

MÜHENDİSLİKTE KURAMSAL VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR

Editör:
Prof. Dr. Aydın RÜŞEN



MÜHENDİSLİKTE
KURAMSAL VE UYGULAMALI
YAKLAŞIMLAR

Editör

Prof. Dr. Aydın RÜŞEN



MÜHENDİSLİKTE KURAMSAL VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR

Editör: Prof. Dr. Aydın RÜŞEN

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design

Baskı: Mayıs 2025

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-5885-36-4

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir. Yayınevi ve editörler sorumlu tutulamaz.

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm 1

Atık Pillerin Metalurjik Olarak Değerlendirilmesi

İsmail DİNÇ, Aydın RÜŞEN

2. Bölüm 24

Yazılımsal Tekniklerle Yüksek Çözünürlüklü Görüntü Oluşturma

Mehmet Tarık ARI, Ömer Faruk BAY

3. Bölüm 35

Şebekeye Bağlı ÇBAG Tabanlı Rüzgâr Türbinlerinde
Enerji Depolama Sistemi Kullanılarak Küçük Sinyal Kararlılığının İncelenmesi

Muhammet DEMİRBAŞ, M. Kenan DÖŞOĞLU

Bölüm 455

Parçacık Sürü Optimizasyonu Temelli Cnn Lenet5 Ağlarının

Hisse Senedi Piyasalarında Kullanılması

Ahmet Bedirhan SAĞIR

Atık Pillerin Metalurjik Olarak Değerlendirilmesi

İsmail DİNÇ¹, Aydın RÜŞEN²

ÖZET

Günlük hayatımızın ayrılmaz bir parçası haline gelen pillerin, kullanım ömürleri bittiğinde çevreye olumsuz etkileri olabileceği unutulmamalıdır. Pillerin ve bataryaların doğru şekilde bertaraf edilmesi son derece önemlidir, çünkü içerdikleri metaller ve kimyasallar çevreye zarar verebilir. Geri dönüşüm süreci, atık pillerden ve bataryalardan geri kazanılan malzemelerin yeniden kullanılmasını mümkün kılarak doğal kaynakların korunmasına katkı sağlar. Ayrıca, bu süreç atık miktarının azalmasına yardımcı olur ve çevreye olumsuz etkilerin minimize edilmesine yardımcı olur. Atık pil ve bataryaları uygun şekilde toplamak ve geri dönüşüm tesislerine yönlendirmek atık yönetimi sürecinin kritik bir parçasıdır. Sonraki aşama pillerin ve bataryaların metalurjik açıdan doğru bir şekilde değerlendirilerek geri dönüştürülmesidir. Bu çalışmada, atık pillerin çeşitliliği ve çevreye olan olumsuz etkilerinden bahsedilmiş olup pillerin geri kazanımının gerekliliğine değinilmiştir. Ayrıca, atık pillerin metalurjik yolla geri kazanımı konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar kronolojik olarak verilmiştir. Pillerin ve bataryaların geri dönüşümü, toplumların sürdürülebilir bir gelecek için attığı önemli adımlardan biridir. Bu nedenle, bu konuda toplum olarak bilinçlenmeli ve atık pillerin geri dönüşümünün önemini vurgulamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Pil, Atık, Batarya, Geri kazanım, Çevre

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karaman, Türkiye

² Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh., Karaman, Türkiye
ORCID: 0000-0001-5592-1411
aydinrusen@kmu.edu.tr

ABSTRACT

It should not be forgotten that batteries, which have become an inseparable part of our daily lives, can have negative effects on the environment when they are finished. It is extremely important to dispose of batteries and accumulators, because the metals and chemicals contained can harm the environment. The recycling process contributes to the protection of natural resources by enabling the reuse of materials recovered from waste batteries and accumulators. In addition, this process helps reduce the amount of waste and minimizes negative effects on the environment. Properly collecting waste batteries and directing them to recycling facilities is a critical part of the waste management process. The next stage is to recycle batteries and accumulators by correctly evaluating them from a metallurgical perspective. In this study, the variety of waste batteries and their negative effects on the environment are discussed and the necessity of recycling batteries is mentioned. In addition, recent studies on the metallurgical recycling of waste batteries are given chronologically. Recycling batteries and accumulators is one of the important steps that societies take for a sustainable future. Therefore, society should be aware of this issue and emphasize the importance of recycling used batteries.

Keywords: Battery, Accumulator, Waste, Recycling, Environment

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelen enerji; güneş, su, rüzgar, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yada fosil kökenli kömür, petrol, doğal gaz gibi yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarından sağlanabilmektedir (Rusen & Rusen 2022), Ancak, enerjinin üretimi sonrasında gerekli talebin karşılanması ve ihtiyaçlara cevap verilmesi için bazı alanlarda enerji depolama sistemleri öne çıkmaktadır (Suberu vd. 2014, Karanfil vd. 2020). Özellikle, hayatımızın bir çok alanında kullandığımız düşük güç tüketimine sahip cihazlarda ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlayan bataryalar ve piller portatif enerji kaynağı olarak sektörde önemli bir yer tutmaktadır. (Kul 2020)

Birçok alanda kullanımına ihtiyaç duyduğumuz piller ve bataryalar, kullanım ömürlerini tamamladıktan sonra atık haline gelmektedir. Piller ve bataryaların içerdikleri ağır metaller ve zararlı kimyasallar nedeniyle, doğaya bırakıldıklarında toprak, su ve hava kirliliğine neden olabilmektedir (Kıral 2013). Bu nedenle, piller ve bataryaların doğru şekilde geri dönüşümü son derece önemlidir. Pil ve batarya geri dönüşümü, atık pillerden ve bataryalardan çıkarılan malzemelerin tekrar kullanılabilir hale getirilmesini sağlayan bir süreçtir. Bu süreçte, atık piller öncelikle toplanır ve uygun depolama ve taşıma koşullarına uygun bir şekilde geri dönüşüm tesislerine taşınır. Geri dönüşüm tesisinde piller, içerdikleri metallerin ve diğer malzemelerin geri kazanılması için özel yöntemlerle işlenir (Heelan vd. 2016). Pillerin geri dönüşümü, içerdikleri malzemelere bağlı olarak çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Örneğin, kurşun-asit pillerden kurşun ve asidik elektrolit geri kazanılabilir. Lityum, nikel, kobalt gibi metaller içeren piller ise özel işlemlerle bu metallerin geri kazanılmasını sağlayacak şekilde geri dönüştürülebilir (Andak 2012).

Piller ve bataryaların doğru şekilde geri dönüşümü, çevreye ve insan sağlığına zararlı etkilerini kontrol altına almak dışında enerji tüketiminin azaltılması açısından da önem arz etmektedir. Çünkü bir atığın geri dönüşümü için harcanan enerji miktarı o ürünü yeniden üretmek için harcanan enerji miktarından daha az olacaktır. Ayrıca, yapılan çalışmalar (Suberu vd. 2014, Aneke & Wang 2016, Rüsen vd. 2018, Chen vd. 2019, Rüsen & Cevik 2020) bir üretim sürecinde kullanılan iş ve işlemlerde enerji verimliliğini ön planda tutmanın enerji tasarrufunu artırdığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, kullanılmış piller ve bataryaların geri dönüşüm tesislerinde, doğru atık yönetimi ve enerji verimliliği uygulamalarını dikkate alarak ilerlemesi son derece önemlidir.

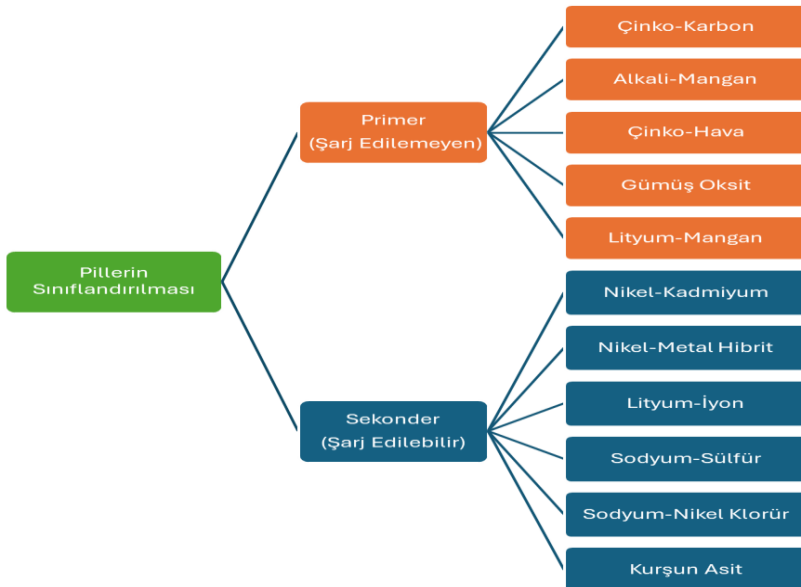
Geri dönüşümün yanı sıra, piller ve bataryaların daha az kullanılabilir hale gelmeden önce uzun ömürlü olmalarını sağlamak da önemlidir. Bu, gereksiz atık oluşumunu engelleyerek doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur.

2. PİLLER VE BATARYALAR

Elektrokimyasal bir cihaz olan pil, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bir aygıttır. Pil genellikle negatif elektrot (anot), pozitif elektrot (katot), elektrolit, ayırıcılar ve dış kılıf gibi bölümlerden oluşur. Deşarj süreci sırasında elektrokimyasal oksidasyon-redüksiyon reaksiyonu gerçekleşir ve bu, elektronların anottan katota doğru transferini içerir (Öztürk, 2007).

Pil sistemleri arasındaki temel fark, elektrot ve elektrolitlerin değişik özelliklerinden kaynaklanır. Günlük hayatta en sık karşılaşılan ve kullanılan enerji kaynakları taşınabilir piller ve bataryalardır. "Taşınabilir" terimi genellikle hafif ve kompakt olan, kolaylıkla bir yerden diğerine taşınabilen sistemleri ifade eder.

Piller genellikle ıslak hücreli piller (aküler) ve kuru hücreli piller olarak değerlendirilmektedir. Ancak genel sınıflandırmada birincil (primer) ve ikincil (sekonder) olmak üzere iki ana grupta incelenebilir; şarj edilemeyen piller (Çinko-Karbon, Alkali-Mangan, Lityum vb.) primer tip olarak ve şarj edilebilir piller (Nikel-Metal hibrit, Lityum-iyon, kurşun-asit vb.) ise sekonder tip olarak kategorilere ayrılabilir (AB Direktifi, 2003). Pillerin sınıflandırılmasına ait görsel Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Pillerin sınıflandırılması

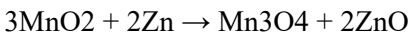
Bataryalar ise yine kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen cihazlar olup bu özellikleri sayesinde enerji depolanabilen ve doğrudan akım (DC) üretebilen birçok pilin birbirine bağlanmasıyla elde edilen sistemlerdir. Elektrik enerjisi, bataryaların içindeki elektrokimyasal redoks tepkimeleri yoluyla üretilir (Linden ve Reddy, 2001). Batarya türleri genellikle pozitif bir elektrot (katot), negatif bir elektrot (anot) ve iyonik bir iletken (elektrolit) oluşur. Elektrolitin cinsine bağlı olarak, bataryalar sıvı elektrolite sahipse genellikle "ıslak pil" olarak adlandırılırken, jel veya katı elektrolite sahipse "kuru pil" olarak bilinir. Güç uygulamalarında, batarya depolama sistemleri en yaygın olarak kullanılan teknolojiler arasındadır (Divya ve Ostergaard, 2009). Elektrikli araçlarda, uzay ve havacılık endüstrisinde, deniz altı ve üstü araçlarda, taşınabilir elektronik cihazlarda ve kablosuz ağ sistemlerinde kullanılan batarya teknolojileri, uygulama alanına bağlı olarak farklı kriterlere göre seçilmelidir. Bu kriterler arasında kapasite, güç, şarj/deşarj hızı ve tepki süresi bulunmaktadır. Kullanılan batarya tipi, belirli bir uygulama için en uygun performansı sağlamak amacıyla dikkatlice seçilmelidir. Li-iyon piller, nikel-metal hidrit piller, kurşun asit piller, Na-Ni klorür piller, Ni-Cd piller, Na-S piller gibi farklı türdeki bataryalar, çeşitli kullanımlar için oldukça popülerdir (Zhang vd. 2018).

2.1. Pil Çeşitleri

2.1.1. Primer (Şarj Edilemeyen) Piller:

a) Çinko-Karbon Piller

Georges Leclanché, 1860 yılında amonyum klorür elektrolitini kullanarak çinko-mangandioksit pilini icat etmiştir. Çinko-karbon pillerin anot kısmında çinko, katot kısmında ise mangan dioksit kullanılmaktadır. Bu pillerin elektrolit bölgesinde ise suda çözünmüş halde amonyum klorür ve/veya çinko klorür bulunur. Çinko, elektrokimyasal özellikleri ve ekonomik olması nedeniyle anot olarak tercih edilirken; mangan dioksit ise ekonomik olması sebebiyle katot olarak tercih edilir (Linden ve Reddy 2002). Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan bu pillerde mangan dioksit ile karıştırılmış karbon (siyah asetilen), iletkenliği arttırmak ve nem içeriğini korumak amacıyla kullanılır. Pil yüksek miktarda MnO_2 (~%27) ve Zn (~%23) içermektedir. Pil hücresideşarj edildiğinde, Eşitlik 1’de verilen reaksiyon gereği çinko oksit oluşurken, mangan dioksit indirgenmektedir (Kıral 2019).

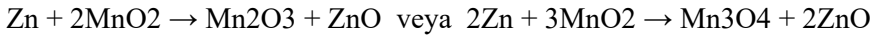


Eşitlik.1

b) Alkali-Mangan Piller

Şarj edilemez özellikte ve tek kullanımlık üretilen alkali-mangan piller, dahilinde alkali elektrolit bulunan mangan-çinko çifti içerir. Bu sistemde, katottun bileşimi mangan dioksit ve grafit karışımıdır, anot ise toz halindeki çinkodan oluşur. Katot, separatör ve anot, potasyum veya sodyum hidroksit içeren bir elektrolit içinde bulunur (Kıral 2013).

Alkali-mangan pillere ait olası reaksiyonlar Eşitlik 2’de verilmiştir. Üretici firmaya göre değişiklikler göstermekte olup ortalama olarak %37 MnO₂, %23 Fe ve %16 Zn içermektedir. Bu pillerin kullanım yerine göre ömrü değişmekte olup silindirik modellerde eskiden %2’ye kadar cıva kullanılabilirken günümüzde düğme türleri hariç olmak üzere cıvasız piller üretilmektedir. Diğer pil ve akü sistemlerinde bulunan kadmiyum ve kurşun reaksiyona girmesine karşın, alkali pillerdeki cıva reaksiyona girmeden pilin raf ömrünün uzatılmasına yardımcı olmaktadır. Günümüzde pilin raf ömrünü artırmak için bizmut ve indiyum gibi elementleri tercih ederek cıva kullanımından uzaklaşmaktadır (Dönmez, 2011).



Eşitlik 2

c) Çinko-Hava Piller

Alkali çinko-hava pilleri, atmosferde bulunan oksijeni kullanarak katalitik bir katot ve çinko içeren bir anot arasında kimyasal bir reaksiyona sokarlar. Katot (negatif kutup), ince bir yapıya sahiptir ve anot malzemesi olan çinko tozu geniş bir yüzey alanına sahiptir. İçeriğinde yüksek oranda Fe (~%40) ve Zn (~%35) bulunmakta olup temel reaksiyonu Eşitlik 3’te verilmiştir (Andak 2012, Dönmez 2011).



Eşitlik 3

Tüm elektrokimyasal sistemler arasında, alkali çinko-hava pilleri en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Ayrıca, çevreye verilen zararı minimum seviyede olduğundan saatler ve işletme cihazlarında kullanılmaktadır (Kıral 2013).

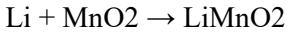
d) Gümüş Oksit Piller

Bu tip pil, sadece düğme şeklinde üretilir ve türünün en küçüğüdür. Gümüş oksit piller, toz çinko anot, kompreslenmiş gümüş oksit katot ve elektrolit olarak potasyum veya sodyum hidroksit içerir. Yüksek maliyetli malzemeler gerektiren bu piller, minyatür cihazlarda uzun süre düşük akım gerektiren

durumlarda kullanılır, örneğin kol saatleri (Linden ve Reddy 2002, Dönmez 2011).

e) Lityum-Mangan Piller

Lityum temelli primer pillerde lityum-mangan dioksit, lityum-tionil klorür ve lityum-sülfür dioksit gibi farklı tipler mevcuttur. En yaygın olan tipi, negatif elektrot olarak lityum ve pozitif elektrot olarak mangan dioksit kullanılandır. LiMnO_2 piller genellikle yüksek gerilim ve enerji yoğunluğuna sahiptir, uzun süreli depolama ve geniş sıcaklık aralıklarında kullanım gibi avantajları bulunmaktadır (Andak 2012). Bu piller silindirik, düğme ve yassı şekillerde üretilebilir. Silindirik tip lityum pillerinde katot ortasında bir delik bulunur ve anot bu deliğin etrafında bir separatör maddesi ile sarılarak yerleştirilir, böylece beklenmedik kısa devrelerde ortaya çıkan akımın şiddeti azaltılır ve anot ile katodun birbirine dönük yüzeylerinde oluşan ısınma dışarıya atılır. Ayrıca pil içerisinde meydana gelebilecek basınç artışları da özel pil tasarımı ile giderilir. Bu tip lityum pillerinde sortalama içerik %50 civarında Fe, %30 civarında mangan dioksit bulunurken lityum oranı %3 civarındadır. Bu tip pillerde Eşitlik 3'te verildiği üzere lityum metali ile mangan dioksit arasında bir reaksiyon gerçekleşmektedir (Dönmez, 2011).



Eşitlik 4

2.1.2. Sekonder (Şarj Edilebilir) Piller :

a) Kurşun-Asit Piller

1860 yılında Raymond L.G. Plante tarafından geliştirilen kurşun asit piller, ilk kullanılabilir şarjlı batarya sistemleri olarak ortaya çıkmıştır. Pil içerisindeki elektrolitin sıvı olduğu tiplere ıslak pil adı verilmektedir (Güven 2019). Günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan bu ıslak piller akü olarak bilinmekte olup katodu PbO_2 , anodu Pb ve elektroliti ise sülfürik asitten oluşan bir yapıya sahiptir. Sahip oldukları düşük maliyetleri, güvenilirlikleri, teknolojik olarak eriştikleri seviye ve hızlı tepki süreleri sayesinde özellikle otomotiv sektöründe yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Suberu vd. 2014). Hafif ve kompakt yapılarıyla kolaylıkla taşınabilen, genellikle 1-2 kilogramı geçmeyen, sızdırmaz bir yapıya sahip taşınabilir enerji depolama cihazları olarak prizmatik yapıdaki küçük boyutlu bakım gerektirmeyen kurşun-asit aküler de piyasada yer almakta ve taşınabilir piller (bataryalar) olarak kullanılmaktadır. Bu piller genellikle endüstriyel veya otomotiv alanlarına yönelik değildir (Dönmez, 2011).

b) Nikel-Kadmiyum Piller

Nikel-kadmiyum piller ve kurşun-asit bataryalar gibi yaklaşık 100 yıllık bir geçmişe sahiptir ve teknolojik olarak çok gelişmişlerdir. Bu piller, pozitif nikel hidroksit plakası, negatif kadmiyum hidroksit plakası, separatör ve alkalın elektrolit içerir. Nikel-kadmiyum pillerin hızlı şarj olabilme özelliği, kapasite kaybının olmaması gibi avantajları bulunmasına rağmen, görece yüksek maliyetleri, çevresel etkisi ve düşük çevrim sayıları (2000-2500) gibi dezavantajları vardır. Bununla birlikte, güvenilirliği ve düşük bakım gereksinimi gibi olumlu özellikleri de bulunmaktadır (Aneke ve Wang, 2016). Nikel-kadmiyum pillerinde, pozitif elektrot nikel hidroksit oluştururken, negatif elektrot kadmiyumdan oluşur. Potasyum hidroksit ise elektrolit olarak kullanılır. NiCd pillerin diğer şarj edilebilir pil türlerine göre temel avantajları oldukça güvenli olmaları, hızlı şarj edilebilme yetenekleri ve eksi 15 °C gibi düşük sıcaklıklarda rahatlıkla kullanılabilmesidir. Nikel-kadmiyum pillerinde istenilen gerilimi veremeyecek duruma gelindiğinde kolayca boşaltma (deşarj) işlemi yapılabilir (Dönmez, 2011). Bu tip piller içerisinde %35 civarındaki Fe ve %22 civarındaki Ni yanında %15 civarında bulunan Cd metali çevresel açıdan olumsuz etkiler oluşturduğundan kullanım alanları giderek azalmaktadır (Kıral 2013).

c) Nikel-Metal Hidrit Piller

Nikel-metal hidrit pil sistemi (NiMH), pozitif nikel hidroksit elektrodu, negatif elektrot oluşturan bir hidrojen alışı ve alkali esaslı bir elektrolit içerir. Nikel-kadmiyum pillerinden temel farkı, hidrojen alışımının kullanılmasıdır. Nikel-metal hidrit piller, nikel-kadmiyum pillerden daha yeni teknoloji ile üretilmektedir ((Linden ve Magnusen, 2001). Nikel-kadmiyum pillerle karşılaştırıldığında, metal hidrit elektrodu daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir çünkü hidrojen kullanılır. Bu piller, çevre dostudur çünkü kadmiyum içermezler. Bu avantajları sebebiyle, bilgisayarlar, cep telefonları ve diğer elektronik uygulamalarda daha fazla tercih edilmektedir (Dönmez 2011). Ancak, nikel-kadmiyum pillerden daha düşük kalitede performans gösterme ve negatif elektrotun yüksek maliyeti gibi dezavantajları bulunmaktadır (Kıral 2013).

d) Lityum İyon Pilleri (Li İyon)

Lityum-iyon pillerin gelişimi, 1960'ların başlarında Bell Laboratuvarlarında başlamış ve 1990 yılında Sony firması tarafından ilk ticari versiyonu üretilmiştir. Bu tür pillerin katodunda lityum metali veya lityum demir fosfat gibi lityum alaşımları kullanılırken, anodunda çoğunlukla grafitten oluşan bir

malzeme kullanılmaktadır. Batarya şarj edildiğinde, katottaki lityum atomları iyonlaşır ve elektrolit boyunca hareket ederek karbon anotunda depolanır. Deşarj işlemi sırasında ise bu süreç tersine döner (Güven, 2019). Günümüzde hibrit elektrikli araçlar için büyük bir enerji kaynağı haline gelen endüstriyel lityum iyon sistemleri, lityum iyon pillerin katodunda genellikle lityum nikel mangan kobalt oksit ve anodunda grafit bulunan elektrolitik çözeltisinin içinde lityum tuzu bulunmasıyla karakterize edilir. Bu tür piller metalik lityum içermez ve genellikle içerikleri %5-20 kobalt, %5-10 nikel, %5-7 lityum, %15 organik kimyasallar ve %7 plastik gibi oranlara sahip olabilir (Dönmez 2011, Shin vd., 2005).

