

Makine Mühendisliğinde DeneySEL ve Sayısal Çalışmalar

Editör
HASAN KÖTEN

BİDGE Yayınları

Makine Mühendisliğinde Deneysel ve Sayısal Çalışmalar

Editörler: Doç. Dr. Hasan KÖTEN

ISBN: 978-625-372-220-3

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.06.2024

BİDGE Yayınları

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

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

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

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

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



ÖNSÖZ

Mühendislik çalışmalarında en verimli sistem noktalarını belirlemek için mühendislik ve tabii bilimler gibi disiplinlere giderek daha fazla önem verilmektedir. Optimizasyon çalışmalarında kullanılan parametreler, en verimli noktaları belirlemek için sınır değerler kullanılmaktadır. Bu sınır değerlerinin uygulanması, üretim yöntemleri, ısıl işlemler ve enerji teknikleri gibi temel unsurlara dayanır. Bu kitabımızda, özel üretim ve ısıl işlem tekniklerinin yanı sıra teorik, sayısal, deneysel ve optimizasyon da dahil olmak üzere bu alandaki en son araştırmalara odaklanılmıştır. Bu üretim tekniklerinin hem araştırmacılar hem de pratik uygulamalara dahil olan teknik personel için değerli bir referans olacağına inanıyoruz. Bu kitaptaki bölümlerin yazarlarına teşekkürlerimizi sunarız ve kitabımızın hem endüstrimiz hem de araştırma merkezlerimiz için faydalı olmasını umarız.

Editor

Doç. Dr. Hasan KÖTEN

Editör

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
Ultrasonik Kaynak Yöntemi	6
Aydın ŞIK	6
Orhan KARA	6
Titanyum Esaslı Ei Parçalarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Isıl ve Mekanik Yüzey İşlemlerinin Etkisi.....	47
Gizem ATEŞ ÇÖMLEKÇİOĞLU	47
AHP Yöntemi ile Gemi İnşaatında Enerji Verimliliği Stratejilerinin İncelenmesi	58
İrem DÜZDAR	58
Reyhan GÜNEY	58
Otomotiv Havalandırma Sisteminde Akış Laminasyonu İçin Kullanılacak Bileşen Tasarımı Girişimi.....	78
Ahmet Muhammet ALEMDAR	78
Gökçe EKEN	78
Kokusuz Kalman Filtresi Yöntemi İle Lityum İyon Pilde Şarj Durum Hesaplaması	85
Buket ÖZGÜL	85
Bir Kayar Kanopi Mekanizmasına Ait Kilit Yapısının Sayısal Olarak İncelenmesi	123
Furkan İPEKOĞLU.....	123
Sadettin ORHAN	123
Modern Otomobil Isıtma, Havalandırma ve Klima Sistemlerinde Gürültü Sebepleri Ve Alınabilecek Önlemler	136

Gökçe EKEN	136
Ahmet Muhammet ALEMDAR.....	136
Bir Binek Araç Torpidosunun 3D CAD Modelinde Tasarım Doğrulama Süreçleri.....	149
Mesut Can DÖNDÜ	149
Gökçe EKEN	149
Kaskad Tip Soğutma Sisteminde Nanoakışkan Kullanımı	159
Metin YILMAZ	159
Canan CİMŞİT.....	159
Elif ÖĞÜT	159

BÖLÜM I

Ultrasonik Kaynak Yöntemi

Aydın ŞİK¹
Orhan KARA²

Giriş

Ultrasonik enerji, termoplastiklerin birleştirilmesinde 35 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Termoplastik malzemelerin ultrasonik kaynağı, ultrasonik birleştirmenin bugüne kadarki en yaygın şeklidir ve otomotiv, elektrik-elektronik, oyuncak, ambalaj, tekstil ve tıp dahil olmak üzere tüm büyük endüstrilerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Hızlı, ekonomi ve verimlilik açısından avantajlıdır. Ultrasonik kaynak, kaynak makineleri ve ekipmanları ile üreticilere sarf malzeme olmadan güvenilir birleştirme oluşturan, geri dönüştürülebilirliği artırırken çevresel hedefleri karşılayan,

¹ Prof. Dr. Aydın ŞİK Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Endüstriyel Tasarım Bölümü Ankara/Türkiye
ORCID: 0000-0002-8977-9094 aydins@gazi.edu.tr

² Orhan KARA ONKA Elektrik Malz. San. ve Tic. Ltd. Şti. Tasarım Merkezi Müdürü, Kocaeli/Türkiye,
ORCID: 0000-0002-0544-5821 orhan.kara@onka.com.tr

ambalaj malzemesi kullanımını azaltan ve kimyasal yapıştırıcıları ve solventleri ortadan kaldıran tam otomatik çözümler sunan bir kaynak yöntemidir (Chawla, 1998; Benator, 2015; Troughton, 2008; Grimm, 1995; Gauthier, 1995; Villegas, 2019).

