



MAKİNE MÜHENDİSLİĞİNDE
TEORİK VE DENEYSEL
ÖZEL ÇALIŞMALAR



EDİTÖR

DOÇ. DR. HÜSEYİN GÜRBÜZ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Kasım 2024

ISBN • 978-625-6172-62-3

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.serüvenyayınevi.com

e-mail: serüvenyayınevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

MAKİNE
MÜHENDİSLİĞİNDE
TEORİK VE DENEYSEL
ÖZEL ÇALIŞMALAR

Editör

DOÇ. DR. HÜSEYİN GÜRBÜZ

ÖNSÖZ

Mühendislik çalışmalarında geliştirilen sistemin/yaklaşımın en verimli noktalarını belirlemek kadar sistemin yenilenmesi ve güncellenmesi oldukça önemlidir. Makine mühendisliğinde sistemin en verimli noktaları belirlemek için üretim yöntemleri, ısıl işlemler ve enerji teknikleri gibi temel unsurlarda yeni yaklaşımlar sergilemek gereklidir. Teorik, sayısal, deneysel ve optimizasyon yöntemleri ile yapılan mühendislik çalışmaları, yazılım, kodlama ve yapay zeka ile desteklenerek makine mühendisliği alandaki en son teknolojik yeniliklere ulaşılacaktır. Bu kitabımızda, *Motorlarda Soğutma Sistemi ve Dizel Etanol Karışımının Soğutma Sisteminin Performansına Etkisi*, *Bir Kömür Ocağının Risk Değerlendirme Analizi*, *Kompozit Malzemelerde Kullanılan Elyaf Türleri* ve *Endüstriyel Isı Depolama Tankları* başlıklı güncel konulara ait teorik ve deneysel çalışma ve uygulamalara yer verilmektedir. Bu kitabın ortaya çıkmasında yazar olarak değerli katkılarını sunan **Şırnak Üniversitesi ve Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü** Öğretim üyeleri olan değerli yazarlara teşekkür eder, kitabın mühendislik alanında yapılacak olan bilimsel çalışmalara ve sanayi odaklı faaliyetlere faydalı olmasını temenni ederim.

Editör

Doç. Dr. Hüseyin GÜRBÜZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ V

Bölüm 1

MOTORLARDA SOĞUTMA SİSTEMİ VE DİZEL ETANOL KARIŞIMININ SOĞUTMA SİSTEMİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Hüseyin GÜRBÜZ..... 1

Bölüm 2

BİR KÖMÜR OCAĞININ RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ

Mehmet HASKUL 17

Büşra SEVİM..... 17

Bölüm 3

KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANILAN ELYAF TÜRLERİ

Metehan BOZTEPE 33

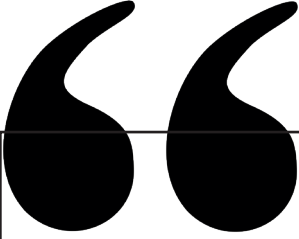
Bölüm 4

ENDÜSTRİYEL ISI DEPOLAMA TANKLARI

Ali TAŞKIRAN..... 49

Celal KISTAK..... 49

Nevin ÇELİK..... 49



Bölüm 1

MOTORLARDA SOĞUTMA SİSTEMİ VE DİZEL ETANOL KARIŞIMININ SOĞUTMA SİSTEMİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Hüseyin GÜRBÜZ¹

¹ Doç. Dr.; Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
huseyngurbuz@sirnak.edu.tr.com ORCID No: 0000-0002-3561-7786

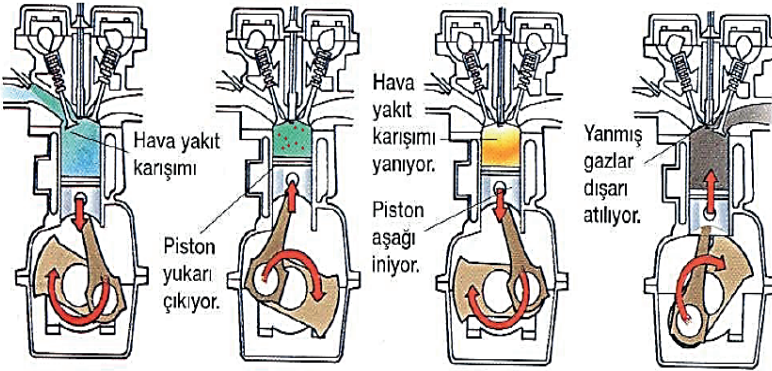
GİRİŞ

Bir enerji türünü işe dönüştüren makinelere genel olarak motor denir. Yakıtların kimyasal enerjisi yanma veya oksidasyon sonucu önce ısı enerjisine dönüşen termik motorlarda yanma sonucunda gazların basıncı ve sıcaklığı hızla yükselir ve bu gazların genişlemesi ile mekanik iş elde edilir. **Pistonlu içten yanmalı motorlar** grubuna dâhil olan Otto (benzinli) ve Diesel (motorin) motorlarında piston hareketi doğrusaldır ve krank-biyel mekanizması yardımı ile dönme hareketi elde edilir.

Pistonlu içten yanmalı motorlar termodinamik çevrimlerine göre;

- ❖ Otto çevrimi (buji ile ateşlemeli 'benzinli' motorlar)
- ❖ Dizel çevrimi (sıkıştırma ile ateşlemeli 'dizel' motorlar)
- ❖ Karma çevrim

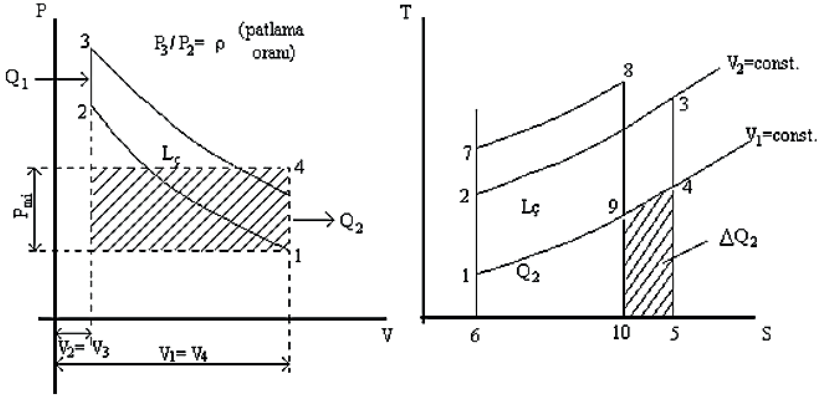
Otto, dizel ve karma çevrimi ile çalışan dört stroklu (zamanlı) motorlarda çevrim, egzoz, emme, sıkıştırma yanma-genişleme strokları ile tamamlanır. Özellikle benzinli ve dizel motorlarda yanma reaksiyonları kontrol altında gerçekleşmesi oldukça önemlidir. Şekil 1'de içten yanmalı motorun dört stroku (zamanı) gösterilmiştir.



Şekil 1: İçten yanmalı motorun çalışması

Otto motorlarında emme strokunda silindir içine hava yakıt karışımı, dizel motorlarda ise sadece taze hava alınır. Sıkıştırma strokunda otto motorlarda silindir içindeki hava yakıt karışımı, dizel motorlarda ise taze hava sıkıştırılır. Sıkıştırma strokunun sonuna doğru otto motorlarda buji ile ateşlenerek, dizel motorlarda ise motorin doğrudan silindir içi sıcak havanın üzeri enjektör ile püskürtülerek yanma reaksiyonu başlatılır. Yanma ve Genişleme stroku sonunda her iki motorda da silindir içindeki yanmış gazı (egzoz gazı)

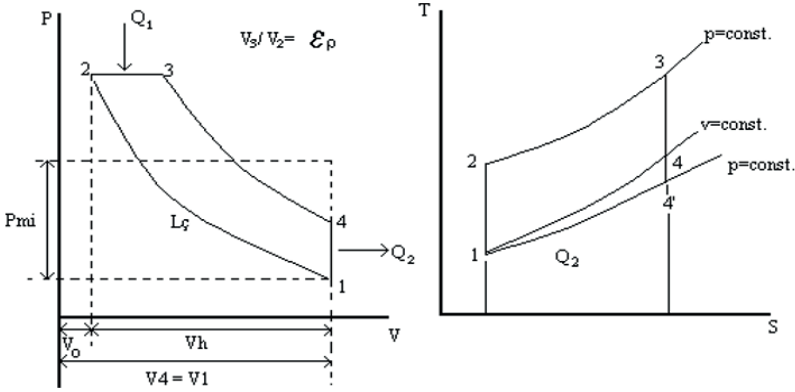
piston süpürerek egzoz manifoldundan ortama atılır. Otto motorların teorik kapalı çevrimi P-V ve T-S diyagramları Şekil 2’de, gösterilmiştir.



Şekil 2: Benzinli motorun teorik çevrimi

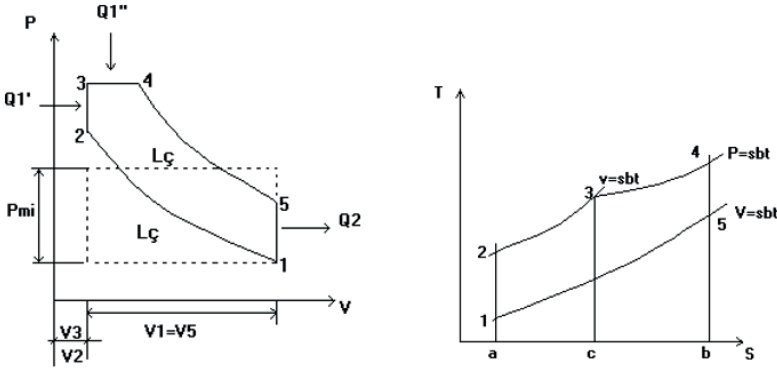
Otto motorlarında ideal gaz olarak kabul edilen hava yakıt karışımı, 1 noktasından 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda hava yakıt karışımının basıncı ve sıcaklığı yükselir. 2 noktasından 3 noktasına kadar hava yakıt karışımına **sabit hacimde** dışarıdan ısı verilir. Sonuç olarak basınç ve sıcaklık tekrar artar. 3 noktasında sıcaklık ve basınç maksimum değerlerine yükselir. 3 noktasından, 4 noktasına kadar basıncın etkisi ile silindirdeki piston aşağıya doğru AÖN’ye itirilerek izantropik bir genişleme gerçekleşir. 4 noktasından 1 noktasına kadar sabit hacimde hava yakıt karışımından dışarıya atılarak sistem en baştaki koşullarına 1 noktasında döner ve çevrim tamamlanır.

Şekil 3’de dizel motorların teorik kapalı çevrimi P-V ve T-S diyagramları verilerek gösterilmiştir. Dizel motorlarında ideal gaz olarak kabul edilen taze hava 1 noktasından 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda taze havanın sıcaklığı ve basıncı artar. 2 noktasından 3 noktasına kadar çalışma maddesine **sabit basınçta** dışarıdan ısı verilir. Sonuç olarak basınç ve sıcaklık tekrar artar. 2-3 noktaları arasında sabit basınçta genişleme meydana geldiğinden piston aşağı doğru itilir. 3 noktasında sıcaklık enyüksek değerine ulaşır. 3 noktasından 4 noktasına kadar basıncın etkisi ile silindirdeki piston aşağıya doğru AÖN’ye itilerek izantropik bir genişleme gerçekleşir. 4 noktasından 1 noktasına kadar sabit hacimde taze havadan dışarıya ısı atılarak sistem en baştaki koşullarına 1 noktasında döner ve çevrim tamamlanır.



Şekil 3: Dize motorun teorik çevrimi

Karma çevrimin teorik kapalı çevrimi Şekil 4'de P-V ve T-S diyagramları verilerek gösterilmiştir. Silindir içine alınan taze hava 1 noktasından 2 noktasına kadar izantropik olarak sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda taze havanın sıcaklığı ve basıncı artar. 2 noktasından 3 noktasına kadar taze havaya **sabit hacimde** dışarıdan ısı verilir ve sıcaklık ile basınç tekrar yükselir. 2-3 noktaları arasında sabit hacimde basınç artışı meydana gelir. Karma çevrimde basınç artışı oranı önemli parametrelerden biridir. 3-4 noktaları arasında sisteme **sabit basınçta** ısı vermeye devam edilir ve bunu sonucu olarak sabit basınçta genişleme meydana gelir. Sabit basınçta meydana gelen bu genişleme de karma çevrimde önemli parametrelerden biridir. Basıncın etkisi ile piston AÖN'ye doğru itilir. 4 noktasında sıcaklık maksimum değerine ulaşır. 4-5 noktaları arasında izantropik genişleme meydana gelir ve piston basıncın etkisi ile AÖN'ye itilmeye devam edilir. 5 noktasına ulaşıldığında sistemdeki taze havanın sıcaklığı ve basıncı başlangıç noktasındakinden daha yüksek değerlerdedir. Çevrimin izantropik olabilmesi için 5 noktasından 1 noktasına kadar **sabit hacimde** çalışma maddesinden dışarıya ısı atılır ve 1 noktasında sistem en baştaki koşullarına döner. Böylece çevrim **içten tersinir** olarak tamamlanır.



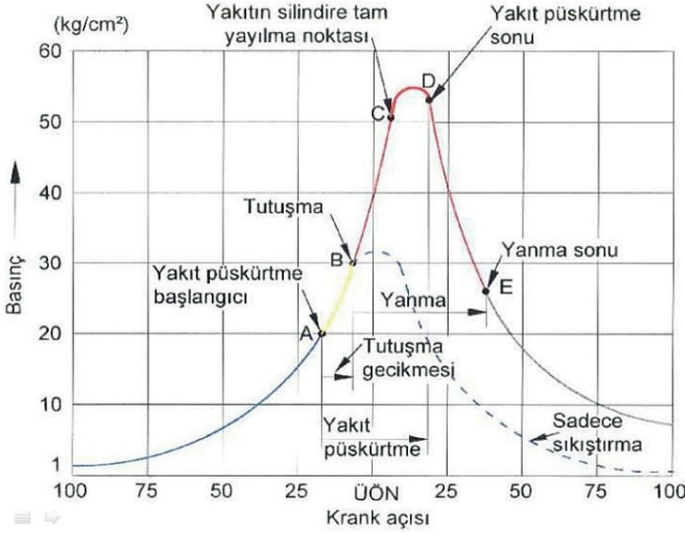
Şekil 4: Karma çevrim P-V ve T-S diyagramı

YANMA REAKSİYONLARI

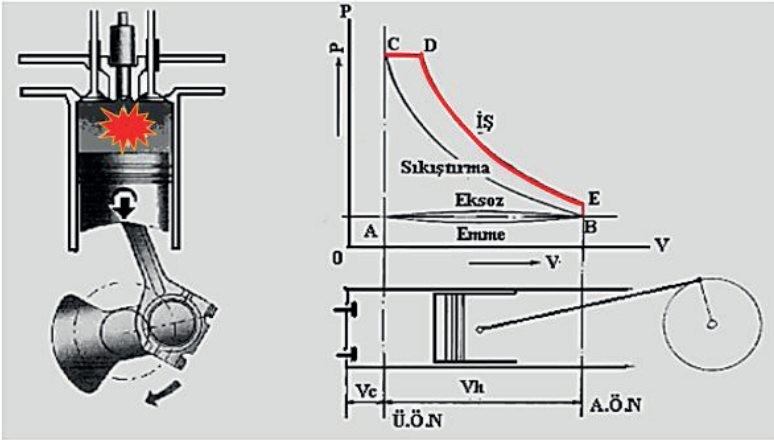
İçten yanmalı motorlarda yanma karakteristikleri, motor gücünün belirlenmesinde, motor tasarımı, yakıt püskürtme sistemleri geliştirilmesi ve egzoz emisyonlarının yorumlanmasında önemli rol oynamaktadır. Yanma reaksiyonlarının karakteristikleri, ısı dağılımı eğrisi, yanma ve püskürtme zamanlarına bağlı olarak elde edilen tutuşma gecikmesi, maksimum silindir dolgu basıncı ve yanmanın krank açısı cinsinden yeri, ısı dağılımı eğrisi, yanma ve yanma süresinin parametrelerinden oluşur. Benzinli ve dizel motor için tam yanma reaksiyonu kimyasal denklemi aşağıda verilmiştir.



Benzinli motorlarda yanma sonucu silindir içinde sıcaklık ve basınç artışı olur. Benzinli motorlarda silindir içine alınan hava-yakıt karışımının buji ile ateşlenerek yanması ile yanma sonu sıcaklık 1400-1600 °C sıcaklıklara ulaşmaktadır. Yanma safhaları görülebilen Şekil 5'deki dizel yanma diyagramında görülebileceği gibi dizel motorda emme strokunda yalnızca taze hava alınır. Emme stroku sonunda silindir içindeki basınç 0,7 – 0,9 bar sıcaklık 80–120 °C olur. Sıkıştırma stroku sonunda silindir içerisindeki havanın basıncı 30 – 45 bar, sıcaklığı ise 900 °C dereceye kadar yükselmiş olacaktır. Sıcaklığı ve basıncı yükselen sıkıştırılan havanın üzerine enjektör tarafından yakıtın basınçlı olarak püskürtülmesi sonucu yanma gerçekleşir Silindir içi yanma sonu sıcaklığının 2000 °C sıcaklıklara kadar ulaşmaktadır. Dizel motorun işin üretildiği genişleme stroku P-V diyagramı Şekil 6'de gösterilmiştir.



Şekil 5: Dize yanma safhaları



Şekil 6: Dize motor genişleme stroku P-V diyagramı

Dize yanma diyagramında görülebileceği üzere dize yanma olayı 1-Tutuşma gecikmesi 2-KontROLSÜZ yanma 3- Kontrollü yanma 4-Art yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir

Dize yanma diyagramında kesikli çizgi ile görülebileceği gibi sadece havanın sıkıştırılması ile yanmanın olmaksızın ulaşılabilecek silindir içi basınç 30 bar civarındadır. Sıkıştırma strokunun sonundan önce A noktasında püskürtülen motorin yakıt B noktasında tutuşmaya başlamaktadır. A-B noktaları arası geçen süre tutuşma gecikmesi süredir. Tutuşma gecikmesi anında

silindir içine atomize olarak püskürtülen yakıt zerrelere çevresindeki hava ile yanmaya başlarken ana yakıt jetinin dış çeperinin ısınmasını ve diyagramda B-C arasında gösterilen bu yakıt huzmesinin ani olarak patlayarak yanması kontrolsüz yanma olarak adlandırılır. Püskürtülmeye devam edilen yakıtın yanmaya devam ettiği C-D arasındaki kontrollü yanmanın ardından genleşme strokunda yanmaya katılmayan yakıtlar D-E aralığında oksijen ile karşılaştıkça yanarak art-gecikmiş yanma meydana gelir.

SOĞUTMA SİSTEMİ

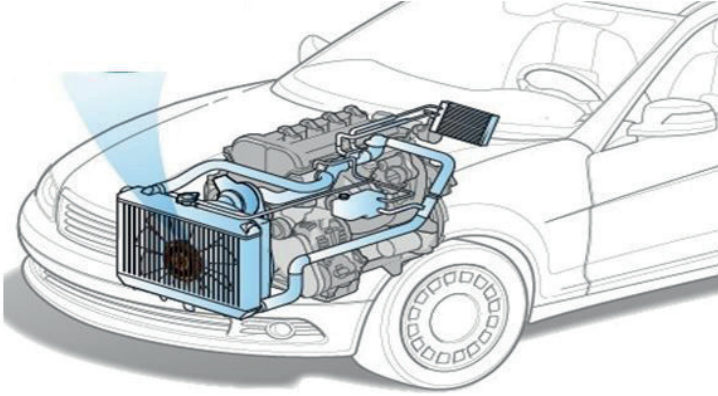
İçten yanmalı motorlarda yanma ile ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar motor parçalarına zarar verdiği gibi yanma verimi düşürme ve zararlı emisyonlarının kötüleşmesine neden olmaktadır. Soğutma sistemi motor parçalarının ve motor yağının aşırı ısınmasını önlenmesini, motoru en verimli ısıya en kısa zamanda yükseltmesi ve motorun tam güç verecek şekilde çalışma sıcaklığında kalmasını sağlamaktır. Yakıtın yanması sonucu oluşan sıcaklığın 1/3'ünü silindir cidarları, pistonlar ve silindir kapağı gibi yanma odası parçaları üzerinde soğutma sistemine geçmektedir. Yanma odası parçalarının aşırı ısınması durumunda silindir cidarlarında buluna yağ filmi yanar ve yağ tabakası yağlama özelliğini kaybeder.

Aşırı ısınan özellikle hareketli parçaların yağlanması yağın özelliğinin kötüleşmesi nedeniyle gerçekleşmez. Ayrıca genleşen parçalarda soğutmanın da yeterince iyi olmaması nedeniyle zarar görecektir. Aşırı ısınan motor yağının viskozitesinin düşmesi ile silindir cidarlarını tutunma özelliğinin kötüleşmesi nedeniyle yağlamanın yetersiz olması ile pistonun silindirde sıkışması ve yatak sarması gibi ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir.

Motor çalıştığında recim sıcaklığına ulaşınca kadar soğutma sistemi devreye girmemektedir. Soğutma sistemi motor rejim sıcaklığına girmeden devreye girerse veya geç devreye girerse yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır. Motor soğutma işlemi hava ile yapılacağı gibi su/sıvı ile de yapılmaktadır. Dört stroklu çok silindirli motorlarda soğutma işlevi su bazlı sıvılar ile yapılmaktadır.

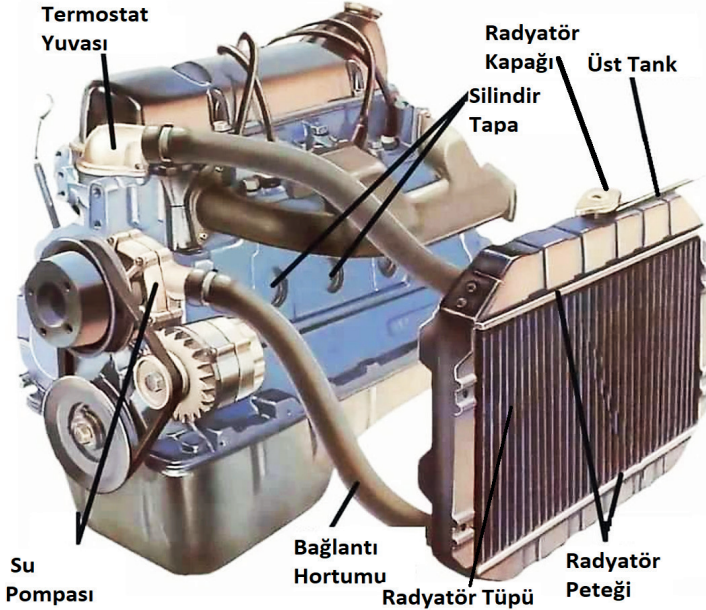
Sıvı Soğutmalı Sistemler

Sıvı soğutmalı motorlarda soğutucu akışkan olarak genellikle su kullanılır. Su soğutmalı motorlarda, motorun içerisinde meydana gelen ısı, motor soğutma suyu tarafından alınır ve radyatörde soğutulur. Genel motor soğutma sisteminin araç üzerindeki yerleşimi Şekil 7'de gösterilmiştir.



