. Toprak kirliliği kavramı kirleticiler tanımına giren maddelerin toprakta bulunma oranlarının belirli bir seviyenin üzerinde olan, toprağın bir ya da daha fazla fonksiyonunun kaybına ya da o fonksiyonların yetersiz şekilde çalışmasına neden olan durumlar şeklinde tanımlanabilir.

Kirlenmiş olarak tanımlanan toprağın bir ya da daha fazla kirleticiyi tolere etme kapasitesinin aşılması ile, yeraltı ve yerüstü suyu, atmosfer, toprak içinde yaşayan canlılar, organizmalar veya yetişen bitkiler için toksik etkisi oluşmaktadır. Ayrıca tolere etme kapasitesi aşılana kirleticinin etkisi ile toprağın veriminin düşmesi de yine toprak kirliliği olarak değerlendirilmektedir.

Toprak kirliliğinin etkileri kirleticiler miktarı kadar toprağın özelliğine göre değişmektedir. Toprağın özelliği, kirleticinin hareketliliğini, toprakta ne kadar

kalacağını veya hangi katmanlar arasından geçiş yapacağını belirleyen ana kriterdir (Karaca ve Turgay 2012).

2.1. Toprak Kirliliği Kirletici Kaynakları ve Kirlenme Sebepleri

Toprak kirlenmesine yol açan prosesler doğal ve insan kaynaklı olarak iki ana kategoride incelenebilir. Toprak kirliliği doğal nedenlerin yanısıra insan kaynaklı da olmaktadır. İnsan kaynaklı olarak meydana gelen kirlilik evsel, tarımsal ve endüstriyel nitelikli olarak üç kategoriye ayrılmaktadır.

Evsel nitelikli kirlenme kaynakları piller, kullanılmış yağlar ve/veya boya vb. katı veya sıvı maddelerden oluşmaktadır. Özellikle evsel atıkların toplandığı çöplüklerde yağmur suları ile sızan veya taşınan kirli sular, yeraltı ve yüzey sularının kalitesini etkilemektedir. Nüfus artışı ve altyapıda yetersiz kalan yaşam alanlarında sıvı atıklar foseptik çukurlarına desarj edilebilmektedir (Bobrek 2019).



Şekil 1: Sıvı atıkların sebep olduğu toprak kirliliği (Anonim)

Tarımsal nitelikli kirlilik toprağın işlenmesi, sulama ve bilinçsiz gübre kullanımını gibi farklı şekillerde olabilmektedir. Artan nüfus oranları ile birlikte yüksek verim ve kalite sağlanması amacıyla yanlış sulama uygulamalarının yapılması toprak suyunun yükselmesine, tuz, gübre ve pestisit kalıntılarının sulama suyu ile derine inmesine neden olmaktadır. Zararlı organizmaları engellemek, kontrol altına almak ya da zararlarını azaltmak için kullanılan madde ya da maddelerden oluşan karışımlar olan pestisitler, kullanıldıktan sonra toprağa karışmakta ve toprağı kirlenmektedir. Pestisitler toprağa karıştıktan sonra belirli bir süre içerisinde karbondioksit, metan, su vb. zehirli ve zehirsiz alt bileşenlere ayrışmaktadır. Ayrıca, topraktaki toksik maddeleri arttırmak, topraktaki canlıları yok etmek, kimyasal içeriği bozmak vb. durumlar yaratarak toprak için olumsuz etkiler oluş-

turmaktadır. Özellikle azot ve fosfor ağırlıklı gübreleme ile yeraltı sularına karışan veya bitkilerde birikebilen nitratin yanında kadmiyum gibi ağır metallerin toprakta birikmesine neden olabilmektedirler (Akyıldız ve Karatas 2018).

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirlilik, endüstride kullanılan tehlikeli ve çevreye zararlı olan maddelerin işleme ve kullanım yerleri; yeraltı veya yerüstü depolama üniteleri; dolum ve boşaltma faaliyetleri, ürün hatlarında veya farklı şekillerde taşınması sırasında meydana gelen sızıntılar veya ani desarj edilmesi gibi faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Endüstriyel kirlilik çoğunlukla operasyondaki dökülmeler veya yaşanan kazalar nedeniyle meydana gelmektedir.



Şekil 2: Endüstriyel atıkların sebep olduğu toprak kirliliği (Anonim)

2.2. Toprak Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri ve Etkileme Yolları

İnsan sağlığının toprak kirliliği kaynaklı olarak etkilenmesi yutma, soluma ve doğrudan deri teması ile gerçekleşmektedir. Yutma ile etkilenme yetişkinlere göre özellikle çocuklarda daha yüksek risk olarak görülmektedir. Bünyesinde kirlili toprak barındıran sebzelerin yıkanmadan yenmesi ile toprakta absorbe durumda bulunan çeşitli tehlikeli maddeler sindirim sistemi yolu ile insan bünyesine girmekte ve özellikle karaciğerde toksik birikmeye neden olabilmektedir.

Soluma yolu ile etkilenme tarımsal faaliyet sırasında salınan ve havada asılı kalan partiküllerin çalışanlar tarafından solunması ile oluşmaktadır. Yutmaya göre solunum yolu ile etkilenmenin daha az belirgin ama daha uzun bir sürede etkisinin olduğu değerlendirilmektedir.

Deri teması ile etkilenme daha çok uçucu bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Toprak içinde bulunan ağır metaller veya arsenik, civa vb. toksik maddeler deri rahatsızlıklarına neden olabilmektedir.

Toprakta bulunan kirleticiler, yeraltı suyuna karışma ve bu suyun içilmesi ile

dolaylı yoldan da insan sağlığını etkilemektedir. Bu maddelerin vücutta aşırı birikmesi ciddi sağlık problemlerini yaratmaktadır (Bolat ve Kara, 2017).

2.2.1. İnsan Sağlığını Etkileyen Toksik Maddeler

Dünya Sağlık Örgütü tarafından toprak kirliliğine neden olan maddeler şu şekilde tanımlanmaktadır.

Ağır Metaller

Ağır metaller, metalik maddeler için yaygın olarak kullanılan bir terimdir. Bu terim içinde görülen maddeler doğada değişken şekillerde ve miktarlarda bulunabilmektedir.

Arsenik: Dünya kabuğunun her tarafından farklı bileşik yapılar da bulunan arsenik, ilaç, cam, boya vb. endüstrilerde kullanılmaktadır. Arsenik sağlığa kısa ve uzun vadeli ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu nedenle arseniğe maruz kalmayı azaltma en önemli önlemi oluşturmaktadır. Uzun süreli maruz kalınması durumunda insan üzerinde ilk semptomlar genellikle cilt, ellerde ve ayak tabanlarında lezyonlar ve lekeler olarak görülmektedir. Maruziyetin devam etmesi durumunda diyabet, böbrek hasarı, karaciğer büyümesi, tansiyon kardiyovasküler hastalıklar vb. ciddi sağlık problemleri yaşanmaktadır.

Kadmiyum: Bitkiler ve hayvanların ihtiyaç duymadığı bir toksik madde olan kadmiyum maddesi ile uzun süreli maruziyet halinde en ciddi olarak iskelet sisteminde rahatsızlıklara neden olmaktadır. 1940'lı yıllarda Japonya'da ilk tanınması yapılan İtai İtai sendromu pirinç tarlasında çalışan kişiler üzerinde yoğun olarak görülmüştü.

Kurşun: Petrolün rafine edilmesi ile kurşunu içinde barındıran akaryakıt ürünlerinin (özellikle benzin) tüketim sonrası çıkan egzoz gazları ile ciddi kirliliğe neden olduğu yapılan bilimsel araştırmalar ile belirlenmiştir. Günümüzde ülkemiz de dahil olmak üzere benzin ürünü, kurşun ihtiva etmeyecek şekilde tüketicilerin kullanımına sunulmaktadır.

Civa: İnsan sağlığı üzerinden çok ciddi etkisi bulunan civa maddesi ağırlıklı olarak çimento, madencilik (özellikle altın madenciliği), kömür ve petrol rafineri endüstrilerinde kullanılmakta veya açığa çıkmaktadır. Civa ile kirlenmiş sahalarda her ne kadar sınırlandırılmaya çalışılsa da civa kirliliğin ana kaynağından çok daha uzak mesafelere yayılabilmektedir. Avrupa Birliği içerisinde 2011 yılından beri civanın ithalatı yasaklanmış durumdadır. Ayrıca her türlü madencilik faaliyetinde civanın her türlü formunun kullanımı da 2001 yılından beri durdurulmuştur (Kırpık vd. 2017).

Asbest

Asbet kaynaklı toprak kirliliği, havada rüzgar veya insan etkisi ile dağılılabilmesi nedeniyle dikkate alınması gereken unsurlardan biridir. Akciğer kanseri, asbestin neden olduğu başlıca sağlık sorunudur. Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı tarafından yayınlanan çalışmalar toprak içinde %1 seviyesinin altında bile asbest konsantrasyonunun bulunması insan için solunum kaynaklı sağlık riski yaratabileceğini göstermiştir (Kırpık vd. 2017).

Pestisitler ve Organik Kirleticiler

Pestisitler dahil organik kirleticiler havaya veya suya salınmasına karşın sonunda toprakta biriken ve kirliliğe neden olan maddeler olarak değerlendirilmektedir. Bu maddelerin de maruziyet miktarı ve süresine bağlı olarak insan sağlığı üzerinde problemler doğurduğu bilinmektedir.

2.3. Türkiye’de Toprak Kirliliğinin Tarihçesi

Türkiye çok çeşitli jeolojik yapı, iklim, bitkisel örtü ve topoğrafya nedeniyle çok farklı toprak gruplarına sahip ender ülkelerden biridir. Ülkemiz nüfusunun az olduğu cumhuriyetin ilk yıllarında kurala uygun olarak I-IV’üncü sınıf araziler işlenmekteydi. Özellikle II. Dünya savaşıdan sonra artan mekanizasyona bağlı olarak mera ve ormanlardan açılan araziler işlenmeye başlamıştır. 1934 yılında 11.677.000 hektar olan tarım arazisi bugün kat kat fazladır. Bu durum bir taraftan erozyonu artırırken diğer taraftan meraların azalmasına ve buna bağlı olarak hayvancılığı olumsuz yönde etkilemiştir. Ülkemiz toprakları toprak kirliliği açısından değerlendirildiğinde 1970li yıllardan itibaren başlayan sanayileşme ve sanayileşmeye bağlı hızlı nüfus artışı ve kentleşme verimli tarım arazilerinin hızla yok olmasına neden olmuş ve son 25 yılda binlerce hektar verimli tarım toprağının geri kazanılamayacak biçimde kullanım biçimini değiştirmiştir. Son yıllarda gizli erozyon olarak adlandırabileceğimiz en az rüzgar ve su erozyonu kadar tehlikeli olan ve gerektiği kadar önemsenmeyen bu olgu hızla sanayileşen ülkemizde bütün verimli toprakları tehdit eder duruma gelmiştir. Türkiye’de sanayinin belli bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir.

1. Bölge: İstanbul, Kocaeli, Bursa, Sakarya
2. Bölge: İzmir, Balıkesir, Aydın, Manisa, Muğla, Antalya
3. Bölge: Ankara, Eskişehir, Konya
4. Bölge: Adana, Mersin, Hatay, Gaziantep

Bu bölgelerde hızlı bir şekilde sanayi kaynaklı toprak kirliliği görülmektedir. Ekonomik gerekçeler ve insanların yüksek gelir elde etme isteği sonucu tarım arazileri amaçları dışında kullanılarak elden çıkmıştır. Öte yandan kurulan bu te-

sisler yakın çevre arazileri için önemli kirletici kaynakları oluşturmaktadır. Gerek tarla ziraatı gerekse son yıllarda artan örtü altı yetiştiriciliğinde ürün miktarı ve kalitesini artırmak için kullanılan gübre, pestisit, hormon vb kirleticiler önem taşımaktadır. Kirlenmiş suların tarımsal sulamada kullanılması sonucu kirleticiler (mikrobiyolojik, ağır, metaller vb.) toprak bünyesine geçmektedir.

2.4. Türkiye’deki Toprak Kirliliği Mevzuatı ve Yükümlülükleri

Ülkemizde toprak ve yeraltı suyunun kirlilik giderimi ile ilgili çalışmalar, gerek su kirliliği ve su kalitesine yönelik hazırlanmış mevzuatlarla gerekse ilk olarak 2001 yılında yürürlüğe konan «Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği» ile başlamıştır. İlgili yönetmelik daha sonra duyulan ihtiyaç doğrultusunda 2005 yılında revize edilmiştir. 2005 yılında yapılan revizyon içerisinde toprak kirliliğinin belirlenmesi ve giderilmesi şartlarından ziyade kompost maddelerin toprakta kullanılmasına yönelik tanımlamalar bulunmaktadır.

2010 yılında yayımlanan ancak 2015’e kadar uygulanması ertelenen “Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik” ile birlikte kirlenmiş veya kirlenme riski bulunan sahaların tespiti, değerlendirilmesi, temizlenmesi ve izlenmesi için gerekli uygulama esasları belirlenmiştir. Bu yönetmelik ile sektörlere göre kirletici parametreler, jenerik risk sınır değerleri belirlenmiş ve sektörel olarak toprak kirliliği yaratabilecek faaliyetler tanımlanmıştır. 2015 yılında yönetmeliğin yürürlüğe girmesi ile birlikte sektörel olarak toprak kirliliği risklerini belirlemek ve sistematik olarak gerekli verilerin toplamak için faaliyet sahiplerinin Çevre Bakanlığı elektronik sistemi üzerinden “Faaliyet Ön Bilgi Formu” adıyla tanımlanan bilgi formu vasıtasıyla bildirim yapması sağlanmıştır. Faaliyet ön bilgi formu, ana faaliyet, depolanan kimyasal, depolama ünitelerinin yaşları, ürün taşıma yöntemleri vb. risk değerlendirilmesi için gerekli bilgileri içermektedir.

2.5. Toprak Kirliliği Mevzuatı Önemli Kavramları

Şüpheli Saha: Faaliyet ön bilgi formu ile bildirim yapılan veriler doğrultusunda yönetmelikte belirlenen kriterleri içeren sahalar toprak kirliliğinin olabileceği noktalar olarak değerlendirilmektedir.

Saha Örnekleme Analiz Planı (SÖAP): Şüpheli saha olarak değerlendirilen alanlarda toprak kirliliğinin ölçülmesi için örnekleme alınacak noktaların belirlenmesi ve yürütülecek analizlerin kapsamını tanımlayan planlama dokümanıdır. Örnekleme planı hazırlanması Çevre Bakanlığı tarafından yetkilendirilen kuruluşlar tarafından yapılabilmektedir. Hazırlanan plan asgari olarak aşağıdaki bilgileri içermelidir.

Saha ile İlgili Genel Bilgi: Sahanın tarihçesi, saha ve çevresinin haritası, kirlenici ve potansiyel alıcılar, sahada gerçekleştirilen faaliyet ve işletme bilgileri (depolama üniteleri, ürün boru hattı vb.)

Kavramsal Saha Modeli (KSM): Risk değerlendirmesi çalışmalarının sistematik, dinamik ve amaca uygun bir şekilde yürütülmesini mümkün kılacak, sadece saha karakterizasyonunun gerçekleştirilmesine değil, risk değerlendirmesi ve temizleme çalışmalarının da planlanması ve sağlıklı bir şekilde yürütülmesine yardımcı olacak teknik bir araçtır. KSM en basit haliyle, sahadaki mevcut arazi kullanım amaçlarının, kirlilik kaynağının, taşınım yollarının ve alıcıların kolayca algılanmasını sağlamak amacıyla saha ve civarındaki durum tanımlanmakta ve şemalar ve açıklayıcı çizelge ve formlar ile gösterilmektedir.

Saha Örnekleme Çalışması: Potansiyel toprak kirliliğinin belirlenmesi için sahada numune alınacak noktalar, toprak ve yeraltı suyundaki numune alma yöntemleri bu bölümde tanımlanmaktadır.

Takip Gerektiren / Takip Gerektirmeyen Saha: Saha örnekleme çalışması sonrası yapılan analizler sonucu kirlilik bulgusu görülen sahalarda “Takip Gerektiren Saha” olarak tanımlanmaktadır. Bu sahalarda izlenecek yol analizler doğrultusunda hazırlanacak güncellenmiş kavramsal saha modeli üzerinden il çevre komisyonu değerlendirmesi ile belirlenmektedir. Kirlilik görülmeyen sahalarda da “Takip Gerektirmeyen Saha” olarak belirlenmekte ve bu sahalarda ilave bir analize ihtiyaç duyulmamaktadır.

1.6. Yönetmelik Kapsamında Toprak Kirliliği Süreci

Yönetmelik incelendiğinde sürecin 3 aşamalı olarak planlandığı görülmektedir. Bu aşamalar özetle şu şekildedir.

Süreç Adimi-1: Birinci Aşama Değerlendirme: Faaliyet sahibinin “Kirlenmiş Sahalar Bilgi Sistemi” üzerinden gerekli verileri paylaşması sonrası İl Çevre Müdürlükleri tarafından bilgiler incelenmekte; yönetmelikte belirtilen kriterlerden en az birini mevcut ise saha “Şüpheli Saha” listesine alınmaktadır. İlgili saha şüpheli saha listesine alındıktan sonra İl Çevre Müdürlüğü yerinde denetim yaparak bildirim yapılan bilgiler ve gerçek sahanın durumu karşılaştırılmaktadır. Denetim sonrası yapılan sayısal bir değerlendirme yapılarak saha “Takip Gerektirmeyen”, “Takip Gerektiren” veya “Kirlenmiş Saha” olarak kategori edilmektedir.

Süreç Adimi-2: İkinci Aşama Değerlendirme: Takip gerektiren saha olarak tanımlanan yerler için bakanlık tarafından yetkilendirilmiş firmalar tarafından Saha Örnekleme Analiz Planı hazırlanmaktadır. Bu plan doğrultusunda sahada belirlenen noktalarda sondaj çalışmaları, toprak, yeraltı suyu ve gaz örnekleri alınması gerçekleştirilir. Alınan numuneler doğrultusunda sahaya özgü risk ana-

lizleri hazırlanır ve tüm sonuçlar il çevre komisyonuna sunulur. Komisyon tarafından sahadaki veriler incelenerek “Takip Gerektirmeyen Saha” veya “Kirlenmiş Saha” kararı verilir. Kirlenmiş sahalar için temizleme süreci başlatılması faaliyet sahibinden istenir.

Süreç Adımı-3: Temizleme: Kirlenmiş Saha olarak tanımlanan alanlarda temizliğin hangi yöntem ve sürelerde yapılacağı, amaçlanan veri seviyelerini içeren Temizleme Planı yetkilendirilmiş kuruluşlar tarafından hazırlanarak il çevre komisyonuna sunulmaktadır. Onaylanan plan doğrultusunda temizleme faaliyeti, sahadaki kirlenici konsantrasyonu, yönetmelikte belirlenen jenerik sınır değerlerin altına ininceye kadar, temizleme faaliyetine devam edilir. Periyodik ölçüm sonuçları, faaliyet sahibi tarafından değerlendirilir ve eğer hedeflenen değerlere ulaşılmışsa, faaliyet sahibi komisyona temizleme işlemini sonlandırmayı sunar. Komisyonun onayı sonrasında, Saha, kirlenmiş saha listesinden çıkarılır, ancak potansiyel saha olarak kayıt altında tutulur.

2.7. Afetlerden Sonra Kirlilik ve Çevresel Sorunlar

Bilindiği gibi, doğal ve yapay kaynaklı afetlerden sonra maddi ve manevi kayıplar ile ciddi çevre sorunları yaşanmaktadır. Afetler temel olarak 3 ana grupta incelenmektedir.

Birinci grup afetler: Deprem, heyelan, volkanik patlamalar, fırtına, sel gibi doğa olayları bu grupta yer almaktadır. Bu afetlerden sonra meydana gelen çevresel sorunlar son derece önemlidir. Bilindiği gibi adı geçen doğa olayları en sık karşılaşılan afetler sınıfındadır ve bu tip afetlerin etki alanı afetin şiddetine göre çok büyük ya da küçük olabilmektedir.



Şekil 3: Depremlerin sebep olduğu toprak kirliliği (Anonim)

İkinci grup afetler: Santral patlamaları, kimyasal yangınlar, nükleer sızıntılar, petrol ve benzeri kimyasal olayların yarattığı afetlerdir. Bu afetler mevcut durumlarında yarattıkları tahribatın yanı sıra, toprak ve su kirliliğine sebep olarak besin, su ve tür döngüsünün bozulmasına da neden olmaktadır.



Şekil 4: Kimyasal patlamaların sebep olduğu toprak kirliliği (Anonim)

Üçüncü grup afetler: İç savaşlar, terörist girişimler, atık bertarafı sistemindeki aksaklıklar, arıtma tesislerindeki problemler, sanayilerde katı-sıvı-gaz arıtma yapılmadan atıkların doğaya terk edilmesi ile ortaya çıkan gaz ve katı kimyasal atıklardan kaynaklı afetlerdir (Ozel 2020).

Deprem, volkanik patlamalar, tsunami, hortum, fırtına, sel, iklim değişikliği gibi çeşitli doğa olayları ile ortaya çıkan birincil afetlerin yarattığı kirlilikler çevreyi ve toprak kirliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu doğa olayları sonucunda meydana gelen kirlilik, kentsel ortamlarda veya yol, köprü, baraj vb. çeşitli yapay atıklar oluşarak, toprak, hava, su, koku, görüntü ve gürültü kirliliklerine sebep olmaktadır.

Benzer şekilde maden ocakları, kömür, doğalgaz, petrol, jeotermal enerji çıkarma, üretim ve işleme alanlarında ortaya çıkan organik-inorganik katı, sıvı ve gaz kirleticilerin çevreye yayılması ile meydana gelen kirliliklerin arasında bulunan toprak kirliliği de son yıllarda **önem arz etmektedir**. Yakıtların çıkarıldığı sahalarda, çıkarılan madenin atıkları, ağır metaller, radyoaktif elementler, hidrokarbonlar ve sıcak sulardan kaynaklanan kirleticilerden kaynaklanmaktadır. Bu kirleticiler temel olarak katı, sıvı ve gaz atıklar ve/veya radyoaktif atıklardır ve bu alanlarda oluşan heyelan, patlama, atmosferik olay, yangın gibi olaylar ile bu atıkların muhafaza edildiği ortamlardan veya depolardan sızması ile toprak üstünde ve altında kirlilik oluşturmaktadırlar.

Boru hatları, sanayi ve konut alanı vb. gibi her türlü alanda meydana gelen büyük yangınlar, kimyasal/nükleer ve diğer kaynaklı patlamalar ve bu patlamalardan sıvı ve gaz sızıntılarıyla ortaya çıkan kirlilikler son yıllarda yüksek oranda görülen kirlilik tipidir. Bu afetlere, zamanında yeterli ve başarılı bir müdahale olmaması durumunda toprak kirliliği başta olmak üzere, hava, su, gürültü ve koku kirlilikleri de meydana gelmektedir.

Toplumsal kargaşa dönemlerinde veya yanlış tarım ve sulama politikaları ile ortaya çıkan kirlilikler de toprağın kirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu olaylar esnasında, doğru atık yönetim sistemlerinin olmaması toprak kirliliklerine kolaylıkla sebep olmaktadır. Ayrıca, tarımsal çalışmalarda aşırı pestisit kullanılması, verimli alanlara ve içilebilir temiz su kaynaklarına kirli su girişi ve hava kirliliğinin sebep olduğu pekçok durum doğrudan toprak kirliliğini etkilemektedir.

3. AFETLERİN YARATTIĞI ETKİLER ve TOPRAK KİRLİLİĞİ

Afetler farklı güç ve genişlikte meydana gelirler ve oluş şekilleri ve şiddetlerine göre de alt yapıyı bozma özelliğine sahiptirler. Bilindiği gibi afetler ölüm ve sakatlık gibi sonuçlar doğurur, eğitim-öğretimi aksatır, emniyet ve asayişin işleyişini zedeler. Afetler şiddetlerine göre, arama-kurtarma ve enkaz kaldırma işlemlerinin yavaş sürdürülmesine sebebiyet verir. Bunun yanısıra, meydana gelen bir afet ikincil bir afet olarak yangın çıkabilir, barınma, beslenme ve giyinme gibi sorunları oluşturabilir, işsizliği arttırabilir. Ayrıca, ulaşım ve haberleşmede ciddi hasarlar yaratabilir, bulaşıcı ve salgın hastalıkların ortaya çıkmasına neden olur. Afetler meydana geldikleri bölgelerin ekonomik yapısını bozar ve devletin planladığı yatırımları geciktirir.

Afetlerin yarattığı çevresel sorunlar da önem arzemektedir. Meydana gelen bir afet, özellikle toprak, su ve hava kirliliği oluşturmanın yanında ciddi bir atık problemi de oluşturur. Afetler, yapılarına ve şiddetlerine göre çok fazla enkaz ve atık oluşturabilirler. Ortaya çıkan bu enkaz ve atıklar, mevcut katı atık yönetim tesislerine ilave işleyiş yükü getirebilir. Ülkemizde ve dünyada meydana gelmiş yıllarda yaşanan afetlerle ilgili yapılan çalışmalarda, çok çeşitli afetler sonucunda oluşan enkaz hacminin yıllık atık üretim hacminin 5-10 katı olduğu saptanmıştır (Brown vd. 2011). Afetler sonucu oluşan bu enkaz ve atıklar; acil müdahale ve kurtarma çalışmalarını olumsuz yönde engellemekte ve/veya sekteye uğratmaktadır. Ayrıca afetler sonrası meydana gelen atıklar sadece toprak kirliliği değil bunun yanısıra su ve hava kirliliği başta olmak üzere, gürültü kirliliği, flora ve faunanın olumsuz yönde etkilenmesine de neden olarak ülkeler üzerinde sosyo-ekonomik yönden de olumsuz etkiler yaratabilmektedirler. Avrupa Komisyonu, atık

yönetimi konusunun, afet ve acil durumlar sonrasında çevrenin iyileştirilmesinde ele alınması gereken temel konulardan biri olduğunu vurgulamıştır (EC 2006).

Afet atık yönetiminin hedefleri olarak insan hayatını ve sağlık risklerini en aza indirmek, çevresel riskleri azaltmak sayılabilir. Afetler sırasında ve/veya afetler sonrasında oluşacak atıkları kontrol etmeyi amaçlayan yönetmelikler ve benzeri önlemler, bütünleşik afet ve acil durum yönetimi adımlarından, önleme/risk azaltma aşamasında uygulamaya konmalıdır. Afetler sonrası atık yönetimi, atıkların toplanması, taşınması, yeniden kullanılması, geri dönüştürülmesi ve/veya bertarafı müdahale ve iyileştirme ve yeniden yapılanma aşamalarında yer almaktadır. Afetler sonrasında atık yönetiminin düzgün işletilememesi, özellikle enkaz vb. toprak kirliliğinin rehabilitasyon sürecinin uzamasına sebep olur. Bu nedenle enkaza ve/veya afet sonrası atıklara uzun süreli maruz kalma çevre ve halk sağlığı üzerinde potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Öztürk 2017). Afetler sonrası atık yönetimi süreci etkin bir şekilde proses edildiğinde enkaz atıkları; geri kazanım ve yeniden inşa sürecinde değerli bir kaynak haline getirilebilir.

Afetler sonrasında ortaya çıkan atıklar genellikle üç aşamada incelenmektedir (JEU 2010):

- Acil müdahale gerektiren atıklar,
- Geri kazanılabilen atıklar,
- Yeniden inşa edilebilen atıklar.

Atık yönetimi sistemi açısından, acil müdahale gerektiren atıklar, kısa vadeli eylem planıdır ve temelde halk sağlığı ve güvenliğine yönelik acil tehditler yaratabilmektedir. Bu aşama kısa vadeli eylem planıdır ve yaklaşık olarak birkaç gün ile 2-3 haftalık bir süreyi kapsamaktadır (URL-3 2013). Afetler sonucu ortaya çıkan enkaz ve atıklar çok çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Afetler sonrası atık toplama, nakliye ve yeniden kullanım/geri dönüşüm faaliyetleri önemli bir prosestir. Geri kazanım prosesi yaklaşık 5 yıl sürmektedir ve bu aşama orta vadeli eylem planı olarak tanımlanmaktadır (URL-3 2013). Uzun vadeli eylem planı olarak tanımlanan üçüncü aşama ise yeniden inşa aşamasıdır. Yeniden inşa aşaması yaklaşık 10 yıl olarak öngörülmektedir (JEU 2010).

Afetler sonrasında ortaya çıkan atık türleri en genel haliyle hayvansal/bitkisel atıklar, tortu, taş, toprak/kaya atıkları, tehlikeli ve tehlikesiz evsel atıklar, hasarlı bina yıkıntıları, endüstriyel atıklar ve kimyasallar, araç enkazları, plastikler ve metaller gibi geri dönüştürülebilir atıklar, evsel/ofis elektronik eşyalar ile beyaz eşya atıklarıdır (Brown vd. 2011). Atık bileşimi ve miktarı ve buna bağlı olarak da afet sonrası atığın yönetimi; çevresel yapıya ve afet türüne bağlı olarak farklılıklar meydana gelmektedir (EPA 2008). Meydana gelen bir kasırgada, hem kasırga hem de taşkınların oluşturduğu enkazlarla karşı karşıya kalınırken,

deprem meydana geldiğinde genelde yıkıntıların oluşturduğu bir atıktan bahsetmek mümkündür (Luther 2008). Bu yüzden her afet kendine özgü bir durum sergilemektedir. Kentsel afet atıklarının en büyük bileşeni inşaat ve yıkıntılardan oluşmaktadır. Ayrıca afet sonrasında çevreye atılan yiyecekler, muhtelif tıbbi atıklar, gıda ambalajları gibi çeşitli atıklar da ciddi kirlilik yaratmaktadır (Ekici vd. 2009).

Tablo 1’de farklı tür afetlerde ortaya çıkan atık türleri sunulmuştur.

Tablo 1: Farklı afet türlerinde ortaya çıkan atıklar (FEMA, 2007)

	Oluşan atık türleri								
	Bitkisel atıklar	İnşaat/yıkıntı atıkları	Kişisel atıklar	Tehlikeli atıklar	Evsel tehlikeli atıklar	Beyaz eşya	Toprak/çamur/kum	Araçlar	Çürümüş atıklar
Afet türü									
Kasırga/tayfun	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Tsunami	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Tornado	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Taşkınlar	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Depremler		*	*		*	*	*		*
Orman yangınları	*		*		*	*	*		
Buz fırtınaları	*				*				

Enkaz atıklarının ortadan kaldırılması işlemleri iki aşamada gerçekleştirilir. Bunlardan ilki, enkaz temizleme ikincisi ise enkazların geri kazanımı için enkaz kaldırma faaliyetleridir. Enkazın geri kazanım aşaması, acil erişim yolları temizlendikten sonra başlamaktadır (FEMA 2007). Enkaz atıklarının depolanması, tasnifi ve işlenmesi için geçici bir depolama alanına ihtiyaç bulunmaktadır. Atıkların geçici depolanma durumu; atıkların sınıflandırılması ve bertarafı için önem arz etmektedir.