Ultrasonik kaynak, plastiklerin birleştirilmesinde önemini onlarca yıldır kanıtlamıştır. Bu, özellikle güvenli ve verimli birleştirme teknolojisi alternatif proselere kıyasla çok sayıda avantaj sunmaktadır. Bu avantajlar:

- Hızlı kaynak süresi,
- Homojen, maddesel olarak bağlanmış kaynak dikişleri,
- Optik olarak mükemmel kaynak sonuçları,
- Kaynak süreçlerinin detaylı izlenmesi,
- Tekrarlanabilir sonuçlar,
- Düşük enerji tüketimidir (Vijendra & Sharma, 2015; Harras & Cole, 1996; Villegas, 2010; Rudolf, 1999; Bersee & Villages, 2010; Villages & Bersee, 1989).

Ultrasonik kaynakta, doğru proses parametrelerinin belirlenmesi ve uygun bir kaynak aletinin sağlanması gibi faktörlere ek olarak, birleştirilecek bileşenlerin kendileri de bir ultrasonik kaynak projesinin başarısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Bu nedenle belirleyici faktör önemlidir:

- Kaynak yapılacak termoplastik malzemenin çeşidi,
- Birleşenin tasarımı,

- Kaynak bağlantı tasarımı,
- Parça geometrisi,
- Estetik,
- Kaynak yapılacak parçadan beklentilerdir (dayanım, sızdırmazlık, vb.).

Bu faktörler, kaynak öncesi çözülür ve bileşenler ultrasonik ile birleştirme için uygun şekilde tasarlanırsa bu güvenilir kaynak işleminin geliştirilmesini hızlandırabilir ve maliyetlerden tasarruf sağlayabilir (Herrmannultraschall, 2024; Villages, 2014).

Kompozitlerde kullanılan matris sistemleri termoset ve termoplastiktir. Son zamanlarda termoplastik kompozitler, termoset kompozitlere göre çok sayıda avantaj sağladığından en çok talep gören malzeme haline gelmiştir (Somen & Gohel, 2020). Termoplastik (TP) kompozitler mükemmel titreşim sönümlemesi, yüksek darbe dayanımı, yüksek üretkenliği, yüksek hasar toleransı, kırılma tokluğu, geri dönüştürülebilirliği, yeniden şekillendirilebilirliği, kaynaklanabilir ve onarılabılır olması ve bükülme mukavemetine sahiptir. Termoset kompozitlerle karşılaştırıldığında maliyet etkinliğine ve bu özellikler, bir uçağın gövde ve kanat bölümlerinin imalatı gibi üst düzey uygulamalarda kullanılmasını sağlamıştır (Benatar, 2015; Benatar, 1989; Stokes, 1989; Gilmore, 1998; Niu, 1999; Advani, 2012; Benatar, Gallego-Juárez, Graff & et al, 2015). Termoplastik reçine, tanımlanan sıcaklık aralığının üzerinde ısıtıldığında daha yumuşak olma ve soğutulduğunda özelliklerini koruma konusunda doğal bir yeteneğe sahiptir. Bu nedenle, TP kompozitleri, iki benzer TP kompozit malzemesinin veya termoset (TS) kompozitler ve metaller gibi

benzer olmayan malzemelerle bir TP kompozitinin kaynağı için çekici bir adaydır. Polimer kompozit parçaları birleştirmenin mekanik sabitleme ve kontrol yapıştırıcılarının kullanımı gibi klasik yollarını ortadan kaldırmak için geniş bir endüstri yelpazesinden (havacılık, otomotiv, spor ve daha pek çokları) artan bir çağrı var. İlkini kullanmanın en büyük dezavantajı, kompozitlerin delikler nedeniyle oluşan yüksek gerilim konsantrasyonuna duyarlı olması ve yoğun emek gerektirmesi, ikincisi ise inanılmaz derecede daha uzun kürleme süresi ve daha uzun yüzey hazırlığı gerektirmesidir (Villages, 2014; Wang, Shriver, Banu, Hu, Xiao, Arinez, et al. 2017). Her iki geleneksel birleştirme yaklaşımı da, daha hafif ağırlıkla birlikte daha kısa üretim döngülerine ulaşma yönündeki durumu engeller ve otomasyon süreçleri için uygun değildir.