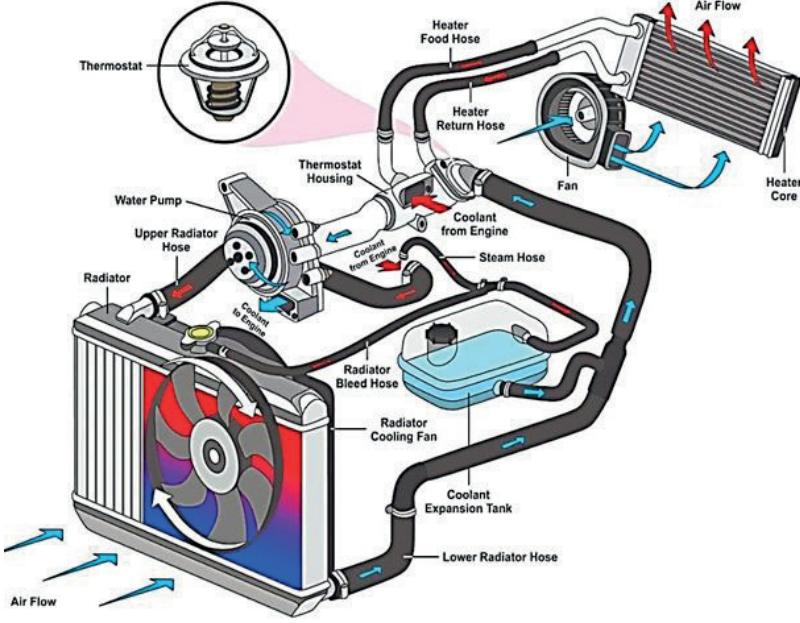
Şekil 7: Motor soğutma sisteminin araç üzerindeki yerleşimi

Gerçek hali Şekil 8’de görülen motor soğutma sisteminde yanma odası elemanlarının üzerinde bulunan ısı yükünün azaltılması ve silindir içinde oluşan fazla ısıyı atmak için silindir etrafında bulunan su ceketlerinden geçen su, devirdaim su pompası ile radyatöre gönderilir. Radyatöre gelen sıcak su, aracın ileri gitmesi ve radyatörün arkasında bulunan fanın havayı absorbe etmesi ile radyatör kılcal peteği arasında giren hava ile soğur (Milli Eğitim Bakanlığı, 2011).



Şekil 8: Soğutma sisteminin gerçek görünümü

İçten yanmalı motorlarda soğutma sisteminin genel yapısı Şekil 9’da ki gibi radyatör, radyatör fanı, radyatör su boruları, devirdaim su pompası, genişleme tankı kalorifer radyatörü, kalorifer fanı, termostat elamanlarından oluşur.

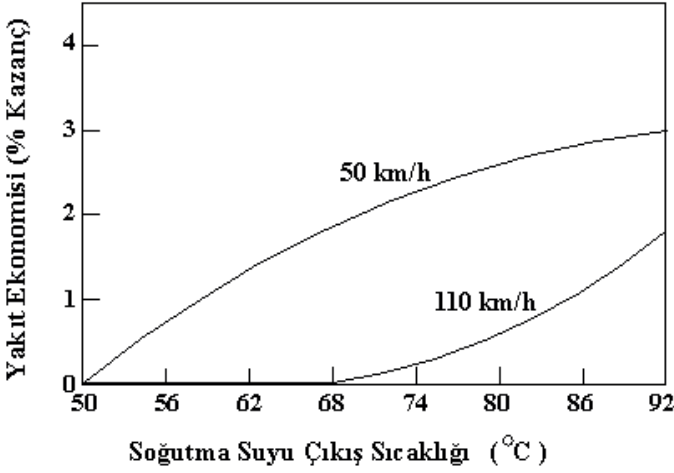


Şekil 9: Motorlarda soğutma sistemi (Sabhadiya, 2024)

Motor soğukken çalıştırıldığında soğutucu akışkanın termostat yardımı ile radyatöre gitmesi engellenerek motor su ceketleri etrafında ve baypas devresi içinde devirdaim yaptırılır. Böylelikle motorun çalışma recim sıcaklığına ulaşması hızlandırılarak yakıt tasarrufu ve emisyon oranlarının iyileşmesine destek verilir. Motor gerekli sıcaklığa ulaşması ile termostat açılarak suyun radyatöre gitmesi sağlanıp suyun soğuması sağlanır. Ayrıca, sıcak motor soğutma uyu kaloriferden geçmesi sağlanarak istenildiğinde araç içinin ısınmasını sağlar.

SOĞUTMA SİSTEMİNİN MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ

İçten yanmalı motorlarda soğutma sisteminin görevi; bütün çalışma koşulları altında motoru en verimli çalışma sıcaklığında tutmaktır. Soğutma suyunun yakıt tasarrufunda önemli etkisi vardır. Şekil 10’da görüleceği üzere belirli bir sıcaklığın altında meydana gelen kayıplar daha da artmaktadır.



Şekil 10: Soğutma suyu sıcaklığının yakıt tasarrufuna etkisi (Crouse, 1970)

Soğutma suyunun temas ettiği yama odası elemanlarının, silindir kapağı, motor bloğu, silindir gömleğinin soğuması anlamına gelmektedir. Silindir cidarlarının soğumasının yanma odasının daha soğuk olacağı anlamına geleceğinden sıkıştırma sonu sıcaklık ve basıncının, dolayısıyla fren ortalama efektif basıncının azalmasına ve yakıt tüketiminin artmasına neden olacaktır. (Borat, Öz, & Sürmen, 1995; Garrett, Newton, Steeds, 2001) Soğutma suyunun sıcaklığının yüksek olması tutuşma gecikmesinin kısaltacaktır.

Soğutma suyunun motor bloğunu, silindir kapağını, silindir göleğini supap ve pistonların yeterince hızlı soğuması da motor performansı ve emisyonların kontrolü açısından oldukça önemlidir. Yapılan bazı çalışmalarda (Ganesh Kumar et al., 2023; Hilali, Karadağ, & Çiftci, 2023; Koca, 2020; Pongavanam et al., 2024; Taşkesen, Gürbüz, Dumrul, Damarseçkin, & Bilen, 2023) soğutma sıvısına belirli oranlarda eklenen nanopartikül maddeler ile soğutma performansı artırılmaya çalışılmaktadır. Soğutma suyunun içine düşük sıcaklıklarda donmalara ve suyun temas ettiği parçaların oksidasyon ve paslanmasını önlemek için gliserin, etilen glikol gibi sıvılar eklenir. Böylelikle uzun süre soğuk ve sıcak havalarda sorunsuzca işlevini yerine getirebilir. Ayrıca, soğutma suyunun içine veya soğutma sıvısını içine Al_2O_3 , CuO, MgO ve FeO gibi nano boyutlu toz maddeler eklenerek suyun üzerinde taşıdığı ısının daha hızlı bir şekilde radyatörde atılması sağlanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda MgO içerikli nano akışkanın Al_2O_3 içerikli nano akışkanına göre daha performans gösterdiği ve soğutmayı yaklaşık %30 iyileştirdiği gö-

rülmektedir. Nano boyutlu tozların maliyeti oldukça yüksek olması nedeniyle nano akışkan oluşturmak için genel olarak kütle ve hacimsel olarak % 0.02-1 aralığında soğutma suyunun veya soğutma sıvısının içine çözelti oluşturarak veya doğrudan karıştırarak kullanılır. Nano parçacıkların zaman içinde özellikle aracın çalışmadığı anlarda soğutma sıvısının yoğunluğuna göre çökelmeler meydana gelmektedir.

Motorlarda kullanılan alternatif yakıtların farklı yanma sonu sıcaklığı olmaktadır. Aynı motorda ve aynı soğutma sisteminde daha iyi sonuçlar alabilmek için akıllı soğutma sistemleri kullanılması gerekmektedir. Farklı yakıtların soğutma suyunun soğutma performansı ve ısı transferinin incelenmesinin birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmaktadır.

FARKLI YAKIT KULLANIMININ RADYATÖR PERFORMANSINA ETKİSİ

Soğutma suyunun performansını belirlemek için deneysel veriler ile bazı hesaplamalar yapmak gerekir. Radyatörde meydana gelen ısı transferi eşitlik 1 ile bulunmuştur. Termal özellikler için sıvı giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması alınarak o değere karşılık gelen veriler alınmıştır.

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_g - T_ç) \quad 1$$

Burada Q, ısı transfer miktarı, C_p sıvının özgül ısısı, T_g ve T_ç otomobil radyatörünün sıvı giriş ve çıkış sıcaklığıdır. Isı transfer katsayısını ve toplam ısı transfer katsayısı bulmak için aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$H = Q / (n \cdot A_s \cdot (T_g - T_ç)) \quad 2$$

$$U = Q / n \cdot A_s \cdot \text{OrtLog}T \quad 3$$

Burada H ısı transfer katsayısı, n radyatör borusu sayısı, A_s yüzey alanı, U toplam ısı transfer katsayısı, A_s Radyatör yüzey alanı ve OrtlogT logaritmik ortalama sıcaklık farkıdır.

$$\text{Ortlog}T = (T_g - T_ç) / \ln T_g / T_ç \quad 4$$

Nusselt sayısı aşağıdaki denklemi kullanılarak hesaplanabilir.

$$Nu=h.d/k$$

Burada Nu, Nusselt sayısını, h ısı transfer katsayısını, d radyatör borusunun hidrolik çapını ve k ısı iletkenlik katsayısını göstermektedir.

Aşağıdaki grafikler bir dizel motorda etanolün fumigasyon yöntemi ile kullanımının motor performansına ve zararlı emisyonlara olan etkisinin farklı çalışma koşullarında deneysel olarak yapılan çalışmada elde edilen soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıklarına göre hesaplanarak yapılmıştır. Soğutma sıvısı olarak normal su kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan radyatör özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

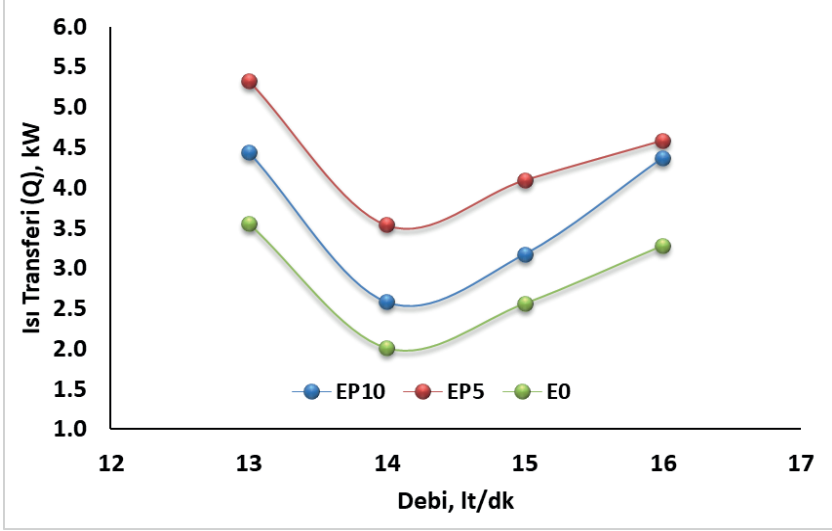
Tablo 1 Radyatöre ait özellikler

Kanatçık Malzemesi	Alüminyum
Tüp Malzemesi	Alüminyum
Tüp Şekli	Silindirik
Tüp Sayısı	100
Tüp Çapı	10 mm
Radyatör ölçüleri:	Yükseklik= 150 cm, Genişlik = 78 cm, Derinlik 4,7 cm

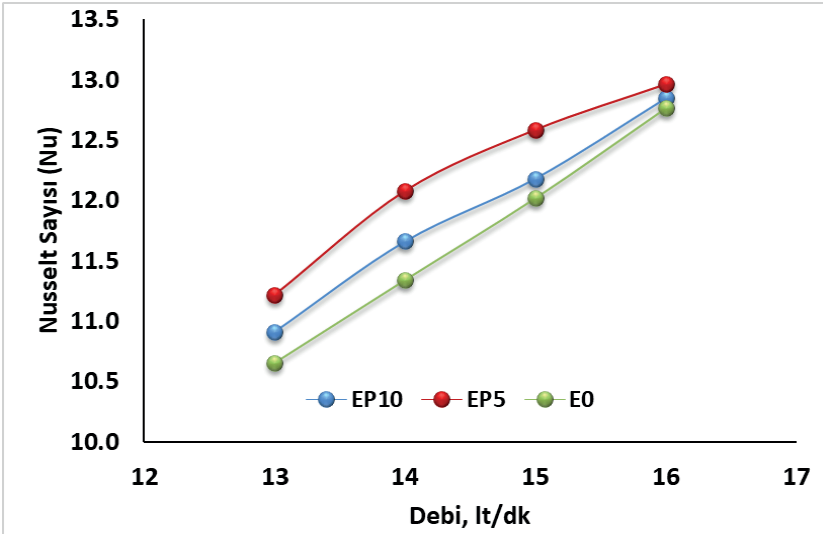
Radyatör giriş-çıkış sıcaklıkları, K tipi termokupullar ile ölçülerek kayıt edilmiştir. Elde edilen veriler ile bilgisayar ortamına ısı transfer hesaplamaları yapılmıştır. Dizel motor 3 silindirli bir traktör motoru olup 2.9 litre hacimli olup normal dizel yakıt ile çalıştırılmıştır. Daha sonra enerji içeriğine göre %5 ve %10 etanol, fumigasyon yöntemi kullanılarak motor çalıştırılmıştır. Grafiklerde E0 dizel yakıt, EP5 %5 etanol, EP10 %10 etanol ilavesi ile elde edilen soğutma suyu verilerinin hesaplama sonuçlarını göstermektedir.

Şekil 11’de deney yakıtlarının farklı debilerde ortalama 65 °C giriş sıcaklığında radyatör suyunun ısı transferini göstermektedir. Su ile yapılan deneyde, dizel yakıtı (E0) kullanıldığında ısı transferi 13 lt/dk’lık debide 3.55 kW ve 16 lt/dk’lık debide 3.3 kW’dır. EP5 yakıtı kullanıldığında ısı transferi 13 lt/dk’lık debide 5.32 kW ve 16 lt/dk’lık debide 4.58 kW’dır. EP10 yakıtı kullanıldığında ısı transferi 13 lt/dk’lık debide 4.45 kW ve 16 lt/dk’lık debide 4.32 kW’dır. Motor deneylerinde fumigasyon yöntemi ile kullanılan etanol ile dizel yakıtı göre radyatörün ısı transfer performansı daha iyi olmuştur. Fakat Etanol miktarı %10 yapılıncaya ısı transfer miktarı biraz düşmüştür. Bu azalışın nedeni fumigasyon yöntemi için emme portuna enjekte edilen etanol miktarının artması ile silindir içine alınan hava miktarının düşmesi ve silindir içine giren etanol+dizel yakıtın toplam setan sayısının azalması neticesinde yanma sonu sıcaklığının düşmesi olarak görülebilir. Şekil 12 ‘de deney yakıt-

larının farklı debilerde ki Nusselt sayının değişimini göstermektedir. En yüksek Nusselt sayısı EP5 ile, en düşük Nusselt sayısı E0 elde edilmiştir. Debinin artması ile Nu artış gözlemlenmiştir. E0 yakıtına göre en çok artış %6.48 ile 14 lt/dk debide olmuştur.



Şekil 11: Deneysel yakıtları için ısı transferinin debiye göre değişimi



Şekil 12: Deneysel yakıtları için Nusselt sayısının debiye göre değişimi

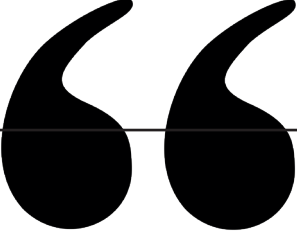
SONUÇ

İçten yanmalı motorlarda çalışma prensibi ve kullandığı yakıtı bağlı olarak ya yanma sonu sıcaklığı değişmektedir. Dizel motorlarda yanma sonu sıcaklığının 2000 °C sıcaklığa kadar yükselmesi, yanma kontrolü zorlaştırdığı ve NO_x gibi zararlı emisyonları kötüleştirdiği gibi motor parçalarında yüksek sıcaklığa maruz kalması sonucu kullanım ömrü de kısalmaktadır. Bu gibi handikapların üstesinde gelmek için motor soğutma sistemi kullanılmaktadır. Soğutma sistemi motorun gücüne ve kullanılan yakıtı göre uygun özellikte seçilmesi ve tasarlanması gerekmektedir. Soğut sistemin performansını değerlendirmenin en kolay yolu soğutma sıvısının radyatöre giriş çıkış sıcaklığı baz alınarak hesaplamalar yapılmasıdır. Ayrıca, radyatör ısı transferinin artırmak için metal bazlı nano akışkanlar kullanılmaktadır.

Motorda kullanılan yakıtlarında motor soğutma sistemine ilave yük getirip getirmediği analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada farklı 3 yakıtın motor soğutma sistemine olan etkisi analiz edilmiştir. Dizel motorda, %5 ve %10 enerji oranına sahip etanol emme portundan fumigasyon yöntemi ile püskürtülerek çalıştırılmıştır. Motor performans deneyleri esnasında farklı debilerdeki soğutma suyunun radyatöre giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçülerek hesaplamalar yapılmıştır. Sonuç olarak dizel yakıtı göre yakıtı fumigasyon yöntemi ile etanol ilavesinin ısı transfer miktarını artırdığı tespit edilmiştir.

REFERANSLAR

- Borat, O., Öz, İ., & Sürmen, A. (1995). *İçten Yanmalı Motorlar*. Teknik Eğitim Vakfı Yayınları.
- Crouse, W. H. (1970). *Automotive Engine Design*. McGraw-Hill.
- Ganesh Kumar, P., Vigneswaran, V. S., Sivalingam, V., Velraj, R., Kim, S. C., & Ramkumar, V. (2023). Enhancing heat transfer performance of automotive radiator with H₂O / activated carbon nanofluids. *Journal of Molecular Liquids*, 371. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.121153>
- Garrett, Newton, Steeds, W. (2001). *The Motor Vehicle*. Butterworth-Heinemann. Butterworth-Heinemann.
- Hilali, İ., Karadağ, R., & Çiftçi, H. (2023). Bir Araç Radyatöründe Al₂O₃ ve MgO Nano Akışkanları Kullanımının Isı Transferine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi Experimental investigation of the effect of using Al₂O₃ and MgO nanofluids on heat Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8733, 42–53. <https://doi.org/10.46578/humder.1197651>
- Koca, T. (2020). Otomobil Radyatöründe Su Bazlı Grafen Nanoakışkan Kullanımının Isıl Verimliliğe Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1157–1166. <https://doi.org/10.24012/dumf.736458>
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2011). *Motorlu Araçlar Teknolojisi Motor Donanımları*. Retrieved from http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Motor_Donanımları.pdf
- Poongavanam, G., Sundaram, P., Sathishkumar, A., Sureshkumar, K., Subramanian, B., Pandiaraj, S., ... Alodhayb, A. N. (2024). Augmenting the heat transfer performance of automobile radiators by combining surface modification and nanofluid techniques. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 149(9), 4087–4102. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-12988-x>
- Sabhadiya, S. (2024). What is Cooling System?- Types, and How it Works. Retrieved August 8, 2024, from <https://www.theengineeringchoice.com/what-is-cooling-system/>
- Taşkesen, E., Gürbüz, H., Dumrul, H., Damarseçkin, S., & Bilen, E. N. (2023). Araba Radyatöründeki Nanoakışkanların Isı Transfer Performansı. In *1st International Conference on Recent Academic Studies* (pp. 124–128). All Sciences Proceedings.



Bölüm 2

BİR KÖMÜR OCAĞININ RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ

Mehmet HASKUL¹

Büşra SEVİM²

¹ Doç. Dr.; Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü.
mehmethaskul@gmail.com ORCID No:0000-0001-8671-4597

² Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

GİRİŞ

İş sağlığı ve iş güvenliği, çalışma yaşamında önemli bir konumda yer almaktadır. Madencilik de, iş yapısı gereği dünyada en fazla iş kazası ve insan kaybının yaşandığı sektörlerden biri olduğundan dolayı iş sağlığı ve güvenliğinin bu sektördeki önemi daha büyük hale gelmektedir. Meydana gelen iş ve işçi kazalarının önüne geçmekte bilimsel ve teknolojik gelişmeler yetersiz kalabilmektedir. Böyle durumlarda acil durum eylem planı hazırlama ve acil durum yönetimi her aşamasında iş sağlığı ve güvenliği riski barındıran maden işletmeleri için çok büyük yere sahip olmaktadır. Acil durum eylem planında, acil durumlar ve bu durumlara karşı alınacak olan tedbirlerin tanımlaması yapılmalı, bunlardan kaynaklı olası yaralanma, ölüm, hastalık ve tesis hasarı gibi olumsuz etkileri önlemek veya azaltmak için planlar yapıp yöntemler izlenmeli, güncellemeler yapıp daimi olması sağlanmalıdır. Maden işyerlerinde olası tüm acil durumlar ile ilgili senaryolar oluşturulup, buna dayanarak acil durum yönetimi sağlam adımlarla yapılmalıdır. Tüm bunlar yapılırken madenlerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ilgili yönetmelikler, kanunlar dikkate alınmalı, acil durum planlarının özenle hazırlanması sağlanmalıdır.

Maden işletmeleri çok tehlikeli sınıfta bulunan sektörlerden biri olduğundan dolayı İSG alanında çalışma yapan araştırmacılar tarafından ilgi konusu olmaya devam etmektedir. Bu kapsamda araştırmacılar geçmişte ve günümüzde maden işletmelerinde meydana gelen kazaları incelemekte ve bununla ilgili olarak araştırma yapmaya devam etmektedir.

Önder ve Önder (2010) TKİ ocaklarında 2001-2008 yılları arasında gerçekleşmiş olan iş kazaları ele alınmış; iş grupları ve kaza sebeplerine göre bir analiz gerçekleştirilmiştir. Civelekler (2012) Eskişehir’de yer alan Manyezit Açık Ocak İşletmesi’nde 2011 yılında Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi ile yapılmış olan risk analizi ve değerlendirmesi yapılmıştır. Tosun (2015) yapmış olduğu tez kapsamında bir yeraltı krom işyerinde risk analizi yapılmış olup iş güvenliği ve sağlığı bakımından risk teşkil eden durumlar belirlenip değerlendirilmiştir. Dirik (2016) açık işletme yöntemiyle kömür üretimi yapan inceleme yapılan yeraltı kömür ocağında Fine-Kinney Risk Analizi Yöntemi kullanılmıştır. Bayraktar vd. (2017) ülkemizde madencilik faaliyet alanının ne durumda olduğunu anlayabilmemiz adına iş kazası istatistiklerinden yararlanılarak değerlendirme yapılmıştır. Aksoy (2017) Güvenli Kömür Madenciliği Araştırma Projesi kapsamında metan parlamasına yönelik deneyler yapılmıştır. Özakel (2017) Mersin’in Silifke ilçesinde bulunan çimento üretimi yapan açık ocak işletmesi kalker ocağında Fine-Kinney risk analiz metodu uygulanarak risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Koçak (2019) Zonguldak havzasında 1970-2017 yılları arasında gerçekleşen ölümlü iş kazası TTK verileri incelenip analiz edilmiştir. Altın (2019) 1940-2019 yılları arasında Zonguldak Kömür Havzası’nda yapılan araştırmalarda 5 işletmede gerçekleşen 412.463 iş kazası incelenmiştir. Özcan (2020) silis kumu üreten bir maden işletmesinde Fine Kinney Risk Analizi yöntemi ile risk değerlendirmesi yapılmıştır.