Lityum-iyon pillerin pek çok avantajı bulunmaktadır: yüksek voltaj, yüksek volümetrik ve gravimetrik enerji yoğunluğu, düşük deşarj oranı, hızlı şarj edilebilme özelliği, geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilme imkânı ve hafif olmaları gibi. Dezavantajları ise ortalama maliyeti, aşırı şarj edildiğinde ısınma sebebiyle pil ömrünün kısalması, deşarj derinliğinin (DoD) pil ömrü üzerindeki etkisi ve kapasite kaybı şeklinde sıralanabilir (Ritchie ve Howard 2006, Luo vd. 2015).

Lityum-iyon piller, taşınabilir elektronik cihazlar (cep telefonları, video kameralar, dizüstü bilgisayarlar vb.) ve tıbbi uygulamalar gibi küçük boyut ve hafiflik gerektiren cihazlar için mükemmel bir seçenektir. Ayrıca, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları (75-200 Wh/kg), yüksek güç yoğunluğu (500-2000 W/kg), yüksek verimlilik ve düşük kendi kendine deşarj oranı sayesinde lityum-iyon pilleri elektrikli/hibrit araçlarda kullanmak için ideal hale getirir (Khaligh ve Li, 2010).

Şarj edilebilir lityum pillerinden farklı olarak polimer destekli lityum piller de bulunmaktadır. Li-polimer sisteminde elektrolit, iyonların hareket etmesine izin veren, ancak iletken olmayan bir tür polimer malzeme (poliakrilonitril, polietilen oksit vb.) kullanılarak yapılmıştır (Andak 2012). Genellikle cep telefonları gibi taşınabilir cihazlarda kullanılan Li-polimer piller, jel şeklinde elektrolit içerirler. Bu nedenle, bu tür pillere "lityum iyon polimer" adı verilmesi daha uygun bulunmuştur (Kıral 2013) Li-iyon ve lityum iyon polimer pillerinin özellikleri ve performans verileri birbirine oldukça benzerdir. Jel formundaki elektrolit ilavesi, tamamen iyon iletkenliğini artırmak amacıyla yapılmıştır. Isının 60°C'nin üzerine çıkarılması, iletkenliği artırabilir, ancak mobil cihazlarda bu uygulama genellikle mümkün değildir (Dönmez 2011). Bu tür olumsuzlukları sebebiyle lityum iyon pillere göre çok fazla tercih edilmemektedir (Andak 2012).

e) Sodyum sülfür piller:

Sodyum sülfür bataryaları, erimiş sodyumun negatif elektrot olarak, erimiş sülfürün ise pozitif elektrot olarak kullanıldığı bataryalardır. Bunun yanı sıra, katı beta alümina seramik elektrolit tercih edilir ve bu elektrolit sadece pozitif sodyum iyonlarının iletimine izin verir. Bu tip bataryalar, ticari elektrik şebekelerine destek sağlamak, rüzgâr türbinleriyle entegrasyonu sağlamak ve yüksek kapasiteli enerji depolama hizmetlerinde kullanılmaktadır (Akhil vd. 2013).

Bu teknolojinin temel avantajları yüksek enerji yoğunluğu (151-170 kWh/m³), %85'ten fazla verimlilik, neredeyse sıfır kendiliğinden boşalma oranı, uzun deşarj süresi ve geri dönüşebilir ($\approx$ %99) malzemelerden yapılmış olmasıdır. Ancak yüksek yatırım maliyeti ve yüksek sıcaklık gereksinimi (300°C-350°C) gibi dezavantajlar bulunmaktadır. Ayrıca, metalik sodyumun suyla temasında yanıcı olma riski de göz önünde bulundurulmalıdır (Güven 2019).

f) Sodyum-nikel klorür piller:

Sodyum nikel klorür bataryaları, ZEBRA pilleri olarak da bilinir, ortalama 94-120 Wh/kg enerji yoğunluğuna sahiptir. Aynı zamanda yaklaşık 150 W/kg güç yoğunluğuna sahip olan bu bataryalar, sodyum sülfür bataryalara benzer olarak yaklaşık 300°C'deki yüksek sıcaklıklarda çalışır. Şarj sırasında, NaCl tuzu ve Ni, NiCl₂'ye dönüşür ve erimiş Na'ya dönüşür. Bu kimyasal reaksiyon, deşarj sürecinde tersine çevrilir. ZEBRA bataryalarının avantajları arasında iyi darbe gücü kapasitesi, düşük kendi kendine boşalma oranı ve görece yüksek çevrim ömrü bulunmaktadır (Güven 2019, Chen vd, 2009).

2.2. Pil Ömrü ve Etkileyen Değişkenler

Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen elektrokimyasal piller, bu dönüşüm sürecinde istenmeyen yan reaksiyonlar meydana gelebilir. Bu yan reaksiyonlar pilin aktif maddelerini olumsuz etkileyebilir ve pilin ömrünü kısaltarak performansını negatif yönde etkileyebilir. Ayrıca elektroliti barındıran bölmenin çeperlerinde istenmeyen fiziksel ve kimyasal değişimlere neden olabilir. Sıcaklık, basınç, şarj seviyesi gerilimi, deşarj derinliği, yaşlanma, sızıntı ve elektrolit kaybı gibi değişkenler pil ömrünü kısaltan temel faktörler olarak sıralanabilir (Dönmez, 2011).

2.3. Atık Pillerin Çevresel Etkileri

Piller içerdikleri kadmiyum, cıva vb. ağır metaller sebebiyle tehlikeli atık sınıfında yer almaktadırlar. Özellikle, silindirik çinko-karbon ve alkali-mangan

pillerde performansın artırılması için eklenen cıva, insan sağığına zararlı olması sebebiyle, 30 yıldan beri kademeli olarak azaltılarak günümüzde 5 ppm değerine kadar düşürülmüştür. Ancak, düğme tipi pillerinde hala %2'ye kadar cıva içeriğine izin verilmektedir. Diğer taraftan, Ni-Cd piller ise %15-25 arasında toksik özelliğe sahip kadmiyum içerdiğinden insan sağığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple, Ni-Cd pillerinin kullanım alanı sınırlandırılarak Ni-MH tipi pillerin gelişimi sağlanarak kullanımı yaygınlaştırılmaktadır. Ağır metallerden olan kurşun ise, sadece otomotiv aküleri ve kurşun-asit esaslı endüstriyel akülerde kullanılmakta olup taşınabilir pil ve bataryalarda bulunmamaktadır. Avrupa'daki son direktife göre, piller, bataryalar ve aküler için izin verilen maksimum kurşun miktarı 40 ppm değeri ile sınırlandırılmıştır (Karasu 2013).

Tehlikeli atık olarak kabul edilen tüketilmiş piller ve akülerin kontrolüne ilişkin yönetmeliklere göre, pil ve akülerin çevreye gelişi güzel bırakılmaması, çöpe atılmaması, evsel atıklara karıştırılmaması gerekmektedir. Bu sebeple, atık ürünlerin muhakkak pil toplama kutularında toplanarak biriktirilmesi elzemdir (Kıral 2013)

Taşınabilir piller ve bataryalar, radyoaktif maddeler içermezler. Ancak, çeşitli taşınabilir piller ve akümülatörler, yüksek oranlarda çinko, demir, manganez, nikel, kurşun, kadmiyum, kobalt ve nadir toprak elementleri gibi bileşenler içerebilir. Avrupa Birliği ülkeleri, metal endüstrisi için büyük ölçüde maden cevherleri, maden alaşımları veya birincil metallerin ithalatına bağımlıdır. Yapılan araştırmalar, pillerin içerdikleri metaller açısından, maden cevherleri ve alaşımlardan sonra en yüksek miktarda metal içeren kaynaklar olduğunu göstermektedir (Dönmez, 2011).

Geri dönüştürülen metallerin maliyetleri, özellikle enerji tüketimi açısından, bu metallerin maden cevherlerinden çıkarılma ve alaşımlarından elde edilme maliyetlerinden oldukça düşüktür. Ayrıca bu yolla ürünlerin karbon salınımları azaltılarak çevrenin korunmasına katkı sağlanmış olur (Ruşen & Koç 2019). Bu sebeple, Avrupa'da birçok atık pil geri dönüşüm tesisi kurularak hem enerji hem çevre hem de ekonomik kazanımlar sağlanmaktadır. 2007 yılında AB ülkelerinde yaklaşık 160 bin ton taşınabilir pilin piyasaya sürüldüğü, bu miktarın içinde toplam 110-115 bin ton civarında çeşitli metallerin bulunduğu ve bu metallerin piyasa değerinin 50-100 milyon Euro olduğu belirtilmektedir (Dönmez, 2011). Portatif taşınabilir cihazların ve elektrikli araçların artışıyla pil ve batarya kullanımının sürekli arttığı göz önüne alındığında atık pillerin geri dönüşümünün daha da önem kazandığı yadsınamaz bir gerçektir.

2.4. Atık Pillerin Toplanması ve Taşınması

Türkiye'de atık pilleri toplamak, geri dönüşüm için ilgili yerlere sevk etmek ve ayrıştırmak için yetkilendirilmiş kuruluş Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları (TAP) Derneği'dir. Bu konuda ilgili dernekten atık pillerin toplanması için yetki izni almış firmalar da atık pil toplama ve ayrıştırma işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. 2005 tarihinde yürürlüğe giren "Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği (APAK)" ülkemizde atık pillerin toplanması, taşınması, geri kazanılması veya bertaraf edilmesini sağlamak üzere Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. Atık pil konusunda yapılan çalışmaların bu yönetmeliğe uygun bir şekilde gerçekleştirilerek geri dönüşümün tamamlanması beklenmektedir (Karasu 2013, Dönmez, 2011).

2.5. Atık Pillerin Değerlendirilme Sebepleri

Atık piller ve akümülatörlerin çevresel endişelere neden olmasının ana sebeplerinden biri, içerdikleri zararlı maddelerin kontrolsüz bir şekilde bertaraf edilmesi durumunda su ve toprağın kirlenmesine yol açmalarıdır. Ayrıca, bu atıkların yakılması durumunda da dioksin gibi zararlı emisyonların ortaya çıkması söz konusudur. Pil ve akümülatörlerde bulunan toksik maddeler genellikle kurşun, cıva, ve kadmiyum gibi elementlerden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, atık pillerin içerdikleri bazı metaller (çinko, mangan, nikel, lityum ve bakır gibi) ise çevresel risk ötesinde ekonomik değeri olan metallerdir. Özellikle alkalin ve çinko-karbon piller, içerdikleri cıva, çinko ve mangan gibi ağır metaller sebebiyle geri dönüşümü gereken atıklar arasındadır (Bartolozzi, 1990). Atık piller, çevre ve sağlık için büyük bir tehdit oluştururlar çünkü toksik olmalarının yanı sıra bol miktarda bulunurlar ve dirençlidirler (Kierkegaard, 2007).

Atık pillerle ilişkilendirilen cıva, doğada parçalanmaz ve insan sağlığı ile çevre için son derece tehlikeli ve toksik bir metaldir. Vücuda giren cıva, içme suyu veya besin zinciri aracılığıyla sinir sistemi bozukluklarına, merkezi sinir sistemi hasarına, kansere, böbrek, karaciğer ve beyin dokularının zarar görmesine ve doğumsal anormalliklere neden olabilir. Kadmiyum ise akciğer sorunlarına, prostat kanserine, kansızlığa ve doku hasarına yol açabildiğinden tehlikeli madde olarak değerlendirilmektedir. Kadmiyumun vücuttaki yarılanma ömrü 10 ila 25 yıl arasında değişir. Bu nedenle havada, besinlerde ve içme suyunda kadmiyum bulunduğunda, kadmiyumun suya birikmesi artmaya devam eder (Dönmez, 2011).

Kurşun, solunum yoluyla, içme suyu ve gıda zinciri aracılığıyla vücuda girmektedir. Vücuda giren kurşunun bir kısmı ciğerlere ulaşmakta ve burada yavaşça emilerek kana karışmaktadır. Kurşun maruziyeti, işitme kaybı, sinir

iletim sistemi bozuklukları, düşük hemoglobin seviyeleri, anemi, mide ağrısı, böbrek ve beyin iltihaplanmaları, kısırlık, kanser ve ölüme neden olabilmektedir (Öztürk, 2007).

Atık pillerin içerdiği bu ağır metallerin bertaraf edilmesi ve ihtiva ettiği değerli metallerin geri kazanılması açısından değerlendirilmesi gereken atıkların başında gelmektedir.

3. ATIK PİLLERİN GERİ KAZANIMI

Atık pillerin geri kazanım aşaması pillerin toplandıktan sonra ayrıştırma işlemine tabii tutulmasıyla başlamaktadır. Atık pillerin doğru bir şekilde ayrıştırabilmesi için pillerin tipi, fiziki ölçüleri, elektromanyetik özellikleri gibi temel etkenler dikkate alınması gerekmektedir. Genel olarak atıklardan metal geri kazanımında pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak pil atıkları üzerine yapılan çalışmalar aşağıda kronolojik sırayla verilmiştir;

Kreusch vd. yaptıkları çalışmada kurşun, çevre ve insan sağlığı için tehlikeli bir metal olduğundan, geri dönüşüm süreci titizlikle yürütülmesi gerektiği ve Brezilya'da otomotiv akülerinin geri dönüşümü ve ikincil kurşunun geri kazanılmasının öneminden bahsetmişlerdir. Bu çalışmada Brezilya'nın kurşun rezervlerinin kısıtlı olması nedeniyle geri kazanım sürecinin büyük bir önem taşıdığı vurgulanmıştır (Kreusch vd. 2007).

Sönmez ve Kumar tarafından yapılan bir çalışmada ise pil atıklarının içerdiği kurşun bileşiklerinin kurşun sitrat şeklinde kazanılabilmesi amacıyla liç ajanı olarak sitrik asit ve sitrik asit-H₂O₂ karışımının kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada sıcaklık, süre, sitrik asit konsantrasyonu ve katı/sıvı oranı gibi temel parametreler incelenmiş ve geri kazanımın % 99 oranına kadar elde edilebileceği belirtilmiştir (Sönmez ve Kumar 2009).

Özdoğan tarafından yapılan çalışmada günümüzde doğal kaynakların daha verimli kullanılması gerekliliğinin çevresel koruma ve sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşıdığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, nikel kadmiyum pilleri incelenmiş ve nikel sülfat, kadmiyum sülfat ve su karışımının faz diyagramları çıkarılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda CdSO₄.H₂O ve NiSO₄.6H₂O gibi bileşiklerin geri kazanımı için bir proses önerilmiştir (Özdoğan, 2010).

Aydın tarafından yapılan çalışma üç farklı aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, katı oksit yakıt pillerinde (KOYP) elektrolit malzemesi olarak kullanılan GDC10'un sol-jel yöntemiyle sentezlenmesi gerçekleştirilmiştir ve elde edilen malzeme XRD (X-ışını Toz Difraksiyonu) ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile karakterize edilmiştir. İkinci olarak, GDC10

(Gd_{0,1}Ce_{0,9}O_{1,95}) ve ScSZ'nin [(ZrO₂)_{0,90}(Sc₂O₃)_{0,10}] atıklarından geri kazanılması ve tekrar kullanılabilmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yeni yöntemle elde edilen elektrolit malzemesi yeniden kullanılmıştır. Son olarak, Y₂O₃ ile stabilize edilmiş ZrO₂ içeren YSZ (TZ-8Y ve TZ-8YS) elektrolit tozlarının performansları farklı sinterleme sıcaklıkları (1350°C, 1400°C ve 1450°C) ve farklı kalınlıklar (200 µm, 250 µm ve 300 µm) ile test edilerek incelenmiştir. Araştırmada, katı oksit yakıt pilleri için kullanılan GDC10 ve ScSZ elektrolitlerinden elde edilen malzemelerin çoğunun yeniden kazanılabileceği tespit edilmiştir. Geri dönüştürülen GDC10 elektroliti, ticari olarak satılan GDC10'a kıyasla daha iyi performans göstermiş; özellikle 650°C'de %30, 700°C'de ise %35 daha iyi sonuçlar alınmıştır. En iyi geri dönüşüm performansı, 10 saat boyunca öğütülmüş GDC10 ile sağlanmıştır. Final aşamasında, TZ-8Y ve TZ-8YS elektrolit tozlarının farklı sinterleme sıcaklıkları ve kalınlıklarının performansları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, anot ve katot bileşimleri sabit tutularak TZ-8Y ve TZ-8YS elektrolitlerinin sinterleme koşulları değiştirilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. En iyi sonuç, 250 µm kalınlığındaki ve 1350°C'de sinterlenen TZ-8YS elektrolitinden elde edilmiştir (Aydın 2010).

Aktaş ve Açma tarafından yapılan bir çalışmada lityum iyon ikincil pillerinde kullanılan lityum kobalt oksit (LiCoO₂) bileşiği sülfürik asit ile liç edilerek elde edilen çözeltideki lityum ve kobaltın sülfat formunda çöktürülmesi için etanol sülfat çöktürme tekniği optimize edilmiştir. Bu çalışmada, lityum iyon ikincil pillerinde kullanılan lityum kobalt oksit (LiCoO₂) bileşiği sülfürik asit ile liç edilerek elde edilen çözeltideki lityum ve kobaltın sülfat formunda çöktürülmesi için etanol sülfat çöktürme tekniği optimize edilmiştir. Metal çöktürme işlemi, %5 hidrojen peroksit içeren 4M sülfürik asit çözeltisiyle 80°C'de 1 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte lityum ve kobalt, tamamıyla çözeltiye transfer edilmiştir. Kobalt, daha sonra iki aşamada geri kazanılmıştır. İlk aşamada, kobalt iyonları etanol ile çözeltiye eklenerek %92 verimlilikle CoSO₄ şeklinde çöktürülmüştür. Bu adım, etanolün sülfat ligant bağlarını kopararak kobaltın tuz formunda çökmesini sağlamıştır. İkinci aşamada, etanol ile çözilemeyen kobalt iyonları lityum hidroksit ile reaksiyona sokularak pH 10'a ayarlanmış ve kobalt hidroksit (Co(OH)₂) olarak çöktürülmüştür.. Çözeltideki lityum iyonları daha sonra sülfürik asit ile asitlendirilip %98 verimlilikle lityum sülfat (Li₂SO₄) olarak çöktürülmüştür. Bu çalışmadaki temel amaç atık pillerin çevreye verdiği zararı en aza indirmek adına kullanılmış pillerden geri kazanılabilir malzemeleri en iyi şekilde geri kazanmaktır (Aktaş ve Açma, 2011).

Dönmez tarafından yapılan çalışmada atık pillerin Türkiye'de toplanılması, ayrıştırılması ve nihai olarak bertaraf edilmesi süreci ve 2004 yılında yayınlanan yasal mevzuatın ardından atık piller konusunda farkındalık arttığı, ancak toplanması, taşınması ve bertarafı konularında halen eksiklikler mevcut olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın amacı atık pillerin içerdikleri zararlı maddeler nedeniyle insan, bitki ve hayvan sağlığı ile sucul ortamlardaki canlılara zarar verme potansiyeline sahip olması nedeniyle atık toplamanın önemini vurgulamaktır (Dönmez, 2011).

Andak tarafından yapılan bir çalışmada elektrokimyasal bir cihaz olan pilin kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada çinko-karbon ve alkali pillerin geri dönüşüm sürecinde $ZnSO_4$ - $MnSO_4$ - H_2O katı-sıvı faz dengesinin araştırılmasına odaklanılmıştır. İlk olarak, belirli ticari pillerin içeriği analiz edilmiş ve piller parçalara ayrılarak içerdikleri bileşenler ayrı ayrı ölçülmüştür. Elektrotlar kurutulmuş ve nitrik asit ile çözülmüştür. Çözücülerdeki metal miktarları analiz edilerek atık pillerin geri kazanım süreci belirlenmiştir. İkinci aşamada, çinko sülfat, mangan sülfat ve su içeren üç bileşenli sistemin farklı sıcaklıklardaki katı-sıvı faz dengeleri detaylı olarak incelenmiştir (15°C, 40°C, 50°C ve 80°C). Faz denge deneylerinde, aşırı doygun sentetik çinko sülfat ve mangan sülfat çözeltileri hazırlanmış ve belirlenen sıcaklıklarda dengenin sağlanması için bekletilmiştir. $ZnSO_4$ ve $MnSO_4$ çözeltileri karıştırıldıktan sonra dengeye ulaşmaları beklenmiş ve bu durumda hem sıvı fazdan hem de katı fazdan numuneler alınarak indüktif eşleşmiş plazma spektrometresi ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçları ile $ZnSO_4$ - $MnSO_4$ - H_2O sisteminin katı-sıvı faz dengesi belirlenmiştir. Bu verilere dayanarak uygun sıcaklıklarda kristalizasyon işlemi kurulmuştur. Sonuç olarak, atık çinko-karbon ve alkali pillerin geri kazanım prosesinin temel hesaplamaları bu çalışmalar ile yapılmıştır. (Andak 2012).

Belardi vd. yaptıkları çalışmada, atık pillerden çinko ve mangan kazanımı için termal yöntemi tercih etmişlerdir. Taguchi metot kullanılarak daha az sayıda deney gerçekleştiren araştırmacılar hem maliyet hem de zaman tasarrufu sağladıklarını bildirmişlerdir. Ortogonal dizi tasarımına göre yapılan deneyler sonucunda 1000 °C sıcaklıkta 30 dakikalık deney ile çinkonun neredeyse tamamını manganın ise %63 oranında geri kazanılabildiği vurgulanmıştır (Belardi, vd. 2012).

Gaines tarafından yapılan çalışmada, kurşun-asit akü geri dönüşüm sisteminin otomotiv lityum iyon pillerin geri dönüşümüne göre daha basit olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın amacı lityum iyon pillerin birden fazla kullanım ömrüne sahip olabildiğinden dolayı geri dönüşüm için daha uzun bir

sürenin gerekliliği ve bu durumun teknik, ekonomik ve kurumsal engelleri aşma fırsatı sunduğunu belirtmektedir (Gaines 2014).

Özden tarafından yapılan çalışmada evsel atıkların hacimsel yoğunluğunun genellikle $0,6 \text{ kg/m}^3$ civarındayken, ambalaj atıklarının yoğunluğunun ise yaklaşık $0,3 \text{ kg/m}^3$ seviyesinde olduğunu belirtmiştir. Bu durumda, geri dönüşüm ile atık miktarlarında azalma sağlanmasının özellikle hacimsel açıdan önemli bir avantaj sunduğu vurgulanmıştır (Özden 2015).

Yeşiltepe tarafından yapılan çalışmada alkali pillerin atık tozlarından çinko ve mangan geri kazanımı için sülfirik asit ile birlikte glikoz ve laktoz kullanılarak liç işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada glikoz ve laktozun indirgeyici ajan olarak mangan çözünmesini artırdığı ancak ZnO çözünmesine karşı herhangi bir etkisi olmadığı belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde sülfirik asit ile beraber oksalik asit kullanılarak atık pillerden çinko ve mangan kazanımı araştırılmış, ancak okzalik asit ilavesinin çözeltideki çinkonun, çinko okzalat olarak çökmesine neden olduğu bildirilmiştir. Çözeltiden kazanım için Cyanex 272 ile solvent ekstraksiyonu çalışmaları yapılmış ve neticede sülfirik asitte çözünen pil atıklarından Cyanex 272 ile Zn ve Mn'nin selektif olarak ayrılabilceği belirtilmiştir (Yeşiltepe 2015).