Afetler sonrasında oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanımı ile ilgili birçok araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Geri kazanılan moloz; zemin altı malzemesi, beton agregası ve arazi kazanımı gibi amaçlarla kullanılabilir. Tablo 2’de afetler sonucu ortaya çıkan atıkların geri kazanım sonucu kullanım alanları verilmiştir (Öztürk 2017).

Tablo 2: Afet sonrası atıkların kullanım alanları (Öztürk 2017)

Atık malzeme	Kullanım Alanları
Metaller	Çelik, demir dışı metaller
Kiremitler	Kil üretimi
Tuğlalar	Kil üretimi
Duvar	Kireç
İnşaat Kerestesi	Kereste
Tahta Atıkları	Kompost, Enerji üretimi
Yeşil Atıklar	Kompost, Enerji üretimi
Elektrikli aletler ve kablolar	Alüminyum, bakır
Su tesisatı donanımı ve bakır borular	Pirinç, bronz

Tablo 3’te dünyada ve ülkemizde afetler sonrası uygulanan atık yönetim stratejileri verilmiştir.

Tablo 3: Dünyada ve ülkemizde uygulanan atık yönetim stratejileri (Güler, 2018)

Afet	Miktar	Uygulanan Atık Yönetim Stratejisi	Oluşan sorunlar
Marmara depremi, Türkiye	13 milyon ton	<ul style="list-style-type: none"> Geçici depolama Geri dönüşüm Arazide depolama 	<ul style="list-style-type: none"> Atıkların iki kez taşınması nedeniyle oluşan yüksek taşıma maliyetleri Geri dönüşüm tesislerine gelen ilave yük nedeniyle oluşan işletme sorunları Kıyı hatlarında yasal olmayan arazi depolamasının yapılması
Kobe Depremi, Japonya	15 milyon ton	<ul style="list-style-type: none"> Az oranda geri dönüşüm Çoğunlukla depolama veya arazi ıslahı 	<ul style="list-style-type: none"> Geri dönüşüm atıklarının bileşenlerine ayrılması nedeniyle oluşan zaman ve maliyet artışı
Beyrut, Lübnan	4 milyon ton	<ul style="list-style-type: none"> Geri dönüşüm 	<ul style="list-style-type: none"> Enkaz atıklarının “temizliği” ile ilgili ortaya çıkan sorunlar
Kosova	10 milyon ton	<ul style="list-style-type: none"> Geri dönüşüm Depolama 	<ul style="list-style-type: none"> Geniş bir kırsal alanda atıkların yayılması

Bu tabloya göre afetler sonrası atık yönetimi için en yaygın olarak kullanılan strateji geri dönüşüm tesisleridir. Yıkıntı ve enkazın geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması doğal kaynakların korunmasını sağlamaktadır. Afet sonrası bina yıkıntılarının ve enkazının yeniden yapılandırma için mühendislik malzemesi olarak görülmektedir. Bu durumda; bina atıklarının yönetimi, çevresel faydaların yanı sıra ekonomik faydalar da sunmaktadır (Karunasena vd. 2009).

SONUÇ

Afetler oluşmaya devam ettiği sürece, geçmişte olduğu gibi gelecekte de hem insanlara, hayvanlara ve bitkilere ve çevreye yönelik olumsuz etkilerini sürdürecektir. Afetler sırasında ve sonrasında meydana gelen can kaybı en önemli kayıp olmasına rağmen, binaların tahribatı da ekonomiye ve çevreye ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Afetler esnasında ve/veya sonrasında yıkılan binalardan kaynaklı, beton, tuğla ve kereste gibi oldukça fazla miktarda moloz ve enkaz ortaya çıkmakta ve bu da çevresel bir yük ve toprak kirliliği oluşturmaktadır. Afetler sonucu oluşan bu tür atıkların bertaraf seçenekleri önemlidir. Afet yönetiminin bir parçası olan afet atık yönetimi insan hayatını ve sağlık risklerini en aza indirmeyi, çevresel riskleri azaltmayı hedeflemelidir .

KAYNAKLAR

1. Akyıldız, M, Karataş, B. (2018). Adana Şehir Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2):199-214.
2. Bolat İ, Kara Ö, (2017). Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1), 218-228.
3. Böbrek, O. (2019). Madencilik Faaliyetlerinin Toprak Kirliliği Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi: Orhaneli ve Büyükorhan (Bursa) Örneği. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bilecik.
4. Brown, C, Milke, M, Seville, E. (2011). Disaster waste management: A Review Article. Waste Management, 31, 1085–1098.
5. EC, (2006). Progress Report On Post Tsunami Rehabilitation and Reconstruction Program. European Commission (EC), europa.eu/rapid/press-release_MEMO-06-507_en.pdf.
6. Ekici, S, Mc Entire, D.A, Afedzie, R. (2009). Transforming Debris Management: Considering New Essentials. Disaster Previous Management, 18, 511–522.
7. EPA, (2008). Planning For Natural Disaster Debris, In: Office of Solid Waste and Emergency Response/Office of Solid Waste. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/pnidd.pdf>
8. FEMA, (2007). Public Assistance Debris Management Guide, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington. https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1826-25045-418/fema_325__debris_management_guide_2007.07.25.pdf.
9. Güler, U.A. (2018). Sürdürülebilir Afet Yönetiminde Atık Yönetimi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(2): 236-246.
10. JEU, (2010). Joint Environmental Unit Disaster Waste Management Guidelines, Final Draft, <https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/JEUDWMPFinalDraftfordistribution.pdf>
11. Karaca, A, Turgay, O. (2012). Toprak Kirliliği. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 1(1), 13-19.
12. Karunasena, G, Amaratunga, D, Haigh, R, Lill, I. (2009). Post Disaster Waste Management Strategies in Developing Countries: Case of Sri Lanka. International Journal of Strategic Property Management, 13, 171–190.
13. Kırpık, M, Büyük, G, İnan, M, Çelik, A. (2017). The Heavy Metal Content of Some Herbal Plants on The Roadside of Adana-Gaziantep Highway. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(1), 129-136.

14. Özel, S. (2020). Afetlerden Sonra Kirlilik ve İkincil Kirliliği Afet Olarak Değerlendirmek İçin Bir Tartışma. İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi, 1 (1), 39-48.
15. Öztürk, M. (2017). Afetlerde Atık Yönetimi Mekanizması, <http://tucev.org/dosyalar/files/afetlerde-atik-yonetimi.pdf>
16. URL-3, (2013). Disaster Waste Management Guidelines, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs Emergency Preparedness Section, Published by the Joint UNEP/OCHA Environment Unit, Geneva, Switzerland, https://www.msb.se/Upload/English/news/Disaster_Waste_Management.pdf.

– Bölüm-3 –

TEKSTİLDE BAMBU LİFİNİN KULLANIMI

Öğr.Gör. Öznur Özdiñç¹

¹ Öğr. Gör. Öznur Özdiñç Gaziantep Üniversitesi Naci Topçuođlu Meslek Yüksekokulu

1. GİRİŞ

Türkiye ekonomisinde oldukça önemli bir yeri olan tekstil sektöründe rekabet giderek artmaktadır. Buna ek olarak yaşam standartlarının artması, tüketici ihtiyaçlarının farklılaşması ile birlikte tekstil sektöründe yeni hammadde arayışları ortaya çıkmıştır. Bu konuda yapılan araştırmalarda öncelikli olarak sentetik lifler üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat sentetik liflerin sahip olduğu dezavantajlar nedeniyle daha konforlu ve sağlıklı lif arayışına girilmiştir.

Bambu lifi; sürekli gelişmekte olan tekstil sektöründeki son buluşlardan birisidir. 21. yüzyılın lifi olan bambu; anti-bakteriyel özelliği, kolay boyanabilirlik özelliği, yumuşak tutuma sahip olması nedeniyle tekstil sektöründe çok fazla kullanılmaktadır.

Dünyada ekim alanlarının azalması, tüketimdeki bilinçsizlik ve tarım alanların azalması gibi faktörlerden dolayı doğal lifler azalma eğilimi göstermektedir. Bambu elyafının ucuz olması, çevre dostu bir bitki olması, doğal olması, hızlı büyümesi, yenilenebilir olması, tarım arazilerini işgal etmemesi gibi avantajları nedeni ile son yıllarda tekstil kumaşlarının üretiminde popülerlik kazanmıştır. Bunun sonucunda da bambu lifi dünyada azalan doğal lif kaynaklarına alternatif bir lif kaynağı haline gelmiştir.

Günümüzde tekstil sektöründe sıklıkla kullanılan bambu lifi Çin'in patentli bir elyafıdır. Rejenere bambu lifi ilk kez 2002 yılında Çin'de kimyasal elyaf üreten bir firma tarafından üretilmiştir (Liu, Zhang, Hu, 2004). Tekstil endüstrisinde kullanılan bambu lifinin üretimi sadece Çin'de gerçekleştirilmekte olup yıllık üretim miktarı ise yaklaşık 40.000 ton civarındadır.

Türkiye'de üretilmekte olan bambu ipliği ve bambu ipliğinden elde edilen tekstil materyalleri hem iç piyasada kullanılmaktadır hem de ihraç edilmektedir. Türkiye'de genellikle bambu ipliği örme ürünlerde kullanılmakta olup dokuma kumaş üretimine yeni yeni başlanmıştır.

2. BAMBU LİFİ

Bambu, çok çeşitli özelliklere sahip bir doğal lifdir. Ayrıca dünyada hızla yayılan sağlıklı yaşam trendi ile birlikte tekstil firmaları tarafından da kullanılmaya başlanmıştır (Özsev, 2008).

Bambu birçok ülkede yetişen ve çok hızlı büyüyen bir bitki türüdür. Bambu bitkisi Poaceae'nın bir alt ailesi olan Bambusoideae familyasına aittir. Dünyadaki tropik-subtropikal bölgelerde yetişen bambu bitkisinin 1250'den fazla türü bulunmaktadır (Scurlock vd., 2000).



Şekil 1. Bambu bitkisinin dünyada yetiştiği bölgeler

Bambu; yetiştirilmeleri ve büyüme dönemleri en ilginç bitkilerdendir. Toprak-taki bambu tohumları beş yıl boyunca sadece bir kaç cm büyür ardından altı hafta içerisinde 30 metre büyüme göstermektedir. Bambu bitkisinin boyu 40 metreye kadar ulaşabilir. Sadece bir bambu, ömrü boyunca 15 kilometre kamış üretebilir (<http://www.nebolife.com>).



Şekil 2. Bambu bitkisi

3500 m'ye kadar olan yüksekliklerde yetişen bambu bitkisi bir günde 10-13 cm uzar ve yaklaşık 6 ay gibi kısa bir süre içerisinde 20-30 metreye kadar uzayabilir. Lif; boşluklu ve dairesel bir yapıdadır (Şekil 3). Bambu lifi; gövde uzadıkça lifin duvar çapı ve kalınlığı azalmaktadır buna ilave olarak da bitkinin mukavemeti de artış göstermektedir (Karahana, Öktem, Seventekin, 2006).



Şekil 3. Bambu bitkisinin enine kesit görünüşü



Şekil 4. Bambu bitkisinin boyuna kesit görünüşü

2.1. BAMBU LİFİNİN ÖZELLİKLERİ

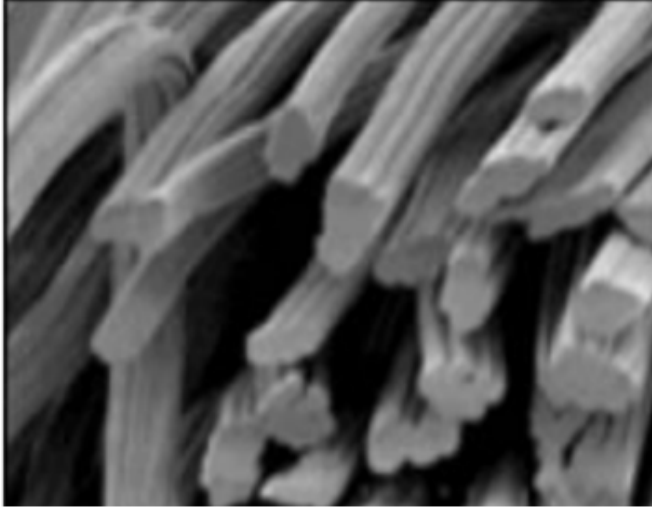
Bambu lifinin özellikleri;

- Bambu lifinin inceliği ve uzunluğu; bambu bitkisinin yetiştiği yere ve ortam koşullarına göre değişim göstermektedir.
- Bambu lifi istenirse filament olarak da üretilebilmektedir.
- Rejenere bambu lifinin incelik ve uzunluklarına göre çeşitleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 1) (Çarkıt, 2012).

Bambu lifi	
İncelik (dtex)	Uzunluk (mm)
1,33/1,56/1,67	38
2,00	45
2,22	51
2,78	51
3,33	64
3,33	76
5,56	38

Tablo 1. İncelik Ve Uzunluklarına Göre Bambu Lifi

- Bambu liflerinin sahip olduğu uzunluk ve incelik değerlerine göre bambu lifi hem kısa lif iplik eğirme sistemlerinde hem de uzun lif iplik eğirme sistemlerinde kullanılabilir.
- Bambu lifinin enine kesiti tam bir dairesel yapıda değildir. Bu bakımdan viskon lifinin enine kesit görüntüsüne benzerlik göstermektedir.
- Bambu lifinin enine kesitinde mikro boşluklar ve çukurlar yer almaktadır (Şekil 5) yapısındaki bu mikro boşluk ve çukurlar sayesinde bambu lifinin nem tutma özelliği ve hava geçirgenliği yüksek seviyededir (Okur, 2006).
- Bambu lifi pürüzsüz bir yüzeye sahiptir.



Şekil 5. Yapıdaki mikro boşluk ve çukurlar

- Elyaf yüzeyinde yüksek miktarda mikro çatlak ve çukurlar bulunması nedeni ile yüksek su emme ve hızlı kuruma özelliğine sahiptir. Bambu lifi; yumuşak, doğal anti-bakteriyel, hava geçirgen özellik, UV ısınları önleme gibi birçok avantajlı özelliklere sahiptir. Ancak mukavemetinin ve özellikle de yaş mukavemetinin düşük olması dezavantajlı durumlara yol açmaktadır. Rejenere bambu lifinin 20°C sıcaklık ve %65 izafi nemin bulunduğu test koşulları altındaki fiziksel özellikler Tablo 2’de gösterilmektedir.

Kuru Mukavemet (cN/tex)	23,3
Kuru Mukavemet (%CV)	13,42
Yaş Mukavemet (cN/tex)	13,7
Kuru Kopma Uzaması (%)	23,80
Lineer Yoğunluk Sapması (%)	-1,8
Uzunluk Sapması (%)	-1,8
Beyazlık (%)	69,6
Yağ İçeriği (%)	0,17
Nem Absorbsiyonu (%)	13,03
Test koşulları: Sıcaklık:20 °C İzafi nem : %6	

Tablo 2. Bambu Lifinin Fiziksel parametreleri

- Doğal selülozik bir lif olması nedeni ile mikroorganizmalar ve güneş ışığı tarafından toprakta tamamıyla ayrışabilmektedir (Okur, 2006).
- Lifin sahip olduğu incelik 1200'den 2000 Nm'e kadar değişim gösterebilmektedir. İnce ve orta kalınlıkta iplik üretmek için uygundur (www.kim-muhendis.wordpress.com).
- Boya emilimi çok iyidir ve çok iyi renk netliği sağlamaktadır.
- Bambu kumaşlardaki çekme oranı düşüktür (Wojciechowska ve Włochowicza, 2010). Bambu lifi, yapısında bulunan "Bambu kun" isimli madde sayesinde hipoalerjik yapıdadır ve doğal antibakteriyel özellik taşımaktadır (Okur, 2006). Doğal antibakteriyel özellikler sayesinde bambu liflerinden yapılmış tekstil materyalleri hijyeniktir ve kokuya dayanıklı durumdadır.

Kimyasal özellikteki antibakteriyel özellik sağlayan birçok madde ciltte alerjiye neden olur iken bambu lifinin antibakteriyel etkisi doğasından kaynaklandığı için cilde zarar vermemektedir. Ayrıca bambu lifi ile diğer lifler karıştırıldığında karışım ipliğın bambu oranı son ürünün antibakteriyel özelliklerini de etkilemektedir. Böylece karışım iplik içerisindeki bambu lif yüzde miktarı arttıkça antibakteriyel özellik de iyileşmektedir. Etkili bir antibakteriyel özellik için %70 bambu lif kullanımının yeterli olduğu belirtilmektedir (www.bambrotex.com).

- Bambu lifi ile pamuğun fiziksel özellikleri karşılaştırıldığında; bambu lifinin pamuk lifine göre daha iyi olduğu saptanmıştır. Bambu lifinin enine kesitinde boşluklar bulunduğu için nemi hızlı bir şekilde emer ve buharlaştırır. Viskon lifi ile kıyaslandığında ise bambu lifinin sahip olduğu amorf bölge oranının fazla olduğu ve bu nedenden ötürü daha fazla nem emebildiği belirtilmektedir (Liu, Zhang, Hu, 2004).
- Bambu ipliği doğal bir parlaklığa sahiptir ve bu parlaklığı nedeniyle dokuma işleminden sonra merserizasyona ve herhangi bir bitim işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Bambu kumaşlar yumuşak ve ipeksi bir karakter gösterirler. Bu özellikleri ile de ipeğe benzetilmektedir. Ayrıca ipeğe nazaran daha ucuz ve daha dayanıklıdır.
- Pamuk ve kenevir lifleri ile kıyaslandığında daha yüksek nefes alabilirlik ve termo düzenleme özelliğine sahiptir.
- UV koruma yetenekleri (SPF 15) çok iyidir.

Çin Test Merkezi'nde GB/T18830-2002, UV test metoduyla yapılan bir anti-UV testine göre aynı özellikteki %100 bambu ve %100 pamuk kumaşlarda UV ışınlarına karşı direnç testi yapılmaktadır. %100 Bambu kumaşlar UV ışınlarını geri yansıtarak koruyucu bir etki sağlar iken %100 pamuk kumaş aynı etkiyi gös-

terememektedir (<http://www.bambrotex.com>).

- Bambu lifinin dayanımı ve stabilitesi yüksektir.
- Bambu lifinin incelik ve beyazlık dereceleri viskon lifi ile hemen hemen aynıdır (www.botanical.com).
- Çok yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir. Genel olarak iplik incelidikçe mukavemetinin azaldığı görülmektedir
- Bambu lifi selüloz esaslı bir liftir. Bu nedenle asitlere karşı oldukça hassas iken bazlara karşı dayanımı yüksektir.

2.2. BAMBU LİFİNİN KULLANIM ALANLARI

Bambu lifi tekstilde oldukça fazla kullanım yerine sahiptir;

- Bambu lifi, vücuttaki teri anında emebilmesi, serinlik hissi vermesi ve bunun yanı sıra yumuşaklık ve dökümlülük gibi avantajlarından dolayı dış giyim ürünlerinde tercih edilmektedir.
- Doğal anti-bakteriyel karakterli bir yapıda olduğu için çoraplarda ve iç giyim ürünlerinde kullanılmaktadır.
- Bambu lifinin UV ışınlarını kırma özelliğine sahip olması ile yazlık giysilerde ve perdelerde kullanımı oldukça elverişlidir.
- Bambu lifi doğal anti-bakteriyel özelliğine sahip olması ile tıbbi tekstilde bandaj, maske, hastane giysileri gibi ürünler için kullanılmaktadır. Ayrıca doğal anti-bakteriyel özellikte olmasından dolayı kimyasal anti-bakteriyel madde kullanılmadığı için ciltte herhangi bir alerjik reaksiyona neden olmamaktadır.
- Nem çekme kabiliyetinin yüksek olması, yumuşaklığı ve anti bakteriyel özelliği ile havlularda sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca çarşaf, nevresim, battaniye gibi ev tekstili ürünlerinde de kullanılmaktadır.



Şekil 6. Bambu lifinden elde edilmiş ürünler

- Bambu lifi halılarda da kullanım alanı bulmuştur. Bambu ipliğinin doğal parlaklığa sahip olması ile birlikte bambu halılar ipek halılara çok benzer bir doku ve görünüş özelliği sergilemektedirler. Ayrıca bambu halıların doğal antibakteriyel karakterde olması sebebi ile bu halılar bebek odası, çocuk odası halısı olarak rahatlıkla tercih edilebilir.
- Bambu lifi tıbbi tekstil ürünlerinde, jeotekstil ürünlerinde, havacılık sektöründe, kord bezi üretiminde, otomobillerde, inşaat yapılarında endüstriyel kayış ve filtrelerde kullanım alanı bulmaktadır.
- Otomobil sanayisinde kalın bambu liflerinin, endüstriyel kayış, filtreler, kord bezlerinin üretiminde kullanıldığı görülmektedir.
- Kompozit malzemelerin güçlendirilmesi için kullanılmaktadır. Böylece hem maliyet düşürülmektedir hem de ekolojik üretim sayesinde tükenmeyen kaynaktan elde edilmiş olacaktır (<http://kimmuhendis.wordpress.com>).
- Bambu birçok farklı özelliklere sahip olan doğal bir kompozittir. Hafif olması ve yüksek performansı gibi etkenler ile kompozitlerde güçlendirici olarak kullanılabilir.

3. BAMBU LİFİ İLE İLGİLİ LİTERATÜRDEKİ GÜNCEL ÇALIŞMALAR

Gökdal, (2007)'ın yaptığı çalışmasında farklı karışım oranlarında ve farklı numaralarda bambu/pamuk elyaf karışımli iplik üretilmiş ve bu ipliklerin kalite değerleri araştırılmıştır. Karışımli ipliklerdeki bambu oranının azalması ile ipliğin kalite değerlerinde düşüş olduğu gözlenmiştir. Üretilen ipliklerden elde edilen örme yüzeylerde yapılan testlere göre; en yüksek sürtünme dayanımına sahip kumaş % 100 bambu iplikten örülen kumaş olduğu, en yüksek boncuklanma dayanımına sahip kumaşın ise % 50 bambu % 50 penye pamuk iplikten örülen kumaşın olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yüksek ve Özdemir (2007), yaptığı çalışmada bambu lifinin üretim teknikleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Bambu lifinin doğal anti-bakteriyel aktivite sağladığı belirtilerek tekstil sanayisi içindeki kullanım alanlarına açıklanmıştır.

Altınok (2008), yaptığı çalışmasında tekstil yüzeylerinin anti-bakteriyel özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmasında pamuk, bambu, viskon ve polyester liflerinde elde edilen örme yüzeylere anti-bakteriyellik testi uygulanmış ve sonuç olarak bu liflerin herhangi bir anti-bakteriyel etki göstermediği tespit etmiş ve apreleme işlemi sonrasında anti-bakteriyel özellik kazandırılabilceğini ileri sürmüştür.

Büyükakıncı (2009), yaptığı çalışmada bambu lifinin performans özelliklerini incelemiştir. Çalışmada %100 bambu elyaf, iplik ve örme kumaş numunelerini

öncelikle atmosferik ortamda reaktif boyarmaddeler ile boyanmış ve ardından boyanan numunelerin performanslarını değerlendirmiştir. Sonuç olarak numunelerin renk haslık değerlerinin iyi derecede olduğu, ön terbiye işlemleri yapıldıktan sonra boyanan numunelerle ön terbiye işlemi uygulanmamış numunelerin renk haslık değerleri arasında önemli bir farkın olmadığını, pişirme ve ağartma işlemlerinin bambu numunelerinin renk haslık değerlerini iyileştirme yönünde önemli bir etki yapmadığını belirtmiştir.

Okur (2006), yaptığı çalışmada bambu lifini ve iplik özelliklerini diğer lif ve ipliklerin performans özellikleri ile karşılaştırarak incelemiştir. Bu çalışmada; Ne20/1, Ne24/1, Ne30/1, Ne36/1, Ne40/1, Ne50/1 olmak üzere altı farklı iplik numarasında %100 bambu ipliklerinin üretimini yapıp kalite performansını incelemiştir. Uster firmasından alınan verilere göre %100 ring viskon iplik numara, büküm, düzgünlük, kopma dayanımı, uzaması ve tüylenme ölçümleri ile mukayese edilmeli şeklinde değerlendirilmiştir. Sonuç olarak %100 viskon ring iplik özellikleriyle yakın değerlerde bulunduğu; hatta iplik düzgünlüğü ve kopma uzaması değerlerinin bile çok daha iyi değerlerde bulunduğunu ifade etmiştir. Fakat Ne 50/1 ipliğe ait sonuçların istenen kalite değerlerinde üretilmediği gözlenmiştir.

Wang, Y., ve Gao, X., yaptıkları çalışmalarında bambu lifinin mikroyapısını incelemişlerdir. Bu çalışmasına doğal bambu lifinin rejenere bambu lifine göre daha avantajlı olduğu düşünülerek doğal bambu lifini incelemiştir. Yaptıkları bu çalışmada doğal bambu lifinin yanı sıra pamuk, rami ve keten liflerinin yapıları incelenmiştir. Araştırmanın sonucunda doğal bambu lifinin sahip olduğu kristal yapısının selülozik yapısından kaynaklandığı ve yoğunluğunun ise rami, keten ve pamuk lifinin yoğunluklarından daha yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Wang, Gao, 2004).

Lipp-Symonowicz vd (2011), yaptıkları çalışmada, piyasada bulunan bambu elyaflarının bambudan elde edilen doğal elyaflar değil de bambu selülozundan elde edilen rejenere elyaflar olduğunu kanıtlamıştır. Bambu lifleri viskondan gözle görülür şekilde daha incedir ve yüzey özellikleri de biraz farklıdır. Bambu liflerinin enine kesitleri, viskon liflerinin enine kesitlerine benzer şekildedir, boylam görünümü de benzerdir. Bambu liflerinin kimyasal yapısı rejenere selüloza yakındır. Bambu liflerinin kopma mukavemeti ve uzaması viskondan daha düşüktür, ancak kristallik derecesi benzer olduğunu ve ayrıca antibakteriyel özellikleri de reddedilebilir olduğu sonucuna ulaşmıştır

Liu ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada bambu lifinin üretim prosesi, lif yapısı ve özelliklerini ve bu liflerin boyama özelliklerini incelemişlerdir. Bunun için %100 bambu örme kumaş ve bambu lifini PET ile kaplayarak örme ku-

maş üretmişlerdir. Yaptığı çalışmada bambu lifinin sahip olduğu boşluklu yapısı nedeniyle ve buna ilaveten yüzeyinde bulunan kılcal yapılar nedeniyle nem emebilme kabiliyetinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, bambu lifinin avantajlı özelliklerinin yanında yaş mukavemetinin ise düşük olduğu ve bu durumun boya ve terbiye işlemlerinde kısıtlayıcı bir faktör olduğu belirtilmiştir.

Karakaş H. ve arkadaşları (2005), Nm 45,6 viskon, Nm 51 pamuk ve Nm 47,9 bambu ipliklerinin özelliklerini ve bu ipliklerden üretilen süprem kumaşların boyutsal değişimlerini incelemiştir. Sonuç olarak en mukavemetli iplik 335,5 cN/dtex ile viskon ipliğidir. Bambu ipliğinin mukavemeti 248,5cN/dtex olarak bulunmuştur ve en düşük mukavemetli iplik ise 241,7 cN/dtex ile pamuk ipliğidir. Bu iplikler içinde en fazla kopma uzamasına % 18,58 ile bambu ipliği sahiptir. Viskondaki kopma uzaması % 14,22'dir ve en düşük kopma uzamasına % 4,35 ile pamuk ipliği sahiptir. Tüylülük değerlerine bakıldığında 3mm'den büyük tüylülükte en az tüylülük bambu ipliğinde, en fazla tüylülük ise pamuk ipliğinde bulunmuştur. % düzgünsüzlükler incelendiğinde ise en iyi değer %10,33 ile viskonda elde edilmiştir. Bambu ipliğindeki düzgünsüzlük % 11,92 ve pamuk ipliğindeki düzgünsüzlük % 14,02'dir. Boyutsal değişim test sonuçlarına göre pamuklu örme kumaşın boyutsal değişiminin hem sıra çubuğu, hem ilmek çubuğu yönünde diğer kumaşlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bambu kumaşın enden çekme miktarının viskon kumaşa göre daha yüksek, boydan çekme miktarının ise daha düşük olduğu görülmüştür.

Elibüyük, vd (2018), yaptıkları çalışmada bambu-pamuk karışımı kumaşların gramajının ve hava geçirgenliğinin düşük olmasının yanı sıra hidrofilitesinin yaklaşık 2 kat fazla olduğu, beyazlık derecesi ve sararma indeksine bakıldığında daha beyaz olduğu görülmüştür. Ayrıca bambu- pamuk karışımının mekanik ve boyanabilirlik özellikleri bakımından %100 pamuk elyafı yerine kullanılabilenliği tespit edilmiştir.

Gökdal ve Canoğlu (2007), yaptıkları çalışmada farklı karışım oranlarında ve farklı numaralarda üretilmiş bambu/pamuk elyaf karışımı ipliklerin kalite değerleri araştırılmıştır. Sonuç olarak bambu/pamuk elyaf karışımı ipliklerde karışımdaki bambu oranı azalması ile birlikte sahip olduğu kalite değerlerinde de düşüş saptanmıştır. Bunun yanı sıra en yüksek sürtünme dayanımı % 100 bambu iplikten elde edilen kumaşa olduğu sonucuna varılmıştır. Boncuklanma testi sonuçlarına göre ise; en iyi boncuklanma değerleri %50 bambu %50 penye pamuk iplikten örülen kumaş olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Erdumlu ve Ozipek (2008) yaptıkları çalışmada 8 farklı iplik numarasına sahip (11.8, 14.8, 16.4, 19.7, 24.6 ve 29.5 tex) %100 rejenere bambu ipliklerinin fiziksel parameterlerini incelemiştir. Çalışmada bambu lifinin lif ve iplik

özelliklerinin, viskon rayonu liflerine oldukça benzediğini belirlemişlerdir. Ayrıca doğal antibakteriyel özelliği, yüksek hava ve nem geçirgenliği, belirli örme ürünlerde hava alabilirliği sağlanması bambu liflerinin belirleyici özellikleri olduğunu belirlemişlerdir. Bambu liflerinin fiyatının, viskoz rayon veya diğer selülozik liflerle karşılaştırıldığında yüksek olmasına rağmen, bambu lifinin ayırt edici özellikleri nedeniyle kısa sürede bambu liflerinin büyük paya sahip olması beklendiğini belirtmişlerdir.

4. SONUÇ

Eski zamanlardan bu yana bambu lifinin evlerin inşasında 2000 yıl, kağıt yapımında ise 1700 yıl öncesine kadar uzandığı bilinmektedir. Günümüzde ise bambu lifinin kullanım alanı o kadar genişlemiştir ki gıda endüstrisinde yemek çubukları, müzik enstrümanları, mobilya sektöründe masa-sandalye, zemin kaplamaları, taşıma araçları tekstil ürünleri, besine birçok alanda kullanılmaktadır.