İSGK ve RDY’de risk değerlendirmesi; “İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile

tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalardır.” şeklinde tanımlanmıştır. Risk değerlendirmesi; iş kazalarına, meslek hastalıklarına neden olan tehlikelerin, bu tehlikelerin oluşturabileceği risklerin belirlenmesi ile kanun, yönetmelik ve tüzükler çerçevesinde alınan önlemlerin tamamıdır. Muhtemel iş kazaları risklerine neden olabilecek tehlikeli davranışların ve tehlikeli durumların, yapılan işin ve işyeri koşullarının incelenerek gerçekleşme olasılıklarının tahmini ve önceliklerinin sınırlandırılmasının bir çizelgede gösterilmesine “risk analizi” denilmektedir (Öztaş, 2007).

Matris diyagramları, iki ya da ikiden fazla değişken arasında bulunan ilişkiyi analiz etmek amacıyla kullanılır. Bu yöntemde, tehlikelerin meydana gelme ihtimali ile meydana geldiğinde oluşturduğu zarar arasında bulunan ilişki analiz edilir. Kolay olması ve bir kişinin bile yapabilmesinden dolayı en çok kullanılan yöntemlerden birisidir (Koltan vd, 2010). Bu yöntemde risk hesaplaması, tehlikeli bir olayın gerçekleşme olasılığı ile tehlikenin etkisi (şiddeti) verilerinin çarpımının bir sonucudur. Matris Risk Düzeyi Formülü **Risk Düzeyi** = Olasılık x Şiddet olarak verilmiştir.

Bir olayın gerçekleşme ihtimalini “olasılık”; olası bir olayın sonrasında oluşacak zararın derecesini “şiddet” gösterir. Aşağıdaki tablolarda Özkılıç (2005), Gül ve Güneri (2016) kullanmış olduğu matris metodları risk durumları belirtilmiştir.

Tablo 1: Risk değerlendirme-1

Sonuç	Eylem
Katlanılamaz Riskler (25)	Belirlenmiş olan risklerin kabul görülür bir seviyeye indirgenmesine dek olan sürede işin başlatılmasına izin verilmemeli, sürmekte olan bir iş varsa da acilen durması sağlanmalıdır. Eğer yapılan çalışmalara rağmen riskler kabul görülür bir seviyeye indirgenemiyorsa yapılan işe son verilmelidir.
Önemli Riskler (15,16,20)	Belirlenmiş olan riskler azaltılana dek iş başlatılmayıp, devam etmekte olan işlerin ise durdurulması sağlanmalıdır. İş devam ederken oluşan bir risk ise derhal bununla ilgili önlem alınıp daha sonra işin devam edip etmemesine karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Belirlenmiş olan riskler azaltmak için çalışmalar yapılır. Bu çalışmalar vakit alabilir.
Katlanılabilir Riskler (2,3,4,5,6)	Belirlenmiş olan riskleri yok etmek amacıyla ek kontrol sürecine gerek duyulmayabilir. Devam etmekte olan kontrollerin sürüp sürmediğinin denetimi yapılmalıdır.
Önemsiz Riskler (1)	Belirlenmiş olan riskleri yok etmek amacıyla kontrol sürecinin planlanmasına ve yapılacak olan çalışmaların kayıtlarını bulundurmaya ihtiyaç duyulmayabilir.

Kaynak: Gül ve Güneri, 2016; Özkılıç, 2005

Özkılıç ile Gül ve Güneri'nin matris metodunda tablolardan da anlaşılacağı üzere risk skoru ve risk değerlendirme tablosundaki bilgiler ikisinde de aynı olduğu görülmüştür.

Tablo 2: Risk skoru-2

RİSK SKORU	ŞİDDET				
	1 (Çok hafif)	2 (Hafif)	3 (Orta)	4 (Ciddi)	5 (Çok Ciddi)
1 (Çok küçük)	1 Düşük	2 Düşük	3 Düşük	4 Düşük	5 Düşük
2 (Küçük)	2 Düşük	4 Düşük	6 Düşük	8 Orta	10 Orta
3 (Orta)	3 Düşük	6 Düşük	9 Orta	12 Orta	15 Yüksek
4 (Yüksek)	4 Düşük	8 Orta	12 Orta	16 Yüksek	20 Yüksek
5 (Çok yüksek)	5 Düşük	10 Orta	15 Yüksek	20 Yüksek	25 Yüksek

Kaynak: Ceylan ve Başhelvacı, 2011; Ünverdi ve Çetinyokuş, 2021

Tablo 3: Risk değerlendirme-2

Renk	Risk Skoru	Değerlendirme	Eylem
Kırmızı	15,16,20,25	Yüksek (Kabul Edilemez) Risk	Bu risklerle ilgili hemen düzeltici-önleyici çalışma yapılmalıdır
Sarı	8,9,10,12	Orta (Dikkate Değer) Risk	Bu risklere mümkün olduğu kadar çabuk müdahale edilmelidir (6 ay içerisinde yönetimin onayı ile)
Yeşil	1,2,3,4,5,6	Düşük (Kabul Edilebilir) Risk	Acil tedbir gerektirmeyebilir (1 yıl içerisinde veya daha fazla yönetimin onayı ile)

Kaynak: Ceylan ve Başhelvacı, 2011; Ünverdi ve Çetinyokuş, 2021

Ceylan ve Başhelvacı ile Ünverdi ve Çetinyokuş matris metodunda tablolardan da anlaşılacağı üzere risk skoru ve risk değerlendirme tablosundaki bilgiler ikisinde de aynı olduğu görülmüştür.

Çalışmada, incelenen kömür ocağına ait L Tipi Matrisi Metodu'na göre hazırlanmış olan yer üstü (Lavuar) ve yeraltı risk değerlendirmesi tablosuna yer verilmiştir.

Tablo 3: Yer Üstü (Lavuar) Risk Değerlendirme Tablosu

Sıra No	Yer	Tehlike	Risk	Mevcut Önlemler	Maruz Kalan Kişiler	Risk Bileşenleri			Risk Düzeyi	Önerilen Önlemler	Faaliyet Sorumlusu	Risk Bileşenleri			Risk Düzeyi
						Şiddet (Ş:1-5)	Olasılık (O, 1-5)	Risk-Seviyesi (RS)				Şiddet (Ş:1-5)	Olasılık (O, 1-5)	Risk-Seviyesi (RS)	
1	Filtrasyon C Binası	Tesis İçinde Bulunan Zemin Saçlarının Çürümesi	Uzun Kaybı, Ölüm	Zemin saçları uygun malzemedan yapılmıştır.	Binada Görevli Çalışanlar	4	4	16	Kabul Edilemez Risk	Çürüyen Saçların Yenilenmesi, Kullanılmayan Kısımların Kapatılması	İşveren, Bakım Sorumlusu	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk
2	Tesis İçi	Pencere, Cam Ve Kapıların Olmaması Veya Kırık Olması	Uzun Kaybı, Ölüm	Yeterli sayıda pencere ve kapı mevcuttur. Fakat yer yer hasarlar bulunmaktadır.	Tüm Çalışanlar	4	4	16	Kabul Edilemez Risk	Eksik Yerlerin Tamamlanması, Kırık Ve Kullanılmayan Durumdakilerin Yenilenmesi	İşveren, Bakım Sorumlusu	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk
3	Filtrasyon	Tikiner Havuzunun Korkuluklarının Eksik Olması	Boğulma, Ölüm	Korkulukların boyutları uygun seviyededir fakat eksiktir.	Havuzdan Sorumlu Çalışanlar	4	4	16	Kabul Edilemez Risk	Tikiner Havuzundaki Korkulukların Uygun Şekilde Tamamlanması	İşveren Vekili, Bakım Sorumlusu	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk
4	Filtrasyon	Dinlendirme Havuzunun Etrafında Korkuluk Olmaması	Boğulma, Ölüm	Uyarı levhaları mevcuttur.	Havuzdan Sorumlu Çalışanlar	4	4	16	Kabul Edilemez Risk	Dinlendirme Havuzu Etrafına Uygun Malzemedan Korkuluk Yapılması	İşveren Vekili, Bakım Sorumlusu	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk
5	Tesis İçi	Oksijen Kesme Takımında Emniyet Valflerinin Bulunmaması	Yangın, Patlama	-	Tüm Çalışanlar	4	4	16	Kabul Edilemez Risk	Oksijen Kesme Takımına Emniyet Valflerinin Takılması	İşveren, Tesis Şefi	4	1	4	Kabul Edilebilir Risk

37	Yeraltı Ocağı	Kimyasal madde ile çalışmada KKD kullanmam	Ölüm, Zehirlenme, Kimyasal yanıklar, Boğulma	Kimyasal maddelerle çalışmada KKD kullanımı ile ilgili gerekli eğitim verilmiştir.	Çalışanlara KKD kullanımı ile ilgili gerekli eğitim verilmiştir.	Kimyasal Maddelerden Sorumlu Çalışanlar	5 2 10	5 2 10	Dikkate Değer Risk	KKD Kullanımının Denetiminin Gerçekleştirilmesi	İşveren Vekilli, Tesis Şefi	5 1 5	5 1 5	Kabul Edilebilir Risk
36	Yeraltı Ocağı	Kimyasal maddelerin kullanım ve depolama prensiplerine uymama	Ölüm, Zehirlenme, Kimyasal yaklar, Boğulma	Kimyasal maddelere görevli personel harici kimsenin erişimi bulunmamaktadır.	Kimyasal maddelerin kullanım ve depolama prensiplerine uymama	Tüm Çalışanlar	5 2 10	5 2 10	Dikkate Değer Risk	Kimyasal Maddelerin Kullanımında Ve Depolanmasındaki Kurallar İle İlgili Eğitim Verilmesi	İşveren Vekilli	5 1 5	5 1 5	Kabul Edilebilir Risk
35	Tesis İçi	Ecza Dolabında İlk Yardım Malzemelerinin Eksik Olması	İş Kazası	Ecza dolabında yaşanabilecek ilkyardım durumları için malzemeler vardır fakat yeterli sayıda değildir.	Ecza dolabında yaşanabilecek ilkyardım durumları için malzemeler vardır fakat yeterli sayıda değildir.	Tüm Çalışanlar	3 3 9	3 3 9	Dikkate Değer Risk	Ecza Dolabında İlk Yardım Yapılabilmesi İçin Gerekli Malzemelerin Yeterli Sayıda Temin Edilmesi, Ecza Dolabının Düzenli Olarak Kontrol Edilmesi	İşveren, İşyeri Hekimi	3 1 3	3 1 3	Kabul Edilebilir Risk
34	Tesis İçi	Yangın Söndürme Tüplerinin Periyodik Kontrollerinin Yapılmaması	Yangın	-	Yangın söndürücüler uygun yükseklikte ve farklı yerlerde konumlandırılmıştır fakat yeterli sayıda değildir.	Tüm Çalışanlar	3 4 12	3 4 12	Dikkate Değer Risk	Yangın Söndürme Tüplerinin Yılda Bir Kontrol Edilmesi, Kullanılan Yangın Tüpünün Tekrar Yerine Asılmaması	İşveren, Bakım Sorumlusu	3 1 3	3 1 3	Kabul Edilebilir Risk
33	Tesis İçi	Yeterli Sayıda Yangın Söndürücü Bulunmaması	Yangın	-	Yangın söndürücüler uygun yükseklikte ve farklı yerlerde konumlandırılmıştır fakat yeterli sayıda değildir.	Tüm Çalışanlar	3 4 12	3 4 12	Dikkate Değer Risk	Tüm Tesiste Yeterli Sayıda Ve Yangın Riskine Uygun (KKT, CO ₂ , Ve Köpüklü) Yangın Söndürücüler Bulundurulması	İşveren	3 1 3	3 1 3	Kabul Edilebilir Risk

9	8	7	6	5
Yeraltı Ocağı	Yeraltı Ocağı	Yeraltı Ocağı	Karo Tesisi	Galeri
Ana Nakliyat Kuyusundan Aşağı Su Gitmesi	Kuyu Tesisinin Depremde Zarar Görmesi	Aspiratör Sisteminin Güç Kaynağının Depremde Hasar Alması	Karo Tesislerindeki Binaların Depremden Zarar Görmüş Olması	Bazı Haberleşme Sistemlerinin Arızalı Olması
Ölüm, Boğulma, Yaralanma	Ölüm, yaralanma, zehirlenme	Ölüm, yaralanma, zehirlenme	Ölüm, yaralanma	Yanma, Patlama, Zehirlenme, Yaralanma, Ölüm
Su sızmasının ne yöne doğru ve ne miktarda olduğunun tespiti yapılmıştır.	Hasarlı kısımlar ile ilgili bilgiler gerekli kişilere ulaştırılmıştır.	Aspiratör sisteminin periyodik kontrolleri yapılmaktadır.	Binalarda alçı, sıvama gibi bazı müdahalelerde bulunmuştur.	Alternatif haberleşme yöntemleri mevcuttur.
Tüm Çalışanlar	Tüm Çalışanlar	Tüm Çalışanlar	Tüm Çalışanlar	Tüm Çalışanlar
5	5	5	5	5
2	2	2	2	2
10	10	10	10	10
Dikkate Değer Risk	Dikkate Değer Risk	Dikkate Değer Risk	Dikkate Değer Risk	Dikkate Değer Risk
Menfezlerin Devamlı Açıklığının Kontrol Edilmesi, Su Sızan Kısımların Kapatılması	Kuyu Tesisinde Zarar Gören Kısımların Onarılması	Aspiratörlerde Yedek Güç Kaynağı Bulundurulması, Güç Kaynağının Yenisiyle Değiştirilmesi	Karo Tesisindeki Yapıların Depreme Dayanıklı Hale Getirilmesi	Haberleşme Sistemlerinin Periyodik Bakımlarının Yapılması
İşveren, Bakım Sorumlusu	İşveren, Bakım Sorumlusu	İşveren, Bakım Sorumlusu	İşveren, Bakım Sorumlusu	İşveren Vekili
5			5	5
1			1	1
5			5	5
Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk	Kabul Edilebilir Risk

10	Yeraltı Ocağı Girişi	İzinsiz İşyerine Girişin Mümkün Olması	Ölüm, Yaralanma, Zehirlenme	Sabit görevli eleman bulunmamaktadır. Güvenlik kameraları vardır fakat bazıları arızalıdır.	Tüm Çalışanlar	5	2	10	Dikkate Değer Risk	Sabit Veya Vardiyalı Çalışacak Kişiler Görevlendirilmesi, Giriş Çıkışlarda Kontrollerin Yapılması, Arızalı Güvenlik Kameralarının Tamir Edilmesi	İşveren Vekili	5	1	5	Kabul Edilebilir Risk
11	Yeraltı Ocağı	İş Bitiminde Gaz Vanalarının Kapatılmaması	Ölüm, Yaralanma, Zehirlenme	Vanaların kapatılması ile ilgili uyarı levhaları bulunmaktadır.	Tüm Çalışanlar	5	2	10	Dikkate Değer Risk	Gaz Vanaların Kapatılması İle İlgili Çalışanlara Bilgilendirme Yapılması	İşveren Vekili, Vardiya Şefi	5	1	5	Kabul Edilebilir Risk
12	Yeraltı Ocağı	Basınçlı Hava Kaplarının Periyodik Kontrol Kayıtlarının Bulunmaması	Ölüm, Yaralanma, Zehirlenme	-	Tüm Çalışanlar	5	2	10	Dikkate Değer Risk	Basınçlı Kapların Periyodik Kontrollerinin Yapılması	İşveren Vekili	5	1	5	Kabul Edilebilir Risk
13	Yeraltı Ocağı	Taşıma Esnasında Oksijen Veya Asetilen Tüplerinin Düşürülmesi Veya Bir Yere Çarpması	Ölüm, Yaralanma, Zehirlenme	Taşıma işlemleri görevli kişilerce yerine getirilmektedir.	Tüm Çalışanlar	5	2	10	Dikkate Değer Risk	Oksijen Ve Asetilen Tüplerinin Taşıma Talimatlarına Uygun Taşıma Yapılması Ve İş Bitiminde Yerüstüne Çıkartılması	Eylemi Gerçekleştiren Çalışanlar	5	1	5	Kabul Edilebilir Risk

Gerçekleştirilmiş olan risk analizi sonucuna göre yer altına ait risk analizinde ise 13 risk tespit edilmiş olup bu risklerin 4 tanesi kabul edilemez ve 9 tanesi dikkate değer risk seviyesindedir. Önerilen önlemlerin alınmasının ardından risk değerlendirmesi yeniden yapılmış ve bunun sonucunda tüm riskler kabul edilebilir risk seviyesine dönüştürülmüştür.

SONUÇ

İşletmelerde risk analizlerinin yapılması iş sağlığı ve güvenliği açısından kanunlara uyum sağlamanın ötesinde bir öneme sahiptir. Risk analizi ile işyerindeki çoğu muhtemel riskler öngörülebilir ve bu risklerin etkileri hesaplanabilir, risklerden kimlerin veya kaç kişinin etkilenebileceği tespit edilebilir. Çalışma alanında meydana gelen veya meydana gelmesi muhtemel olan iş kazaları büyük ölçüde önlenmiş, hastalık, yaralanma, sakatlık ve ölüm gibi sorunlarının da önüne geçilmiş olunur.

Bu çalışmada bir kömür madeni işletmesinde yer altı ve yer üstü ocaklarına ait Matris Metoduna göre risk analizi yapılmış ve muhtemel tehlike ve riskler için alınması gereken önlemler çalışmada yer almıştır.

Çalışmada risk analizi sonuçları neticesinde öncelikli olarak belirlenen yüksek riskli tehlikeler lavuar (yer üstü) için; tesis içinde bulunan zemin saçlarının çürümesi, pencere, cam ve kapıların olmaması veya kırık olması, tikiner havuzunun korkuluklarının eksik olması, dinlendirme havuzunun etrafında korkuluk olmaması, oksijen kesme takımında emniyet valflerinin bulunmaması, oksijen tüplerinin yanıcı tüplere uygun olmayan mesafede depolanması, iş makinelerinin araçlarının periyodik muayene kayıtlarının bulunmaması, iş makinelerinin üzerinde insan taşınması, iş makinelerinin ikaz sisteminin olmaması, trafoların periyodik bakım kayıtlarının bulunmaması, trafoların topraklama testi kayıtlarının bulunmaması, tulumba kablın korumalarının eksik olması, taşıyıcı bant kablın korumalarının eksik olması, tesis içerisinde kullanılmayan bölümlere girişin serbest olması, elektrik panolarının çevresinde ucu açık kablo bulunması, elektrik panolarının önünde yalıtkan paspasların olmaması, kaldırma araçlarının (vinç, caraskal) periyodik muayene kayıtlarının bulunmaması, elektrik kutularının kilitlenmemesi, yetkisiz kişilerin erişimlerinin önlenmemesi, tüm sigortaların korunaklı yerlerde olmaması, bazı prizlerin sağlam olmaması, elektrik elemanlarının topraklama ve periyodik kontrol kayıtlarının bulunmaması, trafolarda, elektrik panolarına ve elektrik odalarına yetkili personel dışındaki kişilere erişime açık olması, çalışan kişilerin iş başındayken aynı pozisyonda uzun süre kalması veya fiziksel anlamda zorlayıcı çalışmalar yapmaları olarak belirlenmiştir. Yapılan risk analizi sonucunda yer üstü yıkama tesisine (lavuar) ait 37 risk tespit edilmiş olup bu risklerin 28 tanesi kabul edilemez risk seviyesinde bulunmaktadır.

Yer altı kömür ocağına ait risk analizinde ise 13 risk tespit edilmiş olup bu risklerin 4 tanesi kabul edilemez risk seviyesinde bulunmaktadır. Bu riskler; kömür ve ahşap malzeme bulunan kısımlarda pasajların sızdırmaz yapısının zarar görmüş olması, yaralıya müdahale için yeterli miktarda ilk yardım malzemesi bulunmaması, göçük oluşması, çalışma ortamında yetersiz sayıda tahkimat bulundurulması olarak tespit edilmiştir.

REFERANSLAR

- Aksoy, C. O., (2017). Yeraltı Ocaklarında Metan Parlaması ve Etkileri Üzerine Deneysel Bir Çalışma . Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu (pp.192-218). Adana, Turkey
- Bayraktar, B., Uygucuğil, H., & Konuk, A. (2018). Türkiye madencilik sektöründe iş kazalarının istatistiksel analizi. *Scientific Mining Journal*, 57, 85-90.
- Ceylan, H., & Başhelvacı, V. S. (2011). Risk değerlendirme tablosu yöntemi ile risk analizi: Bir uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2), 25-33.
- Civelekler, E., & Konuk, A. (2012). Bir manyezit işletmesinde hata türü ve etkileri analizi yöntemi ile iş sağlığı ve güvenliği risk analizi. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Dirik, S. (2016). *Madencilik sektörü faaliyetlerinde iş sağlığı ve güvenliği konusunun 6331 sayılı kanun kapsamında risk değerlendirmesi* (Master's thesis, Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey)).
- Gul, M., & Guneri, A. F. (2016). A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 89-100.
- Koçak, D. (2019). *Bir Kömür Madeninde İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi İçin Uygun Yöntem Seçimi (Appropriate method selection for occupational health and safety risk assessment in a coal mine)* (Doctoral dissertation, Master's thesis, Hacettepe University, 93 p,
- Koltan, A., Orhon, H. Y., Yılmaz, S., Altay, M., Yılmaz, S., & Çay, İ. (2010). Risk Değerlendirmede Kullanılan L Tipi Karar Matrisi Yönteminin İşçi Sağlığına Uygunluğunun Değerlendirilmesi. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 10(38), 38-43.
- Önder, S., & Önder, M. (2010). TKİ'ye bağlı işletmelerde yaralanmalı iş kazalarının analizi. *Madencilik Dergisi*, 49(3), 3-12.
- Özaker, G. (2017). *Maden işletmelerinde iş güvenliği önlemleri ve risk analizi: Medcem Madencilik Çimento Fabrikası kalker ocağı uygulaması* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Özcan, H. A. (2020). *Madenlerde risk değerlendirmesi-örnek bir çalışma* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, 108).
- Özkiliç, Ö. (2005). İş sağlığı ve güvenliği, yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri. *TİSK Yayınları*, Ankara, 336.
- Öztaş, S. (2007). Risklerin Analizi ve Değerlendirilmesine Farklı Bir Bakış. *Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu*, Adana.
- Tosun, M., & Kılıç, A. M. (2015). *Piramit maden hatay krom işletmesindeki iş güvenliği uygulamaları, risk değerlendirmesi ve acil durum planları* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi).

