

Makine Teknolojileri ve Taşıt Enerji Sektörleri için Malzeme ve Tasarım Metodları III

Editör
MURAT MAKARACI

BİDGE Yayınları

Makine Teknolojileri ve Taşıt Enerji Sektörleri İçin Malzeme ve
Tasarım Metodları III

Editör: Doç. Dr. Murat MAKARACI

ISBN: 978-625-6707-24-5

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2023

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için
yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni
olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Mühendislik ve teknolojik gelişmelerin temelini üretici ve tüketiciye uygun standartlarda, yüksek performanslı, verimliliği kabul edilebilir ve maliyet etkin çözümler oluşturmaktadır. Bu bağlamda, en temel ihtiyaçlar olan su, buğday (gıda) ve petrol (enerji) eksenli döngülerinin yanında talep edilen hız, dayanıklılık ve kalite faktörlerini içeren inovatif yaklaşımlar teknolojiye yön verebilmektedir.

Katkı sunan yazarlarımıza teşekkür ederken, sonuçların ülkemize ve dünyaya faydalı olması temennilerimi arz eder, saygılarımı sunarım.

Editor

Doç.Dr. Murat MAKARACI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
Bulanık Mantık İle Taşıt Engel Tanıma Simülasyonu.....	6
Aslan ÇOBAN.....	6
Hüseyin KAHRAMAN	6
Emrecan BAYHAN.....	6
Elektrikli Araçlarda Araç İçi Klima Sisteminin Batarya Isıl Yönetim Sistemlerine Etkisi	21
Osman Bedrettin KARATAŞ	21
Umutcan ŞİMŞEK.....	21
Kemal Furkan SÖKMEN	21

Yenilikçi Buzlu Su Teknolojisi Kullanımıyla Beton Santrali	
Soğutma Sistemi	36
Ramazan Çağrı ÇİÇEKDİKEN	36
Aşkın ŞAHİN	36
Özkan İNER	36
Ali KİBAR	36
Bibliyometrik Analiz: Rüzgâr Enerjisi Hasadı	54
Yakup KILIÇARSLAN.....	54
Cemil KÖZKURT	54
H-Darrieus Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde J-Tipi Kanat	
Yapısı Uygulamaları	83
Himmet Erdi TANÜRÜN	83

BÖLÜM I

Bulanık Mantık İle Taşıt Engel Tanıma Simülasyonu

Aslan ÇOBAN¹
Hüseyin KAHRAMAN²
Emrehan BAYHAN³

Giriş

Yapay zeka teknolojileri günümüzde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Her ne kadar son yıllarda adından sıklıkta bahsettirse de yapay zekâ teknolojisi temel itibariyle 1950'li yıllara kadar dayanmaktadır. Teorik olarak ise yapay zekâ kavramı daha da eskilere gitmektedir. 18.yy'da yaşamış filozoflar insan gibi düşünen akıllı bir makinenin olasılığından bahsetmektedirler. Örnek olarak, Rene Descartes, yapay zekânın bir metafordan ziyade böyle bir makinenin olasılığı konusunda daha kapsamlı düşünmüştür. Öte

¹ Doç. Dr, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

² Dr. Öğr. Üyesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

³ Doktora Öğrencisi, İstanbul Üniversitesi

yandan Gottfried Wilhelm Leibniz muhakeme yapabilen makinelerin olasılığından bahsetmektedir (Buchanan, 2005). Hem Leibniz hem de Pascal aritmetik mekanizmaya sahip bir makine dizayn ettiler, fakat bu makine düşünme kabiliyetinden yoksundu. Daha sonraları bilim kurgu yazarları da bu olasılıktan çeşitli romanlarda bahsetmiştir ki en bilineni Frank Baum'un Oz Büyücüsü romanıdır (Mijwil, 2015). Yapay zeka bugün özellikle askeri ve robot teknolojilerinde kullanılmakla birlikte, tıptan bankacılık sektörüne, pazarlama stratejilerinden perakendeye kadar birçok alanda oldukça etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Hatta günümüzde yapay zekaya yazdırılan romanların olduğu gibi yapay zekanın çizdiği tablolar bile mevcuttur. Fakat madalyonun diğer bir tarafı, özellikle günümüzde azımsanmayacak derecede bir kısım insan yapay zekanın ilerde insanlığı zararlı olacağı kanaatindedir.

Yapay zeka fikri ciddi manada ilk olarak 1956 senesinde ortaya atılmıştır. 1956'da "Artificial Intelligence" başlığı altında Hannover, New Hampshire, Dartmouth'ta ilk yapay zeka toplantıları yapılmıştır. Massachusetts Institute of Technology'den Marvin Minsky ve diğer bilim adamları katıldıkları toplantılarda yapay zeka konusunda önemli konuları irdelemişlerdir (Buchanan, 2005). Yapay zekanın gelişmesindeki mihenk taşlarından biride şüphesiz Alan Turing'dir. Alan Mathison Turing 2.Dünya Savaşı sırasında geliştirdiği Turing makinesi ile Almanların şifreleme cihazı Enigma'nın kodlarını kırarak Almanlar açısından ciddi bir istihbarat zafiyeti doğurmuş ve bu sebepten savaşın İngilizler lehine dönmesini sağlamıştır ve aynı zamanda bilgisayarın atası olarak kabul görmektedir (French, 2000). Turing testine göre iki ayrı odada bulunan iki kişi birbirleriyle bir bilgisayar aracılığıyla yazışmaktadır. Taraflar birbirlerine soru sormaktadırlar. Bir zaman sonra taraflardan biri yerini soruları cevaplayacak bir bilgisayarla yer değiştirir. Bu durumdan habersiz olan diğer taraf karşısındakinin makine olduğunu anlamaz ise makine testte başarılı olmuştur diğer bir ifadeyle makine akıllıdır denebilir. Aksi durumda makine başarısız olarak kabul edilir. Turing'e göre insan konuşmasını kusursuzca taklit edebilen bir makineyi reddetmenin tutarlı bir yanı

yoktur. Turing testi için ortaya sürülen birtakım çıkarımlar geniş bir araştırma konusudur. Bazı yazarlar, gerçek manada düşüncenin tam olarak ne demek olduğuyla ilgili birtakım endişelerini dile getirdiler. Sayılarla çalışan ve bu nispette mantıklı bile olsa insana cevap veren makinelerin düşüncenin gerçek tanımı ile bağdaşmayacağını ileri sürdüler. Fakat bunun tersini düşünen, makinelerin de düşünce yapısı itibariyle matematik bir modele dökülebilir olduğunu söyleyen karşıt görüşlü yazarlarda mevcuttur (French, 2000).

Bulanık mantık, yapay zeka uygulamalarında kullanılan uzman sistemler, yapay sinir ağları, görüntü işleme gibi teknolojilerin yanında kullanılan bir yapay zeka dalıdır (Jassbi et al., 2007). Günümüzde bulanık mantık başta endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanmanın yanı sıra hava tahmini, askeri amaçlarla hatta tıp alanında hastalıklarının tahmininde de kullanılmaktadır (Phillips et al., 1996). Bulanık mantık ya da literatürdeki adıyla “Fuzzy Logic” genel tanımı şu şekilde yapılabilir; İnsanın düşünüş tarzını temel alan hesaplamalı bir paradigmadır. Bulanık mantığın temel mantığında kesin olmayan değerleri alır, kendi içerisinde bir dizi işleme sokar ardından kesin cevabı verir. Cevabı net olmayan ya da göreceli olarak yorumlanabilecek büyüklükler için bulanık mantık geliştirilmiştir (Zadeh, 1965).

Bu çalışmada yapay zekânın bir çeşidi olan bulanık mantık kullanılmıştır. Araç şerit takibi yapan bir uygulama oluşturulmuştur. Uygulamaya göre üç şeritli bir yol oluşturulmuş ve yol boyunca durgun halde bulunan engeller konumlandırılmıştır. Uygulamadaki temsili araç, yol boyunca ilerlerken karşısına çıkan engellere çarpmadan yolu bitirmesi hedeflenmiş ve aracın yol boyunca alacağı kararlar bulanık mantık tarafından belirlenmiştir. Aracın yol boyunca karşılaştığı engellerin tespit edilebilmesi için görüntü işleme teknolojisinden de yararlanılmıştır. Uygulama ve bulanık mantık algoritmaları için MATLAB programı kullanılmıştır.

Bulanık Mantığın Uygulanması

Bulanık mantık kurulumunda görüntü işlemeden yararlanılmıştır. Simülasyonda öncelikle araç olarak temsil edilen kutucuğun önüne çıkan engellerin boyutlarını ve konumlarını algılaması için simülasyon belirli zaman dilimi aralıklarında yolun resmini çekmiş ve olası engeller tespit edilmiştir. Engel tespit edildikten sonra engelin yola göre konumunun tespiti için bulanık mantıktan yararlanılmıştır. Bu işlem simülasyonun önemli bir aşamasıdır. Zira engelin yola göre konumu aracın karar verme mekanizmasını etkileyecektir. Konum da tespit edildikten sonra konum çıkarımından alınan bilgiler araç içerisine aktarılmış ve aracın bu bilgilere neticesinde doğru karar vermesi beklenmiştir. Bu sistem simülasyon ortamında değil de gerçek bir taşıtta uygulanmak istenirse, araç önüne yolu algılaması için bir kamera yerleştirilecek akabinde yolun anlık görüntüsü kamera tarafından kayıt altına alınacak ve eş zamanlı olarak ECU (electronic control unit) ye iletilecektir. Kameradan yol boyunca yolun genişliği, şerit genişliği, sollama yasağı, öndeki araç takibi gibi birtakım parametreler görüntü işleme teknolojisine tabii tutulabilir. Bu parametre sonuçları araç içerisine kodlanmış bulanık mantığa aktarılarak aracın kendi mevcut konumuna göre yavaşlaması, hızlanması sollamaya çıkması veya olası kazayı öngörüp ona göre en doğru tahmini yapması hedeflenebilir.

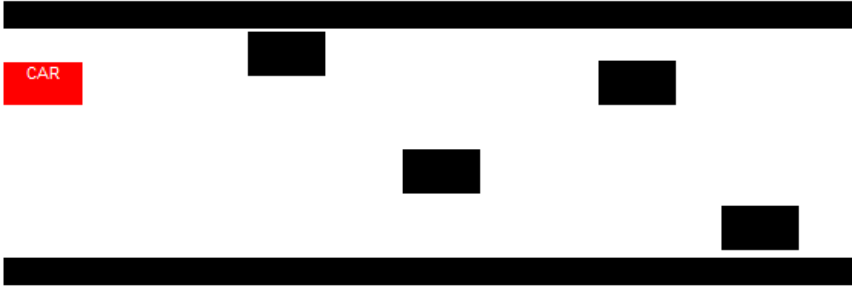
Görüntü İşleme Safhası

Görüntü işleme teknolojisi temel mantıkta [1 0] mantığı ile çalışmaktadır. Diğer bir ifadeyle yol üzerindeki engeller “1” , yol üzerindeki boşluklar ise “0” ile temsil edilmiştir.

Şekil 1.’ de görüldüğü üzere yol, temsili araç ve yol üzerindeki engeller yola keyfi bir şekilde yerleştirilmiştir. Görüntü işleme mantığı çerçevesinde işlem basamakları aşağıdaki şekilde verilebilir;

- Anlık yol resminin çekilmesi

- Görüntünün işleme hazır hale getirilmesi için gri forma dönüştürülmesi
- Gri formdaki görüntünün bilgisayar tarafından okunabilmesi için siyah beyaz hale getirilmesi
- Yolun boş olan kısımlarına “0” , yol üzerindeki engellere “1” verilerek engel ve yol arasındaki ayırımın yapılması ve bunun karar mekanizmasına iletilmesi



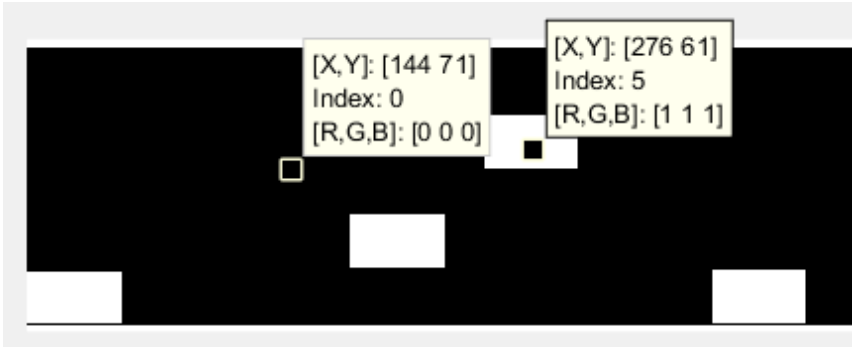
Şekil 1. Temsili Araç ve Engellerin Gösterimi

Bu safhada temsili aracın yol boyunca hareketi doğrultusunda, yolun resmi çekilmiştir. Ve bu sayede bir sonraki engelin konumu ve doğrultusu saptanmıştır. Simülasyonda resim yolun resim çekme süresi saniyenin beşte ikisi olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu süre ihtiyaca yönelik artırılabilir veya azaltılabilir. Bu sürenin düşürülmesi hususunda bir sakınca yoktur fakat sürenin arttırılması engelin geç algılanmasına ve bu sebeple karar mekanizmasının geç işleyişine sebep olur ki bu durum simülasyonun verimli efektif çalışmasını olumsuz yönde etkiler.

Görüntü işleme mantığı gereği, görüntüden bilgi aktarımı sağlanabilmesi için öncelikle görüntünün grileştirilmesi akabinde siyah beyaz forma çevrilip, görüntü [1 0] olacak şekilde ayarlanması gerekmektedir. Normal bir görüntü de kırmızı, yeşil ve mavinin tonları ya da bu renklerin karışımından elde edilen diğer renkler bulunmaktadır. Görüntü içerisindeki şekillerin, sınırların ve

objelerin saptanabilmesi renkli iken mümkün değildir. Bu vesileyle dönüşüm yapılması gerekmektedir (Thaker & Nagori, 2018).

Mevcut durumda yukarıdaki örnek engeller gri formda gösterilmiştir. Bilgisayarın bu engelleri tanıyabilmesi için gri formdan siyah-beyaz forma dönüştürmesi gerekir. Diğer bir ifadeyle; Bilgisayarlar 1 ve 0 ile çalışmaktadır. Fotoğraf renkli halden, siyah-beyaz forma dönüştürüldüğü takdirde bilgisayar bunu algılayabilecektir.



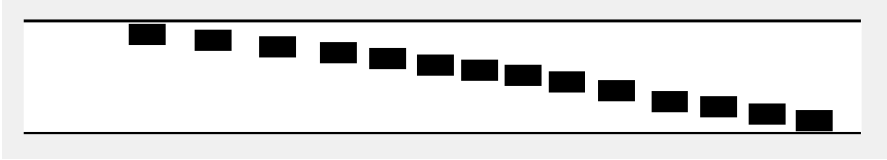
Şekil 2. Fotoğrafın Gri Formdan Siyah-Beyaz Forma Dönüştürülmesi

Şekil 2.'de görüldüğü üzere resim gri fondan siyah beyaz forma dönüştürülmüştür. Resim artık bilgisayarın ayırt edebileceği formda yani [1 0] “logic” formundadır. Şekilde, [R,G,B] siyah bölgelerde [0 0 0], beyaz bölgelerde ise [1 1 1] biçimindedir. Simülasyon, bundan sonraki süreçte önündeki engelleri algılayabilir, ayırt edebilir ve konuma uygun olarak cevap verebilir duruma gelmiştir.

Engellerin Ağırlık Merkezinin Hesaplanması

Simülasyonda temsili engeller görüntü işleme kullanılarak yerleri saptandıktan sonra yola göre ağırlık merkezlerinin konumlarının bilinmesi gerekmektedir. Engellerin yola göre ağırlık merkezleri hesaplanmış ve engelin yola göre koordinatı tespit edilmiştir. Bu safhada aracın yolun serbestlik durumunda göre,

engelin solundan, sağından geçip geçemeyeceği ya da bütün şeritlerin dolu olması durumunda aracın durması gerektiği bulanık mantık tarafından belirlenmiştir. Bu safhada engellerin yola göre muhtemel pozisyonları senaryolar halinde gösterilmiştir.



Şekil 3. Engellerin Yola Göre Konumları

Şekil 3.' te görüleceği üzere aracın önüne çıkabilecek tahmini engeller yola konumlandırılmıştır. Bu noktada 14 tane engel belirlenmiştir. Daha hassas sonuçlar için daha farklı pozisyonlarda ve konumda engel miktarı artırılabilir. Yolun sağ ve solu siyah ince çizgiler halinde sınırlandırılmıştır. Farklı pozisyonlardaki engellerin yola göre ağırlık merkezlerinin oluşturulması tablo halinde aşağıda verilmiştir. tasnifi yapılmış olan engelleri temsil eden kutucukların, düzlemde [X Y] olarak gösterilmiştir. Düzlemde “Y” düzlemindeki değerler simülasyonun ağırlık merkezlerinden oluşturmaktadır. Toplam fotoğraf boyutu [1157 57] olacak şekilde ayarlanmıştır. Fotoğraf boyutuna göre 14 kutucuğun ağırlık merkezleri değerleri ve bu değerlerin simülasyondaki karşılıkları aşağıda tablo olarak gösterilmiştir.

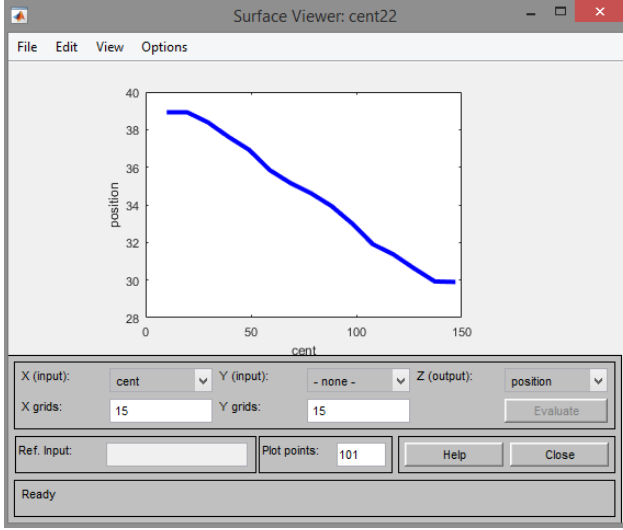
Tablo 1. Görüntü işlemeden alınan koordinat değerleri ve simülasyondaki karşılıkları

Fotoğraf değerleri	Simülasyon karşılıkları
21	38.923
29	38.285
38	37.615
46	37
54	36.385
63	35.690
70	35.15
77	34.615
86	33.923
98	33
113	31.9
120	31.3
130	30.615
139	29.923

Mevcut tablo değerlerine bakılarak ağırlık merkezi için bulanık mantık kuralları oluşturulmuştur. Bulanık mantık içerisinde giriş verileri için ‘gaussian’ üyelik fonksiyonu kullanılmış olup, çıkış üyelik fonksiyonu da yine ‘gaussian’ üyelik fonksiyonu olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.’teki grafiğe göre, grafiğin x eksenini giriş değerlerini, grafiğin y koordinatı çıkış değerlerini temsil etmektedir. Giriş değerlerinin fotoğrafta saptanmış engellerin, fotoğraftaki ağırlık merkezini temsil ettiği ifade edilmiştir. Aynı şekilde çıkış değerlerinin ise, fotoğraftaki ağırlık merkezi saptanan engelin,

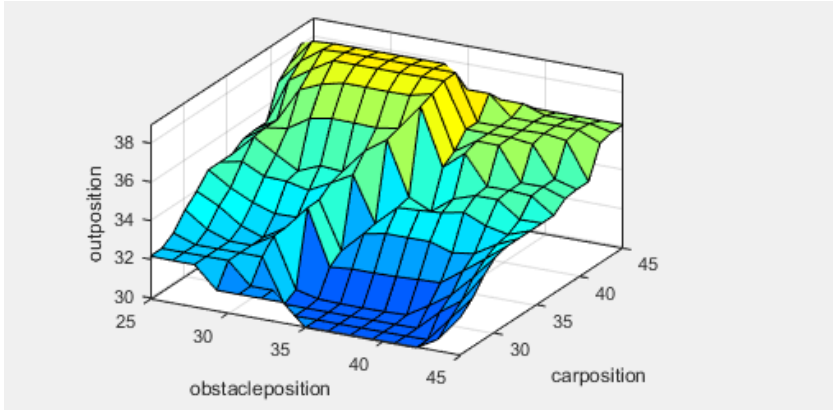
simülasyondaki konumunu temsil ettiği ifade edilmiştir. Buna göre; fotoğraftaki engellerin ağırlık merkezinin düşük olduğu değerlerde, engel yolun nispeten daha üst kısımlarında konumlandırılmıştır ve ağırlık merkezinin yüksek olduğu değerlerde ise, engel yolun nispeten daha alt kısımlarında konumlandırılmıştır.



Şekil 4. Ağırlık Merkezi Kural Yapısının Grafiği

Şekil 5.'te görüldüğü gibi; Engelin y koordinatındaki konumu 25 ile 35 birim iken, buna karşılık aracın y koordinatında konumu 35 ile 45 birim arasında ise, aracın konumu grafikten de görüldüğü üzere değişmeyecektir. Diğer bir ifadeyle araç yolun üst tarafında iken, engelde nispeten biraz daha alt tarafında ise araç, y koordinatındaki konumunu değiştirmeden yoluna devam edecektir. Engelin y koordinatındaki konumu 37 birim iken, buna karşılık aracın y koordinatında ki konumu 37 birimden fazla ise, aracın bir sonraki konumu 34 birime kadar düştüğü görülmüştür. Sebebi ise simülasyona göre yolun üst sınırı 38.923 birim olarak belirlenmiştir. Bu sebeple aracın hem engele hem de üst bariyere çarpırmaması icap ettiğinden konumunu 34 birime kadar düşürmektedir. Aynı durum yolun alt yarısı için de geçerlidir. Engelin y koordinatındaki konumu 31 birimken, buna karşılık aracın y koordinatındaki konumu 30

birim ise araç alt bariyere çarpmamak y koordinatında 33 birimin biraz daha yukarısına çıktığı görülmüştür. Engel y koordinatındaki konumu 34 birim iken, buna karşılık aracın y koordinatındaki konumu 35 birim ise, aracın y koordinatında 36 birime kadar çıktığı görülmüştür. Aynı şekilde engelin y koordinatındaki konumu 35 birim iken, buna karşılık aracın y koordinatındaki konumu 34 birim ise, aracın y koordinatında 33 birime kadar düştüğü görülmüştür.