Günümüzde kullanımı giderek artan bambu lifi, çevreye zarar vermeden üretilebilmesi ve hiçbir ek işleme gerek kalmadan doğada parçalanabilmesi gibi ekolojik avantaja sahip olmasının yanı sıra, anti-bakteriyel özellikte olması, ciltte alerjiye neden olmaması, UV ışınlarına karşı koruyuculuk özellikte olmasından dolayı 21. yüzyılın elyafı olarak nitelendirilmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda bambu lifinin çok fazla avantaja sahip olduğu ayrıca buna ilave olarak da maliyetinin de oldukça kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Tüm bu veriler göz önüne alındığında ise bambu lifinin tekstil sektörü içerisinde kısa zamanda yaygın bir şekilde kullanılarak pamuğun yerini alacağı ön görülmektedir.

Bambu lifleri doğal olması, yenilenebilir bir kaynaktan elde ediliyor olması ve çevreye ve insan sağlığına zararlı olmaması nedeni ile son yıllarda önem kazanmış liflerden birisidir. Bambu lifinin nem absorbe edebilme yeteneği ve antibakteriyel karaktere sahip olması nedeniyle de oldukça avantajlı durumdadır. Ayrıca bambu liflerinin kompozit malzemelerin güçlendirilmesi için kullanılabilir olması da bu liflerin önemini arttırmıştır. Düşük maliyet, ekolojik üretim ve tükenmeyen kaynak olması nedeniyle de birçok araştırmaya kapı aralamıştır.

Bambu liflerinin gelecekte özellikle filtreler, yalıtım malzemeleri, jeotekstiller gibi nonwoven tekstil ürünlerinde ve kompozit malzemelerde kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

Bambu lifinin bir kullanım alanı olan makine halıları için ise; doğal organik bir iplikten dokunduğu için çok ucuz değildirler. Buna rağmen el dokuması halılara kıyasla daha uygun, akrilik, polyester, poliamid gibi makine halılarından ise daha pahalıdır.

KAYNAKLAR

1. Altınok, U. B. (2008) Tekstil Yüzeylerinin Anti-bakteriyel Özelliklerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
2. Büyükkakıncı, Y. (2009). Bambu Elyafının Özelliklerinin İncelenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
3. Elibüyük, U., Bulut, M.O., & Üçgül, İ. (2018). Bambu-Pamuk Ve %100 Pamuklu Kumaşların Bazı Fiziksel Ve Boyama Özelliklerinin Karşılaştırılması. Teknik Bilimleri Dergisi Cilt 8, Sayı 2, 11-16, 2018
4. Erdumlu, N., and Ozipek, B., 2008, Investigation of regenerated bamboo fibre and yarn characteristics, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 16(4), 69.
5. Gökdal, H. (2007). Bambu-Pamuk Elyaf Karışımı İpliklerin Çeşitli Özelliklerinin İncelenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
6. Gökdal, H., Canoğlu, S. (2007). Bambu - Pamuk Elyaf Karışımı İpliklerin Çeşitli Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, M.Ü., İstanbul, Türkiye,
7. Çarkıt, G. (2012). Bambu-Pamuk Karışımı Örmeye Kumaşların Özelliklerinin İncelenmesi. T.C. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
8. Karahan, H. A., Öktem, T., Seventekin, N. (2006) Doğal Bambu Lifleri. *Tekstil Ve Konfeksiyon*, 4/2006
9. Karakaş H., Uçar N., Küçük, S., Özbek, S. (2005). Bambu İpliklerinden Örülmüş Kumaşların Boyutsal Değişim Performansı G. Örmeye İhtisas Dergisi, Temmuz/Ağustos, Yıl:2, Sayı:12, s. 42 – 44
10. Lipp-Symonowicz B., Sztajnowski S., Wojciechowska D. (2011) New Commercial Fibres Called ‘Bamboo Fibres’ – Their Structure and Properties. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2011*, Vol. 19, No. 1 (84) pp. 18-23.
11. Liu, G., Zhang, H., Hu, X. (2004). The Dyeing Behaviours of Bamboo Fiber with Reactive Dyes and the Product Development, *Proceedings of the Textile Institute 83rd World Conference*, May 23-27, 696-699, Shanghai, China.
12. Okur, N. (2006). Bambu Lifi Ve İplik Özelliklerinin Diğer Lifi Ve İpliklerin Performans Özellikleri İle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
13. Özsev, İ., 2008. Bambu İplik Özelliklerinde Etkili Faktörler Üzerine Bir

Araştırma, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 109 s.

14. Scurlock, J.M.O., Dayton, D.C., Hames, B., 2000. Bamboo: an Overlooked Biomass Resource? *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 229-244.
15. Wang, Y., ve Gao, X. (2004). Study on Structure of the Nature Bamboo Fiber, *Proceedings of the Textile Institute 83rd World Conference*, May 23-27, 135-137, Shanghai, China.
16. Wojciechowska, D., Włochowicz, A. (2010). Bamboo fibres – their properties and ways of application, on XIII Scientific Conference of Faculty of Material Technologies and Textile Design 2010, TUL, Lodz, 2010
17. Yüksek, Ö.İ., Özdemir, Ö. (2007). Bambu İpliklerin Üretimi, Özellikleri ve Kullanım Alanları. *Tekstil ve Teknik Dergisi*, Ekim 2007, s80- 92
18. www.botanical.com/botanical/mgmh/n/nettle03.htm
19. <http://kimmuhendis.wordpress.com/2016/09/27/doğal-polimerik-bambu/>
20. http://www.bambrotex.com/second/anti_UV.htm
21. http://www.bambrotex.com/second/bc_nab.4htm, 2007.
22. <http://www.nebolife.com/bambu-corap-serisi-siyah-p-431.html>, 2012.

– Bölüm-4 –

**MODEL ORGANİZMA OLARAK ZEBRA BALIĞI
VE GENOM DÜZENLEME TEKNOLOJİLERİ**

Öğr.Gör.Dr. Tülay ÖNCÜ ÖNER¹

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Manisa, Türkiye.
E-mail: tulay.oncu@cbu.edu.tr

1. MODEL ORGANİZMA OLARAK ZEBRA BALIĞI

Günümüze kadar biyolojik süreçleri anlamaya yönelik olarak solucan, sinek, fare, balık, kurbağa gibi çok çeşitli model organizmalar kullanılmıştır. Ancak solucan ve sinek gibi omurgasız hayvanların yanı sıra mayalar gibi tek hücreli ökar-yotların çalışmalarından elde edilen veriler her zaman insan biyolojisinde ge-nelleştirilememiştir. Temel ve uygulamalı araştırmalarda omurgalı olmayan mo-dellerin eksikliklerini gideren ve spesifik deneysel avantajlara sahip olan zebra balığının model organizma olarak kullanımı son 20 yılda katlanarak artmıştır (1). Zebra balığı (*Danio rerio*) sazangiller (*Cyprinidae*) familyasından, küçük göv-deli, kemikli (teleost) ve tropikal bir tatlı su balığıdır. Özellikle Himalaya böl-gesinde yavaş akan taze su kaynaklarında yaşamakla birlikte Hindistan, Nepal, Butan ve Güneydoğu Asya'nın diğer bölgelerinde yaygın olarak bulunmaktadır. Zebra balıkları larva ve yetişkin böcekleri, küçük kabukluları, nematodları, diğer zooplanktonları ve bitki materyallerini tüketen omnivor canlılardır. Kendileri ise zargana, kedi balığı, bıçak balığı gibi daha büyük balıklar tarafından avlanmak-tadır (2,3,4). Çoğu laboratuvar zebra balığı 28°C civarında muhafaza edilmesine rağmen, yabani suşların ısı stresi belirtisi olmaksızın 24.6°C ila 38.6°C arasında değişen sıcaklıklarda yaşadığı bilinmektedir (5).

1970'li yıllarda George Streisinger, zebra balığının gelişimin omurgalı mode-li olabilme potansiyelini fark ederek, zebra balığı modelinin kurulumuna öncü-lük etmiştir. 1981 yılında Streisinger ve ark. tüm genetik malzemeyi annesinden alan ginogenetik embriyolar yapma tekniğini geliştirmişlerdir (6). 1993 yılında Almanya'da bulunan Christiane Nusslein-Volhard, zebra balığı embriyonik pa-tern mutasyonları için bir mutagenез taramasına başlamıştır (7). Marc Fishman ve Wolfgang Driever ise Boston'da paralel bir tarama başlatmışlardır (8). 1995 yılında Kimmel ve ark. zebra balığı gelişimi ile ilgili detaylı bir çalışma yayımlamışlardır (9). 1996 yılında Christiane Nusslein-Volhard, Mark Fisman ve Wolf-gang Driver ilk büyük canlı omurgalı genetik taraması çalışmalarını tamamlamış-lar ve 4000'den fazla embriyonik öldürücü mutant fenotip bildirmişlerdir (10). Zebra balığı genom dizileme projesi ise Wellcome Trust Sanger Enstitüsü'nde 2001 yılında başlamış ve 2013 yılında tamamlanmıştır (11).

Zebra balığı genomu ve sinyal iletimi ve gelişimini kontrol eden genetik yol-ların organizasyonu, zebra balığı ve insan arasında büyük ölçüde korunmaktadır (12). Diploid olan zebra balığı genomu 25 çift kromozom, 1.4 milyar baz çifti ve yaklaşık 26.000 gen içermektedir (3,13). İnsanda bulunan genlerin %71.4'ünün ve bilinen insan hastalıkları ile ilişkili genlerin yaklaşık %83'ünün zebra balığın-da fonksiyonel ortologları bulunmaktadır (11). Bu nedenle zebra balığı pek çok hastalığın ve embriyonik gelişim sürecinin çalışılmasında sıklıkla kullanılan bir

model sistemi olmuştur. Omurgalı genetiği, gelişimi ve rejenerasyonunun aydınlatılmasında, ilaç denemelerinde, toksikolojik çalışmalarda, kanser, kardiyovasküler ve nörogelişimsel hastalıkların modellenmesinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir (1,3).

1.1. Zebra Baliği Modelinin Avantajları


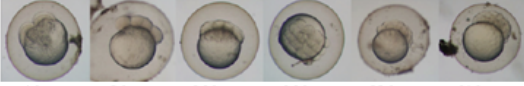
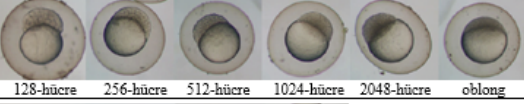
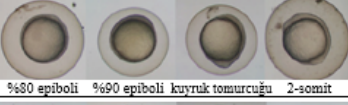
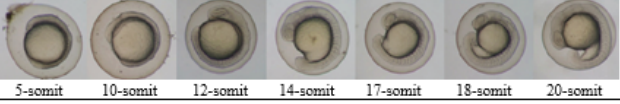
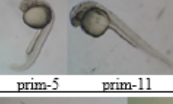
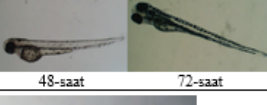


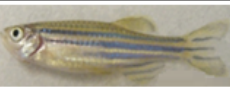
Zebra balıklarının genomik model organizma olarak kullanımının pek çok avantajı bulunmaktadır. Zebra balıklarının bakımı kolaydır ve diğer omurgalı modellerin bakımına kıyasla daha uygun maliyetlidir. Ortalama ömürleri 2 ile 4 yıl arasında değişmektedir. Zebra balıkları inanılmaz doğurgan canlılardır, olgun dişiler haftada yüzlerce yumurta bırakabilmektedir ve yaşamları boyunca 15.000-35.000 arası yumurta üretmeleri söz konusudur. Zebra balığı embriyolarının dış ortamda gelişimi araştırmalar için çok uygundur ve tüm safhalarını izlemek mümkündür. Embriyolar şeffaf olduğu için canlı organizma içindeki erken gelişim süreçleri rahatlıkla izlenebilmektedir. Manipülasyonları kolaydır, mikroenjeksiyon sistemleriyle gen değişikliği kolaylıkla yapılabilmektedir. Yetişkin balıkların boyları 3-5 cm uzunluğundadır; küçük yapıda olduklarından taşınmaları kolaydır. Ayrıca embriyonun gelişimi hızlıdır, 3-4 aylık kısa yaşam döngüleri vardır ve organizasyonu basittir. Embriyogenez süreci ilk 24 saat içinde gerçekleşmekte, döllenen sonraki beş gün içinde ana organların oluşumu tamamlanmaktadır. Ayrıca zebra balığı larvaları 96 kuyucuklu plakalara sığabildiğinden ilaç taramalarında ve genetik haritalama çalışmalarında yüzlerce canlıyla aynı anda ve kolaylıkla çalışılabilme imkanı sağlamaktadır (1,2,3).

1.2. Zebra Baliği Yaşam Döngüsü

Zebra balığı yaşam döngüsü embriyo, larva, juvenil ve yetişkin olmak üzere dört ana gelişim basamağından oluşmaktadır (Şekil 1) (14,15). Kimmel ve ark. (1995) zebra balığı embriyosunun gelişim aşamalarını detaylandırmışlar ve embriyogenezisin zigot, yarıklanma (cleavage), blastula, gastrula, segmentasyon, faringula, koryondan çıkma (hatching) olmak üzere yedi aşamada gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bu aşamalar döllenen sonraki ilk üç gün içerisinde gerçekleşmektedir. Yeni döllenen yumurta, ilk bölünme gerçekleşene kadar (yaklaşık ilk 45 dakika) zigot evresindedir. Zigot, döllene anında yaklaşık 0.7 mm'dir. Sitoplazma ve nukleus oldukça küçük bir alan kaplayan animal kutupta, kendileri beslenmeye başlamadan önce embriyoların besin ihtiyacını karşılayan yolk ise vejetatif kutupta yer almaktadır. Zebra balığı embriyosu ve koryonu şeffaftır. Bu aşamada koryon şişmekte ve yeni dölleniş yumurtadan uzaklaşmaktadır. Ayrıca döllene sitoplazmik hareketleri de aktive etmektedir. Sitoplazma blasto-

disk oluşturmak için animal kutba doğru akmaya başlar. İlk bölünmenin ardından blastomerler her 15 dakikada bir bölünmektedir ve bölünmeler meroblastik tipte olmaktadır. Yarıklanma (cleavage) evresini oluşturan 2. ve 7. zigotik hücre döngüleri arasındaki altı bölünme sıklıkla düzenli yönlerde, senkronize olarak gerçekleşmektedir. Dikey yönlenecek yarık animal kutup yakınında ortaya çıkıp blastodiskten geçerek hızla vejetatif kutba ilerlemektedir. Böylece eşit boyutta hücreler meydana gelmektedir (9,16).

Blastula evresi, blastodiskin top gibi küre halinde gözüktüğü aşamadır. Bu evre embriyonun 128 blastomerli aşamasıyla yani 8. zigotik hücre döngüsüyle başlayıp 14. döngüye kadarki kısmı kapsamaktadır. Blastula aşamasında önemli süreçler meydana gelmektedir. Embriyo midblastula geçişine (MBT) girmekte, yolk sinsityal tabaka (YSL) oluşmakta ve epiboli başlamaktadır. Özellikle erken periyotta blastodisk hafifçe elipsoidal görünmektedir. Hücre döngüsünün uzaması midblastula geçişine işaret etmektedir. Bu aşamada tüm döngüler aynı ölçüde ve eş zamanlı olarak gerçekleşmemektedir. MBT'den sonraki herhangi bir zamanda bazı hücrelerin interfazda, bazı hücrelerin ise mitozda olduğu görülmektedir. MBT 10. hücre döngüsüyle birlikte (512-hücreli aşama) görülmekte; bu aşamada hücreler kendi genomlarının transkripsiyonuna başlamakta ve hücreler arasındaki hareketlilik gözlemlenmektedir. YSL oluşturulduktan sonra, ikinci blastodisk katmanı içinde bulunan EVL (zarflama katmanı, enveloping layer) hücreleri artık sınır konumundadır. İlk kez, yeni bölünmüş kardeş hücre çiftleri arasında kısa süreli olanlar hariç blastomerlerin hiçbirinin diğerleriyle sitoplazmik köprüleri yoktur. Epiboli hem YSL'nin hem de blastodiskin yolk üzerinde incilmesi ve yayılması şeklinde gerçekleşmektedir. Epiboli geç blastula evresinde başlamakta ve gastrulasyon evresinde de devam etmektedir (9,17).

Süre	Periyod İsmi	
0-45 dk	Zigot Periyodu	 Zigot 1-hücre 2-hücre
45dk-2.25 sa	Yarıklanma Periyodu	 4-hücre 8-hücre 16-hücre 16-hücre 32-hücre 64-hücre
2.25-5.25 sa	Blastula Periyodu	 128-hücre 256-hücre 512-hücre 1024-hücre 2048-hücre oblong
5.25-10.33 sa	Gastrula Periyodu	 %80 epiboli %90 epiboli kuyruk tomurcuğu 2-somit
10.33-24 sa	Segmentasyon Periyodu	 5-somit 10-somit 12-somit 14-somit 17-somit 18-somit 20-somit
24-48 sa	Faringula Periyodu	 prim-5 prim-11
48-72 sa	Koryondan Çıkma Periyodu	 48-saat 72-saat
72sa-30gün	Larva Periyodu	
30-90 gün	Juvenil Periyodu	
90gün-	Yetişkin Periyodu	

Şekil 1. Zebra balığı evreleri (14,15).

Gastrula periyodu döllenmeden sonra yaklaşık 5. ve 10. saatler arasında sürmektedir. İnvolüsyonun başlangıcı, gastrulasyon evresinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Bu da %50 epiboli aşamasında gerçekleşmektedir. Döllenmeden sonraki yaklaşık 10. saatte epiboli tamamlanmakta, birincil germ katmanlarını ve embriyonik eksenini oluşturan morfojenetik hücre hareketleri meydana gelmektedir. İnvolüsyon, yakınsama ve genişlemenin morfojenetik hareketleri embriyonik eksenin yanında epiblast ve hipoblastı da oluşturmaktadır. Kuyruk tomurcuğu vejetatif kutbun yakınında, baş bölgesi ise animal kutbun yakınında oluşmaktadır. EVL hücreleri ise gastrulasyon sırasında bölünmezler ve içeri kıvrılmazlar. Düzleşmeye devam ederler ve epiboli ile vejetatif kutba doğru yer de-

ğiştirirler. Dorsal epiblast gastrulasyonun sonuna doğru aniden kalınlaşmaya başlamaktadır, bu da merkezi sinir sisteminin temeli olan nöral plakanın morfolojik gelişiminin belirtisidir. Döllenmeden sonraki 10. ve 24. saatler arasında kapsayan segmentasyon evresinde çok çeşitli morfojenetik hareketler meydana gelmektedir. Somitler gelişmektedir; ilk somitler 20 dakikada bir oluşurken, ilerleyen somitler yavaşlayarak 30 dakikada bir oluşmaktadır. Birincil organların temelleri görünür hale gelmekte, kuyruk tomurcuğu belirginleşmekte, baş bölgesinde farklılaşma başlamakta, embriyo uzamakta, yolk küçülmekte ve ilk vücut hareketleri görülmektedir. Notokordda ve anterior-posterior dizilimde farklılaşma görülmektedir. Hücrelerinden bazıları bu organın yapısal elemanları haline gelmek için vakumlanmakta ve şişmekte; diğerleri ise daha sonra organı çevreleyen epitelyal tek tabakalı bir notokord kılıfı oluşturmaktadır. Nöral tüpün erken morfogenezini yakından takiben, ilk nöronlar farklılaşmaya başlamaktadır (9).

Faringula evresi döllenmeden sonraki 24. ve 48. saatler arasında kapsamaktadır. Embriyo iyice gelişmiş bir notokord ve uzun bir post-anal kuyruğun sonuna kadar uzanan yeni tamamlanmış somit setiyle faringula evresine girmektedir. Sinir sisteminin içi boştur (hollow) ve öne doğru genişlemektedir. Mezensefalonun hızlı serebellar morfogenezini ile faringula evresinden hemen önce beyin beş lob haline gelmektedir. Pigmentli retina epitelyumu ve nöral krest türevi melanoforlar dönemin başlangıcında farklılaşmaya başlamakta ve pigmentasyon bu evre boyunca oldukça ilerlemektedir. Yine bu evrede dolaşım sistemi oluşmaktadır. Kalp sadece dönemin başlangıcında oluşmaya başlamakta ve iyi sınırlanmış odalar oluşmaktadır. Kan kapalı kanallardan geçmeye başlamaktadır. Ayrıca belirgin davranışsal gelişmeler olmaktadır. Dokunsal hassasiyet ortaya çıkmakta ve geç segmentasyon döneminde koordine edilmemiş miyotomlarda meydana gelen bükülmeler, ritmik yüzme nöbetlerine dönüşmektedir. Koryondan çıkma evresi, döllenmeden sonraki 48. ve 72. saat aralığındadır. Kuluçka döneminde embriyo daha önceki hızıyla büyümeye devam etmektedir. Organ temellerinin çoğunun morfogenezini oldukça tamamlanmıştır, bazı istisnalar olmak üzere yavaşlamaktadır. Döllenmeden sonraki 72. saat ile 30. gün arasındaki periyot larva evresi olarak isimlendirilmektedir. Bu evrede yüzme kesesi şişmekte, yiyecek arama ve aktif kaçınma davranışları sergilenmektedir. 3. günde yumurtadan çıkan larva morfogenezinin çoğunu tamamlamıştır ve hızla büyümeye devam etmektedir (9).

Larval evredeki büyüme sıcaklık, yoğunluk ve bireysel farklılıklara bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir. Bu nedenle larva aşamalarını standartlaştırmak zor olabilmektedir, ancak boyut larva evrelemesi için iyi bir belirteç olmaktadır. Zebra balığı gelişiminin 3. ayında ise ergin döneme ulaşmaktadır. Balıklar genellikle döllenmeden sonraki 4. haftada ~11 mm boyutuna ulaşırlar ve bu evre-

de juvenil olarak isimlendirilirler. Genellikle döllenen 10 ila 12 hafta sonra da 17 mm'den büyük boyutlara ulaşırlar ve cinsel olarak olgunlaşırlar. Zebra balığının cinsiyetinin belirlenmesinin ardındaki mekanizmalar oldukça karmaşık olup henüz tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu durum cinsiyet kromozomlarının kalıtımına dayanmamakla birlikte, çevresel faktörlerin etkisiyle ya da poligenik cinsiyet belirleme sisteminin katkısıyla olabilmektedir. Erkekler daha pürüzsüz, düz bir karna sahipken, gebe dişiler daha dolgun ve yuvarlak bir karna sahiptirler (3). Farklı pigmentasyon desenleri ve yüzgeç uzunluklarına sahip birkaç yaygın zebra balığı suşu vardır. Balığın AB suşu tipik bir çizgi deseni ve kısa yüzgeçlere sahiptir. TL suşu ise *leo* genindeki mutasyon sonucu oluşan nokta desenine ve *lof* genindeki mutasyon sonucu oluşan uzun ve dökümlü yüzgeçlere sahiptir. Zebra balığı ortalama ömrü suşa ve yetiştirilmeye bağlıdır; yaklaşık 2 yıl sonunda yaşlanma belirtileri göstermeye başlasalar da 3 ila 4 yıl yaşayabilmektedirler (18).

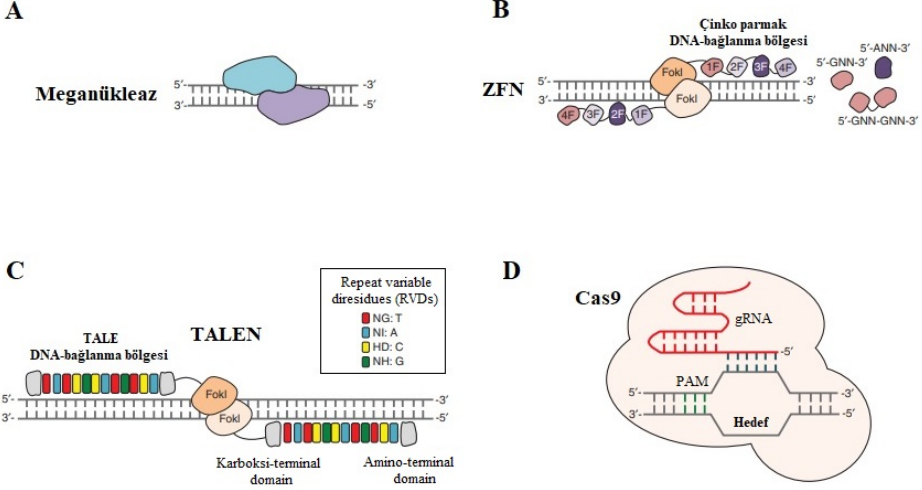
2. GENOM DÜZENLEME TEKNOLOJİLERİ

Son yıllarda, genom düzenleme teknolojilerinin ortaya çıkması ile birlikte genomda hızlı ve ekonomik bir şekilde diziyeye özgü değişiklikler yapmak mümkün olabilmektedir. Genom düzenleme için tasarlanmış endonükleazlar ile belirli DNA dizilimlerinden kesimler yapılmaktadır. Bu hedeflenen nükleazlar, araştırmacılara hemen hemen her genomik diziyi manipüle edebilmeyi, insan hastalıklarının incelenmesi için izojenik hücre hatlarının ve hayvan modellerinin kolayca oluşturulmasını ve insan gen terapisi için heyecan verici yeni olasılıkların ortaya çıkmasını sağlamıştır (19).

Genom düzenleme teknolojilerinin temelinde bölgeye özgü nükleazlar ile hedef genomda çift zincir kırıkları (Double Strand Breaks: DSBs) meydana getirecek, istenilen genlerin eklenmesi, çıkartılması ya da değiştirilmesi yatmaktadır. Bu çift zincir kırıkları, hücre tarafından homoloji yönlendirmeli onarım (Homology-Directed Repair: HDR) veya homolog olmayan uç birleşmesi (Non-homologous End Joining: NHEJ) mekanizmaları ile onarılmaktadır. Hücre döngüsünün tüm aşamalarında aktif olan NHEJ, hataya eğilimli bir onarım mekanizmasıdır. NHEJ onarımı, hedef bölgede indel mutasyonlara neden olmaktadır; bu nedenle bir genin işlevini tamamen durdurmak amacıyla tercih edilmektedir. Hücre döngüsünün S ve G2 fazlarında aktif olan HDR ise, yeni bir genin genoma eklenmesi veya kusurlu genin sağlam alleliyle değiştirilebilmesi amacıyla tercih edilmektedir (20,21,22).

Genom düzenlemede kullanılan endonükleazlar ve sistemler meganükleazlar, çinko parmak nükleazlar (Zinc Finger Nucleases: ZFNs), transkripsiyon aktivatör-benzeri efektör nükleazlar (Transcription Activator-like Effector Nucleases:

TALENs) ve kümelenmiş düzenli aralıklı kısa palindromik tekrarlar (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats: CRISPR)'dır (Şekil 2). Bu dört yöntem ile hedef bölgede farklı yaklaşımlarla değişiklik yapılmasına rağmen yöntemlerin temel basamakları benzerdir.



Şekil 2. Genom düzenleme teknolojileri.

A. Meganükleaz, B. Çinko parmak nükleaz, C. TALEN, D. CRISPR-Cas9 (19).

2.1. Meganükleazlar

Homing endonükleaz olarak da bilinen meganükleazlar, intronlar ve inteinler tarafından kodlanan nadir kesici enzimlerdir (Şekil 2A). Meganükleazların hedef DNA'da bölgeye özgü çift zincir kırıkları yapma özelliği restriksiyon enzimleriyle aynı olsa da; yapı ve tanıma özellikleri açısından birbirlerinden farklıdır. Meganükleazların büyük çoğunluğu, LAGLIDADG, GIY-YIG, H-N-H ve His-Cys kutusu dizi motifleri ile karakterize edilen dört aileden birisine dahildir. Arkea, bakteri ve ökaryotlarda bulunmaktadır. 12-40 bp aralığında değişen spesifik DNA dizilerini tanıyıp, DNA'da çift zincir kırıkları meydana getirmektedirler. Tanıma bölgesinin uzun oluşu spesifikliği artırmakta ve genomdaki kesim noktalarının sayısını azaltmaktadır. Meganükleazlar, monomer veya homodimerler olarak işlev görmektedir. Bazılarının fonksiyonları yardımcı moleküllerden bağımsız gerçekleşirken, bazıları ise aktivitelerini düzenlemek için ilişkili proteinlere ihtiyaç duymaktadırlar (23).

Meganükleazlar genellikle DNA substratlarını dimerler şeklinde keserler ve farklı bağlanma ve kesim domainleri yoktur. DNA'yı tanıma ve kesme bölgeleri birbirinden ayıramadığı için yeni hedefleri tanıyabilen monomerik enzimlerin tasarlanması gerekmektedir. Birçok meganükleaz tanımlanmasına rağmen; her

hedef bölgeye uygun enzimin, doğal olarak bulunması mümkün olmamaktadır. Meganükleazların tanıma bölgelerinde çeşitli tekniklerle değişiklikler yapılabilenkte veya kimerik proteinler oluşturularak hedeflenen bölgeye uygun enzimler üretilebilmektedir (19,21). Meganükleaz yaklaşımı zebra balıklarında başarıyla uygulanmaktadır (24).

2.2. Çinko Parmak Nükleazlar (ZFNs)

Çinko parmak nükleazlar, özel olarak düzenlenebilen ve çift sarmal yapıdaki hedef nükleik asit zincirini spesifik olarak tanıyıp kesme özelliğine sahip endonükleaz enzimlerdir (Şekil 2B). Özel olarak tasarlanmış bir Cys₂-His₂ çinko parmak proteini ile *FokI* restriksiyon endonükleazının kesim bölgesinden (5-7 bp) oluşan füzyon yapıdadırlar. Çinko parmak motifi, ilk olarak *Xenopus laevis* kurbağasına ait TFIIIA (Transkripsiyon Faktörü IIIA)'da bulunmuştur. Her bir çinko parmak birimi ~30 adet amino asit içermektedir ve amino asitlerin merkezde bulunan çinko atomuna bağlanması sonucunda parmak yapısı oluşmaktadır. Çinko parmak proteinler $\beta\beta\alpha$ yapısıyla katlanmaktadır. α -helix yüzeyinde bazı spesifik pozisyonlarda bulunan amino asitler, çinko parmak proteinlerin DNA ile spesifik interaksiyonunu sağlamaktadır. Sadece bu spesifik aminoasitlerin değiştirilmesi ile birlikte farklı dizilere bağlanan çinko parmak proteinler elde edilebilmektedir. Üç veya daha fazla çinko parmak birimi dizi halindedir ve her ayrı çinko parmak üç spesifik nükleotidi tanımaktadır. Böylece, hedeflenen diziyeye spesifik olacak şekilde çinko parmakları arka arkaya birleştirilmekte ve bu şekilde bir yapılanmayla 18-24 bp uzunlukta tanıma bölgesi tasarlanabilmektedir. Enzimin DNA bağlanma bölgesi tasarlandıktan sonra kesim yapacak olan katalitik bölge ile birleştirilmektedir. Çinko parmak nükleazlar dimer şeklinde işlev görmektedir. Bir çift çinko parmak nükleaz, hedef DNA dizilerine bağlanmakta ve birbirleriyle ters şekilde hizalanmaktadır. *FokI* nükleaz domaininin dimerizasyonu onu aktif hale getirmekte ve tanınan diziler arasında çift sarmalda kesim oluşturmasını sağlamaktadır. Kesim işleminin sonucunda NHEJ veya HDR ile hedeflenen bölgede değişiklik yapılmış olur (19,21,25). Zebra balığı embriyolarında, çinko parmak nükleazlar kullanılarak hedeflenen gen inaktivasyonunun oldukça güçlü olduğu bildirilmiştir (26).