Taner vd. yaptıkları çalışmada çeşitli organik (sitrik asit, Askorbik asit vb.) ve inorganik asitleri (nitrik, sülfirik ve klorik asit) kullanarak atık pil tozlarından çinko ve mangan kazanımını amaçlamışlardır. Çalışmada ayrıca amonyak, sodyum hidroksit, amonyum asetatın sulu çözeltilerinin çinko ve mangan kazanımını üzerine etkileri incelenmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek verim değerleri 600 dev/dk karıştırma hızı, 60°C sıcaklık, $-53 \mu\text{m}$ tane boyutunda, 2 M asetik asit derişimi ve 2 saat liç süresi şartlarında çinko ve mangan için %83 ve %52 olarak bulunmuştur (Taner vd. 2016).

Heelan vd. yaptıkları çalışmada Lityum iyon (Li-ion) pillerin çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanımını ve Li-ion pillerin geri dönüşümünü incelemişlerdir. Çalışmanın amacı bu pillerin geri dönüşüm süreçlerinin henüz gelişmediğini ve daha ekonomik yöntemlerin bulunması gerekliliğini vurgulamaktır (Heelan vd. 2016).

Maryam vd. yaptıkları çalışmada atık alkali pillerin içerisindeki oksitli formlarda bulunan çinko ve manganın (ZnO ve MnO) inorganik asitler ile çözünebileceği, ancak Mn_2O_3 ve Mn_3O_4 'in inorganik asitler ile birlikte organik asitlere de gereksinimi olduğu vurgulanmıştır. Mikrodalga ve ultrason yardımıyla yapılacak liç çalışmalarında daha kısa reaksiyon süresine ihtiyaç duyulduğu ve daha yüksek oranda çinkonun çözeltiye alınabildiği belirtilmiştir (Maryam vd. 2017).

Gaines tarafından yapılan çalışmada lityum iyon pillerin verimli ve ekonomik geri dönüşümü için önemli bir teknoloji geliştirme ihtiyacı bulunduğu ve bu pillerin bileşen malzemelerinin gelecekteki tedarikini sağlamak ve çevresel etkileri azaltmak için kritik bir adım olduğuna değinilmiştir. Çalışmanın amacı lityum iyon pillerin karmaşık yapıları ve sürekli gelişen tasarımları nedeniyle geri dönüşüm zorluklarına sahip olduğunu vurgulamaktır (Gaines 2018).

Kıral tarafından yapılan çalışmada, sülfürik asit kullanılarak karıştırma liçi ile çinko-karbon pil atıklarından Zn ve Mn kazanımı amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda karıştırma hızı, asit konsantrasyonu, liç sıcaklığı ve Fe+2 iyonu konsantrasyonu parametrelerinin Zn ve Mn'in çözünmesine olan etkileri incelenmiştir. Sonuçlar Zn ve Mn'nin çözünmesinin tüm parametreler ile doğru orantılı bir şekilde değiştiğini göstermiştir. Kinetik deneylerin sonuçlarına göre Zn ve Mn'nin çözünmesinin iki şekilde olabildiği (arayüzey transfer ve ürün tabakasından difüzyon kontrollü) ve aktivasyon enerjilerinin sırasıyla 28,63 kJ/mol ve 71,82 kJ/mol olduğu belirtilmiştir (Kıral 2019).

Güven vd. tarafından yapılan çalışmada araç sayısındaki artış, petrol kaynaklarının azalması ve hava kirliliğinin yükselmesi dolayısıyla, enerji sektöründe yeni çözümler arayışı incelenmiştir. Çalışmanın amacı alternatif enerji kaynaklarının önemini vurgulamaktır. (Güven vd. 2019).

Alaf vd. tarafından yapılan çalışmada günümüzdeki fosil kaynaklı enerji yerine yeşil ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişin, etkili enerji depolama sistemlerinin varlığında başarılı olabileceği konusu incelenmiştir. Bu çalışmadaki temel amaç yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş ve rüzgâr enerjisinin artan enerji taleplerini karşılamak için son derece uygun ve çevre dostu bir alternatif sunduğunu belirtmektir. (Alaf vd. 2019).

Kadalk vd. yaptıkları çalışmada taşınım ile enerji alışverişinin akışkanın içindeki sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanan yoğunluk farkları tarafından oluşturulan kaldırma kuvvetleriyle ilişkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada doğal taşınımın mantığının anlatılması amaçlanmıştır (Kadalk vd. 2021).

Kaya tarafından yapılan çalışmada Lityumun başta maden kaynakları, tuzlu sular ve deniz suyu olmak üzere çeşitli kaynaklarda bulunduğu ve lityumun cevherden çıkarılmasının oldukça maliyetli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmadaki amaç Li-ion pillerin fosil yakıt kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak için kritik öneme sahip olduğunu belirtmektir (Kaya 2022).

Baum vd. yaptıkları çalışmada lityum iyon pillerin (LIB'ler) kullanımındaki artışın teknolojik ilerlemenin bir sonucu olarak gerçekleştiği ve LIB'lerin yaygın kullanımının güçlü ve verimli enerji depolama çözümleri sunmaları nedeniyle tercih edildiği belirtilmiştir. Çalışmanın amacı bu yaygın kullanımın çevresel ve

siyasi kaygılara yol açtığını ve dünya çapında LIB'lerin üretimi ve bertarafıyla ilgili konuların giderek önem kazandığını belirtmektedir (Baum vd. 2022).

Aksu vd. yaptıkları çalışmada, son zamanlarda taşınabilir enerjiye duyulan talep her geçen gün artmakta olduğunu belirtmiş ve özellikle iletişim çağında, piller gibi modern yaşamın vazgeçilmezlerinin enerji depolama konusunda büyük önem kazandığını vurgulamışlardır. Bu noktada, yüksek enerji depolama kapasitesine sahip pillere olan ihtiyacın hızla arttığını ve bu ihtiyacı karşılamak için Li-ion pillerin önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. 110 adet Li-iyon pilin ortalama bileşimi incelendiğinde %20 Bakır, %8 Alüminyum, %10 plastik, %55 pil pastası (LiCoO₂) ve %7 diğer bileşenler olduğunu belirlenmişlerdir. Araştırmada elde edilen metal ve plastik parçaların geri dönüşüme uygun olduğu gözlemlenirken, pil pastasının tekrar kullanımı için spektroskopik analizler yapılmıştır. Li-metal oksit bileşiklerinin kullanıldığı katot malzemeleri, defalarca şarj ve deşarj işlemine tabi tutulduğunda, bileşikteki morfolojik yapının bozulduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, katottan anoda ve anottan kata sürekli iyon migrasyonu ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle, kullanılmış Li-iyon pillerin pil pastası, doğrudan veya basit işlemlerle geri dönüştürülmesinin zorluğundan bahsedilmiştir. Geri dönüşüm için karmaşık kimyasal işlemlere ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir (Aksu vd. 2022).

Birçok araştırmacı pillerin geri dönüşümü sürecinde yeni teknolojiler üzerine çalışmalara devam etmektedir. Şu anda, çalışmalarda kullanılan geri dönüşüm süreci; pilin deşarjı, mekanik sökme, manyetik parçaların fiziksel olarak ayrılması sonrasında hidrometalurji, pirometalurji veya her ikisinin bir kombinasyonu şeklinde ilerlemektedir. Değerli kaynakların geri kazanılması veya aktif malzemelerin yeniden kullanımı, önümüzdeki yıllarda pillerin sürdürülebilir uygulanması için çok daha önem arz edecektir.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, piller ve bataryaların sınıflandırılması, çevresel etkileri ve pil atıklarının geri dönüşümünde metalurjik yöntemlerin kullanılması üzerine yakın zamanda yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Piller ve bataryalar kullanımları sonrasında atık olarak adlandırılmaktadır ve bu halleriyle çevreye ciddi zararlar verebilecek potansiyele sahiptir. Bu nedenle piller ve bataryaların aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurularak doğru bir şekilde geri dönüşümünün yapılması büyük önem taşımaktadır.

a) Piller ve Bataryaların Zararları:

Pillerde ve bataryalarda bulunan ağır metaller ve toksik kimyasallar, atık olarak çöpe atıldıklarında çevreye ciddi zararlar verebilmektedir. Bu zararlar arasında toprak ve su kirliliği, zararlı gaz emisyonları ve biyoçeşitliliğin

azalması bulunmaktadır. Ayrıca, kullanılmış piller ve bataryalar yangın riskine de sahiptir.

b) Geri Dönüşümün Önemi:

Uygun yöntemin seçilmesi ile doğru şekilde geri dönüştürülen piller ve bataryalar, içerdikleri metallerin tekrar kullanılması sağlanarak doğal kaynakların korunmasına yardımcı olur. Ayrıca bu sayede çevreye verilen zararın azaltılması ve atıkların kontrol altında tutulması mümkün olacaktır.

c) Geri Dönüşüm Süreci:

Pillerin ve bataryaların geri dönüşümü için öncelikle sınıflandırma yapılarak toplanmaları gerekir. Bu toplama genellikle belediyeler veya belirli geri dönüşüm tesisleri tarafından düzenlenir. Ardından, geri dönüşüm tesislerinde piller ve bataryalar parçalanarak içerdikleri metaller ve diğer malzemeler fiziksel yöntemler kullanılarak ayrıştırılır. Bu malzemeler daha sonra tekrar kullanılmak üzere metalurjik yöntemlerden biri ile geri kazanılır.

d) Kişisel Sorumluluk:

Her bireyin piller ve bataryalar konusunda sorumluluk alması ve kullanılmış pil atıklarını kabul eden geri dönüşüm noktalarına veya toplama kutularına bırakması sorumluluğuna sahip olarak çevreye duyarlı bir davranış sergilemelidir.

Özetle, pillerin ve bataryaların doğru bir şekilde geri dönüşümü, çevre dostu bir yaklaşımı temsil eder ve sürdürülebilir bir yaşama katkı sağlar. Bu sürece bireysel katılım yapılarak, atıkların kontrol altında tutulmasına ve doğal kaynakların korunmasına destek sağlanmış olur. Ayrıca, piller ve bataryaların geri dönüşümü konusunda farkındalık yaratacak çalışmalarda bulunmanın ve doğru uygulamaları teşvik etmenin, içinde yaşadığımız Dünya'nın geleceği için büyük önem taşıdığı unutulmamalıdır.

5. KAYNAKÇA

- AB Direktifi, (2003). Directive of The European Parliament and of The Council On Batteries And Accumulators And Spent Batteries and Accumulators, Brussels, 723.
- Akhil, A. A., Huff, G., Currier, A. B., Kaun, B. C., Rastler, D. M., Chen, S. B., Gauntlett, W. D. (2013). DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
- Aksu, H. Zıba, C. A. ve Morcalı, M. H. (2022). Bölgesel Olarak Toplanan Atık Li-İyon Pillerinin Geri Dönüşümünde İçerik Ve Maliyet Analizlerinin Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(3), 408-417.
- Aktaş, S. ve Açma, M. E. (2011). Bitmiş Li-iyon ikincil pillerinden lityum ve kobalt geri kazanımı. İTÜ DERGİSİ/d, 7, (3), 45-50.
- Alaf, M. Güler, M. O. ve Akbulut, H. (2019). Sodyum-İyon Piller: Enerji Depolama ve Dönüşüm İçin Ucuz Bir Çözüm. <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Andak, B., (2012). Çinko-karbon ve Alkali Pillerin Geri Kazanım Prosesi İçin $ZnSO_4$ - $MnSO_4$ - H_2O Katı-sıvı Faz Dengesinin İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İTÜ. <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Aneke, M. ve Wang, M. (2016). Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review. Applied Energy, 179, pp. 350-377.
- Aydın, F. (2010). Ticari ve Geri Dönüşümden Elde Edilen Elektrolit Malzemeleri İle Katı Oksit Yakıt Pili Geliştirilmesi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Baum, Z. J., Bird, R. E., Yu, X., ve Ma, J. (2022). Lithium-ion battery recycling-overview of techniques and trends. ACS Energy Letters 76, 1520.
- Belardi, G., Lavecchia, R., Medici, F., Piga, L., (2012). Thermal Treatment for Recovery of Manganese and Zinc from Zinc-carbon and Alkaline Spent Batteries. Waste Management, 32, 1945-1951.
- Bartolozzi, M., (1990). The recovery of metals from spent alkaline-manganese batteries: a review of patent literature. Resources, Conservation and Recycling, 4: 233-240.
- Güven, D, Can, E. ve Gedik, K. (2019). Ömrünü Tamamlamış Elektrikli Araç Bataryalarının Çevresel Yönetimi. 9(2), 726-737

- Chen, H., Cong, T. N., Yang, W., Tan, C., Li, Y. ve Ding, Y. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*, 19(3), pp. 291-312.
- Divya, K. C. ve Ostergaard, J. (2009). Battery energy storage technology for power systems—An overview. *Electric Power Systems Research*, 79(4), pp. 511-520.
- Dönmez, M. (2011). Türkiye’de Atık Pillerin Değerlendirilmesi Ve Örnek Bir Tesiste İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul. <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Gaines, L. (2018). Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 17, e00068.
- Gaines, L. (2014). The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies*, 1, 2-7.
- Güven, D. (2019). Verimliliği Düşmüş Bataryaların Hizmet Sektöründe Kullanımı: Akıllı Tesis Uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim Ve Teknoloji Anabilim Dalı Enerji Bilim Ve Teknoloji Programı, Yüksek Lisans Tezi. <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Heelan, J., Gratz, E., Zheng, Z., Wang, Q., Chen, M., Apelian, D., & Wang, Y. (2016). Current and prospective Li-ion battery recycling and recovery processes. *JOM*, 68, 2632-2638.
- Kadalkal, A. Güler, B. Sinanoğlu, S. (2021). Cep Telefonları İçin Şarj ve Deşarj Süreçlerinin Isıl Yönetimi Tasarımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
- Karanfil, G., Ruşen, S.E., Poyraz, Ş.N., Can, M. (2020). Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri ve Isıl Verim Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 127-137
- Karasu, A., (2013). Çevresel Atıklar, Nedenleri, Çevresel Atıkların Geri Dönüştürülmesi ve Yenilenebilir Enerji Olanaklarının Araştırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, (Yüksek Lisans Tezi) <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Kaya, M. (2022). State-of-the-art lithium-ion battery recycling technologies. *Circ. Econ.* 1, 100015.
- Khaligh, A. ve Li, Z. (2010). Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and

- Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 59(6), pp. 2806 – 2814.
- Kıral, M. (2019) Atık Çinko-Karbon Pil Tozundan Asidik Ortamda Çinko ve Manganın Çözündürülmesi Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Kreusch, M. A., Ponte, M. J. J. S., Ponte, H. A., Kaminari, N. M. S., Marino, C. E. B., ve Mymrin, V. (2007). Technological improvements in automotive battery recycling. Resources, conservation and recycling, 52(2), 368-380.
- Kul, S. (2020). Geçmişten günümüze piller, Takvim-i Vakayi 8, 1, 104-115.
- Linden, D. ve Reddy, T. B. (2002). Handbook Of Batteries. New York, NY: McGraw-Hill.
- Linden, D., ve Magnusen, D., (2001). Portable Sealed Nickel-Metal Hydride Batteries. In: Linden, D. (Ed.), Handbook of Batteries, Chapter 29: 861-895.
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M. ve Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. Applied Energy, 137, pp. 511-536.
- Maryam-Sadeghi, S., Vanpeteghem, G., Neto, I.F.F., Soares, H.M.V.M., (2017). Selective Leaching of Zn from Spent Alkaline Batteries using Environmentally Friendly Approaches. Waste Management, v.60, 696–705.
- Özden, Ö. (2015). Geri dönüşümün çevre ve ekonomi açısından önemi. <https://cdn.istanbul.edu.tr/statics/toplumhekimligi.istanbul.edu.tr/wp-content/uploads/2015.pdf> Erişim tarihi 15 Eylül 2024
- Özdoğan, E. (2010). Atık Nikel Kadmiyum Pillerin Geri Kazanımına Yönelik Proses Geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Öztürk, M., (2007). Pil/Akü kullanımı ve atık piller ile akülerin zararları. Çevre ve Orman Bakanlığı, www.cevreorman.gov.tr/belgeler/piller.pdf (E.T. 6 Ocak 2024).
- Ritchie, A., ve Howard, W., (2006). Recent developments and likely advances in lithiumion batteries. Journal of Power Sources, 162: 809-812.
- Rusen S.E., Topcu M.A., Celtek S.A., Celep G.K., Rusen A. (2018). Investigation of energy saving potentials of a food factory by energy audit, Journal of Engineering Research and Applied Science 7 (1), 848-860.

- Ruşen S.E. & Koç M. (2019). Enerji Tüketim ve CO2 Salınım Değerlerinin Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 8 (4), 1478-1488.
- Ruşen, S.E., Çevik, S.M. (2020). Bir gıda fabrikasında enerji verimliliğinin iyileştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24, (3), 539-552.
- Rusen S.E. & Rusen A. (2022). A Sample Study for Determining Energy Consumption Values in Public Buildings: Central Anatolia Region. Environmental Earth Sciences, Springer, Cham., 100-109.
- Shin, H.C., Corno, J.A., Gole, J.L., ve Liu, M., (2005). Porous silicon negative electrodes for rechargeable lithium batteries. Journal of Power Sources, 139: 314-320.
- Sonmez, M. S., & Kumar, R. V. (2009). Leaching of waste battery paste components Part 1: Lead citrate synthesis from PbO and PbO₂. Hydrometallurgy, 95(1-2), 53-60.
- Suberu, M. Y., Mustafa, M. W. ve Bashir, N. (2014). Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 35, pp. 499-514.
- Taner, H.A., Ağacayak, T., Aras, A. (2016). Leaching of Zinc and Manganese from Spent Zinc-carbon Batteries in Acetic Acid Solution. SUJEST, v.4, n.3, 231-236
- Yeşiltepe, S. (2015). Atık Alkali Pillerden Pirometalurjik Yöntem İle Ferromangan ve Çinko Üretimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. <http://ulusaltezmerkezi.com> (E.T. 6 Ocak 2024).
- Zhang, C., Wei, Y. L. , Cao, P. F. ve Lin, M. C. (2018). Energy storage system: Current studies on batteries and power condition system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, pp. 3091-3106.

Yazılımsal Tekniklerle Yüksek Çözünürlüklü Görüntü Oluşturma

Mehmet Tarık ARI¹, Ömer Faruk BAY²

ÖZET

Askeri ve sivil uydu görüntüleme, tıbbi görüntüleme ve mikroskobik görüntüleme gibi pek çok alanda yüksek çözünürlüklü görüntülere ihtiyaç duyulmaktadır. Uydu ya da İHA'lerden alınan görüntülerdeki coğrafi bölgelerin içerisindeki nesnelerin tespit edilmesi için görüntünün yüksek çözünürlüklü olması gerekmektedir. Aynı şekilde yüksek çözünürlüklü görüntülerin içerisindeki bilgi miktarı fazla olduğu için tıbbi görüntülemede kullanılan X-Ray ve MR görüntüleriyle doktorun hasta için teşhis koymasını kolaylaştırmaktadır. Tümörlü dokunun etrafındaki mikro damar yapısındaki değişimler kanser teşhisi için önemli bir belirteçdir. Bu yüzden tıbbi cihazlardan alınan görüntülerdeki anatomik yapıların ve dokuların belirgin olması gerekmektedir.

Yüksek çözünürlüklü görüntüler donanımsal olarak yüksek çözünürlüklü kameralar ya da kaliteli görüntü sensörleri ile elde edilebilmektedir ancak bu cihazların maliyetleri fazla olduğu için bunlara alternatif olarak yazılımsal tekniklerle yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Düşük çözünürlüklü görüntülerden, çeşitli görüntü işleme teknikleri kullanılarak yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesi Süper-Çözünürlük olarak adlandırılır.

Bu çalışma, bilgisayarla görme ve görüntü işleme alanında kullanılan yazılımsal görüntü iyileştirme yöntemlerini derleyerek, süper çözünürlük tekniklerinin mevcut durumunu kapsamlı bir şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Süper Çözünürlük, Görüntü İşleme, Derin Öğrenme.

¹ Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.
mtarik.ari@gazi.edu.tr 0 505 970 06 58
ORCID No: 0009-0002-0120-4171

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.
omerbay@gazi.edu.tr
ORCID No: 0000-0002-6823-145X

1. GİRİŞ

Süper çözünürlük, temel olarak iki ana kategoride incelenmektedir: Çoklu kare (multi-frame) süper çözünürlük ve tek kare (single-frame) süper çözünürlük. Çoklu kare süper çözünürlük, düşük çözünürlüklü bir video sekansında farklı zaman dilimlerinde elde edilen görüntülerdeki bilgileri birleştirerek yüksek çözünürlüklü bir görüntü üretir [1]. Bu yöntem, hareketli nesneler veya titreşim gibi faktörlere bağlı olarak karmaşık hesaplama süreçleri gerektirir. Tek kare süper çözünürlük ise yalnızca tek bir görüntü üzerinde yapılır [1] ve ek bilgi sağlayacak ek kareler bulunmadığından daha zorlu bir işlemdir. Ancak, derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte tek kare süper çözünürlük modellerinin performansı artmıştır. Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, büyük veri kümeleri üzerinde eğitilerek geleneksel yöntemlerin ulaşamadığı detayları ve netliği sağlayabilmektedir.

Süper çözünürlüklü görüntü oluşturma Tsai ve Huang'ın 1984 yılında frekans düzlemindeki, farklı kayma ve örtüşme (aliasing) değerlerine sahip düşük çözünürlüklü görüntülerden yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmelerinden beri aktif bir araştırma alanı olmuştur [2]. Frekans düzlemi yaklaşımlarının ele alabileceği görüntü gözlem modeli oldukça sınırlı olduğu için günümüzdeki araştırmacılar çoğunlukla uzamsal düzlem üzerinde çalışmaktadırlar.

Uzamsal düzlemde süper çözünürlük, enterpolasyon, yeniden yapılandırma ve öğrenme tabanlı yöntemlerle yapılmaktadır [3]. Enterpolasyon tabanlı yöntemler, düşük çözünürlüklü giriş görüntüsünden yüksek çözünürlüklü bir sonuç elde etmek için basit matematiksel işlemler veya düşük seviyeli hesaplamalar kullanır. Örneğin, bikübik enterpolasyonda yüksek çözünürlüklü görüntüdeki yeni piksellerin değeri, her pikselin çevresinde bulunan piksellerin ağırlıklı ortalaması hesaplanarak bulunur. Ancak ağırlıklı ortalama filtresi, düşük frekanslı bileşenleri geçirdiği için elde edilen süper çözünürlüklü görüntüler net değildir çünkü bir resimdeki ince detay ve kenar ayrıntıları yüksek frekanslı bileşenlerle taşınmaktadır [1]. Öğrenme tabanlı yöntemlerin temel amacı görüntüyü istenen çözünürlüğe yükseltirken yüksek frekanslı bileşenleri korumaktır. Yani netliği artırarak çözünürlüğü yükseltmektir. Frekans düzleminde uzamsal düzleme, sinyal işlemeden makine öğrenmesi ve en yeni teknik olan derin öğrenmeye kadar geçtiğimiz yıllar içerisinde pek çok süper çözünürlük tekniği denenmiş ve uygulanmıştır. Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, özellikle evrişimli sinir ağları ve transformer tabanlı modellerin gelişmesiyle süper çözünürlük alanında büyük ilerlemeler sağlamıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Frekans düzleminden, uzamsal düzleme sinyal işlemeden makine öğrenmesi ve en güncel teknik olan derin öğrenmeye kadar geçtiğimiz yıllar içerisinde pek çok süper çözünürlük tekniği denenmiş ve uygulanmıştır.