Ünverdi, Ş., & Çetinyokuş, S. (2021). Bir Kamu Kurumunda Bulunan Asbest Uygulama Merkezi ve SEM Laboratuvarında L Tipi Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, 5(2), 99-107.



Bölüm 3

KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANILAN ELYAF TÜRLERİ

Mete Han BOZTEPE¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi.; Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. metehanboztepe@sirnak.edu.tr ORCID No: 0000-0001-8418-1352

GİRİŞ

Günümüzde metaller, polimerler, seramikler ve kompozitler, yapısal malzemelerin dört temel kategorisini oluşturmaktadır. Kompozit malzemeler, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan yapılar olarak tanımlanır. Kompozit malzemeler, aslında yeni bir malzeme türü değildir. Tarih boyunca, makroskopik boyutlarda kompozit malzemeler kullanılmıştır. İnsanlık tarihinin erken dönemlerinde, ilk yapay lifli kompozit örneklerinden biri saman takviyeli kil tuğlalar olarak kabul edilebilir. Bu tuğlalar, yapısal dayanıklılığı artırmak ve çatlama riskini azaltmak amacıyla saman gibi doğal liflerin kilin içine karıştırılmasıyla üretilmiştir.

Güney Amerika ve Orta Amerika'nın ilk yerleşimcileri, pişirme kaplarının çatlamasını önlemek amacıyla bitki liflerini kullanmışlardır. Bu uygulama, kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre üstün özellikler sunduğunu gösteren erken bir örnektir. Ayrıca, Moğol yayları, ahşap ve sığır tendonlarının bir araya getirilmesiyle yapılmıştır; bu, esneklik ve dayanıklılığı artıran bir kompozit malzeme örneğidir. Japon kılıçları ise, hem sert çelik hem de yumuşak demirin kombinasyonundan üretilmiş olup, bu iki malzemenin bir araya getirilmesiyle yüksek performanslı ve dayanıklı kılıçlar elde edilmiştir (Gay et al., 2002; Gibson, 2016).

Kompozit malzemeler, üstün avantajları nedeniyle modern mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin sağladığı üstün özellikler, yapının hafifliği, esnekliği ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklerin yanı sıra darbe direnci ve yorgunluk dayanımı gibi performans kriterlerini de içerir. Bu üstün özellikler, kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre birçok endüstride tercih edilmesini sağlar. Kompozit malzemeler, mühendislik uygulamalarında istenilen özellikleri elde etmek için uygun matris ve liflerin seçilmesiyle üretilir (Boztepe, 2022).

Özellikle günümüzde, lif takviyeli polimer kompozitler (FRP), yüksek özgül sertlikleri, yüksek özgül dayanımları ve kontrol edilebilir anizotropileri nedeniyle geniş bir uygulama yelpazesi bulmaktadır. Bu kompozitler, malzemelerin belirli yönlereki performansını optimize etmek için tasarlanmış olup, çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalarda kullanılmaktadır. FRP kompozitlerinin uygulama alanları geniş bir yelpazeye yayılmaktadır ve bu uygulama alanları, kompozit malzemelerin sunduğu avantajların çok çeşitli mühendislik ve tasarım gereksinimlerine uyacak şekilde özelleştirilebileceğini göstermektedir (Kar, 2017).

Elyaf Türleri

Kompozit malzemeler, genel olarak doğal ve sentetik olarak sınıflandırılır. Doğal kompozitler, doğada kendiliğinden oluşan malzemelerdir. Bu tür

kompozitler, çeşitli doğal materyallerin bir araya gelerek karmaşık ve fonksiyonel yapıların meydana gelmesini sağlar. Doğal kompozitlerin özelliklerini değiştirmek genellikle zor veya imkânsızdır çünkü bu malzemeler doğanın kendiliğinden oluşturduğu ve belirli bir dengeye sahip olan malzemelerdir.

Sentetik kompozitler, insan müdahalesi ile üretilen ve genellikle çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemelerdir. Bu kompozitlerin ana bileşenleri genellikle bir matris ve bir takviye malzemesi (elyaf) içerir. Sentetik kompozitler, matris ve reçine bileşenlerinin özelliklerine bağlı olarak tasarlanabilir ve bu sayede çeşitli fiziksel ve mekanik özellikler elde edilebilir. Örneğin, cam elyafı veya karbon fiber gibi takviye malzemeleri kullanılarak yüksek mukavemetli ve hafif kompozitler üretilir. Sentetik kompozitlerin en büyük avantajı, bu malzemelerin üretim sürecinde yapılabilecek özelleştirmeler sayesinde geniş bir kullanım alanı sunmasıdır. Bu sayede, üreticilere belirli uygulamalar için gereken özelliklere sahip kompozitler üretme esnekliği sağlar. Bu özellikleri ile sentetik kompozitler, otomotiv, havacılık, inşaat ve diğer birçok endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Sonuç olarak, doğal kompozitlerin özellikleri genellikle sabitken, sentetik kompozitler, kullanılan matris ve reçine bileşenlerine bağlı olarak çeşitli performans özellikleri sunarak esnek ve özelleştirilebilir üretim olanakları sağlar (Boztepe, 2022).

Doğal Lifler

Günümüzde çevresel endişelerin artması nedeniyle organik kompozitlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Özellikle sentetik liflerin geri dönüşüm zorlukları ve yüksek üretim maliyetleri, doğal liflerin tercih edilmesindeki en önemli nedenler arasındadır.

Farklı coğrafyalarda yetişen ve işlenen doğal lifler, otomotiv sektöründe sıkça tercih edilmektedir. Cam liflere kıyasla %30 daha uygun fiyatlı ve %50 daha hafif olan doğal lifler, araçların daha hafif ve yakıt verimli olmasını sağlar. Bu avantajları sayesinde, doğal lif kompozitler sadece otomotivde değil, aynı zamanda inşaat, ambalaj ve tekstil gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. (Balasubramanian, 2013). Aşağıda organik liflerin bazı avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Doğal Liflerin Avantajları:

- ❖ Ekonomik: Cam liflere göre daha uygun maliyetlidir.
- ❖ Hafif: Yoğunlukları daha düşük olduğu için kompozitlerin ağırlığını azaltır.
- ❖ Çevre Dostu: Yenilenebilir kaynaklardan elde edilir, üretim süreçleri daha az enerji gerektirir ve biyolojik olarak parçalanabilirler.
- ❖ Sürdürülebilir: Doğal kaynaklardan elde edildikleri için sürdürülebilir bir alternatiftir.

- ❖ Termal Özellikler: Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında sentetik liflerin neden olduğu sorunlar, doğal liflerde daha az görülür.

Doğal Liflerin Dezavantajları:

- ❖ Kalite Değişkenliği: Coğrafi konum ve üretim süreçlerine bağlı olarak kalitesi değişebilir.
- ❖ Nem Emme: Nemli ortamlarda şişerek dayanıklılığını azaltabilir.
- ❖ Mekanik Özellikler: Cam liflere göre mekanik özellikleri daha düşüktür.
- ❖ Sınırlı Sıcaklık Aralığı: Yüksek sıcaklıklara dayanıklılıkları düşüktür.
- ❖ Maliyet Değişkenliği: Üretim süreçleri ve politikalar tarafından maliyeti belirlenir.

Çevre bilinciyle hareket eden dünyada doğal liflerin kullanımı giderek artacaktır. En çok tercih edilen doğal lifler keten, pamuk, kenevir, bambu ve hindistan cevizi ağacı kabuğu gibi malzemelerdir. Şekil 1'de bu malzemelere ait görseller verilmiştir.



Şekil 1: Kullanılan bazı organik liflere ait görüntüler. a) keten bitkisi, b) pamuk bitkisi, c) kenevir bitkisi ve ipliği, d) bambu ağacı, e) hindistan cevizi ağacı

Sentetik Lifler

Sentetik lifler, genellikle polimerlerden türetilen, doğal olmayan liflerdir. Cam, aramid, karbon, bor ve seramik lifleri gibi çeşitleri vardır. Cam lifleri, güçlü ve hafif yapıları sayesinde inşaat ve otomotiv endüstrilerinde sıkça tercih edilir (Bunsell ve Strong, 2011).

Aramid lifleri, örneğin Kevlar, yüksek darbe direnci ve ısıya dayanıklılığı ile tanınır. Bu lifler zırh ve güvenlik ekipmanlarında yaygın olarak kullanılır (Sweeney, 2008).

Karbon lifleri karbon atomlarından oluşan bu lifler, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ile bilinir. Karbon lifleri, özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde, yüksek performanslı uygulamalarda kullanılır (Kovacs, 2014).

Bu tür sentetik lifler kompozit malzemelerde, bir matris ve takviye edici liflerin birleşiminden oluşur. Sentetik lifler, bu kompozitlerde takviye rolü üstlenir. Uçak ve havacılık sektörlerinde karbon lifleri, uçak gövdeleri ve kanatlarında kullanılarak yüksek performanslı ve hafif yapılar sağlar (Harris, 2011). Otomotiv sektöründe karbon ve cam lifleri, otomobil parçalarının dayanıklılığını artırırken ağırlığı azaltır (Bishop ve St. John, 2016). İnşaat sektöründe cam lifleri, beton ve diğer yapı malzemelerinde takviye olarak kullanılarak yapıların dayanıklılığını artırır (Safiuddin ve ark., 2011). Spor ekipmanlarında karbon ve aramid lifleri, spor ekipmanlarının performansını ve dayanıklılığını artırır (Kim ve Kim, 2015).

Organik lifler gibi, sentetik liflerinde bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Onlardan bazıları şu şekildedir.

Sentetik Liflerin Avantajları:

- ❖ **Hafiflik:** Sentetik lifler, düşük yoğunlukları sayesinde malzemenin ağırlığını azaltır (Sharma ve ark., 2017).
- ❖ **Yüksek Mukavemet:** Yüksek çekme ve darbe dayanımı sağlar (Callister ve ark., 2018).
- ❖ **Korozyon Direnci:** Kimyasal ve fiziksel etkilere karşı dirençlidir (Cohen, 2007).

Sentetik Liflerin Dezavantajları:

- ❖ **Maliyet:** Sentetik lifler, doğal liflerden genellikle daha pahalıdır (Gordon, 2012).
- ❖ **Üretim Çevresi:** Üretim süreçleri çevresel etkiler oluşturabilir (Thompson, 2019).
- ❖ **Geri Dönüşüm:** Sentetik liflerin geri dönüşümü genellikle zordur (Reynolds, 2014).

Cam Lifler

Cam lifleri, kompozit yapıların en yaygın kullanılan lif türlerinden biridir çünkü bu lifler hafif, maliyet açısından ekonomik ve esnek özellikler taşır. Cam liflerinin üretiminde genellikle kum, kireçtaşı ve diğer oksidik bileşiklerin karışımları kullanılır. Cam liflerinin kimyasal bileşiminin %46-75'ini silika (SiO_2) oluşturur. Bunun yanı sıra, kimyasal bileşimde alüminyum oksitler, bor, kalsiyum gibi çeşitli elementler de bulunur ve bu bileşenlerin oranları cam liflerinin özelliklerini etkiler. Cam liflerinin kimyasal bileşimine ait yüzdelik değerler Tablo 1'de verilmiştir (Chawla, 2012). Cam lifleri amorf bir yapıya sahiptir, yani düzenli bir kristal yapıya sahip değildirler. Kimyasal bileşim ve üretim yöntemleri değiştirilerek farklı cam lifi türleri elde edilebilir. Genel olarak, cam lifleri benzer sertlik özelliklerine sahipken, kimyasal bileşimlerine bağlı olarak farklı dayanıklılık değerleri ve korozyon direnci sergilerler (Balasubramanian, 2013; Barbero, 2017).

Tablo 1: Bazı cam liflerinin yaklaşık olarak kimyasal bileşimleri (%)

Kompozisyon	E-cam	C-cam	S-cam
SiO_2	55,2	65,0	65,0
Al_2O_3	8,0	4,0	25,0
CaO	18,7	14,0	-
MgO	4,6	3,0	10,0
Na_2O	0,3	8,5	0,3
K_2O	0,2	-	-
B_2O_3	7,3	5,0	-

Cam liflerinin çeşitli türleri, belirli uygulama gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmiştir. En yaygın cam lifi türleri arasında C-cam, D-cam, E-cam ve S-cam bulunmaktadır. E-cam lifleri, özellikle elektriksel özellikleriyle bilinir ve diğer cam liflerine kıyasla daha yüksek elektriksel direnç gösterir. Bu özellik, E-cam liflerini elektriksel izolasyon uygulamaları için ideal hale getirir. S-cam lifleri ise yüksek dayanıklılık özellikleri ile tanınır ve bu lifler, çok daha yüksek sıcaklıklara dayanabilir. Bu nedenle, S-cam lifleri genellikle daha yapısal ve yüksek performanslı uygulamalarda kullanılır. Ancak, S-cam liflerinin maliyeti E-cam liflerinin maliyetinin üç katı olduğundan, bu liflerin kullanımı daha sınırlı bir alanda kalmaktadır (Baker, 2004; Lee, 1990). E-cam ve S-cam liflerinin sıcaklık değişimlerine karşı dayanım üzerindeki etkileri Tablo 2'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2: E-cam ve S-cam liflerinin sıcaklık değişimlerine karşı dayanımı

Sıcaklık (°C)	E-glass (Gpa)	S-glass (Gpa)
23	3.45	4.8
371	2.62	4.5
538	1.72	2.5

C-cam lifleri ise özellikle korozyon direnci açısından avantajlıdır ve asidik ortamlara karşı E-cam liflerinden daha dayanıklıdır. Bu özellik, C-cam liflerinin kimyasal süreçlerde ve agresif ortamların bulunduğu uygulamalarda tercih edilmesini sağlar. D-cam lifleri ise yüksek B₂O₃ içeriği nedeniyle daha düşük dielektrik özelliklere sahiptir (ağırlıkça %20–26 B₂O₃), bu da onları belirli dielektrik uygulamalar için uygun hale getirir (Balasubramanian, 2013). Cam liflerinin mekanik özellikleri hakkında daha fazla bilgi ise Tablo 3’de sunulmuştur. Şekil 2’de cam liflerine ait görseller verilmiştir (dost kimya).

Tablo 3: Bazı cam liflerinin mekanik özellikleri

Cam Lifleri	Modulus E _f [Gpa]	Çekme Dayanımı [Gpa]	Uzama ε [%]	Poisson Oranı [ν]	Yoğunluk ρ [g/cc]
E-glass	72.35	3.45	4.4	0.22	2.5-2.59
S-glass	85	4.8	5.3	0.22	2.46-2.49
C-glass	69	3.31	4.8	0.22	2.56
D-glass	55	2.5	4.7	0.22	2.14

**Şekil 2:** Cam liflerinin iplik ve kumaş halleri

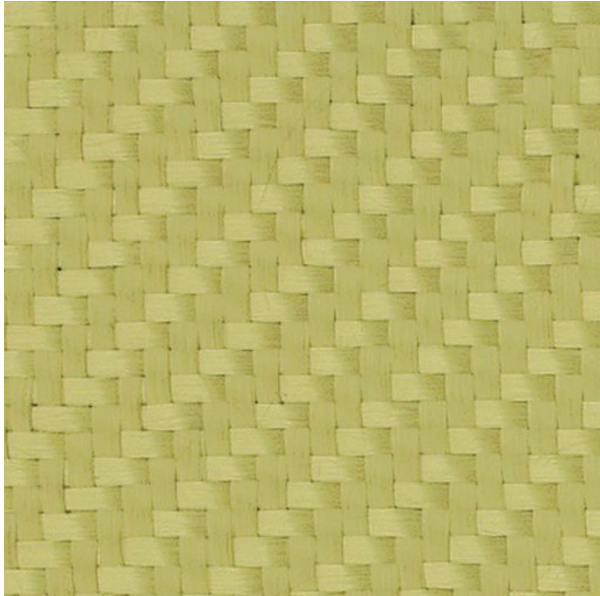
Aramid Lifler

Aramid lifleri, düşük yoğunlukları ve yüksek çekme dayanımları ile öne çıkan özel malzemelerdir (Mallick, 2008). Bu lifler, hafif olmalarının yanı sıra yüksek darbe hasarına karşı da oldukça dirençlidir. Aramid liflerinin bu özellikleri, onları çeşitli zorlu koşullara dayanıklı kılmaktadır. Özellikle balistik koruma uygulamalarında, yüksek enerjiyi emme kapasitesine sahip olmaları, bu liflerin en önemli avantajlarından biridir (Barbero, 2017).

Aramid liflerinin, kurşun geçirmez yelekler gibi balistik koruma ürünlerinde kullanılmasının temel nedeni, bu liflerin darbe anında büyük miktarda enerjiyi emme yeteneğidir. Bu enerji emme özelliği, darbenin etkisini önemli ölçüde azaltır ve dolayısıyla kullanıcıyı korur. Bu nedenle, aramid lifleri özellikle askeri ve polis ekipmanlarında, güvenlik ve koruma amaçlı giysilerde yaygın olarak tercih edilmektedir (Mallick, 2008).

Aramid liflerinin sağladığı yüksek çekme dayanımı, malzemenin büyük gerilmelere dayanabilmesini ve uzun süreli kullanımda formunu koruyabilmesini sağlar. Bunun yanı sıra, düşük yoğunlukları sayesinde, aramid lifleri hafif ve rahat giysiler üretmek için ideal bir seçimdir (Barbero, 2017).

Sonuç olarak, aramid liflerinin bu özellikleri, onları balistik koruma ve yüksek performanslı uygulamalarda, özellikle kurşun geçirmez yelekler gibi güvenlik ekipmanlarında, tercih edilen bir malzeme yapar (Barbero, 2017; Mallick, 2008). Şekil 3'de aramid liflerinden elde edilmiş örgü plaka görseli verilmiştir (dost kimya).



Şekil 3: *Aramid kumaş*

Karbon Lifler

Rayon, poliakrilonitril (PAN) ve petrol bazlı pitch, karbon ve grafit liflerinin farklı türleridir. İlk olarak geliştirilen karbon lifi türü rayon'dur. Rayon lifleri, karbon lifleri üretiminde kullanılan ilk materyallerdi, ancak bu lifler günümüzde düşük verimlilikleri ve yüksek maliyetleri nedeniyle nadiren tercih edilmektedir (Campbell, 2003). Rayonun üretim süreci ve maliyet etkinliği, daha modern ve ekonomik alternatiflerin geliştirilmesiyle geride kalmıştır.

Petrol bazlı pitch ise, karbon liflerinin maliyetini düşürmek ve daha yüksek modüllü grafit lifleri üretmek amacıyla geliştirilmiştir (Campbell, 2003). Petrol bazlı pitch, grafit liflerinin daha uygun maliyetlerle ve daha iyi mekanik özelliklerle üretilmesini sağlar. Bu, karbon liflerinin endüstriyel uygulamalarda daha yaygın olarak kullanılabilmesini mümkün kılar.

Karbon liflerinin, üretimlerinde kullanılan lif sayısını belirtmek için "k" harfi kullanılır. Bu "k" değeri, bir lif topluluğunda bulunan toplam lif sayısını ifade eder ve genellikle 1k, 3k, 6k, 12k ve 24k gibi ifadelerle belirtilir (Barbero, 2017). Burada "k", 1000 lif anlamına gelir. Örneğin, 1k karbon lifi, 1000 lif içeren bir topluluğu ifade eder. Bu belirleme, liflerin kalınlıkları ve uygulama alanları hakkında bilgi verir.

Karbon liflerinin maliyeti, cam ve aramid liflerinden genellikle daha yüksektir. Bu yüksek maliyet, karbon liflerinin üretim sürecinin karmaşıklığından ve kullanılan hammaddelerin yüksek maliyetinden kaynaklanır (Balasubramanian, 2013). Ancak, karbon lifleri, özellikle iletkenlik, düşük yoğunluk ve düşük termal genleşme katsayısı (CTE) gibi özelliklerle ön plana çıkar. Bu özellikler, karbon liflerinin özel uygulamalarda tercih edilmesini sağlar. Örneğin, düşük termal genleşme katsayısı, karbon liflerinin sıcaklık değişimlerine karşı istikrarlı bir performans sergilemesini sağlar.

Ancak, karbon lifleri, alüminyum ile doğrudan temas halinde galvanik korozyon riski taşır (Barbero, 2017). Galvanik korozyon, farklı metallerin elektrokimyasal bir reaksiyona girerek korozyona neden olmasıdır. Bu durum, özellikle otomotiv ve havacılık endüstrilerinde dikkat edilmesi gereken bir faktördür.

Karbon liflerinin yapısal verimliliği oldukça yüksektir ve mükemmel yorgunluk direnci sunar (Campbell, 2003). Bu, karbon liflerinin uzun süreli kullanımda dahi yüksek performans gösterebilmesini sağlar. Ancak, karbon lifleri kırılabilir ve darbe direnci genellikle daha düşüktür. Bu, malzemenin yüksek darbe enerjilerine karşı savunmasız olabileceği anlamına gelir.

Farklı lif türleri arasında seçim yaparken, cam, aramid ve karbon liflerinin çeşitli mekanik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu lif türleri arasındaki başlıca farklar şu şekildedir (Campbell, 2003):

- ❖ Çekme Dayanımı: Eğer tasarımda en önemli parametre çekme dayanımı ise, E-cam lifleri tercih edilmelidir. E-cam lifleri, yüksek çekme dayanımı sunarak, yapının gerilmelere karşı direnç göstermesini sağlar. E-cam lifleri, çekme dayanımında yeterli performans sağlayabilir ve ekonomik açıdan uygun bir seçenek sunar.
- ❖ Çekme Modülü: Karbon lifleri, cam ve aramid liflerine kıyasla üstün çekme modülü özelliklerine sahiptir. Çekme modülü, malzemenin çekme altında ne kadar deformasyona uğrayacağını ölçer. Karbon liflerinin yüksek çekme modülü, malzemenin çekme kuvvetlerine karşı daha az deformasyon gösterdiğini ve daha sert bir yapıya sahip olduğunu gösterir (Balasubramanian, 2013).
- ❖ Sıkıştırma Dayanımı: Sıkıştırma dayanımının önemli olduğu uygulamalarda karbon lifleri tercih edilmelidir. Karbon lifleri, yüksek sıkıştırma dayanımı ile bilinir, bu da onları yüksek basınçlı uygulamalar için uygun hale getirir. Aramid lifleri ise düşük sıkıştırma dayanımına sahip olduğundan, sıkıştırma dayanımının kritik olduğu uygulamalardan kaçınılmalıdır (Barbero, 2017).
- ❖ Sıkıştırma Modülü: Karbon lifleri, sıkıştırma modülünde de avantajlıdır. Sıkıştırma modülü, malzemenin sıkıştırma kuvvetleri altında ne kadar deformasyona uğrayacağını belirler. Karbon liflerinin yüksek sıkıştırma modülü, bu tür kuvvetlere karşı daha dirençli olduklarını gösterir (Balasubramanian, 2013).
- ❖ Yoğunluk: Yoğunluk açısından, aramid lifleri en düşük yoğunluğa sahip olan liflerdir, bunu karbon ve cam lifleri takip eder (Campbell, 2003). Aramid liflerinin düşük yoğunluğu, hafiflik ve taşıma kolaylığı sağlar. Ancak, her uygulamanın ihtiyaç duyduğu yoğunluk seviyelerine göre seçim yapılmalıdır.
- ❖ Darbe Dayanımı: Yüksek darbe direnci gerekiyorsa, aramid lifleri en iyi tercihtir. Aramid lifleri, darbe enerjilerine karşı yüksek direnç gösterir ve bu nedenle darbe dayanımının kritik olduğu uygulamalar için uygundur. Karbon liflerinin darbe direnci genellikle daha düşüktür, bu da onları darbe yüklerinin yüksek olduğu koşullarda daha az uygun hale getirir. Ayrıca, kullanılan matris malzemesi de darbe dayanımını etkiler; matrisin özellikleri, genel darbe dayanımını önemli ölçüde değiştirebilir (Campbell, 2003).
- ❖ Çevresel Direnç: Çevresel direnç, kullanılan matris malzemesi tarafından belirlenir. Matrisin çevresel koşullara karşı direnci, liflerin çevresel etmenlere karşı nasıl performans göstereceğini belirler. Çevresel direnç, malzemenin uzun ömürlülüğünü ve dayanıklılığını etkileyen önemli bir faktördür (Barbero, 2017).