Çinko parmak nükleazları ile genomda istenilen her dizinin hedeflenememesi, çinko parmakların tercih edilenler dışında başka üçlü nükleotidlere bağlanabilmesi, bu hedef dışı etki nedeniyle toksisite oluşturabilmeleri, hedeflenen her bölge için yeniden çinko parmak nükleaz üretiminin gerekmesi ve maliyetin yüksek olması nedenleriyle çok tercih edilen bir sistem değildir (21,25).

2.3. Transkripsiyon Aktivatör-benzeri Efektör Nükleazlar (TALEN)

Transkripsiyon aktivatör-benzeri efektör nükleazlar (TALEN) çinko parmak nükleazlara alternatif olarak ortaya çıkmıştır ve çalışma mekanizmaları benzerdir. DNA kesim domaini olarak *FokI* ve bağlanma domaini olarak TALE proteinleri kullanılmaktadır (Şekil 2C). TALE proteinleri bakteriyel efektörlerdir ve bir bitki patojeni olan *Xanthomonas* bakterisinin türlerinde keşfedilmişlerdir. Bu proteinler çeşitli kopya sayılarında her biri 33-35 amino asitten oluşan tekrarlar içermektedir. Her tekrarın 12. ve 13. pozisyonunda “repeat variable diresidue” (RVD) olarak isimlendirilen ikili aminoasit, hedef DNA dizisiyle baz eşleşmesini sağlamaktadır. En yaygın RVD’ler NI, NG, NN veya HD’dir. Bunlar sırasıyla adenin, timin, guanin veya sitozine bağlanmaktadır. TALE dizisi mutlaka timin bazı ile başlamalıdır. TALE proteinleri hedeflenen diziyeye göre birleştirilip DNA bağlanma bölgesi oluşturulmaktadır. Çinko parmak nükleaz sisteminde olduğu gibi *FokI* enzimi dimer olarak çalışmaktadır. DNA’nın hedeflenen bölgesinde kesim yapabilmek için karşılıklı olarak DNA ipliklerine bağlanan bir çift TALEN gerekmektedir. Karşılıklı olarak bağlanan iki TALEN arasında 14-18 bp kadar bir mesafe olmalıdır. TALEN’ler dimerize olmadan nükleaz aktivitesi gerçekleştirilmemektedir. Dimerizasyon gerçekleştiğinde *FokI* endonükleazları hedeflenen DNA dizisinde çift zincir kırıkları oluşturmaktadır. Yine bu kırıkların tamiri NHEJ ya da HDR mekanizmalarıyla yapılmaktadır (19,25).

TALEN sisteminde değiştirilmek istenen hemen her dizi hedeflenebilmektedir. Sistemin spesifikliği oldukça yüksektir ancak bununla birlikte hedef dışı mutasyonların olabileceği rapor edilmiştir. Her bir hedef dizi için iki adet TALEN üretilmesi gerekmektedir, bu da maliyeti yükseltmektedir. TALEN’lerin, hedef DNA’ya artan afiniteleri nedeniyle bazı çinko parmak nükleazlardan daha yüksek spesifite ve daha az toksisite gösterdiği belirtilmektedir. TALEN’ler çinko parmak nükleazlardan çok daha büyüktürler ve lentivirüs veya adeno-ilişkili virüs partikülünün kullanılması yoluyla hücrelere verimli verilmesini sağlayan, oldukça tekrarlayan bir yapıya sahiptirler. Ayrıca hedef dizi için TALEN’lerin hazırlanması çinko parmak proteinlerin hazırlanmasından daha kolay ve daha ekonomiktir. Tüm bu nedenlerden dolayı TALEN sistemi, çinko parmak nükleazlara göre daha fazla tercih edilmektedir. 2011 yılında yılın metodu seçilen TALEN, farklı model sistemlerinde kullanılmaya başlansa da oluşturulması zahmetli ve kullanımı maliyetli olduğu için yaygınlaşması sınırlı kalmıştır. Ancak CRISPR’ların kolay elde edilebilme ve daha düşük maliyet gibi avantajlarına rağmen, TALEN sistemi hedef lokustaki yüksek spesifitesi sebebiyle birçok araştırmacı tarafından halen tercih edilmektedir (19,21,25). TALEN sistemi, zebra balıklarında tüm kromozomal bölgelerin inversiyonu ve delesyonu aracılığıyla veya açık okuma çerçevesi

(Open Reading Frame: ORF) hedeflenmesiyle işlev kaybı (loss-of-function) allelleri oluşturulmasında başarıyla uygulanmaktadır (27).

2.4. Kümelenmiş Düzenli Aralıklı Kısa Palindromik Tekrarlar-CRISPR İlişkili Nükleaz 9 (CRISPR-Cas9)

CRISPR-Cas, yabancı genetik elementleri parçalamak için RNA kılavuzlu nükleazları kullanan mikrobiyal bir bağışıklık sistemidir. Bu sistem yabancı DNA'yı dizisine bağlı olarak kesmekte; bakteri ve arkeaları, invaziv hareketli genetik elementlerden (Mobile Genetic Elements: MGEs) korumaktadır. CRISPR aktivitesinin farklı aşamalarında çok sayıda, çok çeşitli Cas proteini yer almaktadır (28,29). Bakterilerin yaklaşık %45'inde ve arkeaların %85'inde bulunan CRISPR sistemleri, *cas* gen içeriğine göre iki sınıf, altı tip ve 20'den fazla alt tipe ayrılmıştır. Altı tipin her biri, yabancı nükleik asitlerin yok edilmesine aracılık eden fonksiyonel olarak farklı efektör kompleksleri kullanmaktadır. Tip I, Tip II ve Tip V sistemler DNA'yı; Tip VI sistemi RNA'yı hedeflemektedir. Tip III sistemi ise hem RNA'yı hem de DNA'yı hedef almaktadır. Diğer yandan Tip IV sistemi henüz deneysel olarak karakterize edilememiştir (30). CRISPR aktivitesi ile ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalar *Streptococcus pyogenes* (Tip II-A), *Streptococcus thermophilus* (Tip II-A, Tip I-E, Tip III-A), *Sulfolobus islandicus* (Tip III-B), *Pseudomonas aeruginosa* (Tip I-E ve Tip IIA) ve *Escherichia coli* (Tip I-E) olmak üzere birkaç model sistem ile sınırlıdır. Maalesef *E. coli* ve diğer organizmalardaki bazı CRISPR sistemleri, doğal olarak aktif görünmemektedir. Çoğu işlem *in vitro* veya heterolog CRISPR makineleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum da orijinal aktiviteye ilişkin bilgilerin edinilmesini zorlaştırmaktadır (29).

CRISPR-Cas sisteminin savunma mekanizması adaptasyon, ekspresyon ve interferans olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. CRISPR bağışıklığının ilk aşaması olan adaptasyon sırasında, MGE'lerden gelen yabancı DNA dizileri kopyalanmakta ve korunmuş tekrarlarla çevrili benzersiz aralık dizileri şeklinde yinelenmeli olarak konak dizisine yapılandırılmaktadır. CRISPR bağışıklığının ikinci aşaması olan ekspresyon, her biri tek bir kısmi aralayıcı ve kısmi tekrar içeren özgün küçük crRNA'ların (CRISPR RNA) biyogenezine yol açmaktadır. Bu RNA'lar, Cas proteinlerini komplementer yabancı nükleik asit hedefine yönlendirmek için bir kılavuz molekül işlevi görmektedir. Tip II-A dahil olmak üzere CRISPR-Cas sistemlerinin bazı spesifik alt tipleri, Cas9 imza endonükleazı yönlendirebilen özgün crRNA'ları oluşturmak için tracrRNA (trans-aktif edici CRISPR RNA) adı verilen ikinci bir RNA molekülü gerektirmektedir. CRISPR bağışıklığının son aşaması olan interferans, hücreye yeniden verildiğinde yabancı DNA'nın hedeflenmesi ve bölünmesidir. Cas proteinleri, yabancı hedefte bir

PAM (protospacer adjacent motif) oluşumu yoluyla kendini kendi olmayan hedeflerden ayırabilmektedir (29)

Emmanuelle Charpentier ve Jennifer A. Doudna'ya 2020 Nobel Kimya Ödülü'nü kazandıran CRISPR-Cas9 teknolojisi yüzyılın en önemli keşiflerinden biri olarak gösterilmektedir. 2012 yılında Charpentier, Doudna ve ark., Cas9 proteini tarafından hedef tanınmanın yalnızca crRNA içinde bir çekirdek dizisi (seed sequence) ve crRNA bağlanma bölgesinin upstream (akış yukarı) kısmında korunmuş bir PAM motifi gerektirdiğini bildirmişlerdir. Bu süreçten sonra sistem genom mühendisliğinde kullanım için basitleştirilmeye çalışılmıştır. Böylelikle günümüzde bu sistem yalnızca Cas9 nükleaz ve temel crRNA ve tracrRNA öğelerini içeren tek kılavuz RNA (single guide RNA: sgRNA) ile gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 2D) (19).

CRISPR-Cas9 sisteminin ZFN ve TALEN sistemlerinden temel farkı RNA tabanlı olmasıdır. Hedef bölge tanıma tamamen gRNA tarafından yapıldığından, CRISPR-Cas9 genom düzenleme için en esnek ve kullanıcı dostu platform olarak ortaya çıkmıştır. Her yeni hedef bölgeyi tanımak için yeni proteinler tasarlama ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Güçlü bir gen düzenleme aracı olarak uyarlanmış; kullanım kolaylığı ve maliyet etkinliği gibi avantajları sayesinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Cas9 hedef bölgesi tanıma için tek büyük kısıtlama, Cas9 nükleaz tarafından tanınan ve DNA bölünmesi için gerekli olan PAM motifinin, gRNA hedef bölgesinin hemen downstream (akış aşağı) kısmına yerleştirilmesidir (19,31).

Zebra balıklarında gen transkripsiyonunu ve fonksiyonunu değiştirmek amacıyla pek çok teknik geliştirilmiş ve uygulanmıştır. CRISPR-Cas9, hızlı ve doğru genom düzenlemeye olanak sağladığı için zebra balıklarında en sık kullanılan teknik haline gelmiştir (1). Zebra balıklarında, eksojen genlerin hedeflenen entegrasyonu (knock-in), hedeflenen genlerin bozulmasına (knock-out) göre teknik olarak daha zorlayıcıdır. Çoğu uygulamada çift zincir kırıkları kaynaklı mutasyonlar oluşturulmasına rağmen, optimum kontrol hassasiyetine sahip knock-in oluşturmak için seçilen bir genomik lokasyonda homoloji yönlendirmeli onarımı geliştirmek için de CRISPR-Cas9 teknolojisini kullanmak mümkündür (32,33).

Zebra balıklarında CRISPR-Cas9 sistemi kullanılarak normal gelişim, homeostazi ve insan hastalıklarının altında yatan mekanizmaların anlaşılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir (34). Bugüne kadar CRISPR-Cas9 sistemi dokuya özgü gen bozulmaları (35), tek nükleotid değişiklikleri (36), spesifik hedef bölgelere eksojen DNA katılması (37,38) ve gen knock-out (39,40) çalışmalarında başarıyla uygulanmıştır. Nörolojik, işitme, böbrek, hepatik, kardiyovasküler ve kas/iskelet bozuklukları ile çeşitli yapısal doğum kusurlarının etiolojisini aydınlatmak amacıyla pek çok başarılı zebra balığı modelleri oluşturulmuştur (1).

REFERANSLAR

1. Cornet C, Di Donato V, Terriente J. Combining zebrafish and CRISPR/Cas9: toward a more efficient drug discovery pipeline. *Front Pharmacol.* 2018;9:703.
2. Sharma P, Sharma S, Patial V, Singh D, Padwad YS. Zebrafish (*Danio rerio*): a potential model for nephroprotective drug screening. *Clinical Queries: Nephrol.* 2014;3(2-4):97-105.
3. Meyers JR. Zebrafish: development of a vertebrate model organism. *Curr Protoc Essent Lab Tech.* 2018;16(1):e19.
4. Parichy DM. The natural history of model organisms: Advancing biology through a deeper understanding of zebrafish ecology and evolution. *Elife.* 2015;4:e05635.
5. Engeszer RE, Patterson LB, Rao AA, Parichy DM. Zebrafish in the wild: A review of natural history and new notes from the field. *Zebrafish.* 2007;4:21–40.
6. Streisinger G, Walker C, Dower N, Knauber D, Singer F. Production of clones of homozygous diploid zebra fish (*Brachydanio rerio*). *Nature.* 1981;291(5813):293-296.
7. Mullins MC, Nüsslein-Volhard C. Mutational approaches to studying embryonic pattern formation in the zebrafish. *Curr Opin Genet Dev.* 1993;3(4):648-654.
8. Fishman MC, Stainier DY. Cardiovascular development. Prospects for a genetic approach. *Circ Res.* 1994;74:757-763.
9. Kimmel CB, Ballard WW, Kimmel SR, Ullmann B, Schilling TF. Stages of embryonic development of the zebrafish. *Dev Dynam.* 1995;203:253-310.
10. Gerhard GS. Comparative aspects of zebrafish (*Danio rerio*) as a model for aging research. *Exp Gerontol.* 2003;38(11-12):1333-1341.
11. Howe K, Clark MD, Torroja CF, Torrance J, Berthelot C, Muffato M, ... & McLaren S. The zebrafish reference genome sequence and its relationship to the human genome. *Nature.* 2013;496(7446):498-503.
12. Best JD, Alderton WK. Zebrafish: an in vivo model for the study of neurological diseases. *Neuropsychiatr Dis Treat.* 2008;4(3):567.
13. Sola L, Gornung E. Classical and molecular cytogenetics of the zebrafish, *Danio rerio* (Cyprinidae, Cypriniformes): an overview. *Genetica.* 2001;111(1-3):397-412.
14. https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Zebrafish_Development

15. Westphal RE, OMalley DM. Fusion of locomotor maneuvers, and improving sensory capabilities, give rise to the flexible homing strikes of juvenile zebrafish. *Front Neural Circuits*. 2013;7:108.
16. Souder JP, Gorelick DA. Quantification of estradiol uptake in zebrafish embryos and larvae. *Toxicol Sci*. 2017;158(2):465-474.
17. Kane DA, Kimmel CB. The zebrafish midblastula transition. *Dev.* (Cambridge, England). 1993;119:447-456.
18. Gerhard GS, Kauffman EJ, Wang X, Stewart R, Moore JL, Kasales CJ, ... & Cheng KC. Life spans and senescent phenotypes in two strains of Zebrafish (*Danio rerio*). *Exp Gerontol*. 2002;37(8-9):1055-1068.
19. Gaj T, Sirk SJ, Shui SL, Liu J. Genome-editing technologies: principles and applications. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2016;8(12):a023754.
20. Zaboikin M, Zaboikina T, Freter C, Srinivasakumar N. Non-homologous end joining and homology directed DNA repair frequency of double-stranded breaks introduced by genome editing reagents. *PLoS One*. 2017;12(1):e0169931.
21. Tufan F. Genom Düzenleme Teknolojileri ve Bitkilerdeki Uygulamaları. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 2019;2(1):113-133.
22. Kriegs M, Kasten-Pisula U, Rieckmann T, Holst K, Saker J, Dahm-Daphi J, Dikomey E. The epidermal growth factor receptor modulates DNA double-strand break repair by regulating non-homologous end-joining. *DNA Repair*. 2010;9(8):889-897.
23. Belfort M, Roberts RJ. Homing endonucleases: keeping the house in order. *Nucleic Acids Res*. 1997;25(17):3379-3388.
24. Grabher C, Joly JS, Wittbrodt J. Highly efficient zebrafish transgenesis mediated by the meganuclease I-SceI. *Methods Cell Biol*. 2004;77:381-401.
25. Akbudak MA, Kontbay K. Yeni Nesil Genom Düzenleme Teknikleri: ZFN, TALEN, CRISPR'lar ve Bitkilerde Kullanımı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*. 2017;26(1):111-126.
26. Meng X, Noyes MB, Zhu LJ, Lawson ND, Wolfe SA. Targeted gene inactivation in zebrafish using engineered zinc-finger nucleases. *Nat Biotechnol*. 2008;26(6): 695-701.
27. Auer TO, Del Bene F. CRISPR/Cas9 and TALEN-mediated knock-in approaches in zebrafish. *Methods*. 2014;69(2):142-150.
28. Ran FA, Hsu PD, Wright J, Agarwala V, Scott DA, Zhang F. Genome engineering using the CRISPR-Cas9 system. *Nat Protoc*. 2013;8(11):2281-2308.

29. Crawley AB, Henriksen ED, Stout E, Brandt K, Barrangou R. Characterizing the activity of abundant, diverse and active CRISPR-Cas systems in lactobacilli. *Sci Rep.* 2018;8(1):1-12.
30. McGinn J, Marraffini LA. Molecular mechanisms of CRISPR–Cas spacer acquisition. *Nat Rev Microbiol.* 2019;17(1):7-12.
31. Cui Y, Xu J, Cheng M, Liao X, Peng S. Review of CRISPR/Cas9 sgRNA design tools. *Interdiscip Sci.* 2018;10(2):455-465.
32. Kawahara A. CRISPR/Cas9-Mediated Targeted Knockin of Exogenous Reporter Genes in Zebrafish. In *Genome Editing in Animals* Humana Press, New York, NY. 2017;165-173.
33. Eschstruth A, Schneider-Maunoury S, Giudicelli F. Creation of zebrafish knock-in reporter lines in the nefma gene by Cas9-mediated homologous recombination. *Genesis.* 2020;58(1):e23340.
34. Liu K, Petree C, Requena T, Varshney P, Varshney GK. Expanding the CRISPR toolbox in zebrafish for studying development and disease. *Front Cell Dev Biol.* 2019;7:13.
35. Ablain J, Durand EM, Yang S, Zhou Y, Zon LI. A CRISPR/Cas9 vector system for tissue-specific gene disruption in zebrafish. *Dev Cell.* 2015;32(6):756-764.
36. Hung MW, Zhang ZJ, Li S, Lei B, Yuan S, Cui GZ, ... & Lee SMY. From omics to drug metabolism and high content screen of natural product in zebrafish: a new model for discovery of neuroactive compound. *Evid-Based Complement Alternat Med.* 2012.
37. Auer TO, Durore K, De Cian A, Concordet JP, Del Bene F. Highly efficient CRISPR/Cas9-mediated knock-in in zebrafish by homology-independent DNA repair. *Genome Res.* 2014;24(1):142-153.
38. Kimura Y, Hisano Y, Kawahara A, Higashijima SI. Efficient generation of knock-in transgenic zebrafish carrying reporter/driver genes by CRISPR/Cas9-mediated genome engineering. *Sci Rep.* 2014;4(1):1-7.
39. Jao LE, Wentz SR, Chen W. Efficient multiplex biallelic zebrafish genome editing using a CRISPR nuclease system. *Proc Nat Acad Sci.* 2013;110(34):13904-13909.
40. Hruscha A, Krawitz P, Rechenberg A, Heinrich V, Hecht J, Haass C, Schmid B. Efficient CRISPR/Cas9 genome editing with low off-target effects in zebrafish. *Development.* 2013;140(24):4982-4987.

– Bölüm-5 –

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ
TÜRKİYE ELEKTRİK SİSTEMİNE
ENTEGRASYONU**

Dr. Mehmet BULUT¹

¹ *Elektrik Üretim A.Ş Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye, mehmetbulut06@gmail.com.
Orcid: 0000-0003-3998-1785*

1. Giriş

Toplumun yaşam standartlarının makul düzeyde tutulması için sosyal ve ekonomik kalkınma, refah ve sağlığa olan taleple birlikte enerji ihtiyacı artmaktadır. Bu hizmetlerin günümüz ve gelecek nesiller için sürekliliğini sağlamak için, “enerji sistemi”nin kendisi sürdürülebilir olmalıdır[3]. Yenilenebilir enerji kaynakları, “doğanın kendi düzeninde ertesi gün bulunabilecek enerji kaynağı” olarak ifade edilmektedir. Fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak sunulan yenilenebilir enerji kaynakları, çevreye sera gazı salmayan, doğada süreklilik gösteren ve uzun vadede verimli olan enerjilerdir [1], [2]. Başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarının örnekleri güneş, rüzgar, hidrojen, hidroelektrik ve jeotermaldir. İklim değişikliğinin azaltılmasına yardımcı olmak için yenilenebilir enerjilere dönüş yapmak, gelecek nesillerin enerji talebini karşılamak için sürdürülebilir olması gereken mükemmel bir yaklaşımdır [6], [7]. Rüzgar, güneş pili temelli güneş santralleri ve termal güneş enerjisi konsantrasyonu gibi yenilenebilir enerji kaynak santralleri, elektrik talebini karşılamak ve toplam güç kapasitesine katkıda bulunarak arz esnekliğini artırmak için enerji depolama teknolojileri ile birlikte yeteneklerini artırma eğilimindedir [8], [9].

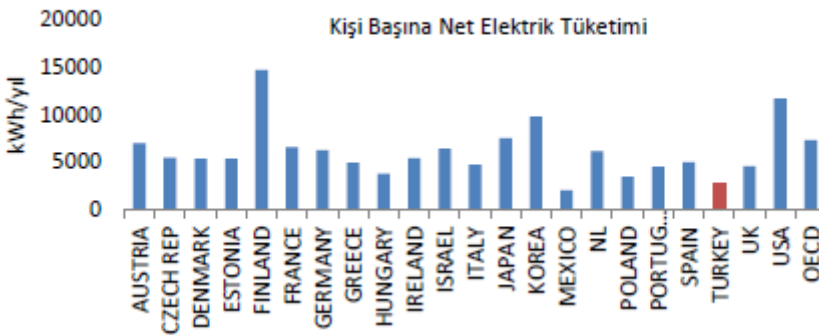
Türkiye ekonomisi ve sanayisi, nüfusun artmasıyla daha hızlı büyümekte ve bu da sürekli olarak daha fazla enerji talebi sonucunu doğurmaktadır. Türkiye’de fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretiminde ikincil enerji kaynağı olan doğalgaz, kömür, petrol ve asfalt halen büyük oranda faydalanılmaktadır. Aynı zamanda, elektrik üretiminde hidrolik, rüzgar, jeotermal ve biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Son on yılda rüzgar, güneş ve nükleer enerjiden elektrik üretmek için yoğun çalışmalar başlatılmıştır[10], [11]. Ülkenin elektrik talebinin büyük bir kısmının gaz emisyonu üretmeyen temiz yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması mümkün görünmektedir. Türkiye birçok enerji kaynağına sahip olmasına rağmen hidrokarbon rezervleri için yüksek potansiyele sahip olmayıp, ancak coğrafi konumu nedeniyle güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük potansiyele sahiptir. Türkiye’de enerji arzında enerji güvenliğinin sağlanması, temiz enerji kaynaklarının arzında yenilenebilir enerjinin payının artırılması, enerji verimliliğinin artırılması, elektrik üretiminde fosil yakıt kullanımının azaltılması, emisyonların azaltılmasını amaçlamaktadır[12],[13]. Ayrıca bu kaynaklardan azami ölçüde yararlanmak, ülkedeki çevre bilincini artmasına da katkı sağlayacaktır. Türkiye, her yıl artan elektrik talebini düzenli bir şekilde karşılamak için yeterli düzeyde devreye koyabileceği yenilenebilir enerji kaynak potansiyeline sahiptir. İlgili kurumlar tarafından yapılan projeksiyonlar, Türkiye’nin elektrik üretim kapasitesi için tahmini kurulu gücün 2024 ve 2029 yılları için sırasıyla yaklaşık 111.710 MW ve 127.754 MW olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, özellikle hidroelektrik, güneş, rüzgar v.b yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi incelenerek, Türkiye'nin elektrik şebekesine bağlanacak yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonuna ilişkin bir analiz yapılmıştır. Yenilenebilir elektrik üretim teknolojilerinin kurulu kapasitesindeki artış, özellikle rüzgar ve güneş enerjisinin artan payı Türkiye'nin elektrik sistemindeki durumu incelenmiştir. Önümüzdeki yıllarda Türkiye'nin elektrik kurulu gücünün ne kadarının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanabileceği sorusuna cevap bulmak için bir analiz çalışması yapılmıştır.

Buradaki yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanılan veri değerlendirme ve bilgi çıkarım çalışması, çeşitli kaynaklar tarafından yayınlanan kamuya açık veriler toplanarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan veriler EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu), EPİAŞ (Türkiye Enerji Borsası), TEİAŞ (Türkiye İletim Sistemi İşletmecisi), TEİAŞ Yük Tevzi Merkezi, TEDAŞ (Türkiye Dağıtım Sistemi İşletmecisi) web sayfalarındaki kamuya açık bilgilerden faydalanılmıştır.

2. Türkiye'nin Mevcut Elektrik Üretim Kapasitesi

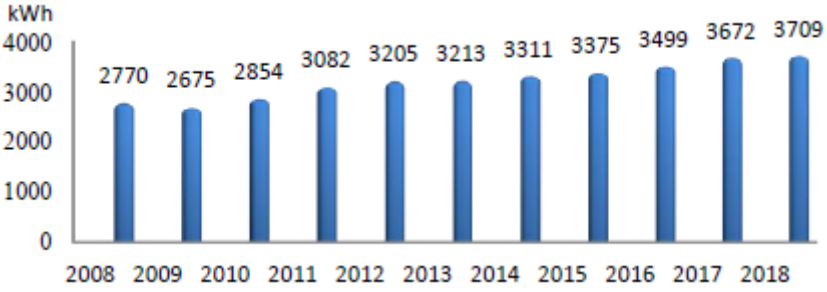
Kişi başına tüketilen enerji miktarı, ülkelerin gelişmişlik ve refah düzeyinin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Dünya genelinde gelişmiş ülkelerde kişi başı elektrik kullanımının doygunluk noktası ve sabit değere yakın sürekli olması nedeniyle enerji tüketimi önemli ölçüde artmamaktadır. Ancak gelişmekte olan ülkeler hala gelişmişlik seviyelerini korurken, toplam elektrik tüketimi ve kişi başına kullanılan elektrik miktarı her yıl artmaktadır.



Şekil 1: 2017 yılı OECD ülkeleri kişi başına elektrik tüketimi

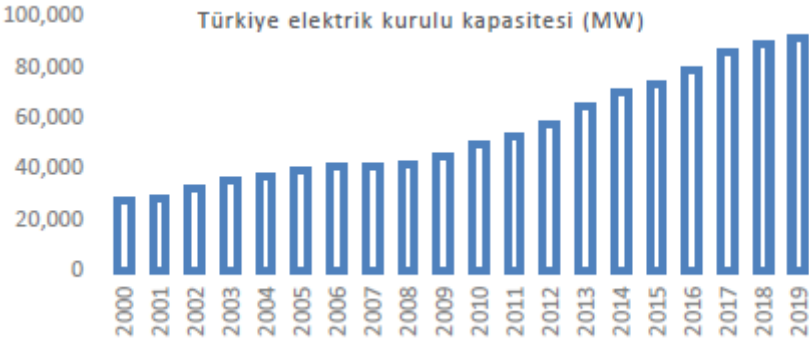
Gelişmiş ülkeler bu açıdan değerlendirildiğinde, OECD'nin ortalama yıllık enerji tüketiminin kişi başına yaklaşık 6500 kWh olduğu, Avrupa ülkelerinde ise kişi başına yıllık enerji tüketiminin 10.000 kWh / yıl olduğu görülmektedir. Şekil

1, 2’de görüldüğü gibi, Türkiye’de kişi başına brüt elektrik üretimi 3700 kWh / yıl ve net tüketim yaklaşık 2855 kWh / yıl’dır. Ülkenin kalkınma sürecine baktığımızda, gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye’nin, buna paralel olarak Şekil 2’de görüleceği üzere kişi başına elektrik tüketiminin de önümüzdeki yıllarda istikrarlı bir şekilde artacağını göstermektedir [14].



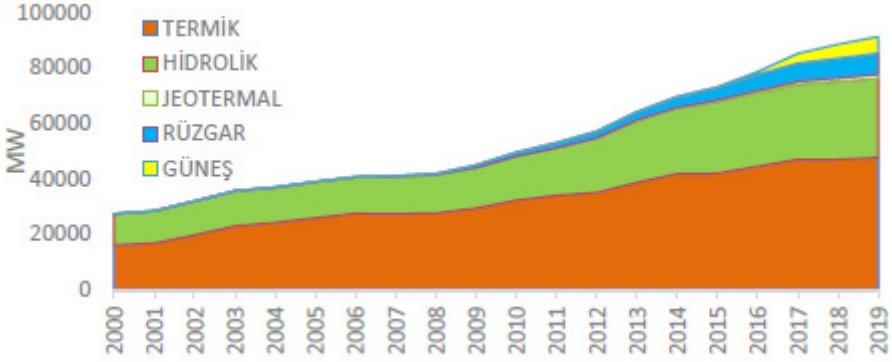
Şekil 2: Türkiye’de kişi başına brüt elektrik tüketiminin değişimi

Elektrik tüketimi, ekonomik kalkınmanın temel göstergelerinden biridir ve elektrik enerjisi sanayi sektöründe kritik bir öneme sahiptir. Bu anlamda ülkeler, baz yükleri karşılamak için yenilenebilir kaynakları kullanmaya çalışmaktadırlar. Türkiye’nin elektrik kurulu güç kapasitesi, son yıllarda büyüme hızında yavaşlama gösterse de her yıl artmaktadır. 2019 sonu itibarıyla Türkiye’nin kurulu gücü 91.267 MW’a ulaştı ve bu 15 yılda 3 kat artış anlamına gelmektedir (Şekil 1).



Şekil 3. Türkiye’nin yıllık kurulu güç kapasitesi artışı, MW.

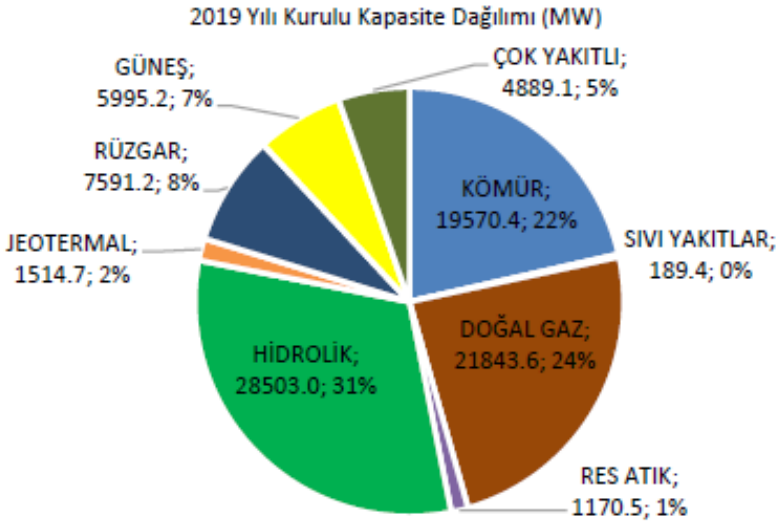
2019 yıl sonu itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapan santrallerin toplam kurulu güç kapasitesi 44.405 MW’a ulaşmıştır. Yenilenebilir kurulu güç %31,2 ile hidrolik santraller,%8,32 rüzgar santralleri,% 6,57 ile güneş santralleri ve% 1,66 ile jeotermal santrallerden oluşmaktadır [15].