Uzamsal düzlemde Süper-Çözünürlük işlemleri:

- Enterpolasyon,
- Yeniden yapılandırma,
- Öğrenme,
- Ve hibrit yöntemlerle yapılmaktadır.

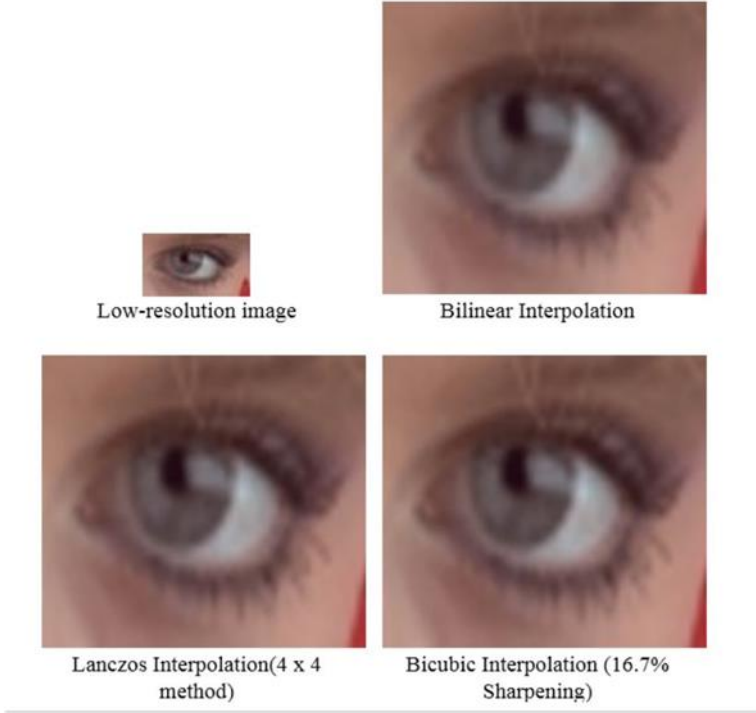
Enterpolasyon Tabanlı Yaklaşımlar

Enterpolasyon bilinen veri noktaları arasındaki eksik değerleri matematiksel yöntemlerle tahmin etme işlemidir. Uzamsal düzlemde yüksek çözünürlüklü görüntü oluşturma en basit yoldur. Enterpolasyon tabanlı yöntemlerde düşük çözünürlüklü görüntüdeki eksik pikseller, bir filtre maskesi ile çoğaltılır. Temel olarak iki farklı filtre maskesi vardır:

Bilineer Enterpolasyon: Oluşturulacak yeni pikselleri doğrusal enterpolasyon ile hesaplanır. Resmin üzerinde 2x2 lik bir filtre gezdirilir. Filtre içerisinde kalan 4 pikselin yoğunluk değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak yeni pikselin yoğunluk değeri elde edilir. Bikübirik enterpolasyon kadar yumuşak (smooth) çıktı vermez [1].

Bikübirik Enterpolasyon: Yeni pikselleri yine doğrusal enterpolasyon ile hesaplanır ancak bu sefer resmin üzerinde 4x4 lük bir filtre gezdirilir. Bu yöntem hız ve doğruluk açısından en dengeli enterpolasyon yöntemidir. Keskinleştirme işlemi yapmaz, yumuşak görüntü oluşturur.

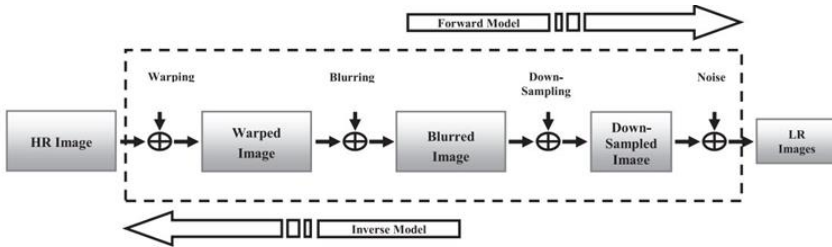
Enterpolasyon tabanlı yöntemlerde kullanılan ortalama filtreleri düşük frekanslı bileşenleri geçirdiği için bu yöntemlerle elde edilen süper çözünürlüklü görüntüler net değildir çünkü bir resimdeki ince detay ve kenar ayrıntıları yüksek frekanslı bileşenlerle taşınmaktadır.



Şekil 1. Enterpolasyon tabanlı yaklaşımlar [1].

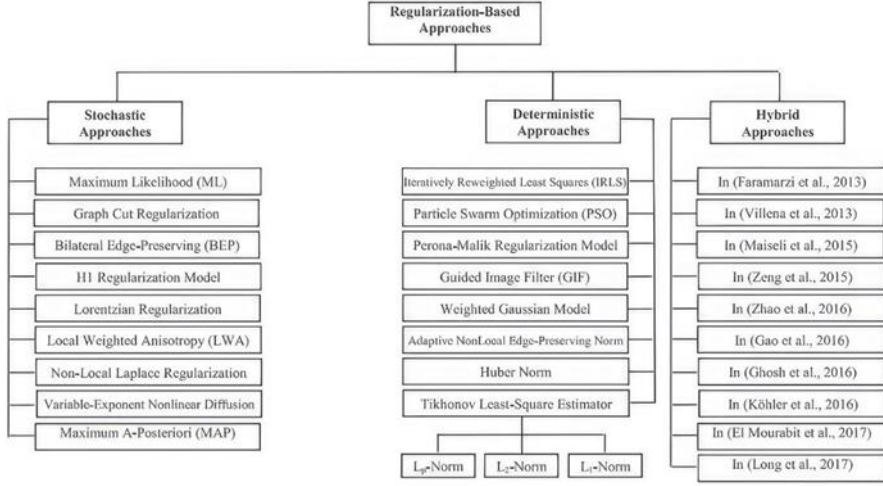
Yeniden Yapılandırma Tabanlı Yaklaşımlar

Enterpolasyon tabanlı yöntemlerin eksikliklerini gidermek için araştırmacılar zaman içerisinde farklı görüntü düzenleme teknikleri geliştirmişlerdir. Bunlardan birisi de yeniden yapılandırma veya yeniden düzenleme tabanlı Süper Çözünürlük yöntemleridir. Bu yöntemde maksimum benzerlik veya Lorentz sınıflandırması gibi istatistiksel restorasyon teknikleri kullanılır. Kullanılan istatistiksel tekniklerdeki istatistiksel verileri elde etmek için önsel bir görüntü modeli oluşturulur.



Şekil 2. Ön görüntü modeli [4].

Ön görüntü modelini oluşturmak için öncelikle yüksek çözünürlüklü görüntülerden düşük çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesini sağlayan işlemlerin modeli tespit edilir. Elde edilen modelin tersinin hesaplanması ile düşük çözünürlüklü görüntüden yüksek çözünürlüklü görüntünün oluşturulmasını sağlayacak yeni bir model oluşturulur. Oluşturulan yeni modellerin bilinen bilgilerinden faydalanılarak düşük çözünürlüklü görüntünün yüksek çözünürlüklü karşılığı yeniden yapılandırılır.



Şekil 3. Yeniden yapılandırma tabanlı yaklaşımlar [4].

Parçacık Sürüşü Optimizasyonu gibi algoritmaları da içeren pek çok yeniden yapılandırma tabanlı Süper Çözünürlük yöntemi vardır. Yeniden yapılandırma yöntemiyle yapılan Süper Çözünürlük uygulamaları günümüzde de devam etmektedir.

Öğrenme Tabanlı Yaklaşımlar

Frekans düzlemdaki ve uzamsal düzlemdaki geleneksel yöntemler yıllarca kullanılmıştır ancak Öğrenmeye dayalı yöntemlerle yapılan Süper Çözünürlük, geleneksel yöntemlerin sınırları aşip daha üstün sonuçlar verebildiği için Süper Çözünürlük uygulamalarının popülerliğini arttırmıştır [5].

Öğrenme tabanlı yöntemlerin temel amacı görüntüyü istenen çözünürlüğe yükseltirken yüksek frekanslı bileşenleri korumaktır. Yani netliği artırarak çözünürlüğü yükseltmektir. Öğrenme ile Süper Çözünürlüklü görüntü oluşturma iki şekilde yapılır.

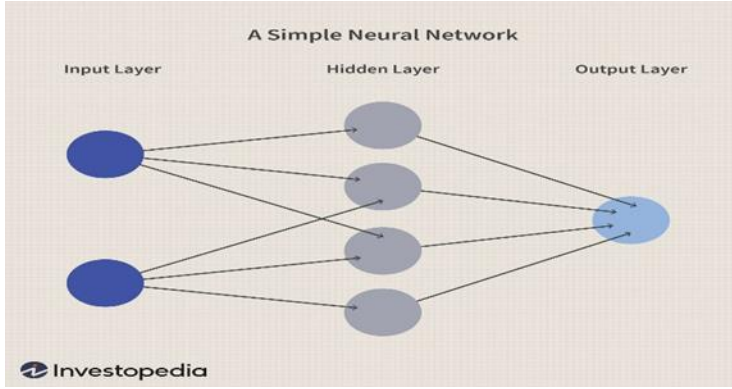
Piksel tabanlı yöntemde Süper Çözünürlüklü görüntünün her bir pikselini tahmin etmek için istatistiksel öğrenme kullanılır. Bu proseste piksellerin komşularına olan benzerliklerini dikkate alınmayıp sorun saf istatistiksel yaklaşım ile ele alındığı için çok fazla hesaplama gerektirir.

Piksel tabanlı yöntemin sınırlarının üstesinden gelmek için parça tabanlı yöntem geliştirilmiştir. Parça tabanlı yöntemde bir eğitim seti içerisinde yer alan düşük çözünürlüklü ve yüksek çözünürlüklü görüntülerin parçaları, bir görüntü veri tabanını (görüntü sözlüğünü) eğitmek için kullanılır. Eğitim ile oluşturulan veri tabanındaki bilgiler ise süper çözünürlüklü görüntüyü oluşturmak için kullanılır. Öğrenme sırasında eğitilen görüntü veri tabanı doğada var olan ağaç, dağ veya meyve gibi bir nesnelerde olumlu çıktılar vermektedir. Ancak insan yüzü veya insan yapımı gibi hatları özgün nesneler içeren görüntülerde Süper Çözünürlük sırasında veri tabanındaki bilgi yetersiz kalabilir ve bunun sonucunda deformasyonlar gözlemlenebilir. Veri tabanındaki bilgilerin çok fazla olması ise hesaplama süresini uzatır bu yüzden görüntü sözlüğünün düşük çözünürlüklü görüntünün türüne göre eğitilmesi gerekmektedir.

Derin Öğrenme

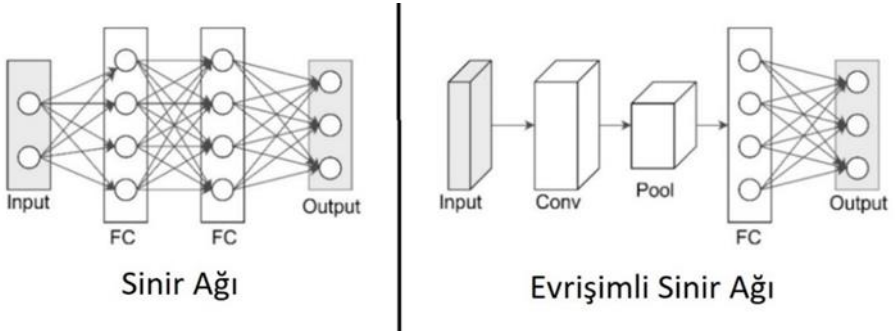
Derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük son yıllarda yükselişe geçmiştir. İlk olarak 2015 yılında Dong ve arkadaşlarının Evrişimli Sinir Ağları (CNN) kullanarak süper çözünürlüklü görüntü oluşturulması ile yapılmıştır. Bu çalışma süper çözünürlükte ilk kez Evrişimli Sinir Ağlarını kullandığı için alanında öncü olmuştur ve sonraki yıllarda derin öğrenme ile yapılan pek çok çalışmada referans olarak kullanılmıştır.

Derin öğrenme makine öğreniminin bir alt bölümüdür. Bilgisayarlara verileri insan beyninden esinlenerek işlemeyi öğreten bir yapay zeka yaklaşımıdır. Derin öğrenme algoritmaları insan beyninin çalışma şekline göre modellenmiş, düğümlerden oluşan yapay sinir ağlarıdır.



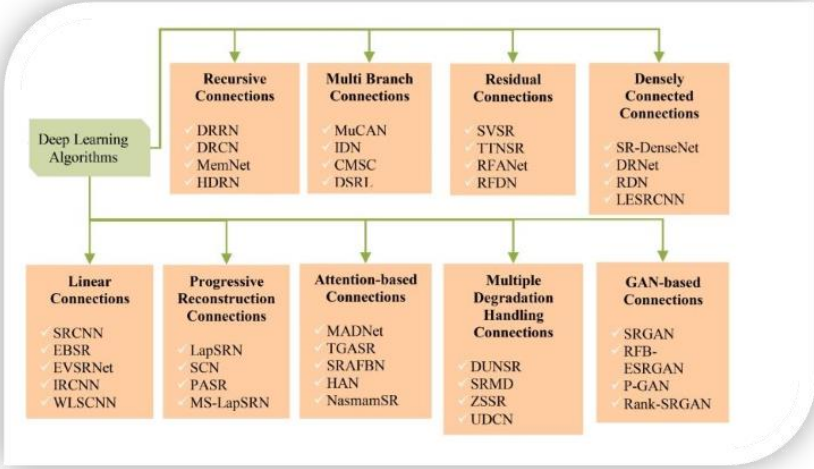
Şekil 4. Sinir ağları [6].

Sinir Ağları sadece görüntüdeki pikselleri okuyarak özellik çıkarımı ve sınıflandırma yapar. Evrişimli Sinir Ağları ise görüntünün içerisindeki piksellerle beraber var olan köşeleri çizgileri ve desenleri de algılayıp görüntüleri bu özelliklere göre sınıflandıran sinir ağlarıdır. Bir sinir ağına yukarıda bahsedilen özellikleri algılaması için Evrişim Katmanı eklenmesi ile Evrişimli Sinir Ağı elde edilir.



Şekil 5. Evrişimli sinir ağı.

Evrişimli Sinir Ağı uygulamasından sonra ilerleyen yıllar içerisinde Üretken Rekabet Ağlar (GAN) ve Çoklu Yazışma Ağı (MuCAN) gibi pek çok farklı sinir ağı modeli Süper Çözünürlük için denenmiş ve uygulanmıştır. Günümüz için tek resim (single frame) görüntülerden süper çözünürlüklü görüntü oluşturma'nın en başarılı yöntemi derin öğrenme tabanlı yaklaşımlardır.



Şekil 6. Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar [5].

3. BAŞARI DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTLERİ

Süper çözünürlük için oluşturulmuş hem eğitim hem de doğrulama testlerini gerçekleştirmede kullanılan çeşitli veri kümeleri bulunmaktadır. Bu veri kümeleri farklı kalitelere ve içeriklerde çok sayıda görüntü içermektedir [5]. İçerisinde aynı görüntünün yüksek çözünürlüklü ve düşük çözünürlüklü formatlarından oluşan görüntü çiftleri bulunmaktadır. Düşük çözünürlüklü görüntüler yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerinden biküçük enterpolasyon ve anti-aliasing işlemleriyle elde edilmektedir. Yüksek çözünürlüklü görüntüler hem eğitim hem de gerçekleştirilen süper çözünürlük algoritmasının başarısını ölçmek için kullanılır.

PSNR

PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), iki görüntü arasındaki piksel değerleri farkını karşılaştırmak için kullanılan başarı ölçüm birimidir. PSNR hesaplanırken ilk olarak iki görüntü arasındaki Mean Squared Error (MSE, Ortalama Karesel Hata) hesaplanır. MSE, iki görüntü arasındaki piksel farklarının karesinin ortalamasıdır. Bir görüntünün PSNR değeri Denklem 1’de verilmektedir.

$$\text{PSNR} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{R^2}{\text{MSE}} \right) \quad (1)$$

Denklemleri ile hesaplanır. Denklemdaki R, görüntüdeki maksimum piksel değerini ifade eder. Örneğin, 8 bitlik bir görüntü için bu değer 255’tir [10].



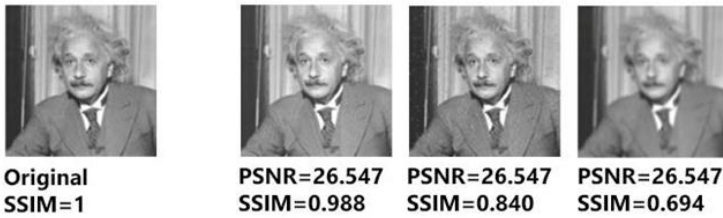
Şekil 9. PSNR nin görüntü üzerindeki etkisi.

SSIM

SSIM (Structural Similarity Index Measure) Yapısal Benzerlik İndeks Ölçüsü, iki görüntü arasındaki yapısal benzerliği ölçmek için kullanılan bir kalite metriğidir. İki farklı görüntü arasındaki fark; parlaklık, kontrast ve yapısal birimler kullanılarak hesaplanmaktadır. SSIM ölçüsü 0 ile 1 arasında bir değer alır. Değerin büyük olması, görüntü bozulmasının az olduğu anlamına gelir. SSIM değeri Denklem 2’de verilmektedir.

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma \quad (2)$$

Denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemlerdeki $l(x,y)$ fonksiyonu iki görüntü arasındaki ortalama parlaklık farkını ölçmek için, $c(x,y)$ fonksiyonu iki görüntünün kontrast değeri arasındaki farkı ölçmek için ve $s(x,y)$, fonksiyonu iki görüntü arasındaki yapısal benzerliği ölçmek için kullanılır. Bu fonksiyonlar, α , β ve γ üsleri ile ağırlıklandırılarak tek bir ifade ile gösterilir [11].



Şekil 10. SSIM oranının görüntü üzerindeki etkisi [12].

4. SONUÇ

Bu derleme çalışmasında, görüntü süper çözünürlük (SR) alanındaki literatür sistematik bir şekilde incelenmiş ve farklı dönemlerde geliştirilen yöntemler teknik yönleriyle karşılaştırılmıştır. Geleneksel interpolasyon tabanlı yaklaşımlardan başlayarak, derin öğrenmenin yükselişiyle birlikte gelişen konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve özellikle gerçekçi detay üretimi konusunda öne çıkan generative adversarial network (GAN) tabanlı modeller kapsamlı olarak ele alınmıştır.

Derin öğrenme temelli yöntemler, düşük çözünürlüklü görüntülerden daha yüksek kaliteli ve detaylı görüntüler üretmede büyük başarı göstermiştir. Özellikle GAN tabanlı yaklaşımlar, algısal kaliteyi artırma konusunda dikkat çekici sonuçlar üretmektedir. Ancak, bu yöntemlerin yüksek hesaplama maliyetleri, büyük veri gereksinimi ve bazen yapay detaylar üretme eğilimleri hâlâ çözülmesi gereken problemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

REFERANSLAR

1. Moitra, S. (2017). Single-image super-resolution techniques: a review. *International Journal for Science and Advance Research in Technology*, 3(4), 271-283.
2. Yang, J., & Huang, T. (2017). Image super-resolution: Historical overview and future challenges. In *Super-resolution imaging* (pp. 1-34). CRC Press.
3. Pandey, G., & Ghanekar, U. (2018). A compendious study of super-resolution techniques by single image. *Optik*, 166, 147-160.
4. Khattab, M. M., Zeki, A. M., Alwan, A. A., & Badawy, A. S. (2020). Regularization-based multi-frame super-resolution: a systematic review. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 32(7), 755-762.
5. Lepcha, D. C., Goyal, B., Dogra, A., & Goyal, V. (2023). Image super-resolution: A comprehensive review, recent trends, challenges and applications. *Information Fusion*, 91, 230-260.
6. Investopedia. (t.y.). Neural network. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/n/neuralnetwork.asp> adresinden alındı.
7. Bevilacqua, M., Roumy, A., Guillemot, C., & Alberi-Morel, M. L. (2012). Low-complexity single-image super-resolution based on nonnegative neighbor embedding.
8. Ooi, Y. K., & Ibrahim, H. (2021). Deep learning algorithms for single image super-resolution: a systematic review. *Electronics*, 10(7), 867.
9. Zeyde, R., Elad, M., & Protter, M. (2012). On single image scale-up using sparse-representations. In *Curves and Surfaces: 7th International Conference, Avignon, France, June 24-30, 2010, Revised Selected Papers 7* (pp. 711-730). Springer Berlin Heidelberg.
10. MathWorks. (t.y.). PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio). MathWorks. <https://www.mathworks.com/help/vision/ref/psnr.html>. Adresinden alındı.
11. MathWorks. (t.y.). SSIM (Structural Similarity Index). MathWorks. https://www.mathworks.com/help/images/ref/ssim.html#bt5rkbx-2_1 Adresinden alındı.
12. Data Monsters. (2020, Mart 24). A quick overview of methods to measure the similarity between images. Medium. <https://medium.com/@datamonsters/a-quick-overview-of-methods-to-measure-the-similarity-between-images-f907166694ee> Adresinden alındı.
13. Vaswani, A. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*.
14. Moser, B. B., Raue, F., Frolov, S., Palacio, S., Hees, J., & Dengel, A. (2023). Hitchhiker's guide to super-resolution: Introduction and recent advances. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45(8), 9862-9882.

Şebekeye Bağlı ÇBAG Tabanlı Rüzgâr Türbinlerinde Enerji Depolama Sistemi Kullanılarak Küçük Sinyal Kararlılığının İncelenmesi

Muhammet DEMİRBAŞ¹, M. Kenan DÖŞOĞLU²

ÖZET

Enerji talebindeki artışlar güç sistemlerinin doğrusal olmayan bölgelerde çalışmasına yol açmaktadır. Bu durum kararlılık problemlerini oluşturmaktadır. Küçük sinyal kararlılığı en çok gözlemlenen kararlılık problemlerinden biridir. Küçük sinyal kararlılığını iyileştirmek için güç sistemlerine çeşitli denetleyici modelleri entegre edilmektedir. Bu çalışmada Birleşik Güç Akış Kontrolü (UPFC), Güç Salınım Sönümlemesi (POD), Otomatik Gerilim Regülatörü (AVR), Güç Sistemi Kararlı Kılıcı (PSS) ve Türbin Yöneticisi (TG) denetleyicileri ile birlikte Çift Beslemeli Asenkron Generatör tabanlı rüzgâr türbini kullanılarak küçük sinyal kararlılığı analizi yapılmıştır. Dahası sisteme farklı yüzdesele güç değişimleri ile kullanılan Enerji Depolama Sistemi (EDS) elemanlarından olan yakıt hücresinin ilave edilmesi ile çok makinalı güç sisteminde küçük sinyal kararlılığı Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) ile detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara UPFC-POD, AVR, PSS, TG, ÇBAG tabanlı rüzgâr türbini ve yakıt hücresinin birlikte kullanılması ile sistemde salınımların kısa süre içerisinde kararlı hale geldiği ve küçük sinyal kararlılığı açısından etkili sonuçların elde edildiği görülmüştür.