Şekil 5. Araç-Engel ve Çıkış Konumlarının 3 Boyutlu Grafiği

Simülasyon ve Sonuçları

Bu çalışmada senaryolara uygun olarak engeller farklı dizilimlerde, yol boyunca konumlandırılmış ve bu engellere göre aracın vereceği konum cevapları yorumlanmıştır. Bu aşamada 5 farklı simülasyon incelenmiştir ve sonuçlar tablolar halinde değerlendirilmiştir. Her bir simülasyon için temsili yola en az 5 engel konulmuş her bir simülasyon için toplamda en az 25 farklı tahmin yapılmıştır. Tablolarda beş adet veri incelenmiştir. Birinci sütun yol boyunca geçen süreyi, ikinci sütun yol engellerin y koordinatlarını, üçüncü sütun aracın o andaki y koordinatını, dördüncü sütun aracın yeni y koordinatı ile engelin y koordinatı arasındaki farkı ve beşinci sütun ise aracın yol boyunca aldığı mesafeyi yani x koordinatını temsil etmektedir.



Şekil 6. Simülasyon 1

Şekil 6.'da kırmızı renkte temsil edilen araç x koordinatı 9,8, y koordinatı ise 33,46'da olacak şekilde başlangıç pozisyonu olarak konumlandırılmıştır. Karşısındaki engellerin konumların y koordinatları soldan sağa olacak şekilde sırasıyla [38,38 32,46 30,61 35,30 32,30] olacak şekildedir. Simülasyonda temsili aracın ve karşısındaki engellerin boyunun 2.23 birim olduğu hatırlanmalıdır.

Simülasyonda araç başlangıç pozisyonunda y koordinatında 33,46 ve x koordinatında 9,8 de iken karşısında 5 adet engel bulunmaktadır. Bu simülasyon sonucunda araç başlangıç konumundan itibaren 4. saniyesinde ilk engeli tespit etmiş ve duruma göre mevcut pozisyonunu korumuştur. aracın x koordinatı 49,8 birim ve y koordinatı 33,4615 birimdir. Araç 11.saniyede ikinci engelle karşılaşmıştır. İkinci engelin y koordinatı konumu 32,92 birimdir. Bulanık mantık aracın engele çarpıması için, aracın y koordinatını yukarı yönde 2,3155 birim arttırmıştır. Son durumda aracın y koordinatı konumu 35,2355 birimdir. araç 23.saniyedeki x koordinatı 97,8 birim ve y koordinatı ise 35,577 birimdir. Mevcut konumda 3.engelin y koordinatı ise 30,615 birimdir. Mevcut durumda engelin konumu aracın yol düzeninde herhangi bir engel teşkil etmediği için, bulanık mantık aracın y koordinatını değiştirmemiştir.

Tablo 2.'de 58 saniye için aracın y koordinatını, x koordinatını ve yol boyunca karşılaştığı engellerin y koordinatlarını, buna karşılık aracın y koordinatındaki yeni pozisyonu ve son durumda y koordinatında araç ile engel arasındaki farklar gösterilmiştir. Sonuçlar birim cinsindendir.

Tablo 2. Simülasyon 1 Konum Analizi

Saniye	Engel y koordinatı	Araç y koordinatı	Araç yeni y koordinatı	Fark (y koordinatı)	Araç x koordinatı
1	38,3851	33,4615	33,4615	4,9236	9,8
2	38,3851	33,4615	33,4615	4,9236	13,8
3	38,3851	33,4615	33,4615	4,9236	17,8
4	38,3851	33,4615	33,4615	4,9236	21,8
5	38,3851	33,4615	33,4615	4,9236	25,8
6	38,3851	33,4615	33,4615	4,9236	29,8
7	38,3851	33,4615	33,4615	4,9236	33,8
8	29,8972	33,4615	33,4615	3,5643	37,8
9	29,8972	33,4615	33,4615	3,5643	41,8
10	29,8972	33,4615	33,4615	3,5643	45,8
11	32,92	33,4615	35,577	2,657	49,8
12	32,92	35,577	35,577	2,657	53,8
13	32,92	35,577	35,577	2,657	57,8
14	32,92	35,577	35,577	2,657	61,8
15	32,92	35,577	35,577	2,657	65,8
16	32,92	35,577	35,577	2,657	69,8
17	32,92	35,577	35,577	2,657	73,8
18	29,8972	3,5577	3,5577	5,6798	77,8
19	29,8972	3,5577	3,5577	5,6798	81,8
20	29,8972	3,5577	3,5577	5,6798	85,8
21	29,8972	3,5577	3,5577	5,6798	89,8
22	29,8972	3,5577	3,5577	5,6798	93,8
23	30,615	35,577	35,577	4,962	97,8
24	30,615	35,577	35,577	4,962	101,8
25	30,615	35,577	35,577	4,962	105,8
26	30,615	35,577	35,577	4,962	109,8
27	30,615	35,577	35,577	4,962	113,8
28	30,615	35,577	35,577	4,962	117,8
29	29,8972	35,577	35,577	5,6798	121,8

Tablo 2. Simülasyon 1 Konum Analizi (Devamı)

Saniye	Engel koordinatı	y Araç koordinatı	y Araç koordinatı	yeni y Fark koordinatı	(y Araç koordinatı	x
30	29,8972	35,577	35,577	5,6798	125,8	
31	29,8972	35,577	35,577	5,6798	129,8	
32	29,8972	35,577	35,577	5,6798	133,8	
33	35,169	35,577	372,487	2,0797	137,8	
34	35,169	37,2487	37,5987	2,4297	141,8	
35	35,169	37,5987	37,5987	2,4297	145,8	
36	35,169	37,5987	37,5987	2,4297	149,8	
37	35,169	37,5987	37,5987	2,4297	153,8	
38	35,169	37,5987	37,5987	2,4297	157,8	
39	35,169	37,5987	37,5987	2,4297	161,8	
40	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	165,8	
41	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	169,8	
42	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	173,8	
43	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	177,8	
44	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	181,8	
45	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	185,8	
46	31,8989	37,5987	37,5987	5,6998	189,8	
47	31,8989	37,5987	37,5987	5,6998	193,8	
48	31,8989	37,5987	37,5987	5,6998	197,8	
49	31,8989	37,5987	37,5987	5,6998	201,8	
50	31,8989	37,5987	37,5987	5,6998	205,8	
51	31,8989	37,5987	37,5987	5,6998	209,8	
52	31,8989	37,5987	37,5987	5,6998	213,8	
53	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	217,8	
54	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	221,8	
55	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	225,8	
56	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	229,8	
57	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	233,8	
58	29,8972	37,5987	37,5987	7,7015	237,8	

Aracın ve karşısındaki engellerin konumları sayısal olarak gösterilmiştir. Fakat tabloda 33.saniye de araç ile engel arasındaki fark 2,23 birimden daha düşük olduğu görülmüştür. Normal şartlarda aracın engele çarpmadan yoluna devam edebilmesi için engel boyunun üstünde veya altındaki konumlarda hareket etmesi gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle her bir engelin boyu 2,23 ise, aracın yoluna sorunsuz bir şekilde devam edebilmesi için, engelin mevcut konumunun ya 2,23 birim yukarısında ya da 2,23 birim aşağısından hareket etmesi gerekmektedir. Bu sebeple 33.saniyedeki aracın mevcut konumu tekrar incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında bulanık mantık kullanılarak 2 boyutta 3 şeritli bir yol simülasyonu oluşturulmuştur. Simülasyonda amacı başlangıç pozisyonunda konumlandırılmış temsili aracın yol boyunca engelleri algılaması ve uygun pozisyonu alarak yolu bitirmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda bulanık mantık algoritması hazırlanmıştır. Bu algoritma örnek olarak tasarlanan 5 farklı simülasyon için denenmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Bu beş farklı simülasyon için her bir engel keyfi olarak konumlandırılmıştır ve engeller sabit tutulmuştur. Programın bir sonraki aşaması için engellerin hareketli olduğu düşünülebilir. Bu kapsamda bulanık mantık ve diğer bir yapay zekâ çeşidi olan yapay sinir ağları kullanılarak hibrit bir kod oluşturulabilir. Ve bu sayede yapılan çalışma endüstriyel hale getirilebilir otomotiv, harp sanayi, tarım iş makineleri ve benzeri alanlarda ticari olarak kullanılabilir.

KAYNAKÇA

Buchanan, B. G. (2005). A (Very) Brief History of Artificial Intelligence. *AI Magazine*, 26(4), Article 4. <https://doi.org/10.1609/aimag.v26i4.1848>

French, R. M. (2000). The Turing Test: The first 50 years. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(3), 115–122. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01453-4](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01453-4)

Jassbi, J., Alavi, S. H., Serra, P. J. A., & Ribeiro, R. A. (2007). Transformation of a Mamdani FIS to First Order Sugeno FIS. *2007 IEEE International Fuzzy Systems Conference*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2007.4295331>

Mijwil, M. (2015). *History of Artificial Intelligence* (Vol. 3, p. 8). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16418.15046>

Phillips, C., Karr, C. L., & Walker, G. (1996). Helicopter flight control with fuzzy logic and genetic algorithms. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 9(2), 175–184. [https://doi.org/10.1016/0952-1976\(95\)00008-9](https://doi.org/10.1016/0952-1976(95)00008-9)

Thaker, S., & Nagori, V. (2018). Analysis of Fuzzification Process in Fuzzy Expert System. *Procedia Computer Science*, 132, 1308–1316. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.047>

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

BÖLÜM II

Elektrikli Araçlarda Araç İçi Klima Sisteminin Batarya Isıl Yönetim Sistemlerine Etkisi

Osman Bedrettin KARATAŞ¹
Umutcan ŞİMŞEK²
Kemal Furkan SÖKMEN³

Giriş

Elektrikli araçlarda batarya soğutma sistemleri, bataryaların en iyi sıcaklık aralığında çalışmasını sağlamak ve böylece performanslarını artırmak, ömrünü uzatmak ve güvenliklerini sağlamak için kullanılır. Bu sistemler, bataryalardaki aşırı ısınmayı önlemek, sıcaklık kontrolünü sağlamak ve batarya paketinin homojen sıcaklık dağılımını sağlamak gibi önemli işlevlere sahiptir. Bunu sağlayacak yöntemlere batarya ısıl yönetim sistemleri denir

¹ Arş. Gör., Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi

² Lisans Öğrencisi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi

³ Doç. Dr., Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi

(BTYS). BTYS normalde aktif veya pasif olarak sınıflandırılır ve esas olarak hava soğutma, sıvı soğutma, ısı borulu soğutma ve faz değişim malzemelerinin (PCM'ler) uygulamasını içerir (Panahi et al., 2021).

Bu yöntemler arasında zorlanmış hava soğutma sistemi basit konfigürasyonu, yapım ve bakım kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle en sık kullanılan tekniktir. Hava soğutma sistemleri, havanın küçük ısı kapasitesi nedeniyle düşük ısı üretim oranlarına sahip küçük ölçekli batarya paketleri için uygundur. Daha büyük batarya paketleri veya hızlı şarj/deşarj durumları veya yüksek ortam sıcaklığı durumları gibi daha stresli koşullar söz konusu olduğunda, pil termal yönetimi çok zorlayıcı hale gelir ve sıvı soğutma daha iyi bir seçenek olabilir (Panahi et al., 2021).

Sıvı soğutma sistemlerinde normalde su veya sulu etanol kullanılır. Bununla birlikte, sıvı bazlı soğutma sistemleri, doğası gereği düşük ısıl iletkenlik, karmaşık tasarım, sızıntı olasılığı ve yüksek maliyet gibi çeşitli dezavantajlara sahiptir (Panahi et al., 2021).

Isı borusu destekli termal yönetim sistemleri, erişilebilirlikleri nedeniyle normalde poşet/prizmatik tip Li-iyon pil hücrelerinde kullanılır. Ancak, mikro ısı borusu destekli soğutma sistemleri, ısı borusu-hücre temas alanlarının minimum olduğu silindirik hücreler içeren pil paketleri için çok fazla araştırılmamıştır (Panahi et al., 2021).

Faz değiştiren malzemeler, katıdan sıvıya faz değişim süreci sırasında önemli miktarda ısıyı emebilir ve pil hücreleri arasında eşit sıcaklık dağılımını koruyabilir. Ancak faz değişim süreci tamamlandığında, mevcut gizli ısı tükenir ve hücre sıcaklığı artık kontrol edilemez ve termal yönetim sistemi başarısız olabilir. Ayrıca, soğutma sistemine kabul edilemez fazladan ağırlık verirler. Ayrıca, faz değiştiren malzemeler elektrikli araçların uzun vadeli operasyonları için gerekli olan termal kararlılıktan yoksundur (Panahi et al., 2021).

Elektrikli Araçlarda Klima Sistemi

Elektrikli araçlardaki klima sistemleri, genellikle yolcu konforunu sağlamak amacıyla kullanılırken, aynı zamanda batarya soğutma işlevini de yerine getirebilirler. Bu sistemler, kabin içindeki sıcaklık kontrolünü sağlarken, bataryaların da uygun sıcaklıkta çalışmasını sağlamak için uyumlu hale getirilmiştir. Bu şekilde, batarya soğutma sistemi, klima sistemiyle birlikte çalışarak hem sürücü hem de batarya performansı açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

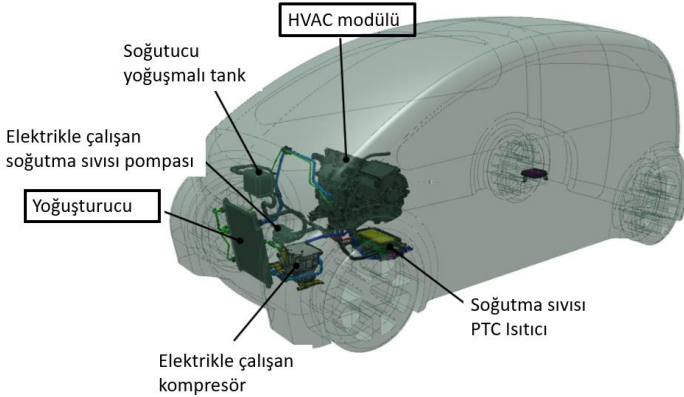
Elektrikli araçlardaki klima sistemi, geleneksel içten yanmalı motorlu araçlardaki klima sisteminden farklı değildir. Ancak elektrikli araçlarda klima sistemi, enerji ihtiyacını bataryadan sağlamak zorundadır.

- **Kompresör:** Klima sisteminin en önemli bileşenlerinden biri kompresördür. Kompresör, soğutucu akışkanı (genellikle R134a gazı) sıkıştırarak basınçlandırır. Bu basınç, akışkanın sıcaklığını yükseltir ve yüksek basınçlı bir gaz haline getirir. Kompresör, elektrik enerjisiyle çalışır ve gücünü aracın bataryasından alır.
- **Evaporatör:** Evaporatör, klima sisteminde soğutucu akışkanın ısını düşürdüğü bir bileşendir. Evaporatör içerisinde soğutucu akışkan, düşük basınçlı bir gaz haline gelir ve bu sırada çevreden ısı alarak buharlaşır. Buharlaşma süreci, ısı alışverişini sağlar ve çevredeki havayı soğutur.
- **Kondansatör:** Kondansatör, yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıktaki soğutucu akışkanın dönüştürüldüğü bir bileşendir. Kondansatörde, soğutucu akışkan basınç altında sıvı hâle dönüşür ve bu sırada ısı salınır. Kondansatör, içerisindeki ısıнын atmosfere yayılmasını sağlar.
- **Fan:** Klima sistemindeki fan, havanın dolaşmasını sağlar ve soğutma işleminden sonra soğuk havayı araca yönlendirir. Fan, evaporatörden geçen hava akışını hızlandırır ve soğuk havanın yayılmasını sağlar.

- Soğutucu Akışkan: Elektrikli araçlardaki klima sistemi, genellikle R134a veya R1234yf gibi özel soğutucu akışkanlar kullanır. Bu akışkanlar, düşük sıcaklıkta buharlaşma ve yoğunlaşma özelliklerine sahip oldukları için klima sistemlerinde yaygın olarak tercih edilirler.

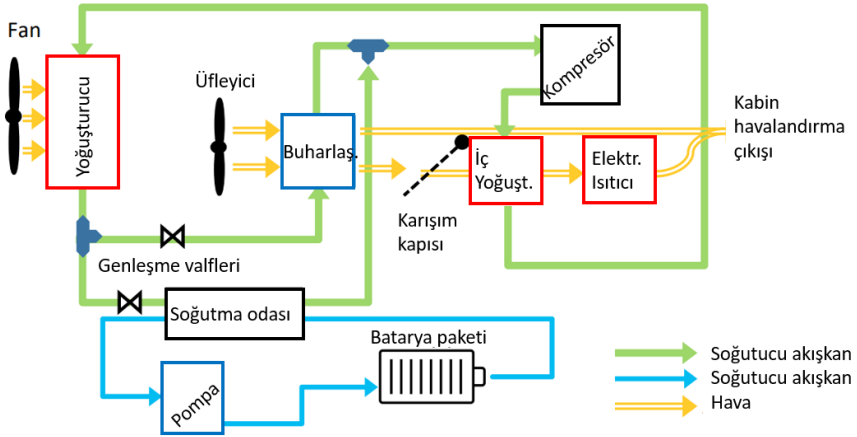
Elektrikli araçlardaki klima sistemi, bu bileşenlerin bir araya gelerek bir döngü oluşturduğu bir prensibe dayanır. Kompresör, soğutucu akışkanı sıkıştırır ve yüksek basınç ve sıcaklıkta bir gaz oluşturur. Bu gaz, kondansatörde soğutulur ve sıvı hâle dönüşürken ısı salınır. Daha sonra sıvı soğutucu akışkan, evaporatörde buharlaşırken çevreden ısı alır ve soğuk hava üretilir. Fan, bu soğuk havayı araç içine taşır ve konforlu bir iklimlendirme sağlar.

Otomobil üreticileri, sürüş güvenliği ve kabin konforunu sağlamak için tarih boyunca önemli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalardan biri de iklimlendirme sistemlerinin geliştirilmesidir, zira bu sistemler kabin konforunun ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Şekil 1’de verilen elektrikli araçların klima sistemleri, iç mekânı soğutmak veya ısıtmak için elektrik enerjisini kullanan sistemlerdir. Bu sistemler, geleneksel içten yanmalı motorlu araçlardaki klima sistemlerine benzer şekilde çalışır, ancak güç kaynağı elektrik motoru olduğu için farklı bir tasarıma sahiptir.



Şekil 1. Elektrikli araç klima sistemi (Umezu & Noyama, 2010)

Geleneksel fosil yakıtlı otomobillerde, iklimlendirme sistemi motor gücünü kullanarak kabini ısıtmakta ve soğutmaktadır. Ancak elektrikli otomobillerde durum farklıdır. Çünkü iklimlendirme sistemi gücünü bataryadan sağlamakta ve kabini ısıtmak için herhangi bir atık sıcaklık kaynağına ihtiyaç duymamaktadır. Bu durum, elektrikli otomobillerde sürüş menziline zaten kısıtlı olmasıyla birleşince, kabin konforu için ayrıca enerji harcanmasının önemi daha da artmıştır. Şekil 2’de elektrikli araçlardaki klima sistemi ile batarya soğutmanın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2. Elektrikli araçlarda klima sistemi şematik gösterimi (Chen et al., 2022)

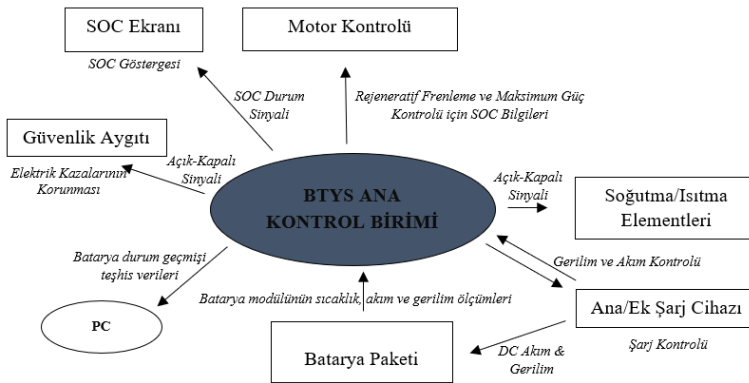
Elektrikli Araçlarda Batarya Soğutma İhtiyacı ve Kontrolü

Batarya paketindeki üretilen ısının düzgün bir şekilde dağıtılamadığı durumlarda batarya malzemelerinin kademeli olarak bozulması, kapasite kaybı ve termal kaçaklar ile patlamalar meydana gelebilecektir (Zhao et al., 2015). Ek olarak batarya paketindeki pil hücreleri arasındaki sıcaklık dağılımının olması gerekmektedir, aksi durumda pil hücrelerinin ömrünün azalması ve performans kayıpları kaçınılmaz olacaktır. 1 °C'lık sıcaklık artışı, 30 °C ile 40 °C arasındaki çalışma sıcaklıklarında batarya ömrünün yaklaşık 2 ay azalmasına yol açabilecektir (Jouhara et al., 2019).

Batarya paketindeki pil hücreleri arasındaki sıcaklık farkının en fazla 5 °C olması gerektiği bilinmektedir. Bu yüzden pil paketinin güvenli ve uzun ömürlü çalışmasını sağlamak için sıcaklıkların belirlenen aralıkta tutulması, sıcaklığın güvenli seviyelerde tutulması önemlidir. Batarya paketindeki üretilen ısıyı dağıtmak, sıcaklıkları uygun bir aralıkta tutmak ve sıcaklık farkını 5 °C’de korumak için bir ısıl yönetim sistemi kullanılır (Panahi et al., 2021).

Bataryalar, elektrikli araçların enerji depolama sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olduğuna ve optimal performans ve uzun ömürleri için uygun sıcaklık koşullarında çalışmaları gerektiğine önceki kısımlarda değinilmiştir. Elektrikli araçların kullanımı sırasında bataryalar ısınır ve bu ısı bataryaların performansını ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, bataryaların soğutma ihtiyacı, elektrikli araçların verimliliği, güvenliği ve dayanıklılığı açısından büyük öneme sahiptir.

Bataryaların soğutma ihtiyacı, yüksek şarj ve deşarj hızları, uzun süreli kullanım, hava sıcaklığındaki değişimler ve yüksek amper akımları gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Bu durumda, bataryaların sıcaklık seviyelerini kontrol etmek ve istenmeyen ısı birikimini önlemek için etkili bir soğutma sistemi gerekmektedir. Şekil 3’te batarya termal yönetim sisteminin araçtaki diğer sistemlerle ilişkisi verilmiştir.