Şekil 4: Türkiye kaynaklara göre kurulu gücün yıllara göre değişimi

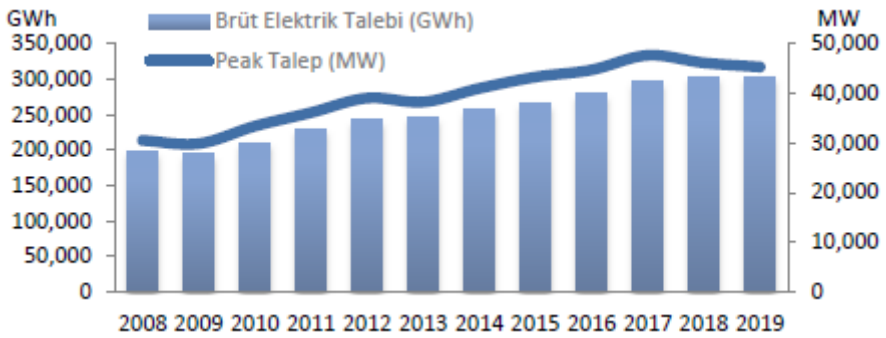
Kaynak türüne göre kurulu güç kapasiteleri incelendiğinde, Şekil 4’de de görüleceği üzere 2019 yılında güneş santralleri bir önceki yıla göre %18,4 artarak 5995 MW’a,rüzgar santralleri ise %8,4 artarak 7591 MW’a çıktığı görülmektedir. Hidroelektrik santraller de dahil olmak üzere 2019 yılı sonunda yenilenebilir enerji santrallerinin kurulu güç içindeki payı % 47,8’e yükselmiştir ve yenilenebilir kaynaklar içinde güneş santralleri kurulu güçte en yüksek artışa sahip olmuştur [16], [17].

Şekil 4’de görüldüğü üzere Türkiye’nin elektrik kurulu gücü 2018 yılına göre %3,07 artarak 2019 sonunda 91.267 MW’a ulaşmıştır. 2019 yılı sonu itibarıyla Türkiye’nin toplam üretilen elektrik enerjisi kurulu kapasitesinin enerji kaynaklarına dağılımı; doğalgaz santrallerinin payı 21843,6 MW ile %24, hidrolik santrallerin payı 28503 MW ile %31,2, rüzgar enerjisi santrallerinin payı 7591 MW ile %8 ve güneş santrallerinin payı 5995 MW ile %7 oluşturmaktadır. Türkiye’nin elektrik kurulu kapasitesi içinde kömürün payı %22 ve bunun %11,07’si ile 10.101 MW kapasiteli linyit santralleri, %9,82’si ise 8.966,9 MW kapasiteli ithal kömüre dayalı santraller oluşturmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5: 2019 yılı Türkiye'nin kaynaklara göre elektrik kurulu gücü (MW)

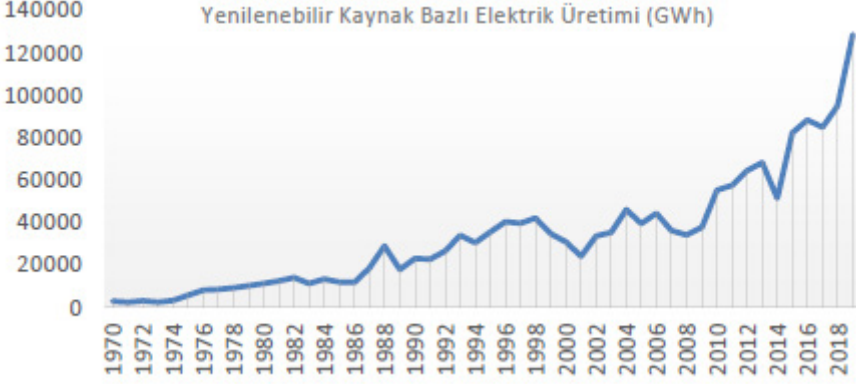
Türkiye’de 2018 yılından beri her yıl yaklaşık 300 TWh elektrik talebi olmaktadır. Türkiye’de brüt elektrik talebi 2018 yılında 304,8 milyar kWh olurken 2019 yılında ise ülkenin elektrik üretimi 304,6 milyar kWh olarak gerçekleşirken brüt elektrik talebi ise bunun altında 303,7 milyar kWh olarak gerçekleşti. Şekil 6’de gösterildiği gibi 2018 yılında elektrik talebinin % 3,8 artarken 2019 yılında global ekonomik durgunluk sebebiyle aynı miktarda kalmıştır.



Şekil 6: Türkiye'nin elektrik üretimi ve puant talep değişimi.

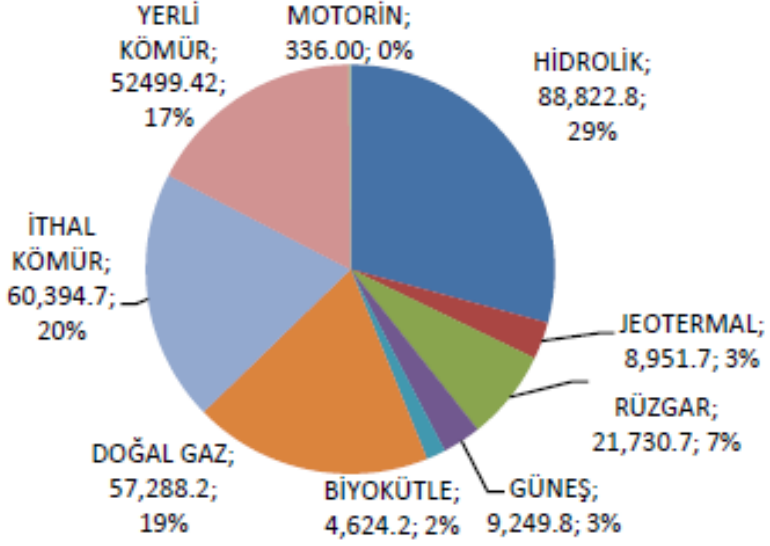
Türkiye'nin elektrik talebi sürekli artmasına rağmen, 2017'den sonra genel olarak küresel ekonomik durgunluk nedeniyle yavaşlama göstermiştir. Türkiye 2018 yılında brüt elektrik talebi olarak %2,5 artışla 304,8 milyar kWh olarak gerçekleşirken 2019 yılında bir yıl önceki değerinde kalmıştır (Şekil 6). Bununla bir-

likte uzun yıllardan beri ülkedeki yıllık elektrik talebi sürekli olarak %4-8 arasında artış göstermiştir. Anlık elektrik güç talebi olarak ifade edilen paunt güç talebi yıllara göre artış göstermekle beraber 2017 yılından sonra biraz azalma meydana gelmiş ve sonraki yıllarda yine artış eğilimine girmiştir. Türkiye'nin yıllık maksimum puant talebi yaklaşık 50 000 MW civarındadır.



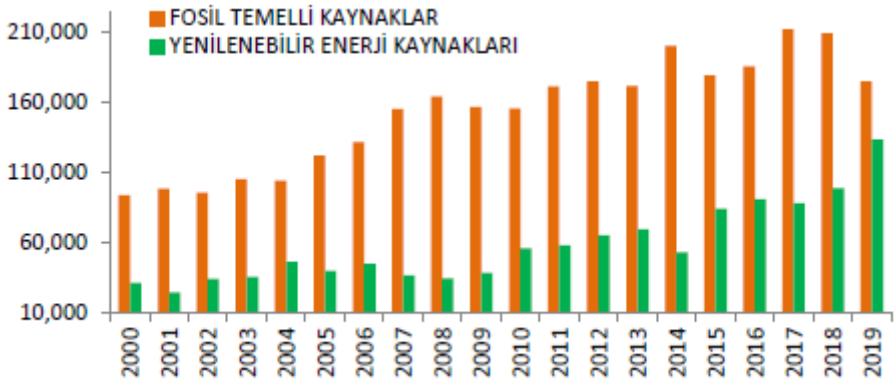
Şekil 7: Türkiye yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi.

Yapılan projeksiyonlarda Türkiye'nin enerji kullanımının önümüzdeki on yıl içinde % 50 artması beklenmektedir. Türkiye'de 20 yıl önce kullanılmaya başlanan rüzgar enerjisinin yanı sıra jeotermal ve güneş enerjisi kaynaklarından elektrik üretimi için de çok önemli bir adım atılmıştır. 2018 yılında Türkiye elektrik üretiminin % 37,3'ü kömürden,% 29,8'i doğalgazdan,% 19,8'i hidrolik enerjiden,% 6,6'sı rüzgar enerjisinden,% 2,6'sı güneş enerjisinden,% 2,5'i jeotermal enerjiden ve% 1,4'ü diğer kaynaklardan sağlanmıştır. Türkiye'de rüzgar ve güneş enerjisine dayalı kurulu elektrik gücü, son 20 yılda büyük bir atılım yaptı. 2000 yılında kurulu rüzgar gücü 18,9 MW iken 2019 sonunda 7519,2 MW'a ulaştı. Güneş enerjisinden elektrik üretimi 2013 yılında sıfır iken 2019 sonunda 5995,2 MW'a ulaştı (Şekil 7 ve 8).



Şekil 8: Türkiye'nin 2019 yılı brüt elektrik üretiminin enerji kaynaklarına göre üretim miktarı (GWh) ve dağılımı (%)

Rüzgar enerjisinde Türkiye, Almanya'nın üçte biri kapasitesine sahip olmasına rağmen, pv güneş santral kapasitesine göre Almanya'nın yaklaşık beşte biri değerindedir. Son 20 yılda rüzgar ve güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi Türkiye'de büyük bir atılım yaptı. 2000 yılında Türkiye'nin toplam rüzgar enerjisine dayalı elektrik üretimi 33,4 GWh iken 2019 sonunda 21.317,6 GWh'ye ulaşmıştır. Türkiye'nin güneş pillerine dayalı elektrik üretim kapasitesi; 2013 yılında kapasite değeri sıfır olmasına rağmen, güneş santrallerinin elektrik üretimi 2019 sonunda 10000 GWh sınırına ulaşmıştır (Şekil 8).

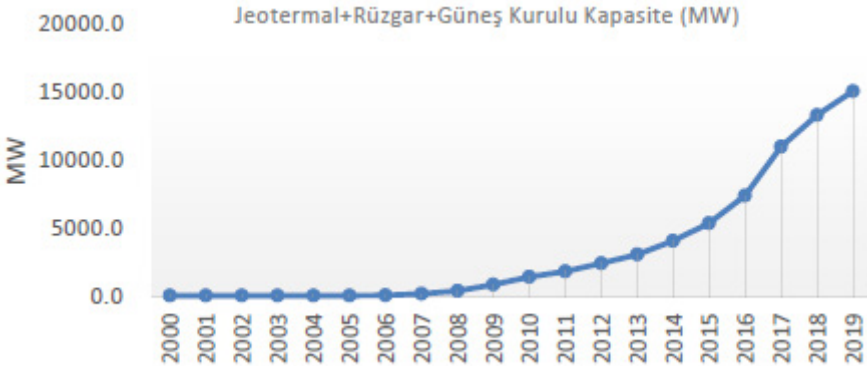


Şekil 9: Türkiye'nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil temelli kaynakların bir karşılaştırılması

Ancak Türkiye'nin brüt elektrik üretimi 2019 yılı sonunda geçici verilere göre 303,8 milyar kWh'e ulaştı. Dünyadaki genel ekonomik durgunluk nedeniyle elektrik talebi bir önceki yıla göre 1 milyar kWh düşmesine rağmen; Türkiye'nin enerji kullanımının önümüzdeki on yılda %50 artması bekleniyor. Bu artan elektrik talebini de sürekli artış gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlama yönünde büyük bir irade göstermektedir. (Şekil 9). Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki yıllık bazdaki değişim daha çok su gelirlerine bağlı olarak elektrik üretim miktarları değişen hidrolik santrallerden kaynaklanmaktadır. Rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ise kurulu kapasitenin artması oranında her sene artış göstermektedir. 2019 yılında hidrolik santrallerden 89 milyar kWh, rüzgar santrallerinden 21,7 milyar kWh, güneş santrallerinden 9 milyar kWh, jeotermal santrallerden 9 milyar kWh ve biyokütle santrallerinden 4,6 milyar kWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir.

3. Türkiye'deki Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından şanslı bir coğrafyada yer almaktadır. Özellikle hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle enerji potansiyelleri açısından zengindir. Türkiye'de son yıllarda rüzgar ve güneş enerjisi dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızla artmış ve 2019'in sonunda güneş enerjisi kurulu gücü 6000 MW ve rüzgar enerjisi 8000 MW'a yaklaştığı kısa sürede yenilenebilir enerji üretiminde rekor büyüme kaydedilmiştir. Türkiye'de hidrolik santrallerden elektrik üretimi çok eski yıllarda başlamış ve sürekli bir artış göstermiştir. Ancak diğer yenilenebilir enerji kaynakları olan jeotermal, rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretiminde ise rüzgarda 10 yıl ve güneşte ancak 5 yıl öncesine gidilmektedir. Şekil 10'da görüleceği üzere 2007 yılında jeotermal, rüzgar ve güneş kurulu kapasitesi sıfır iken sonraki yıllarda çok dik bir artış eğilimi göstermiştir.



Şekil 10: Türkiye Jeotermal+Rüzgar+Güneş Kurulu Kapasite (MW) yıllara göre değişimi

Gelecekte, Türkiye'nin hidroelektrik santralleri ile birlikte elektrik üretiminin büyük bir kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi çok hızlı ulaşılabılır bir seçenek olarak görünüyor. Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilir kaynaklardan faydalanması konusunda son 10 yıl içinde büyük atak göstermiştir. Elektrik üretiminde; Son 10 Yılda; Rüzgarda 7.5 kat, Jeotermalde 13 kat ve Son 5 Yılda; Güneşte 48 kat, Biyokütlede 2,6 kat artış gerçekleştirmiştir.



Şekil 11: 2019 yılı AB belli başlı ülkeleri ile Türkiye'nin toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payı (%)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde Türkiye'nin yerini görmek için Şekil 11'de AB ülkeleri ile bir karşılaştırma grafiği verilmiştir. Türkiye'nin 2018 yılında elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %32.4 iken 2019 yılında yüzde 35 artış göstererek yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde % 43,9'a çıkmıştır. Bu dönemde AB-27 ülkelerinin payı ise %34'te kalmıştır. AB belli başlı ülkeleri ile Türkiye'nin 2019 yılındaki toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının paylarının karşılaştırmalı grafiği Şekil 11'da gösterilmiştir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin 2019 yılında Almanya, Fransa, İtalya, İspanya, İngiltere ve Finlandiya'nın üzerine çıktığı görülmektedir [18].

3.1 Hidrolik Enerji

Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konumuna göre her yıl her döneminde yağış almadığı için barajlar ve hidroelektrik santralleri yapmaya için diğer ülkelere daha fazla ihtiyacı vardır. Hidroelektrik santraller çevre dostu olmaları, ekonomik ve sosyal yapıyı canlandırmaları, işletmecilik açısından daha düşük potansiyelli riskler taşımaları ve elektrik sistemindeki ani talep değişikliklerine hızlı cevap verebilmeleri nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Türkiye, 25 akarsu havzasından oluşmakta olup bu akarsuların çoğu ülke sınırları içinden doğmakta ve ülke içinde denize dökülmektedir. Türkiye'de yağışlar bölgelere ve mevsimlere

göre değişkenlik göstermekte olup, akarsu akış hızlarının / rejimlerinin nehir yatağının eğimlerine göre taşıdığı su miktarına göre yıl içinde farklılık göstermektedir. Nehir yatak eğimlerinin yüksek olması nedeniyle nehirlerden hidroelektrik enerji üretme potansiyeli vardır. Türkiye’de ortalama yıllık yağış miktarı 527 mm civarındadır, bu değer yılda 450 milyar m³ suya karşılık gelmektedir. Ancak günümüzün teknik ve ekonomik koşulları çerçevesinde çeşitli amaçlarla tüketilebilecek Kullanılabilir yüzey suyu yılda ortalama 94 milyar m³’tür [19].

Hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde brüt potansiyel, teknik potansiyel ve ekonomik potansiyel kavramları önemlidir. Türkiye’nin teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh, teknik potansiyel 216 milyar kWh ve hem teknik hem de ekonomik olarak uygulanabilir potansiyel 130 milyar kWh olarak hesaplanmıştır. Türkiye’nin brüt potansiyeli dünya toplam potansiyelinin (433.000 GWh / yıl) % 1 ve Avrupa toplamının % 16’sı kadardır. Devlet Su İşleri’nin yaptığı çalışmalarda, Türkiye teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh / yıl ve teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 216 milyar kWh / yıl olarak hesaplanmıştır [20].

Tablo 1: 2020 yılı sonu itibariyle HES Potansiyel Durumu.

Durum	Adet	Kurulu Güç (MWe)	Üretim Oranı	Üretim Potansiyeli (GWh/yıl)
İşletmede	714	31.391	%60,0	108.005,0
İnşaat halinde	37	1.279	%2,5	4.578,0
Etüd - proje	252	2.822	%14,6	26.384,0
Toplam	1003	41.864	%77,1	138.967,0
10 MW+ yapılabilir	241	6.123	%11,1	19.832,0
10 MW- yapılabilir	613	2.594	%4,8	8.570,0
Uzun Vade	-	4.419	%7,0	12.631,0
TOPLAM	1857	55.000		180.000,0

Türkiye’nin hidroelektrik potansiyeli, dünya teknik hidroelektrik potansiyelinin %1,5’ini oluştururken, Avrupa teknik hidroelektrik potansiyelinin %18’ine karşılık gelmektedir. ABD’nin teknik hidroelektrik potansiyelinin %86’sı, Japonya %78, Norveç %72, Kanada’nın %56’sı gerçekleştirilmiş olmasına karşın Türkiye henüz sadece % 50 potansiyelini değerlendirebilmiştir.

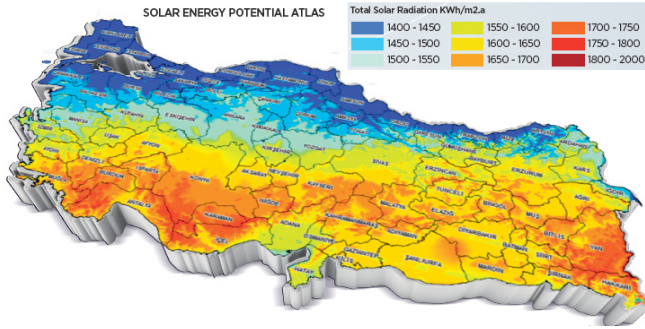


Şekil 12: Hidrolik santrallerin kurulu kapasite (MW) gelişimi

Türkiye’deki hidrolik santrallerin kurulu gücündeki artışı göstermektedir. Şekil 12’te görüldüğü gibi hidrolik enerji kurulu gücünde düzenli bir artış söz konusudur. Türkiye’de bulunan Hidroelektrik Santrallerinin 2019 yılı sonu toplam kurulu gücü 28.500 MW civarında olup 2019 yılında hidroelektrik Santralleri ile ülkenin toplam elektrik üretiminin % 28’i olan 88.9 milyar kWh elektrik üretimi yapılmıştır. Hidroelektrik potansiyelin enerjiye dönüştürülmesi amacıyla tamamlanan hidroelektrik santrallerin kurulu gücü 2020 yılı sonunda devreye giren yeni projeler ile birlikte 31.391 MW’a ulaşmış ve 2020 yılı sonunda bu santrallerden toplam 108 milyar kWh’lık elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye’nin 2020 yılı sonu itibariyle inşaat halinde olan 12.719 MW gücündeki 37 ve etüd, projesi yapılmış 2.822 MW gücündeki 252 hidroelektrik santral projesinin hayata geçirilmesi ile toplam yıllık elektrik üretim kapasitesi 138 milyar kWh olan 41.864 MW kurulu güce sahip olacaktır.

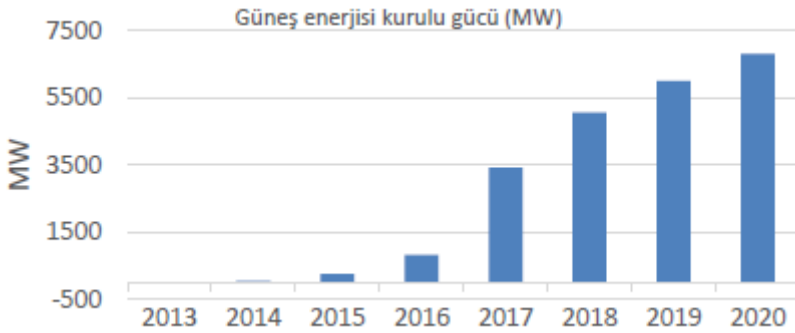
3.2 Güneş Enerjisi

Türkiye, güneş enerjisi bakımından Orta Doğu ve Güneydoğu Avrupa’da çok avantajlı bir konumda yer almaktadır. Türkiye’de özellikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz illerinde çok yüksek güneş potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisi üretim koşulları İspanya ile karşılaştırılabilir durumdadır. Türkiye’nin coğrafi konumu nedeniyle, Türkiye’de yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat ve yıllık ortalama gün ışığı süresi 7,5 saattir ve ortalama yıllık radyasyon 1,527 kWh / m²’dir ve bu da çoğu Avrupa ülkesinden daha yüksektir (Şekil 13). Bununla birlikte, 2019 sonu itibariyle Türkiye’nin kurulu güneş enerjisi kapasitesi sadece 6 GW civarında gerçekleşti.



Şekil 13. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası (ETKB)

2019 yılında Türkiye elektriğinin %3'ten fazlası olan 9,25 milyar kWh elektrik üretimi güneş santrallerinde üretildi. On yıl önce bunun gerçekleştirilmesi hayal olarak bakılıyordu. Şu anda büyük bir hızlı artış ile Türkiye güneş enerjisi potansiyelini elektrik üretiminde değerlendirmektedir.



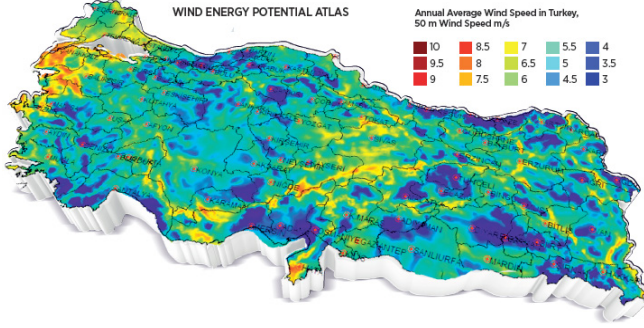
Şekil 14. Türkiye'deki güneş enerjisi kurulu gücündeki değişimler

Tahminlere göre Türkiye'nin güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli yılda 380 TWh ve gücü yaklaşık 56.000 MW potansiyele sahiptir. Şekil 14'de görüldüğü gibi güneş enerjisi kapasitesi sürekli artmakta ve 2020 yılı sonunda 6805 MW'a ulaşmıştır. Bu değer toplam kurulu gücün % 7,1'ine karşılık gelmektedir. Ancak yakın gelecekte Türkiye'nin yenilenebilir enerji üretimi açısından daha da yüksek kapasitelere ulaşması beklenmektedir.

3.3 Rüzgar gücü

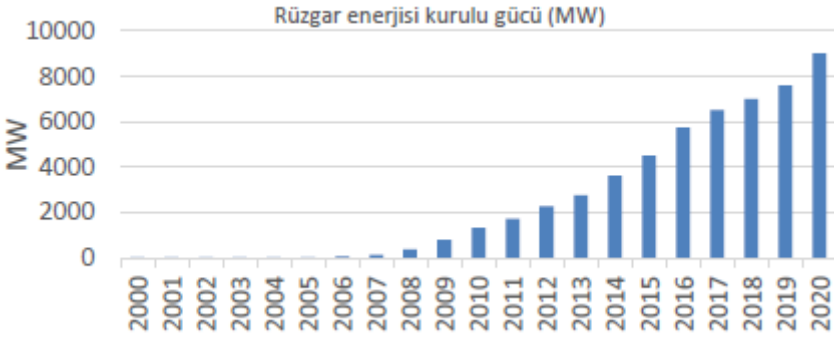
Bugün rüzgar enerjisi, Türk enerji karışımındaki en önemli konulardan biridir. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyeli 2007 yılında hazırlanmış olup Türkiye 8.5 m / s bölgesinde yaklaşık 5000 MW potansiyele ve 7.0 m / s hız bölgesinde 48.000 MW potansiyele sahiptir (Şekil 15). Türkiye'nin rüzgar enerjisi kurulu

kapasitesi gelişimi göstermektedir 2020 yılı sonunda 9000 MW değerine ulaşmıştır. Şekil 16'dan görüldüğü üzere Türkiye, son yıllarda rüzgar enerjisi tesisatlarında önemli bir artış göstermektedir.



Şekil 15. Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyel haritası

Türkiye'nin 50 m yükseklikte rüzgar hızı 6,8- 7.5 m/s aralığında olan karasal rüzgar enerjisi potansiyeli ise 84000 MW civarındadır. Türkiye'nin öncelikli olarak bu orta hızdaki rüzgar enerjisinin değerlendirilmesine yönelik teknoloji ve yatırımlara öncelik vermelidir.



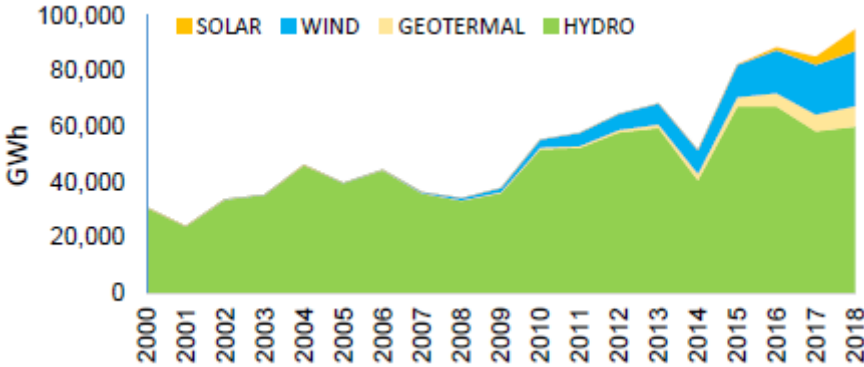
Şekil 16. Türkiye'deki kurulu rüzgar enerjisi gelişimi

Türkiye, güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklarına sahip alanlar için yenilenebilir enerji kaynak alanı (YEKA) yönetmeliği ile 1000 MW yenilenebilir enerji kaynağı alanları oluşturmayı hedeflemektedir. RERA ile önümüzdeki 10 yıl içinde enerji karışımına 20.000 megavatlık ek kurulumun eklenmesi planlanıyor. Türkiye'nin açık deniz rüzgar potansiyeli de 32 GW'a ulaşma olasılığı ile belirgindir. Uygulamadaki zorluklar nedeniyle Türkiye'nin açık deniz rüzgar enerjisi potansiyelinin yaklaşık 11.000 MW olduğu tahmin edilmektedir. Bozcaada, Bandırma,

Gökçeada, İnebolu ve Samandağ kıyıları, açık deniz rüzgar çiftliği gelişimi için en uygun yerlerdir [21].

4. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi

Türkiye, 10 Mayıs 2005 tarihinde 5346 sayılı Kanun ile yenilenebilir enerji ile ilgili yönetmelik yayınlamıştır. Bu yönetmelik ile yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi için kullanımının yaygınlaştırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması ve sera gazı emisyonlarının azaltılması amaçlanmıştır. Türkiye'nin yenilenebilir enerjisindeki en önemli atılımlarından biri de rüzgar enerjisinden sonra güneş enerjisi alanında oldu. Özellikle 2010 yılından sonra güneş panellerindeki yeni teknolojik gelişmeler ve maliyetlerdeki hızlı düşüş bu alana ilgiyi artırmıştır. Güneş enerjisi santralleri şu anda toplam kurulu gücün yüzde 6,1'ini oluşturuyor. Türkiye'nin rüzgar kurulu gücü 2019 sonu itibarıyla 7591 MW olarak gerçekleşmiş ve Danimarka'nın 2019 yılı kurulu kapasitesi olan 6128 MW'ı aşmıştır.

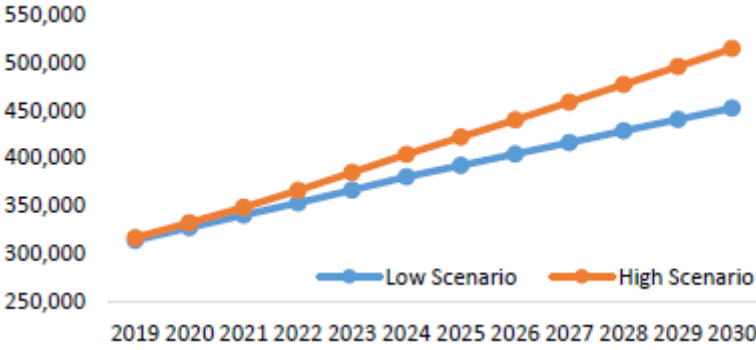


Şekil 17: Türkiye’de hidrolik, jeotermal, rüzgar, güneş enerjisi santrallerinden elektrik üretimini yıllara göre değişimi

Türkiye'nin 2000-2018 yılları arasında baraj tipi hidroelektrik üretimi de içeren çeşitli yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi Şekil 11’de verilmiştir. Türkiye’de rüzgar ve güneş enerjisi üretiminden elektrik üretimi, Şekil 17’den de görülebileceği gibi, sürekli artmaktadır. Hidroelektrik santrallerin yıllık bazdaki kapasite artışına rağmen iklimsel olaylara bağlı olmasından dolayı üretimi yıllara göre farklılık gösterebilmektedir. Türkiye'nin hidroelektrik üretimi, Şekil 17’de gösterildiği gibi bazı yıllarda farklılık göstermekte olup, toplam elektrik üretimiyle tutarlı olarak, kurulum ve üretimde sürekli bir artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretimi 2008 yılında başlamış ve yıllar içinde logaritmik bir artış göstermiştir.

5. Yenilenebilir Enerji Beklentileri

2014 yılında yayınlanan Türkiye ulusal yenilenebilir eylem planında, toplam elektrik üretiminin % 30'unun yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi hedefi 2019 yılı itibariyle çoktan aşılarak %44 değerine ulaşmıştır. ETKB 2019-2023 Strateji Planı belgesine göre rüzgar ve güneş, Güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü (MW) (kümülatif) 2023 yılında 10.000 MW, Rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü (MW) (kümülatif) 11883 MW ve Hidroelektrik enerjiye dayalı elektrik kurulu gücü (MW) (kümülatif) 32037 MW olarak hedeflenmiştir [22]. Türkiye'nin teknik olarak değerlendirilebilir HES potansiyelinin 2020 yılı sonu itibarıyla üretim potansiyeli olarak işletmeye alınan kısmı 108 milyar kWh/yıl'dır.