¹ Öğr. Gör.; Kastamonu Üniversitesi Tosya Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü, muhammetdemirbas@kastamonu.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-5223-1279

² Prof. Dr.; Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, kenandosoglu@duzce.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-8804-7070

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin hız kazandığı günümüzde enerji talebinde yaşanan artışları karşılamak için yeni üretim üniteleri güç sistemlerine dahil edilmektedir. Enerji talebinde yaşanan artışlar güç kararlılık problemlerinin yaşanmasına neden olmaktadır. Bu durumlar geçici kararlılık olarak tanımlanmaktadır (Kundur, 1994). Güç sistemlerinin kararlılık sınırlarını arttırmak ve sistemi kontrol edebilmek için çeşitli denetleyiciler kullanılmaktadır. Güç elektroniği tabanlı Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi (FACTS) cihazları, güç sistemlerinin iletim kapasitesini arttırmakta ve yeni hatlara olan ihtiyacı azaltarak kararlılık sınırlarını arttırmaktadır. Güç sistemine seri ve şönt bağlanan FACTS cihazları bulunmaktadır. FACTS cihazları arasında günümüzde en yaygın olarak kullanılanları; Satic Var Kompanzatör (SVC), Statik Kompanzatör (STATCOM), Tristör Kontrollü Seri Kompanzatör (TCSC), Statik Senkron Seri Kompanzatör (SSSC), ve Birleşik Güç Akış Kontrolü (UPFC)'dir (Padiyar, 2007). FACTS cihazlarının en gelişmiş modeli olan UPFC literatürde birçok çalışmada kullanılmıştır. UPFC, güç sisteminde meydana gelen bozunumların sonucunda oluşan salınımları hızlı bir şekilde sönümleyerek kararlılığı sağlamaktadır (Murali et al., 2010; Gholipour & Saadate, 2005). İlgili çalışmada UPFC'nin Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (PSS) ve Güç Salınım Sönümlemesi (POD) ile kullanılma durumunda kararlılık üzerindeki etkisi özdeğer analizi yöntemi ile incelenerek olumlu etkileri gözlemlenmiştir (Valle & Araujo, 2015). Ani yük değişimi veya yaşanan arızalar güç sistemlerinde reaktif güç talebinin artmasına yol açmaktadır. Bu durum senkron generatörlerin terminal gerilimlerinde salınımların oluşmasına neden olarak ciddi kararlılık problemlerine yol açabilir. Meydana gelen salınımlarının sönümlemesi için Otomatik Gerilim Regülatörleri (AVR) kullanılmaktadır (Hekimoğlu, 2019). AVR içerisinde kullanılan farklı denetleyici modellerinin parametreleri sistem performansına göre çeşitli optimizasyon teknikleri ile belirlenebilmektedir (Gozde, 2020; Micev, 2020, Jumani et al., 2020; Demirbaş et al., 2022). Literatürde kullanılan farklı AVR, PSS ve Türbin Yönetisici (TG) modelleri bulunmaktadır. Bu denetleyici modellerinin, POD ve UPFC ile kullanılması durumunda küçük sinyal kararlılığına olan etkisi ilgili çalışmalarda gösterilerek en uygun denetleyici modelleri belirlenmiştir (Demirbaş & Döşoğlu, 2021a ;Demirbaş & Döşoğlu 2021b; Demirbaş & Döşoğlu, 2022a). Küçük sinyal kararlılığı çalışmalarında AVR, PSS ile birlikte kullanılmaktadır. Küçük sinyal kararlılığı çalışmaları özdeğer analizi yöntemiyle yapılabilir. Bu tür çalışmalarda özdeğerlerin en uygun seviyeye gelmesi ve salınımların azalması önemli bir konudur (Dey et al., 2021). Enerji talebi ile birlikte çevresel kaygılarında artmasının sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının güç sistemlerindeki ağırlığının artacağı düşünülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de rüzgâr enerjisidir. Şebeke ile bağlantısı bulunan rüzgâr santrallerinin oluşan bozunumlardan olumsuz

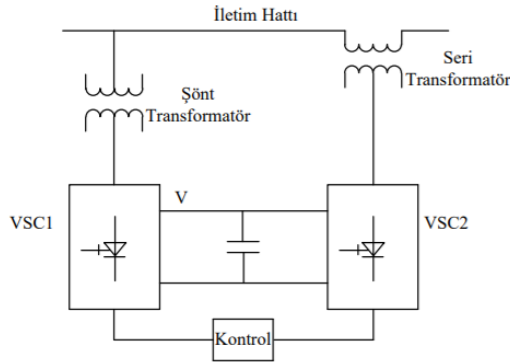
olarak etkilenir. Bu sebeple rüzgâr santrallerinde kullanılan generatörlerin bu olumsuz etkiyi bastırarak donanımda oluşturulması önemlidir. ÇBAG tabanlı rüzgâr türbinleri olumsuz etkileri ortadan kaldırmada etkilidir (Muller et al., 2002). Literatürde, ÇBAG tabanlı rüzgâr türbininin kullanıldığı sistemlere ilişkin küçük sinyal kararlılığı çalışmaları bulunmaktadır. Herhangi bir denetleyicinin bulunmadığı güç sistemine eklenen ÇBAG tabanlı rüzgâr türbininin sistemi kararsız hale getirdiği gözlemlenmiştir (Arathi et al., 2018). 2 alanlı – 4 generatörlü güç sisteminde generatörlerin yerine alınan ÇBAG tabanlı rüzgâr türbininin G1 generatörünün yerine bağlandığı durumda en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. G4 generatörünün yerine bağlandığı durumda sistem kararsızlığa gitmiştir. Ayrıca çalışmada FACTS cihazları kullanılarak da analizin yapılabileceği belirtilerek yeni çalışmalara zemin hazırlanmıştır (Rewal et al., 2021). Yine 2 alanlı 4 generatörlü güç sistemi kullanılarak yapılan bir çalışmada PSS, AVR ve TG ile birlikte kullanılan ÇBAG tabanlı rüzgâr türbininin küçük sinyal kararlılığına etkisi incelenmiştir (Demirbaş & Döşoğlu, 2022c). Enerji Depolama Sistemlerinin (EDS) öneminin artmasıyla ÇBAG tabanlı rüzgâr türbinleri ile kullanılma durumları da araştırma konusu olarak ortaya çıkmıştır. EDS çeşitlerinden biri olan süperkapasitörün ÇBAG ile birlikte kullanılması durumunda geçici kararlılık üzerinde olumlu etkileri görülmüştür (Döşoğlu & Arsoy, 2016). Yapılan çalışmalarla FACTS cihazları ile kullanılan EDS çeşitlerinin küçük sinyal kararlılığına olumlu etkisi olduğu gösterilmiştir (Shankar et al., 2016; Lastomo et al., 2017). Güç sistemlerinde küçük sinyal kararlılığında birçok denetleyici modeli kullanılmaktadır. Bu modellerin küçük sinyal kararlılığı açısından iyi sonuçlar vermesinde kullanılan parametrelerin en uygun değerde seçilmesi gerekmektedir. Bunun için küçük sinyal kararlılığı analizinde optimizasyon algoritmaları kullanılabilir (He et al., 2022; Alotaibi et al., 2022; Gude & Salma, 2022).

Literatürde ÇBAG tabanlı rüzgâr türbininde UPFC-POD, AVR ve PSS modellerin birlikte kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. UPFC-POD, AVR ile PSS modellerin kullanılmasında bazı test sistemlerinde salınımların sönümlendiği görülmektedir. Bunun yanı sıra sistemin küçük sinyal kararlılığı açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak öncelikle AVR ve PSS parametreleri içerisinde en uygun modelleri tespit edilmiştir. En uygun AVR ile PSS modelleri, UPFC-POD modelin kullanılmasına ilave olarak senkron generatör denetleyicilerinden olan TG modeli ve enerji depolama sistemi elemanlarından yakıt hücresinin eklenmesi ile çalışma literatürdeki çalışmalardan daha farklı hale getirilmiştir. Kullanılan modeller ile sistemin küçük sinyal kararlılığı analizi incelenmiş olup, salınımların daha hızlı sönümlenmesi hedeflenmiştir.

2. MATARYEL VE METOD

2.1. Birleşik Güç Akışık Kontrolü (UPFC)

1980'li yılların sonunda Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (EPRI) tarafından tanıtılan güç elektroniği tabanlı FACTS cihazlarının, iletim sisteminin güç kalitesi ile transfer kapasitesini arttırmak ve güç akışı kontrolünü sağlamak olmak üzere iki önemli temel amacı vardır. Bu amaçlar doğrultusunda günümüzde en çok kullanılan FACTS cihazları STATCOM, SVC, TCSC, SSSC ve UPFC'dir (Padiyar, 2007). Bu çalışmada da FACTS cihazlarının en gelişmiş modeli olan UPFC kullanılmıştır. UPFC'nin devre yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: UPFC'nin devre yapısı.

UPFC'nin devre yapısı VSC1 eviricisi, VSC2 eviricisi, DC link kapasitörü, şönt ve seri transformatör ile kontrol ünitesinden oluşmaktadır. UPFC'nin şönt kısmı STATCOM, seri kısmı SSSC olarak tanımlanırsa, ortak bir DC kapasitör ile çalışan STATCOM ve SSSC olduğu söylenebilir. UPFC'nin güç ifadeleri Denklem (1) ve Denklem (4) arasında verilmiştir.

$$P_{iUPFC} = rb_s V_i^2 \sin \gamma - rb_s V_i V_j \sin(\theta_i - \theta_j + \gamma) \quad (1)$$

$$P_{jUPFC} = rb_s V_i V_j \sin(\theta_i - \theta_j + \gamma) \quad (2)$$

$$Q_{iUPFC} = rb_s V_i^2 \cos \gamma \quad (3)$$

$$Q_{jUPFC} = rb_s V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j + \gamma) \quad (4)$$

Burada; v_s kaynak gerilimi, I_{ij}^* i barasından j barasına akan akımın eşleniği, θ_i i barasının gerilim açısı, θ_j j barasının gerilim açısı, b_s süseptans, V_i i. bara gerilimi ve

V_j j. bara gerilimidir. Ayrıca, r ve γ ifadelerinden r , $0 < r < r^{\max}$ ve γ , $0 \leq \gamma \leq 2\pi$ aralığında yer almaktadır.

UPFC, çift yönlü aktif ve reaktif güç kontrolü yapmakta ve bunu seri tarafta bulunan evirici ile sağlamaktadır. Kayıpların ihmal edildiği durumda evirici devrelerinin aktif güçleri Denklem (5)'te verildiği gibi olacaktır. Seri tarafta bulunan eviricinin görünür gücü Denklem (6)'da verilmiştir. Eviricilerin aktif ve reaktif güçleri Denklem (7) ve Denklem (8)'de verildiği gibi hesaplanabilir.

$$P_{evirici1} = P_{evirici2} \quad (5)$$

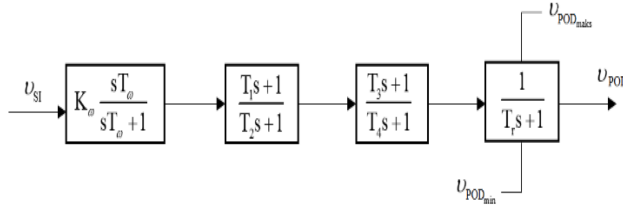
$$S_{evirici2} = v_s I_{ij}^* = re^{j\gamma} V_i \left(\frac{\bar{V}_i - V_j}{jX_s} \right)^* \quad (6)$$

$$P_{evirici2} = rb_s V_i V_j \sin(\theta_i - \theta_j + \gamma) - rb_s V_i^2 \sin \gamma \quad (7)$$

$$Q_{evirici2} = -rb_s V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j + \gamma) - rb_s V_i^2 \cos \gamma + r^2 b_s V_i^2 \quad (8)$$

2.2. Güç Salınım Sönümlemesi (POD)

Güç salınım sönümlemesi (POD)'un kontrol devre yapısı Şekil 2'de verilmiştir (Ayres et al., 2010).



Şekil 2: POD'un devre yapısı.

Devre yapısı incelenecek olursa; giriş sinyali arındırma filtesi, faz kompanzatör ve dengeleyici bloklarına girdikten sonra çıkış sinyali olan v_{POD} 'un anti-windup sınırlayıcısına tabi tutulduğu görülmektedir. POD dinamiğini küçük zaman sabiti olan T_r 'den alırken, sönümleme oranını belirlemektedir. POD'un tasarımında faz kontrol bloklarının parametreleri Denklem (9) ve Denklem (10)'da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$T = \frac{I}{\omega_v \sqrt{\alpha}} \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{1 - \sin(\varphi / n)}{1 + \sin(\varphi / n)} \quad (10)$$

Burada; kompanse edilecek faz açısı, n gecikmeli şebekelerin sayısı ve sönümlleme frekansdır Literatürde sönümlleme oranının genellikle %10 olarak kabul edildiği belirtilmektedir (Castro et al., 2007).

2.3. Otomatik Gerilim Regülatörü (AVR), Güç Sistemi Salınım Sönümlemesi (PSS) ve Türbin Yöneticisi (TG) Modelleri

Güç sistemlerinde meydana gelen bozunumlar reaktif güç dengelerini bozacağı için generatör gerilimlerinde dalgalanmaya neden olacaktır. Bu durumda uyartım akımını değiştirerek senkron generatör terminal gerilimini referans geriliminde tutmak amacıyla Otomatik Gerilim Regülatörleri (AVR) kullanılmaktadır. AVR, gerilim sensörü yardımıyla terminal gerilimini ölçer ve referans gerilimle karşılaştırarak hata sinyali oluşturur. Literatürde 3 tip AVR modeli kullanılmaktadır. Literatürde yaygın olarak AVR Tip-1 kullanılmaktadır (Demirbaş & Döşoğlu, 2021b; Essallah et al., 2019). AVR Tip-1 modelin matematiksel ifadeleri Denklem (11) ile Denklem (15) arasında verilmiştir.

$$\dot{v}_m = \frac{V - v_m}{T_r} \quad (11)$$

$$\dot{v}_{r1} = \frac{1}{T_1} \left[\mu_0 \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) (v_{ref} - v_m) - v_{r1} \right] \quad (12)$$

$$\dot{v}_{r2} = \frac{1}{T_4} \left[\left(1 - \frac{T_3}{T_4} \right) (v_{r1} + \mu_0 \frac{T_2}{T_1} (v_{ref} - v_m)) - v_{r2} \right] \quad (13)$$

$$v_r^* = v_{r2} + \frac{T_3}{T_4} \left[v_{r1} + \mu_0 \frac{T_2}{T_1} (v_{ref} - v_m) - v_{r1} \right] \quad (14)$$

$$\dot{v}_f = -\frac{1}{T_e} \left[v_f (1 + S_e(v_f)) - v_r \right] \quad (15)$$

Burada; v_{ref} AVR referans gerilimini; v_f geri besleme gerilimini; v_m ölçülen gerilimi; v_r AVR gerilimini; v_{r1} yükseltici durum değişkenini; v_{r2} dengeleyici durum değişkenini; T_r ölçüm süresi sabitini; T_e alan devresi sabitini; T_1 - T_2 - T_3 ve T_4 AVR zaman sabitlerini ve μ_0 regülatör kazancını ifade etmektedir.

Güç sistemlerinde oluşan salınımları sönümlemek için kullanılan kontrol mekanizmalarından biri de Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı (PSS)'dir. Literatürde kullanımı önerilen üç tip PSS modeli vardır. Bu modelleri içerisinde en yaygın olarak PSS Tip-2 kullanılmaktadır (Demirbaş & Döşoğlu, 2022a; Essallah et al., 2019). PSS Tip-2 modelin matematiksel ifadesi Denklem (16) ile Denklem (19) arasında verilmiştir.

$$\dot{v}_1 = -\frac{K\omega V_{SI} + v_1}{T\omega} \quad (16)$$

$$\dot{v}_2 = \frac{1}{T_2} \left[\left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) (K\omega V_{SI} + v_1) - v_2 \right] \quad (17)$$

$$\dot{v}_3 = \frac{1}{T_4} \left\{ \left(1 - \frac{T_3}{T_4} \right) \left[v_2 + \frac{T_1}{T_2} (K\omega V_{SI} + v_1) \right] - v_3 \right\} \quad (18)$$

$$\dot{v}_s = \frac{1}{T_e} \left\{ v_3 + \frac{T_3}{T_4} \left[v_2 + \frac{T_1}{T_2} (K\omega V_{SI} + v_1) \right] - v_s \right\} \quad (19)$$

Burada; V_g generatör gerilimi, v_s PSS'nin çıkış sinyali, p_g PSS'nin bağlı olduğu durumdaki aktif güç, T_1 PSS birinci zaman sabiti, T_2 PSS ikinci zaman sabiti, T_3 PSS üçüncü zaman sabiti, T_4 PSS dördüncü zaman sabiti, K_v PSS gerilim kazancı, K_p PSS aktif güç kazancı, K_ω PSS kazancı, T_e PSS anti-windup zaman sabiti, T_ω PSS arındırma sabiti, v_1 , v_2 ve v_3 PSS gerilim durum değişkenlerinin ifadeleridir (Essallah et al., 2019).

Güç sistemlerinde senkron generatörlerin frekans kontrolünü sağlamakla görevli olan Türbin Yöneticilerinin (TG) literatürde önerilen 2 tip modeli bulunmaktadır. Bu çalışmada, düşme oranı ve mekanik tork sınırlarına göre generatörlerin çalışma güç oranını belirleyen, senkron generatörlerin çalışma adımını kontrol ederek frekans kontrolü sağlayan Türbin Yöneticisinin genelde Tip-2 modeli kullanılmaktadır (Demirbaş & Döşoğlu, 2021a). Türbin Yöneticisi Tip-2 modelinin matematiksel ifadeleri Denklem (20) ile Denklem (22) arasında verilmiştir.

$$\dot{x}_g = \left(\frac{1}{R} \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) (\omega_{ref} - \omega) - x_g \right) / T_2 \quad (20)$$

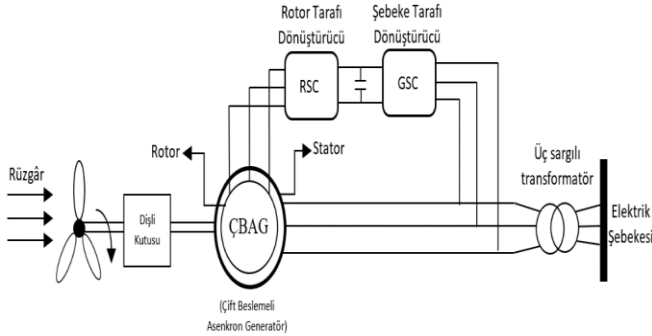
$$p_m^* = x_g + \frac{1}{R} \frac{T_1}{T_2} (\omega_{ref} - \omega) + p_m^0 \quad (21)$$

$$p_m = \begin{cases} p_m^* & p^{\min} \leq p_m^* \leq p^{\max} \\ p^{\max} & p_m^* > p^{\max} \\ p^{\min} & p_m^* < p^{\min} \end{cases} \quad (22)$$

Burada; $p^{\max}$ en yüksek türbin çıkış gücü, $p^{\min}$ en düşük türbin çıkış gücü, T_1 geçici kazanç zaman sabiti, T_2 yönetici zaman sabiti, x_s durum değişkeni, $1/R$ kazanç değeri, p_m cebirsel değişken dizini ve ω_{ref} açısal hızın referans değeridir.

2.4. Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG)

ÇBAG statoru bir transformatör aracılığıyla şebekeye direkt olarak bağliken rotoru dönüştürücüler kullanılarak bağlanmaktadır. ÇBAG'nin en önemli özelliği rüzgar hızından bağımsız olarak çıkış gücünü belirli bir seviyeye kadar sabit tutabilmesidir. ÇBAG tabanlı rüzgâr türbini devre modeli Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: POD'un devre yapısı.

Hız sınırları ihlal edilirse, rotor tarafı dönüştürücü ÇBAG'yi şebekeden ayırmaktadır. ÇBAG bu tür avantajlarından dolayı sıklıkla kullanılmaktadır. ÇBAG'ye ait kararlı durum elektriksel denklemleri Denklem (23) ile Denklem (26) arasında verilmiştir (Adjoudj et al., 2014).

$$v_{ds} = -R_s i_{ds} + ((X_s + X_m) i_{qs} + X_m i_{qr}) \quad (23)$$

$$v_{qs} = -R_s i_{qs} - ((X_s + X_m) i_{ds} + X_m i_{dr}) \quad (24)$$

$$v_{dr} = -R_r i_{dr} + (1 - \omega_m) ((X_r + X_m) i_{qr} + X_m i_{qs}) \quad (25)$$

$$v_{qr} = -R_r i_{qr} - (1 - \omega_m) ((X_r + X_m) i_{dr} + X_m i_{ds}) \quad (26)$$

Burada; R_r rotor direnci, R_s stator direnci, X_r rotor reaktansı, X_s stator reaktansı, X_m mıknatıslanma reaktansı, v_{ds} ve v_{qs} d-q eksen stator gerilimleri, v_{dr} ve v_{qr} d-q eksen rotor gerilimleri, i_{ds} ve i_{qs} d-q eksen stator akımları, i_{dr} ve i_{qr} d-q eksen rotor akımları ve ω_m rotor hızıdır. Rüzgâr türbininin mekanik özelliklerini ifade eden denklemler ise Denklem (27) ve Denklem (28)'de verilmiştir.

$$\dot{\omega}_m = (T_m - T_e) / 2H_m \quad (27)$$

$$T_e = X_m (i_{qr} i_{ds} - i_{dr} i_{qs}) \approx - \frac{X_m V i_{qr}}{\omega_b (X_s + X_m)} \quad (28)$$

Burada; T_e elektromanyetik tork, T_m mekanik tork, H_m atalet sabiti kWs/kWA, ω_b sistemin frekans oranıdır. T_m rüzgâr türbininin giriş gücü olarak da ifade edilir. T_m 'ye ait matematiksel ifade ise Denklem (29)'da verilmiştir.

$$T_m = \frac{P_w}{Q_m} \quad (29)$$

Şebeke tarafındaki dönüştürücülerin güçlerini veren matematiksel ifade Denklem (30) ve Denklem (31)'de, rotor tarafındaki dönüştürücülerin güçlerini veren matematiksel ifade Denklem (32) ve Denklem (33)'de verilmiştir.

$$P_g = v_{dg} i_{dg} + v_{qg} i_{qg} \quad (30)$$

$$Q_g = v_{qg} i_{dg} - v_{dg} i_{qg} \quad (31)$$

$$P_r = v_{dr} i_{dr} + v_{qr} i_{qr} \quad (32)$$

$$Q_r = v_{qr} i_{dr} - v_{dr} i_{qr} \quad (33)$$

Burada; Şebeke tarafı dönüştürücünün d-q eksen gerilimleri v_{dg} ve v_{qg} ile d-q eksen akımları i_{dg} ve i_{qg} ile gösterilmiştir. Rotor tarafı dönüştürücünün d-q eksen gerilimleri v_{dr} ve v_{qr} ile d-q eksen akımları i_{dr} ve i_{qr} ile gösterilmiştir. Elde edilen mekanik gücün matematiksel ifadesi Denklem (34)'de verilmiştir.

$$P_w = \frac{\rho}{2} c_p (\lambda, \theta_p) A_r v_w^3 \quad (34)$$

Burada; P_w rüzgârdan elde edilen gücün matematiksel ifadesi, v_w rüzgârın hızı, A_r rotorun dönmesi sonucu taranan alan, λ kanat ucunun hız oranı, θ_p türbin kanat yunuslama açısı, c_p performans katsayısı ve ρ havanın yoğunluğudur. Performans katsayısı c_p , Denklem (35) ve Denklem (36) ile hesaplanmaktadır (Thanpisit & Ngamroo, 2017).