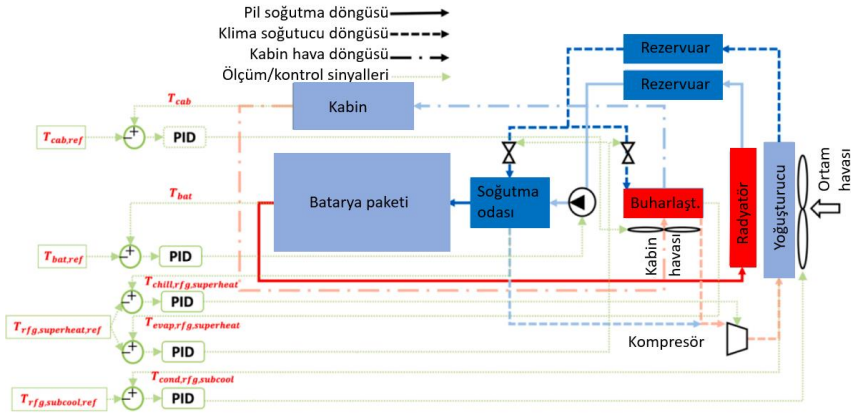
Şekil 3. BTMS şematik yapısı

Batarya paketlerinde kötü bir soğutma sonucu oluşan termal dengesizlikler veya termal kaçaklar ısının istenmeyen şekilde transfer edilmesi, enerji kaybına yol açar ve enerji verimliliğini düşürür. Dış ortam sıcaklarının yükselmesi ile (45 °C-50 °C aralığına çıkması ile) batarya sıcaklıkları, uygun çalışma sıcaklığının üstüne çıkarak 55 °C sıcaklıklara ulaştığında ve bu sıcaklığı geçtiğinde termal kaçaklara meydana gelebilir (Yenigün & Utlı, 2018). Bu durum, durum ısıtma soğutma sistemlerinde daha fazla enerji tüketimine neden olabilir. Bataryaların termal başarısızlığı, genellikle dâhili kısa devre, aşırı ısınma ve aşırı şarj veya deşarj gibi durumlarda farklı nedenlerle başlatılabilir. Bu nedenler hücre sıcaklığında başlangıçta bir artışa ve kimyasal reaksiyonların tetiklenmesine yol açar. Sonuç olarak, son derece ekzotermik reaksiyonlar hücrenin hızla kendini ısıtmasına, yani termal kaçaklara neden olur. BTYS'nin, batarya hücrelerinde üretilen ısıyı uzaklaştıramadığı durumlarda bataryanın hücre içindeki sıcaklığı daha da artar ve ardı ardına gerçekleşen ciddi bir ekzotermik reaksiyonla sonuçlanır. Bu durum batarya hasarı ve bataryanın yanmasıyla sonuçlanabilir (Ali & Abdeljawad, 2020).

Elektrikli araçlarda, batarya paketinin sıcak ve soğuk iklim şartlarında verimli olduğu çalışma sıcaklığında kalması için batarya termal yönetim sistemi (BTYS) bulunur. BTYS, bataryayı istenen sıcaklık aralığında tutmak ve aşırı ısınma veya soğuma durumlarında korumak için kullanılır. Elektrikli araçlarda kilometre artışını sağlamak için yüksek enerji yoğunluğuna sahip çok sayıda batarya hücresinin batarya paketine yerleştirilmesi ve şarj süresinin kısaltılması için yüksek bir akımla şarj edilmesi, batarya paketinde daha fazla ısının üretilmesine sebep olmuştur. Bu da günümüzde BTYS'nin rolünü daha önemli hale getirmiştir.

Batarya termal yönetim sistemi, elektrikli araçlarda önemli bir faktördür. Bu sistem, bataryanın güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını, performansını, dayanıklılığını ve ömrünü optimize etmek için kullanılır. Bataryayı güvende tutmak ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için sıcaklık kontrolünü sağlar ve böylece bataryanın uzun ömürlü olmasını da sağlar.

Elektrikli araçlarda klima çalışması için bataryadan enerji çekmektedir. Bataryaların araç menzilinden harcamadan araç içi klima konforuna da yeterli seviyede enerji vermesi gerekmektedir. Bataryaların yüksek sıcaklıklara ulaşmasından dolayı enerji verimlilikleri düşmektedir. Bataryadan çekilen enerji ile çalıştırılan klima sistemi, hem araç içi konforu sağlamalı hem de batarya ısıl yönetimine destek olmalıdır. Bu sebeple üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Klima sistemi ile dolaylı batarya soğutma döngüsünün ve kabin ile BTYS yapılandırılması hakkında örnek bir şematik gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.



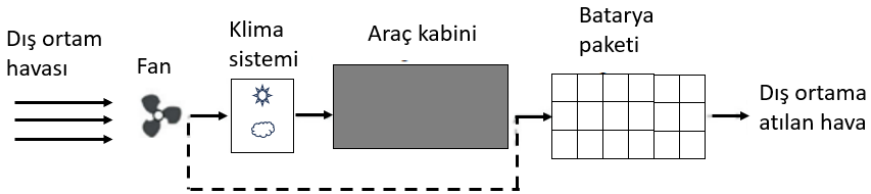
Şekil 4. Klima sistemi, dolaylı batarya soğutma döngüsü ve kabin dâhil BTYS yapılandırılması (Xu & Arjmandzadeh, 2023)

Batarya Isıl Yönetim Sistemleri

Elektrikli araç teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte, batarya termal yönetim sistemi ve klima çevrimi gibi konular, elektrikli araçların performansı, verimliliği ve kullanıcı deneyimi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Elektrikli araçlar için klima sistemiyle beraber çalışan ve yaygın olarak kullanılan hava soğutma, sıvı soğutma, doğrudan soğutma, termoelektrik soğutma ve faz değişim malzemesi (PCM) ile soğutma sistemleri, farklı avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Bu bölüm, elektrikli araçlar için en uygun soğutma sisteminin belirlenmesine yardımcı olacak ve batarya

termal yönetim sistemi ile klima çevrimi gibi kritik bileşenlerin verimli çalışması ve uzun ömürlü olmasını sağlamak için önemli bir rehber sunacaktır. Ayrıca, enerji verimliliği, maliyet faktörleri, uygulanabilirlik ve performans gibi faktörler de dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

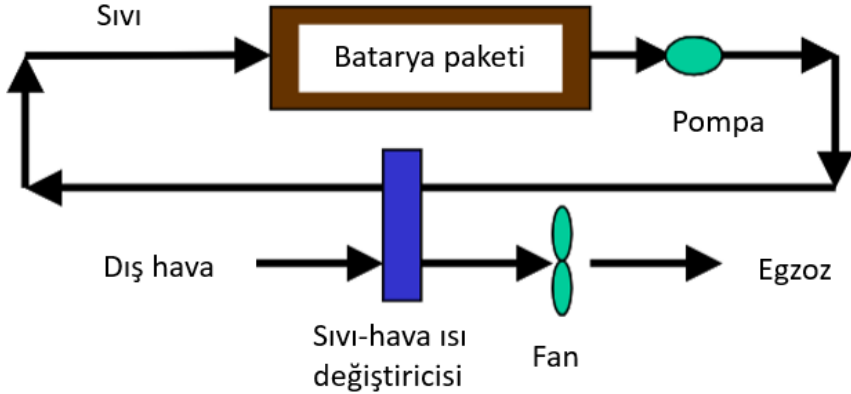
Her soğutma sistemi, belirli avantajlara ve dezavantajlara sahip olmasının yanı sıra, uygulama gereksinimlerine, performans hedeflerine ve maliyet faktörlerine bağlı olarak tercih edilir. Hava soğutma sistemi, basit bir yapıya ve düşük maliyetlere sahiptir. Araç içerisindeki hava kullanılarak soğutma sağlanır. Araçtaki yolcu klima sistemi aracılığıyla hava döngüsü sağlanabilmektedir. Bu sayede ek sistemlere gerek duyulmadan gerekli işlem adımları yapılabilmektedir. Bu yöntem, bakım gereksinimlerini azaltır ve doğal soğutma imkânı sunar. Ancak hava soğutma sistemi, düşük verimlilik sağlar ve sıcaklık kontrolü zorluklarına neden olabilir. Ayrıca, dış ortam şartlarına bağımlıdır ve yüksek enerji tüketimi gerektirebilir. Araç içi klima sistemi ile entegreli hava ısıl yönetim sistemi şematik gösterimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Araç içi klima sistemi ile entegre hava termal yönetimi (Özel, 2019)

Sıvı soğutma sistemi, batarya ve diğer bileşenlerin sıcaklığını kontrol etmek için sıvı bir soğutma akışkanı kullanır. Bu sistem yüksek soğutma verimliliği sağlar ve hassas sıcaklık kontrolü imkânı sunar. Uzun ömürlüdür ve enerji tüketimi düşüktür. Ancak sıvı soğutma sistemi, yüksek başlangıç maliyetine sahiptir ve daha fazla bakım gerektirebilir. Ayrıca, sistemin karmaşıklığı ve yer gereksinimi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Şekil 6'da pasif sıvı soğutmalı sisteme şematik bir örnek verilmiştir. Bu şemada dış hava

yerine araç içindeki klima havası kullanıldığında klima çalışma prensibi gereği aktif bir sistem olarak düşünülebilmektedir.



Şekil 6. Pasif sıvı soğutmalı sistem (Pesaran, 2001)

Doğrudan soğutma sistemi, batarya hücrelerine doğrudan soğutma sağlar ve yüksek verimlilik sunar. Bu yöntem, bataryaların düşük sıcaklıkta çalışmasını sağlayarak uzun ömür ve yüksek performans sağlar. Ancak doğrudan soğutma sistemi, yüksek maliyet ve bakım gereksinimiyle birlikte sistem karmaşıklığına ve yer gereksinimine sahiptir.

Termoelektrik soğutma sistemi, termoelektrik etkiyi kullanarak sıcaklık farkını elektrik enerjisine dönüştürerek soğutma sağlar. Bu sistem yüksek verimlilik sağlar ve doğru sıcaklık kontrolü imkânı sunar. Ayrıca, dayanıklıdır ve sessiz çalışır. Dezavantajları ise yüksek maliyet ve enerji tüketimi ile sınırlı soğutma kapasitesidir. Termoelektrik soğutma sistemine ait örnek bir şematik gösterim Şekil 7’de verilmiştir.

üretilmekte ve ortama ısı yayılmaktadır. Batarya sistemlerinin stabil çalışabilmesi için uygun çalışma şartları altında tutulmalıdır. Batarya veriminde sıcaklık şartı en önemli faktördür. Pillerin en uygun çalışma sıcaklık aralığı da literatürde 20-45 °C olarak belirlenmiştir. Batarya sistemlerinin istenilen uygun sıcaklık aralığının sağlanması için batarya ısıl yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Isıl yönetim sistemleri hava soğutma, sıvı soğutma, doğrudan soğutma, termoelektrik soğutma ve faz değişimi (PCM) ile soğutma gibi beş farklı yöntemi ele alınmıştır. Her yöntemin çalışma prensiplerini ve performansı incelenmiştir ve her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları olduğunu belirlenmiştir.

Hava soğutma yöntemi, düşük maliyeti ve basit tasarımıyla ön plana çıkmaktadır. Ancak, sıcaklık kontrolünde bazı sınırlamaları ve verimlilik sorunları bulunmaktadır. Sıvı soğutma yöntemi ise daha yüksek soğutma kapasitesi ve daha istikrarlı bir çalışma sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir. Ancak, sistemde karmaşıklık ve maliyet artmaktadır. Doğrudan soğutma yöntemi, yüksek soğutma verimliliği ve hızlı tepki süresi sunmasıyla önemli avantajlara sahiptir. Ancak, daha karmaşık bir yapıya ve maliyet artışına neden olabilir. Termoelektrik soğutma yöntemi, yüksek verimlilik, kompakt boyutlar ve titreşimsiz işlem gibi avantajlar sunar. Ancak, yüksek maliyeti ve sınırlı soğutma kapasitesi dezavantajlar arasında yer alır. PCM ile soğutma yöntemi ise, bataryaların sıcaklık değişimini düşük seviyede tutarak performansı iyileştirebilir. Ancak, PCM malzemelerinin düşük ısı transfer katsayısı ve hacim genişlemesi gibi bazı kısıtlamaları vardır.

Araç klima sisteminin kullanımı ile de batarya soğutma işlemi gerçekleştirebilmektedir. Isıl yönetim sistemlerinin araç içi klima sistemi ile entegreli çalışma durumları incelenmiştir. Özellikle akışkan olarak hava kullanıldığı ısıl termal yönetim sistemlerinde alınması gereken dış hava araç içi klima havası olabilmektedir. Ayrıca araç içi iskelet tasarımına göre klima havasının doğrudan batarya üzerine teması ile de sistem kurulabilmektedir. Batarya ısıl yönetim sistemleri her geçen gün gelişmektedir. Bataryaların sıcaklık kontrolü sağlanabilmesi için en uyumlu sistemler

aranmaktadır. Enerji verimliliği, sistem kurulum maliyeti, karmaşıklık ve ısı transferi konuları başta olmak üzere BTYS tercihi yapılmaktadır.

KAYNAKÇA

Ali, H. A., & Abdeljawad, Z. N. (2020). *Thermal Management Technologies of Lithium-ion Batteries Applied for Stationary Energy Storage Systems: Investigation on the thermal behavior of Lithium-ion batteries.*

Chen, Y., Kwak, K. H., Kim, J., Jung, D. D., & Kim, Y. (2022). Control-oriented Model of HVAC and Battery Cooling Systems in Electric Vehicles. *IFAC-PapersOnLine*, 55(37), 44–49. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2022.11.159>

Jouhara, H., Khordehgah, N., Serey, N., Almahmoud, S., Lester, S. P., Machen, D., & Wrobel, L. (2019). Applications and thermal management of rechargeable batteries for industrial applications. *Energy*, 170, 849–861. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.218>

Özel, M. A. (2019). *Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Paketinin Termal Modeli ve Analizi*. Bursa Uludağ Üniversitesi.

Panahi, M., Heydari, H. R., & Karimi, G. (2021). Effects of micro heat pipe arrays on thermal management performance enhancement of cylindrical lithium-ion battery cells. *International Journal of Energy Research*, 45(7), 11245–11257. <https://doi.org/10.1002/er.6604>

Pesaran, A. (2001). Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions. *Engineering, Environmental Science*, 43(5), 34–49.

Sirikasemsuk, S., Wiriyaart, S., Prurapark, R., Naphon, N., & Naphon, P. (2021). Water/nanofluid pulsating flow in thermoelectric module for cooling electric vehicle battery systems. *International Journal of Heat and Technology*, 39(5), 1618–1626. <https://doi.org/10.18280/IJHT.390525>

Umezu, K., & Noyama, H. (2010). Air-Conditioning system For Electric Vehicles i-MiEV. *SAE Automotive Refrigerant & System Efficiency Symposium 2010*, 1–20.

Xu, B., & Arjmandzadeh, Z. (2023). Parametric study on thermal management system for the range of full (Tesla Model S)/compact-size (Tesla Model 3) electric vehicles. *Energy Conversion and Management*, 278, 116753. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2023.116753>

Yenigün, M., & Utlu, Z. (2018). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Soğutma Sistemlerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(692), 35–47.

Zhao, R., Zhang, S., Liu, J., & Gu, J. (2015). A review of thermal performance improving methods of lithium ion battery: Electrode modification and thermal management system. In *Journal of Power Sources* (Vol. 299, pp. 557–577). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.09.001>

BÖLÜM III

Yenilikçi Buzlu Su Teknolojisi Kullanımıyla Beton Santrali Soğutma Sistemi

Ramazan Çağıl ÇİÇEKDİKEN¹

Aşkın ŞAHİN²

Özkan İNER³

Ali KİBAR⁴

Giriş

Büyük ölçekli inşaat projelerinde betonun hızlı ve etkili bir şekilde soğutulması, betonun dayanıklılığı ve kalitesi için önemli bir faktördür. Beton soğutma sistemleri, bu ihtiyacı karşılamak amacıyla geliştirilmiş özel iklimlendirme sistemleridir. Bu sistemler, betonun hızlı ve homojen bir şekilde soğutulmasını sağlayarak çatlaklar, bozulmalar ve dayanıklılık kaybı gibi sorunları önler. Beton soğutma sistemlerinin avantajları arasında hızlı soğutma,

¹ Mekatronik Müh., Aytek Soğutma, cagilcicekdiken@aytekchillers.com

² Makine Müh., Aytek Soğutma, askinsahin@aytekchillers.com

³ Makine Müh., Aytek Soğutma, ozkaniner@aytekchillers.com

⁴ Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, alikibar@kocaeli.edu.tr

homojen soğutma, sıcaklık kontrolü, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik sayılabilir. Ayrıca, buzlu su teknolojisi gibi yenilikçi yaklaşımlar, suyun daha düşük sıcaklıklara soğutulmasını sağlayarak betonun daha düşük sıcaklıklarda üretilmesine imkân sağlar. Buzlu su teknolojisi, düşük maliyeti, enerji verimliliği ve düşük ses seviyeleri gibi avantajlara sahiptir. Sonuç olarak, beton soğutma sistemleri, inşaat projelerinin kalitesini artırmak ve çevresel sürdürülebilirliği iyileştirmek için önemli çözümler sunar. Bu sistemler, büyük yapı projelerinde güvenilir ve etkili bir şekilde kullanılarak betonun uygun sıcaklıkta tutulmasını sağlar.

Beton Soğutma Sistemleri

İnşaat sektöründe, betonun hızlı ve etkili bir şekilde soğutulması önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle büyük yapı projelerinde, betonun ideal sıcaklıkta tutulması, dayanıklılığı ve kaliteyi artırıcı bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Zhao et al., 2022). Beton soğutma sistemleri, bu ihtiyacı karşılamak amacıyla geliştirilen özel iklimlendirme yöntemleridir. Özellikle büyük yapı projelerinde, betonun hızlı ve etkin bir şekilde soğutulması büyük bir öneme sahiptir. Beton içerisinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu ısınan bir malzemedir. Bu reaksiyonlar neticesinde beton sıcaklığı yükselir ve istenmeyen çatlaklar, bozulmalar ve dayanıklılık kaybı gibi sorunlar meydana gelebilir (Zhao et al., 2022). Bu yüzden, betonun belli bir sıcaklık aralığında tutulması gerekmektedir.

Beton soğutma sistemleri, betonun hızlı bir şekilde soğumasını sağlayarak etkili bir çözüm sunar. Soğutma işlemi, betonun iç yapısının istenilen özelliklere sahip olmasını ve dayanıklılığının artmasını sağlar (Juenger et al., 2004). Beton soğutma sistemleri genellikle büyük yapı projelerinde kullanılır. Örneğin, yüksek binalar, köprüler, barajlar ve havalimanları gibi projelerde beton soğutma sistemleri sıklıkla uygulanmaktadır. Bu tür projelerde büyük miktarlarda beton kullanıldığı için, betonun homojen bir şekilde soğutulması büyük bir önem arz etmektedir.

Beton soğutma sistemleri, farklı bileşenlerden oluşur. Bunlar arasında soğutucu gazı sıkıştıran ve döngüyü sağlayan bir kompresör, gazın sıvı hale dönüştüğü ve çevreye ısı verdiği kondenser, betonun üzerine yerleştirilen soğutucu paneller, suyu panellere eşit bir şekilde dağıtan dağıtıcı boru, su dolaşımını sağlayan su pompası ve sistemi kontrol eden bir kontrol paneli bulunmaktadır.

Shen et al., (2022), derin yüksek sıcaklıklı madenlerde kullanılabilecek yeni bir soğutma yöntemi olan buzlu beton teknolojisini incelemişlerdir. Yaptıkları araştırmada, farklı buz içeriklerinin (0% ile 60% arasında değişen) betonun ısı transferi ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Yüksek buz içeriğinin, betonun daha hızlı soğumasına ve daha yüksek mukavemet özelliklerine sahip olmasında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, çalışmalarında buz içeriği arttıkça betonun soğutma verimliliğinin arttığı tespit edilmiştir.

Shen, Lv, Yang, Ma, Zhang, & Wei, (2022), yüksek jeotermal sıcaklıkların derin madenlerdeki mineral kaynaklarının çıkarılmasını zorlaştırdığını belirtip soğutma yöntemi olarak buzlu beton teknolojisini öneren bir çalışma yapmışlardır. Farklı başlangıç buz içeriklerinin (%0-60) betonun ısı transferi ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak başlangıç buz içeriği arttıkça mekanik dayanımın arttığını, buz parçacıklarının betonun iç yapısını iyileştirdiğini ve buzlu betonun soğutma verimliliğini yükselttiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca derin madenlerde çevre dostu ve verimli bir soğutma yöntemi olarak buzlu betonun potansiyelini vurgulanmıştır.

Yüksek beton sıcaklıkları inşaat yapılarında bir takım önemli sorunlar ve olası problemleri beraberinde getirmektedir. Özellikle büyük hacimli yapılar ve mukavemetin önemli olduğu durumlarda yüksek sıcaklık kontrolü zorunluluk arz etmektedir. Sıcaklık kontrolü uygun olarak yapılmadığı takdirde beton yapının uzun vadeli performansı ve bütünlüğü olumsuz olarak etkilenmektedir.

Yüksek beton sıcaklıklarının beraberinde getirdiği başlıca sorunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Barragán et al., 2001):

1. Çekme mukavemetinin azalması: Yüksek beton sıcaklıkları, çekme mukavemetinin azalmasına yol açar. Çekme mukavemeti, betonun gerilmeye veya uzamaya çalışan kuvvetlere karşı koymada büyük bir öneme sahiptir. Mukavemetteki bu azalma yapısal bütünlüğü tehlikeye atmaktadır.

2. Düzensizlik: Yüksek beton sıcaklıkları, beton karışımı içinde düzensizliklere neden olabilmektedir. Betonun içerisinde meydana gelen sıcaklık farklılıkları, sertleşme sürecinde tutarsızlıklara yol açarak beton yapısında zayıflıklar ve düzensizlikler oluşturur. Düzensiz betonun, tasarım özelliklerini karşılama kabiliyetini azaltarak çatlaklar ve hataların daha fazla görünmesine neden olur.

3. Çatlama Eğiliminin Artması: Yüksek beton sıcaklıklarıyla ilişkilendirilen en önemli sorunlardan biri çatlama eğiliminin artmasıdır. Çatlaklar, hızlı kuruma, termal gerilmeler ve azalan işlenebilirlik gibi bir dizi nedenle oluşabilir ve yüksek sıcaklıklar bu tür çatlakların oluşma riskini artırmaktadır. Bu çatlaklar, betonun yapısal bütünlüğü ve dayanıklılığını tehlikeye atan unsurlardan birisidir.

4. Azalan Dayanıklılık: Beton yapıların, uzun bir ömre sahip olması ve çeşitli çevresel etkilere dayanabilmesi beklenir. Yüksek beton sıcaklıkları, betonun uzun süreli dayanıklılığını etkilemektedir. Artan su ihtiyacı ve değişen bakım süreci, betonun donma-çözülme döngülerine ve kimyasal etkilere karşı direncini bozmaktadır.