Şekil 18: 2019-2039 yıllarını kapsayan Türkiye Brüt Elektrik Tüketimi Tahmini (GWh)

Türkiye'nin 2014 yılında yayınlanan Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planında ise; 2023 yılında hidroelektrik enerjiden 91800 GWh, rüzgar enerjisinden 50000 GWh, güneş enerjisinden 8000 GWh, jeotermal enerjiden 5100 GWh ve biyokütle enerjisinden yaklaşık 4500 GWh brüt elektrik üretiminin karşılanması hedeflenmektedir. Diğer bir deyişle, yenilenebilir enerji kaynaklarından toplam 159 bin GWh brüt elektrik üretimi yapılması planlanmıştır. Türkiye'nin sahip olduğu bu potansiyel, şu anda 150 milyar kWh elektriğe karşılık gelen tüketilen elektriğin % 50'den fazlası yenilenebilir kaynaklardan elde edilebileceği anlamına gelmektedir [20]. Buna karşılık, 2019 yılında 133,3 milyar kWh elektrik yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır [23].

Tahmin sonuçlarına göre 2019-2028 yılları arasında dağıtım sistemine bağlı tüketicilerin brüt tüketim tahminlerinin gelişimi Şekil 18'de verilmektedir. 2028 yılında dağıtım sistemine bağlı tüketicilerin brüt tüketimi ortalama 257 milyar kWh'dir. Düşük senaryoda ortalama% 3,2 artışla 284 milyar kWh'yi, yüksek senaryoya göre ortalama% 4 artışla 315 milyar kWh'yi aşması bekleni-

yor. Türkiye'nin elektrik üretim kapasitesi 2030 yılında 133.702 olarak tahmin edilmektedir.

6.Yenilenebilir Enerji ve Depolama Teknolojileri

Yenilenebilir enerjilerin elektrik şebekelerine eklenmesi, özellikle şebeke operatörleri için teknik sorunlar yaratır. Üretim, tüketimle ilgili olmadığına şebeke üzerindeki etki daha güçlüdür. Yenilenebilir enerjilerin elektrik şebekelerine entegrasyonu için altyapıların uyarlanması ve elektrik sisteminin yönetimini gerektirir. Yenilenebilir enerjilerin elektrik sistemine entegrasyonunu kolaylaştırmak için, ağların akıllı şebeke teknolojileri kullanılarak daha hassas bir şekilde yönetilmesi gerekecektir [24]. Yenilenebilir teknolojilerin yayılmasının sadece maliyetlere ve öğrenme etkilerine değil, aynı zamanda ülkelerin bu teknolojileri teşvik etmek için kullandıkları araçlara da bağlı olduğunu belirtmişlerdir [25]. Yenilenebilir enerjinin elektrik şebekesine daha yüksek düzeyde nüfuz etmesini sağlamak için, Elektrik Enerjisi Depolama-EES sistemlerinin kapasitesi gelecekteki şebekenin istikrarını ve güvenilirliğini belirleyecek ve birkaç yıl içinde kaçınılmaz bir parça haline gelecektir. Ancak, elektrik güç şebekelerinde yüksek yenilenebilir penetrasyona sahip olduğundan, esnek elektrik şebekesi sistemleri de dahil olmak üzere depolama giderek daha kaçınılmaz hale gelmektedir [26].

7. Sonuç ve Değerlendirmeler

Türkiye elektrik talebinde sürekli bir artış göstermesine rağmen, elektrik üretimi büyük ölçüde doğalgaz ve ithal kömür gibi dış kaynaklara bağımlıdır. Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin en büyük payı yüzde 70 ile yabancı petrol ve doğalgaza bağımlı bulunmaktadır. Bu dışa bağımlılıktan kurtulmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik eğilim giderek artmaktadır. 2020 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu gücü yaklaşık 96.270 MW değerine ulaşmıştır. Bu kapasitenin %27'si doğalgaz santralleri, %32'si hidroelektrik santralleri ve %9.3'ü ithal kömür santralleri olmak üzere %21 linyit santrallerinden oluşmaktadır. Baraj tipi hidrolik dahil olmak üzere rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle enerjine dayalı yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç kapasiteleri toplamda 49.577 MW olup bu oran toplam kurulu gücün %51,5'üne denk gelmektedir. Bu durumda yenilenebilir enerji kaynaklarının payı toplam toplam kurulu gücün yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Üretimde ise 2020 yılı geçici rakamlarına göre 129,5 milyar kWh elektrik enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiş olup bu değer toplam 305,4 milyar kWh brüt üretimin yaklaşık %42,4'üne denk gelmektedir.

Türkiye'nin elektrik talep projeksiyonlarına göre, talebi karşılamak için 2030

yılına kadar mevcut kurulu güce ek olarak yaklaşık 37.000 MW güç kapasitesine ihtiyaç vardır. Bu miktar mevcut kapasitenin %40'ına karşılık gelmektedir. Dolayısıyla güneş ve rüzgar enerjisinden beklenen gücün elde edilmesi hem yerli kaynakların değerlendirilmesine hem de emisyonların azaltılmasına büyük katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

- [1] IEA (2020), Global Energy Review 2020, IEA, Paris <https://www.ica.org/reports/global-energy-review-2020>.
- [2]. Caineng, Z., Qun, Z., Guosheng, Z., Bo, X., (2016), Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era, Natural Gas Industry B, 3(1), 1-11. Doi:10.1016/j.ngib.2016.02.001.
- [3]. Sustainable Development in the 21st century-SD2, (2012), Perspectives on Sustainable Energy for the 21st Century, May 2012. www.sustainable-development.un.org , Erişim 26 Eyl 2020.
- [4]. Owusu, P. A., Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. Cogent Engineering, 3(1), 1167990.
- [5] Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Surendra, K., (2011) Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, pp. 1513-1524.
- [6]. Phebe Asantewaa Owusu & Samuel Asumadu-Sarkodie | Shashi Dubey, (2016) A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation, Cogent Engineering, 3:1, DOI: 10.1080/23311916.2016.1167990
- [7] Omar Ellabban, Haitham Abu-Rub, Frede Blaabjerg, Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews 39 (2014) 748–764749
- [8] Stewart Needham, The potential for renewable energy to provide baseload power in Australia, Research Paper no. 9 2008–09, Science, Technology, Environment and Resources Section, 4 August 2011, www.aph.gov.au
- [9] Peter Berrill, Anders Arvesen, Yvonne Scholz, Hans Christian Gils and Edgar GHertwich, 2016, Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe, Environmental Research Letters, 11, 014012.
- [10] Ceren Erdin and Gokhan Ozkaya, Turkey's 2023 Energy Strategies and Investment Opportunities for Renewable Energy Sources: Site Selection Based on ELECTRE, Sustainability 2019, 11, 2136; Doi:10.3390/su11072136
- [11] Uğurlu, A , Gokcol, C . (2017). An overview of Turkey's renewable energy trend . Jo10rnal of Energy Systems , 1 (4), 148-158 . Doi: 10.30521/jes.361920
- [12] Eren A. Yılmazca, N Özi, Renewable Energy Potential and Future Aims of Turkey, Ordu University Journal of Social Science Research, 8(3), 525-

535, 2018.

- [13] S. Keles- S. Bilgen, Renewable energy sources in Turkey for climate change mitigation and energy sustainability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 5199–5206.
- [14] Turkey Electricity Transmission Company (TEIAS), Turkey Electricity Production and Transmission Statistics, www.teias.gov.tr , Accessed August 10, 2020
- [15] TEIAS-Turkish Electricity Transmission, Load Dispatch Information System (YTBS), <https://ytbsbilgi.teias.gov.tr>. Accessed 5 Sep 2020.
- [16] Guide , 2019, Investor’s Guide For Electricity Sector In Turkey, MENR, Ministry of Energy and Natural Resources, Turkey, 2. Edition.
- [17] EPIAS, 2018, Electricity Market Summary Information Report, Energy Markets Operator (Epias).
- [18] Eurostat (europa.eu), Share of energy from renewable source, [,https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser) Erişim : 18.02.2021
- [19] DSI, 2020,General Directorate of State Hydraulic Works, www.dsi.gov.tr
- [20] DSI, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2020 yılı Faaliyet raporu, Ankara 2021.
- [21] A. Ilhan, M. Bilgili, (2016), An Overview of Turkey’s Offshore Wind Energy Potential Evaluations, *J. of Sci. Reviews* 9(2): 55-58
- [22] Report, “Turkey’s National Renewable Energy Action Plan”, Ministry of Energy and Natural Resources, Dec. 2014.
- [23] MENR, 2019, Turkey Electricity Demand Projections Report, 2019-2039, www.enerji.gov.tr
- [24] M. Ourahou, W. Ayrir, B. EL Hassouni, A. Haddi, (2020), Review on smart grid control and reliability in presence of renewable energies: Challenges and prospects, *Mathematics and Computers in Simulation*, Volume 167, Pages 19-31, 2020.
- [25] Martine A.U, Martin Jungingerb, Hage J. de Vriesa, Andre´P.C. Faaijb, Wim C. Turkenburga, (2007), Implications of technological learning on the prospects for renewable energy technologies in Europe, *Energy Policy* 35 (2007) 4072–4087.
- [26] Madeleine McPherson, Samiha Tahseen, (2018), Deploying storage assets to facilitate variable renewable energy integration: The impacts of grid flexibilit , renewable penetration, and market structure, *Energy*, Vol.145, 856-870, 2018.

– Bölüm-6 –

BASİT SARKAÇ SİSTEMİNİN SİMULİNK İLE HAREKET ANALİZİ VE PID DENETİMİ

Servet SOYGÜDER¹

Hasan GÜLER²

Hasan ÜTEBAY³

1 Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Türkiye
ssoyguder@ybu.edu.tr

2 Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
hasanguler23@gmail.com

3 Makina Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
hasanutebay@gmail.com

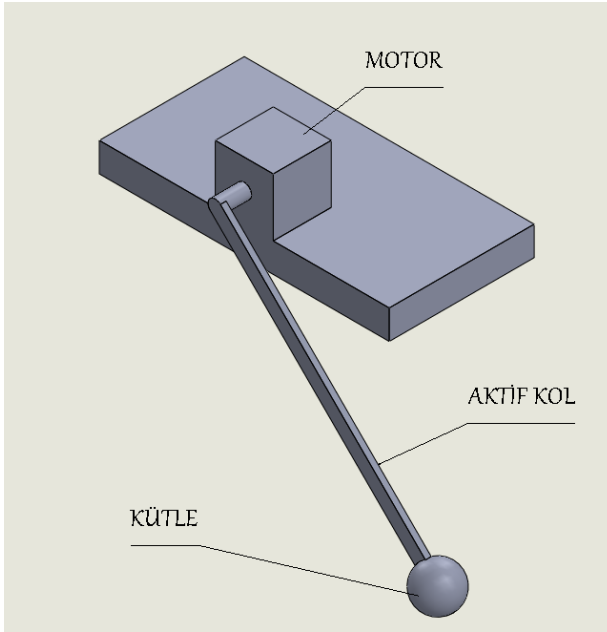
1. Giriş

Basit sarkaç sistemi bir ucu bir noktada sabit olan diğer ucuna bir kütle asılarak düşey yöne belli bir açıda bırakılarak yer çekimi etkisiyle harmonik hareket yapan sistemlerdir. Çok eski zamanlarda Galileo'nun ipin ucuna bağladığı taşları belli bir açıyla düşey yönde bırakarak yaptığı gözlemler basit sarkaç sisteminin ve harmonik hareketin ilk deneyleri ve gözlemleri olarak kabul edilebilir [1]. Yaptığı gözlemler ve deneylerde taşın hareketinin kendini bir süre boyunca tekrarladığı fakat zamanla salınımın azaldığını gözlemlemiştir. Belirli bir açıyla serbest bıraktığı ve hiçbir kuvvet uygulamadığı taşın düşey aşağı yönlü hareketi taşa bir kuvvetin etkiğini gösteriyordu. Taşa etkiyen kuvvetlerin bileşkesi sıfırdan farklıydı. Taş etkiyen kuvvetlerin bileşkesi yönünde saat ibresi yönünde hızlanan bir hareketle harekete başlıyor daha sonra bıraktığı seviyenin simetrisine yakın bir seviyede yavaşlayarak duruyordu. Tekrardan saat ibresinin tersi düşey yönde harekete başlıyordu. Sistem bu hareketi defalarca tekrarlıyordu. Sistemin bu salınım hareketi periyodik hareket veya harmonik hareket olarak tanımlanabilir. Sistemin hareketi izlenildiği zaman taşın bırakıldığı seviyeye tekrar çıkmadığı ve genliğinin zamanla azalarak düşey eksende durduğu gözlemlenmektedir. Tekrarlanan bu hareketin belli bir periyoda göre hareketi yaptığı gözlemlenmektedir. Bu durum taşın hareketine etkiyen ters yönlü bir kuvvetin var olduğunu göstermektedir. Bu kuvvet havanın sürtünme kuvveti olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmada kullanılan basit sarkaç sistemi fizik ve makine mühendisliği başta olmak üzere birçok alanda temel hareketlerden olan salınım hareketini yani harmonik hareketi ve titreşim alanının en temel bilgisi olan periyodik hareketi araştırma amaçlı ve bu hareketlerin temellerini öğretmek amacıyla kullanılan en temel sistemlerdir. Basit sarkaç sistemi ve harmonik hareket temel alınarak literatürde birçok farklı sarkaç sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemlerden bazıları Furuta'nın [2] 1978 yılında yapmış olduğu çift ters sarkaç, Furuta'nın [3] 1992 yılında yapmış olduğu ters sarkaç, Yoshida'nın [4] 1999 yılında yapmış olduğu araba-ters sarkaç ve Aström ile Furuta'nın [5] 2000 yılında yapmış olduğu döner tek kollu sarkaç literatürde akademik olarak en yaygın kullanılan ters sarkaç sistemleridir. Bunların yanı sıra; Li'nin [6] 2002 yılında yapmış olduğu dörtlü ters sarkaç, Shen'in [7] 2004 yılında yapmış olduğu küresel sarkaç ve Tsai ve Shen'in [8] 2007 yılında yapmış olduğu paralel tipte çift ters sarkaç akademik olarak kullanılan sarkaçlardandır. Ayrıca mekanik enerjinin korunumu konusunda yapılan eğitim araştırma çalışmalarında literatürde önemli bir yere sahiptir [9]

Şekil 1 de görüldüğü üzere basit sarkacın hareketi motora bağlı aktif bir kolun ucuna asılı kütlelerin düşey yönlü serbest düşme hareketi olarak gerçekleşir. Amaç sarkacın düşey ile belli bir açıda serbest bırakılarak yapacağı harmonik hareketi incelemek ve sonrasında ise bir kontrole

vereceği tepkiyi gözlemlemektir. Burada ki amaç sistemin bağlantı noktalarında ki sürtünme kuvveti yani sönümlenme durumu ilk olarak dikkate alınmayarak herhangi bir sönüm kuvveti olmaksızın harmonik hareketin periyodunun ve genliğinin sabit bir şekilde devam ettiğinin görülmesidir. Bu durumda düşey ile bir açı yapacak şekilde bırakılan kütle yer çekiminin etkisi ile düşey aşağı yönde hareket edecek ve sürtünme kuvveti olmadığı için düşey eksene simetrik olacak şekilde tersi yönde bırakıldığı açıya kadar çıkıp tekrardan bu hareketini sabit bir periyot ve genlik ile devam ettirecektir.



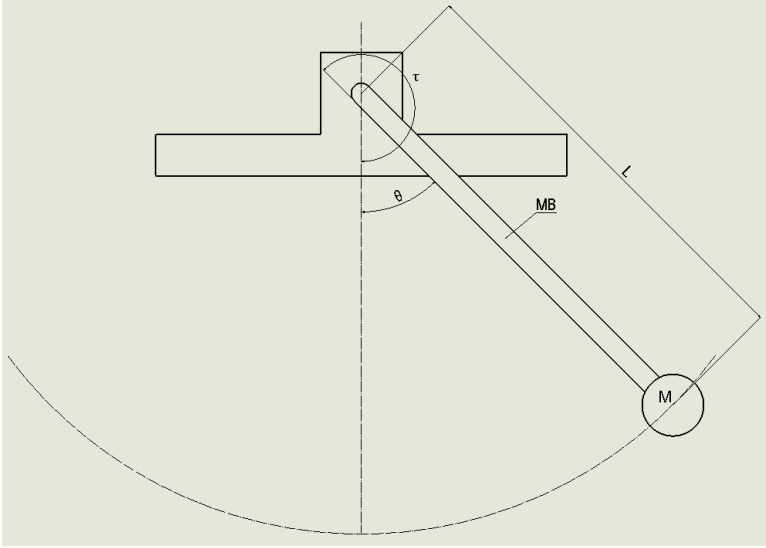
Şekil 1. Basit Sarkaç Sistemi

Daha sonra sistemin uzuvlarının bağlantıları arasında ki sürtünme kuvveti ile sistemin genliğinin zamanla azalarak düşey yönde sistemin hareketini tamamlayacağı görülecektir. Bu durumda düşey ile bir açı yapacak şekilde bırakılan kütle yer çekiminin etkisi ile düşey aşağı yönde hareket edecek ve sürtünme kuvveti olduğu için düşey eksene simetrik olacak şekilde tersi yönde bırakıldığı açıdan daha düşük bir açıya kadar çıkıp tekrardan düşey aşağı yönde hareketini yapacaktır. Fakat sürtünme kuvvetinin etkisi ile zamanla hareketin genliği azalarak en sonunda kütle düşey yönde duracaktır. En son olarak sisteme bir PID kontrol eklenerek simulinkin K_P , K_D ve K_I katsayılarını optimum olarak seçerek sistemin istenilen açıda sabit kalması için kontrolünü inceleyerek sistemin

hareketinin grafiğini irdeleyebiliriz. Bu durumda beklenen motorun belli bir tork ile sistemi tutmaya çalışmasıdır.

2. Sistemin Matematiksel Modellenmesi

Basit sarkaç sisteminin detaylı incelenebilmesi için sarkacın ve kolun yatay düzlemdeki iz düşümü olan Şekil 2 oluşturulmuştur.



Şekil 2. Sarkacın Ön Görünüşü

Basit sarkaç sisteminin detaylı incelenebilmesi için sarkacın ön görünüşü kullanılmıştır. Ön görünüşte M kütesinin asıldığı merkez ile arasında ki uzaklığa 'L' uzunluğu, sarkacın aktif kolunun kütlesine 'MB' kütlesi, M kütesinin kütlesine 'M' kütlesi, sarkacın bıraktığı konumun düşey ile yaptığı açığı 'θ' açısı, motorun torkunu 'τ' ile belirtelim. Ayrıca ilk bırakıldığı konumda ki açığı pozitif yön düşey eksenini de orjin kabul edersek başlangıç açısının düşey eksene göre simetrisine de negatif yön diyebiliriz.

Sistemlerin matematiksel modelleri birçok yöntem ile elde edilebilir. En çok tercih edilen yöntemlerden biri olan Lagrange denklemi ile sistemin matematiksel modeli oluşturulursa;

Şekil 2 de gösterilen aktif kol ve kütle için kinetik ve potansiyel enerji aşağıda ki gibi yazılır.

$$T = \frac{1}{2}M(L\dot{\theta})^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}MBL\right)\dot{\theta}^2 = \frac{1}{2}ML^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{6}MBL^2\dot{\theta}^2 \quad (1)$$

$$V = mgl(1 - \cos\theta) + mbg\frac{l}{2}(1 - \cos\theta) \quad (2)$$

Matematiksel modelleme için Lagrange metodu kullanılır ise basit sarkaç sistemi için Lagrange denklemleri aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial E}{\partial \theta} + \frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}} = Q \quad (3)$$

Basit sarkaç sistemi için Lagrange fonksiyonu oluşturulacak olur ise aşağıdaki gibidir.

$$E = T - V \quad (4)$$

$$E = T - V = \frac{1}{2}ML^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{6}MBL^2\dot{\theta}^2 - MgL(1 - \cos\theta) + MBg\frac{L}{2}(1 - \cos\theta) \quad (5)$$

Denklem 5' deki lagrange denklemi için:

$$\frac{\partial E}{\partial \dot{\theta}} = ML^2\dot{\theta} + \frac{1}{3}MBL^2\dot{\theta} \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{\theta}} \right) = ML^2\ddot{\theta} + \frac{1}{3}MBL^2\ddot{\theta} = (ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)\ddot{\theta} \quad (7)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} = -MgL\sin\theta - MBg\frac{L}{2}\sin\theta = (-MgL - MBg\frac{L}{2})\sin\theta \quad (8)$$

Aktif koldaki viskoz sürtünmeden (c) dolayı oluşan dissipatif fonksiyon (D) ve kısmi türevi aşağıdaki bulunur.

$$D = \frac{1}{2}c\dot{\theta}^2 \quad (9)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}} = c\dot{\theta} \quad (10)$$

' θ ' koordinatına etkiyen genelleştirilmiş tork (τ) Virtüel iş prensibinden aşağıdaki gibi bulunur.

$$\delta w = \tau \delta\theta \quad (11)$$

$$Q_\theta = \tau \quad (12)$$

Denklem 7,8,10 ve 12 Denklem 3 de yerine bırakılır ise basit sarkaç için matematiksel modelin denklemi aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

$$(ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)\ddot{\theta} + c\dot{\theta} + (MgL + MBg\frac{L}{2})\sin\theta = \tau \quad (13)$$

2.1. Sistemin Linerleştirilmesi

Basit sarkaç matematiksel denklemdaki değişken parametreler ve değişken parametrelerin başlangıç koşulları sırası ile matris formunda belirtilecek olur aşağıdaki gibidir.

$$Z^T = [\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}] \quad (14)$$

$$Z_0^T = [0, 0, 0] \quad (15)$$

Basit ters sarkaç sistemi için değişken parametreler ve değişken parametrelerin başlangıç koşullarının belirtildiği genel doğrusallaştırma denklemi aşağıdaki gibidir.

$$F_{lin}(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}) = F_{lin}(z) = F(z_0) + \left. \frac{\partial F(z)}{\partial \theta} \right|_{z=z_0} (\theta - 0) + \left. \frac{\partial F(z)}{\partial \dot{\theta}} \right|_{z=z_0} (\dot{\theta} - 0) + \left. \frac{\partial F(z)}{\partial \ddot{\theta}} \right|_{z=z_0} (\ddot{\theta} - 0) \quad (16)$$

Matematiksel modelin denklemleri olan denklem 13 'z' fonksiyonu olarak tanımlanıp denklem 16'daki formül uygulanırsa basit sarkaç sisteminin doğrusallaştırılmış denklemleri aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

$$(ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)\ddot{\theta} + c\dot{\theta} + (MgL + MBg\frac{L}{2})\theta = \tau \quad (17)$$

$$\ddot{\theta} + \frac{c}{(ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)}\dot{\theta} + \frac{(MgL + MBg\frac{L}{2})}{(ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)}\theta - \frac{\tau}{(ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)} = 0 \quad (18)$$

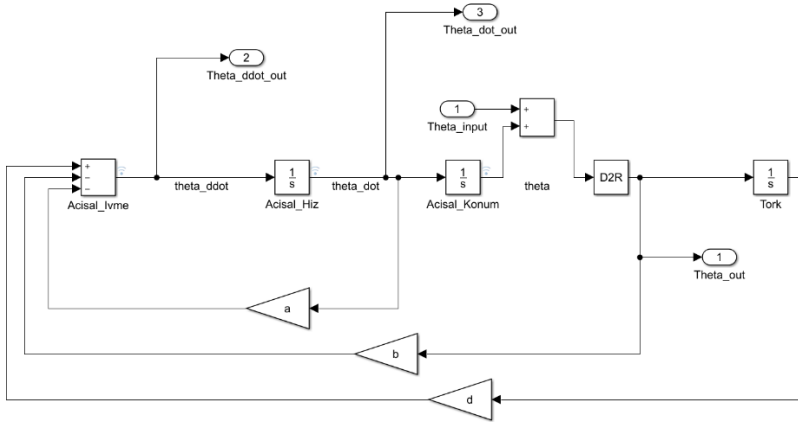
3. Sistemin Simulink İle Modellenmesi

Simulink matlab yazılımının bir modülüdür. Bu modül kullanılarak mekanik ve elektronik sistemler modellenabilmektedir. Modelleme esnasında matematiksel ifadeler tek tek tanımlanmaktan ziyade, hazır matematik komutları bloklar halinde alınıp kullanılabilirler. Türev/integral ve dört işlem, ya da oluşturulan sinyalleri toplama/ayırıştırma işlemleri için hali hazırda simulink blokları kullanılabilir. Bu blokların birbirine eklenerek oluşturulan farklı kombinasyonları ile modeller hazırlanır. Burada önemli olan, sistemi tanımak ve matematiksel olarak tanımlayabilmektir.

Denklem 18' de görülebileceği gibi ifademiz içerisinde türevlerini de barındıran bir diferansiyel denklemdir. Simulinkte hazır blokları kullanarak sistemin modellenmesi, başlangıç şartlarının ve çözüm aralığının belirlenmesi sonucu diferansiyel denklem için çözüm bulunabilir. Ayrıca simulink ve matlab arasında ki iletişim sonucu hem girdi verilerinin matlabdan simulink'e hem de çıktı verilerinin simulinkten matlab'a aktarılması ve diğer işlemlerin yapılması son derece pratik ve

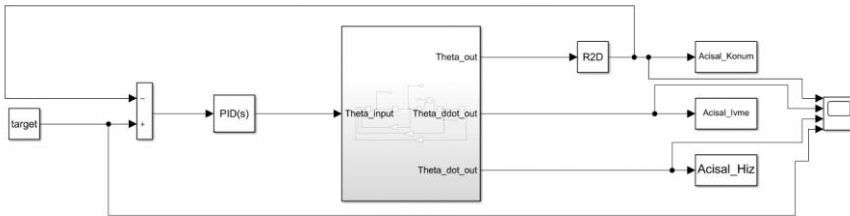
kolaydır. Simulink ile diferansiyel denklemlerin modellenmesi yapılırken en yüksek mertebeli değişken yalnız bırakılarak denklem daha anlaşılır hale getirilebilir.

$$\ddot{\theta} = - \frac{c}{(ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)} \dot{\theta} - \frac{(MgL + MBg\frac{L}{2})}{(ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)} \theta + \frac{\tau}{(ML^2 + \frac{1}{3}MBL^2)} \quad (19)$$



Şekil 3. Basit Sarkacın Diferansiyel Denkleminin Simulink Modeli

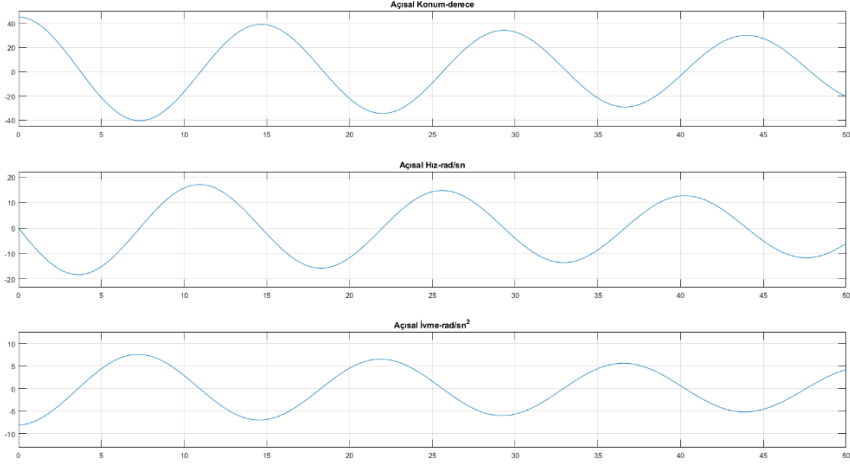
Şekil 3’de görüldüğü üzere basit sarkacın diferansiyel denklemi olan Denklem 19 simulink ile modellenmiştir. Simulink modellenmesinde modellenmenin basitleştirilmesi için Şekil 3 de görülen ‘a,b ve d’ sırasıyla “ $\dot{\theta}, \theta$ ve τ ’nın Denklem 19’ da ki katsayılarıdır. Bu katsayılar matlab ortamında hesaplanarak simulink’e aktarılmaktadır. Ayrıca Şekil 3’ de ki simulink modeli bir alt sistem olarak tanımlanarak PID kontrol eklenmiştir.



Şekil 4. Alt Sisteme PID Kontrol Eklenmesi

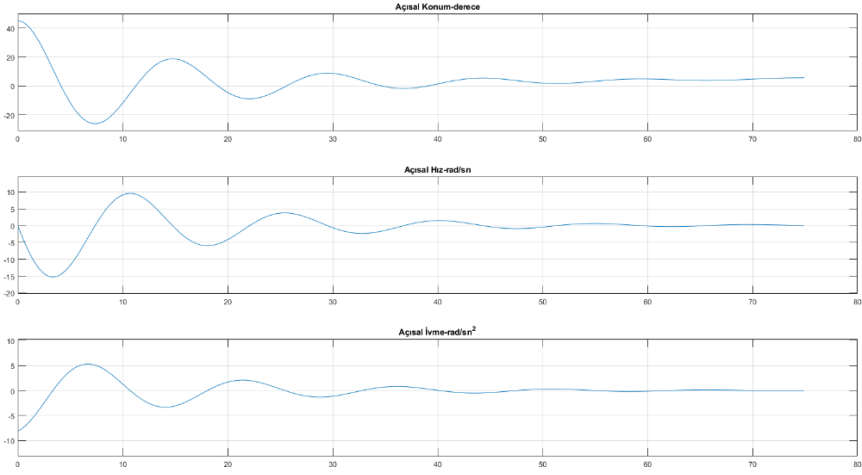
3.1. Sistemin Simulink Hareket Analizi

Basit sarkacın diferansiyel denklemine göre hazırlanan simulink modeli öncelikle sistemde ki sürtünme kuvvetleri ve PID kontrol yok sayılarak koşturulacaktır. Sürtünmesiz ortamda harmonik hareketi gösterecek olan grafikler elde edilecektir.



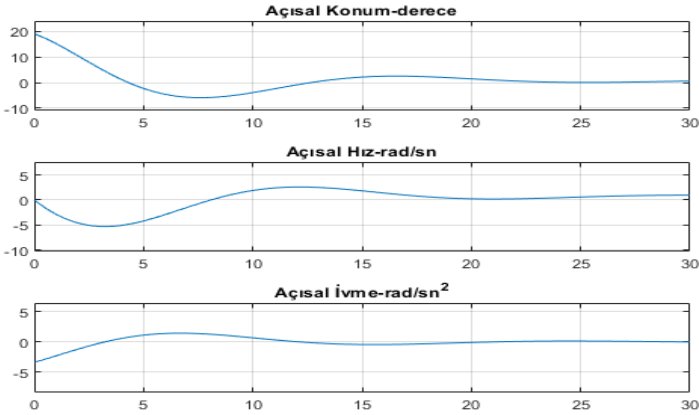
Şekil 5. PID Kontrolsüz ve Sürtünmesiz Durumda Sistemin Hareket Grafiği

Şekil 5’ de görülebileceği gibi sürtünmesiz durumlarda basit sarkaçta yani harmonik harekette sistemin hareketi sabit bir genlik ve kendini tekrarlayan periyotlardır. Ayrıca açısız konumun sıfır olduğu noktada açısız hız en büyük değerinde ve açısız konumun en büyük değerinde olduğu noktada açısız hız sıfırdır. Aynı durum açısız hız ile açısız ivme arasında ki ilişkide de geçerlidir. Sistemde sürtünmenin mevcut olduğu ve PID kontrol eklenmediği durumda elde edilecek grafik aşağıda ki gibidir.