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda_i + 0.08\theta_p} - \frac{0.035}{\theta_p^3 + 1} \quad (35)$$

$$c_p = 0.22 \left(\frac{116}{\lambda_i} - 0.4\theta_p - 5 \right) e^{\frac{12.5}{\lambda_i}} \quad (36)$$

2.5. Yakıt Hücresi

Son yıllarda gerçekleşen enerji talebindeki artış, enerjinin daha verimli kullanılması konusundaki çalışmaları hızlandırmış ve Enerji Depolama Sistemlerinin (EDS) önemini oldukça arttırmıştır. Güç sistemlerinde aktif güç kontrolü yapılmasına olanak sağlayan EDS'lerin en yaygın olarak kullanılanlarından birisi de Yakıt Hücresidir. Yakıt hücresi; Yakıt işlemcisi, yakıt hücresi devresi ve güç bağlantı ünitesinden oluşmaktadır. Sabit güç durumunda yakıt hücresi akım ifadesi Denklem (37)'de gösterilirken, bağlandığı giriş sinyalinin aşırı büyük olduğu durumdaki yeni yakıt hücresi akım ifadesi Denklem (38)'de gösterilmiştir.

$$I_k = \frac{(P_{ref} / V_{k0} - i_k)}{T_e} \quad (37)$$

$$I_k = \left(\frac{U_{lim} q H_2}{2K_r} - i_k \right) \frac{1}{T_e} \quad (38)$$

Burada; V_{k0} yakıt hücresinin başlangıçtaki DC gerilimi, i_k yakıt hücresinin başlangıç akımı, I_k yakıt hücresi akımı, T_e küçük zaman sabiti, H_2 hidrojen oranı, K_r DC katsayısı, q soğutma katsayısı ve U_{lim} en yüksek veya en düşük yakıt tüketimidir. Yakıt hücresinin şebekeye aktardığı aktif ve reaktif güçler Denklem (39) ve Denklem (40)'da verilmiştir.

$$P_s = \frac{V_t V_s}{X_t} \sin(\theta_t - \theta_s) \quad (39)$$

$$Q_s = \frac{V_t V_s}{X_t} \cos(\theta_t - \theta_s) \quad (40)$$

Burada; V_t yakıt hücresinin terminal gerilimi, X_t transformatör reaktansı, θ_t yakıt hücresinin terminal gerilim açısı, θ_s kaynak geriliminin açısıdır. Yakıt hücresinin kaynak gerilim açısı ifadesi Denklem (41)'de verilmiştir.

$$\theta_t = \theta_s + \alpha \sin\left(\frac{X_t I_k}{K_m V_s}\right) \quad (41)$$

Denklem 41'in, Denklem (40)'da yerine yazılması ile Denklem (42) elde edilmiştir.

$$Q_s = \frac{V_s^2}{X_t} + \frac{V_s V_t}{X_t} \sqrt{1 - \left(\frac{X_t I_k}{K_m V_s}\right)^2} \quad (42)$$

Yakıt hücresinin şebekeye olan bağlantısının ideal bir evirici ve reaktanslı bir transformatör ile yapılacağı düşünülürse, AC gerilim, modülasyon genliği olarak ifade edilen m tarafından Denklem (43)'de verildiği gibi düzenlenmiştir.

$$\dot{m} = \frac{(K_m (V_{ref} - V_s) - m)}{T_m} \quad (43)$$

Burada; V_s şebeke gerilimi, K_m modülasyon katsayısı, T_m modülasyon zaman sabiti, V_{ref} referans gerilimidir. Evirici genliğinin başlangıç değeri m_0 ve referans gerilimi V_{ref} ise güç akışına göre Denklem (44) ve Denklem (45)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$m_0 = -\frac{X_t}{V_s (V_t / K_m)} \sqrt{P_s^2 + \left(Q_g + \frac{V_g^2}{X_t}\right)^2} \quad (44)$$

$$V_{ref} = V_g + \left(\frac{m}{K_m}\right) \quad (45)$$

Burada; P_g aktif güç, Q_g reaktif güç, V_g PV generatörün gerilimidir (Yildirim, 2018).

2.6. Küçük Sinyal Kararlılığı

Güç sistemlerinin bozunumlara maruz kalması durumunda senkron generatörlerin senkronizasyonunu sürdürebilme yeteneği küçük sinyal kararlılığı olarak isimlendirilir. Meydana gelen bozunumlar sistem üzerinde salınımlara neden olur. Günümüzde de küçük sinyal kararlılığı problemleri genellikle sistem salınımlarının yeterli sönümleme torkunun üretilmemesi sonucu sönümlenememesinden kaynaklanır (Kundur, 1994).

Bu çalışmada küçük sinyal kararlılığı LYAPUNOV'un birinci yöntemi yani özdeğer analizi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu yönetime göre; elde edilen özdeğerlerin gerçekte kısımları negatif olduğunda sistem asimptotik olarak kararlı olarak, özdeğerlerin en az biri pozitif gerçekte kısma sahip olduğunda ise sistem kararsız olarak değerlendirilmektedir. Özdeğerlerin sanal kısmı salınım frekansını ifade etmektedir. Karmaşık özdeğerlerin her biri yerel alan ve bölgeler arası olarak adlandırılan salınım moduna karşılık gelir ve eşlenik çiftlerle oluşur. Bu özdeğer çiftleri Denklem (46)'da verilmiştir (Kundur, 1994).

$$\lambda = \sigma \pm j\omega \quad (46)$$

Sistemde oluşan salınım frekansı (Hz) özdeğerlerin sanal kısmı yardımıyla Denklem (47)'de verildiği gibi hesaplanır.

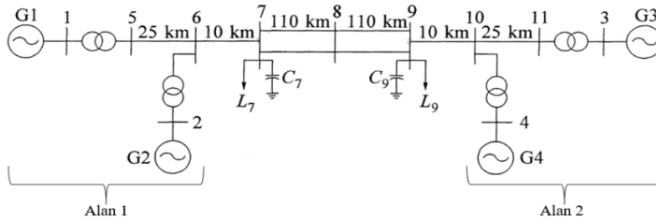
$$\phi = \frac{\omega}{2\pi} \quad (47)$$

Salınımların genliğindeki azalma oranını ifade eden sönümleme oranı (ζ) ise Denklem (48)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\zeta = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}} \quad (48)$$

3. BENZETİM ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI

Bu çalışma Prapha KUNDUR'un devre modeli Şekil 4'te verilen 2 alanlı – 4 generatörlü test sistemi üzerinde Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PSAT, Federico MILANO'nun geliştirdiği güç sistemleri analizine olanak sağlayan ve Matlab aracı olarak kullanılabilen yardımcı programdır (Milano, 2005).

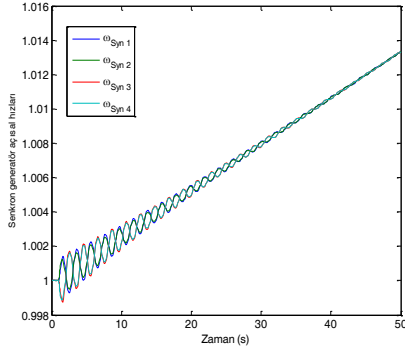


Şekil 4: KUNDUR'un 2 alanlı – 4 generatörlü test sistemi.

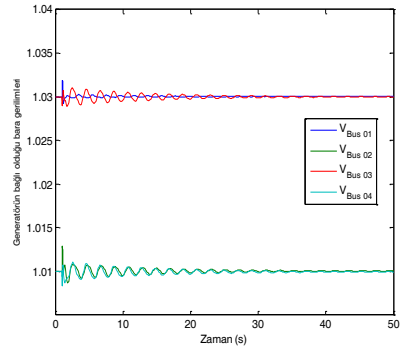
Kullanılan test sistemi birbiri ile 220 km uzaklıkta olan 2 adet benzer alandan oluşmaktadır. Bu alanların herbirinde 2 adet 900 MVA güce ve 20 kV gerilime sahip 6 numaralı derece modelinde çalışan senkron generatör bulunmaktadır. Generatörlerin derece modelleri ve bu modeller arasındaki fark ilgili çalışmadan incelenebilir (Demirbaş et al., 2020). AVR, PSS ve TG bu generatörlere bağlı durumdadır. 11 bara bulunan test sisteminde generatörler 1, 2, 3 ve 4 numaralı baralara bağlı durumdadır. 3 numaralı barada bağlı olarak bulunan generatör hem salınım hem de generatör barasıdır. 11 baranın geriye kalan 7 barası ise yük barasıdır. Ayrıca; 1-5, 2-6, 3-11 ve 4-10 numaralı baralar arasında gerilim yükseltici transformatörler, 7 ve 9 numaralı baralarda ise ZIP yük modeli kullanılmıştır. Sistemde kullanılan elemanların sayısal değerleri için AVR, PSS ve ÇBAG tabanlı rüzgar türbini için referans (Essallah et al., 2019), UPFC-POD ve TG için referans (Demirbaş & Döşoğlu, 2021a), yakıt hücresi için referans (Yildirim & Gencoglu, 2018) kullanılmıştır. Sistemin arıza durumundaki tepkisinin incelenebilmesi açısından 8-9 numaralı baralar arasına kesici bağlanarak 1,05. saniyede kesici açması ve 8 numaralı barada 1. saniyede bir üç faz kısa devre arızası oluşturulmuştur. Generatörlere bağlanan AVR, PSS ve TG denetleyicilerinin yanı sıra 7-8 numaralı baralar arasında kalan iletim hattına POD, 8-9 numaralı baralar arasında kalan iletim hattına ise FACTS cihazlarının en gelişmiş modeli olan UPFC bağlanmıştır. Bu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşama, Şekil 4'de verilen güç sisteminde meydana gelen kısa devre durumunda herhangi bir denetleyici modeli, ÇBAG tabanlı rüzgâr türbini ve yakıt hücresinin bulunmaması durumu incelenirken, ikinci aşama, POD-UPFC, AVR, PSS ve TG'nin birlikte kullanıldığı durumlar incelenmiştir. Bunun yanı sıra 7 numaralı barada 1,5 MVA gücünde ÇBAG tabanlı rüzgâr türbini bulunması ve 4 numaralı baraya farklı yüzdesel güç değişimlerinde 100 MVA gücünde yakıt hücresinin eklenmesi durumu detaylı olarak ele alınmıştır. İlk olarak arıza anında herhangi bir denetleyici modelinin, ÇBAG tabanlı rüzgâr türbininin ve yakıt hücresinin bulunmadığı durum incelenmiştir. Bu durumda elde edilen özdeğer analizi sonuçları Tablo 1'de ve senkron generatör açılmal hızları, bara gerilimleri, aktif ve reaktif güçlerinin değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5'te verilmiştir. Tablo 1'de verilen sütunlar sırasıyla numara, özdeğer, sönümlleme oranı, frekans ve salınım modunu temsil etmektedir. Salınım modu sütununda yer alan Y.A, yerel alan salınım modunu, B.A, bölgeler arası salınım modunu ifade etmektedir.

Tablo 1: Sistemde herhangi bir denetleyici bulunmadığı durumdaki özdeğer analizi sonuçları

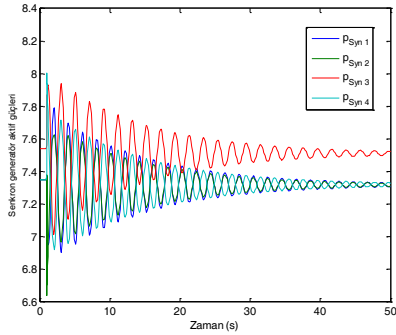
Num.	λ	ξ (%)	f	S.M
1	$-0,8013 \pm j7,2855$	10,93	1,1595	Y.A
2	$-0,7778 \pm j7,3015$	10,59	1,1621	Y.A
3	$-0,0688 \pm j3,2331$	02,13	0,5146	B.A



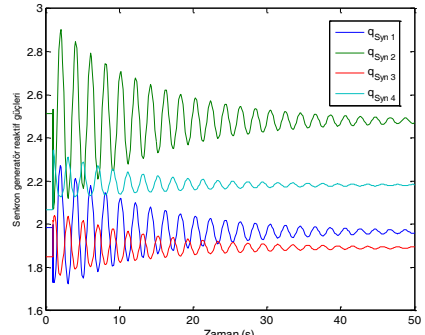
(a)



(b)



(c)



(d)

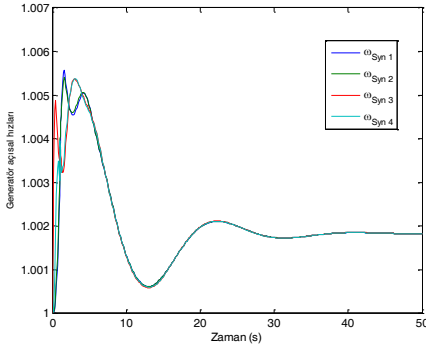
Şekil 5: Sistemde herhangi bir denetleyici modeli, ÇBAG tabanlı rüzgâr türbini ve yakıt hücresi bulunmuyorken; (a) asenkron generatör açısal hızları, (b) senkron generatör bara gerilimleri, (c) senkron generatör aktif güçleri, (d) senkron generatör reaktif güçleri.

Herhangi bir denetleyici modelinin, ÇBAG tabanlı rüzgar türbininin ve yakıt hücresinin sistemde kullanılmaması durumunda, çok makinalı güç sisteminin arıza sonrası kararlı bir yapıya sahip olmadığı ve sistemde salınımların sönümlenmesinin zaman aldığı görülmüştür. Bu durumu ortadan kaldırmak için sisteme UPFC-POD, generatörlere bağlanan AVR Tip-1, PSS Tip-2 ve TG Tip-2 modelleri, 1,5 MVA gücünde ÇBAG tabanlı rüzgâr türbini ve 100 MVA gücünde yakıt hücresi ilave edilmiştir. Yakıt hücresinin sisteme %20, %40, %60, %80 ve %100'lük güç değerleri ile bağlı olduğu

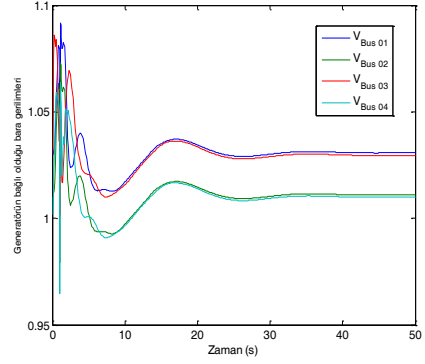
düşünülmüştür. Sistemin üç özdeğer sonucunun yerel alan ve bölgeler arası salınım modunda olduğu görülmektedir. Elde edilen özdeğer analizi sonuçları Tablo 2’de ve yakıt hücresinin %100’lük güç değeri ile bağlı olduğu durumda senkron generatör açısız hızları, bara gerilimleri, aktif ve reaktif güçlerinin değişimlerini gösteren grafikler Şekil 9’da verilmiştir. Tablo 2’de verilen sütunlar sırasıyla numara, yakıt hücresi yüzdelik güç değeri, özdeğer, sönümleme oranı, frekans ve salınım modunu temsil etmektedir. Salınım modu sütununda yer alan B.A, bölgeler arası salınım modunu ifade etmektedir.

Tablo 2: ÇBAG ve yakıt hücresinin sistemde bulunduğu durumdaki özdeğer analizi sonuçları.

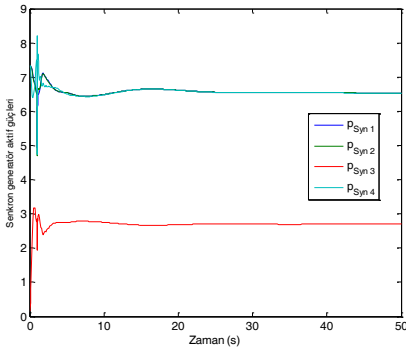
Num.	λ	ξ (%)	f	S.M
1	%0 (Demirbaş & Döşoğlu, 2022c)	-7,8582±j2,0067	96,89	B.A
	%20	-7,8658±j2,0351	96,81	
	%40	-7,8585±j2,0062	96,89	
	%60	-7,8584±j2,0061	96,89	
	%80	-7,8656±j2,0407	96,79	
	%100	-7,8657±j2,1034	96,60	
2	%0 (Demirbaş & Döşoğlu, 2022c)	-7,9734±j1,9107	97,24	B.A
	%20	-6,9160±j2,7878	92,75	
	%40	-6,7795±j3,0327	91,28	
	%60	-6,5379±j3,3451	89,02	
	%80	-6,4339±j3,3921	88,45	
	%100	-6,4943±j3,3450	88,96	
3	%0 (Demirbaş & Döşoğlu, 2022c)	-7,9734±j1,9107	97,24	B.A
	%20	-6,9160±j2,7878	92,75	
	%40	-6,7795±j3,0327	91,28	
	%60	-6,5379±j3,3451	89,02	
	%80	-6,4339±j3,3921	88,45	
	%100	-6,4943±j3,3450	88,96	
4	%0 (Demirbaş & Döşoğlu, 2022c)	-0,6031±j1,6475	33,96	B.A
	%20	-0,9791±j1,4881	54,97	
	%40	-0,9946±j1,5056	55,12	
	%60	-1,0023±j1,4893	55,83	
	%80	-0,9843±j1,4965	54,95	
	%100	-0,9673±j1,4683	55,01	
5	%0 (Demirbaş & Döşoğlu, 2022c)	-0,9957±j1,5125	54,99	B.A
	%20	-1,0914±j1,4055	61,33	
	%40	-1,0921±j1,3874	61,85	
	%60	-1,0345±j1,4348	58,48	
	%80	-0,9114±j1,3862	54,94	
	%100	-0,9046±j1,3850	54,68	



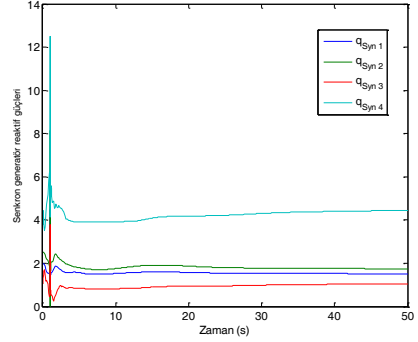
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6: Sistemde denetleyici modelleri, ÇBAG tabanlı rüzgâr türbini ve yakıt hücresi bulunuyorken; (a) asenkron generatör açısal hızları, (b) senkron generatör bara gerilimleri, (c) senkron generatör aktif güçleri, (d) senkron generatör reaktif güçleri.

Bu analizde 5 farklı özdeğer sonucu elde edilmiştir. Yakıt hücresinin bağlanmadığı (%0) durumu literatürde daha önce yapılan çalışmadan alınmıştır [19]. İncelemeler sonucunda 1., 3., ve 4. özdeğerlerin yakıt hücresi bağlanması ile iyileştiği; 5. özdeğerin yakıt hücresinin gücüne bağlı olarak önce iyileştiği daha sonra kötüleştiği görülmüştür. Bunun yanısıra 2. özdeğerin ise kötüleştiği görülmüştür. Sistemin 5 özdeğer sonucunun salınım modunun bölgeler arası olduğu görülmektedir. 5 özdeğerden 3'ünün iyileşmesi, 1'inin de kısmen iyileşmesi yakıt hücresinin çok makinalı güç sistemi üzerine etkisinin olumlu olarak değerlendirilmesine etken olmuştur. Yakıt hücresinin kullanılması ile sistemde meydana gelen salınımların sönümlenmesi ile sistemin bir önceki analize göre daha kararlı bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ

Çok makineli güç sistemlerinde, kararlılık analizlerinden küçük sinyal kararlılığı, sistem parametrelerinin; salınım, özdeğer ve frekans durumlarını değerlendirmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Sistemde denetleyicilerin bulunduğu ve bulunmadığı durumdaki gerilim, açısız hız, aktif ve reaktif güç parametre değerleri incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar şekiller ve tablolar halinde incelenmiştir. Analizler sonucunda sisteme eklenen yakıt hücresinin küçük sinyal kararlılığına olumlu etki yaptığı ve çoğunlukla özdeğerlerin kararlı durumda olduğu bulunmuştur. Özdeğerlerin kararlı olmasını sağlayan asıl etken ise tablolarda görüldüğü gibi salınım frekanslarındaki azalmadır. Bunun yanı sıra sistemin kısa süre içerisinde kararlı hale geldiği ve salınımların sönümlendiği görülmüştür. Yakıt hücresinin belli yüzdelik güç değişimlerinde sistemin özdeğer analizi açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülürken, belli bir güç değerinde sonra sistem kararlılığının belli bir orana kadar bozulabileceği bu çalışma ile ortaya konmuştur. Bu çalışma yakıt hücresinin ÇBAG tabanlı rüzgâr türbini, farklı denetleyici modelleri ile Statik Var Kompanzator gibi diğer Esnek AC İletim Sistemi (FACTS) elemanları ile farklı güç sistemlerinde kullanılması ile gelecekte yapılacak olan çalışmalara zemin hazırlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Adjoudj, L., Lakdja, F., Gherbi, F. Z., & Ould Abdsallem, D. (2014). Synthesis integrating wind generation and FACTS of network. In *International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM)* (pp. 1–6). Tunus. <https://doi.org/10.1007/s40565-019-0539-0>
- Alotaibi, I. M., Ibrir, S., Abido, M. A., & Khalid, M. (2022). Nonlinear power system stabilizer design for small signal stability enhancement. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47 (11), 13893–13905. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-06566-2>
- Arathi, V. T., Laly, M. J., Cheriyan, E. P., & Mathew, A. T. (2018). Small signal stability analysis of a two area system with and without the integration of a large scale wind farm using PSAT. In *International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT)*, 317–322. Kannur, Hindistan. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2018.8574258>
- Ayres, H. M., Kopcak, I., Castro, M. S., Milano, F., & da Costa, V. F. (2010). A didactic procedure for designing power oscillation dampers of FACTS devices. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18 (6), 896–909. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.02.007>
- Castro, M. S., Ayres, H. M., da Costa, V. F., & da Silva, L. C. P. (2007). Impacts of the SSSC control modes on small-signal and transient stability of a power system. *Electric Power Systems Research*, 77(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.01.003>
- Demirbaş, M., Kaymaz, E., & Döşoğlu, M. K. (2020, Aralık 1–5). Güç sistemlerinde senkron generatör modelleri ile gerilim kararlılığı analizinin incelenmesi. *International Marmara Sciences Congress*, 415–422. İstanbul, Türkiye.
- Demirbaş, M., & Döşoğlu, M. K. (2021a, Nisan 10–12). Güç sistemlerinde farklı TG modelleri ve UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. II. *International Hazar Scientific Researches Conference*, 763–773. Bakü, Azerbaycan.
- Demirbaş, M., & Döşoğlu, M. K. (2021b, May 2–4). Çok makinalı güç sistemlerinde farklı AVR modelleri, POD, UPFC ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. *Al-Farabi International Congress on Applied Sciences – II*, 312–321. Bakü, Azerbaycan.
- Demirbaş, M., & Döşoğlu, M. K. (2022a). Güç sistemlerinde farklı PSS modelleri ve UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 14(1), 11–22. <https://doi.org/10.55974/utbd.1055860>
- Demirbaş, M., Duman, S., & Döşoğlu, M. K. (2022b, May 16–17). OGR sistemi için FDB-SFS algoritması kullanarak 2DOF PI denetleyici parametrelerinin belirlenmesi. *Uluslararası İstanbul Multidisipliner Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, 51–61. İstanbul, Türkiye.