5. Büyük Hacimli Projelerdeki Zorluklar: Büyük hacimli projeler büyük miktarda beton içerir ve genellikle taşınması gereken yapısal yükler nedeniyle daha fazla dayanıklılık ve mukavemet gerektiren yapılardır. Bu projelerde beton sıcaklıkları uygun şekilde kontrol edilmediği takdirde, olası sorunlar daha kritik hale gelir ve çözümülemesi daha zor olabilmektedir.

Bu sorunları ele almak için, yüksek beton sıcaklıklarının etkilerini kontrol etmek ve azaltmak için stratejiler uygulamak gerekmektedir. Bu kontrol süreci, beton içeriklerini soğutmak, soğuk su kullanmak ve dökme ve bakım süreçleri sırasında gölgeleme veya soğutma tekniklerinin kullanılması yöntemlerini içermektedir. Uygun karışım tasarımı ve çevresel koşulların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi, büyük hacimli projelerde, mukavemet ve dayanıklılığın önemli olduğu yerlerde istenen beton kalitesini elde etmek için büyük bir öneme sahiptir.

Beton soğutma yöntemleri

Betonun sıcak hava koşullarında sıcaklığını kontrol etmek, nihai ürünün kalitesini ve performansını sağlamak için önemlidir. Beton karışımının sıcaklığı, karışım yapılma anındaki karışım bileşenlerinin sıcaklığından etkilenir. Karışımın önemli bir kısmını oluşturan agregalar, karışım sıcaklığı üzerinde büyük etkiye sahip elemanlardan birisidir. Sıcak hava koşullarında agregalar yüksek sıcaklıklara ulaşır, bu da karışım sıcaklığının artmasına sebep olur. Beton sıcaklığını sıcak hava koşullarında kontrol etme konusundaki önem arz eden noktalar şunlardır (Azenha et al., 2019):

1. Malzeme sıcaklıkları: Beton karışımındaki her bir malzemenin sıcaklığı önemlidir. Özellikle çimento, agrega ve su sıcaklıklarını düzenli olarak kontrol etmek, betonun genel sıcaklığını belirlemek açısından kritiktir. Malzeme sıcaklıklarının ölçülmesi, karışımın homojenliği ve betonun dayanıklılığı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Sıcak malzemelerin kullanılması, betonun karışım sürecini hızlandırır ve bu durum betonun özelliklerini olumsuz yönde etkiler.
2. Agregaları soğutma: Agregalar, betonun içerisindeki katı malzemelerdir. Agregaların sıcaklığını düşürmek için stok yığınlarını gölgelendirme, kaba agregaları su ile serpmek ve kullanımdan hemen önce suyla püskürtme gibi birçok yöntem kullanılabilir. Agregaların sıcaklığını düşürmek, genel karışım sıcaklığını azaltmaya yardımcı olur.

3. Karışım suyunu soğutma: Karışım suyunun sıcaklığını düşürmek, suyun sahip olduğu yüksek özgül ısıdan dolayı karışım sıcaklığını azaltmanın en etkili yollarından biridir. Soğuk su, mümkün olan en soğuk kaynaktan kullanılmalıdır ve su depolama tankları güneşten korunmalı veya mümkün değilse beyaz renge boyanmalıdır. Bazı beton tesisleri, su depolama tankında buz eritmek için kullanılabilen soğutma bobinleri ile donatılmıştır.

4. Buz kullanma: Agregaları soğutmak mümkün değilse veya istenilen sıcaklık elde edilemiyorsa, karışım suyunun bir kısmı kırık veya rendelenmiş buz ile değiştirilebilir. Buz, betonun karışım suyu olarak kullanıldığında hidrasyon reaksiyonunu başlatırken aynı zamanda sıcaklığın düşmesine yardımcı olur. Buz, yüksek ısı iletim kapasitesi nedeniyle beton sıcaklığını düşürmek için son derece etkilidir. Karışımın boşaltılması, bütün buzun eritilene kadar izin verilmemelidir.

5. Çimento soğutma: Çimentoyu soğutmak genellikle mümkün değildir, çünkü çimentonun özgül ısı kapasitesi düşüktür ve karışımında kullanılan miktarı düşük orandadır.

6. Sıvı azot kullanımı: Aşırı koşullar altında, agregaları soğutmak için sıvı azot kullanımı geçerli bir yöntem olabilir. Diğer yöntemler yetersiz olduğunda özel durumlar için düşünülebilir bir yöntemdir.

Genel olarak, sıcak hava koşullarında beton sıcaklığını kontrol etmek, beton yapısının kalitesini korumak ve inşaat projelerinde yüksek sıcaklıkların beton üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için gereklidir. Özellikle büyük projelerde, içeriklerin soğutulması ve buz veya soğuk su kullanımı gibi yöntemlerin kombinasyonu, istenen karışım sıcaklığının elde edilmesini sağlamaktadır.

Buzlu Su Teknolojisi ile Beton Soğutma

Buzlu su teknolojisi, beton soğutma işleminde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu teknoloji, suyun donma noktasına soğutularak oluşturulan buzlu suyun, betonun karışım suyu olarak kullanılması anlamına gelir (Rosen, 2023). Buzlu su, betonun

soğutulmasına ve sıcaklığının kontrol altında tutulmasına yardımcı olur. Buzlu su teknolojisinde ilk adım, buzun üretimidir. Buzlu su teknolojisi için genellikle özel cihazlar kullanılır. Bu cihazlar aracılığıyla suyun düşük sıcaklıklarda dondurulmasıyla buz üretilir. Üretilen buz, özel bir ekipmanla beton için kullanılacak olan suyla karıştırılarak buzlu su elde edilir. Buzlu suyun sıcaklığı, betonun istenilen soğutma seviyesini karşılayacak şekilde ayarlanır. Elde edilen buzlu su, beton karışımına eklenir. Buzlu suyun kullanımı, betonun sıcaklığını düşürerek hidrasyon (taşlaşma) sürecini yavaşlatır. Böylece, betonun daha kontrollü bir şekilde sertleşmesi sağlanmış olur. Betonun sıcaklığı düzenli olarak izlenir ve gerektiğinde daha fazla buzlu su eklenerek beton istenen sıcaklık aralığında tutulur. Şekil 1’de mobil bir beton soğutma ünitesi gösterilmektedir. Bu sistemde, üç aşamalı su soğutma sistemi ile ısı değişim metodu ile beton karıştırma proses tanklarında kullanılmak üzere 0,5 ° C'ye kadar buzlu su üretebilmektedir.



Şekil 1. Beton soğutma ünitesi.

Buzlu su teknolojisi, standart chiller sistemleri ve yaprak buz sistemleri arasında bir orta noktada konumlanır. Hem düşük su sıcaklıklarına ulaşabilme yeteneğiyle hem de daha ekonomik ve kullanımı kolay olmasıyla dikkat çeker. Bu teknoloji, su sıcaklığını 0,5°C'ye kadar düşürebilme kabiliyetiyle betonun daha düşük sıcaklıklarda üretilmesini sağlar (Rosen, 2023).

Beton soğutma, inşaat sektöründe önemli bir yer tutar. Betonun sıcaklık kontrolünün sağlanması, yapıların dayanıklılığı ve kalitesi için kritik bir rol oynar. Bu nedenle, çeşitli soğutma yöntemleri kullanılarak betonun istenen sıcaklık aralığında üretilmesi sağlanır. Geleneksel yöntemlerin sınırlı sıcaklık aralığına sahip olduğu durumlarda ise buzlu su teknolojisi devreye girer. Buzlu su teknolojisi, büyük tonajlı su kapasitelerini 0,5°C'ye kadar soğutabilen kapalı devre bir sistemdir. Bu teknoloji, suyun daha düşük sıcaklıklara indirilmesini sağlayarak betonun düşük sıcaklıklarda üretilmesine olanak tanır. Bu da yapıların daha dayanıklı, sağlam ve kaliteli olmasını sağlar (Ishee & Surana, 2019).

Geleneksel yöntemlerin sınırlı kaldığı durumlarda buzlu su teknolojisi, daha düşük su sıcaklıklarına ulaşabilme yeteneğiyle öne çıkar. Bu teknoloji, daha kaliteli yapıların inşa edilmesine olanak tanırken aynı zamanda enerji verimliliğinin de artmasını sağlar. Bu nedenle, beton üretiminde buzlu su teknolojisinin kullanımı, inşaat sektöründe yenilikçi ve etkili bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

Buzlu su teknolojisi, beton üretimi için önemli bir sıcaklık kontrol yöntemidir ve birçok avantajı bulunmaktadır:

Düşük maliyet: Buzlu su teknolojisi, diğer soğutma yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetli bir seçenektir. Bu durum, beton santralleri gibi uygulamalarda maliyet tasarrufu sağlar ve projelerin daha ekonomik bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunur. Aynı zamanda enerji verimliliği daha yüksek olduğundan, uzun vadeli işletme maliyetlerinde tasarruf sağlar.

Kullanım kolaylığı: Buzlu su teknolojisi, karmaşık teknolojilere ihtiyaç duymadan kullanıcı dostu bir yapıya sahiptir. Bu sayede işletme süreçleri basitleştirilir, operatörler kolaylıkla sistemleri yönetebilir.

Kompakt tasarım: Buzlu su teknolojisi, daha küçük ve kompakt ünite tasarımları sunar. Böylece alan tasarrufu, taşınabilirlik avantajı ve daha esnek kurulum seçenekleri elde edilir.

Düşük sıcaklıklara ulaşma Yeteneği: Buzlu su teknolojisi, suyun sıcaklığını 0,5°C'ye kadar düşürebilme kabiliyetine sahiptir. Bu durum, betonun düşük sıcaklıklarda üretilmesini mümkün kılar, böylece daha yüksek kaliteli ve dayanıklı yapıların oluşturulmasına imkân tanır. Daha düşük sıcaklıklar, hidrasyon sürecini yavaşlatarak betonun istenilen mukavemet ve dayanıklılık özelliklerine sahip olmasını sağlar.

Yüksek performans: Buzlu su teknolojisi, diğer soğutma sistemlerine kıyasla daha düşük su sıcaklıklarına ulaşabilme yeteneğine sahiptir. Bu özellik, betonun daha iyi kalite ve dayanıklılıkla üretilmesini sağlar. Özellikle özel beton uygulamalarında ve yüksek performans gerektiren projelerde büyük bir avantaj sağlar.

Uygulama alanları: Buzlu su teknolojisi, beton santralleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yüksek kaliteli beton üretimi, sıcaklık duyarlı beton karışımları, hızlı beton sertleşmesi gereken durumlar, çevresel faktörlerin etkisi altında beton üretimi gibi durumlarda çoklukla tercih edilir.

Buzlu su teknolojisi, betonun sıcaklık kontrolünü daha hassas bir şekilde sağlamayı amaçlayan etkili bir yöntemdir. Düşük maliyeti, kullanım kolaylığı, kompakt tasarımı ve düşük su sıcaklıklarına ulaşma yeteneği sayesinde beton üretim sürecini optimize eder ve daha kaliteli yapıların inşa edilmesine imkân tanır.

Sıcaklık etkisi ve beton kalitesi arasındaki ilişki, betonun üretim aşamasında önemli bir faktördür (Azenha et al., 2019). Betonun hidrasyon süreci, suyun beton karışımına katılmasıyla başlar ve bu süreçte su kimyasal reaksiyonlarla bağlar oluşturarak betonun sertleşmesini sağlar. Bu süreç sıcaklığa bağlı olarak hızlanır veya yavaşlar. Yüksek sıcaklıklar hidrasyon hızını artırırken, düşük sıcaklıklar hidrasyon hızını yavaşlatabilir. Bu durum betonun mukavemet özelliklerini ve son kalitesini etkileyebilir.

Buzlu su teknolojisi, özellikle büyük beton dökme projelerinde kullanışlıdır. Bu yöntem, betonun yüksek sıcaklıklarda sertleşmesini

önler. Böylece daha dayanıklı ve homojen bir beton elde edilmesi sağlanır. Ayrıca, çatlamların ve gerilmelerin önlenmesine katkıda bulunulur. Bu nedenle, özellikle sıcak hava koşullarında ve büyük inşaat projelerinde beton soğutma işlemi için tercih edilen bir yöntemdir.

Betonda sıcaklık kontrolü, özellikle sıcak hava koşullarında, inşaat projeleri için hayati öneme sahiptir. Betonun sıcaklığını düşürmek, betonun dayanıklılığını artırarak yapısal bütünlüğünü korur. Bu amaçla farklı düzeylerde soğutma ekipmanları kullanılabilir (Rosen, 2023).

Chiller Su Soğutucular

Beton sıcaklığını yaklaşık olarak 4-6°C azaltabilen chiller su soğutucular, dünya genelinde en yaygın ve tercih edilen beton soğutma sistemlerinden biridir. Bu sistem, maliyet açısından oldukça verimli bir seçenek sunmaktadır. Beton soğutmanın ilk aşamasını gerçekleştiren Chiller ünitesi, etkili ve başlangıç düzeyinde bir çözümdür.

Buzlu Su Soğutucular

Betonun sıcaklığını ortalama 6-8°C azaltabilen buzlu su soğutucular, ROSEN tarafından geliştirilen son teknoloji su soğutma sistemlerinden biridir [xx patenti]. Buzlu suyun, 1°C soğuk su ile karıştırılması önerilerek betonun 6-8°C kadar soğutulması sağlanabilir. Chiller ünitelerine benzer bir çalışma prensibine sahip olan bu sistem, orta düzeyde beton soğutma ihtiyaçları için idealdir.

Buz Tesisi

Betonun sıcaklığını en az 8-12°C kadar düşürebilen buz tesisi, özellikle hazır beton üretimi için son derece etkili bir çözümdür. Bu sistem, bir beton santraline entegre edilmiş bir buz makinesi kullanır ve buz depolama ile transfer sistemlerini içerir. Yüksek düzeyde soğutma ihtiyacı olan durumlarda optimal bir çözüm sunar.

Bu sistemler, inşaat projelerinde betonun istenilen sıcaklık aralığında tutulmasını sağlamaktadır. Betonun belirli bir sıcaklıkta kalması, dayanıklılığı artırarak çatlamları önler. Hangi seviyede soğutma ekipmanının kullanılacağı, projenin ihtiyaçlarına ve bütçesine bağlı olarak seçilir. Bu farklı seçenekler, betonun güvenli ve kaliteli bir şekilde kullanılmasını sağlar.

Beton soğutma sistemlerinin birçok avantajı bulunmaktadır. İlk olarak, betonun hızlı bir şekilde soğutulması, inşaat projelerinin süresini kısaltır ve zaman tasarrufu sağlar. İkinci olarak, betonun homojen bir şekilde soğutulması, iç yapısının daha sağlam ve dayanıklı olmasını sağlar. Ayrıca, bu sistemler enerji verimliliği sağlar ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir inşaat süreci sunar.

Çalışma Prensibi

Beton soğutma sistemi, bir kompresör ve kondenser içeren bir döngü sistemini kullanır. Sistemdeki soğutucu gaz, soğutucu panellerde dolaşır. Soğutucu gaz, yüksek basınçla soğutucu panellere dağıtılır. Burada, tekli su püskürtücüleri aracılığıyla akışkanın panellerin üst kısmına eşit bir şekilde dağıtılması sağlanır. Bu durum, betonun homojen bir şekilde soğumasını sağlar. Beton soğutma sistemi, etkili bir şekilde betonun sıcaklığını düşürmek için kullanılan özel bir döngü sistemine sahiptir. Bu sistem, kompresör ve kondenser gibi ana bileşenleri içerir. Soğutucu gaz, bu döngü sistemi içinde dolaşarak betonun soğutulmasını sağlar.

İlk aşamada, kompresör, soğutucu gazı yüksek basınçla sıkıştırır. Bu süreç sonucunda gazın sıcaklığı artar. Daha sonra, gaz, kondensere girer. Kondenser, gazın sıvı hale dönüşmesini sağlar ve bu sırada gaz, çevre ortama ısı verir. Sıvı hale dönüşen soğutucu gaz, soğutucu panellerdeki ince kanallardan geçer. Bu paneller genellikle alüminyum veya başka bir metal malzemeden yapılmış plakalardır. Panellerin içindeki kanallar, soğutucu gazın betonun üzerinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlar. Böylece, betonun her noktası eşit şekilde soğutulur. Panellerin üst kısmına, tekli su püskürtücüleri olarak adlandırılan özel düzenekler yerleştirilir. Bu püskürtücüler,

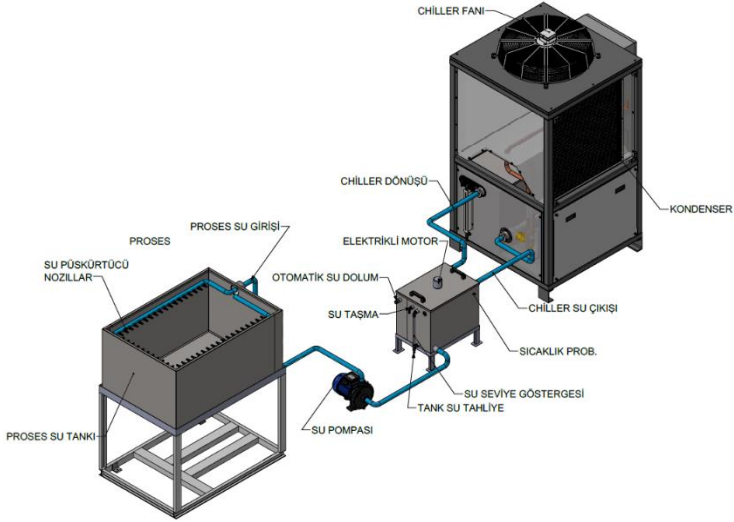
suyun panellerin üst kısmına eşit bir şekilde dağılmasını sağlar. Su, panellerin yüzeyine ince bir su perdesi şeklinde püskürtülür. Bu su perdesi, soğutucu gazın transferini kolaylaştırır ve betonun daha hızlı bir şekilde soğumasını sağlar.

Bu sistemde Şekil 2’de gösterildiği gibi iki aşamalı soğutma uygulanmaktadır. Birinci aşama soğutma ünitesi içerisinde gerçekleştirilir. İkinci aşama ise özel olarak oluşturulmuş olan serpantinli buzlu su elde etme ünitesinde gerileştirilir (Şekil 3). Birince aşamada soğutucu akışkan alçak basınçta bulunur. Akışkanın basıncı kompresör tarafından yükseltilerek kondensere gönderilir. Kondenserde, fanlar yardımıyla hava soğutmalı bir ortamda yoğunlaşma oluşturulur. Akışkan, düşük basınca sahip sıvı hale genleşme valfinden geçirilerek dönüştürülür. Daha sonra soğutma ünitesinin içinde bulunan evaporatör aracılığıyla ilk soğutma gerçekleştirilir.

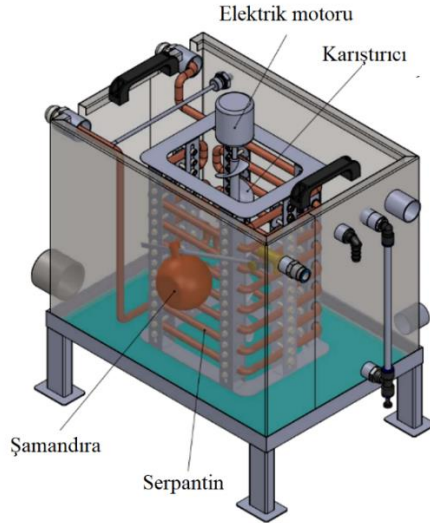
İkinci aşamada, buzlu su sisteminde serpantinli tank ünitesi bulunmaktadır. Bu tank içerisinde kapalı çevrim olarak ısı transfer yapılması için, bir serpantin bulunmaktadır. Serpantin içerisinde dolaşan sıvı glikollü suyun, birinci soğutma ünitesinde bulunan evaporatör tarafından $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ila $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında soğutulması sağlanmaktadır. Glikollü su buzlu su ünitesinde bulunan serpantin içerisinde kapalı çevrim olarak dolaştırılmakta ve beton için kullanılacak olan suya karışmamaktadır. Bu şekilde betona karışacak su, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındaki serpantin ile ısı transferi sayesinde $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar sıcaklığı düşmektedir. Burada kısmen serpantin etrafında buzlar oluşmaktadır. Isı transferini artırmak ve buzun eriyerek suya karışmasını hızlandırmak için bir karıştırıcı motor kullanılmıştır. Ünite içerisinde bir şamandıra kullanılarak suyun otomatik dolumu, yüksekliği ve taşması bu şamandıra sayesinde kontrol edilmektedir.

Şebeke veya kuyu suyu gibi harici bir kaynaktan su beslemesi yapılmaktadır. Bu suyun serpantinli ikinci soğutma ünitesine otomatik olarak dolumu sağlanmaktadır. Üniteye yaklaşık $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

sıcaklıktaki su bir pompa vasıtasıyla beton karışımına nozullara püskürtülmektedir.



Şekil. 2. Buzlu su ünitesi.



Şekil. 3. Serpantinli buzlu su ünitesi.

Beton soğutma sistemi, bu döngü ve dağıtım mekanizmaları sayesinde betonun sıcaklığını etkili bir şekilde düşürür. Böylece, betonun istenen sıcaklık aralığında kalması ve homojen bir şekilde soğuması sağlanır, betonun dayanıklılığı artar, çatlak oluşumu engellenir ve kalite yükselir. Beton soğutma sistemlerinin kullanımı, büyük yapı projelerinde ve özellikle sıcak iklimlerde daha yaygındır. Bu sistemler, betonun hızlı ve etkili bir şekilde soğutulmasını sağlayarak inşaat sürecinin hızlanmasına katkıda bulunur. Ayrıca, betonun homojen bir şekilde soğutulması, yapıların daha dayanıklı olmasını ve uzun ömürlü olmasını sağlar.

Beton soğutma sistemlerinin avantajları aşağıda sıralanmıştır (Alperen, 2023):

Hızlı hoğutma: Beton soğutma sistemleri, betonun hızlı bir şekilde soğutulmasını sağlar. Betonun belirli bir sıcaklık aralığında kalması önemlidir, çünkü aşırı ısınması betonun dayanıklılığını ve kalitesini olumsuz etkileyebilir. Soğutma sistemi, betonun istenen sıcaklık aralığında tutulmasını sağlayarak, inşaat projelerinin süresini kısaltır ve zaman tasarrufu sağlar.

Homojen soğutma: Beton soğutma sistemleri, betonun homojen bir şekilde soğutulmasını sağlar. Soğutucu gaz, soğutucu paneller aracılığıyla beton yüzeyine eşit bir şekilde dağıtılır. Bu sayede, betonun her noktası aynı hızda ve aynı sıcaklıkta soğur. Homojen soğutma, iç yapının daha sağlam ve dayanıklı olmasını sağlar, çatlak oluşumunu engeller ve betonun kalitesini artırır.