Şekil 6. PID Kontrolsüz ve Sürtünlü Durumda Sistemin Hareket Grafiği

Şekil 6' da görülebileceği gibi sürtünlü durumlarda basit sarkaçta yani harmonik harekette sistemin hareketi azalan bir genliktedir. Sistemin açısal hızı ve açısal ivmesi de zamanla azalmakta ve sistem düşey yönde durgun olarak kalmaktadır.



Şekil 7. PID Kontrollü ve Sürtünlü Durumda Sistemin Hareket Grafiği

Şekil 4' de görünen sistem koşutlandıktan sonra matlab yazılımının bir özelliği olan PID Turner ile PID nin optimizasyon işlemi otomatik bir

şekilde yapılabilmektedir. Burada sistemin istenilen bir açıda sabit kalabilmesi için Şekil 4’ de görülen PID kontrolün geri besleme sistemi açısız konum olarak alınmıştır. Şekil 7’ de görülebileceği gibi sürtünmeli durumlarda basit sarkaçta yani harmonik harekette sistemin kontrolü PID kontrol eklendikten sonra sistemin hareketi kısıtlanmıştır. Sistem istenilen hedef açığa kısa sürede gelerek kararlı duruma geçmiştir.

4.Sonuçlar

Basit-sarkaç sisteminin hareketinin incelenmesi için dinamik denklemler Lagrange metodu ile elde edilmiştir. Lagrange metodu sistemin kinetik ve potansiyel enerjilerini ilgilendirdiğinden dolayı sisteme ait kinetik ve potansiyel enerjileri veren ifadeler bulunmuştur. Basit sarkaç sistemi 1-serbestlik dereceli doğrusal olmayan bir sistemdir. Elde edilen dinamik denklemler analiz ve tasarım açısından kolaylık sağlaması amacı ile lineerleştirilmiştir. Ayrıca basit sarkacın modelinden yola çıkarak harmonik hareketin modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan diferansiyel hareket denklemi matlab yazılımının modülü olan simulink ile karmaşık matematiksel ifadeler yerine blok diyagramları kullanılarak modellenmiştir. Bu modellemede sürtünmesiz harmonik hareket, sürtünmeli harmonik hareket ve sürtünmeli harmonik hareketin PID kontrole vereceği tepkilerin grafikleri elde edilmiş ve incelenmiştir. PID kontrolün optimizasyonu için PID tuner modülü kullanılarak optimum PID kontrol katsayıları belirlenmiştir. Sonuç olarak tasarlanan ve modellenen basit sarkaç sisteminin ve harmonik hareketin hareket analizi başarılı bir şekilde simulinkte yapıldığı görülmüştür.

Kaynaklar

[1] Daniel J. Block, Karl J. Åström and Mark W. Spong, Synthesis Lectures on Control and Mechatronics, Morgan & Claypool Publishers, Princeton, NJ, 2007: The Reaction Wheel Pendulum.

[2] Furuta K., Okutani T., and Sone H., Computer control of a double inverted pendulum, Computer and Electrical Engineering, 1978; 5.1: 67–84.

[3] Furuta, K., Yamakita, M. and Kobayashi, S., Swing-up control of inverted pendulum using pseudo-state feedback, Journal of Systems and Control Engineering, 1992; 206, 263-269

[4] Yoshida, K., Swing-up control of an inverted pendulum by energy-based methods, Proceedings of the American Control Conference, San Diego.1999.

[5] Astrom, K.J. and Furuta, K., Swing up a pendulum by energy control, Automatica, 2000; 36: 287-295.

[6] Li, H., Miao, Z. ve Wang, J., Variable universe adaptive fuzzy control on the quadruple inverted pendulum, Science in China (Series E), 2002; 45: 213-224.

[7] Jinglai Shen, A. K. Sanyal, N. A. Chaturvedi, D. Bernstein and H. McClamroch, Dynamics and control of a 3D pendulum, 2004 43rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC) (IEEE Cat. No.04CH37601), Nassau, 2004, p. 323-328

[8] Tsai, M. and Shen, B. H., Synchronization control of parallel dual inverted pendulums driven by linear servomotors, IET Control Theory and Applications, 2007; 320-327.

[9] Gülçiçek, Ç ve Yağbasan R, Basit Sarkaç Sisteminde Mekanik Enerjinin Korunumu Konusunda Öğrencilerin Kavram Yanılgıları, GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 3 (2004) 23-38

– Bölüm-7 –

**C# VE MATLAB'DA BİLGİSAYAR
PROGRAMLARINDA GÖRÜNTÜ İŞLEME
TEKNİKLERİ**

Dr. Atıl Emre COŞGUN

Görüntü işleme endüstriyel uygulamalarda ve bilgisayar bilimlerinde önemli bir konudur. Görüntü işle teknikleri hareket algılama, tıbbi görüntüleme, yazı karakter belirleme, askeri alanda, film sektöründe ve bir çok farklı sektörde kullanılmaktadır [1]. Görüntü işleme aşamaları genel olarak birkaç adımdan oluşmaktadır[2]. Bunlar;

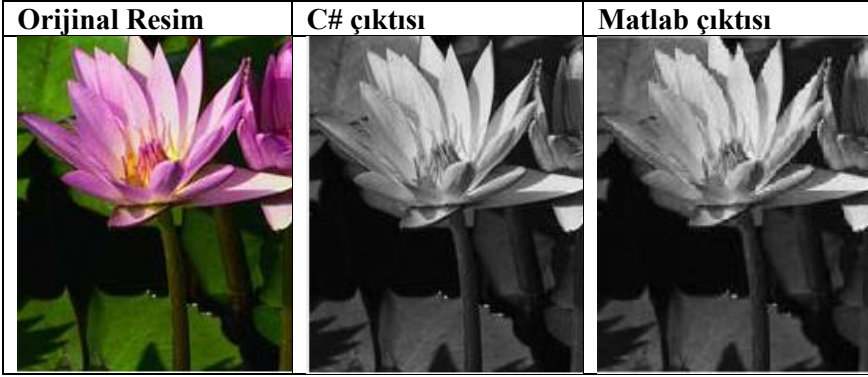
- Görüntünün görüntü elde etme araçlarıyla içe aktarılması;
- Görüntünün incelenmesi ve işlenmesi;
- Sonucun görüntü analizine dayalı olarak görüntü veya rapor çıktısıdır.

Bu çalışma kapsamında dijital görüntü işlemeye dayalı Matlab ve C# gerçek zamanın dışında (off-line) olarak birtakım teknikler kullanılarak resim işleme gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemler aşağıda kısaca bahsedilmiş ve çıktıları figürler içerisinde verilmiştir.

Gri Tonlu

Renkli görüntülerin gri tonlu hale getirilmesi işlemi gri skala dönüşümü olarak da adlandırılır. Bir resmi gri tonlu hale dönüştürürken resmin bütün pikselleri üzerinde gezilir ve her bir pikselde bulunan kırmızı, yeşil ve mavi renklerin parlaklık değerleri belli sabit sayılarla çarpılıp toplanarak yeni gri parlaklık değerleri elde edilir[3]. Şekil1.0'da gri tonlu resim çıktıları verilmiştir.

<pre>private void griton() { Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); double r, g, b; for (int x = 0; x < bm.Width; x++) for (int y = 0; y < bm.Height; y++) { g = bm.GetPixel(x, y).R * 0.299 + bm.GetPixel(x, y).G * 0.587 + bm.GetPixel(x, y).B * 0.114; r = g; b = g; bm.SetPixel(x, y, Color.FromArgb((int)r, (int)g, (int)b)); } pictureBox1.Image = bm; }</pre>	<pre>res= imread('bm.jpg'); [x,y,z]=size(res); copy=res; for i=1:x for j=1:y copy(i,j,1)=res(i,j,1)*0.299+res(i,j,2)*0.587+res(i,j,3)*0.114; copy(i,j,2)=res(i,j,1)*0.299+res(i,j,2)*0.587+res(i,j,3)*0.114; copy(i,j,3)=res(i,j,1)*0.299+res(i,j,2)*0.587+res(i,j,3)*0.114; end end copy=uint8(copy); subplot(1,2,1) imshow(res) subplot(1,2,2) imshow(copy)</pre>
---	---

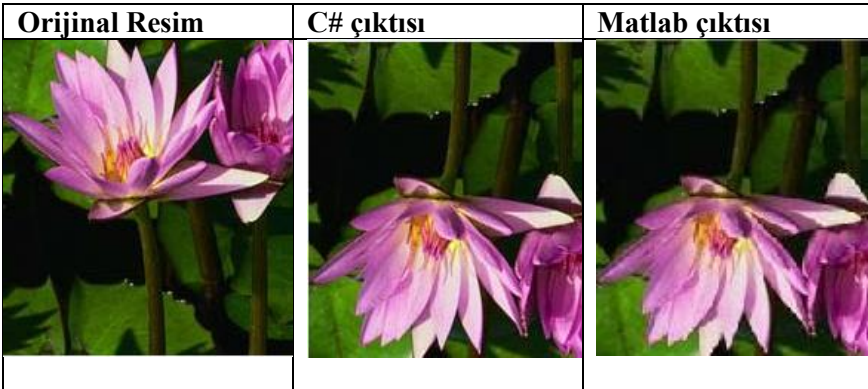


Şekil1.0 Gri Tonlama

Ters Çevir

Ters çevirme işleminde en üst de ki satır en alta, en alt da ki satır ise en üste gelecek şekilde resmin bütün elemanları yer değiştirmektedir. Şekil2.0'da ters çevrilmiş resim çıktıları verilmiştir.

<pre>private void btnTersCevir_Click(object sender, EventArgs e) { Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width,bm.Height); int w=bm.Width-1; int h=bm.Height-1; for(int x=0;x<=w;x++) for (int y = 0; y <= h; y++) { bmNew.SetPixel(x, h- y,Color.FromArgb(bm.GetPixel(x, y).ToArgb())); } pictureBox1.Image = bmNew; }</pre>	<pre>res= imread('bm.jpg'); [x,y,z]=size(res); copy= zeros(x,y,z); for i=1:x-1 for j=1:y copy(x-i,j,1)=res(i,j,1); copy(x-i,j,2)=res(i,j,2); copy(x-i,j,3)=res(i,j,3); end end copy=uint8(copy); subplot(1,2,1) imshow(res) subplot(1,2,2) imshow(copy)</pre>
--	---

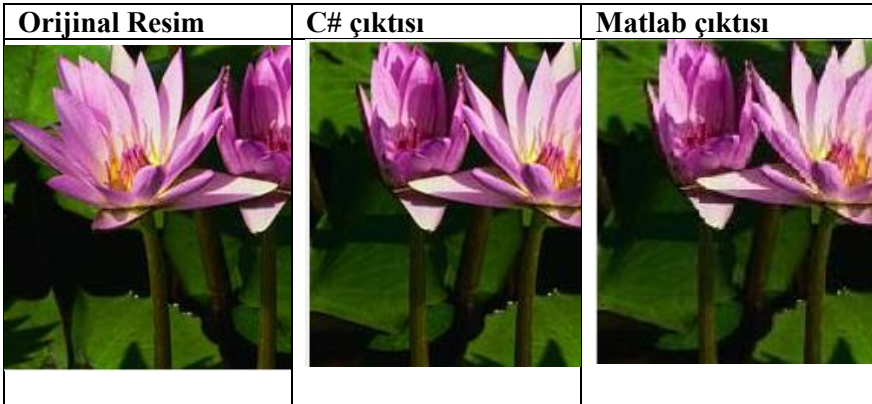


Şekil2.0 Resmi ters çevirme

Aynalama

Aynalama işlemi ters çevirme işleminin düşey ekseninde yapılmış şeklidir. Bu durumda sol üst köşedeki piksel sağ üst köşeye, sağ üst köşedeki piksel ise sol üst köşeye gidecektir. Şekil3.0'da resmin aynalanmış hali verilmiştir.

<pre>private void btnAynalama_Click(object sender, EventArgs e) { Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width, bm.Height); int w = bm.Width - 1; int h = bm.Height - 1; for (int x = 0; x <= w; x++) { for (int y = 0; y <= h; y++) { bmNew.SetPixel((w - x), y ,Color.FromArgb(bm.GetPixel(x, y).ToArgb())); } } pictureBox1.Image = bmNew; }</pre>	<pre>res= imread('bm.jpg'); [x,y,z]=size(res); copy= zeros(x,y,z); for i=1:x for j=1:y-1 copy(i,y-j,1)=res(i,j,1); copy(i,y-j,2)=res(i,j,2); copy(i,y-j,3)=res(i,j,3); end end copy=uint8(copy); subplot(1,2,1) imshow(res) subplot(1,2,2) imshow(copy)</pre>
--	---

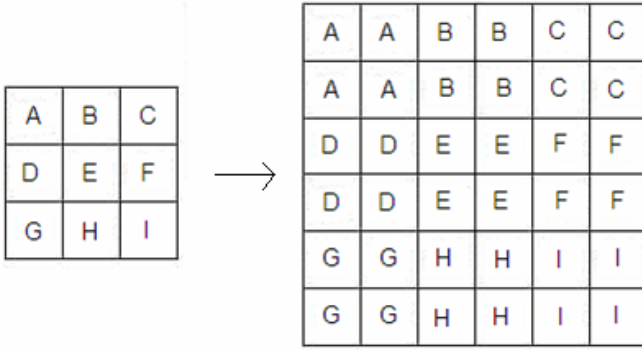


Şekil3.0 Aynalama

Yakınlaştırma

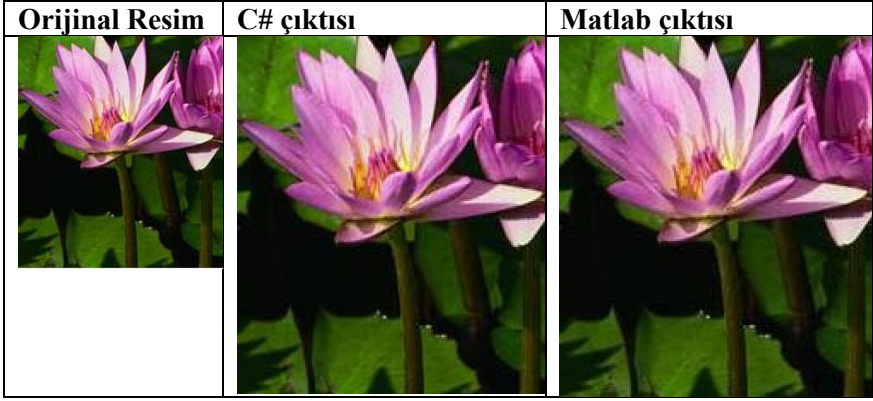
Yakınlaştırmanın amacı bir resim veya görüntü içerisinde ilgilenilen bölgenin daha büyük gösterilmesini ve daha detaylı bilgi edinmeyi sağlamaktır. Bu işlemin yazılımsal olarak yapılması kalitenin düşmesine neden olmaktadır. 3*3 lük bir resmin yakınlaştırma öncesi ve sonrasında piksel değerleri Şekil 4.0 da harflerle gösterilmiştir. Burada yapılan sadece

ilgili piksel değerinin resim boyutunu iki katına çıkaracak şekilde yeni resme kopyalamasıdır. Şekil5.0'da resmin yakınlaştırılma hali verilmiştir.



Şekil 4.0 Yakınlaştırma öncesi ve sonrası piksel değerleri

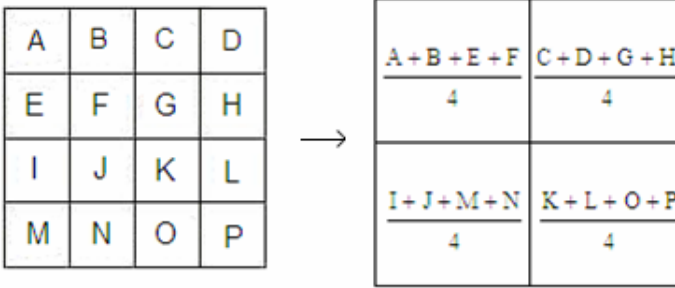
<pre>private void btnZoomIn_Click(object sender, EventArgs e) { Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width*2, bm.Height*2); int w = bm.Width - 1; int h = bm.Height - 1; int a=0, b=0; for (int x = 0; x <= w; x++) { for (int y = 0; y <= h; y++) { Color c=Color.FromArgb(bm.GetPixel(x, y).ToArgb()); bmNew.SetPixel(a, b, c); bmNew.SetPixel(a+1, b, c); bmNew.SetPixel(a, b+1, c); bmNew.SetPixel(a+1, b+1, c); b = b + 2; } b = 0; a = a + 2; } pictureBox1.Width = bmNew.Width; pictureBox1.Height = bmNew.Height; pictureBox1.Image = bmNew; } }</pre>	<pre>res= imread('bm.jpg'); [x,y,z]=size(res); copy= zeros(2*x,2*y,z); a=1; b=1; for i=1:x for j=1:y copy(a,b,1)=res(i,j,1); copy(a,b,2)=res(i,j,2); copy(a,b,3)=res(i,j,3); copy(a+1,b,1)=res(i,j,1); copy(a+1,b,2)=res(i,j,2); copy(a+1,b,3)=res(i,j,3); copy(a,b+1,1)=res(i,j,1); copy(a,b+1,2)=res(i,j,2); copy(a,b+1,3)=res(i,j,3); copy(a+1,b+1,1)=res(i,j,1); copy(a+1,b+1,2)=res(i,j,2); copy(a+1,b+1,3)=res(i,j,3); b=b+2; end a=a+2; b=1; end copy=uint8(copy); imshow(copy);</pre>
---	---



Şekil5.0 Yakınlaştırma

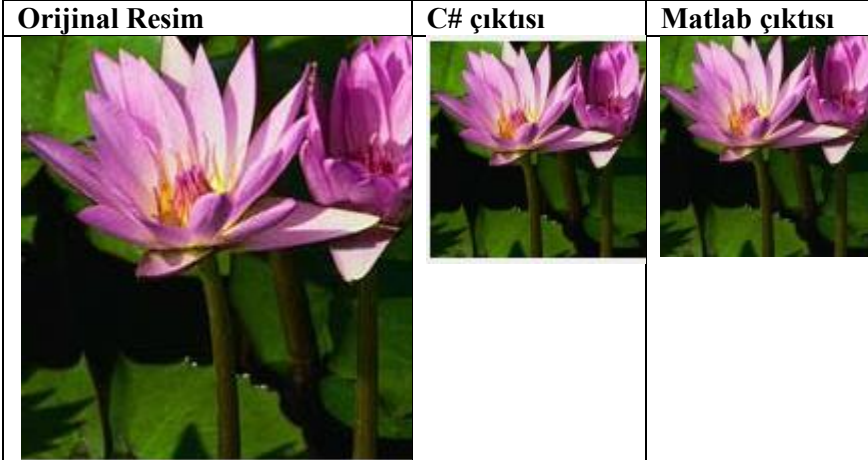
Uzaklaştırma

Uzaklaştırma işleminde temel olarak birden fazla pikselin değeri ortalama gibi çeşitli işlemlerden geçirilerek bir piksele atanır[4]. Uzaklaştırma işlemi uygulanan resmin piksel değerleri dört pikselin ışıklık değerlerinin ortalaması ile bulunmaktadır Şekil 6.0 da gösterilmektedir. Resmin uzaklaştırılmış hali Şekil7’de verilmiştir.



Şekil6.0 Uzaklaştırma öncesi ve sonrası piksel değerleri

<pre>private void btnZoomOut_Click(object sender, EventArgs e) { Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width / 2, bm.Height / 2); int w = bmNew.Width - 1; int h = bmNew.Height - 1; int a = 0, b = 0; double r, g, bl; for (int x = 0; x <= w; x++) { for (int y = 0; y <= h; y++) { r = (bm.GetPixel(a, b).R + bm.GetPixel(a + 1, b).R + bm.GetPixel(a, b + 1).R + bm.GetPixel(a + 1, b + 1).R) / 4; g = (bm.GetPixel(a, b).G + bm.GetPixel(a + 1, b).G + bm.GetPixel(a, b + 1).G + bm.GetPixel(a + 1, b + 1).G) / 4; bl = (bm.GetPixel(a, b).B + bm.GetPixel(a + 1, b).B + bm.GetPixel(a, b + 1).B + bm.GetPixel(a + 1, b + 1).B) / 4; Color c = Color.FromArgb((int)r, (int)g, (int)bl); bmNew.SetPixel(x, y, c); b = b + 2; } b = 0; a = a + 2; } pictureBox1.Width = bmNew.Width; pictureBox1.Height = bmNew.Height; pictureBox1.Image = bmNew; }</pre>	<pre>res= imread('bm.jpg'); [x,y,z]=size(res); xx=floor(x/2); yy=floor(y/2); copy= ones(xx,yy,z); a=1; b=1; for i=1:2:x-1 for j=1:2:y-1 copy(a,b,1)=floor(((res(i,j,1))/4+(res(i+1,j,1))/ 4+ (res(i+1,j+1,1))/4+ (res(i,j+1,1))/4)); copy(a,b,2)=floor(((res(i,j,2))/4+(res(i+1,j,2))/ 4+ (res(i+1,j+1,2))/4+ (res(i,j+1,2))/4)); copy(a,b,3)=floor(((res(i,j,3))/4+(res(i+1,j,3))/ 4+ (res(i+1,j+1,3))/4+ (res(i,j+1,3))/4)); b=b+1; end a=a+1; b=1; end copy=uint8(copy); imshow(copy)</pre>
--	---



Şekil7.0 Uzaklaştırma

Parlaklık Arttırma

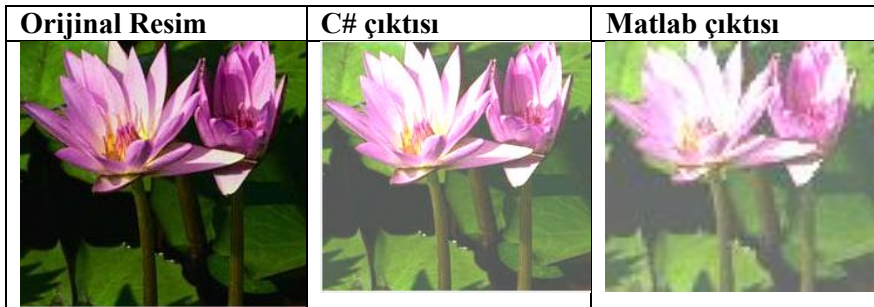
Parlaklık değişimi resmin ışıklılık değerlerinin belirli bir sayıyla toplanması veya çıkarılması ile gerçekleştirilir. $f(x,y)$ orijinal resmi $g(x,y)$ parlaklık ayarı yapılmış resim olsun;

$g(x,y)=f(x,y)+b$ $b>0$ ise parlaklık artırılır

$b<0$ ise parlaklık azaltılır

Şekil 8’de parlaklığı arttırılmış resim verilmiştir.

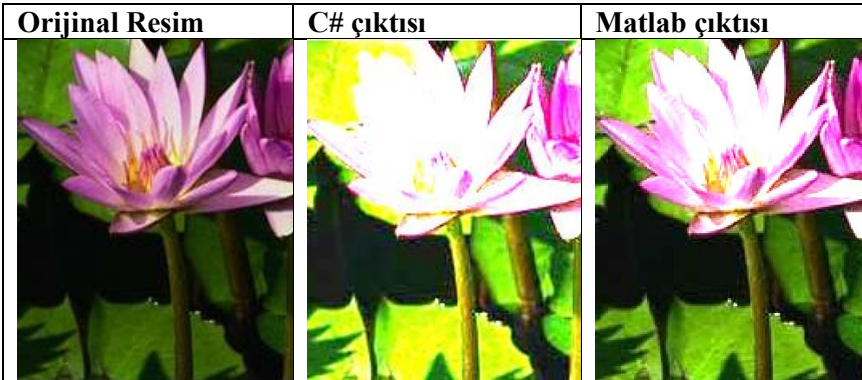
<pre>private void btnParlaklık_Click(object sender, EventArgs e) { Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); double r, g, b,alpha; int p=10; Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width, bm.Height); int w = bm.Width; int h = bm.Height; for (int x = 0; x < w; x++) for (int y = 0; y < h; y++) { r = bm.GetPixel(x, y).R+ p;// g = bm.GetPixel(x, y).G+ p; b = bm.GetPixel(x, y).B+ p; if (g > 255) g = 255; if (r > 255) r = 255; if (b > 255) b = 255; //alpha = bm.GetPixel(x, y).A + p; //if (alpha>255) alpha=255;(int)alpha, bmNew.SetPixel(x, y, Color.FromArgb((int)r, (int)g, (int)b)); } pictureBox1.Image = bmNew; } }</pre>	<pre>res= imread('byn.jpg'); [x,y,z]=size(res); miktar=100; copy= zeros(x,y,z); for i=1:x for j=1:y copy(i,j,1)=res(i,j,1)+miktar; copy(i,j,2)=res(i,j,2)+miktar; copy(i,j,3)=res(i,j,3)+miktar; end end copy=uint8(copy); subplot(1,2,1) imshow(res) subplot(1,2,2) imshow(copy)</pre>
---	---



Şekil8.0 Parlaklığı arttırılmış resim

Karşıtlık Arttırma

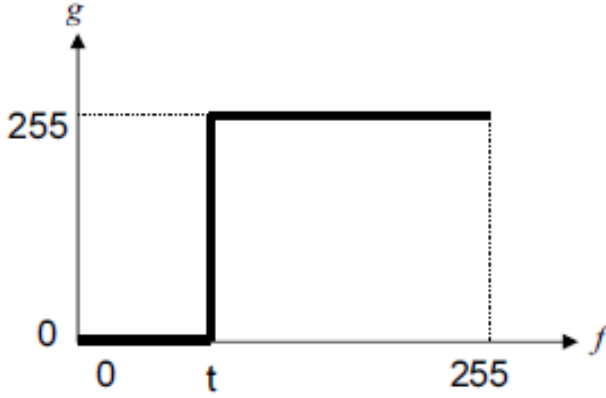
<pre> private void btnKarsitlik_Click(object sender, EventArgs e) { Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); double r, g, b, alpha; int k = 4; Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width, bm.Height); int w = bm.Width; int h = bm.Height; for (int x = 0; x < w; x++) for (int y = 0; y < h; y++) { r = bm.GetPixel(x, y).R * k;// g = bm.GetPixel(x, y).G * k; b = bm.GetPixel(x, y).B * k; if (g > 255) g = 255; if (r > 255) r = 255; if (b > 255) b = 255; //g = g % 256; r = r % 256; b = b % 256; //alpha = bm.GetPixel(x, y).A + p; //if (alpha>255) alpha=255;(int)alpha, bmNew.SetPixel(x, y, Color.FromArgb((int)r, (int)g, (int)b)); } pictureBox1.Image = bmNew; } </pre>	<pre> res= imread('byn.jpg'); [x,y,z]=size(res); miktar=2; copy= zeros(x,y,z); for i=1:x for j=1:y copy(i,j,1)=res(i,j,1)*miktar; copy(i,j,2)=res(i,j,2)*miktar; copy(i,j,3)=res(i,j,3)*miktar; end end copy=uint8(copy); subplot(1,2,1) imshow(res) subplot(1,2,2) imshow(copy) </pre>
---	---



Şekil9.0 Karşıtlığı artırılmış şekil

Eşikleme

Resim ışıklılık değerlerinin belli bir değerden büyük ya da küçük olmasına göre ikili bir imge oluşturulur. Bu değerden küçük olanlar siyah büyük olanlar ise beyaz olacak şekilde yeni ışıklılık değerleri hesaplanır[5]. Şekil10 da bu hesaplamının grafiği gösterilmektedir. Şekil 11'de resmin işlem yapıldıktan sonra çıktısı verilmiştir.



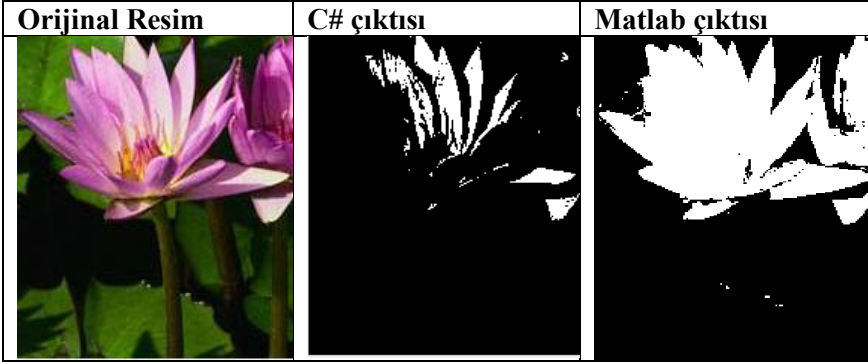
Şekil 10 Eşikleme değeri hesaplama grafiği

$f(x,y)$ orijinal resmi, $g(x,y)$ eşikleme yapılmış resim ve t de sınır değeri olsun;

$f(x,y) < t$ ise $g(x,y) = 0$

$f(x,y) \geq t$ ise $g(x,y) = 255$

<pre> private void btnEsik_Click(object sender, EventArgs e) { griton(); Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); int r, g, b, alpha; int k = 200; Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width, bm.Height); int w = bm.Width; int h = bm.Height; for (int x = 0; x < w; x++) for (int y = 0; y < h; y++) { r = bm.GetPixel(x, y).R ; g = bm.GetPixel(x, y).G ; b = bm.GetPixel(x, y).B ; r = (r < k) ? 0 : 255; g = (g < k) ? 0 : 255; b = (b < k) ? 0 : 255; bmNew.SetPixel(x, y, Color.FromArgb(r,g,b)); } pictureBox1.Image = bmNew; } </pre>	<pre> res= imread('byn.jpg'); [x,y,z]=size(res); esik=100; copy= zeros(x,y,z); for i=1:x for j=1:y if res(i,j,1)<esik copy(i,j,1)=0; copy(i,j,2)=0; copy(i,j,3)=0; else copy(i,j,1)=255; copy(i,j,2)=255; copy(i,j,3)=255; end end end copy=uint8(copy); subplot(1,2,1) imshow(res) subplot(1,2,2) imshow(copy) </pre>
---	---



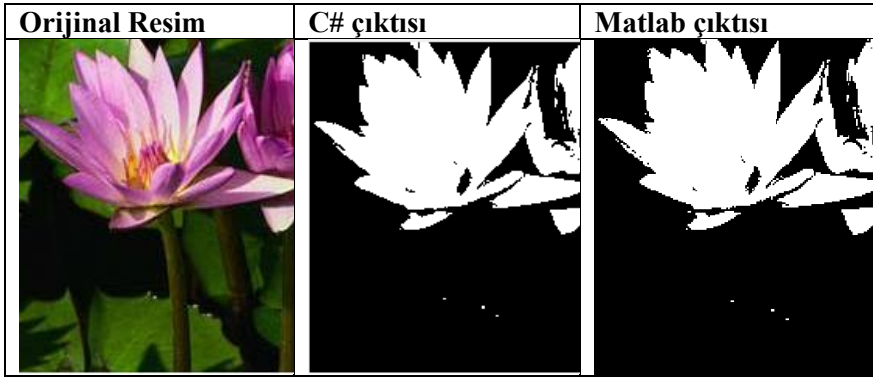
Şekil 11 Eşikleme yapılmış şekil

Otsu Eşikleme

Bu yöntem, yinelemeli olarak bir eşik değerinin bulunmasını amaçlar. Bu değer, sınıf içi varyantın en küçük hale gelmesiyle veya sınıflar arası varyantın en küçük hale gelmesiyle elde edilir. Bu işlem için öncelikli olarak resmin histogramı çıkarılmalıdır. Şekil12’de otsu eşikleme işleminin çıktısı verilmiştir.