- ❖ **Maliyet:** E-cam lifleri, genellikle daha düşük maliyetli bir seçenek sunar. Karbon lifleri ise daha yüksek maliyetlidir, bu da maliyet etkinliği açısından dikkatli bir değerlendirme gerektirir. Karbon liflerinin yüksek maliyeti, genellikle yüksek performans ve özel uygulama özellikleri ile dengelenir (Balasubramanian, 2013).

Şekil 4’de karbon liflerinden elde edilmiş örgü kumaş görseli verilmiştir (dost kimya).



Şekil 4: Karbon kumaş

Bor Lifleri

Bor lifleri, yüksek sertlikleri, yüksek dayanımları ve yüksek çekme modülleri (379 - 414 GPa) ile bilinirler. Ayrıca, düşük yoğunlukları sayesinde hafiflikleriyle dikkat çekerler. Genellikle büyük çaplı lifler olarak üretilir ve bu özellikleri nedeniyle yüksek sıkıştırma kuvvetlerine karşı etkili bir direnç sağlarlar. Ancak, bor liflerinin üretim süreci oldukça karmaşık ve zordur; bu da maliyetlerini önemli ölçüde artırır. Bu yüksek maliyetler, bor liflerinin kullanım alanını kısıtlar ve genellikle yalnızca belirli havacılık uygulamaları ve özel spor ekipmanları gibi sınırlı alanlarda kullanılmalarına neden olur. Bor liflerinin yüksek sıcaklık koşullarında mekanik özelliklerini koruması da oldukça önemlidir. Örneğin, 500 °C gibi yüksek bir sıcaklıkta bor liflerinin çekme dayanımı, oda sıcaklığındaki ilk dayanım değerinin yaklaşık %60'ına kadar düşebilir. Bu nedenle, bu liflerin yüksek sıcaklıklar altında performanslarını sürdürebilmesi için özel üretim ve işlem koşullarına ihtiyaç duyulur. Bor liflerinin üretimi sırasında, genellikle önceden ısıtılmış bir tun-

gsten tel kullanılır. Bu tel, borun kimyasal buhar birikimi (CVD) yöntemiyle bor lifine dönüşmesi için bir alt yapı sağlar. Bu yöntem, borun tungsten telin üzerine birikmesini ve sonuç olarak yüksek performanslı bor liflerinin elde edilmesini sağlar (Barbero, 2017; Mallick, 2008).

Seramik Lifleri

Silisyum karbür (SiC) ve alüminyum oksit (Al₂O₃) lifleri, seramik lifler olarak sınıflandırılır ve genellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılırlar. Bu seramik liflerin erime noktaları oldukça yüksektir; silisyum karbür liflerinin erime noktası yaklaşık 2830 °C, alüminyum oksit liflerinin erime noktası ise yaklaşık 2045 °C'dir. Bu yüksek erime noktaları, seramik liflerin yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilmesinin ana nedenlerinden biridir.

Bor liflerinde olduğu gibi, seramik lifler de yüksek sertlik ve yüksek dayanım özellikleri ile tanınır. Ayrıca, yüksek sıcaklık dayanımı açısından da üstün performans gösterirler. Silisyum karbür lifleri, 650 °C'nin üzerinde mekanik dayanımını korurken, alüminyum oksit lifleri 1370 °C'ye kadar mukemmel çekme dayanımı sağlar. Bu özellikler, seramik liflerin yüksek sıcaklık ve zorlu çevresel koşullara dayanabilmesini sağlar.

Alüminyum oksit lifleri, silisyum karbür liflerine kıyasla daha düşük termal ve elektriksel iletkenliğe sahiptir. Bu özellikleri, alüminyum oksit liflerinin belirli uygulamalarda avantaj sağlamasına neden olabilir. Genel olarak, seramik lifler metal matrislerin güçlendirilmesinde, özellikle titanyum matrislerde etkili bir şekilde kullanılabilirler. Titanyumun yüksek sıcaklık ve mekanik performans gereksinimlerini karşılamak için seramik liflerin bu matrislere entegre edilmesi yaygındır.

Yüksek sıcaklık seramik liflerinin üretimi için üç ana yöntem bulunur: sol-jel yöntemi, polimer pirolizi ve kimyasal buhar birikimi (CVD). Bu yöntemler, seramik liflerin istenilen özellikleri elde etmesini sağlar. Silisyum karbür (SiC) liflerinin üretim süreci, boron liflerinin üretim sürecine benzerlik gösterir; ancak, SiC liflerinde substrat olarak yalnızca karbon kullanılır. Bu süreçte karbon, silisyum karbür liflerinin oluşumunda temel bir yapı taşı olarak işlev görür.

Bu üretim yöntemlerinin her biri, seramik liflerin belirli özelliklerini optimize etmek için özel olarak geliştirilmiştir ve yüksek sıcaklık uygulamalarında güvenilir performans sağlamaya yönelik olarak tasarlanmıştır (Balasubramanian, 2013; Barbero, 2017; Mallick, 2008).

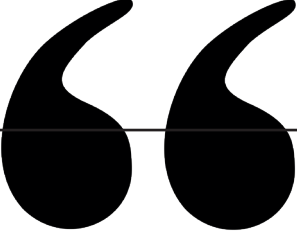
SONUÇ

Kompozit malzemelerde kullanılan lif türleri, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak büyük bir çeşitlilik gösterir. Doğal lifler çevre dostu ve ekonomik avantajlar sunarken, sentetik lifler yüksek performans ve özelleştirme imkanı sağlar. Cam, aramid, karbon, bor ve seramik lifleri, çeşitli endüstriyel uygulamalarda seçilerek yüksek performans ve dayanıklılık hedeflenir. Her lif türünün avantajları ve dezavantajları, spesifik mühendislik ve tasarım gereksinimlerine göre değerlendirilmelidir.

REFERANSLAR

- Asundi, A., ve Choi, A. Y. N. (1997). Fiber metal laminates: An advanced material for future aircraft. *Journal of Materials Processing Technology*, 63 (1-3), 384-394.
- Baker, A. A. (2004). *Composite Materials for Aircraft Structures*. American Institute of Aeronautics & Astronautics.
- Balasubramanian, M. (2013). *Composite Materials and Processing*. CRC Press.
- Barbero, E. J. (2017). *Introduction to Composite Materials Design, Third Edition*. CRC Press.
- Bishop, R., ve St. John, D. (2016). *Advanced Materials and Processes*. Wiley.
- Boztepe, M. H. (2022). *Effect Of Surface Treatments and Stacking Sequences on the Mechanical Properties of Fiber Metal Laminates*. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, PhD.
- Bunsell, A. R., ve Strong, A. B. (2011). *Fibrous Materials*. Cambridge University Press.
- Campbell, F. C. (2003). *Manufacturing Processes for Advanced Composites*. Elsevier Science.
- Callister, W. D., ve Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite Materials: Science and Engineering*. Springer.
- Cohen, M. (2007). *Corrosion Resistance of Metals and Alloys*. CRC Press.
- Dostkimya. (n.d.). <https://www.dostkimya.com/>
- Gay, D., Hoa, S. V., ve Tsai, S. W. (2002). *Composite Materials Design and Applications*. CRC Press.
- Gibson, R. F. (2016). *Principles of Composite Material Mechanics*. CRC Press.
- Gordon, K. (2012). *The Economics of Composite Materials*. Springer.
- Harris, B. (2011). *Composite Materials for Aircraft Structures*. AIAA.
- Kar, K. K. (2017). *Composite Materials Processing, Application, Characterizations*. Springer.
- Kim, H., ve Kim, Y. (2015). *Performance of Composite Materials in Sports Equipment*. Springer.
- Kovacs, J. (2014). *Carbon Fiber Composites*. CRC Press.
- Lee, S. M. (1990). *International Encyclopedia of Composites*. VCH.
- Mallick, P. K. (2008). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*. CRC Press.
- Reynolds, A. (2014). *Recycling of Composite Materials*. Elsevier.
- Safiuddin, M., et al. (2011). *Advanced Concrete Technology*. Wiley.

- Sharma, A., ve Kumar, V. (2017). *Materials Science and Engineering: Properties and Applications*. Springer.
- Sharma, A. P., Khan, S. H., ve Parameswaran, V. (2017). Experimental and numerical investigation on the uni-axial tensile response and failure of fiber metal laminates. *Composites Part B-Engineering*, 125, 259-274.
- Sweeney, M. (2008). *Aramid Fiber Composites*. Springer.
- Thompson, C. (2019). *Environmental Impact of Material Production*. Routledge.



Bölüm 4

ENDÜSTRİYEL ISI DEPOLAMA TANKLARI

Ali TAŞKIRAN¹

Celal KISTAK²

Nevin ÇELİK³

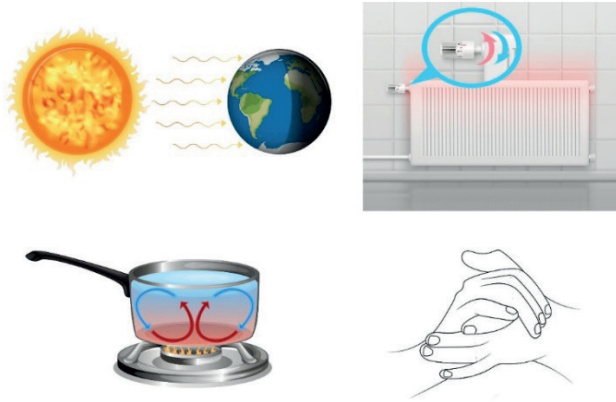
1 Arş. Gör. Dr.; Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü. taskirana-
lii@gmail.com, ORCID No: 0000-0001-6810-7291

2 Arş. Gör. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü. ckistak@
firat.edu.tr, ORCID No: 0000-0003-4621-5405

3 Prof. Dr.; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü. nevincelik23@
gmail.com, ORCID No: 0000-0003-2456-531

GİRİŞ

Termal enerji, sistemlerdeki moleküllerin kinetik ve potansiyel hareketlerinden kaynaklanan ısı enerjisidir ve bu enerji, ısı transferi yoluyla sistemler arasında taşınabilir (Kreith vd., 2002). Moleküllerin rastgele hareketleri ve etkileşimleri, bir sistemin sıcaklığını belirler ve bu sıcaklık, ısı olarak ölçülen enerjiyi oluşturur. Termal enerji, doğanın çeşitli süreçlerinde önemli bir rol oynar; jeotermal kaynaklardan güneş enerjisine kadar birçok doğal ve yapay süreçte yer alır (Deceased ve Beckman, 1982). Sıcaklık farklarını kullanarak ısıtma, soğutma ve enerji üretimi gibi birçok uygulama için temel bir kaynak sağlar ve bu nedenle, enerji sistemlerinde etkin bir şekilde yönetilmesi büyük önem taşır. Şekil 1’de termal enerjiye ait örnekler verilmiştir.



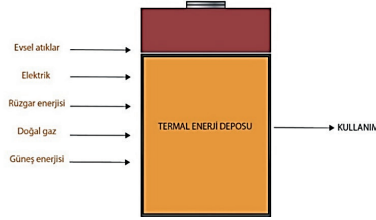
Şekil 1. Termal enerji örnekleri

Günümüz dünyasında enerji ihtiyacı hızla artarken, fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri de giderek daha belirgin hale gelmektedir. Fosil yakıtların yanması, atmosfere yüksek miktarda karbon dioksit ve diğer sera gazlarını salmakta, bu da iklim değişikliğine ve hava kirliliğine yol açmaktadır (IPCC, 2021). Bu çevresel etkilerin yanı sıra, fosil yakıtlar sınırlı kaynaklardır ve tükenme riski taşırlar. Bu nedenlerle, enerji sektöründe sürdürülebilir çözümler geliştirmek ve fosil yakıtlardan bağımsız enerji sistemleri oluşturmak gereklidir. Yenilenebilir enerji kaynakları, bu sorunların çözümüne yönelik umut verici çözümler sunar. Güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji gibi kaynaklar, karbon salınımını azaltarak çevresel etkiyi minimize eder ve enerji güvenliğini artırır (García, Johnson ve Seltzer, 2017).

Termal enerji depolama sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını desteklemek ve enerji arzını optimize etmek için önemli bir

araçtır. Bu sistemler, enerji üretimi ile talep arasındaki zaman farkını kapatmak için kullanılır.

Özellikle güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi değişken yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjiyi saklamak, enerji sistemlerinin sürekliliğini sağlamak ve talep anında kullanılabilir hale getirmek için termal enerji depolama teknolojileri büyük önem taşır (García, Johnson ve Seltzer, 2017). Termal enerji depolama, sıcaklık farklarını kullanarak enerjiyi saklar ve ihtiyaç duyulduğunda bu enerjiyi kullanılabilir hale getirir. Bu tür sistemler, enerji verimliliğini artırır ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırır.



Şekil 2. Termal enerji deposu kullanım şematik gösterim

Endüstriyel ısı depolama tankları, bu tür enerji depolama sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Genellikle 500 ila 3200 galon arasında değişen kapasitelerde üretilirler ve geniş enerji depolama kapasiteleri ile yüksek sıcaklık ve basınç koşullarına dayanacak şekilde tasarlanırlar (McDonald, 2015). Bu tankların tasarımında, hem termal hem de yapısal performans analizleri yapılır. Yapısal analizler, tankların çeşitli çevresel ve operasyonel koşullara dayanıklılığını sağlamak için gereklidir. Tanklar, sıcaklık değişimlerine, basınç dalgalanmalarına ve diğer aşırı koşullara dayanabilmelidir. Bu nedenle, tasarım süreci, malzeme seçimi, yapısal analiz ve performans değerlendirmelerini içerir.

Termal performans analizi, tankların ısı kaybını minimize etmek ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla yapılır. Termal direnç modeli, tankın içindeki sıvı ile dış ortam arasındaki ısı transferini hesaplar ve bu model, ısı kaybını tahmin etmek için kullanılır (Cengel, 2008). Tankın iç yüzeyleri genellikle sıvı ve tank astarı arasındaki yüksek ısı transfer katsayıları nedeniyle düşük termal direnç gösterir, bu nedenle iç yüzeylerde konveksiyon etkisi dikkate alınmaz. Ancak, dış yüzeylerde konveksiyon etkisi önemlidir ve bu

nedenle, her yüzeyin direnci, iki katmanlı astar malzemeleri ve hava ile temas eden yüzeyler için konveksiyon etkisi dikkate alınarak hesaplanır.

Yapısal analizler, tankların güvenliğini sağlamak ve yapısal dayanıklılığını artırmak amacıyla yapılır. Silindirik ve dikdörtgen tank geometrileri en çok kullanılanlardır.

Silindirik tanklar, iç basıncı eşit bir şekilde dağıttığı ve birçok üretim tankının bu konfigürasyonda olduğu için tercih edilir (Szymczak-Graczyk, 2020). Dikdörtgen tanklar ise taşınabilirlik avantajları sağlar ve genellikle modüler üretim süreçleri için kullanılır. Yapısal analizler, her iki konfigürasyonda da malzeme gerilmeleri, basınç analizleri ve diğer yapısal faktörleri değerlendirir.

Basınç analizleri, tankların güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Ani basınç artışları, borularda şok dalgaları oluşturabilir ve bu durum tanklarda hasara yol açabilir. Basınç dalgalarının büyüklüğünü ve tank üzerindeki etkilerini hesaplamak, darbe emicilerin gerekip gerekmediğini belirlemek için önemlidir (Cooke ve Peregrine, 1995). Bu analizler, tankların güvenliğini ve performansını sağlamada önemli bir rol oynar ve sistemin genel güvenilirliğini artırır.

Malzeme seçimi, endüstriyel ısı depolama tanklarının performansını etkileyen önemli bir faktördür. Astar malzemeleri, yalıtım malzemeleri, iç tank malzemeleri ve dış kabuk malzemeleri gibi farklı malzeme kategorileri, maliyet, dayanıklılık ve termal performans kriterlerine göre seçilir (Chattopadhyay, 2008). Malzeme seçim sürecinde, her malzemenin belirli bir özelliğe sahip olması ve tankın tasarım gereksinimlerini karşılaması gerekir. Performans endeksleri ve geçme-kalma kriterleri, malzeme seçiminde kullanılan araçlardır ve bu araçlar, en uygun malzemelerin belirlenmesini sağlar (Arnold vd., 2012).

Yalıtım malzemeleri, tankların enerji verimliliğini artırmak ve ısı kaybını minimize etmek için kritik bir rol oynar. Yalıtım malzemeleri, maliyet, kalınlık başına R-değeri, maksimum sıcaklık, uygulama yöntemi, sıkıştırma dayanıklılığı ve yanıcılık gibi kriterlere göre seçilir. Bu kriterler, tankların termal performansını optimize etmek için kullanılır ve malzeme seçim sürecinde dikkate alınır. Yalıtım malzemelerinin performans endeksleri, sıkıştırma dayanıklılığı, maksimum sıcaklık, maliyet, R-değeri, yanıcılık, alevlenme sıcaklığı, çevresel etki, alev yayılma hızı, duman üretimi ve erime sıcaklığı gibi faktörleri içerir.

Sonuç olarak, endüstriyel ısı depolama tankları, termal enerjinin etkin bir şekilde depolanması ve kullanılmasını sağlamak için kritik öneme sahip yapısal elemanlardır. Termal enerji, modern enerji sistemlerinin verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir enerji çözümlerini desteklemek için önemlidir.

Tank tasarımı ve malzeme seçimi, enerji sistemlerinin güvenilirliğini ve maliyet etkinliğini sağlamak için dikkatlice yapılmalıdır. Hem yapısal hem de termal performans açısından optimize edilmiş tank tasarımları, enerji depolama sistemlerinin etkinliğini artırarak enerji arzını optimize eder ve çevresel etkileri azaltır. Bu bağlamda, enerji sistemlerinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için endüstriyel ısı depolama tanklarının tasarım ve malzeme seçim süreçleri kritik bir rol oynar.

TASARIM DEĞİŞKENLERİNİN TANIMLANMASI

Tank Boyutları ve Geometrik Parametreler

Tankın boyutları ve geometrik özellikleri, enerji depolama kapasitesi, yapısal bütünlük ve ısı transferi gibi birçok faktörü etkiler. Tankın yüksekliği ve çapı, iç hacmi belirleyerek enerji depolama kapasitesini doğrudan etkiler. Daha yüksek bir tank, genellikle daha fazla enerji depolama kapasitesine sahip olabilir, ancak bu yapı gereksinimleri ve maliyet artışları getirebilir. Ayrıca, geniş çaplı tanklar daha iyi ısı dağılımı sağlayabilir ve malzeme kullanımını optimize edebilir, ancak bu da daha büyük bir alan ve yüksek maliyetler gerektirir. Geometrik tasarım, tankın genel performansını ve verimliliğini belirlemede kritik bir rol oynar (Kocijel, 2021; Rusin vd., 2022).

Yükseklik ve Çap

Tankın yüksekliği ve çapı, enerji depolama kapasitesini ve operasyonel verimliliğini doğrudan etkileyen temel tasarım parametreleridir. Tankın yüksekliği, iç hacmi belirleyerek, depolama kapasitesini artırabilir. Yüksek tanklar, geniş bir enerji depolama alanı sunar, bu da daha fazla enerji biriktirme imkânı sağlar. Ancak, yüksek tanklar, yapısal olarak daha fazla basınç farkına ve yerçekimi etkilerine dayanmak zorundadır. Bu nedenle, yüksek tanklar genellikle daha karmaşık yapısal hesaplamalar ve destekleyici elemanlar gerektirir (García-G vd., 2023; Ochs vd., 2020).

Tablo 1. Yüksek ve Geniş Çaplı Tankların Karşılaştırılması

Özellik	Yüksek Tank	Geniş Çaplı Tank
Depolama Kapasitesi	Artar	Artar
Yapısal Zorluklar	Yüksek	Orta
Maliyet	Yüksek	Yüksek
Isı Dağılımı	Orta	İyi

Geniş çaplı tanklar, daha iyi ısı transferi ve homojen sıcaklık kontrolü sağlar. Çap genişledikçe, tankın içindeki sıcaklık farkları azalır ve bu, enerji verimliliğini artırır. Ancak, geniş çaplı tanklar daha fazla yer kaplar ve maliyetler de buna bağlı olarak artar. Bu durum, geniş çaplı tankların tasarımında

dikkatli bir denge kurulmasını gerektirir. Çapın genişliği, ısının daha etkili bir şekilde dağıtılmasına olanak sağlar, fakat yapısal tasarım ve maliyetler açısından ek faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekir (Leite ve Centeno, 2018; Probert, 1975).

Duvar Kalınlığı

Tankın duvar kalınlığı, hem yapısal dayanıklılığı hem de ısı performansı etkileyen önemli bir faktördür. Kalın duvarlar, tankın yüksek basınçlara dayanabilmesini sağlar ve dış etkenlerden korur. Bu, özellikle yüksek basınç altında çalışan tanklar için kritik bir gerekliliktir. Kalın duvarlar, ayrıca daha iyi bir ısı yalıtım sağlar, bu da enerji kayıplarını azaltır (Al-Nimr, 1993).

Tablo 2. Duvar Kalınlığının Etkileri

Duvar Kalınlığı	Yapısal Dayanıklılık	Isı Kaybı
İnce	Düşük	Yüksek
Orta	Orta	Orta
Kalın	Yüksek	Düşük

Ancak, daha kalın duvarlar, malzeme maliyetlerini artırabilir ve ısı iletkenlik üzerinde değişikliklere yol açabilir. Kalın duvarlar, enerji kayıplarını azaltırken, aynı zamanda yalıtım gereksinimlerini artırır. Bu, tasarımda hem güvenlik hem de ekonomik verimlilik açısından bir denge kurulmasını gerektirir. Yapısal dayanıklılığı artırmak için kullanılan kalın duvarlar, iç enerjiyi daha iyi muhafaza ederken, maliyetler üzerinde doğrudan bir etkisi vardır.