Kontrol altında tutulan sıcaklık: Beton soğutma sistemleri, betonun sıcaklığını kontrol altında tutar. Yüksek sıcaklıklar, betonun hızlı prizlenmesine ve çatlaklara neden olabilirken, düşük sıcaklıklar ise betonun olması gereken dayanıklılığına ulaşmasını engelleyebilir. Soğutma sistemi, betonun istenen sıcaklık aralığında kalmasını sağlayarak bu riskleri önler. Sıcaklık kontrolü, betonun daha homojen bir şekilde soğumasını sağlayarak istenmeyen sonuçların önüne geçer.

Enerji verimliliği: Beton soğutma sistemleri, enerji verimliliği sağlar. Soğutucu gazın dolaşımı ve su pompası gibi işlemler, enerji tüketimini optimize eder. Ayrıca, kontrol paneli aracılığıyla sıcaklık ayarlamaları yapılır ve enerji israfı önlenir. Bu da enerji maliyetlerini düşürür ve daha sürdürülebilir bir inşaat süreci sunar.

Çevresel sürdürülebilirlik: Beton soğutma sistemleri, çevresel açıdan daha verimli bir süreç sağlar. Daha hızlı tamamlanan projeler, enerji tasarrufu ve atık azaltımı gibi faktörler çevresel etkileri azaltır. Ayrıca, betonun daha kaliteli ve dayanıklı olması, yapıların ömrünü uzatır ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar.

Sonuç olarak, beton soğutma sistemleri, inşaat sektöründe önemli bir iklimlendirme teknolojisi olarak kabul edilir. Bu sistemler, betonun ideal sıcaklıkta kalmasını sağlar, dayanıklılığını artırır ve kaliteyi sağlar. Ayrıca, iş süresini kısaltır, enerji verimliliği sağlar ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir inşaat süreci sunar. Beton soğutma sistemlerinin kullanımı, büyük inşaat projelerinde yaygınlaşmaktadır ve inşaat sektörünün geleceğinde önemli bir rol oynamaktadır. Beton, inşaat sektöründe en yaygın kullanılan malzemelerden biridir ve kaliteli beton üretimi, dayanıklı yapıların temelini oluşturur. Ancak, betonun sıcaklığı, kalite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek sıcaklıklar, betonun hızlı prizlenmesine ve çatlaklara neden olabilirken, düşük sıcaklıklar ise betonun olması gereken dayanıklılığına ulaşmasını engelleyebilir. Beton santrallerinde kullanılan soğutma sistemleri, bu sıcaklık kontrolünü sağlamada kritik bir rol oynar.

Sonuçlar

Beton soğutma sistemleri, inşaat sektöründe temel bir öneme sahip olan betonun kalitesi, dayanıklılığı ve projelerin uzun ömürlülüğü açısından kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle büyük ölçekli projelerde, betonun sıcaklık kontrolünün sağlanması, istenmeyen sorunların ve maliyet artışlarının önlenmesini sağlar.

Geleneksel beton soğutma sistemlerinin yanı sıra, buzlu su teknolojisi gibi yenilikçi yaklaşımlar da bu alanda önemli avantajlar

sunmaktadır. Düşük sıcaklıklara sahip suyun kullanılması, betonun daha düşük sıcaklıklarda üretilmesine ve böylece daha dayanıklı ve kaliteli yapıların inşa edilmesine olanak tanır. Ayrıca, buzlu su teknolojisi, enerji verimliliği, düşük işletme maliyetleri ve çevresel sürdürülebilirlik gibi faktörlerle de projelere katkı sağlar.

İnşaat sektörü, beton soğutma sistemlerinin ve yenilikçi teknolojilerin kullanımıyla daha sürdürülebilir ve verimli bir geleceğe doğru ilerlemeye devam etmelidir. Bu teknolojiler, projelerin süresini kısaltarak zaman ve kaynak tasarrufu sağlar, aynı zamanda daha dayanıklı ve çevre dostu yapıların inşa edilmesine imkân tanır. Bu nedenle, beton soğutma sistemlerinin ve buzlu su teknolojisinin benimsenmesi, inşaat sektörünün geleceğini daha parlak ve başarılı kılacaktır.

KAYNAKÇA

Alperen. (2023). *Beton Soğutma Sistemleri*. (16/12/2023 tarihinde [https://alperen.com.tr/beton-sogutma-sistemleri/adresinden ulaşılmıştır](https://alperen.com.tr/beton-sogutma-sistemleri/adresinden-ulaşılmıştır)).

Azenha, M., Sfikas, I. P., Wyrzykowski, M., Kuperman, S., & Knoppik, A. (2019). Temperature control. *RILEM State-of-the-Art Reports*, 27, 153–179. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76617-1_6/FIGURES/10

Barragán, B. E., Giaccio, G. M., & Zerbino, R. L. (2001). Fracture and failure of thermally damaged concrete under tensile loading. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 34(5), 312–319. <https://doi.org/10.1007/BF02482211/METRICS>

Ishee, C., & Surana, S. (2019). Hot weather concreting. *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*, 131–150. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00006-X>

Juenger, M. C., Hema, J., & Solt, S. (2004). *The Effects of Liquid Nitrogen on Concrete Properties (FHWA/TX-08/0-5111-1)*. 7.

Rosen. (2023). *Beton Soğutma*. (16/12/2023 tarihinde <https://tr.tamutom.com/concrete-cooling> adresinden ulaşılmıştır).

Shen, Y., Lv, Y., Yang, H., Ma, W., Zhang, L., & Pan, J. (2022). Effect of different ice contents on heat transfer and mechanical properties of concrete. *Cold Regions Science and Technology*, 199, 103570. <https://doi.org/10.1016/J.COLDREGIONS.2022.103570>

Shen, Y., Lv, Y., Yang, H., Ma, W., Zhang, L., & Wei, X. (2022). Pore development and mechanical properties of iced concrete during hydration. *Construction and Building Materials*, 353, 129077. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.129077>

Zhao, H., Hu, Y., Tang, Z., Wang, K., Li, Y., & Li, W. (2022). Deterioration of concrete under coupled aggressive actions associated with load, temperature and chemical attacks: A comprehensive review. *Construction and Building Materials*, 322, 126466. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.126466>

CHAPTER IV

Bibliyometrik Analiz: Rüzgâr Enerjisi Hasadı

Yakup KILIÇARSLAN¹
Cemil KÖZKURT²

Giriş

Rüzgâr enerjisi, fosil yakıtta dayalı enerji kaynaklarının aksine işletme sırasında sera gazı emisyonu oluşturmeyen, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Sürekli olarak gelişen teknoloji ile farklı rüzgâr türbinleri kullanarak azalan ve tükenmekte olan fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı indirebilir ve daha sürdürülebilir bir enerji geleceğine katkıda bulunabiliriz. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın gücünü kullanarak karbon emisyonlarını azaltma ve iklim değişikliğini hafifletme potansiyeli sunar.

Rüzgâr enerjisi hasadı, rüzgârın kinetik enerjisini yakalayıp daha kullanışlı bir enerji biçimine, genellikle elektrik gücüne

¹ Öğr. Gör., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

² Dr. Öğr. Üyesi, Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

dönüştürme sürecini ifade eder. Rüzgâr enerjisinden faydalanmak ve onu elektriğe veya diğer faydalı enerji türlerine dönüştürmek için rüzgâr türbinleri veya rüzgâr jeneratörleri gibi çeşitli teknolojilerin kullanılmasını içerir. Rüzgâr temiz ve sürdürülebilir bir güç kaynağı olduğundan bu süreç, yenilenebilir enerji üretiminin daha geniş alanının bir parçasıdır.

Bugüne kadar rüzgârı genel olarak yatay eksenli rüzgâr türbinleri, dikey eksenli rüzgâr türbinleri, eğik eksenli rüzgâr türbinleri gibi çok değişik şekillerde hasat edip elektrik enerjisine dönüştürme yöntemleri geliştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Son yıllarda bunlara ek olarak kanatsız rüzgâr enerji sistemleri de geliştirilerek çevreye ve doğaya en az zararlı sistemler bilim, teknoloji ve sanayi dünyasına kazandırılmaya başlanmıştır.

Rüzgâr enerjisi hasadı, elektrik üretmenin sürdürülebilir ve çevre dostu bir yolu olarak kabul edilir. Karbon emisyonu üretmemesi, onu iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç haline getiriyor. Bununla birlikte, rüzgâr koşullarına bağlı olarak rüzgâr enerjisi üretiminin kesintili olabileceğini ve bunun da istikrarlı bir enerji tedariği sağlamak için enerji depolama ve güvenilir şebeke altyapısının entegrasyonunu gerektirdiğini unutmamak önemlidir.

Teknolojik gelişmelere bakıldığında, rüzgâr türbinlerinin ve rüzgârı hasat etme yöntemlerinin performansını arttırmak için araştırmalar yapılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modellemesi ve simülasyonları, rüzgâr türbinlerinin etrafındaki akış modellerini ve özelliklerini incelemek için kullanılmış, bu da geliştirilmiş tasarımlara ve artan enerji üretimine yol açmıştır.

Rüzgârdan kaynaklanan titreşimi kullanarak enerji toplama kapasitesini arttırmak için hava akışını, mekanik titreşimi ve

elektriksel tepkiyi dikkate alarak piezoelektrik enerji toplayıcı bir hasat makinası tasarlayan Zhang J. ve arkadaşları, enerji hasat makinesinin yapısal ve malzeme parametrelerinin ve rüzgâr hızının enerji hasat performansı üzerindeki etkilerini bir rüzgâr türbininde incelemiştir. Simülasyon sonuçlarının, ürettikleri dokuz adet piezoelektrik enerji toplayıcı ile rüzgâr türbininde test etmelerinin sonucunda, sonuçların birbiri ile doğrulandığı gözlemlenmiştir (Zhang, Shu, and Fang 2017). Rüzgâr enerjisini hasat edebilmek için son yıllarda, temas elektrifikasyonu ve elektrostatik indüksiyonun birleşimine dayanan ve yeni ortaya çıkan triboelektrik nanogeneratör (TENG) teknolojisi, yüksek verimlilik, düşük maliyet ve taşınabilirlik avantajlarıyla birlikte geniş çapta araştırılmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Ren Z. ve ark., TENG'e dayalı rüzgâr hasat makinelerindeki son gelişmeleri gözden geçirmiş ve burada malzeme, yapı tasarımı, güç yönetimi ve TENG tabanlı rüzgâr toplama sisteminin performansını optimize etmek için geliştirilen stratejileri ve TENG tabanlı rüzgâr hasat makinesinin uygulama, görünüm ve büyümesindeki zorlukları özetlemişlerdir (Ren et al. 2022).

Xue-Feng He ve ark., mikroeletromekanik sistem (MEMS) tasarladılar. Bu sistem, düşük rüzgâr hızına sahip ortamlarda uygulanması, kritik rüzgâr hızlarının azaltılması için önemlidir. Rüzgâr hızı kritik hızın üstüne çıktığında MEMS toplama elemanı ve metal levhalardan meydana gelen konsol kısmı titreşmeye ve sert durdurucuya çarpmaya başlar. Bu titreşim ve neticesindeki darbeler hasat elemanının piezoelektrik katmanında oluşan titreşim enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür(He and Gao 2013). Rüzgâr enerjisini etkili bir şekilde toplamak için, bu makalede Li X. Ve ark., triboelektrik nanogeneratörü (TENG) ve elektromanyetik jeneratörü (EMG) esnek bir şekilde birleştiren ve farklı rüzgâr hızı ortamlarında enerji hasadı optimizasyonu stratejisi sunmuştur. TENG düşük

rüzgâr hızı durumlarında enerji hasadı için bağımsız olarak çalışır. Rüzgâr hızı kritik seviyenin üzerine çıktığında EMG devreye girer ve TENG ile birlikte çalışırlar ve bu da verimliliği etkili bir şekilde artırır. Bu çalışma sistemine dayanarak triboelektrik-elektromanyetik hasat makinesi (FC-TEH) tasarlanmıştır(X. Li et al. 2022).

Zhao L. ve ark., bu yazıda indüktör üzerinde senkronize anahtarlama hasat (SSHI) güç koşullandırma devresi kullanarak enerji toplayıcının dinamiklerini ve DC güç üretimini incelemiştir. SSHI bulunan bir sistem ile standart bir devre bulunan sistem karşılaştırıldığında çok daha az piezoelektrik malzeme kullanıldığı ve %143 kadar daha fazla rüzgâr gücü toplayabildiği bulunmuştur(L. Zhao et al. 2017). Hongbin Lin ve ark., çarpıntı tabanlı triboelektrik nanogeneratörün (TENG) rüzgâr enerjisini hasat etmede büyük bir potansiyele sahip olduğunu ancak bu tarz tasarımların yüzeyler arasında yeterli temas sağlayamadıkları için açışeklinde bir TENG (AS-TENG) önermişlerdir. Mevcut paralel yapı TENG ile karşılaştırıldığında AS-TENG, geliştirilmiş temas alanı nedeniyle çok büyük bir çıktı performansı sergilemiştir. Bu çalışma, TENG'in rüzgâr enerjisi için pratik uygulamalarını ileriye taşıyabilecek doğal, zayıf rüzgâr hasat etmeye yönelik bir tasarım stratejisi sunmuştur (Lin et al. 2019). 6 satır 4 sütun 24 düğüm şeklinde, mikroişlemci ve RTC kullanılarak bir hasat sistemi tasarlanmış, bilgisayar programı aracılığıyla hava tüneline test edilmiş ve kapasitörlerin şarj edilmeler sağlanmıştır (Harris et al. 2012).

Açık havada özellikle zayıf rüzgâr enerjisini hasat etmek için hibritleştirilmiş bir mekanizmaya dayalı döner triboelektrik nanogeneratör ile, 15m/s rüzgâr hızında maksimum 62,5 mW güçle 250 V açık devre voltajı ve 0,25 mA kısa devre akımı üretilmiştir ve yüzlerce ticari LED'i doğrudan aydınlatabilen veya enerji depolama

ünitelerini verimli bir şekilde şarj edebilen bir teknoloji geliştirilmiştir (Xie et al. 2013). Rüzgâr enerjisi endüstrisinin dönüşümü üzerindeki güncel ve gelecekteki etkilerini tartışarak rüzgâr enerjisi hasat teknolojilerinin ve rüzgâr çiftliği kontrol stratejilerinin durumlarını araştıran çalışmalarda olmuştur (Desalegn et al. 2023). Başka bir çalışmada, rüzgâr enerjisini toplamak için bir çekirdek-kabuk triboelektrik nanogeneratör (CS-TENG) gösterilmiş ve cihaz yapısı parametreleri optimize edilmiştir. Bu yapı herhangi bir yönden gelen rüzgâra karşı verimli bir şekilde cevap vermesi ile dikey kontak-ayırma modunu esas alarak elektrik üretimini sağlar ve tek bir cihaz ile 0,14 W/m³ güç çıkışı verebilir ve 124 ışık yayan diyota güç sağlayabilir. Ayrıca farklı boyutlardaki CS-TENG'lerin paralel bağlanmasıyla 2,3 m/s kadar düşük rüzgâr hızlarında dahi rüzgâr enerjisi toplanabilmektedir (Q. Wang et al. 2022).

Flutter (çarpıntı) tabanlı rüzgâr enerji hasatçısı olarak üç farklı şekilde tasarlanan esnek gövdeli, düz plaka ve kanat profili şeklinde FEH'ler tanımlanmış ve incelenmiştir. Çıktı verimini arttırmak için yeniden yapılandırılmış doğrusal olmayan ve hibrit FEH'ler önerilmiştir (Z. Li, Zhou, and Yang 2022). Rüzgâr enerjisi toplama cihazı tabanlı bir VIV (girdap kaynaklı titreşimler) konsepti öneren Younis A. ve ark. tarafından farklı tasarım şekilleri önerilmiştir ve önerilen tasarımlar, güç üretmedeki performanslarını ve verimliliklerini ölçmek için sayısal ve deneysel olarak test edilmiştir. Rüzgârı hasat eden elastik çubuk (direk) üzerinde yoğunlaşan Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) çalışmaları yapılmıştır. Rüzgâr tüneli ve piezoelektrik sensörler kullanılarak çıkış gücünü ölçmek için deneysel test ve çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca esnek direğe farklı geometriler ekleyerek tasarımda yapılan değişikliklerle birlikte çıkış gücünün arttığı sonucuna varılmıştır (Younis, Dong, Badawy, et al. 2022).

Bir enerji emme modülü, bir enerji geri kazanım modülü ve bir enerji dönüşüm modülü olmak üzere üç bölümden oluşan, rüzgâr hızına göre ayarlanabilen ve iki katman halinde kademeli dağıtıma sahip dört kanat içeren yeni bir ayarlanabilir Savonius dikey eksenli rüzgâr türbini (SVAWT) öneren Zhao Z. ve ark., gerçek çalışma koşulu altında, kanatların emme gücünün önerilen yeni ayarlanabilir SVAWT'nin yüksek geri kazanım gücü potansiyeline sahip olduğunu ve rüzgâr enerjisi hasadının pratik uygulamalarına değerli bir çözüm sağlayabileceğini ortaya koymaktadır(Z. Zhao et al. 2022). Yumuşak bir sistemdeki manyetik alanı değiştirerek, rüzgâr enerjisini elektromanyetik indüksiyon yoluyla isteğe bağlı yönlerden elektriğe dönüştüren, rüzgâr kaynaklı mekanik deformasyona dayanan ilgi çekici özelliklere sahip rüzgâr enerjisi hasadı sistemi geliştirilmiştir(X. Zhao et al. 2022). Hareketli mıknatıs tabanlı rasyonel mekanik analize dayalı tasarım stratejisini benimseyerek rüzgâr enerjisini etkin bir şekilde toplayabilen, kendinden uyarlamalı triboelektrik-elektromanyetik hibrit rüzgâr enerjisi toplayıcısını (SA-TEH) öneren Lee D. ve ark., SA-TEH'in enerji dönüşüm verimliliğinin, belirli rüzgâr ortamında sabit mekanik tasarımlı enerji toplayıcıya göre yaklaşık 60 kat daha yüksek olduğunu doğrulamıştır(Lee et al. 2022). Rüzgâr tüneline farklı kesit ve farklı hızlarda, girdap kaynaklı titreşim prensibine dayanılarak tasarımların verimleri incelenmiş ve sonuçlar hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile modellenmiştir(Younis, Dong, ElBadawy, et al. 2022).

Engabeli arazilere yapılan kanyon köprülerinin maruz kaldığı hem doğal hem de araçların sebep olduğu rüzgâr enerjisinden yararlanmak ve bu tarz köprülerin sağlığını incelemek için kurulan Kanyon Köprüsü Sağlık İzleme Sistemine (Canyon Bridge Health Monitoring System-HMS) gerekli enerjiyi sağlamak için elektromanyetik indüksiyon tabanlı bir rüzgâr enerjisi toplama

sistemi tasarlanmış ve rüzgâr tüneli deneyleri yapılmıştır. Deneyde rüzgâr hızı 14 m/s'ye ulaştığında toplam güç 471,56 mW'tır (X. Tan et al. 2022). Ulusal Havacılık Danışma Komitesi (NACA) 4412 ve SG6043 kanat profilleri seçilerek, düşük rüzgâr profili alanlarında daha verimli rüzgâr hasadı yapabilmek için 1 metre yarıçaplı kanat tasarlanmıştır. Kanat uç hız oranları ile reynold değerleri değiştirilerek tork ve güç üretiminde optimizasyon gerçekleştirilmiştir. MATLAB programında her kanat uç hızı oranı ve reynold değeri için kanat eğim ve giriş dağılımları programlanmıştır. Daha sonra bu dağılımlar Q-Blade yazılımına aktarılmış simülasyonları yapılmış ve açılar değiştirilerek optimize edilmiştir(Umar et al. 2022).

Rüzgârı hasat etmek için geleneksel triboelektrik nanogeneratörden (TENG) farklı olarak, daha düşük sürtünme direnci sağlayan ve rüzgâr enerjisini daha düşük hızlarda yakalayan yel değirmeni benzeri nanogeneratör (WNG) önerilmiştir(Zhu, Cao, and Wang 2022). Çevresel eşlenikli piezoelektrik enerji toplayıcıyı araştırmak için ortam sıcaklığının ve hava akış hızının hasat performansı üzerindeki etkilerini inceleyen Tan T. ve ark. bu amaçla, çok alanlı geometrik ve aerodinamik, doğrusal olmayan, dağıtılmış parametrelili bir model kurmuştur. Üç tip kesitte blöf gövdeli piezoelektrik enerji toplayıcıların rüzgâr tüneli deneylerini yapmıştır(T. Tan, Zuo, and Yan 2021). Tandem düzenlenmiş silindirlerin iz kaynaklı titreşiminden (WIV) esinlenerek, otoyol rüzgâr kaynaklarının kullanımı için yukarı ve aşağı akışlı müdahalelere sahip bir piezoelektrik rüzgâr enerjisi toplayıcı önerilmiştir(Yan et al. 2021).

Doğal rüzgâr enerjisini sabit elektrik enerjisine dönüştürmek ve doğal rüzgâr enerjisinin istikrarlı bir şekilde toplanmasını sağlamak için ilk kez bir yerçekimi triboelektrik nanogeneratörü (G-

TENG) geliştirilmiştir. G-TENG temel olarak bir enerji giriş modülü, enerji depolama modülü ve enerji çıkış modülünden oluşturulmuştur. Rastgele rüzgâr enerjisi giriş modülünden depolama modülüne iletilmiş, yerçekimi potansiyel enerjisine dönüştürülmüş ve sonuçta çıkış modülünden sürekli elektrik enerjisi elde edilmiştir(Y. Wang et al. 2021). Tünel içinde hareket eden trenlerin yanlarına, yeni bir tasarıma sahip Savonius rotorları yerleştirilerek, tünel aydınlatması sağlamak için bir çalışma yapılmıştır. Trenden 0,5 m uzağa yerleştirilen 0,75 m çapındaki türbin, mümkün olan tüm çap ve yerleşim kombinasyonlarında en fazla güç çıkışını üretmiştir(Bethi et al. 2019). Triboelektrik nanogeneratörlerin çalışma prensipleri, sınıflandırılması, kullanım alanları gibi konularda detaylı bir çalışma yapan Yılmaz N.D. geleceğin enerji hasadı için bu teknolojinin çok fazla kullanılacağını öne sürmektedir(YİLMAZ 2021).