<pre>private void btnOtsuEsik_Click(object sender, EventArgs e) { Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); int r, g, b, alpha; int otsuEsik = 0; Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width, bm.Height); int w = bm.Width; int h = bm.Height; //Gri resim griton(); int[] histogram = new int[256]; for (int x = 0; x < w; x++) for (int y = 0; y < h; y++) { r = bm.GetPixel(x, y).R; histogram[r] = histogram[r] + 1; } double fmax = -1.0; double toplam1 = 0.0; double toplam2 = 0.0; int nTop = 0; int n1 = 0; for (int i = 0; i < 256; i++) { toplam1 = toplam1 + (i * histogram[i]); nTop = nTop + histogram[i]; } for (int i = 0; i < 256; i++) { n1 = n1 + histogram[i]; </pre>	<pre>res= imread('byn.jpg'); [x,y,z]=size(res); histogram= zeros(256); for k=1:256 histogram(k)=0; for i=1:x for j=1:y if res(i,j,1)==k histogram(k)=histogram(k)+1; end end end end fmax=-1.0; toplam1 = 0.0; toplam2 = 0.0; nTop = 0; n1 = 0; for i=1:256 toplam1 = toplam1 + (i *histogram(i)); nTop= nTop + histogram(i); end for i=1:256 n1=n1+histogram(i); if n1 == 0 continue; end n2 = nTop - n1; if n2 == 0 break; end toplam2 = toplam2 +(i *histogram(i)); m1 = toplam2 / n1; m2 = (toplam1 - toplam2) / n2;</pre>
--	--

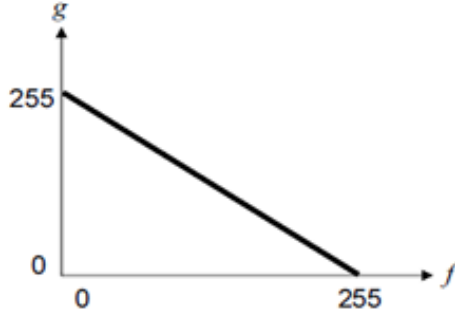
<pre> if (n1 == 0) continue; int n2 = nTop - n1; if (n2 == 0) break; toplam2 = toplam2 + (i * histogram[i]); double m1 = toplam2 / n1; double m2 = (toplaml1 - toplam2) / n2; double S = n1 * n2 * (m1 - m2) * (m1 - m2); if (S > fmax) { fmax = S; otsuEsik = i; } for (int x = 0; x < w; x++) for (int y = 0; y < h; y++) { if (bm.GetPixel(x, y).R > otsuEsik) bmNew.SetPixel(x, y, Color.White); else bmNew.SetPixel(x, y, Color.Black); } pictureBox1.Image = bmNew; } </pre>	<pre> S = n1 * n2 * (m1 - m2) * (m1 - m2); if S > fmax fmax = S; otsuValue = i; end end for i=1:x for j=1:y if res(i,j,1)<otsuValue copy(i,j,1)=0; copy(i,j,2)=0; copy(i,j,3)=0; else copy(i,j,1)=255; copy(i,j,2)=255; copy(i,j,3)=255; end end end copy=uint8(copy); subplot(1,2,1) imshow(res) subplot(1,2,2) imshow(copy) </pre>
--	---



Şekil 12 Otsu eşikleme




Olumsuzlama

Resim ışıklılık değerlerinin doğrusal biçimde ters çevrilmesiyle gerçekleştirilir. Bu hesaplamamanın nasıl yapıldığını gösteren grafik Şekil 13 de gösterilmektedir. Şekil 14’de resmin çıktısı verilmiştir.



Şekil 13 Olumsuzlama değeri hesaplama grafiği

<pre>private void btnOlumsuz_Click(object sender, EventArgs e) { //gri resim griton(); Bitmap bm = new Bitmap(pictureBox1.Image); int r, g, b; Bitmap bmNew = new Bitmap(bm.Width, bm.Height); int w = bm.Width; int h = bm.Height; for (int x = 0; x < w; x++) for (int y = 0; y < h; y++) { r = bm.GetPixel(x, y).R; r = 255-r; g = r; b = g; bmNew.SetPixel(x, y, Color.FromArgb(r, g, b)); } pictureBox1.Image = bmNew; }</pre>	<pre>res= imread('byn.jpg'); [x,y,z]=size(res); copy= zeros(x,y,z); for i=1:x for j=1:y copy(i,j,1)=255-res(i,j,1); copy(i,j,2)=255-res(i,j,2); copy(i,j,3)=255-res(i,j,3); end end copy=uint8(copy); subplot(1,2,1) imshow(res) subplot(1,2,2) imshow(copy)</pre>
---	--

Orijinal Resim	C# çıktısı	Matlab çıktısı
		

Şekil 14 Olumsuzlama

Referanslar

- [1] P. RAVI and A. ASHOKKUMAR, “Analysis of Various Image Processing Techniques,” *Int. J. Adv. Netw. Appl.*, vol. 08, no. 05, pp. 86–89, 2017.
- [2] E. A. B. da Silva and G. V. Mendonca, “Digital Image Processing,” *Electr. Eng. Handb.*, pp. 891–910, 2005, doi: 10.1016/B978-012170960-0/50064-5.
- [3] Y. Y. Yao and Y. T. Hu, “Recognition and location of solar panels based on machine vision,” *2017 2nd Asia-Pacific Conf. Intell. Robot Syst. ACIRS 2017*, pp. 7–12, 2017, doi: 10.1109/ACIRS.2017.7986055.
- [4] P. Prabhu, “DIGITAL IMAGE PROCESSING TECHNIQUES – A SURVEY,” *Int. Multidiscip. Orig. Artic. Res. J.*, no. May 2016, 2017.
- [5] Q.D. Trier and A.K. Jain, “Goal-Directed Evaluation of Binarization Methods”, *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, vol. 17, no. 12, pp. 1191- 1201, December 1995.

– Bölüm-8 –

**MULTI - REGION SELF-TUNING METHOD FOR FUZZY
IMC PID CONTROLLERS**

Doğan Onur Yılmaz
Assist. Prof. Dr. Hikmet SKENDER¹

¹ ITU Disaster Management Institute, Disaster and Emergency Management Department,
Istanbul/Turkey
e-mail: iskender@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7442-3960

1. Introduction

Classical P, PI, PD and PID type controllers are most commonly used ones in process industries today. Since their design strategies and online tuning methods have been developed in great proportions during historical progress, substitution of a classical controller in to any control scheme is treated to be the fastest and most convenient way of composing a successful control loop (Duan, Li & Dong, 2008).

During the historical progress of control studies, classical controllers have been applied to many control systems and all these applications provided these controllers with large number of design techniques and tuning strategies. Thus, classical P, PI, PD and PID type controllers have generally been the most trusted solution to control any given process scheme (Duan, Li & Dong, 2008).

On the other hand, it is known that, classical controllers owe their success to mathematical equations that are based on generalized relationships between process parameters and controller parameters. Thus, their performance is not generally appropriate for processes possessing nonlinear properties. On the other hand, high order systems and processes with large time delay are also not easy to be controlled properly by a classical controller in general (Duan, Li & Dong, 2008).

In general, Fuzzy Logic Controllers show better results for high time delay and/or high order processes. One important disadvantage of fuzzy logic controllers against classical controller is that it is rather new concept compared to classical PID controller. Since the studies on fuzzy logic controllers are not as old as the ones on classical controllers, design and tuning strategies that are produced for fuzzy controllers are very few compared to classical controller design and tuning methods. Recently proposed design strategy for fuzzy PID controllers based on IMC technique shows great potential for further improvement (Duan, Li & Dong, 2008). But, while it provides enhanced control performance for some sort of processes, it still has certain drawbacks for very high time delay processes and some high order processes.

In this study, a newly proposed IMC tuned Fuzzy PID controller and classical PID controller performances are compared for a variety of processes. Following the examination of these controllers' performance, a variety of self-tuning strategies for Fuzzy IMC PID controllers are developed in this study. As a result, self-tuning algorithms have been prepared, these algorithms include necessary self-tuning mechanisms that produce new coefficients for controlling various kinds of processes, whose time delay, and time constant properties vary in a very large range, by using Self-tuning Fuzzy IMC PID controller. Several simulation studies were conducted and achieved results showed that, proposed Multi Region Self-tuning Fuzzy IMC PID controller provided better results for all kinds of processes compared to Non-self-tuning Fuzzy IMC PID controller. Self-

tuning Fuzzy IMC PID performance was far more successful than that of its non-self-tuning counterpart especially for very high time delay processes.

2. Classical IMC PID Controller

Classical IMC PID design calculations are conducted based on the first order model of the process in order to examine the resulting control performances at presence of a modeling error.

The delay term is approximated according to First Order Pade Approximation and the transfer function turned in to the form given in Equation 1.

$$P(S) = K * [(1-S)/(1+S)] / (TS + 1) \quad (1)$$

Filter transfer function is determined to be $f(S)$ and given in Eq. 2.

$$f(S) = 1 / (t_f S + 1) \quad (2)$$

where t_f is filter time constant equal to half of process time constant ($T/2$).

By using Equations 3 to 6, transfer function of PID controller is determined as given in Equation 7.

$$P(S) = P^+(S) * P^-(S) \quad (3)$$

$$P^+(S) = (1-S)/(1+S) \quad (4)$$

$$P^-(S) = K / (TS + 1) \quad (5)$$

$$C(S) = f(S) / P^-(S) \quad (6)$$

$$C_{IMC}(S) = C(S) / [1 - C(S)*P(S)] \quad (7)$$

The simulation of control environment is done by using MATLAB / Simulink program. A typical control loop with Classical IMC PID type controller is given in Figure 1. The process block is characterized based on three parameter second order model of the real process (Yilmaz & Iskender, 2010).

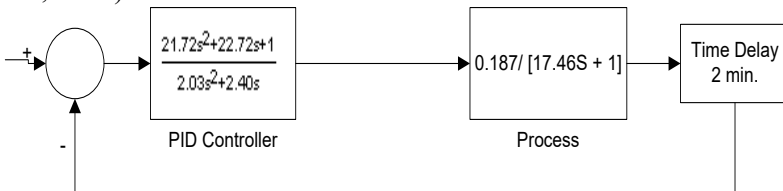


Figure 1. Closed loop control scheme with IMC PID controller (Yilmaz & Iskender, 2010).

3. Fuzzy IMC PID Controller

During these study, all non-self regulating and self regulating fuzzy IMC PID controllers are designed according to the first order models of relating second order processes. So, as it is seen above, “T” time constant values that are used in controller designs and self-tuning rule preparation should always be understood as time constant of first order models rather than the ones of second order processes. This information is also valid for following sections of this study unless any other directive is introduced.

Designing Fuzzy PID controllers by internal model control technique is a recently proposed idea (Yilmaz & Iskender, 2010). According to this, input and output gain scales of Fuzzy controller are determined according to various equations major of which is composed of process parameters. These equations are given in Equations 9 to 14. In these equations; T: first order model time constant, L: delay time, t_c : filter time constant, K: process gain. In Figure 2, Fuzzy PID controller scheme and location of concerning scaling gains are shown.

$$K_e = 1; K_d = K_e * \alpha; K_0 = (A/B) * \{1 / [K * K_e * (t_c + (L/2))]\}; K_1 = K_0 * \beta; \alpha = \min(L/2, T); \beta = \max(L/2, T)$$

IMC Fuzzy PID controller design study for present process is made according to these proposed equations (Duan, Li & Dong, 2008). Again, the first order model is used as basis of controller design, since it is necessary to make performance comparison between fuzzy and classical IMC PID controllers. Related closed loop control scheme is given in Figure 2 (Yilmaz & Iskender, 2010).

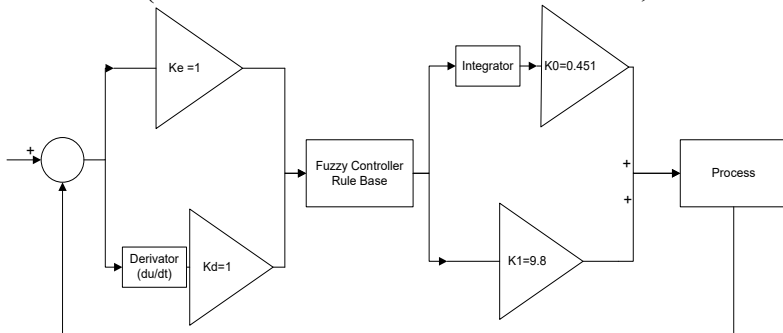


Figure 2. IMC Fuzzy PID control loop designed according to proposed internal model control technique (Yilmaz & Iskender, 2010).

3.1. Calculations

$K_e = 1$; $\alpha = \min(1, 21.72) = 1$; $\beta = \max(1, 21.72) = 21.72$; $K_d = K_e * \alpha = 1$; $K_0 = 0.451$; $K_1 = K_0 * \beta = 9.8$

The way to decouple α and β is mainly based on the desired control characteristics. As α gets smaller, the system response gets faster but this may end up with increasing overshoot. On the other hand, as α gets larger, system response becomes more sluggish but this can provide control action with a more certain settling performance (Duan, Li & Dong, 2008).

To make a fair comparison between these two decoupling choices, one more controller with maximum α and minimum β is also investigated in this section. Figure 3 shows the closed loop created for this alternative controller (Yilmaz & Iskender, 2010).

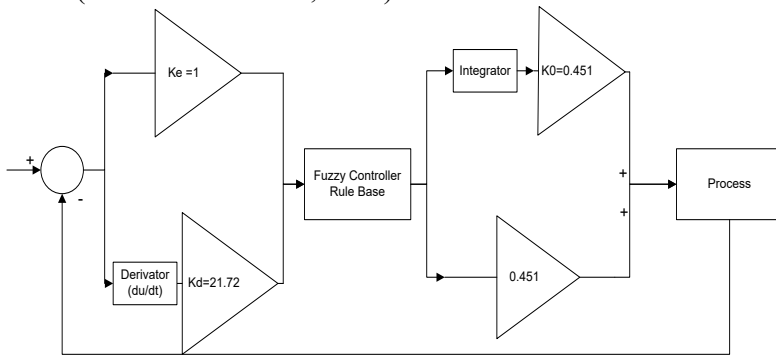


Figure 3. Closed loop scheme for IMC Fuzzy PID controller with alternatively decoupled α - β (Yilmaz & Iskender, 2010).

4. Proposed Method: Multi-Region Self-tuning Fuzzy IMC PID Controllers

4.1. Six Region Self-tuning Fuzzy IMC PID Control Based On “R” Data

The basic idea under this technique is reading time constant (T) and delay time (L) values associated with relevant process and calculating the characteristic ratio of “ $R=L/(L+T)$ ”. After this step, procedure includes deciding in to which range the value of R corresponds to and use specific functions that are already set up for each individual range. The important point here is; all of these functions have a common property of having “ $R=L/(L+T)$ ” data as the only independent variable. The procedure of this control strategy is more briefly given at the following list (Cebeci & Iskender, 2005).

- Read process data.
- Learn about numerical values of T : time constant and L : delay time.
- Calculate the ratio $R=L/(L+T)$.

- Learn the range to which the “R” corresponds.
- Use matching functions and decision boundaries for self-tuning of alpha (α) (Yilmaz & Iskender, 2010; Kumar, Deepak & Anoop, 2010).

The idea based on which the algorithms of this strategy developed is same with that of the previous one that works based on overshoot data. Since “R” value gets bigger gradually by dominance of time delay over time constant, it is fair to mention that, as the time constant “T” loses its effectiveness over system, “R” gets larger. So, the tuning action of alpha (α) should be fired in rather closer ranges to the set point as the value of “R” gets larger because it points to another relational phenomenon that system time constant becomes less effective over the general behavior and system response grows faster. So, tuning alpha in closer ranges to the set point will be more reasonable since it will avoid over damping without causing overshoot also. Besides that, all this theory is applicable for the opposing cases in which the time constant gets more effective and “R” gets smaller. Block diagram of control scheme with self-tuning Fuzzy IMC PID controller is given in Figure 4 (Zulfatman & Rahmat, 2009).

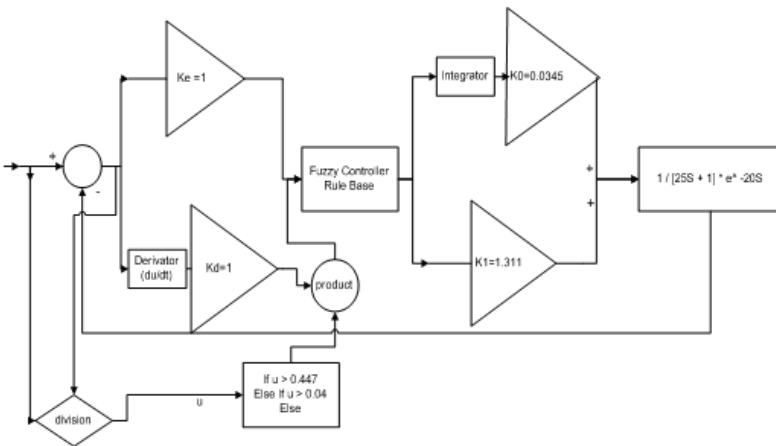


Figure 4. Block diagram of control scheme with self-tuning Fuzzy IMC PID controller.

Definition of K_d gain is made according to output of self-tuning mechanism (Bhattacharya, Chatterjee & Munski, 2003).

4.2. Three Region Self-tuning Fuzzy IMC PID Control

The method which was introduced in previous section provides exact control rules and self-tuning boundaries for very specific ranges of “R” ratio. On the other hand, since the boundaries of six sections that are mentioned briefly on Table 1 are very unevenly distributed, their simplicity and applicability may cause question marks in operators mind.

So, in order to prevent those effects caused by the strategy mentioned in previous section, the next aim of the studies were defined as trying to simplify scaling ranges and dividing the whole 0-1 range in to three equal parts. Getting this done, the same process models with other sections are used in order to maintain a successful comparison between controller performances. As result for the conducted simulation studies, another table has been prepared in which 0-1 range for “R” ratio is divided in to three equal sections and rules are re generated in order to have generalized algorithms for enhanced ranges.

Procedure for the strategy is almost same with the previous one since the general idea behind these two are nearly identical. So, general path that should be followed in order to use these self-tuning algorithms properly is given below one more time in order to maintain familiarity (Kim & Oh, 2000; Rezkik, Ghanayem & Bourmistroy, 2000).

- Read process data.
- Learn about numerical values of T: time constant and L: delay time.
- Calculate the ratio $R=L/(L+T)$.
- Learn the range to which the “R” corresponds.
- Use matching functions and decision boundaries for self-tuning of alpha (α).

Besides providing a simplified range for “R” range, the studies conducted for this part also created solution to another problem associated with the whole history and base of this study. As it could easily be seen from the simulation results given in all previous parts, as the “R” ratio goes up to higher values, the ability of control techniques are becoming inadequate. Because, the increasing “R” means increasing effectiveness of time delay “L” over time constant “T”. These kinds of systems are called delay dominant systems and their successful control is much more difficult compared to the time dominant systems that introduce relatively small “R” ratios.

In order to solve the control problem for delay dominant systems, in this part, diminishing of integral gain coefficient of fuzzy logic controller is suggested. While the simulation results for non-self-regulating, Fuzzy IMC PID controller on these systems show constantly oscillating behavior, the newly proposed method in this section maintains reasonable system responses (Mahit, 2011; Wo, Ching & Lin, 2000).

The idea behind the rules in sections x and y are very simple in fact. Although these rules may seem very confusing at first sight, all of them refer to reasonable explanations (Dogan & Iskender, 2010; Cebesi & Iskender, 2005).

First, “case x” rules are designed according to the following idea: When the system response is far from steady state, the controller action

speed should be kept very fast. So value of alpha coefficient should be at minimum in order to prevent sluggish response. As the response approaches to steady state gradually, value of alpha is increased to an intermediate value and kept there until response gets very close to steady state. Finally, when error gets very small and response almost reaches the steady state, alpha is increased to its possible maximum (Dogan & Iskender, 2010).

Second, “case y” rules are first designed in same way with “case x” rules. However, processes that are represented by “section y” did not respond well to this strategy. Following studies showed that, “case y” processes needed to be controlled with much larger alpha values far from the steady state and alpha should be decreased rapidly as system response approaches to set point. So alpha is first kept at values higher than the maximum of range limited by min-max of $(L/2, T)$ by dividing the $\max(L/2, T)$ by $\sqrt{(1-R)}$. Then the second rule that deals with steady state is defined to produce a much smaller alpha value because processes in “section y” ($0.67R > 0.33$) gave very oscillatory responses to control attempts with high alpha values near steady state. So, the overall rule base for section y is defined according to these concerns (Dogan & Iskender, 2010).

On the other hand, the step response of the processes in “section z” points to a much more important issue. The Fuzzy IMC PID controller that is designed according to the standard calculations, that are mentioned in Fuzzy IMC PID controller section, performs very poor for the processes with very high “R” ratios. Those processes behavior of which is majorly dominated by “time delay L” parameter need some special concern in order to be controlled properly. So, as it was mentioned before in Table 2, calculation of “integral scaling gain K0” according to the Equation 11 is corrected by replacing “variable L” with “ $L * 1.67$ ” and calculating K0 according to 67% excess of original time delay L value. This correction maintains achieving a rather smaller K0 value which also leads to a smaller K1 gain with β factor held constant. So as a result, diminishing integral scaling gains enforces the controller performance for processes with very large time delay. On the other hand, same strategy does not work for processes with smaller time delays because those systems already show a reasonably damped response. Decreasing integral coefficient causes those systems to show over damped responses (Dogan & Iskender, 2010).

4.3. Three Region Fuzzy Rule Based Self-tuning Fuzzy IMC PID Control

Main concern of this section is providing the current control strategy with a level further fuzziness. Next layer of fuzziness that is thought to be

added to these is about fuzzifying if then rules that determine the value of alpha.

Although the rules that were finally mentioned in previous section gave a simple overview of process behaviors and provided improvement in control performances of Fuzzy IMC PID controller, their boundaries such as “if $u > 0.63$ clause” may go under further simplification in order to give possibility to much easier design of controllers (Guzelkaya, Eksin & Yenil, 2003).

In fuzzifying the concerning rules and replacing strict rule bases by fuzzy decision making mechanisms, there are some important key issues which can be described briefly like following (Guzelkaya, Eksin & Yenil, 2003; Karasakal et al., 2005):

- Take three section partitioning of R range as basis and divide in same manner as sections x, y and z.
- Since all these rules are based on minimum and maximum values of (L/2,T) couple, they are process based and change with the process. So calculate the concerning minimum and maximum limits and store them for rules base design.
- For each section (x, y, z), create a fuzzy rule base that work on one input and one output variable.
- Each of the fuzzy input and output ranges shall contain five membership functions that shall be named as: very small, small, medium, large and very large. Five membership functions provide required distinction of minimum and maximum values in fuzzy understanding scheme.
- Input ranges shall be set between 0 and 1 since the minimum and maximum values of input $u = \text{error}/\text{input}$ are 0 and 1 respectively.
- Output ranges shall be carefully set according to minimum and maximum values of alpha that could be inferred by coupling the process data and rules given in previous x, y, z section based algorithm.
- Once all steps mentioned above are satisfied, self-tuning mechanisms based on strict if-then rules can now be replaced by relational fuzzy logic tuners.

For each three section, a separate characteristic fuzzy rule base is defined and these rule bases are given in following.

Section x - Rule Base:

- If u is very large, then alpha is very small.
- If u is large, then alpha is very small.
- If u is medium, then alpha is very small.
- If u is small, then alpha is small.
- If u is very small, then alpha is very large.

These rules can be better understood if one observes the numerical rules that were generated for section x in previous section. According to both for section x, when the system response is very far from the set point, alpha scaling factor is kept at minimum level in order to provide fast response. This manner is kept constant until the system response penetrates in to a range close to steady state. When error gets small enough, alpha is slightly increased to degree “small” and when response reaches set point, output alpha is set to very large immediately in order to provide robustness around set point and avoid overshoot (Karasakal et al. 2005).

Section y – Rule Base:

- If u is very large, then alpha is very large.
- If u is large, then alpha is very large.
- If u is medium, then alpha is very small.
- If u is small, then alpha is very small.
- If u is very small, then alpha is very small.

Taking in to account the behavior of processes that are classified in section y, rule base for this section is inevitably different from that for section x. The successful control of these processes could be made by setting alpha to high values for large error zones and decreasing it immediately as response approaches set point. Experimental step response studies showed that, processes of this class returned undamped oscillatory behavior for large alpha values near steady state. Minimum and maximum boundaries of output membership functions for this section are out of boundaries determined by $\min(L/2, T) - \max(L/2, T)$ range which was the base for section x rules. Detailed understanding of these boundaries can be obtained from the rules given in previous part about simple three section self-tuning of alpha with a hybridization device (Karasakal et. al., 2005; Mudi & Pal, 1999).

Section z – Rule Base:

- If u is very large, then alpha is very small.
- If u is large, then alpha is very small.
- If u is medium, then alpha is very small.
- If u is small, then alpha is very small.
- If u is very small, then alpha is very small.

Rule base for this section is simply based on keeping alpha at its minimum level independent of any variable. As a result, output action is kept constant at “very small” degree in each case. Besides alpha, beta (β) scaling factor, which conducts the relationship between K0 and K1 gain factors, is also kept at $\min(L/2, T)$ value only for this section. In sections

x and y, beta factor is always set to be equal to $\max(L/2, T)$ as default. Calculation of K1 gain is also made by taking 67% excess of time delay (L) as basis for it was also made the same way for section z in previous three section based study (Li & Tso, 2003).

5. Conclusion and Suggestions for Future Work

In this study, the process transfer functions were classified according to the relation between their time constant and delay parameter ($R=L/(L+T)$) and for all class of processes, different rule bases were developed since each class of process needed different approach in order to obtain a system response with small rise time and minimum overshoot. The first self-tuning rule base table has been obtained by partitioning above mentioned controllability time constant R in to six portions. Later, we have done some simplification on partitioning which led to a new table including only three simple and equal portions which means 0.33 for each in partitioning of 0-1 range. After that, rules in each three sections were replaced with fuzzy “if – then” rules in order to soften the transient zone behaviors along rule boundaries and also along partitioned portion boundaries.

Without exception, the final results showed that proposed multi region self-tuning rules improved step response performance of Fuzzy IMC PID controller by providing it with the proper self-tuning strategies for each kind of process behavior. According to graphical results and error index performance criteria calculations, self-tuning Fuzzy IMC PID controller maintained almost zero overshoot responses for processes with small controllability time constant (“R”) and provided remarkably improved responses even for processes with very large controllability time constant while non-self-tuning Fuzzy IMC PID controller showed chaotic oscillatory response in control of those latter kinds of processes.

As a final conclusion, it can be clearly stated that, Multi Region Self-tuning Fuzzy IMC PID Controller strategies and rule bases that are proposed in this study, enhanced the control ability of Fuzzy IMC PID controllers in great proportions for a variety of processes, whose time constant and time delay parameters vary along a wide range.

For future work, the first step should be the examination of regulatory responses of concerning control loops. Since all simulations conducted in this study deal with servo (step) response performances, detailed investigation is still needed for disturbance effects and responses. Besides that, control simulations for highly non-linear processes have to be conducted in order to amplify the ranges of the concerning self-tuning strategies and rule bases.

6. References

1. Bhattacharya, S., Chatterjee, A. & Munshi, S. (2003). An improved PID-type fuzzy controller employing individual fuzzy P, fuzzy I and fuzzy D controllers. *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 25, 352-372.
2. Cebeci, E. & Iskender, H. (2005). *An Investigation on IMC Based Dual Phase PID Controllers*, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Turkey.
3. Duan, X.G., Li, H.X. & Deng, H. (2008). Effective tuning method for fuzzy PID with internal model control. *Industrial and Engineering Chemical Research*, 47, 8317-8323.
4. Güzelkaya, M., Eksin, I. & Yeşil, E. (2003). Self-tuning of PID type fuzzy logic controller coefficients via relative rate observer. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16, 227-236.
5. Ho, S.J., Shu, L.S. & Ho, S.J. (2006). Optimizing fuzzy neural networks for tuning PID controllers using an orthogonal simulated annealing algorithm OSA. *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, 14(3), 421-434.
6. Karasakal, O., Yeşil, E., Güzelkaya, M. & Eksin, I. (2005). Implementation of a new self-tuning fuzzy PID controller on PLC. *Turkish Journal of Electrical Engineering*, 13(2), 277-286.
7. Kim, J. & Oh, S. (2000). A fuzzy PID controller for nonlinear and uncertain systems. *Soft Computing*, 4, 123-129.
8. Kumar, S.M.G., Deepak, J. & Anoop R.K. (2010). PSO based tuning of a PID controller for a High performance drilling machine, *International Journal of Computer Applications*, 1(19), 12-18.
9. Li, H.X. & Tso, S.K. (2000). Quantitative design and Analysis of fuzzy PID control - A step towards autotuning. *International Journal of Systems Science*, 31(5), 545-553.
10. Mahit, G. (2011). Fuzzy and three-step control of refiner system to get stable freeness for recycled paper. *Scientific Research and Essays*, 6(1), 110-117.
11. Mudi, R.K. & Pal, N.R. (1999). A robust self-tuning scheme for PI and PD type fuzzy controllers, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 7(1), 2-16.
12. Reznik, L., Ghanayem, O. & Bourmistrov, A. (2000). PID plus fuzzy controller structure as a design base for industrial applications. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 13, 419-430.
13. Woo, Z.W., Chung, H.Y. & Lin, J.J. (2000). A PID type fuzzy controller with self-tuning scaling factors. *Fuzzy Sets and Systems*, 115, 321-326.

14. Yılmaz, D.O. & Iskender, H. (2010). *An Investigation on IMC Based Fuzzy PID Controllers*, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Turkey.
15. Zulfatman, M.F. & Rahmat, M.F. (2009). Application of self-tuning Fuzzy PID controller on industrial hydraulic actuator using system identification approach. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 2(2), 246- 261.