Termoplastiklerin kaynak özellikleri, endüstriyel ortamda üretilecek kompozit parçanın şekillendirme aşamasından bitirme adımlarına kadar maliyet etkinliğine yardımcı olur. Termoplastik kompozitlerin füzyonla bağlanması için mevcut en uygun kaynak teknikleri direnç, indüksiyon ve ultrasonik kaynaktır (Harras & Cole, 1996; Devine, 2001; Wagner, 2012; Wang, Shriver, Banu, Hu, Xiao, Arinez, et al, 2017; Vendan, Natesh, Garg & Gao 2019; Balle, 2009; Peebles ve Hufman, 1971; Advani & Hsiao, 2012).

ULTRASONİK KAYNAĞIN AVANTAJLARI VE SINIRLAMALARI

Plastik malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan ultrasonik kaynağın avantajları:

- İndüksiyon, direnç kaynağı ve ark kaynağı gibi diğer tekniklerle karşılaştırıldığında en hızlı birleştirme

yöntemlerinden biridir ve bu nedenle seri üretim ve otomatik işlemler için en uygun olanıdır.

- Numunelerin ultrasonik kaynağı için dolgu maddeleri gibi ek dolgu (elektrot, tel, vb.) maddelere gerek yoktur. Bu yöntem kullanılarak nokta veya dikiş kaynağı yapılabilir.
- Sürtünme karıştırma kaynağı gibi diğer kaynak işlemlerinde olduğu gibi ısı yüzeyin üst kısmından ziyade arayüzde üretildiğinden ultrasonik kaynakta yüzey hasarı minimum seviyededir (Wu, Meure & Solomon, 2008).
- Kaynak sırasında gaz, toz, duman veya kıvılcım oluşturmadiğından temiz bir birleştirme işlemidir ve bu nedenle çevre dostu olarak kabul edilmektedir.
- Çözücüler, yapıştırıcılar, mekanik bağlantı elemanları veya harici ısı gerekmez. Bitmiş kaynaklar güçlü ve temizdir.
- Ultrasonik ekipmana yapılan nispeten düşük maliyetli yatırım ve yüksek güvenilirliği, uzun ömrü, tekrarlanabilir performansı, ultrasonik kaynağı tercih edilen kaynak yöntemi haline getirmektedir.
- Ultrasonik montaj yaygın olarak kabul görmekte ve otomotiv, tıp, elektrik ve elektronik, iletişim, beyaz eşya, tüketici ürünleri, oyuncak ve tekstil ve ambalaj endüstrilerinde kullanılmaktadır.

- Üretimi önemli ölçüde artırabilen ve montaj maliyetlerini düşürebilen ekonomik bir süreçtir. Mekanik bağlantı elemanları kullanılarak monte edilen kompozit uçak yapılarının maliyetinin, toplam uçak maliyetinin %19 ila %42'si olduğu bildirilmektedir, dolayısıyla etkili ve optimize edilmiş füzyon birleştirme, genel üretim maliyetlerini potansiyel olarak azaltacaktır (Dukane, 2024; Ensminger & Bond, 2012).

Ultrasonik İşlemi Kullanmanın Sınırlamalarından Bazıları:

- Ultrasonik işlem, kaynak yapabileceği maksimum kalınlıkla sınırlıdır. Titreşimin daha kalın parçalara nüfuz etmesi ve yapışma bölgesindeki salınım zor olduğundan, sağlam kalitede bir kaynak elde etmek yeterli değildir (Haddadi & Abu-Farha, 2015; Liu & Chang, 2002).
- Şu anda, belirtilen ekipmanın gücü nedeniyle kalınlık yaklaşık 3 mm ile sınırlıdır (Wagner, 2012).
- Ultrasonik kaynak işlemini kullanırken bazı malzeme özelliklerinin etkileri kaçınılmazdır. Malzeme özellikleri olan yüksek sertlik, sertlik ve sönümlleme faktörü, titreşimin termal enerjiye dönüştürülmesi olan ultrasonik tekniğin temelini etkiler. Bu malzeme özellikleri arayüze iletilmesi gereken titreşim enerjisi miktarını değiştirir (Gutnik, 2002; Troughton, 2009).
- Ultrasonik kaynak, mekanik titreşim iletimi prensibiyle çalışır, bu nedenle rezonans durumunda