Şekil

Tankın şekli, basınç dağılımı ve ısı transferi açısından önemlidir. Silindirik tanklar, basıncı eşit şekilde dağıtarak yapısal stabilite sağlar. Silindirik yapılar genellikle maliyet açısından da daha uygundur ve yapısal dayanıklılık sunar. Küresel tanklar, basıncı daha homojen bir şekilde dağıtarak yapısal verimliliği artırabilir, ancak inşası daha karmaşıktır ve maliyetleri artırabilir. Prizmatik tanklar ise belirli uygulama gereksinimlerine göre tasarlanabilir ancak köşelerde basınç birikimleri yaşanabilir (Godoy, 2016).

Tablo 3. Tank Şekillerinin Karşılaştırılması

Şekil	Basınç Dağılımı	Yapısal Stabilite	Maliyet
Silindirik	Eşit	Yüksek	Orta
Küresel	Homojen	Yüksek	Yüksek
Prizmatik	Düzensiz	Orta	Orta

Tank şekli, ısı transferinin etkinliğini belirler ve yapısal bütünlük açısından önemli etkiler sağlar. Prizmatik tanklar ise tasarım esnekliği sağlar

ancak yapısal zorluklar oluşturabilir. Dolayısıyla, tankın şekli, uygulama gereksinimlerine ve maliyet faktörlerine göre dikkatlice seçilmelidir (Z. Wang ve Mérida, 2024).

Isı Transferi ve Yalıtım Gereksinimleri

Isı transferi ve yalıtım, tankın enerji verimliliğini ve işletme maliyetlerini doğrudan etkiler. Isı transferinin etkinliği, malzemenin termal iletkenlik özelliklerine bağlıdır. Düşük termal iletkenliğe sahip malzemeler, ısıyı daha yavaş iletmediği için enerji kayıplarını azaltır ve tankın içindeki enerjinin daha verimli bir şekilde muhafaza edilmesini sağlar.

Tablo 4. Isı Transferi ve Yalıtımın Enerji Verimliliğine Etkisi

Özellik	Düşük Termal İletkenlik	Yüksek Termal İletkenlik
Enerji Verimliliği	Yüksek	Düşük
Isı Kaybı	Düşük	Yüksek

Yalıtım kalınlığı da ısı kayıplarını azaltmada önemli bir rol oynar. Kalın yalıtım malzemeleri, ısı kayıplarını minimize ederken enerji tasarrufu sağlar, ancak tasarımda yer kaybına ve maliyet artışına neden olabilir. Çevresel koşullar ise yalıtım gereksinimlerini etkiler; soğuk iklimlerde daha kalın yalıtım gerekebilirken, sıcak iklimlerde farklı yalıtım çözümleri kullanılabilir. Çevresel koşullar, yalıtım malzemelerinin türü ve kalınlığı üzerinde doğrudan etkili olabilir (Budaiwi vd., 2002).

Termal İletkenlik

Termal iletkenlik, bir malzemenin ısının iletme hızını belirler. Düşük termal iletkenliğe sahip malzemeler, ısıyı daha yavaş iletmedikleri için enerji kayıplarını azaltır ve tankın içindeki enerjinin daha verimli bir şekilde muhafaza edilmesine olanak tanır. Bu, enerji verimliliğini artırır ve işletme maliyetlerini düşürür. Düşük termal iletkenlik, etkili bir ısı yalıtım sağlar ve enerji tasarrufuna katkıda bulunur (Zheng vd., 2020).

Tablo 5. Termal İletkenliğe Göre Malzeme Özellikleri

Malzeme	Termal İletkenlik	Enerji Verimliliği
Yüksek	Yüksek	Düşük
Orta	Orta	Orta
Düşük	Düşük	Yüksek

Yalıtım Kalınlığı

Yalıtım kalınlığı, tankın ısı kayıplarını kontrol etmede önemli bir faktördür. Daha kalın yalıtım malzemeleri, ısı kayıplarını azaltarak enerji tasarrufu sağlar. Ancak, kalın yalıtım, tankın fiziksel boyutlarını ve malzeme

maliyetlerini artırabilir. Uygun yalıtım kalınlığı seçimi, enerji verimliliği ile ekonomik verimlilik arasında bir denge kurmak için dikkatlice yapılmalıdır. Kalın yalıtım, özellikle yüksek enerji depolama kapasitelerine sahip tanklarda enerji kayıplarını minimize eder ve performansı artırır (Dolgun vd., 2023).

Tablo 6. Yalıtım Kalınlığının Enerji Kaybına Etkisi

Yalıtım Kalınlığı	Enerji Kaybı	Maliyet
İnce	Yüksek	Düşük
Orta	Orta	Orta
Kalın	Düşük	Yüksek

Yalıtım kalınlığının seçimi, tasarımın enerji verimliliğini ve maliyet etkinliğini doğrudan etkiler. Kalın yalıtım, enerji kayıplarını azaltırken, maliyetleri artırabilir. Bu nedenle, yalıtım kalınlığı, enerji verimliliği ve ekonomik verimlilik açısından dikkatlice değerlendirilmelidir.

Dış Çevre Koşulları

Tankın dış çevre koşullarına karşı korunması, yalıtım gereksinimlerini belirler. Dış ortam sıcaklıkları, nem ve rüzgâr gibi çevresel faktörler, tankın yalıtım gereksinimlerini etkiler. Soğuk iklimlerde daha kalın yalıtım gerekebilirken, sıcak iklimlerde farklı yalıtım stratejileri uygulanabilir. Çevresel koşullar, yalıtım malzemelerinin türü ve kalınlığı üzerinde doğrudan etkili olabilir. Tablo 7’de çevresel koşulların etkisi verilmiştir (Sabry ve Shatla, 2008; Yamankaradeniz, 2015).

Tablo 7. Çevresel Koşullara Göre Yalıtım Gereksinimleri

Çevresel Koşul	Yalıtım Kalınlığı	Yalıtım Türü
Soğuk	Kalın	Isı Yalıtımı
Sıcak	İnce	Sıcaklık Düzenleyici
Nemli	Orta	Nem Bariyeri

Çevresel faktörler, yalıtımın etkinliğini belirler ve uzun ömürlü kullanım için uygun yalıtım stratejileri geliştirilmelidir. Yalıtımın etkinliği, tankın performansını ve dayanıklılığını doğrudan etkiler. Bu nedenle, çevresel koşullara göre yalıtım stratejileri dikkatlice planlanmalıdır.

Güvenlik ve Standartlar

ASME ve EN Standartları

Tankların güvenli bir şekilde çalışabilmesi için ASME ve EN standartlarına uyulması gerekmektedir. **ASME (American Society of Mechanical Engineers)** standartları, yüksek basınçlı kaplar için tasarım, üretim ve test gereksinimlerini belirler ve tankların güvenliğini sağlar. Bu standartlar,

tankların performansını optimize eder ve güvenli bir operasyon sağlar. Örneğin, ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), yüksek basınçlı kapların tasarımında ve üretiminde gerekli şartları belirler.

Ayrıca, ASME B31.3 standardı, kimyasal ve petrokimya endüstrilerinde kullanılan boru sistemleri için geçerli olup, termal depolama tanklarının boru hatları için uygulanabilir. Avrupa genelinde geçerli olan EN (**European Norm**) standartları, tankların tasarım ve üretim süreçlerinde uyulması gereken kuralları belirler ve güvenlik ile performansı garanti eder. Örneğin, EN 13445 standardı, basınçlı kaplar için tasarım, üretim ve test süreçlerini belirler ve tankların güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. EN 1993 (Eurocode 3) ise çelik yapıların tasarımında kullanılan bir standarttır ve tankların çelik yapı bileşenlerinin tasarımı ve analizi için geçerlidir (Fuenmayor vd., 2018; Majid, 2015).

ISO Standartları

ISO (International Organization for Standardization) standartları, tankların uluslararası kalite ve güvenlik gereksinimlerini karşılamaını sağlar. Bu standartlar, global olarak kabul görür ve tankların çeşitli uluslararası pazarlarda geçerliliğini garanti eder. Örneğin, ISO 9001 kalite yönetim sistemleri için gereksinimleri belirlerken, ISO 14001 çevresel yönetim sistemleri için standartları içerir. ISO 45001 ise iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri için gereklilikleri tanımlar. Ayrıca, ISO 3834 ve ISO 15614 gibi standartlar, metalik malzemeler ve kaynak işlemleri için kalite ve test standartlarını belirler. Bu standartlar, kalite yönetimi, çevresel yönetim ve diğer önemli alanlarda düzenlemeler getirir. Depoların üretim ve işletmesinde aygın olarak kullanılan ISO standartlarına ait tablo aşağıda verilmiştir (Heires, 2008; Tarı vd., 2012).

Tablo 8. Tank üretim ve işletmesinde yaygın olarak kullanılan ISO standartları

Standart	Kapsam
ISO 9001	Kalite yönetim sistemleri için gereksinimler ve standartlar.
ISO 14001	Çevresel yönetim sistemleri için standartlar.
ISO 45001	İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri için standartlar.
ISO 50001	Enerji yönetim sistemleri için standartlar.
ISO 3834	Metalik malzemeler için kalite gereksinimlerini belirler.
ISO 15614	Kaynak işlemleri için test ve onay standartları.

Operasyonel ve Bakım Gereksinimleri

Erişim Noktaları

Erişim noktaları, termal depolama tanklarının bakım, kontrol ve izleme süreçlerinde kritik bir rol oynar. Bu noktalar, tankın iç ve dış bileşenlerine erişim sağlamak amacıyla stratejik olarak yerleştirilir. Erişim noktalarının

tasarımı, tankın operasyonel verimliliği ve güvenliği açısından büyük önem taşır.

Erişim noktalarının yerleşimi ve tasarımı, tankın genel işleyişini ve güvenliğini doğrudan etkiler. Özellikle, tankın içindeki sıcak bölgelerdeki erişim noktalarının tasarımı, operatörlerin güvenliğini sağlamak için sızdırmazlık ve yalıtım gereksinimlerini karşılamalıdır. Bu noktaların konumu, tank içindeki kritik bileşenlere doğrudan erişimi sağlamalı ve gerekli bakım işlemlerinin kolayca yapılabilmesi için uygun bir yüksekliği sağlamalıdır. Ayrıca, bakım ve temizlik işlemleri için gereken alanın sağlanması, operatörlerin güvenli ve etkili bir şekilde çalışabilmesi için önemlidir (Gabbrielli ve Zamparelli, 2009; Prieto vd., 2023).

Gözlem Pencereleri ve Sensörler

Gözlem pencereleri, termal depolama tanklarındaki süreçlerin izlenmesini ve kontrolünü kolaylaştırır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı cam malzemeyle yapılan bu pencereler, stratejik olarak kritik bölgelere yerleştirilir ve operatörlerin sıcaklık dağılımı, sıvı seviyesi gibi parametreleri görsel olarak kontrol etmelerine olanak tanır. Pencerelerin doğru yerleşimi, potansiyel sorunların erken tespitini sağlar. Ayrıca, sıcaklık, basınç ve seviye sensörlerinin düzenli bakımını kolaylaştırarak tankın güvenli ve verimli çalışmasına katkı sunar. Bu unsurlar, operasyonel güvenliği sağlamak ve anormalliklere hızlı müdahale etmek için kritik önemdedir (Choi vd., 2019; Sharma ve Brooks, 1980).

Kapaklar ve İnsan Giriş Noktaları

Kapaklar ve insan giriş noktaları, termal depolama tanklarının temizliği, bakımı ve onarımı için hayati öneme sahiptir. Tankın geometrisine uygun tasarlanan bu giriş noktaları, yüksek sıcaklık ve basınca karşı sızdırmazlık sağlayacak malzemelerle yapılmalıdır. Sızdırmazlık performansı, güvenlik açısından kritik olduğundan, kapaklar uygun malzemelerle tasarlanmalı ve düzenli bakım yapılmalıdır. İnsan giriş noktaları, sıcak bölgelerden uzak ve erişimi kolay olacak şekilde konumlandırılmalı, kapak mekanizmaları ise güvenlik için ergonomik olmalıdır (Górny, 2014; Prieto vd., 2023).

Boru Hatları ve Bağlantı Noktaları

Boru hatları ve bağlantı noktaları, tank içindeki ısı enerjisinin taşınması ve dağıtılmasında kritik rol oynar. Boru hatları, akışkanların verimli taşınmasını sağlarken, termal genleşmeye dayanıklı malzemelerden yapılmalı ve uygun şekilde desteklenmelidir. Bağlantı noktaları, malzeme giriş-çıkışını sağlarken sızdırmazlıkları sızıntıların önlenmesi açısından önemlidir. Boru hatları ve bağlantı noktalarının düzenli kontrolü, güvenlik ve verimlilik için gereklidir (Konjarik, 2020; Prieto vd., 2023).

Yıpranma Önlemleri

Termal depolama tankları, zamanla çeşitli yıpranma türlerine maruz kalabilir. Bu yıpranma türleri arasında termal yorgunluk, korozyon, erozyon ve mekanik aşınma yer alır. Yıpranma önlemleri, tankın uzun ömürlü olmasını sağlamak ve performansını korumak için önemlidir. Bu önlemler, tankın malzeme seçimi, tasarımı ve bakım stratejilerini içerir (Stewart, 2021).

Termal Yorgunluk ve Stres Yönetimi

Termal yorgunluk, tank malzemelerinin sıcaklık değişimlerine maruz kalmasıyla çatlama ve zayıflamaya yol açan bir yıpranma türüdür. Bu riski azaltmak için termal genişleme katsayısı düşük, termal şok direnci yüksek malzemeler tercih edilmeli ve tasarımda termal stresleri minimize edecek yapısal düzenlemeler yapılmalıdır. Uygun bağlantı elemanları ve esnek geçiş bölgeleri kullanılarak termal genişleme dengelenmeli, yüksek sıcaklık değişimlerine dayanıklı malzemeler seçilmelidir. Bu şekilde malzeme ömrü uzatılır ve termal streslerin etkisi azaltılır (da Silva Junior vd., 2017; Stewart, 2021).

Korozyon Koruması

Korozyon, özellikle tuz eriyikleriyle çalışan termal depolama tanklarında önemli bir yıpranma faktörüdür. Korozyonu önlemek için uygun kaplamalar, pasivasyon ve kimyasal kontrol stratejileri kullanılmalıdır. Epoksi, seramik veya metalik kaplamalar, tank yüzeyini korurken, inhibitörler kimyasal dengeyi sağlar. Tank yüzeyleri düzenli olarak kontrol edilmeli ve korozyon belirtileri erken tespit edilmelidir. Kaplamaların ve inhibitörlerin bakımı, tankın güvenliğini ve performansını artırmak için önemlidir (Jones, 2020; Stewart, 2021).

Erozyon ve Mekanik Aşınma Koruması

Erozyon ve mekanik aşınma, akışkan hareketi nedeniyle tankın iç yüzeylerinde meydana gelir ve özellikle yüksek hızda akış olan bölgelerde yaygındır. Bu riski azaltmak için aşınmaya dayanıklı kaplamalar kullanılabilir ve akış hızını düşürmek veya yönünü kontrol etmek için tasarım değişiklikleri yapılabilir. Giriş ve çıkış bölgelerinde akış yönlendirme kanalları erozyonu minimize eder. Bu önlemler, tankın iç yüzeylerinin ömrünü uzatır ve performansını korur (Kareem vd., 2020; Yamshchikova & Nasibullina, 2023).

Periyodik Bakım ve İzleme

Yıpranma önlemleri arasında periyodik bakım ve izleme önemlidir. Tankın düzenli olarak incelenmesi, erken aşınma belirtilerini tespit etmeye ve zamanında önlem almaya yardımcı olur. Sensörler ve izleme sistemleri, tankın sıcaklık, basınç ve kimyasal durumu hakkında anlık veri sağlar ve anormalliklerde uyarı verir. Periyodik bakım ve izleme, performansı optimize eder

ve yıpranma risklerini azaltır. Bakım programlarının ve izleme sistemlerinin düzenli güncellenmesi, tankın uzun ömürlü ve verimli çalışmasını destekler (Johnston, 2020).

ANALİZLER

Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin titizlikle belirlenmesinin ardından, konteyner tanklarının performansını ve güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla çeşitli genel analiz alanları tanımlanmalıdır. Bu analizler, termal analiz, yapısal analiz, basınç analizi ve malzeme seçimi gibi kritik başlıklardan oluşmaktadır.

Termal Analiz: Bu analiz, tankın enerji saklama verimliliğini ve sıcaklık koruma yeteneğini değerlendirir. Tankın geometrisi ve yalıtım özellikleri, ısı kaybını ve verimliliği etkiler. Sıcaklık dağılımını, şarjlı suyun başlangıç sıcaklığını ve diğer çevresel faktörleri içeren bir model geliştirilmelidir (Afram vd., 2014; Kocijel vd., 2020).

Yapısal Analiz: Tankın suyun ağırlığını taşıma kapasitesi ve yapısal bütünlüğü değerlendirilir. Bu analiz, tankın yan duvarlarına etki eden gerilmeleri ve gerekli malzeme kalınlığını belirlemeye yardımcı olur (Blachut ve Magnucki, 2008; Lengvarský vd., 2015).

Basınç Analizi: Su çekiçlenmesi nedeniyle oluşabilecek basınç dalgaları incelenir. Ani su girişi kapanışları, tankın yapısal bütünlüğünü tehdit edebilir ve bu tür etkilerin değerlendirilmesi gereklidir (Kistak ve Eren, 2016).

Malzeme Seçimi ve Özelliklerinin Analizi: Seçilecek malzemenin performans gereksinimlerini karşılama kapasitesi değerlendirilir. Malzeme özellikleri, performans, dayanıklılık, maliyet ve üretim kolaylığı gibi faktörler göz önünde bulundurularak analiz edilir.

Bu analizler, tankın termal verimliliği, yapısal bütünlüğü ve basınca karşı dayanıklılığını optimize ederek güvenilir ve maliyet etkin bir tasarım sağlar.

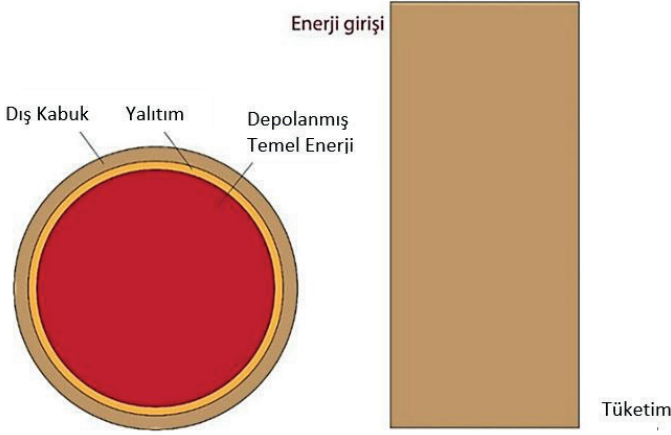
Yapısal Analiz

Yapısal analiz, termal depolama tanklarının güvenliğini ve uzun vadeli performansını sağlamak için temel bir mühendislik sürecidir. Bu analiz, tankın farklı çalışma koşullarındaki davranışını belirlemeyi amaçlar.

Termal depolama tankları, statik yükler (tankın ağırlığı, iç malzeme ağırlığı ve çevresel faktörler) ve dinamik yüklerle (termal genleşme, sıvı dalgalanmaları, basınç değişiklikleri) karşı karşıya kalır. Yapısal analiz, bu yüklerin tankın elemanları üzerindeki etkilerini değerlendirir.

Tanklar genellikle silindirik veya dikdörtgen şeklinde tasarlanır, her iki tasarımın da avantajları ve zorlukları vardır (Doğangün vd., 1996; W. Wang vd., 2020).

Silindirik Tanklar: Silindirik tanklar, basınç ve gerilme dağılımının daha homojen olduğu bir yapı sunar. İç basınç, tank duvarlarına eşit olarak dağılır, bu da yapısal bütünlüğü korur. Silindirik tankların yapısal analizi, iç basınç altındaki gerilmeleri boyuna ve çevresel gerilmeler olarak değerlendirir.



Şekil 3. Silindirik tank

Boyuna Gerilme (Longitudinal Stress): Boyuna gerilme, tankın eksen boyunca ortaya çıkan gerilmeyi ifade eder ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\sigma_L = \frac{p \cdot r}{2t} \quad (1)$$

Burada, P tank içindeki basınç, R tankın iç yarıçapı ve t duvar kalınlığıdır.

Çevresel Gerilme (Hoop Stress): Çevresel gerilme, tankın çevresi boyunca ortaya çıkan gerilmeyi ifade eder ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

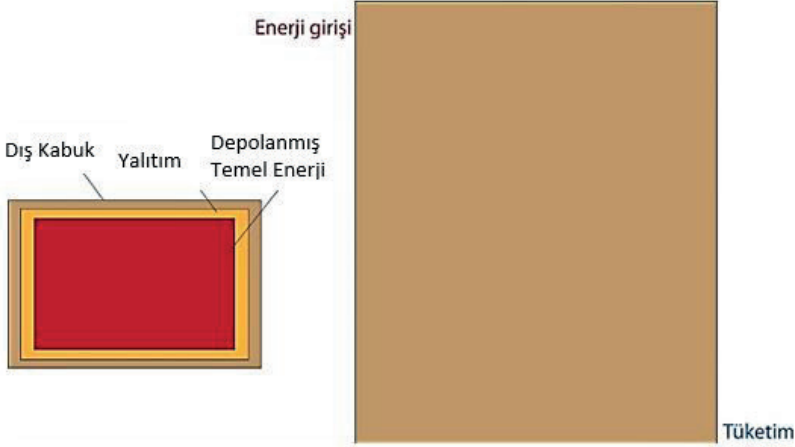
$$\sigma_H = \frac{P \cdot R}{t} \quad (2)$$

Çevresel gerilme, boyuna gerilmeden genellikle iki kat daha büyüktür ve tankın yapısal dayanıklılığı üzerinde kritik bir etkiye sahiptir.

Silindirik tankların tasarımında bu gerilmelerin tank malzemesinin dayanım sınırlarını aşmadiğından emin olunması gereklidir. Ayrıca, sıcaklık

değişikliklerine bağlı olarak ortaya çıkabilecek termal gerilmeler de dikkate alınmalıdır (Mirko vd., 2011; Varghese vd., 2024).

Dikdörtgen Tanklar: Dikdörtgen tanklar, depolama alanını optimize etmek için kullanılır, ancak yapısal analizi genellikle daha karmaşıktır. Köşe bölgelerinde gerilmelerin yoğunlaşması riski vardır ve iç basınç duvarlara homojen olarak dağılmadığı için, köşe ve kenar bölgelerinde daha yüksek gerilmeler oluşabilir. Bu nedenle, dikdörtgen tankların yapısal analizi, silindirik tanklara göre daha karmaşık ve detaylıdır.



Şekil 4. Dikdörtgen tank

Eğilme Gerilmesi (Bending Stress): Dikdörtgen tank duvarlarında oluşan eğilme gerilmesi, aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\sigma_b = \frac{M \cdot h}{2 \cdot I} \quad (3)$$

Burada, M uygulanan moment, h plakanın kalınlığı ve I plakanın atalet momentidir.