Genel olarak literatür, rüzgârı verimli bir şekilde hasat edip elektrik enerjisine dönüştürmek için kanat tasarımlarının farklılığı, farklı generatör tasarımı ve bunların iyileştirilmesi için yapılan çalışmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bununla birlikte, rüzgârı hasat etme tasarımlarını halen optimize etmek, verimliliğini ve güvenilirliğini artırmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Yöntem

Çalışma kapsamında WOS veri tabanından elde edilen verilerden VOSviewer programı ile bibliyometrik analiz çalışması yapılmıştır.

Araştırmanın Amacı

“Wind energy harvest” (rüzgâr enerjisi hasadı) kavramına ilişkin, rüzgâr enerjisini hasat etme sistemleri ile ilgili nicel veriler

ve sayısal ölçüm göstergelerini ele alan bibliyometrik analizler yapılarak araştırmacılara sunulması hedeflenmektedir.

Veri ve Analiz

Mevcut çalışmada, akademik anlamda birçok veriye ulaşabilen Web of Science veri tabanı kullanılmıştır. Araştırmanın güvenilirliği için bu veri tabanının seçilmesi önemli bir faktördür.

Farklı bibliyometrik analiz programları olmakla birlikte bu çalışmada Web of Science veri tabanından edilen veriler VOSviewer programı ile incelenmiştir. VOSviewer, bilimsel araştırmalar için kullanılan görselleştirme ve analiz aracıdır. Bu program, literatür analizi, ağ analizi ve görsel veri keşfi gibi alanlarda araştırmacılara yardımcı olmak amacıyla tasarlanmıştır. VOSviewer, özellikle büyük veri kümesi içeren makale koleksiyonları veya bibliyometrik analizler gibi karmaşık veri setlerini anlamak, görselleştirmek ve analiz etmek için kullanışlıdır. VOSviewer programı görselleştirme yetenekleri, ağ analizi, bibliyometrik analiz, interaktif analiz, ücretsiz, kullanıcı dostu ve veri içeriği analizleri gibi sebeplerden dolayı sıklıkla tercih edilmektedir. VOSviewer'ın bu avantajları, bilimsel araştırmacılar, akademisyenler ve analistler için literatür analizi, ağ analizi ve görsel veri keşfi gibi alanlarda tercih edilmesini sağlar.

Bu çalışmada “Rüzgâr enerjisi hasadı” yazınının İngilizce karşılığı olan “Wind energy harvest” anahtar kelimeleri baz alınarak WOS veri tabanından Ekim 2023 tarihi itibarı ile elde edilen verilerle ve VOSviewer programı kullanılarak konu ile ilgili bibliyometrik analizi yapılmıştır.

Bulgular

Bu bölümde elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

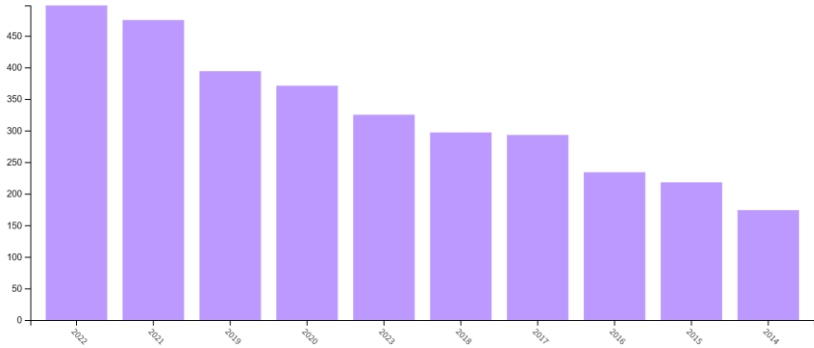
WOS Kategorileri

WOS'dan elde edilen 3893 yayının ilk 10 kategori dağılımı verilmiştir.



Şekil 1. Yayınların kategorilere göre dağılımı

Yayınların yıllar içindeki dağılımı



Şekil 2. Yayınların yıllara göre dağılımı

Döküman tipleri



Şekil 3. Yayınların döküman tipleri

WOS Index

Tablo 1. Yayınların dizin dağılımı

Web of Science Index	Record Count	% of 3.893
Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)	2763	70,974
Conference Proceedings Citation Index – Science (CPCI-S)	983	25,250
Emerging Sources Citation Index (ESCI)	180	4,624
Social Sciences Citation Index (SSCI)	75	1,927
Book Citation Index – Science (BKCI-S)	34	0,873
Conference Proceedings Citation Index – Social Science & Humanities (CPCI-SSH)	16	0,411
Arts & Humanities Citation Index (A&HCI)	2	0,051
Book Citation Index – Social Sciences & Humanities (BKCI-SSH)	2	0,051
Index Chemicus (IC)	1	0,026

Yayın başlıkları



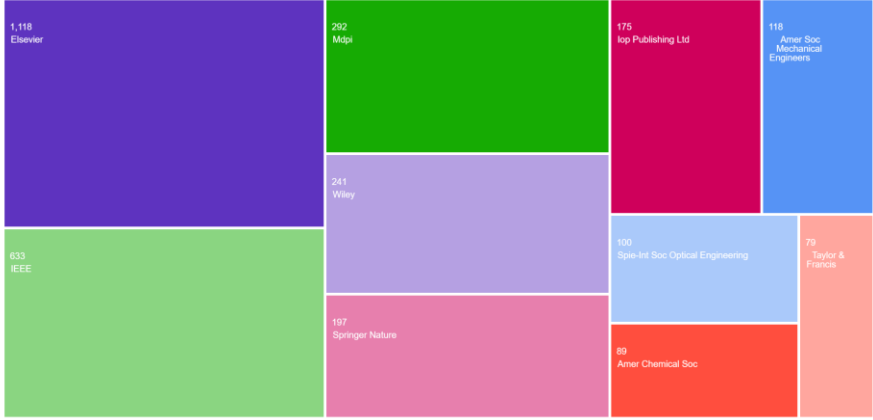
Şekil 4. Yayınların yayınlandıkları yerler

Ülke/Bölge



Şekil 5. Yayınların ülkelere göre dağılımı

Yayıncılar



Şekil 6. Yayınların yayıncı kuruluşları

Araştırma Alanları

Tablo 2. Yayınların araştırma alanları

Research Areas	Record Count	% of 3983
Engineering	1,739	44,670%
Energy Fuels	1,053	27,049%
Science Technology Other Topics	853	21,911%
Materials Science	840	21,577%
Physics	657	16,876%
Chemistry	523	13,434%
Mechanics	328	8,425%
Instruments Instrumentation	281	7,218%
Computer Science	250	6,422%
Thermodynamics	181	4,649%
Environmental Sciences Ecology	173	4,444%

Automation Control Systems	149	3,827%
Telecommunications	128	3,288%
Optics	99	2,543%
Oceanography	83	2,132%
Agriculture	51	1,310%
Acoustics	45	1,156%
Construction Building Technology	44	1,130%
Robotics	38	0,976%
Mathematics	37	0,950%
Surgery	33	0,848%
Water Resources	33	0,848%
Polymer Science	28	0,719%
Electrochemistry	25	0,642%
Meteorology Atmospheric Sciences	24	0,616%

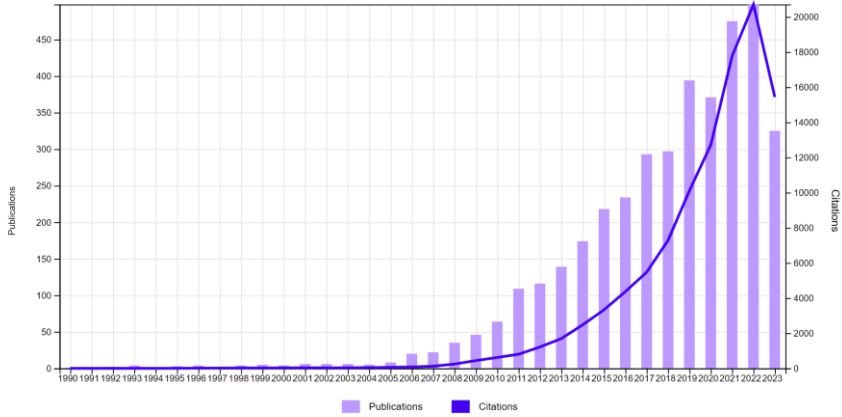
Atıf Raporu

Şekil 7’de WOS veri tabanında “wind energy harvest” yazını ile 3893 adet veri elde edildiği, h-index değerinin 136 ve her bir yayın için ortalama atıf sayısının 27,03, toplam atıf sayısının 105212 ve kendi kendine yapılan atıflar çıkarıldığında 88858 adet, makalelere atıfta bulunma sayısının ise 57894 ve kendi kendine atıf yapılan makaleler çıkarıldığında ise 55679 olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Yayınların atıf analizleri

Atıf Zamanları ve Zaman İçinde Yayınlar



Şekil 8. Yayınların yıllara göre dağılımı ve atıf sayıları

En Çok atıf alan ilk 5 yayın

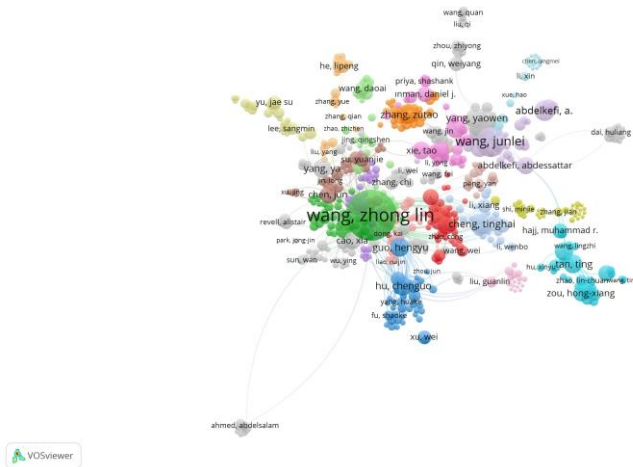
3,893 Publications		Sort by: Citations: highest first		< 1 of 78 >		Citations							
						< Previous year					Next year >	Average per year	Total
						2019	2020	2021	2022	2023			
Total						10,107	12,712	17,769	20,706	15,438	3,287.88	105,212	
1	A review of power harvesting using piezoelectric materials (2003-2006) Anton SR and Sodano HA Jun 2007 SMART MATERIALS AND STRUCTURES 16 (3) , pp.R1-R21	162	107	129	104	61	118.59	2,016					
2	Triboelectric Nanogenerators as New Energy Technology for Self-Powered Systems and as Active Mechanical and Chemical Sensors Wang ZL Nov 2013 ACS NANO 7 (11) , pp.9533-9557	271	256	301	271	196	180.36	1,984					
3	Progress in triboelectric nanogenerators as a new energy technology and self-powered sensors Wang ZL; Chen J and Lin L 2015 ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE 8 (8) , pp.2250-2282	235	240	234	227	134	169.33	1,524					
4	Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production Schenk PM; Thomas-Hall SR (-); Hankamer B Mar 2008 BIOENERGY RESEARCH 1 (1) , pp.20-43	89	109	86	65	33	91.69	1,467					
5	Microfibre-nanowire hybrid structure for energy scavenging Qin J; Wang JD and Wang ZL Feb 14 2008 NATURE 451 (7180) , pp.809-05	75	77	84	64	36	86.13	1,378					

Şekil 9. En çok atıf alan ilk 5 yayın

Ortak Yazar Analizi (Co-authorship of Authors)

Ortak yazar analizi, bir araştırma alanında veya belirli bir konuda benzer ilgi alanlarına sahip yazarların birlikte çalıştığı durumları incelemek amacıyla kullanılan bir analiz türüdür. Bu analiz, bilimsel yayınlar üzerinden yazarların iş birliklerini ve ağlarını görselleştirmeye yardımcı olur.

Mevcut konu ile ilgili VOSviewer programında en az 1 yayın ve en az 1 atıf kriteri seçilerek yazarların ortak yazar analizine göre bağlantıları ve iş birlikleri şekil 10’da gösterilmiştir. Analiz sonucuna göre 30 kümede birleşen 606 isim ve toplam 3226 bağlantı görülmektedir. Kümedeki 11 yazarın her birinin toplamda 6068 birim bağlantısı bulunmaktadır.



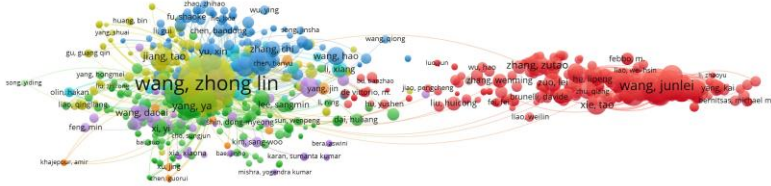
Şekil 10. Yazarlar arası bağlantıyı gösteren ortak yazar bağları

Yazarların Atıf Analizi (Citation of authors)

Yazarların atıf analizi, bir yazarın çalışmalarının başkaları tarafından ne sıklıkla atıf yapıldığını ve bu atıfların hangi diğer

yayınlar yapıldığını inceleyen bir analiz türüdür. Bu analiz, bir yazarın etkisini ve katkılarını değerlendirmek, hangi çalışmalarının diğer araştırmacılar tarafından özellikle önemsendiğini belirlemek ve bilimsel etkileşimleri anlamak için kullanılır.

Atıf ağlarını belirlemek üzere yine en az 1 yayın ve en az 1 atıf kriteri seçilerek yazar atıf analizine ilişkin ağ haritası bulunmuş ve birbirleriyle bağlantılı olduğu görülen 995 yazar üzerinden yapılan analizde toplamda 12 küme, 64609 bağlantı ve toplam bağlantı gücünün de 124891 olduğu tespit edilmiştir. Toplam bağlantı gücü açısından Zhong Lin Wang, Jun Chen ve Ya Yang ilk üç sırayı almasına rağmen en çok atıf alan yazar yine 22683 atıf ile Zhong Lin Wang olmuştur.

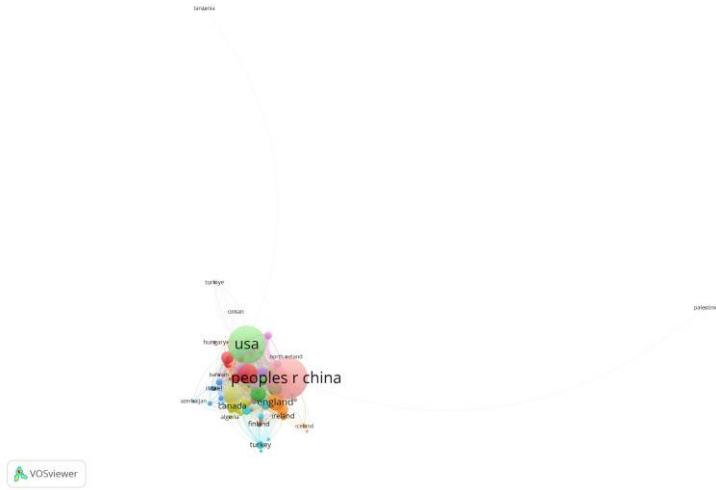


VOSviewer

Şekil 11. Yazarların atıf analizi bağları

Ülkelerin Atıf Analizi (Citation of Countries)

Yayınların yapıldıkları ülkelere göre aldıkları atıflara ilişkin ağ haritası çıkarmak üzere bir ülke tarafından en az 1 eser yayınlanma ve 1 atıf alma kriteri kapsamında aralarında ilişki bulunan 87 gözlem birimi üzerinden analiz yapılmıştır. 13 küme, 897 bağlantı ve 16258 toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir. En fazla atıf alan ülkeler ABD (50118 atıf), Çin (44924 atıf) ve Güney Kore (8352 atıf) olmuştur. Toplam bağlantı gücü açısından ise Çin, ABD ve Güney Kore ilk üçte yer almaktadır. Eser sayısı olarak ise sıralama Çin (1208 yayın), ABD (1005 yayın) ve Hindistan (270 yayın) şeklindedir.



Şekil 12. Yayınların ülkelere göre atıf bağları

Kurumların Atıf Analizi (Citation of Organizations)

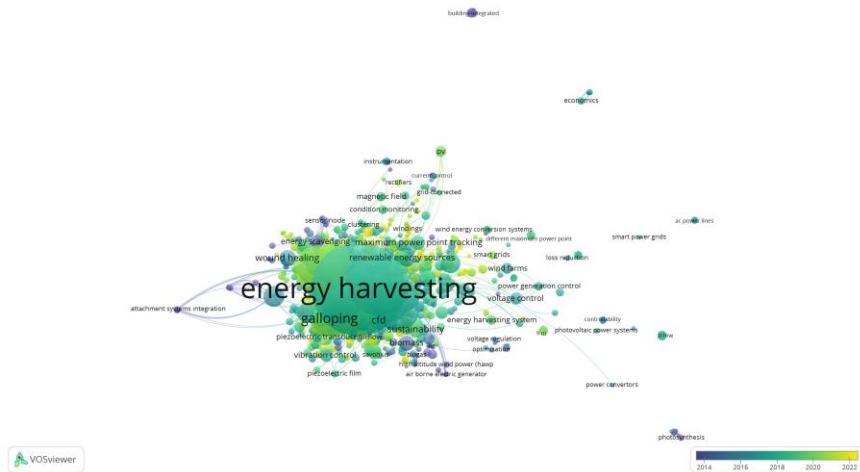
Kurumlar arası atıflara dair ağ haritası oluşturmak üzere bir kurum tarafından en az 1 eser yayınlanması ve 1 atıf alınması kriteri kapsamında aralarında ilişki bulunan 997 gözlem birimi üzerinden

analiz yapılmıştır. Chinese acad sci 224 eser, Georgia inst technol 177 eser ve Univ chinese acad sci 94 eser ile ilk üç sırayı alırken, en fazla atıf alan yayınların ilk üç adres kurumları ise Georgia inst technol 23678, Chinese acad sci 22893 ve Chongqing univ 4418 olmuştur. Toplamda 47 küme, 15601 bağlantı ve toplam bağlantı gücü 41395 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 13. Kurumların atıf bağları

“Wind energy harvest” ile ilgili yayınlarda en sık kullanılan anahtar sözcüklere bakıldığında 761 tekrar ile energy harvesting, 317 tekrar ile wind energy, 209 tekrar ile triboelectric nanogenerator, 171 tekrar ile renewable energy ve 130 tekrar ile piezoelectric ifadeleri başı çekmektedir. Toplam bağlantı gücü açısından da en güçlü bağlar yine aynı ifadeler arasında olmuştur. En az 1 defa görülen ve aralarında ilişki bulunan 994 gözlem birimi ile yapılan

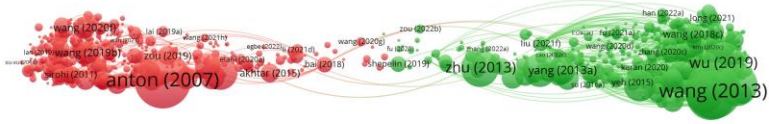
analiz neticesinde toplam 27 küme, 8614 bağlantı ve 11613 toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir.



Şekil 14. En sık kullanılan anahtar sözcük bağları

Metinlerin Bibliyografik Eşleşme Analizi (Bibliographic Coupling of Documents)

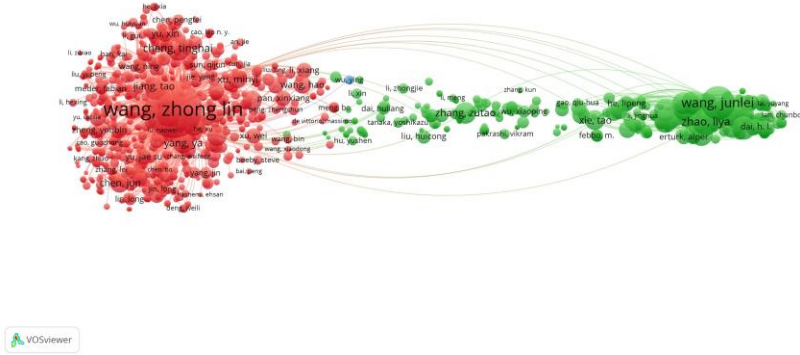
Bibliyografik eşleşme, birbirinden bağımsız iki kaynak tarafından alıntılanmış ortak bir esere atıf yapılması durumunu ifade eder. En az 1 atıf almış olmak kriteri ile seçilen ve aralarında bağlantı bulunan 1000 birim eser ile yapılan analize göre 2 küme, 210505 bağlantı ve 608927 toplam bağlantı gücü elde edilmiştir. En fazla bibliyografik eşleşme olan ilk üç sıradaki yayınlar 2016 alıntı ile Anton (2007), 1984 alıntı ile Wang (2013) ve 1524 alıntı ile Wang (2015c) olmuştur. Toplam bağlantı gücünün en yüksek olduğu bazı eserler ise Chen (2017), Liu (2021f), Choi (2023) ve Zhao (2021d) olmuştur.



Şekil 15. Eserlerin bibliyometrik eşleşme bağları

Yazarların Bibliyografik Eşleşme Analizi (Bibliographic Coupling of Authors)

En az 1 eser yayınlamış ve 1 atıf almış olmak kriteri ile seçilen ve aralarında bağlantı bulunan 1000 birim ile yapılan analize göre 3 küme, 434495 bağlantı ve 10609289 toplam bağlantı gücü elde edilmiştir. En fazla bibliyografik eşleşme olan yazar 153 döküman ve 22683 alıntı 999 bağlantı ve 983492 bağlantı gücü ile Zhong Lin Wang olmuştur.



Şekil 16. Yazarların bibliyometrik eşleşme bağları

Yazarların Ortak Atıf Analizi (Co-citation of Cited authors)

Bir yayında atıf yapılan farklı kaynaklar co-citation (ortak atıf) olarak adlandırılır. Atıf sayısı minimum 2 seçilerek 1000 birim üzerinden yapılan analize göre toplamda 4 küme, 259726 bağlantı ve 1508622 toplam bağlantı gücü tespit edilmiştir. En fazla ortak atıf yapılan yazarların bazıları Wang ZL (1369), Yang Y (855) ve Abdelkefi A (811) olarak tespit edilmiştir.

küresel rüzgâr enerjisi istatistiklerine de yansımaktadır. Ancak rüzgâr enerjisinin yakalanması ve kullanılması her zaman zor olmuştur. Rüzgârın bir kaynak olarak değerlendirilmesi, modellemede zorluklara neden olur ve rüzgâr kaynağının enerji üretimiyle nasıl eşleştiğine ilişkin hassasiyetler, enerji hasadı fırsatıyla sonuçlanır.