duyulabilir gürültü üretilebilir ve bu kaçınılmazdır. Ayrıca titreşimsel çevrimsel yükleme nedeniyle numunenin yorulma durumunda başarısız olma şansı daha fazladır (Ganesh & Praba Rajathi, 2013; Wool & O'Connor, 1981).

ULTRASONİK KAYNAK UYGULAMALARI

Ultrasonik kaynak, çeşitli endüstriyel alanlarda çok sayıda uygulamaya sahiptir. Bunlar otomotiv, havacılık, medikal, elektronik ve elektrik uygulamalarında ve diğer birçok uygulamada kullanılabilir (Grewell & Benatar, 2013). Havacılık ve otomotiv endüstrilerinde enerji tüketimini azaltarak verimliliği artırmak için hafif bir malzemeye ihtiyaç duyulur. Bu nedenle, bir bağlantı elemanı veya cıvatalı bağlantı kullanılması ağırlığı artıracaktır ve yapışkan bağlantıların uzun sertleşme döngüsü nedeniyle, endüstrilerde seri üretim için ultrasonik kaynak tercih edilen seçenektir (Wagner, Balle & Eifler, 2013). Ultrasonik kaynağın ölçeği sıralı kaynakla büyütülebilir; yani sürekli bir nokta kaynağı hattı, sürekli bir kaynakla aynı etkiye sahip olacaktır (Palardy & Villages, 2016; Palardy & Villegas, 2017). Böylece daha uzun bir parçanın kaynaklanmasının gerekli olduğu uygulamalarda ultrasonik kaynak kullanılabilir.

Diğer kaynak yöntemlerine göre daha temiz bir işlem olması ve kirlenmenin olmaması nedeniyle hastane kıyafetleri, tıbbi çip testleri, steril giysiler, maskeler ve temiz odalarda kullanılan tekstiller gibi tıbbi uygulamalarda ultrasonik kaynak tercih edilmektedir. Günümüzde bu teknik aynı zamanda ambalaj endüstrilerinde süt kapları gibi eşyaların paketlenmesinde de kullanılmaktadır; bu kaplar camdan yapılmıştır ve alüminyum folyo

ile kapatılmıştır. Elektronik endüstrilerinde diyot ve yarı iletken gibi elektronik parçaların alt tabakalarla birleştirilmesinde kullanılır. Ayrıca motorlar, alan bobinleri ve kapasitörler gibi cihazlar arasındaki elektriksel bağlantılar, geleneksel sabitleme ve yapıştırıcıların tercih edilmediği ultrasonik kaynak kullanılarak bağlanabilir (Wagner, Balle &Eifler, 2013; Palardy, Shi, Levy, Le Corre & Villegas, 2018).

Endüstriyel raporlara göre otomotiv, havacılık, uzay, spor, denizcilik, açık deniz ve diğer uygulamalara yönelik kompozit üretim teknolojisinin teknolojik ilerlemesinde en çok beklenen araştırma yönleri şunlardır:

- Hammadde maliyetini azaltmak,
- Seri üretim için üretim otomasyonu,
- Karmaşık kompozit parçalar için yapıştırma/birleştirme metodolojileri,
- Nihai kompozit parçanın sunduğu geri dönüştürülebilirlik,
- Hasar tespiti için onarım ve yapısal sağlık izlemedir.

Boeing Şirketinin Savunma ve Uzay Grubu tarafından bir maliyet karşılaştırma çalışması yapılmış ve kompozit bir kanat yapısının cıvatalı bir kanat yapısı ile karşılaştırıldığında füzyonla yapıştırılması (kaynaklanması) ile %61'den fazla iş gücü tasarrufu sağlanabileceği bildirilmiştir (Wedgewood & Hardy, 1996). Geleneksel kaynak yöntemlerin birçok dezavantajı vardır, örneğin mekanik bağlantılarda deliklerden dolayı bir gerilim yoğunlaşması vardır, delik delerken tabakalara ayrılma olasılığı vardır, bağlantı

elemanlarının, perçinlerin ve cıvataların ilave ağırlığı, yoğun iş gücü ve gereken süre oldukça fazladır (Bolt, 2014; Palardy & Villegas, 2017).