Gerilme Dağılımı (Stress Distribution): Dikdörtgen tanklarda gerilme dağılımı genellikle karmaşık hesaplamalar gerektirir ve bu hesaplamalar sıklıkla FEA (Sonlu Elemanlar Analizi) gibi sayısal yöntemlerle yapılır. Yapısal analiz, tankın her bölgesindeki gerilmeleri göz önünde bulundurarak köşe bölgelerinde ek takviye elemanları kullanımı ve termal genleşme/büzülme etkileri için gerekli önlemleri içerir. Bu analizler, tankın güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak ve uzun vadeli dayanıklılığını garanti altına almak için kritik öneme sahiptir (Jendzelovský ve Uhlířová, 2020; Uhlířová ve Jendzelovský, 2019).

Isıl Analiz

Isıl analiz, enerji depolama tanklarının performansını ve verimliliğini değerlendirmek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu analiz, tank içindeki ısının nasıl dağıldığını, depolandığını ve serbest bırakıldığını anlamak amacıyla yapılır. Farklı ısıl analiz yöntemleri kullanılarak, tankın sıcaklık profili, ısı transfer mekanizmaları ve enerji verimliliği gibi faktörler detaylı bir şekilde incelenir (Cengel, 2008).

Analitik Yöntemler

Analitik yöntemler, ısıl problemleri matematiksel denklemlerle çözmeye yönelik temel yaklaşımlardır. Genellikle idealize edilmiş ve basit koşullar altında uygulanabilirler.

Isı İletim Denklemi: Isı iletimi, Fourier'ün ısı iletim denklemi kullanılarak modellenir. Bu denklem, bir malzemenin içindeki sıcaklık dağılımını ve ısı akışını belirler:

$$\frac{\partial t}{\partial T} = \alpha \nabla^2 T \quad (4)$$

Burada T sıcaklık, t zaman, α termal difüzyon katsayısını temsil eder. Bu denklem, ısının malzeme içinde nasıl yayıldığını hesaplamak için kullanılır ve malzemenin ısıl özellikleri üzerinde derinlemesine bilgi sağlar.

Enerji Dengesi Hesaplaması: Bu hesaplama, tankın iç ve dış ısı akışlarının dengelenmesiyle gerçekleştirilir. Enerji dengesi, tankın enerji verimliliğini ve performansını değerlendirmeye yardımcı olur:

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out} \quad (5)$$

Burada $\frac{dQ}{dt}$ iç enerji değişimini, \dot{Q}_{in} giren \dot{Q}_{out} çıkan ısı olarak tanımlanır.

Sayısal Yöntemler

Sayısal yöntemler, daha karmaşık ve gerçekçi senaryoları modellemek için bilgisayar tabanlı simülasyonlar kullanır. Bu yöntemler, karmaşık geometriler ve değişken koşullar altında ısıl performansı detaylı bir şekilde analiz eder.

Finite Element Yöntemi (FEM): FEM, ısı transferinin uzaydaki dağılımını modellemek için kullanılır. Tankın her bir küçük elemanına ayrılan sıcaklık hesaplanır ve tüm elemanlar birleştirilir.

$$\int_v \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right) dV = \frac{\dot{Q}}{k} \quad (6)$$

Burada T sıcaklık, x, y, z uzaysal koordinatlar, k termal iletkenlik, \dot{Q} ise ısı akısıdır. FEM, karmaşık yapılar ve değişken malzeme özellikleri için etkili bir tekniktir.

Finite Volume Yöntemi (FVM): FVM, hacim ögelerini kullanarak ısı performansı değerlendirir. Her hacim ögesinin ısı durumu çözülür ve tüm hacimlerin sonuçları birleştirilir:

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \nabla(\rho C_p T u) = \nabla(k \nabla T) + \dot{Q} \quad (7)$$

Burada ρ yoğunluk, C_p özel ısı kapasitesi, u akış hızı, k termal iletkenlik, \dot{Q} ise iç ısı kaynaklarıdır. FVM, akışkanlar dinamiği ve ısı işlemleri için etkili bir tekniktir.

DeneySEL Yöntemler

DeneySEL yöntemler, gerçek tank modelleri veya prototipler üzerinde yapılan testlerle ısı performansı değerlendirir. Bu yöntemler, teorik ve sayısal modellere karşı doğrulama sağlar.

Termal Testler

Termal testler, termal depolama tanklarının çeşitli çalışma koşullarındaki performansını değerlendiren deneySEL uygulamalardır. Bu testler, tankın tasarım özelliklerinin operasyonel gereksinimlerle uyumunu belirlemeye yardımcı olur.

Sıcaklık Dağılımı Ölçümleri: Termal testlerde, tankın içindeki sıcaklık dağılımını izlemek için termal kameralar ve sıcaklık sensörleri kullanılır. Bu sensörler, tankın farklı bölgelerindeki sıcaklık değişimlerini kaydeder ve ısı transfer mekanizmalarını anlamak için analiz edilir (Zhang vd., 2019).

Basınç Altında Performans Testleri: Farklı basınç seviyelerinde yapılan testler, tankın malzeme ve yapısal elemanlarının basınç altındaki davranışını gözlemler. Bu testler, tankın yapısal bütünlüğü, sızdırmazlık özellikleri ve termal dayanıklılığını değerlendirir (Shaheen et al., 2018).

Isı Transferi ve Enerji Verimliliği Testleri: Bu testler, tankın ısı transferi ve enerji verimliliğini değerlendirir. Tankın iç ve dışındaki ısı akışları ölçülür ve enerji depolama kapasitesi, ısı kayıpları ve genel verimlilik incelenir (Ochmann vd., 2022).

Veri Toplama ve Analiz

Deneysel veriler toplanıp analitik ve sayısal modellere karşı doğrulanır, bu da modellerin doğruluğunu artırır ve tasarım değişikliklerinin etkilerini değerlendirmeye yardımcı olur (Hiris vd., 2022).

Sensör Verilerinin Toplanması: Termal testler sırasında sensörlerden elde edilen veriler, tankın performansını anlamak için toplanır. Bu veriler, sıcaklık, basınç ve ısı akışı gibi parametreleri içerir. Sensör verileri, tankın ısıl davranışını detaylı bir şekilde haritalamayı ve testlerin kesin sonuçlar vermesini sağlamayı amaçlar. Ayrıca, veri toplama süreci gerçek zamanlı geri bildirim sağlar ve tasarım optimizasyonuna yönelik değerli bilgiler sunar.

Veri Analizi ve Model Doğrulama: Toplanan veriler, analitik ve sayısal modellerin doğruluğunu değerlendirmek için analiz edilir. Veri analizi, tankın ısıl performansını modelleyen denklemler ve simülasyonların doğruluğunu kontrol eder. Deneysel veriler, modellerle karşılaştırılır ve sapma varsa modeller yeniden kalibre edilir. Bu süreç, tankın tasarımını optimize etmeye ve performansını artırmaya yardımcı olur. Ayrıca, uzun vadeli güvenilirlik ve dayanıklılık için gerekli tasarım değişikliklerini belirlemeye olanak tanır.

Isıl Analiz Uygulama Alanları

Isı Dağılımı Analizi

Isı dağılımı analizi, tankın içindeki ısının nasıl yayıldığını değerlendirir. Bu analiz, sıcaklık gradyanlarını ve ısı transferinin etkinliğini anlamak için kullanılır. Eşit ısı dağılımı, tankın verimli çalışmasını sağlar ve enerji kayıplarını azaltır.

$$T(x, y, z) = T_0 + \frac{\dot{Q}}{k} \left(\frac{x}{L_x} + \frac{y}{L_y} + \frac{z}{L_z} \right) \quad (8)$$

Burada T_0 başlangıç sıcaklığı, L_x, L_y, L_z tankın boyutları, \dot{Q} ısı akışı, k termal iletkenliktir. Bu hesaplama, tank içindeki sıcaklık dağılımını belirler.

Termal Yük Analizi

Termal yük analizi, tankın farklı koşullar altında maruz kalacağı ısı yüklerini değerlendirir. Bu analiz, tankın içindeki ısı yüklerinin büyüklüğünü ve sürekliliğini anlamak için yapılır. Termal yük analizi, tankın tasarımında dikkate alınmalı ve sistemin bu yüklerle başa çıkabilmesi sağlanmalıdır (Çengel, 2008).

$$Q_{load} = C_p \Delta_t m \quad (9)$$

Burada Q ısı yükünü Δ_t ise sıcaklık değişimini göstermektedir.

Basınç Analizi

Termal enerji depolama (TES) sistemleri, enerji üretiminde sürekliliği sağlamak ve enerji talebindeki dalgalanmaları dengelemek için kritik öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin depolanması ve gerektiğinde kullanılması, termal enerji depolama tanklarını öne çıkarır. Bu tanklar yüksek sıcaklıktaki sıvılar veya gazlar nedeniyle ciddi basınçlara maruz kalır; bu nedenle, güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak için basınç analizleri doğru ve kapsamlı şekilde yapılmalıdır. Bu makalede, termal enerji depolama tankları için basınç analizlerinde kullanılan yöntemler detaylı olarak incelenmektedir.

Basınç analizleri, tankın iç basıncının malzeme üzerindeki gerilmelerini değerlendirir. Analizler, tankın şekli, malzemesi ve çalışma koşullarına göre değişiklik gösterir. Kullanılan yöntemler arasında analitik yöntemler, sonlu elemanlar yöntemi (FEA), hidrostatik testler, pnömatik testler ve termal gerilme analizleri bulunur (Rosen ve Dincer, 2003).

Analitik Yöntemler

Basit geometrilere sahip tankların basınç analizlerinde analitik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, özellikle silindirik ve küresel tanklar için geliştirilmiş matematiksel formüllerle gerçekleştirilir (Cengel, 2008).

Silindirik Tanklar: Silindirik tanklarda iç basıncın oluşturduğu boyuna gerilme (longitudinal stress) ve çevresel gerilme (hoop stress) hesaplamaları analitik olarak yapılabilir. Boyuna gerilme, tankın eksen boyuna ortaya çıkan gerilmedir ve şu şekilde ifade edilir:

$$\sigma_L = \frac{p \cdot r}{2t} \quad (10)$$

Burada, σ_L boyuna gerilme, p iç basınç, r tankın iç yarıçapı ve t malzeme kalınlığıdır. Çevresel gerilme ise tankın çevresi boyunca oluşan gerilmedir ve şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_H = \frac{p \cdot r}{t} \quad (11)$$

Bu formüller, silindirik tankların basınç altında nasıl davrandığını anlamak için temel bir çerçeve sunar. Ancak, bu tür analitik yöntemler genellikle sadece basit ve simetrik geometriler için uygulanabilir.

Küresel Tanklar: Küresel tanklar, basınç altında daha homojen bir gerilme dağılımına sahiptir. Bu nedenle, küresel tanklar için çevresel gerilme (hoop stress) formülü daha basit ve etkilidir:

$$\sigma_H = \frac{p \cdot r}{2t} \quad (12)$$

Bu formül, küresel tankın tüm yüzeyinde eşit bir gerilme dağılımı öngörür. Küresel tanklar, genellikle daha yüksek basınçlara dayanabilir, ancak imalat maliyetleri silindirik tanklara göre daha yüksektir.

Analitik yöntemler, genellikle yalnızca basit geometrilere sahip tanklar için geçerlidir ve tank üzerindeki tüm gerilmeleri doğru bir şekilde tahmin edemez. Özellikle, tankın geometrisinde keskin köşeler veya karmaşık şekiller varsa, bu yöntemlerin kullanımı sınırlı olabilir. Ayrıca, termal etkiler ve elastik olmayan malzeme davranışları gibi karmaşık durumlar da bu yöntemlerle tam olarak analiz edilemez.

Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Analysis - FEA)

Sonlu elemanlar yöntemi (FEA), karmaşık geometriler ve yükleme koşulları için basınç analizlerinde kullanılan güçlü bir sayısal yöntemdir. FEA, tankın gerilme, deformasyon ve termal etkilerini analiz eder ve özellikle karmaşık şekilli ve heterojen malzeme yapılarının analizinde avantaj sağlar (ANSYS Fluent 18, 2020).

FEA, yapıyı küçük sonlu elemanlara ayırarak çalışır; her eleman malzeme ve geometrik özelliklere sahiptir. Analiz süreci şu adımları içerir:

Geometrik Modelleme: Tankın 3D geometrik modeli, CAD yazılımı kullanılarak oluşturulur.

Malzeme Özellikleri Tanımlama: Her bir eleman için malzeme özellikleri (elastiklik modülü, poisson oranı, termal genişleme katsayısı vb.) tanımlanır.

Ağ Yapısı (Meshing): Tankın geometrisi, sonlu elemanlara bölünür. Bu ağ yapısı, analizde kullanılacak düğüm noktalarını ve elemanları belirler.

Sınır Şartları ve Yükleme Koşulları: Tankın üzerindeki dış kuvvetler, basınç, sıcaklık ve diğer etkiler tanımlanır.

Analiz: Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tankın basınç altında nasıl davrandığı hesaplanır.

FEA, karmaşık tank tasarımlarının analizinde büyük avantajlar sunar. FEA, tank tasarımlarındaki gerilmeleri, deformasyonları, termal etkileri ve dinamik yükleri detaylı bir şekilde incelemeyi sağlar. Yüksek doğruluğu ne-

deniyle, büyük ve yüksek basınç altında çalışan tanklar için tercih edilir. Bu analiz, tasarım sürecinde güvenlik faktörlerini artırır ve tankın ömrünü uzatır. ANSYS, Abaqus ve COMSOL Multiphysics gibi yazılımlar, FEA analizleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulut tabanlı simülasyonlar ve yüksek performanslı hesaplama (HPC) teknolojileri, analizlerin hızını ve kapasitesini artırmıştır.

Hidrostatik Testler

Hidrostatik testler, termal enerji depolama tanklarının sızdırmazlık ve dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu test, tankı su veya başka bir sıvı ile doldurup belirli bir basınç altında sızıntıları kontrol ederek yapılır. Test sırasında, tank içi sıvı ile doldurulur ve tasarım basıncının %150'si kadar bir basınç uygulanır. Tankın dış yüzeyinde sızıntı olup olmadığı kontrol edilir, sızıntı tespit edilmezse tank belirli bir süre bu basınç altında bekletilir ve sonuçlar değerlendirilir. Hidrostatik testler, büyük tanklar için güvenilir bir yöntemdir ve endüstriyel standartlara göre zorunludur. Ancak, bu testler sadece sıvı sızıntılarını tespit edebilir ve gaz sızıntıları için yeterli olmayabilir. Ayrıca, test basıncı gerçek operasyonel koşullardan farklı olabilir, bu da test sonuçlarının gerçek koşullarla uyumsuz olmasına neden olabilir (Alves vd., 2022).

Pnömatik Testler

Pnömatik testler, tankların iç basınç altındaki dayanıklılığını ve sızdırmazlık performansını değerlendirmek için kullanılır; ancak sıvı yerine gaz (genellikle hava veya azot) kullanılır, bu da riskleri artırır. Tank, belirli bir basınca kadar gaz ile doldurulur ve bu basınç altında sızıntılar kontrol edilir. Gazın sıkışabilirliği nedeniyle pnömatik testler hidrostatik testlere göre daha risklidir ve genellikle daha düşük basınçlarda yapılır. Bu testler, özellikle gaz depolama tankları veya su ile doldurulamayan tanklar için tercih edilir ve bazı endüstriyel uygulamalarda zorunlu olabilir. Gaz sızıntılarını tespit etmek için etkili bir yöntemdir, ancak potansiyel tehlikeleri nedeniyle özel güvenlik önlemleri alınmalıdır (Simpson, 2019).

Termal Gerilme Analizi

Termal gerilme analizi, tank içindeki sıcaklık değişimlerinin malzeme üzerinde yarattığı gerilmeleri ve deformasyonları incelemek için kullanılır. Özellikle yüksek sıcaklık farklarına maruz kalan tanklarda önemlidir; sıcaklık değişimleri malzemenin termal genişmesine veya büzülmesine neden olabilir. Bu genişleme, tankta gerilmelere yol açabilir. Termal genişleme katsayısı (α), malzemenin birim sıcaklık artışında ne kadar genişeyeceğini belirler. Örneğin, farklı sıcaklık artışları nedeniyle tankın yapısında gerilmeler ve deformasyonlar oluşabilir.

Termal gerilme analizi genellikle sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile yapılır. Bu yöntemle, tankın farklı bölgelerindeki sıcaklık dağılımı ve gerilmeler hesaplanır. Bu analiz, tank tasarımında kritik olup, yüksek sıcaklık değişimleri malzeme yorgunluğuna ve çatlak oluşumuna yol açabilir. Termal enerji depolama tankları için yapılan bu analizler, güvenlik ve uzun ömürlülük açısından önemlidir.

Analitik yöntemler basit geometriler için hızlı çözümler sunarken, FEA karmaşık geometriler için detaylı analizler sağlar. Hidrostatik ve pnömatik testler, tankların basınç ve sızdırmazlık performansını doğrularken, termal gerilme analizi sıcaklık değişimlerinin malzeme üzerindeki etkilerini değerlendirir. Bu yöntemler, doğru malzeme seçimi ve güvenlik faktörlerini artırma konusunda mühendisleri destekler (Wiśniewska ve Matysko, 2022).

Malzeme Seçimi

Termal enerji depolama (TES) sistemleri, enerji talebindeki dalgalanmaları dengelemek ve sürdürülebilir enerji çözümleri sunmak açısından kritik öneme sahiptir. Bu sistemlerin merkezi bileşenleri olan termal enerji depolama tankları, yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında çalıştığından, malzeme seçimi büyük bir önem taşır. Doğru malzeme seçimi, tankın performansı, güvenliği ve ömrü üzerinde doğrudan etkili olur. Bu çalışmada, termal enerji depolama tankları için malzeme seçimi süreci detaylı olarak ele alınacaktır. Malzeme seçimi, tankların tasarımı ve performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Seçim sürecinde dikkate alınması gereken başlıca kriterler şunlardır (Segarra vd., 2018):

Termal Stabilite: Malzemenin yüksek sıcaklıklara dayanabilme kapasitesi.

Korozyon Direnci: Tankın içeriği ile etkileşime giren malzemenin korozyona karşı direnci.

Mekanik Dayanım: Basınç ve diğer mekanik yükler altında malzemenin dayanıklılığı.

Termal Genleşme: Sıcaklık değişimlerinin malzeme üzerindeki etkileri.

Ekonomik Verimlilik: Malzemenin maliyeti ve uzun vadeli performans maliyeti.

Malzeme Türleri ve Özellikleri

Termal enerji depolama tanklarının yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında çalışması nedeniyle malzeme seçimi kritik bir rol oynar. Bu tanklarda kullanılan malzemeler; çelikler, alüminyum ve alaşımları, paslanmaz çelikler, seramikler ve kompozitler gibi çeşitli kategorilere ayrılır. Her malzeme türü, belirli avantajlar ve dezavantajlar sunar.

Çelikler: En yaygın kullanılan malzemelerden biridir. Yüksek mekanik dayanım, geniş sıcaklık aralığında kullanılabilirlik ve nispeten düşük maliyetleri nedeniyle caziptir. Karbon çelikleri genellikle düşük maliyet ve yeterli mekanik özellikler sunar, ancak yüksek sıcaklıklarda ve korozyona maruz ortamlarda performansları sınırlı olabilir. Alaşımli çelikler, yüksek sıcaklık ve basınca karşı üstün dayanıklılık sunar; örneğin, Cr-Mo çelikleri oksidasyona karşı dayanıklıdır, fakat maliyetleri yüksektir ve işlenmesi zordur (Kane ve Cayard, 1995).

Alüminyum ve Alaşımları: Hafifliği ve iyi termal iletkenliği nedeniyle kullanılır. Alüminyum, düşük yoğunluğu sayesinde hafif yapılar için uygundur ve iyi bir korozyon direncine sahiptir. Ancak, mekanik dayanımı çeliklere göre daha düşüktür ve sıcaklık değişimlerine karşı duyarlıdır; yüksek termal genleşme katsayısı nedeniyle şekil değiştirme riski taşır (Bauer vd., 2012).

Paslanmaz Çelikler: Kimyasal direnç ve yüksek sıcaklıklarda korozyona karşı dayanıklılık gerektiren uygulamalarda tercih edilir. 304 ve 316 serileri, korozyona karşı yüksek direnç sunar, ancak maliyetleri ve işlenmesi zordur. Ayrıca, kaynak işlemleri sırasında dikkatli olunmalıdır, çünkü yanlış uygulamalar korozyon direncini azaltabilir.

Seramikler ve Kompozitler: Yüksek sıcaklık dayanımı ve kimyasal direnç gerektiren özel uygulamalarda kullanılır. Seramikler, yüksek sıcaklıklarda yapısal bütünlüklerini korur ve kimyasal olarak inerttir. Ancak, darbe dayanımları düşüktür ve mekanik darbelere karşı hassastır. Kompozitler, metalik ve seramik bileşenlerin kombinasyonundan oluşur ve yüksek sıcaklık dayanımı, düşük yoğunluk ve iyi mekanik özellikler sunar, fakat üretim maliyetleri yüksektir ve işlenmesi zordur (Zhao vd., 2020).

Malzeme seçimi, uygulamanın gereksinimlerine ve işletme koşullarına bağlı olarak yapılmalıdır. Çelikler yüksek mekanik dayanım ve maliyet etkinliği sunarken, korozyon ve sıcaklık değişimlerine karşı hassas olabilir. Alüminyum ve alaşımları hafiflik ve korozyon direnci sağlar, fakat mekanik dayanımları sınırlıdır. Paslanmaz çelikler, korozyon direnci açısından üstün performans sunar, ancak maliyetleri yüksektir. Seramikler ve kompozitler yüksek sıcaklık ve kimyasal direnç için uygundur, ancak yüksek maliyet ve düşük darbe dayanımı gibi dezavantajları vardır (Murray, 1997).

Sonuç olarak, termal enerji depolama tankları için malzeme seçimi, tankın performansını, ömrünü ve güvenliğini doğrudan etkiler. Seçim sürecinde teknik özellikler, maliyet, üretim süreçleri ve çevresel etkiler dikkate alınmalıdır. Malzemelerin avantaj ve dezavantajları Tablo 9'da özetlenmiştir.