- Demirbaş, M., & Döşoğlu, M. K. (2022c). ÇBAG tabanlı rüzgar türbini entegre edilen güç sisteminde UPFC-POD ile küçük sinyal kararlılığının incelenmesi. In S. Güldal (Ed.), *Yüksek Performanslı ve Düşük Maliyetli Teknoloji Uygulamaları*, 67–94. İKSAD Yayınevi.
- Dey, P., Saha, A., Mitra, S., Dey, B., Bhattacharya, A., & Marungsri, B. (2021). Improvement of small-signal stability with the incorporation of FACTS and PSS. In *Control Applications in Modern Power System. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 710, 335–344, Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8815-0_28
- Döşoğlu, M. K., & Arsoy, A. B. (2016). Transient modeling and analysis of a DFIG based wind farm with supercapacitor energy storage. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 414–421. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.12.020>
- Essallah, S., Buallegue, A., & Khedher, A. (2019). Integration of automatic voltage regulator and power system stabilizer: small-signal stability in DFIG-based wind farms. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7(5), 1115–1128. <https://doi.org/10.1007/s40565-019-0539-0>
- Gholipour, E., & Saadate, S. (2005). Improving of transient stability of power systems using UPFC. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20 (2), 1677–1682. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.846354>
- Gozde, H. (2020). Robust 2DOF state-feedback PI-controller based on meta-heuristic optimization for automatic voltage regulation system. *ISA Transactions*, 98, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2019.08.056>
- Gude, M. K., & Salma, U. (2022). A novel approach of PSS optimal parameter tuning in a multi-area power system using hybrid butterfly optimization algorithm–particle swarm optimization. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 13(5), 2619–2628. <https://doi.org/10.1007/s13198-022-01678-2>
- He, P., Jin, H., Zheng, M., & Shen, R. (2022). Coordinated design of PSS and multiple FACTS devices based on the improved steepest descent algorithm to improve the small-signal stability of wind-PV grid-connected system. *Journal of Electrical Systems*, 18 (2), 173–192.
- Hekimoğlu, B. (2019). Sine-cosine algorithm-based optimization for automatic voltage regulator system. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 41(6), 1761–1771. <https://doi.org/10.1177/0142331218811453>
- Jumani, T. A., Mustafa, M. W., Hussain, Z., Rasid, M. M., Saeed, M. S., Memon, M. M., Khan, I., & Nisar, K. S. (2020). Jaya optimization algorithm for transient response and stability enhancement of a fractional-order PID based automatic voltage regulator system. *Alexandria Engineering Journal*, 59(4), 2429–2440. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.03.005>
- Kundur, P. (1994). *Power system stability and control*. McGraw-Hill.

- Lastomo, D., Setiadi, H., Faisal, M., Ashfahani, A., Bangga, G., Hutomo, G., Sabila, A., & Bumi, I. (2017). The effects of energy storages on small signal stability of a power system. In *International Seminar on Intelligent Technology and its Applications (ISITIA)*, 52–57. Surabaya, Endonezya. <https://doi.org/10.1109/ISITIA.2017.8124054>
- Micev, M., Čalasan, M., & Oliva, D. (2020). Fractional order PID controller design for an AVR system using chaotic yellow saddle goatfish algorithm. *Mathematics*, 8(7), 1182. <https://doi.org/10.3390/math8071182>
- Milano, F. (2005). An open source power system analysis toolbox. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(3), 1199–1206. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.851911>
- Muller, S., Deicke, M., & De Doncker, R. W. (2002). Doubly fed induction generator systems for wind turbines. *IEEE Industry Applications Magazine*, 8(3), 26–33. <https://doi.org/10.1109/2943.999610>
- Murali, D., Rajaram, M., & Reka, N. (2010). Comparison of FACTS devices for power system stability enhancement. *International Journal of Computer Applications*, 8(4), 30–35.
- Padiyar, K. R. (2007). *FACTS controllers in power transmission and distribution*. New Age International.
- Rawal, M., Nauityal, D. C., & Rawat, M. S. (2021). Analysis of small signal stability in DFIG integrated power system. In *International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT)*, 1–6. Bhilai, Hindistan. <https://doi.org/10.1109/ICAECT49130.2021.9392505>
- Shankar, R., Bhushan, R., & Chatterjee, K. (2016). Small-signal stability analysis for two-area interconnected power system with load frequency controller in coordination with FACTS and energy storage device. *Ain Shams Engineering Journal*, 7(2), 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.06.009>
- Thanpisit, K., & Ngamroo, I. (2017). Power oscillation damping control by PSS and DFIG wind turbine under multiple operating conditions. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25(5), 4354–4368. <https://doi.org/10.3906/elk-1702-190>
- Valle, D. B., & Araujo, P. B. (2015). The influence of GUPFC FACTS device on small signal stability of the electrical power systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 65, 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.10.012>
- Yildirim, B., & Gencoglu, M. T. (2018). Oscillatory stability and eigenvalue analysis of power system with microgrid. *Electrical Engineering*, 100(4), 2351–2360. <https://doi.org/10.1007/s00202-018-0720-x>

Parçacık Sürü Optimizasyonu Temelli Cnn Lenet5 Ağlarının Hisse Senedi Piyasalarında Kullanılması

Ahmet Bedirhan SAĞIR ¹

Özet

Hisse senedi piyasasına yönelik öngörü algoritmalarının temel hedefi, bireysel şirketlerin finansal varlıklarının gelecekteki piyasa yönelimini öngörmektir. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknolojileri, geçmiş işlem verileri üzerinden gerçekleştirilen modelleme ile borsa tahmin sistemlerinde ön plana çıkan güncel yöntemler arasında yer almaktadır. Bu teknolojiler, öngörülerin daha isabetli ve uygulanabilir olması amacıyla çeşitli model yapılarını kullanmaktadır.

Bu çalışmada, hisse senedi fiyatlarının zamansal değişimini analiz etmek; ortalama günlük getiriyi, en düşük ve en yüksek değerleri belirlemek ve nihayetinde gelecekteki hisse senedi eğilimlerini tahmin etmek amacıyla makine öğrenmesine dayalı yöntemler kullanılmıştır.

Ayrıca bu araştırmada, otomatik alım-satım kararları oluşturmak amacıyla LeNet-5 mimarisi tabanlı evrimsel sinir ağları (CNN) ile Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) birlikte kullanılmıştır. S&P 500 endeksine dâhil bazı şirketlerin hisse senetleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, %71,7 oranında doğruluk düzeyine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Relu, CNN, LeNet-5, PSO, Adam optimizer, Soft Max Layer, Filter Size, Buy/Sell Labelling, Makine Öğrenmesi, Derin Öğrenme

¹ Öğr. Gör. , İstanbul Beykent Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 0000-0001-6907-4807 bedirhansagir@beykent.edu.tr

Abstract

The primary aim of Stock Market Prediction (SMP) algorithms is to anticipate the prospective trajectories of individual corporations' financial assets within the equity market. In recent years, machine learning and deep learning methodologies have emerged as prominent approaches in stock forecasting systems, leveraging historical trading data to construct predictive models. These technologies employ a variety of algorithms to enhance the precision and simplicity of forecasts.

In this study, machine learning techniques are employed to examine the temporal evolution of stock prices, including metrics such as the average daily return, minimum and maximum stock values, and ultimately to project the prospective dynamics of stock performance.

Furthermore, this research endeavors to develop an automated buy/sell decision-making framework in stock trading by integrating LeNet-5-based Convolutional Neural Networks (CNNs) with Particle Swarm Optimization (PSO). Experimental evaluations conducted on selected companies listed in the S&P 500 index yielded an accuracy rate of 71.7%.

Keywords: Relu, CNN, LeNet-5, PSO, Adam optimizer, Soft Max Layer, Filter Size, Buy/Sell Labelling, Machine Learning, Deep Learning

GİRİŞ

A) Borsa Nedir?

“Borsa” terimi, kökeni İtalyanca *borsa* kelimesine dayanan ve “değişim” anlamını taşıyan, finansal piyasalarda sıklıkla kullanılan bir kavramdır. Temel olarak, finansal varlıkların (hisse senetleri, tahviller, emtialar, döviz vb.) organize şekilde alınıp satıldığı piyasaları ifade eder.

Borsa, şu temel işlevleri yerine getirir:

1. Menkul Kıymet Ticareti: Şirketler, hisse senetlerini halka arz ederek borsada işlem görür. Bu, şirketler için sermaye yaratma aracıdır.
2. Alıcı ve Satıcıyı Buluşturma: Yatırımcılar, finansal varlık alışverişini borsa platformları üzerinden gerçekleştirir.
3. Fiyatlama Mekanizması: Varlık fiyatları, arz-talep dengesine göre belirlenir.
4. Endeksler: Belirli şirketlerin performansını izlemek amacıyla endeksler (ör. BIST 100) kullanılır.
5. Risk ve Getiri: Piyasa koşulları, ekonomik ve politik faktörler, fiyatları ve getirileri etkiler.

Borsa, sermaye akışını kolaylaştırırken yatırımcılara portföy çeşitlendirme ve likidite olanağı sunar.

B) Hisse Senedi ve Kıymetli Kâğıtlar

Kıymetli kâğıtlar borsası, şirketler ve devletler tarafından ihraç edilen menkul kıymetlerin (hisse senetleri, tahviller, varantlar, opsiyonlar vb.) alınıp satıldığı finansal piyasadır.

- Hisse Senetleri: Şirket ortaklığı ve temettü hakkı sunar; yatırımcılar tarafından borsada işlem görür.
- Tahviller: Şirket veya devletlerin borçlanma araçlarıdır; vade sonunda anapara ve faiz ödemesi yapılır.
- Türev Ürünler: Opsiyon ve varant gibi araçlar, dayanak varlıkların fiyat dalgalanmalarına dayalı yatırım fırsatları sunar.
- Likidite ve Fiyatlama: Piyasada işlem gören kıymetli kâğıtlar, arz-talep koşullarına göre fiyatlanır.
- Regülasyon: Bu piyasalar, şeffaflık ve güvenli işlem ortamı sağlamak adına düzenleyici kurumların denetimine tabidir.

Bu yapı, yatırımcılara çeşitli finansal enstrümanlara erişim sağlarken şirketlere de finansman olanağı tanır.

C) Hisse Senedi Tahmini

Hisse senedi tahmini, yatırımcıların ve analistlerin bir şirketin hisse performansını geleceğe dönük öngörebilmek amacıyla kullandığı analitik bir süreçtir. Bu süreçte aşağıdaki analiz türleri öne çıkar:

- Temel Analiz: Finansal tablolar kullanılarak şirketin değeri ve büyüme potansiyeli değerlendirilir.
- Teknik Analiz: Geçmiş fiyat hareketleri ve grafikler incelenerek gelecekteki trendler tahmin edilir.
- Makroekonomik Faktörler: Faiz oranları, enflasyon ve ekonomik göstergeler dikkate alınır.
- Şirket Olayları: Yeni ürünler, birleşmeler veya finansal açıklamalar hisse performansını etkileyebilir.
- Analist Görüşleri: Piyasa profesyonelleri tarafından yapılan öngörüler yatırım kararlarını etkileyebilir.

Tahminler hiçbir zaman kesinlik taşımaz, ancak yatırım stratejilerinin oluşturulmasında temel bir referans sağlar. Yüksek frekanslı işlemlerin yaygınlaştığı günümüzde, doğru veri ve algoritmalar yatırım başarısı açısından kritik öneme sahiptir.

D) Derin Öğrenme ve Hisse Senedi Uygulamaları

Derin öğrenme, makine öğrenmesinin bir alt dalı olarak finansal piyasalarda fiyat tahmini, strateji geliştirme ve risk yönetimi gibi konularda kullanılmaktadır.

Uygulama alanları şunlardır:

1. Fiyat Tahmini: Geçmiş fiyat ve teknik analiz verileriyle gelecekteki hareketler öngörülür.
2. Trend Analizi: Piyasa yönelimleri belirlenerek yatırım kararları desteklenir.
3. Portföy Yönetimi: Varlıklar arası ilişkiler analiz edilerek portföy çeşitlendirme stratejileri geliştirilebilir.
4. Risk Yönetimi: Olası piyasa dalgalanmaları erken tespit edilerek önlem alınabilir.
5. Haber Analizi: Sosyal medya ve haber içerikleri analiz edilerek piyasa tepkileri tahmin edilebilir.

Ancak, finansal verinin oynaklığı, belirsizlikler ve değişken piyasa koşulları, modellerin doğruluğunu sınırlayabilir ve sürekli güncellemeler gerektirir.

Bu çalışma kapsamında, S&P 500 endeksinde yer alan bazı şirketlerin verileri kullanılarak, önce veriler etiketlenmiş, ardından 2 boyutlu matrislere

dönüştürülmüş ve LeNet-5 tabanlı CNN ağı ile %71,7 doğruluk oranına sahip bir alım/satım algoritması geliştirilmiştir. (Doğruluk oranı veri setine göre değişkenlik gösterebilir.)

İLİŞKİLİ ÇALIŞMALAR

Hisse senedi fiyat tahminine yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda çeşitli yöntem ve modeller denenmiş olup, her bir yaklaşımın kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları bulunmaktadır.

Örneğin, Eapen ve arkadaşları (2019), sundukları modelle %9 oranında performans artışı elde etmiş; ancak uygulamada çeşitli zorluklarla karşılaştığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, Vargas (2018) tarafından SI-RCNN ve diğer hibrit modeller kullanılarak yapılan çalışmalarda yüksek doğruluk elde edilmiş olsa da, büyük veri setlerinde hatalı tahminlerin oluşabildiği ifade edilmiştir.

Banik'in (2021) LSTM ve RMSE tabanlı çalışmasında model, düşük hata oranı ve yüksek karar verme hızıyla öne çıkarken, büyük veri hacimleri için önemli ölçüde kaynak tüketimi gerektirmektedir. Sutradhar (2021) ise RNN ve AdaGrad kullanarak düşük hata oranına sahip bir model geliştirmiştir; ancak bu model yüksek veri bağımlılığı nedeniyle mutlak doğruluğa ulaşmada sınırlı kalmaktadır.

Sisodia (2022) tarafından geliştirilen RNN-LSTM temelli modelde %83,88 doğruluk elde edilmiştir. Ancak model, aşırı öğrenme (overfitting) eğilimi göstermekte ve bu durum modelin genellenebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Duvar (2020), Word2Vec, FastText ve GloVe temelli RNN-LSTM modeli ile yüksek doğruluğa ulaşmış; fakat modelin manipülasyona açık olduğu ve veri güvenliğinin önemli bir sorun teşkil ettiği belirtilmiştir. Kilimci (2021), MLP tabanlı modelinde yüksek doğruluk seviyelerine ulaşırken, modelin daha geniş bir öznitelik kümesine gereksinim duyduğunu ifade etmiştir.

ARIMA, AR ve ARMA temelli modellerde yüksek tahmin başarısı elde edilmesine rağmen, zaman zaman overfitting sorunları gözlemlenmiş ve bu durum model güvenilirliğini zedelemiştir (Rao, 2022). Aaryan (2022), RNN ve CNN karşılaştırmasında RNN'in daha başarılı olduğunu, ancak iki model arasında belirgin bir fark bulunmadığını bildirmiştir.

Tsantekidis (2017) tarafından geliştirilen ReLU, MLP ve LSTM bileşenlerinden oluşan hibrit modelde veri ölçekleme başarısı dikkat çekse de, gelişmiş normalizasyona duyulan ihtiyaç performansı sınırlamaktadır. Benzer şekilde, Biswas (2021) tarafından sunulan XGBoost, LR, EMA ve SMA bileşenli hibrit model, yüksek doğruluk sağlasa da yoğun eğitim verisi gerektirmektedir.

Nabipour (2020) ve arkadaşları, RNN ve LSTM tabanlı modelleriyle tatmin edici sonuçlar elde etmiş; ancak çok katmanlı mimarinin getirdiği karmaşıklık, modelin zayıf yönü olarak belirtilmiştir. K. J. (2021) tarafından önerilen çalışmada, yüksek

doğruluk oranı gözlemlense de, modelin LSTM'in dezavantajlarını barındırması güvenilirliğe dair soru işaretleri yaratmaktadır.

GAN destekli çalışmalarda, LSTM ile rekabet içinde çalışan iki sinir ağı arasında LSTM daha doğru sonuçlar üretmiş; ancak optimum eğitim süreci sağlanamamıştır (D, 2020). Qi-Qiao He (2022) tarafından geliştirilen PSO-LSTM tabanlı modelin sonuçları birçok yapay zekâ algoritmasına göre daha başarılıdır; ancak daha sağlam bir temel altyapıya gereksinim duyulmaktadır.

Mao (2023) tarafından geliştirilen Merton-LSTM modelinde yüksek doğruluğa rağmen uygulama zorlukları mevcuttur. Vaca (2020), sosyal analiz ile kullanıcı davranışlarını ölçerek karar ağacı temelli fiyat tahmini yapmış; fakat modelin karmaşıklığı nedeniyle geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Zhang (2020) tarafından EMD algoritmasıyla geliştirilen modelin öğrenme ve bilgi işleme kapasitesi yüksek olmasına rağmen, dışsal faktörlere bağımlılığı modelin zayıf yönüdür. Ma (2020), RF tabanlı modelin aşırı uyumu ortadan kaldırması ve güçlü performansına rağmen, yüksek hacimli hisselerde uygulanabilirliğinin sınırlı olduğunu ifade etmiştir.

Özbayoğlu (2020) tarafından önerilen DMLP, CNN, RNN ve LSTM tabanlı modelin büyük veride iyi sonuçlar verdiği; ancak veri ilişkilerini koruma konusunda zayıf kaldığı bildirilmiştir. Nakayama (2019), verilerin görselleştirilerek CNN ve LR modellerine uygulanmasıyla performans artışı sağlamış, ancak analiz süreci karmaşık hale gelmiştir. Nelson (2017) tarafından geliştirilen LSTM modeli, boyut küçültmeye gerek duymasa da, düşük doğruluk oranı nedeniyle sınırlı başarı göstermiştir.

Long (2019), MFNN ve SGD temelli çalışmasında yüksek performans sağlamış; fakat sinyal kalitesine karşı duyarlılığı modelin en büyük dezavantajı olarak değerlendirilmiştir. Gudelek (2017) tarafından geliştirilen çalışmada, 1 boyutlu verilerin 2 boyutlu görseller haline getirilerek CNN'e uygulanması ile yüksek doğruluk elde edilmiş, ancak modelin en düşük ve en yüksek ETF'leri tahmin etmede yetersiz kaldığı ve optimizasyona ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir.

Sanboon (2019) ise RNN-LSTM tabanlı modelinde tutarlı sonuçlar elde etmiş, ancak daha fazla kategorik veri ile desteklenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

METODOLOJİ

A. Veri Seti ve Ön İşleme

Bu çalışmada kullanılan veri seti, S&P 500 endeksine dâhil olan Microsoft Corporation (MSFT) şirketine ait, 13 Mart 1986 ile 12 Aralık 2022 tarihleri arasındaki günlük hisse senedi verilerini kapsamaktadır. Toplamda 9264 günlük işlem verisinden oluşan bu veri seti; tarih, açılış fiyatı, en düşük fiyat, en yüksek fiyat, kapanış fiyatı, düzeltilmiş kapanış fiyatı ve işlem hacmi olmak üzere yedi farklı

parametre içermektedir. Veri seti yaklaşık 64.848 hücreden oluşmakta olup, bu verilerin analize uygun hâle getirilebilmesi için belirli bir ön işleme sürecinden geçirilmesi gerekmektedir.

Veri setinin makine öğrenimi algoritmalarına uygun olarak dönüştürülmesi amacıyla, veriler etiketlenmiş ve bu sayede sınıflandırma işlemleri için temel oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan etiketleme yöntemi, ikili (binary) sınıflandırma esasına dayanmakta olup, alışı (1) ve satışı (0) kararlarını yansıtmaktadır. Bu yaklaşım, veri yorumlamayı kolaylaştırarak modelin tahmin performansını artırmayı amaçlamaktadır.

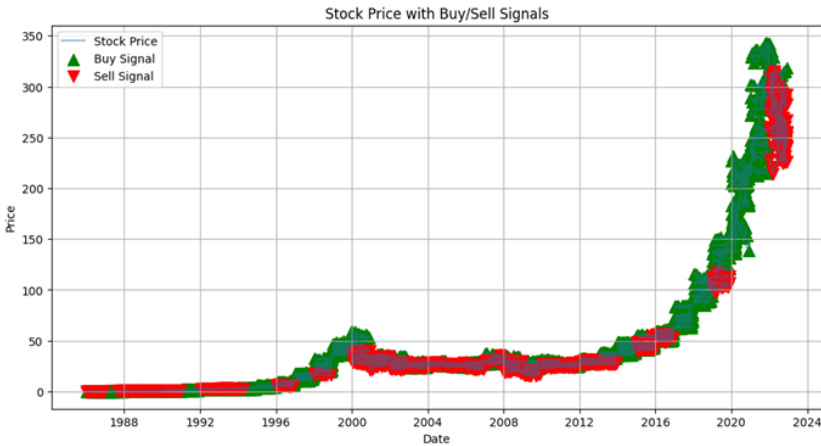
B. Alış/Satış Etiketleme Süreci

Finansal analizde, teknik göstergeler ve geçmiş fiyat hareketleri kullanılarak yatırım araçları için alım ve satım sinyalleri üretmek yaygın bir uygulamadır. Teknik analiz yöntemleri, belirli bir finansal aracın giriş (alış) ve çıkış (satış) zamanlarını belirlemeye yönelik olarak grafik desenleri, göstergeler ve işlem hacmi gibi geçmiş verilere dayanır.

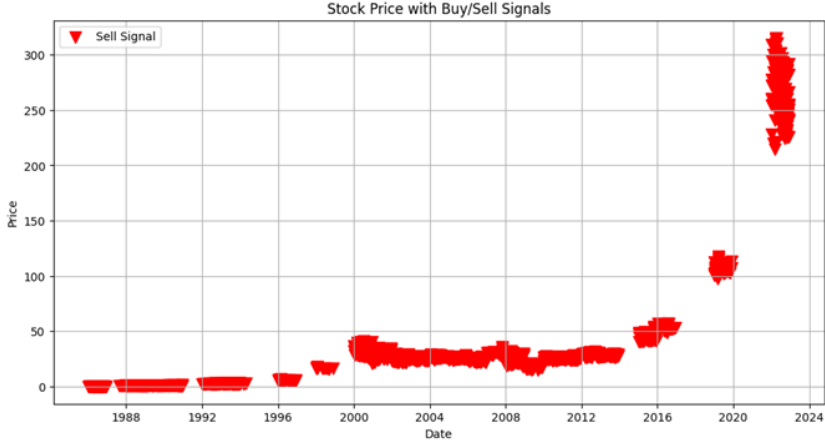
Bu çalışmada, alım-satım kararlarının otomatik olarak sınıflandırılabilmesi amacıyla ikili etiketleme (binary labelling) yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde, "1" değeri potansiyel bir alım sinyalini, "0" değeri ise satış sinyalini temsil etmektedir. Bu sayede veriler sadeleştirilerek, makine öğrenimi algoritmalarının öğrenme süreci daha verimli hâle getirilmiştir.