Rüzgâr enerjisi hasadı ile ilgili yaptığımız bu çalışmada Web of Science veri tabanında ilki 1990 yılında olmak üzere Ekim 2023 itibari ile 3893 veriye ulaşılmış ve yıllara göre giderek artan bir grafikte çalışmalar hızlanmıştır. Bu yayınların yaklaşık %70'i makale şeklinde olup yine yaklaşık %71'i Science Citation Index (SCI) de taranmıştır. Ülkeler bazında bakıldığında %58'i Çin ve Amerika'da yapılmışken Hindistan, Güney Kore, İngiltere, İtalya, Almanya gibi ülkeler bu iki ülkeyi takip etmektedir. Zhong Lin Wang, Junlei Wang, Abdessattar Abdelkefi, Liya Zhao ve Tinghai Cheng gibi yazarlar öne çıkmaktadır. 25 farklı araştırma alanında yapılan yayınların %44'ü mühendislik alanında olup, çalışmaları sırasıyla en çok Elsevier, IEEE, Mdpi, Wiley yayınlamıştır.

Özellikle triboelektrik nanojeneratör ve piezoelektrik jeneratörler gibi yeni teknolojilerin artmasıyla atıfların da 2017 yılından itibaren hızlı bir şekilde arttığı ve 2022 yılında yaklaşık 2000'in üzerinde atıf yapıldığı görülmektedir. Ayrıca “energy harvesting” kelime grubu anahtar sözcük sıralamasında en çok kullanılan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi yapılabilmesinin ilk ve en önemli unsuru hiç kuşkusuz rüzgârın kinetik enerjisini yakalayarak hasat etmektir. Konu ile ilgili yapılan bu çalışmada geçmişten günümüze rüzgârı hasat etme yöntemleri ve bunlarla ilgili iyileştirme çalışmaları tüm detayları ile niceliksel olarak verilmiştir.

Bu istatiksel veriler bundan sonraki yapılacak çalışmalara önemli bir veri kaynağı olacaktır.

KAYNAKÇA

Bethi, Rajagopal Vinod, Praveen Laws, Pankaj Kumar, and Santanu Mitra. 2019. "Modified Savonius Wind Turbine for Harvesting Wind Energy from Trains Moving in Tunnels." *Renewable Energy* 135: 1056–63. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148118314423>.

Desalegn, Belachew, Desta Gebeyehu, Bimrew Tamrat, and Tassew Tadiwose. 2023. "Wind Energy-Harvesting Technologies and Recent Research Progresses in Wind Farm Control Models." *Frontiers in Energy Research* 11. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2023.1124203/full>.

Harris, N.R. et al. 2012. "Practical Implementation of a Novel Wind Energy Harvesting Network." *Procedia Engineering* 47: 961–64. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S187770581204369X>.

He, Xue-Feng, and Jun Gao. 2013. "Wind Energy Harvesting Based on Flow-Induced-Vibration and Impact." *Microelectronic Engineering* 111: 82–86. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016793171300110X>.

Lee, Donghan et al. 2022. "Toward Effective Irregular Wind Energy Harvesting: Self-Adaptive Mechanical Design Strategy of Triboelectric-Electromagnetic Hybrid Wind Energy Harvester for Wireless Environmental Monitoring and Green Hydrogen Production." *Nano Energy* 102: 107638. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211285522007169>.

Li, Xiang et al. 2022. "Optimization Strategy of Wind Energy Harvesting via Triboelectric-Electromagnetic Flexible Cooperation." *Applied Energy* 307: 118311. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261921015671>.

Li, Zhiyuan, Shengxi Zhou, and Zhichun Yang. 2022. "Recent Progress on Flutter-based Wind Energy Harvesting."

International Journal of Mechanical System Dynamics 2(1): 82–98.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/msd2.12035>.

Lin, Hongbin et al. 2019. “Angle-Shaped Triboelectric Nanogenerator for Harvesting Environmental Wind Energy.” *Nano Energy* 56: 269–76.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211285518308498>.

Ren, Zewei et al. 2022. “Strategies for Effectively Harvesting Wind Energy Based on Triboelectric Nanogenerators.” *Nano Energy* 100: 107522.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211285522005997>.

Tan, Ting, Lei Zuo, and Zhimiao Yan. 2021. “Environment Coupled Piezoelectric Galloping Wind Energy Harvesting.” *Sensors and Actuators A: Physical* 323: 112641.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924424721001035>.

Tan, Xing et al. 2022. “A Self-Adapting Wind Energy Harvesting System for Application in Canyon Bridge.” *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 54: 102878.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213138822009262>.

Umar, Dallatu Abbas et al. 2022. “Design and Optimization of a Small-Scale Horizontal Axis Wind Turbine Blade for Energy Harvesting at Low Wind Profile Areas.” *Energies* 15(9): 3033.
<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/9/3033>.

Wang, Qiman et al. 2022. “Omnidirectional Triboelectric Nanogenerator for Wide-Speed-Range Wind Energy Harvesting.” *Nanomaterials* 12(22): 4046. <https://www.mdpi.com/2079-4991/12/22/4046>.

Wang, Yuqi et al. 2021. “Gravity Triboelectric Nanogenerator for the Steady Harvesting of Natural Wind Energy.” *Nano Energy* 82: 105740.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211285520313124>.

Xie, Yannan et al. 2013. “Rotary Triboelectric Nanogenerator Based on a Hybridized Mechanism for Harvesting

Wind Energy.” *ACS Nano* 7(8): 7119–25.
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nn402477h>.

Yan, Zhimiao et al. 2021. “Wind Piezoelectric Energy Harvesting Enhanced by Elastic-Interfered Wake-Induced Vibration.” *Energy Conversion and Management* 249: 114820.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890421009961>.

YILMAZ, Nazire Deniz. 2021. “TRİBOELEKTRİK NANOJENERATÖRLER İLE ENERJİ HASADI: TEORİK KÖKEN, ÇALIŞMA PRENSİBİ VE ÇALIŞMA MODLARI.” *Konya Journal of Engineering Sciences* 9(1): 232–49.
<http://dergipark.org.tr/tr/doi/10.36306/konjes.745063>.

Younis, Adel, Zuomin Dong, Mohamed ElBadawy, et al. 2022. “Design and Development of Bladeless Vibration-Based Piezoelectric Energy–Harvesting Wind Turbine.” *Applied Sciences* 12(15): 7769. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7769>.

Younis, Adel, Zuomin Dong, Mohamed El Badawy, et al. 2022. “Development of Low-Speed Wind Energy Harvesting Device.” *Energy Reports* 8: 22–27.
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352484722021527>.

Zhang, Jiantao, Chang Shu, and Zhou Fang. 2017. “Optimal Piezoelectric Energy Harvesting from Wind-Induced Vibration.” *Ferroelectrics* 506(1): 10–23.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00150193.2017.1281684>.

Zhao, Liya, Lihua Tang, Junrui Liang, and Yaowen Yang. 2017. “Synergy of Wind Energy Harvesting and Synchronized Switch Harvesting Interface Circuit.” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 22(2): 1093–1103.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/7748463/>.

Zhao, Xun et al. 2022. “A Soft Magnetoelastic Generator for Wind-Energy Harvesting.” *Advanced Materials* 34(38).
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.202204238>.

Zhao, Zhen et al. 2022. “Design and Analysis of a Novel Adjustable SVAWT for Wind Energy Harvesting in New Energy Vehicle.” *World Electric Vehicle Journal* 13(12): 242. <https://www.mdpi.com/2032-6653/13/12/242>.

Zhu, Xiaoyu, Xia Cao, and Zhong Lin Wang. 2022. “Windmill-Like Nanogenerator for Harvesting Low-Speed Wind Energy and Wind Speed Measuring.” *Advanced Materials Technologies* 7(9). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/admt.202200006>.

CHAPTER V

H-Darrieus Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde J-Tipi Kanat Yapısı Uygulamaları

Himmet Erdi TANÜRÜN¹

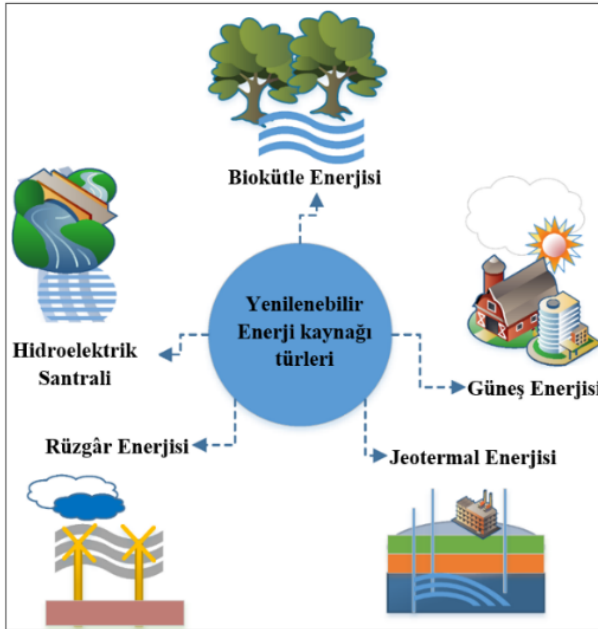
Giriş

Günümüzde enerji, yaşamın temel gereksinimlerinden biri haline gelmiş olup, bu ihtiyaç sürekli olarak artış göstermektedir (Tanürün & ark., 2021). Fosil yakıtlar, sanayi devriminden bu yana enerji kaynağı olarak kullanılan ana kaynaklardır (Akuru & ark., 2017; Kuskaya & Bilgili, 2020). Ancak, bu enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlar günümüzde birçok tartışmayı beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların yakılması sonucu atmosfere salınan sera gazları, hava kirliliğine neden olmaktadır (Chen & ark., 2015a; Chen & ark., 2017). Bu kirlilik, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olmanın yanı sıra, ekosistemleri de tehdit etmektedir. Ayrıca, bu gazların ozon tabakasına verdiği zarar, güneş ışınlarının

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi

zararlı etkilerini artırarak biyolojik yaşam için risk oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, fosil yakıtların sınırlı bir kaynak olması (Tanürün & ark., 2020; Çakıroğlu & ark., 2017), arz ve talep dengesinde dalgalanmalara neden olarak enerji maliyetlerinin yükselmesine sebep olmaktadır.

Fosil yakıtların bu olumsuzlukları, enerji üretiminde alternatif yöntemlerin araştırılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. İşte bu noktada, güneş, jeotermal, biokütle ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır (Avtar & ark., 2015). Bu enerji kaynakları, çevre dostu olmalarının yanı sıra, sınırsız bir kaynağa dayanması ve nispeten ucuz olmasından dolayı da dikkat çekmektedir (Li & ark., 2020; Mahmood & ark., 2021). Yenilenebilir enerjinin avantajları arasında; sürdürülebilir olması, çevre kirliliğine neden olmaması, enerji fiyatlarında istikrar sağlaması, enerji güvenliğini artırması ve yerel ekonomilere katkıda bulunması sayılabilir.



Şekil. 1 YE kaynağı türleri (Tanürün, 2023a)

Bu bağlamda, enerji sektöründe fosil yakıtlardan yenilenebilir enerjiye doğru gerçekleşen bu dönüşüm, sadece çevresel avantajları değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal faydaları da beraberinde getiriyor. Fosil yakıtların tükenme riski, enerji arz güvenliğini tehlikeye atarken, yenilenebilir enerji kaynakları uzun vadede sürdürülebilir bir enerji politikası oluşturma imkânı sunmaktadır. Bu, küresel enerji ihtiyacının sürdürülebilir bir şekilde karşılanabilmesi için elzemdir. Ülkeler, enerji güvenliği ve ekonomik gelişimlerini sürdürülebilir bir temele oturtabilmek için yenilenebilir enerjiye büyük yatırımlar yapmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisi, öne çıkan ve hızla gelişen bir teknoloji olarak dikkat çekmektedir. Özellikle son on yılda, rüzgâr enerjisinin kapasitesi ve verimi ciddi oranda artmıştır. Bu artışın temel nedeni, rüzgâr türbinlerinin teknolojik gelişmelere bağlı olarak daha verimli hale gelmesidir. Rüzgâr enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre hızla popülerlik kazanmasının ardında, teknolojik gelişmelerin ve yatırımların büyük bir rolü bulunmaktadır.

Şekil. 2’de görüldüğü üzere (Tummala & ark., 2016), rüzgâr türbinleri temel olarak iki kategoriye ayrılır: Yatay Eksenli Rüzgâr Türbini (YERT) ve Dikey Eksenli Rüzgâr Türbini (DERT) (Tanürün ve Acir, 2022). YERT’ler DERT’lere göre yüksek verimlilikleriyle bilinse de (Bhutta & ark., 2012), özellikle kentsel bölgelerde kullanılmalarıyla ilgili bazı zorluklar vardır. Bu zorluklar arasında; büyük arazilere ihtiyaç duymaları, görsel kirlilik oluşturmaları ve gürültü kirliliğine neden olması yer almaktadır (Maizi & ark., 2018; Chen & ark., 2021)



Şekil 2. a) YERT b) H-Darrieus DERT ve c) Savonius DERT’in saha gösterimi (Tanürün, 2023b)

DERT'ler ise Savonius ve Darrieus olmak üzere temel olarak iki tipe ayrılır (Kaya & ark., 2021). Fransız havacılık mühendisi Georges Jean Marie Darrieus tarafından icat edilen (Marie, 1931), Darrieus türbinlerinin yüksek devirlerde daha yüksek performans göstermeleri nedeniyle daha popüler ve yaygın kullanılmaktadır. Bu türbinlerin avantajları arasında; rüzgârı her yönden alabilmesi (Farzadi & Bazargan, 2023), kuleye ihtiyaç duymaması, yerden başlamasından dolayı kolay kurulumu (Chen & ark., 2017), daha az yer kaplaması (Islam & ark., 2021), düşük bakım maliyeti, daha az ses kirliliği oluşması, bu türbinlerin banliyöler ve kentsel alanlarda daha uygun olmaları neden olmaktadır (Fiedler & Tullis, 2009; Ghasemian & ark., 2017)

Özellikle kentsel bölgeler için DERT'lerin avantajlarına rağmen, üretim sürecini ve ticarileşmesini sınırlandıran iki temel unsur bulunmaktadır (Khan, & ark., 2009). Bu iki sınırlandırıcı düşük güç performansı ve zayıf ilk uyarı problemi (Liu & ark., 2019; Kuang & ark., 2022). Ancak literatürde bu sorunların büyük ölçüde aşıldığına dair çalışmalar bulunsa da, halen daha verimli ve pratik çözümler üzerinde araştırmalar sürmektedir. Bu kapsamda, özellikle DERT performansını pasif kontrol yöntemleriyle artırmak için yoğun bir çaba gösterilmektedir.

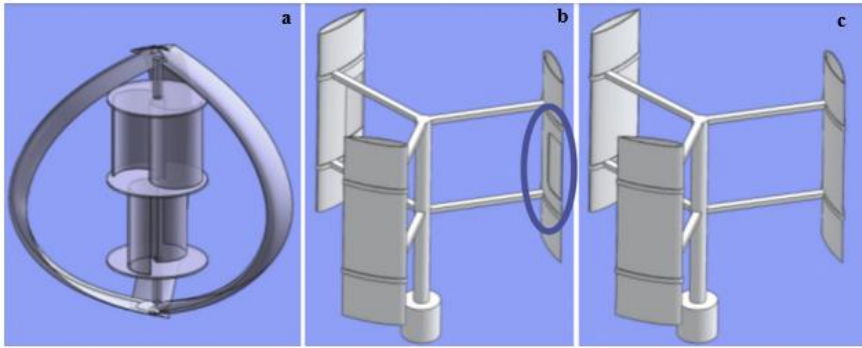
J-Tipi kanat modelinin DERT uygulamaları

DERT'ler, yönden bağımsız çalışma kapasiteleri, düşük maliyet ve yerden yükseklik gereksinimi olmaksızın çalışma özellikleri ile bilinirler. Ancak, aerodinamik verimlilik ve ilk uyarı kapasitesi gibi konularda bazı sınırlılıklarla karşılaşılır. Kanat aerodinamiğinin rüzgâr türbinleri üzerinde dikkate değer bir etkisi olmasından dolayı bahsedilen sınırlılıkların çözülmesi için kanat aerodinamiğini geliştirilmesi büyük katkı sağlamaktadır (Tanürün & Acir, 2019). J-tipi kanat modelinin türbinlere uygulandığında sınırlılıkların üstesinden gelinmesi amaçlanmaktadır.

Aerodinamik açıdan bakıldığında, J-tipi kanat modeli, kanadın rüzgârla olan etkileşimini optimize ederek daha yüksek bir Tork (T) oluşturur. Bu, türbinin daha düşük rüzgâr hızlarında bile

dönmesini sağlar. Kanat profili, hava akışını daha iyi yakalar ve türbinin merkezine doğru yönlendirir. Bu, türbinin genel aerodinamik performansını artırır.

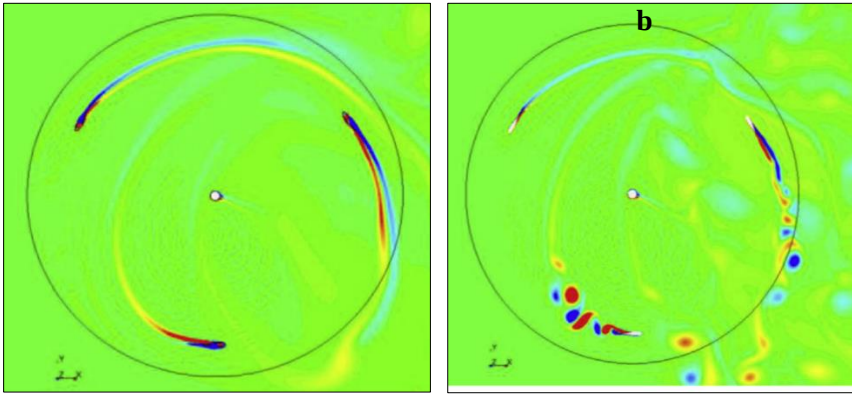
İlk uyartı problemi kapasitesi, bir rüzgâr türbininin rüzgâr enerjisini mekanik enerjiye dönüştürebilmek için gereken minimum rüzgâr hızıdır. J-tipi kanat modeli, aerodinamik tasarımı sayesinde bu minimum rüzgâr hızını düşürmekte ve türbinin ilk uyartısını kolaylaştırmaktadır. Bu, özellikle düşük rüzgâr hızlarının hâkim olduğu bölgelerde türbinin daha etkili bir şekilde çalışmasına olanak sağlamasından dolayı literatürde yoğun bir şekilde incelenmektedir.



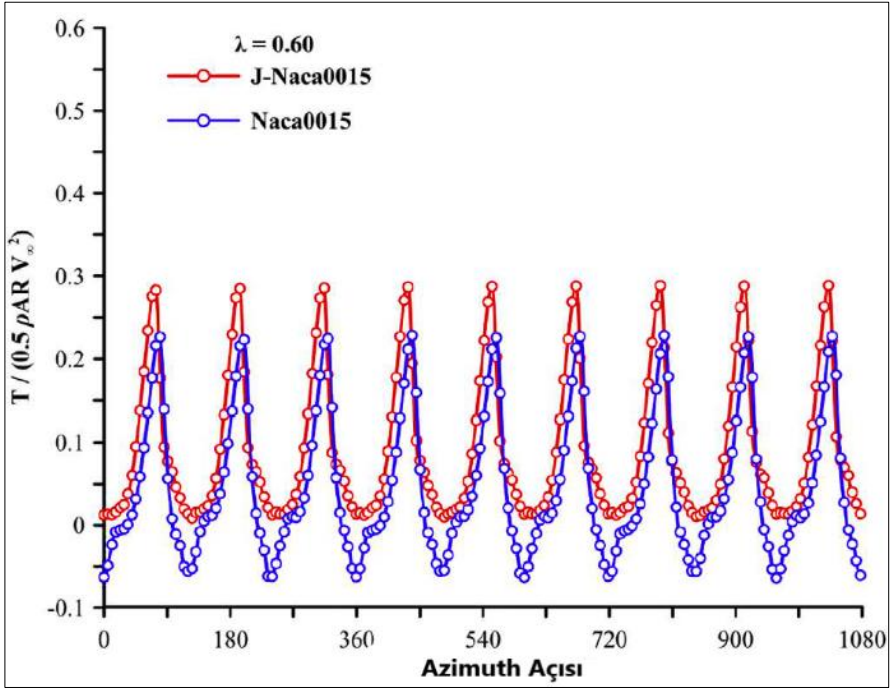
Şekil. 3 a) Savonius-Egg-bater DERT b) J-tipi kanat modeline sahip H-Darrieus DERT ve, c) Düz kanatlı H-DERT (Chen, & ark., 2009b)

Chen ve ark. (2009b) her kanada bir açıklık (J-tipi) ekleyerek ilk uyartı kabiliyetini artırmayı amaçlayan yeni bir Darrieus rotor tasarımı önermişlerdir. Bu kapsamda, Şekil 3'de üç kanat modeli, Şekil 4'de ise açıklığı içeren dizayn parametreleri detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Hesaplama Akışkanlar dinamiği (HAD) araştırmaları sonucunda, açıklıklı rotorların, açıklıksız olanlara kıyasla azaltılmış bir güç katsayısı (C_p) sergilediğini gözlemlemişlerdir. Özellikle kanadın dış yüzeyine yerleştirildiğinde bu açıklıkların statik tork katsayısını (C_{Ts}) önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Hem iç hem de dış yerleşimler için optimal açıklık oranları belirlemişler ve bu oranların, C_p kaybı ve artırılmış C_{Ts} göz önüne alındığında Savonius-

optimize edildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, rotor ve şafta etki eden titreşimler ve yorulma gerilmeleri azalmıştır. J-tipi profil, özellikle ilk uyarıyı ve T genliğinin azalmasında mükemmel bir performans sergilemektedir. Şekil. 6'da aynı zaman adımıdaki J-tipine sahip DERT ve düz kanatlı DERT'in girdap diyagramları gösterilmiştir. J-tipi profil için sonuçlar, maksimum güç katsayısının 0.485'de kanat uç hızı oranının (λ) 2.25'te gerçekleştiğini göstermektedir. Bu, geleneksel Du 06-W-200 kanadı için 0.469 olarak bulunmuştur. Bu da DERT'lerde J-tipi profilinin kullanılarak verimin %3.41 artırıldığı anlamına gelmektedir.



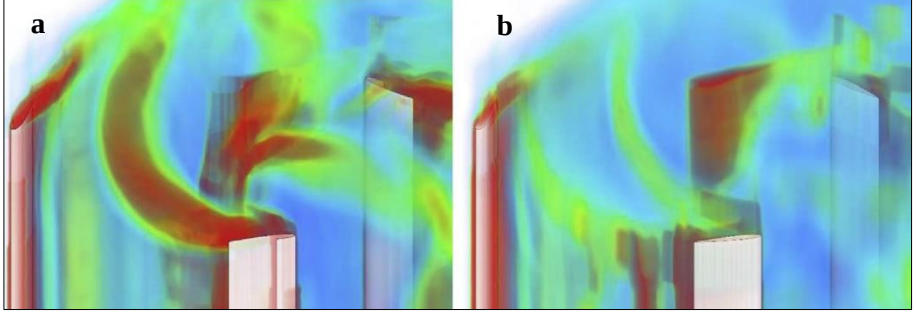
Şekil. 6 Aynı θ 'da a) Düz kanatlı DERT b) J-tipi kanatlı DERT (Zamani & ark., 2016a).