Tablo 9. Tank yapımında kullanılan malzemelerin karşılaştırılması

Malzeme	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Karbon Çeliği	Yüksek mukavemet ve dayanıklılık Uygun maliyet Kolay işlenebilir	Korozyona karşı hassas (kaplama gerektirebilir) Yüksek sıcaklıklarda kullanılmaz Uzun vadede bakım gerektirir.
Paslanmaz Çelik	Yüksek sıcaklık ve korozyona dayanıklı Uzun ömürlü ve düşük bakım ihtiyacı Kimyasal direnç yüksek	Yüksek maliyet Ağır, taşınabilir uygulamalarda
Alüminyum	Hafif ve taşınabilir Korozyona karşı dirençli Yüksek ısı iletkenliği Düşük maliyet	Düşük ısı iletkenliği Düşük sıcaklık aralığı Mekanik mukavemeti düşük Maliyetli olabilir
Beton	Isıyı uzun süre muhafaza eder Yeraltı uygulamaları için uygundur Hafif ve dayanıklı	Kütlesel ve ağırdır, taşınması zor Kısa vadede ısınma-soğuma çevrimlerine dayanıklılığı düşüktür Korozyon ve çatlaklar oluşabilir (özellikle tuzlu suyla temasında) Sınırlı sıcaklık dayanımı (genellikle 80-100°C arası)
Cam Elyaf Takviyeli Plastik	Korozyona dayanıklı Kimyasallara karşı dayanıklı	Güneş ışığına maruz kalırsa UV hasarı olabilir Yangın dayanımı düşüktür
Bakır	Mükemmel ısı iletkenliği Korozyona karşı doğal direnç Bakteriyel büyümeyi engelleyici özellik	Yüksek maliyet Ağır, taşınması ve işlenmesi zor Sınırlı bulunabilirlik
Nikel Alaşımları (Kaplama)	Yüksek sıcaklık ve korozyon dayanımı Tuz eriyiklerine karşı üstün direnç	Yüksek maliyetli Kaplama işlemi teknik bilgi gerektirir
Seramik Kaplamalar	Kimyasal ve termal dayanım yüksek Tuz eriyiklerine karşı dayanıklıdır	Kırılgan olabilir ve hasar görmesi durumunda onarım zordur Kaplama maliyetli olabilir
(Nikel-Krom Alaşımları)	Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır Korozyona karşı dirençlidir	Oldukça maliyetli Uygulaması zordur ve uzmanlık gerektirir
PTFE (Politetrafloroetilen)	Kimyasal olarak inert ve korozyon direnci yüksek	Yüksek sıcaklıklarda dayanıklı değildir

Malzeme Seçiminde Dikkate Alınması Gereken Ek Faktörler

Termal enerji depolama tanklarının tasarımında malzeme seçimi, malzemenin yalnızca mekanik ve termal özellikleriyle sınırlı kalmaz. Tasarımın başarısını ve sistemin uzun vadeli performansını garanti altına almak için, malzeme seçimi sürecinde dikkate alınması gereken bir dizi ek faktör bulunmaktadır. Bu bölümde, bu faktörler detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

Çevresel Etkiler

Malzemelerin çevresel koşullara dayanıklılığı, performans ve ömrü üzerinde doğrudan etkili olabilir. Termal enerji depolama tanklarının zorlu koşullarda çalışması nedeniyle malzemelerin dayanıklı olması önemlidir. Korozyon, tuzlu su ve kimyasal maddeler gibi etkenlerle malzeme performansını etkiler; paslanmaz çelik bu koşullara karşı yüksek direnç sunar. Termal şoklar, UV ışınları ve nem de malzemenin bozulmasına neden olabilir. Çevresel etkilere karşı dayanıklı malzemeler, tankın ömrünü uzatır ve bakım maliyetlerini azaltır (Stewart, 2021).

Ekonomik Faktörler

Malzeme seçiminde ekonomik faktörler, bütçe ve uzun vadeli maliyet etkinliğini belirler. Malzeme maliyeti, üretim ve işletme maliyetlerini etkiler; ancak bakım, onarım ve değiştirme maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, başlangıçta yüksek maliyetli olan paslanmaz çelik, uzun ömrü ve yüksek korozyon direnci sayesinde uzun vadede daha ekonomik olabilir. Ayrıca, yerel olarak temin edilen malzemeler, nakliye ve tedarik maliyetlerini düşürür, proje maliyetini olumlu yönde etkiler. Bu nedenle, ekonomik faktörlerin kapsamlı değerlendirilmesi, bütçeyi aşmamak ve maliyet etkinliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir (Chen vd., 1993).

Üretim ve İşlenebilirlik

Malzeme seçiminde, üretim ve işlenebilirlik kritik faktörlerdir. Seçilen malzemenin işlenme süreci, tankın tasarımını ve maliyetlerini etkiler. Örneğin, alaşımlı çelikler ve seramikler yüksek sıcaklıklarda işlenmeli, bu da üretim sürecini karmaşıklaştırıp maliyetleri artırabilir. Ayrıca, bazı malzemelerin kaynak yapılabilirliği sorun yaratabilir, bu da yapısal bütünlüğü etkileyebilir. Standartlaştırılmış malzeme formları, üretim sürecini verimli hale getirir ve maliyetleri düşürebilir (Stewart, 2021).

Geri Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik

Günümüzde endüstriyel tasarımlarda, malzemelerin geri dönüşüm potansiyeli ve çevresel sürdürülebilirliği giderek daha önemli hale gelmektedir. Termal enerji depolama tankları gibi büyük yapılar, geri dönüştürülebilir malzemelerden yapılırsa çevresel etkileri azaltılabilir. Malzeme seçiminde

geri dönüştürülebilir malzemeler tercih edilmelidir, bu da atıkları azaltır ve enerji verimliliğini artırır (Biçer ve Derviş, 2023).

Uzun Vadeli Performans ve Dayanıklılık

Malzemenin uzun vadeli performansı, termal enerji depolama tanklarının hizmet ömrü ve güvenilirliği için kritik öneme sahiptir. Tanklar, yıllarca yüksek sıcaklıklarda sorunsuz çalışacak şekilde tasarlanmalı ve malzemeler bu koşullara dayanabilmelidir. Ayrıca, malzemelerin termal genleşme katsayısı da göz önünde bulundurulmalıdır; sıcaklık değişimleri tankta gerilmelere neden olabilir. Bu yüzden, malzemelerin uzun vadeli termal stabilitesi, mekanik dayanımı ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığı dikkatlice değerlendirilmelidir. Uzun vadeli performans ve dayanıklılık, tankın güvenli ve verimli çalışmasını garanti eder (Tawalbeh vd., 2023).

DEĞERLENDİRME

Endüstriyel ısı depolama sistemlerinin tasarımı, enerji talebindeki artış ve çevresel kaygılar nedeniyle önem kazanmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı rezervleri ve çevre etkileri, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde depolanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, endüstriyel ısı depolama tankları, enerji verimliliğini artıran ve operasyonel maliyetleri düşüren kritik bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

Isı enerjisi, bir sistemin içindeki moleküllerin hareketinden kaynaklanan toplam enerji miktarıdır ve genellikle sıcaklıkla ilişkilidir. Termal enerji, birçok endüstriyel süreçte, ısıtma sistemlerinde ve enerji üretim tesislerinde önemli bir rol oynar. Termal enerji depolama sistemleri, bu enerjinin daha sonra kullanılmak üzere depolanmasını ve enerji arzı ile talebi arasındaki dalgalanmaların etkisini azaltmayı sağlar. Bu sistemler, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının süreksiz doğası göz önüne alındığında, enerji sistemlerinin istikrarını ve güvenilirliğini artırmak için kritik öneme sahiptir.

Termal enerji depolama sistemlerinin tasarımında, tankın kapasitesi, şekli, yalıtım özellikleri ve kullanılan malzemelerin termal performansı üzerinde detaylı analizler yapılır. Bu analizler, tankın hem termal hem de yapısal performansını optimize etmek için hayati önem taşır. Tankın içindeki sıvının sıcaklığını etkileyen parametreler arasında zaman, malzeme özellikleri, tankın şekli ve boyutları gibi faktörler yer alır. Bu parametrelerin birbirleriyle etkileşimde nasıl bulduklarını anlamak, tankın maksimum verimlilikte çalışmasını sağlamak açısından kritiktir.

Malzeme seçimi, tasarım sürecinin en kritik aşamalarından biridir. Isı depolama tanklarının termal performansını optimize edecek ve yapısal bütünlüğünü koruyacak malzemelerin seçilmesi, tankın uzun ömürlü olmasını sağlamak için gereklidir. Malzeme seçiminde, termal genleşme katsayısı, korozyon direnci, mekanik dayanıklılık, üretim kolaylığı ve maliyet etkinliği

gibi kriterler dikkate alınır. Aynı zamanda, malzemelerin çevresel koşullara dayanıklılığı da değerlendirilmelidir.

Bu süreçte, malzemelerin performansını değerlendirmek için çeşitli kriterler ve performans endeksleri kullanılır, bu da tankın performansını ve güvenliğini artıracak şekilde malzeme seçimini yönlendirir.

Tankın geometrik tasarımı, termal analizlerde ve enerji verimliliğinin optimize edilmesinde önemli bir rol oynar. Tankın şekli, yüzey alanı, hacmi ve yalıtım özellikleri, tankın ısı kaybını ve sıvının sıcaklığını doğrudan etkiler. Yüzey alanının optimize edilmesi, ısı kayıplarını minimize etmek için kritik öneme sahiptir. Yalıtım malzemesinin seçimi, termal performans üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yalıtım malzemesi, tankın enerji verimliliğini artırmak için uygun bir şekilde seçilmeli ve yerleştirilmelidir. Bu faktörlerin dikkatli bir şekilde analizi, en uygun geometrik tasarımın belirlenmesine ve enerji verimliliğinin maksimuma çıkarılmasına olanak tanır.

Yapısal analizler, tankın çeşitli konfigürasyonlar altında maruz kalabileceği gerilmeleri belirler. Bu analizler, hidrostatik basınç ve su çekiçlenmesi gibi dinamik basınç etkilerini dikkate alarak tankın statik ve dinamik yükler altında güvenli çalışmasını sağlar. Analizler sonucunda, tasarım iyileştirmeleri yapılır ve ASME, EN, ISO gibi uluslararası standartlara uyum, tankların güvenliğini ve dayanıklılığını sağlar. Bu standartlar, tankların global pazarda rekabetçi olabilmesi için de önemlidir.

Endüstriyel ısı depolama sistemlerinin performansını artırmak ve güvenilirliğini sağlamak için birçok mühendislik prensibinin entegre edilmesi gerekmektedir. Malzeme seçiminden ısı ve yapısal analizlere kadar her aşama, tankların güvenliğini ve verimliliğini artıracak şekilde entegre edilmelidir. Bu kapsamlı yaklaşım, endüstriyel ısı depolama sistemlerinin performansını artırmak ve maliyet etkinliğini sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır. Bu mühendislik çözümlerinin optimize edilmesi, hem teknik hem de ekonomik avantajlar sunarak endüstriyel enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini desteklemektedir.

Günümüz enerji ihtiyaçları, enerji sistemlerinin verimliliğini artırmak ve sürdürülebilir çözümler geliştirmek için daha fazla çaba gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ve etkili depolama, enerji arz ve talebi arasındaki dengeyi sağlar ve çevresel etkileri azaltır. Endüstriyel ısı depolama sistemleri, bu gereksinimleri karşılayarak enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğine ve verimliliğine katkıda bulunur. Bu sistemlerin tasarımı, malzeme seçimi, operasyonel yönetimi ve yıpranma önlemleri, uzun vadeli performans ve güvenlik için kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, endüstriyel ısı depolama sistemlerinin tasarımı ve optimizasyonu, enerji depolama ve yönetimi konusunda stratejik bir rol oynar.

maktadır. Mühendislik prensipleri ve teknik çözümler, enerji sistemlerinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için gereklidir. Gelecekte, bu sistemlerin sürdürülebilir enerji çözümleri açısından önemi artacaktır. Bu çalışma, endüstriyel ısı depolama sistemlerinin etkin tasarımı ve işletilmesi için gerekli temel unsurları sunmakta ve gelecekteki araştırmalara ışık tutmaktadır.

REFERANSLAR

- Afram, A., Janabi-Sharifi, F., ve Giorgio, G. (2014). Data-driven modeling of thermal energy storage tank. *2014 IEEE 27th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 1–5.
- Al-Nimr, M. A. (1993). Temperature Distribution Inside a Solar Collector Storage Tank of Finite Wall Thickness. *Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of The Asme*, 115, 112–116.
- Alves, M. P., Gul, W., Junior, C. A. C., ve Ha, S. K. (2022). A Review on Industrial Perspectives and Challenges on Material, Manufacturing, Design and Development of Compressed Hydrogen Storage Tanks for the Transportation Sector. *Energies*.
- ANSYS Fluent 18. (2020). ANSYS Fluent Tutorial Guide 20. *ANSYS Fluent Tutorial Guide 18*, 15317(April), 724–746.
- Arnold, S. M., Cebon, D., ve Ashby, M. F. (2012). *Materials Selection for Aerospace Systems*.
- Bauer, T., Steinmann, W.-D., Laing, D., ve Tamme, R. (2012). *Chapter 5: Thermal energy storage materials and systems*.
- Biçer, Ü., ve Derviş, R. A. (2023). An approach for the material selection and use in industrial-energy facilities. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 4(2), 232–243.
- Błachut, J., ve Magnucki, K. (2008). Strength, Stability, and Optimization of Pressure Vessels: Review of Selected Problems. *Applied Mechanics Reviews*, 61, 60801.
- Budaiwi, I. M., Abdou, A. A., ve Al-Homoud, M. S. (2002). Variations of Thermal Conductivity of Insulation Materials Under Different Operating Temperatures: Impact on Envelope-Induced Cooling Load. *Journal of Architectural Engineering*, 8, 125–132.
- Chattopadhyay, S. (2008). *Material Selection For A Pressure Vessel*.
- Chen, R., Strong, D. R., ve Hawaleshka, O. (1993). An economic model for raw material selection. *International Journal of Production Research*, 31, 2275–2285.
- Choi, M., Byun, Y.-W., ve Yang, J. (2019). A Study on Depot Maintenance Technology for Recycling Observation Window of the K1A1 Tank Commander's Primary Thermal Sight. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*.
- Cooker, M. J., ve Peregrine, D. H. (1995). Pressure-impulse theory for liquid impact problems. *Journal of Fluid Mechanics*, 297, 193–214.
- da Silva Junior, R. R., Totten, G. E., Vendramim, J. C., ve de Campos Franceschini Canale, L. (2017). Thermal Fatigue in Hot Work Tool Steels - A Review. *Heat Treat 2017: Proceedings from the 29th Heat Treating Society Conference and Exposition*.
- Deceased, J. A. D., ve Beckman, W. A. (1982). Solar engineering of thermal processes. In *Design Studies* (Vol. 3, Issue 3).

- Doğangün, A., Durmuş, A., ve Ayvaz, Y. (1996). Static and dynamic analysis of rectangular tanks by using the lagrangian fluid finite element. *Computers & Structures*, 59, 547–552.
- Dolgun, G. K., Keçebaş, A., Ertürk, M. İ., ve Daşdemir, A. (2023). Optimal insulation of underground spherical tanks for seasonal thermal energy storage applications. *Journal of Energy Storage*.
- Fuenmayor, D., Wink, R. E., ve Bortz, M. (2018). Comparison Between the ASME BPVC Section VIII Division 3 and the Chinese Regulation TSG 21-2016 With Regard to the Design of High Pressure Vessels. *Volume 5: High-Pressure Technology; ASME Nondestructive Evaluation, Diagnosis and Prognosis Division (NDPD); Rudy Scavuzzo Student Paper Symposium and 26th Annual Student Paper Competition*.
- Gabrielli, R., ve Zamparelli, C. (2009). Optimal Design of a Molten Salt Thermal Storage Tank for Parabolic Trough Solar Power Plants. *Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of The Asme*, 131, 41001.
- García-G, D., Barco-Burgos, J., Chaparro, J., Eicker, U., D.R, J. C., ve Saldaña-Robles, A. (2023). Analyzing joint efficiency in storage tanks: A comparative study of API 650 standard and API 579 using finite element analysis for enhanced reliability. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*.
- García, O., Johnson, S.I., ve Seltzer, K. (2017). The Translanguaging Classroom: Leveraging Student Bilingualism for Learning. *Journal of Language, Identity & Education*, 21(1), 60–62.
- Godoy, L. A. (2016). Buckling of vertical oil storage steel tanks: Review of static buckling studies. *Thin-Walled Structures*, 103, 1–21.
- Górny, A. (2014). Human Factor and Ergonomics in Essential Requirements for the Operation of Technical Equipment. *Interacción*.
- Heires, M. (2008). The International Organization for Standardization (ISO). *New Political Economy*, 13, 357–367.
- Hiris, D. P., Pop, O. G., ve Balan, M. C. (2022). Analytical modeling and validation of the thermal behavior of seasonal storage tanks for solar district heating. *Energy Reports*.
- Jendzelovský, N., ve Uhlířová, L. (2020). Rectangular tank under the seismic load. *MA-TEC Web of Conferences*.
- Johnston, B. (2020). *Routine Maintenance Prolongs a Storage Tank's Life*.
- Jones, M. (2020). Corrosion Prevention. *Structural Integrity*.
- Kane, R. D., ve Cayard. (1995). Select materials for high temperatures. *Chemical Engineering Progress*, 91, 83–90.
- Kareem, L. A. U. L., Alithari, A. S., ve AlZurfi, N. (2020). Reducing the mechanical wear of elbows and pipes due to solid particles flow by using nano coating technique. *Scientific Reports*, 11.

- Kistak, C., ve Eren, H. (2016). Assessment of Ball Valve Closing In Water Hammer Event Via Video Processing Method. *Engineering Mechanics*, May, 9–12.
- Kocijel, L. (2021). Geometry change impact on thermal efficiency with large volumetric sensible heat storage tank. *Energy Storage*, 4.
- Kocijel, L., Mrzljak, V., ve Glavzar, V. (2020). Numerical analysis of geometrical and process parameters influence on temperature stratification in a large volumetric heat storage tank. *Energy*, 194, 116878.
- Konjarik, T. (2020). *Elementi za transport fluida cijevima i njihova primjena u prehrambenoj industriji*.
- Kreith, F., Manglik, R. M., ve Bohn, M. S. (2002). Principles of Heat Transfer. In *Applied Mechanics Reviews* (Vol. 55, Issue 5).
- Leite, R., ve Centeno, F. R. (2018). Effect of tank diameter on thermal behavior of gasoline and diesel storage tanks fires. *Journal of Hazardous Materials*, 342, 544–552.
- Lengvarský, P., Pástor, M., ve Bocko, J. (2015). Static Structural Analysis of Water Tank. *American Journal of Mechanical Engineering*, 3, 230–234.
- Majid, F. (2015). *Réservoirs de stockage : Méthodologie de calcul et analyse sécuritaire*.
- McDonald, K. (2015). *Pressure in Fluid Flow Past a Sphere*.
- Mirko, Đ., Dragan, P., ve Milan, B. (2011). Identification of the stress-strain state of a cylindrical tank with walls of variable thickness. *FME Transactions*, 39, 25–32.
- Murray, G. M. (1997). *Handbook of materials selection for engineering applications*.
- Ochmann, J., Rusin, K., Stanek, B., Rulik, S., ve Waniczek, S. (2022). *Experimental studies of packed-bed Thermal Energy Storage system performance*.
- Ochs, F., Dahash, A., Tosatto, A., ve Janetti, M. B. (2020). Techno-economic planning and construction of cost-effective large-scale hot water thermal energy storage for Renewable District heating systems. *Renewable Energy*, 150, 1165–1177.
- Prieto, C., Blindu, A., Cabeza, L. F., Valverde, J., ve García, G. (2023). Molten Salts Tanks Thermal Energy Storage: Aspects to Consider during Design. *Energies*.
- Probert, D. (1975). Design and performance of hot-oil storage tanks. *Applied Energy*, 1, 247–278.
- Rosen, M. A., ve Dincer, I. (2003). Exergy methods for assessing and comparing thermal storage systems. *International Journal of Energy Research*, 27.
- Rusin, K., Ochmann, J., Bartela, Ł., Rulik, S., Stanek, B., Jurczyk, M., ve Waniczek, S. (2022). Influence of geometrical dimensions and particle diameter on exergy performance of packed-bed thermal energy storage. *Energy*.
- Sabry, M.-N., ve Shatla, M. (2008). An enhanced thermal model for cryogenic tanks. *2008 Second International Conference on Thermal Issues in Emerging Technologies*, 455–464.

- Segarra, M., Barreneche, C., Calderón, A., ve Fernández, A. I. (2018). Materials Selection for Thermal Energy Storage Applications—Case Studies. *Recent Advances in Materials and Systems for Thermal Energy Storage*.
- Shaheen, Y. B. I., Aboul-ella, F., Eltaly, B., ve Kameel, M. (2018). Structural Performance of Ferrocement Tanks under Pressure Loads. *International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology*.
- Sharma, M. M., ve Brooks, R. E. (1980). Fiber-Optic Sensing In Cryogenic Environments. *Other Conferences*.
- Simpson, D. A. (2019). Comparative Risks of Hydrostatic and Pneumatic Pipeline Testing. *Journal of Pressure Vessel Technology*.
- Stewart, M. B. (2021). Selection of tank materials. *Surface Production Operations*.
- Szymczak-Graczyk, A. (2020). Numerical Analysis of the Bottom Thickness of Closed Rectangular Tanks Used as pontoons. *Applied Sciences*.
- Tari, J. J., Molina-Azorín, J. F., ve Heras, I. (2012). Benefits of the ISO 9001 and ISO 14001 standards: a literature review. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5, 297–322.
- Tawalbeh, M., Khan, H. A., Al-Othman, A., Almomani, F., ve Ajith, S. (2023). A comprehensive review on the recent advances in materials for thermal energy storage applications. *International Journal of Thermofluids*.
- Uhlířová, L., ve Jendzelovský, N. (2019). Dynamic analysis of rectangular tank using response spectra. *Vibroengineering Procedia*.
- Varghese, A. F., Ravindran, A. L., Balac, B., Glivin, G., Santhappan, J. S., Harikumar, H. K., Viswaksean, S., Padmavathy, S. R., Mashamoni, N. S., ve Retnasamy, C. (2024). Structural analysis of type 1 cylindrical pressure vessel. *Proceedings of The International Conference On Research Advances In Engineering And Technology- ITechCET 2022*.
- Wang, W., Zhang, X., Wang, X., ve Cai, M. (2020). *Structural Evaluation With Elastic and Inelastic Analysis Methods on a High Temperature Storage Tank Subjected to Static and Dynamic Loadings*.
- Wang, Z., ve Mérida, W. (2024). Thermal performance of cylindrical and spherical liquid hydrogen tanks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 53(December 2023), 667–683.
- Wiśniewska, W., ve Matysko, R. (2022). Stress Calculations of Heat Storage Tanks. *Materials*, 15(5).
- Yamankaradeniz, N. (2015). Minimization of thermal insulation thickness taking into account condensation on external walls. *Advances in Mechanical Engineering*, 7.
- Yamshchikova, S. A., ve Nasibullina, O. A. (2023). Selection of Protective Coating System for Tank Inner Surface. *Materials Science Forum*, 1083, 178–182.
- Yunus Cengel A. (2008). Heat Transference a Practical Approach. *MacGraw-Hill*, 4(9), 874.

- Zhang, X., Wu, Y., Ma, C., Meng, Q., Hu, X., ve Yang, C. (2019). Experimental Study on Temperature Distribution and Heat Losses of a Molten Salt Heat Storage Tank. *Energies*.
- Zhao, B., Zhang, Y., ve Wang, R. (2020). *Materials for Thermal Energy Storage: Classification, Selection and Characterization*.
- Zheng, Q., Hao, M., Miao, R., Schaadt, J. R. H., ve Dames, C. (2020). Advances in thermal conductivity for energy applications: a review. *Progress in Energy*, 3.