Date	Low	Open	Volume	High	Close	Adjusted Close	Label
1986-03-13	0.0885419994592666	0.0885419994592666	1031788800	0.1015629991889	0.0972220003604888	0.0608085617423057	0.0
1986-03-14	0.0972220003604888	0.0972220003604888	308160000	0.1024309992790222	0.1006940007209777	0.0629801750183105	0.0
1986-03-17	0.1006940007209777	0.1006940007209777	133171200	0.1032989993691444	0.1024309992790222	0.064066581428051	0.0

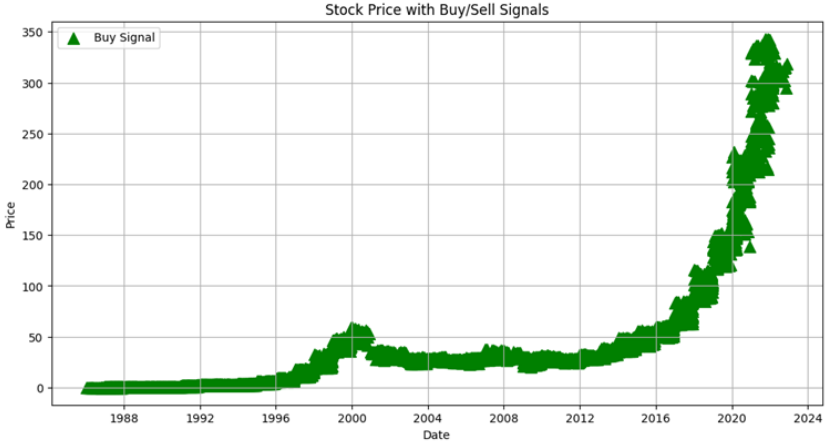
Şekil 1: Etiketlenmiş veri



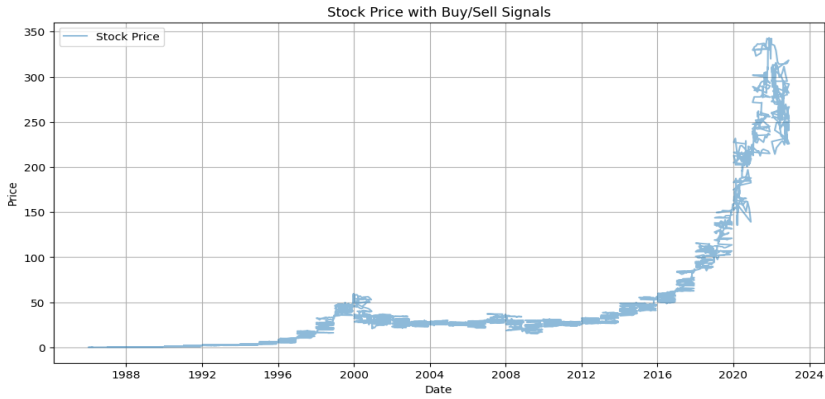
Şekil 2: Yıllara göre alım satış



Şekil 3: Yıllara göre satış



Şekil 4: Yıllara göre alış



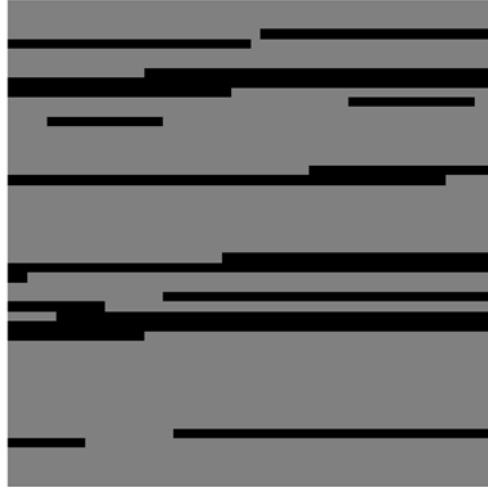
Şekil 5: Yıllara göre fiyatlar

Etiketli verilerin doğru şekilde analiz edilebilmesi amacıyla, öncelikle alım-satım grafiklerinden (Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5) yararlanılarak, hisse senedi performansı yıllara göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, Microsoft hisselerinin uzun bir süre dalgalı fakat genel olarak yatay bir seyir izlediği, 2012 yılından itibaren ise değerinin istikrarlı bir şekilde yükseldiği gözlemlenmiştir.

A.) Tek Boyutlu Verinin İki Boyutlu Görüntü Matrisi Formatına Dönüştürülmesi

Verilerin doğru biçimde okunabilmesi ve makine öğrenimi algoritmalarına uygun hale getirilebilmesi amacıyla, tek boyutlu etiketli veriler, her bir sinyalin bir hücreye karşılık geldiği 10x10 boyutlarında kare matris görüntülerine dönüştürülmüştür. Bu sürecin ilk adımında, verinin genel yapısını gözlemleyebilmek adına bütünsel bir görüntü elde edilmiştir.

50x50 RGB Image from Labeled Data (Excluding First 264 Signals)



Şekil 6: Genel Görüntü Matrisi

Bu genel görüntü matrisi daha sonra düzenlenerek, makine öğrenmesi uygulamalarına uygun biçimde detaylandırılmış 10x10 boyutlarında alt görüntüler elde edilmiştir. Bu alt matrislerde yer alan her bir piksel, bir günü temsil etmektedir (Şekil 7).

Label Label Label Label Label Label Label Label Label Label

: 1987-1987-1987-1987-1987-1987-1987-1987-1987-1987-10-04



Şekil 7: 10x10 luk görüntü matrisleri

Bu sayede, üzerinde makine öğrenmesi çalışmaları yapılabilen 2 boyutlu görüntüsel veriler oluşturulmuştur.

A.) PSO ve Adam Optimizer

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO): Özellikle kuşların kolektif hareketlerinden esinlenen, hesaplamalı bir optimizasyon yöntemidir. PSO algoritmasında, bir problemin olası çözümleri; çözüm uzayında dolaşan ve hem bireysel tecrübelerine hem de topluluğun diğer üyelerinin bilgi birikimine göre konumlarını güncelleyen parçacıklar şeklinde modellenir. Bu yöntemin temel amacı, belirli bir problemin en uygun çözümünü elde etmektir.

$$\text{velocity}_i(t+1) = w \times \text{velocity}_i(t) + c_1 \times r_1 \times (\text{pbest}_i - \text{position}_i(t)) + c_2 \times r_2 \times (\text{gbest} - \text{position}_i(t))$$

- $\text{velocity}_i(t+1)$ is the updated velocity of particle i at time $t+1$.

PSO genellikle optimizasyon görevleri için çeşitli alanlarda kullanılır.

$$\text{position}_i(t+1) = \text{position}_i(t) + \text{velocity}_i(t+1)$$

- $\text{position}_i(t+1)$ is the updated position of particle i at time $t+1$.

Adam (Adaptive Moment Estimation), derin sinir ağlarının eğitimi sürecinde makine öğrenmesi alanında yaygın şekilde kullanılan bir optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma, momentum tabanlı tekniklerle RMSprop algoritmasından türetilen yaklaşımları birleştirerek, her bir model parametresi için öğrenme hızını dinamik biçimde güncelleyebilme yeteneğine sahiptir.

Adam algoritması; yüksek hesaplama verimliliği, hızlı yakınsama özellikleri ve seyrek gradyanlara karşı gösterdiği dayanıklılıkla öne çıkmaktadır. Parametre güncellemelerini, birinci ve ikinci momentlerin (ortalama ve varyans) tahminlerine dayalı olarak gerçekleştirmesi sayesinde, çeşitli makine öğrenmesi problemlerinde etkili ve istikrarlı bir optimizasyon süreci sağlamaktadır.

- θ : Model parameters.
- α : Learning rate.
- β_1 and β_2 : Exponential decay rates for the first and second moments.
- m_t : First moment (mean of gradients).
- v_t : Second moment (mean of squared gradients).
- t : Time step.

The update rule for θ is as follows:

$$m_t = \beta_1 \cdot m_{t-1} + (1 - \beta_1) \cdot \nabla J_t(\theta)$$

$$v_t = \beta_2 \cdot v_{t-1} + (1 - \beta_2) \cdot (\nabla J_t(\theta))^2$$

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t}$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t}$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \alpha \cdot \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}}$$

B. CNN, Relu ve LeNet5

Evrişimli Sinir Ağı (Convolutional Neural Network - CNN), görsel veri ve görüntü işlemeye yönelik geliştirilmiş bir yapay sinir ağı mimarisidir. Bu mimari; görüntü tanıma, nesne tespiti ve sınıflandırma gibi görevlerde yüksek düzeyde performans sergilemektedir. CNN'ler, giriş verilerinden mekânsal özellik hiyerarşilerini otomatik ve uyarlanabilir biçimde öğrenebilmek amacıyla evrişimsel katmanlardan yararlanır.

Bir CNN'nin Temel Bileşenleri:

- **Evrişimsel Katmanlar:** Bu katmanlar, filtre (ya da çekirdek) adı verilen ağırlık kümeleri aracılığıyla giriş verisi üzerinde evrişim işlemi gerçekleştirir. Bu süreç, modelin kenar, doku ve daha karmaşık yapısal örüntüleri tanımasını sağlar.
- **Havuzlama Katmanları (Pooling):** Havuzlama katmanları, girişin uzamsal boyutlarını azaltarak hesaplama yükünü düşürürken önemli yapısal bilgileri korur. En yaygın kullanılan havuzlama türleri, belirli bir bölgedeki en yüksek değeri seçen maksimum havuzlama (max pooling) ve bölge ortalamasını hesaplayan ortalama havuzlamadır (average pooling).
- **Tam Bağlantılı Katmanlar (Fully Connected Layers):** Evrişimsel ve havuzlama katmanlarının ardından, yüksek düzeyli çıkarımlar bu katmanlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu katmanlar, önceki katmanlardan öğrenilen temsilleri kullanarak nihai sınıflandırmaları veya tahminleri üretir.

Sonuç olarak, CNN mimarileri, evrişimsel işlemler yoluyla çok katmanlı özellik çıkarımı yapabilen, görsel veri işleme ve analizinde etkin biçimde

kullanılan güçlü yapay sinir ağı yapılarıdır. Aşağıdaki formül, CNN’lerde özellik çıkarımının temelini oluşturan evrişim işlemini ifade etmektedir.

$$S(i,j) = (I * K)(i,j) = \sum_m \sum_n I(m,n) \cdot K(i-m, j-n)$$

$S(i,j)$: (i,j) konumundaki evrişim işleminin çıktısı

$I(m,n)$: (m,n) konumundaki giriş görüntüsü pikseli

$K(i-m, j-n)$: $(i-m, j-n)$ konumundaki evrişim çekirdeği (filtre)

ReLU Aktivasyon Fonksiyonu:

Düzeltilmiş Doğrusal Birim (ReLU), özellikle Evrişimli Sinir Ağları (CNN’ler) ve derin öğrenme modellerinde yaygın biçimde kullanılan, doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonudur. ReLU, sinir ağlarına doğrusal olmayanlık kazandırarak, girdilerdeki karmaşık örüntülerin ve temsil yapıların öğrenilmesini mümkün kılar. Matematiksel olarak şu şekilde tanımlanır:

$$\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$$

Bu formül, girdinin pozitif olması durumunda çıktının girdinin kendisi, negatif olması hâlinde ise sıfır olacağını belirtir. ReLU’nun sade yapısı ve derin ağların eğitim sürecindeki yüksek performansı, bu fonksiyonun popülaritesini artırmıştır.

ReLU’nun Başlıca Özellikleri:

- Doğrusal Olmayanlık: ReLU, sinir ağına doğrusal olmayanlık katarak, doğrusal olmayan ilişkilerin modellenmesine olanak sağlar.
- Hesaplama Verimliliği: Yapısal sadeliği sayesinde, diğer bazı aktivasyon fonksiyonlarına kıyasla daha düşük hesaplama maliyeti sunar.
- Seyrek Aktivasyon: ReLU, yalnızca belirli nöronları aktive ederek seyrek aktivasyon üretir. Bu durum, hem hesaplama etkinliğini artırır hem de modelin genelleme kapasitesini geliştirebilir.

Bununla birlikte, ReLU’nun birtakım dezavantajları da mevcuttur. Özellikle, bazı nöronların eğitim sürecinde kalıcı olarak etkisizleştiği “ölü ReLU” problemi, modelin öğrenme kapasitesini sınırlayabilir. Bu soruna yönelik olarak Leaky ReLU ve Parametric ReLU gibi alternatif aktivasyon fonksiyonları geliştirilmiştir.

LeNet-5 Sinir Ağı Mimarisi:

LeNet-5, el yazısı rakamların tanınması amacıyla Yann LeCun ve ekibi tarafından geliştirilen, öncü bir Evrişimli Sinir Ağı (CNN) mimarisidir. Derin öğrenmenin evrimi açısından önemli bir dönüm noktası olan bu mimari, daha gelişmiş CNN yapılarına temel teşkil etmiştir.

LeNet-5'in Önemli Bileşenleri:

- **Evrişim Katmanları:** LeNet-5, her biri bir alt örnekleme (havuzlama) katmanı ile takip edilen iki evrişim katmanından oluşur. Bu katmanlar, giriş görüntülerinin çok düzeyli temsillerini çıkarır.
- **Aktivasyon Fonksiyonu:** Bu mimaride doğrusal olmayanlık için sigmoid aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir.
- **Tam Bağlantılı Katmanlar:** Evrişimsel işlemde elde edilen özellik haritaları, üç adet tam bağlantılı katman aracılığıyla üst düzey soyutlamaya dönüştürülür.
- **Çıkış Katmanı:** Son katmanda yer alan softmax işlevi, sınıflar arasında olasılık dağılımı oluşturarak çok sınıflı sınıflandırma görevlerini yerine getirir.
- **Girdi Boyutu:** LeNet-5, 32x32 piksel boyutlarında gri tonlamalı el yazısı rakam görüntüleri üzerinde çalışmak üzere tasarlanmıştır.

LeNet-5, evrişimli mimarilerin görsel veri işleme konusundaki başarısını ortaya koyarak, günümüzde kullanılan derin ve karmaşık ağ yapılarına ilham kaynağı olmuştur. Her ne kadar başlangıçta rakam tanıma amacıyla geliştirilmiş olsa da, temel prensipleri daha geniş kapsamlı görsel görevlerde etkili biçimde uygulanmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

A.) Doğruluk ve Öngörü

Doğruluk (İng. accuracy), bir sınıflandırma algoritmasının genel başarı düzeyini değerlendirmede kullanılan temel performans göstergelerinden biridir. Bu ölçüt, doğru olarak sınıflandırılmış örneklerin, toplam gözlem sayısına oranını ifade eder. Başka bir deyişle, modelin ne ölçüde isabetli öngörülerde bulunduğunu gösterir. Doğruluk değeri, modelin sınıflandırma görevindeki etkinliğini genel anlamda yansıtan nicel bir metriktir.

Yorum:

Daha yüksek doğruluk oranı, genellikle modelin genel performansının iyi olduğunu gösterir; ancak, bu metrik dengesiz veri kümeleri söz konusu olduğunda yanıltıcı olabilir.

Tahmin (Prediction):

Makine öğrenmesi bağlamında tahmin, bir modelin belirli bir girdi örneği için ürettiği çıktı değerini ifade eder. Sınıflandırma modelleri açısından bu çıktı, genellikle belirli bir girdiye karşılık gelen öngörülen sınıf etiketi ya da bu sınıfa ait olasılık skorudur.

Örnek:

İkili sınıflandırma problemlerinde (örneğin: e-posta iletilerinin spam olup olmadığının belirlenmesi), tahmin; eğitilmiş model tarafından yeni bir e-postaya atanan sınıf etiketi ya da bu sınıfa ilişkin olasılık değeri olabilir.

Özetle: Doğruluk, bir modelin yaptığı tahminlerin ne ölçüde doğru olduğunu gösteren genel bir başarı metriğidir. Tahmin ise modelin belirli bir girdiye ilişkin ürettiği çıktıdır.

Değerlendirme:

Veri kümesi %30 eğitim ve %70 test olacak şekilde ikiye ayrılmış; model, 10 epoch boyunca eğitilmiştir. Elde edilen değerlendirme sonuçları Şekil 8'de sunulmaktadır.

```
Epoch 1/10
189/189 [=====] - 4s 5ms/step - loss: 0.6259 - accuracy: 0.6939 - val_loss: 0.6129 - val_accuracy: 0.6929
Epoch 2/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.6044 - accuracy: 0.6947 - val_loss: 0.6003 - val_accuracy: 0.6929
Epoch 3/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.5937 - accuracy: 0.6947 - val_loss: 0.5895 - val_accuracy: 0.6929
Epoch 4/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.5841 - accuracy: 0.6947 - val_loss: 0.5827 - val_accuracy: 0.6929
Epoch 5/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.5795 - accuracy: 0.6947 - val_loss: 0.5825 - val_accuracy: 0.6929
Epoch 6/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.5783 - accuracy: 0.7027 - val_loss: 0.5790 - val_accuracy: 0.7037
Epoch 7/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.5766 - accuracy: 0.6997 - val_loss: 0.5796 - val_accuracy: 0.7237
Epoch 8/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.5761 - accuracy: 0.7142 - val_loss: 0.5777 - val_accuracy: 0.7200
Epoch 9/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.5758 - accuracy: 0.7190 - val_loss: 0.5806 - val_accuracy: 0.7083
Epoch 10/10
189/189 [=====] - 1s 3ms/step - loss: 0.5781 - accuracy: 0.7014 - val_loss: 0.5787 - val_accuracy: 0.7179
102/102 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 0.5787 - accuracy: 0.7179
Test Accuracy: 0.717853844165802
```

Şekil 8: Değerlendirme metrikleri

B.) Sonuç

Yapılan analizler sonucunda, hisse senedinin durumuna bağlı olarak %71,78 civarında bir doğruluk oranı elde edilmiştir. Bu bulgular ışığında, geliştirdiğimiz derin öğrenme modelinin yüksek başarı gösterdiği söylenebilir. Modelin ticari olarak uygulanabilir hale gelmesi ve tüm hisse senetleri için benzer doğruluk oranlarının elde edilmesi amacıyla geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu model, Microsoft dışındaki bazı hisse senetleri için aşağıdaki sonuçları vermiştir:

- Netflix: %65,7
- Amazon: %66,5
- Boeing: %71,1
- Johnson & Johnson: %58,5

Verilen hisse senetlerinin durumuna bağlı olarak değişen doğruluk oranlarının birbirine yakın yüksek seviyelere çıkarılması gerektiği göz önünde bulundurulduğunda, modelin ve kullanılan veri kümesinin daha da iyileştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- A M Özbayoğlu, O. B. (2020). Deep learning for financial applications : A survey. *Applied Soft Computing, Volume 93, 2020,.*
- A Nakayama, K. I. (2019). Short-term Stock Price Prediction by Analysis of Order Pattern Images. *2019 IEEE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics (CIFEr), Shenzhen, China, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CIFEr.2019.8759057., 1-5.*
- A. Tsantekidis, N. P. (2017). Using deep learning to detect price change indications in financial markets. *2017 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Kos, Greec, 2511-2515.*
- A.Aryan, B. K. (2022). Forecasting stock market price using LSTM-RNN. *2022 2nd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE), 1557-1560.*
- C. Vaca, D. R. (2020). Buy & Sell Trends Analysis Using Decision Trees . *DOI:10.1109/ColCACI50549.2020.9247907 Conference: 2020 IEEE Colombian Conference on Applications of Computational Intelligence (ColCACI).*
- D, A. M. (2020). Indian Stock Market Prediction using Deep Learning . *2020 IEEE REGION 10 CONFERENCE (TENCON), Osaka, Japan, 2020, pp. 1215-1220, doi: 10.1109/TENCON50793.2020.9293712., 1215-1220.*
- D.M.O Nelson, A. P. (2017). Stock market's price movement prediction with LSTM neural networks. *2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Anchorage, AK, USA, 2017, pp. 1419-1426, doi: 10.1109/IJCNN.2017.7966019., 1419-1426.*
- Duvar, Z. H. (2020). An Efficient Word Embedding and Deep Learning Based Model to Forecast the Direction of Stock Exchange Market Using Twitter and Financial News Sites: A Case of Istanbul Stock Exchange (BIST 100). *IEEE Access 8:188186 - 188198.*
- J. Eapen, D. A. (2019). Novel Deep Learning Model with CNN and Bi-Directional LSTM for Improved Stock Market Index Prediction. *Conference: 2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) .*
- K. J, H. E. (2021). Stock Price Prediction Based on LSTM Deep Learning Model. *2021 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), Puducherry, India, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSCAN53069.2021.9526491., 1-4.*
- K. Sutradhar, S. S. (2021). Stock Market Prediction using Recurrent Neural Network's LSTM Architecture . *Conference: 2021 IEEE 12th Annual*

- M. Biswas, A. S. (2021). Predicting Stock Market Price: A Logical Strategy using Deep Learning. *2021 IEEE 11th IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE), Penang, Malaysia*, 218-223.
- M. Nabipour, P. N. (2020). Predicting Stock Market Trends Using Machine Learning and Deep Learning Algorithms Via Continuous and Binary Data; a Comparative Analysis. *IEEE Access*, vol. 8, pp. 150199-150212, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3015966. , 150199-150212.
- M. U. Gudelek, S. A. (2017). A deep learning based stock trading model with 2-D CNN trend detection. *2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), Honolulu, HI, USA, 2017*, pp. 1-8, doi: 10.1109/SSCI.2017.8285188., 1-8.
- M.Vargas, C. D. (2018). Deep Learning for Stock Market Prediction Using Technical Indicators and Financial News Articles.
- P.S. Sisodia, A. G. (2022). Stock Market Analysis and Prediction for Nifty50 using LSTM Deep Learning Approach. *Conference: 2022 2nd International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM)* .
- Qi-Qiao He, C. W.-W. (2022). LSTM with particle Swam optimization for sales forecasting. *Electronic Commerce Research and Applications, Volume 51*,.
- Rao, B. S. (2022). Analysis of a Stock Exchange and Future Prediction Using LSTM. *"2021 4th International Conference on Recent Trends in Computer Science and Technology (ICRTCST), Jamshedpur, India, 2022*, doi: 10.1109/ICRTCST54752.2022., 48-54.
- S. Banik, N. S. (2021). LSTM based decision support system for swing trading in stock market . *Knowledge-Based Systems 239(2):107994*.
- T. Sanboon, K. K. (2019). A Deep Learning Model for Predicting Buy and Sell Recommendations in Stock Exchange of Thailand using Long Short-Term Memory. *2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS), Singapore, 2019*, 757-760.
- W. Long, Z. L. (2019). Deep learning-based feature engineering for stock price movement prediction. *Knowledge-Based Systems, Volume 164, 2019*,.
- Weifang Mao, H. Z. (2023). Forecasting and trading credit default swap indices using a deep learning model integrating Merton and LSTMs. *Expert Systems with Applications, Volume 213, Part B*, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119012>. .

- Yilin Ma, R. H. (2020). Portfolio optimization with return prediction using deep learning and machine learning . *Expert Systems with Applications* 10.1016/j.eswa.2020.113973.
- Yong'an Zhang, B. Y. (2020). A novel deep learning framework: Prediction and analysis of financial time series using CEEMD and LSTM . *Expert Systems with Applications*, Volume 159, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113609>. .
- Z.H Kilimci, H. K. (2021). Deep Learning-based Decision Integration Strategy for the Price Prediction of Istanbul Stock Exchange (BIST100). *2021 13th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*.