Şekil. 7 $\lambda=0.60$ için boyutsuz genel T değişiminin θ 'ya göre varyasyonu (Zamani & ark., 2016b).

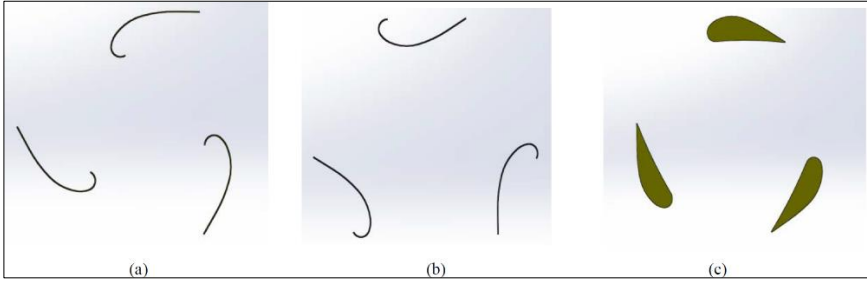
Zamani ve ark. (2016b) J-tipi profil konseptini üç boyutlu Darrieus tipi bir DERT'de sayısal olarak incelemişlerdir. Bu araştırmada, J-tipi kanatların aynı anda hem kaldırma hem de sürüklenme kuvvetlerinden yararlanabilmesi sebebiyle, bu türbinlerin düşük rüzgâr hızlarında daha hızlı çalışmasına olanak tanıdığını ortaya koymaktadır. Bu, özellikle düşük ve orta λ 'da, C_p iyileştirerek ilk uyarı sorununu ortadan kaldırır. Şekil. 7'deki $\lambda=0.6$ için boyutsuz genel T değişiminin, azimut açısına (θ) göre varyasyonundan elde edilen bulgular, J-tipi profilin T varyasyonundaki üstün performansını net bir şekilde göstermektedir. Şekil. 8'de ise, aynı θ 'da J-tipi kanatlar ve geleneksel kanatlar tarafından üretilen uç girdabının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu görsel, J-tipi profilin konvansiyonel kanatlara göre türbin arkasında daha az rüzgâr bozulması yarattığını ve böylece daha düşük

türbülans ve gürültüye yol açtığını belirtiyor. Sonuç olarak, J-tipi profilin, türbinlerin genel performansını ve enerji üretimini artırma kapasitesiyle önemli bir inovasyon olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil. 8 Aynı açısal pozisyonda a) J-tipi kanatlar ve b) geleneksel kanatlar tarafından üretilen kanat ucun girdabının gösterimi (Zamani & ark., 2019b).

Malael ve ark. (2019) iklim değişikliklerinin enerji durumunu yeniden şekillendirdiği bir dönemde, temiz enerji olarak kabul edilen rüzgâr enerjisinin önemini vurgulayan kapsamlı bir çalışma gerçekleştirdi. Çalışmada, Lenz (J) tipi DERT'in verimliliği, iki farklı hava akış hızında, 12 m/s ve 14 m/s'de, numerik olarak değerlendirildi. Ansys Fluent yazılımı kullanılarak HAD yöntemleriyle elde edilen sonuçlar, türbin kanatlarının etkileşimleri ve oluşturduğu girdapların diğer kanatlar üzerindeki etkisini detaylı bir şekilde inceliyor. Özellikle C_T ve girdap büyüklüğünün farklı kanat konumları için nasıl değiştiği bu çalışmanın odak noktasını oluşturuyor. Lenz tasarımının, Savonius veya Darrieus alternatiflerine göre daha üstün performansa sahip olduğu belirtilmiştir. Bu, rüzgâr enerjisinin sürdürülebilir bir yaşamın artırılmasında ne kadar kritik bir rol oynayabileceğini vurgulayan önemli bir çalışmadır.



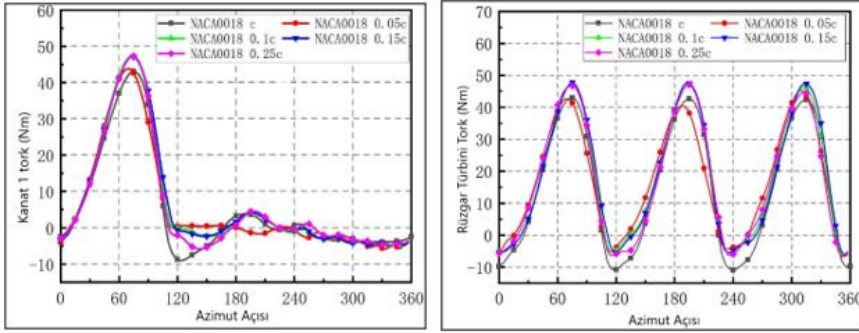
Şekil. 9 a) Üst eğri, b) üst eğri ters ve c) üst-alt kanat tasarımları şematik gösterimi (Ahmudiarto & ark., 2019).

Ahmudiarto ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, Endonezya'nın takımadalarında gözlemlenen değişken rüzgâr, DERT tasarımının performansını artırmak amacıyla, farklı kanat tasarımlarının etkileri incelenmiştir. Şekil. 9'de görüldüğü gibi üst eğri, üst eğri ters ve üst-alt kanat tasarımlarının tasarımları arasında önemli farklar bulunmaktadır. NACA 4212 J-tipi H rotorunun kanadı temel alınarak oluşturulan bu tasarımların her biri, HAD yazılımı ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, üst eğri kanat tasarımının, diğer tasarımlara kıyasla daha üstün bir C_p 'ye sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle düşük, orta ve yüksek rüzgar hızlarında $\lambda = 0.5$ ve 1 değerleri ile gücün artabileceği belirtilmiştir. Bu bulgular, DERT tasarımında kanat seçiminin, türbinin genel performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Siddiqui ve ark. (2019) tarafından yapılan araştırmada, DERT'in en yaygın tipleri olan S şeklindeki Savonius ve Darrieus türbinleri üzerine odaklanılmıştır. Bu çalışmada, özellikle J şeklindeki kanat tasarımının getirdiği avantajlar ve bu tasarımın Darrieus türbinleriyle kıyaslandığında gösterdiği üstünlük detaylı bir şekilde incelenmiştir. J şeklindeki kanat, NACA 2424'ün temel geometrisi üzerine geliştirilmiş olup, Savonius rotorunun ilk uyarı yeteneği ile Darrieus rotorunun aerodinamik verimliliğini bir araya getirme amacını taşımaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda, J şeklindeki DERT'in klasik Darrieus'a göre daha iyi ilk uyarı

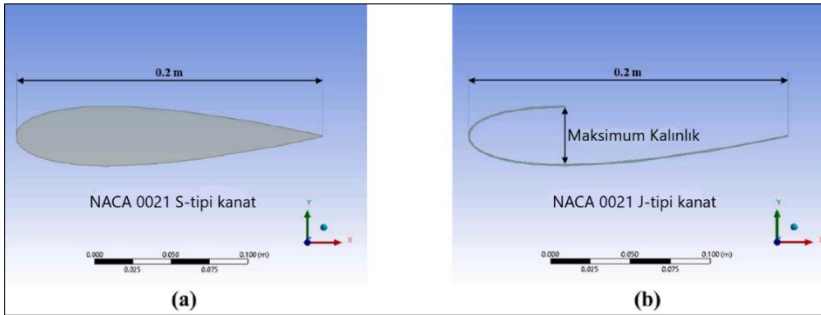
yeteneğine sahip olduğu ve bu özellikle çeşitli açı değerlerinde daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle J şeklindeki rotorun, klasik Darrieus türbinine kıyasla %30 daha iyi bir performans katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu üstünlük, J şeklindeki türbinin, kanadın hava akışıyla etkileşiminden kaynaklanan girdapları ve hava akımlarını yakalama yeteneğine dayanmaktadır.

Şekil. 10 a) J-kanatlı dikey eksenli açık deniz rüzgâr türbini b) J-tipinin farklı tasarımları (Siddiqui & ark., 2019).



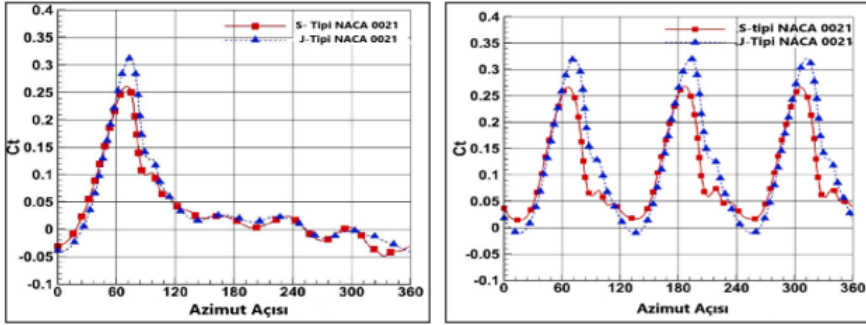
Şekil. 11 $\lambda=1,5$ 'de a) J şeklindeki tek bir kanadın ve b) Türbinin anlık T eğrisi (Pan & ark., 2021).

Bucur ve ark. (2021) azaltılmış ölçekte bir Lens rüzgâr türbini modelinin sayısal olarak incelemişlerdir. Gerçekleştirilen bu araştırmada, Lenz modelinin ilk uyarı davranışını değerlendirmek için altı serbestlik dereceli yöntem kullanılmış ve farklı atalet anları için konfigürasyon incelenmiştir. Ayrıca, seçilen giriş hızı aralığı, önerilen Lenz modeli üzerinde yüksek Reynolds sayılarının etkisini incelenmesine olanak tanımıştır. Yapılan bu çalışma, azaltılmış ölçekli Lenz modelinin yüksek Reynolds sayılarında davranışını öngörmek amacıyla gerçekleştirilmiş olup, atalet anının başlangıç davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar, başlama süresinin doğrudan kütle ile orantılı olduğunu ve bu atalet anıyla da doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.



Şekil. 12 a) Geleneksel model (S- tipi) ve b) Modifiyeli (J-tipi) modele sahip DERT (Farzadi ve Bazargan, 2023).

Farzadi ve Bazarga (2023) DERT’lerde J-tipi kanatların yeteneğini değerlendirmek için üç boyutlu bir sayısal analiz uygulamıştır. Araştırmanın ana amacı, J-tipi kanatların farklı çalışma koşullarında, özellikle değişen rüzgar hızları, λ ve rüzgar türbülans yoğunluklarında nasıl performans gösterdiğini belirlenmesidir. Bu analizler sonucunda J-tipi kanatlardan kaynaklanan girdapların, düz kanatlardan oluşanlara göre daha güçlü olduğu tespit edilmiştir. Bu güçlü girdaplar, yüksek λ ’da T’nin oluşumunda daha büyük olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Şekil 13a’da, tek bir kanat için C_T görülürken, Şekil 13b’de ise üç kanatlı bir türbin için toplam C_T göstermektedir. Grafiklerden, J-tipi kanatların düşük uç hız oranlarında ($\lambda = 1$) daha iyi performans gösterdiği, ancak yüksek uç hız oranlarında ($\lambda = 1.5$) S-tipi kanatlara göre daha küçük de olsa T ürettiği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, J-tipi kanatların özellikle düşük rüzgâr hızı bölgelerinde, kentsel alanlarda kullanım için umut vaat ettiği belirlenmiştir. Özellikle ilk uyarı koşullarında J-tipi kanatların performansı, S-tipi kanatlara göre %26.9 ve %37.6 oranında artış göstermektedir. Bu bulgular, J-tipi kanat profiliyle ilgili potansiyel iyileştirmeler ve modifikasyonlar için gelecekteki çalışmaların konusu olabilir



Şekil. 13 1 tam tur boyunca a) $\lambda=1.5$ için türbinin tek bir kanadının ve b) $\lambda=1$ için türbinin toplam tork değişimi gösterilmiştir (Farzadi ve Bazargan, 2023).

SONUÇ

DERT'ler arasında J-tipi, son yıllarda dikkate değer bir popülerlik kazanmıştır. Bu çalışmada, J-tipi DERT'lerin aerodinamik performansı ve ilk uyarı sorununun çözümü üzerine yoğun bir literatür incelemesi gerçekleştirilmiştir. Aerodinamik açıdan, J-tipi, düşük λ değerlerinde diğer DERT'lere göre üstün bir performans sergiler. Bu, J-tipinin kanat tasarımının, rüzgârın türbin üzerindeki etkisini optimize edebilme kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Düz kanatlı türbinlerle kıyaslandığında, J-tipi kanatlarının, rüzgârın etkisini daha homojen bir şekilde dağıtarak türbine daha stabil bir enerji girişi sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, J-tipi DERT'lerin ilk uyarı sorununu büyük ölçüde çözebildiği belirlenmiştir. Bu, türbinin kendi başına harekete geçebilmesi anlamına gelir, böylece ek bir enerji kaynağına veya başlatma mekanizmasına ihtiyaç duyulmaz.

J-tipi DERT'in birçok avantajı bulunmaktadır. Hem aerodinamik performansları hem de kentsel bölgelerdeki uygulanabilirlikleri göz önüne alındığında, enerji sektöründe sürdürülebilir bir geleceğe doğru atılan adımlarda önemli bir rol oynayabilirler. Bu çalışma, J-tipi türbinlerin bu avantajlarına dikkat çekerek, rüzgâr enerjisinin potansiyelinin daha geniş kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

KAYNAKÇA

Ahmudiarto, Y., Romadoni, A. M., Karyanto, T. B., Admono, T., Nugroho, B., Chin, R. C., & Budiyono, A. (2019). Performance Analysis of Novel Blade Design of Vertical Axis Wind Turbine. International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), 24-26 May 2019, Shanghai, China, (pp. 175-181).

Akuru, U. B., Onukwube, I. E., Okoro, O. I., & Obe, E. S. (2017). Towards 100% renewable energy in Nigeria. *Renew Sust Energ Rev*, 71, 943-53. [Doi:10.1016/j.rser.2016.12.123](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.123)

Avtar, R., Sahu, N., Aggarwal, A. K., Chakraborty, S., Kharrazi, A., Yunus, A. P., Dou, J., & Kurniawan, T. A. (2019). Exploring renewable energy resources using remote sensing and GIS—A review. *Resources*, 8(3), 149. [Doi:10.3390/resources8030149](https://doi.org/10.3390/resources8030149).

Bhutta, M. M. A., Hayat, N., Farooq, A. U., Ali, Z., Jamil, S. R., & Hussain, Z. (2012). Vertical axis wind turbine—A review of various configurations and design techniques. *Renew Sustain Energy Rev*, 16, 1926-39. [Doi:10.1016/j.rser.2011.12.004](https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.004).

Bucur, I. O., Malael, I., & Preda, D. (2021). Numerical investigation of a reduced scale Lenz wind turbine model for aerodynamic tunnel applications. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 664;1 (2021) 012027. [Doi:10.1088/1755-1315/664/1/012027](https://doi.org/10.1088/1755-1315/664/1/012027).

Chen, J., Yang H., Yang M., Xu H. (2015b). The effect of the opening ratio and location on the performance of a novel vertical axis Darrieus turbine. *Energy* 89:819-834. [Doi:10.1016/j.energy.2015.05.136](https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.136)

Chen, W. H., Chen C. Y., Huang C. Y., & Hwang C. J. (2017). Power output analysis and optimization of two straight-bladed vertical-axis wind turbines. *Applied energy*, 185, 223-232. [Doi: 10.1016/j.renene.2020.02.012](https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.012).

Chen, W. H., Peng, J. H. & Bi, X. T. (2015a). A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. *Renew Sustain Energy Rev*, 44, 847–66. Doi: 10.1016/j.rser.2014.12.039.

Chen, W. H., Wang, J. S., Chang, M. H., Mutuku, J. K., & Hoang, A. T. (2021). Efficiency improvement of a vertical-axis wind turbine using a deflector optimized by Taguchi approach with modified additive method. *Energy Conversion and Management*, 245, 114609. Doi:10.1016/j.enconman.2021.114609.

Çakıroğlu, R., Tanürün, H. E., Acır, A., Üçgül, F., & Olkun, S. (2023). Optimization of NACA 4412 augmented with a gurney flap by using grey relational analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45(3), 167. Doi: 10.1007/s40430-023-04089-x.

D. G. J. Marie, Turbine having its rotating shaft transverse to the flow of the current, uS Patent 1,835,018 (Dec. 8 1931).

Farzadi, R., & Bazargan, M. (2023). 3D numerical simulation of the Darrieus vertical axis wind turbine with J-type and straight blades under various operating conditions including self-starting mode. *Energy*, 128040. Doi:10.1016/j.energy.2023.128040.

Fiedler, A. J., & Tullis, S. (2009). Blade offset and pitch effects on a high solidity vertical axis wind turbine. *Wind Eng*, 33, 237–46. Doi:10.1260/030952409789140955.

Ghasemian, M., Ashrafi, Z. N., & Sedaghat, A. (2017). A review on computational fluid dynamic simulation techniques for Darrieus vertical axis wind turbines. *Energy Convers Manage*, 149, 87–100. Doi:10.1016/j.enconman.2017.07.016.

Islam, M. R., Mekhilef, S., & Saidur, R. (2013). Progress and recent trends of wind energy technology. *Renew Sustain Energy Rev*, 21, 456–68. Doi:10.1016/j.rser.2013.01.007.

Kaya, A. F., Tanürün, H. E., & Acır., A. (2021). Numerical investigation of radius dependent solidity effect on H-type vertical

axis wind turbines. *Politeknik Dergisi*, 25(3), 1007-1019. DoI: 10.2339/politeknik.799767.

Khan, M., Bhuyan G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: a technology status review. *Appl. Energy*. 86(10), 1823-1835. Doi:10.1016/j.apenergy.2009.02.017.

Kuang, L., Su, J., Chen, Y., Han, Z., Zhou, D., Zhang, K., Zhou, Y. & Bao, Y. (2022). Wind-capture-accelerate device for performance improvement of vertical-axis wind turbines: external diffuser system. *Energy*, 239, 122196. Doi:10.1016/j.energy.2021.122196

Kuskaya, S., Bilgili, F. (2020). The wind energy-greenhouse gas nexus: The wavelet-partial wavelet coherence model approach. *J Clean Prod*. 245, 118872. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118872.

Li, J. J., Wang, G. D., Li, Z. H., Yang, S. L., Chong, W. T., & Xiang, X. B. (2020). A review on development of offshore wind energy conversion system. *Int J Energy Res*. 44, 9283–97. Doi: 10.1002/er.5751.

Liu, J., Lin, H., & Zhang, J. (2019). Review on the technical perspectives and commercial viability of vertical axis wind turbines. *Ocean Eng*. 182, 608-26. Doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.04.086.

Mălăel, I., Bucur, I. O., & Preda, D. (2019). Drag based vertical axis wind turbine numerical efficiency evaluation. *AIP Conference Proceedings*. 2164(1). Doi: 10.1063/1.5130852.

Mahmood, Q., Younas, M., Ashiq, M. G. B., Ramay, S. M., Mahmood, A., Ghaithan, H. M. (2021). First principle study of lead-free double perovskites halides Rb₂Pd(Cl/Br)(6) for solar cells and renewable energy devices: A quantum DFT. *Int J Energy Res*. 2021;10. Doi:10.1002/er.6778.

Maizi, M., Mohamed, M., Dizene, R., & Mihoubi, M. (2018). Noise reduction of a horizontal wind turbine using different blade

shapes. Renew Energy, 117, 242–56. Doi:10.1016/j.renene.2017.10.058.

Pan, L., Zhu, Z., Xiao, H., & Wang, L. (2021). Numerical analysis and parameter optimization of j-shaped blade on offshore vertical axis wind turbine. Energies. 14(19), 6426. Doi: 10.3390/en14196426.

Siddiqui, A. S., Memon, A. H. M., Alam, M., Mian, S. N., Khan, A. A., Khursheed, R., Ansari S. J. (2019). Performance evaluation of H-type Darrieus VAWT with J-shaped blade geometry at variable pitch angles. AIP Conference Proceedings. 2119(1). Doi: 10.1063/1.5115369.

Tanürün, H. E., & Acır, A. (2019). Modifiye edilmiş NACA-0015 kanat yapısında tüberkül etkisinin sayısal analizi. Politeknik Dergisi. 22(1), 185-195. Doi: 10.2339/politeknik.391800.

Tanürün, H. E., Ata, İ., Canlı, M. E., & Acır, A. (2020). Farklı açıklık oranlarındaki NACA-0018 rüzgâr türbini kanat modeli performansının sayısal ve deneysel incelenmesi. Politeknik Dergisi. 23(2), 371-381. Doi: 10.2339/politeknik.500043.

Tanürün, H. E., Akın, A. G., & Acır, A. (2021). Rüzgâr türbinlerinde giriş yapısının performansa etkisinin sayısal olarak incelenmesi. Politeknik Dergisi. 24(3), 1219-1226. Doi: 10.2339/politeknik.845804.

Tanürün, H. E., & Acır, A. (2022). Investigation of the hydrogen production potential of the H-Darrieus turbines combined with various wind-lens. International Journal of Hydrogen Energy, 47(55), 23118-23138. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.04.196.

Tanürün, H. E. (2023a). Savonius Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Deflektör Yapısının Performans Üzerine Etkisinin Kapsamlı Derlemesi. Yayın Yeri: 5. Uluslararası Antalya Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Kongresi, 26-28 Tem 2023, Antalya, Türkiye, (pp. 238-248).

Tanürün, H. E. (2023b). Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kanal Teknolojisinin Performans Üzerine Etkisinin Kapsamlı Derlemesi. Başkent 4. Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar Kongresi, 04-06 Ağustos 2023, Ankara, Türkiye, (pp. 1254-1262).

Tummala, A., Velamati, R. K., Sinha, D. K., Indraj, V., & Krishna, V. H. (2016). A review on small scale wind turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Doi:10.1016/j.rser.2015.12.027.

Zamani, M., Maghrebi, M. J., & Varedi, S. R. (2016a). Starting torque improvement using J-shaped straight-bladed Darrieus vertical axis wind turbine by means of numerical simulation. Renewable Energy. 95, 109-126. Doi: 10.1016/j.renene.2016.03.069.

Zamani, M., Nazari, S., Moshizi, S. A., & Maghrebi, M. J. (2016b). Three dimensional simulation of J-shaped Darrieus vertical axis wind turbine. Energy. 116, 1243-1255. Doi: 10.1016/j.energy.2016.10.031