Ultrasonik kaynak, yüksek frekanslı mekanik hareketten üretilen ısıнын kullanılmasıyla termoplastiklerin birleştirilmesi veya yeniden şekillendirilmesidir. Kaynak işlemi, plastikleri birbirine bağlanacak kadar yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtmak için sürtünmeyi kullanır (Telsonic, 2024). Bu sürtünme ısısı, elektrik enerjisinin, bağlantı bölgesinde yüksek frekans nedeniyle oluşan ısı mekanik harekete (titreşimlere) dönüştürülmesiyle gerçekleştirilir. Titreşimler, basınç/kuvvet altında bir parçaya uygulandığında arayüzde sürtünme ısısı oluşturarak bağlantı bölgesindeki plastiğın erimesi sonucu plastik bileşenler arasında moleküler bir bağ oluşturur.

Temel fizik yasalarına göre ısıнын gerçek tanımı, “moleküllerin rastgele hareketleri veya titreşimleriyle ilişkili enerjidir”. Teorik olarak, yalnızca mutlak sıfırda (-273°C olarak hesaplanan ve muhtemelen elde edilmesi imkansız olan) moleküler hareket durur. Yani pratikte herhangi bir maddenin molekülleri sürekli titreşim halindedir. Bir maddedeki moleküler titreşim miktarı onun sıcaklığını belirler Molekülleri ne kadar titreşirse madde o kadar “sıcak” olur. Bu nedenle çekicinin darbesi metaldeki moleküler titreşimin artmasına neden olur ve bu da sıcaklığın artmasına ve kolay şekillenmesini sağlar (Stokes, 1989).

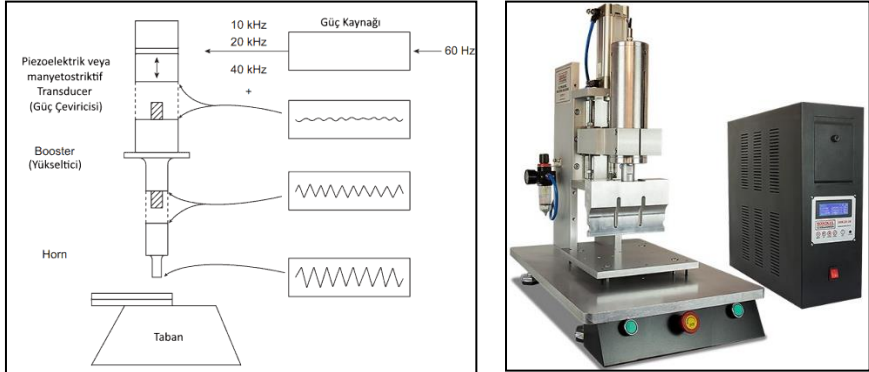
Yüksek frekanslı ses titreşimlerini termoplastiğın belirli bir alanına odaklayarak, malzemenin molekülleri “sarsılır” ve malzeme eriyene ve bitişik parçaya bağlanana (kaynak) veya aletin şeklini

alana (yeniden şekillenene) kadar sıcaklık artar. Ultrasonik birleştirme ısıyla ilgili bir işlem olduğundan, ısıyla kaynaklama ve şekillendirmeye ilişkin bazı prensipler aynıdır. Temel fark, ısıнын istenilen yere nasıl iletiliğidir. Ultrasonik ile alet, malzeme boyunca ilerlemesi ve istenen erime noktasına odaklanması gereken yüksek frekanslı ses titreşimlerini ileterek malzemenin kendisinde ısı oluşmasına neden olur (Dukane, 2024).

ULTRASONİK KAYNAK YÖNTEMİ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Ultrasonik kaynak makineleri, nokta veya dirençli kaynak makinelerine benzer. Bir horn, birleştirilen parçaları iterek, bir araya gelinceye kadar basınç ve enerji uygular. Modern endüstriyel kontrollerle bu hızlı ve tekrarlanabilir bir süreç olmaktadır.

Ultrasonik kaynak, parça tasarımını basitleştirebilir. Geniş düz alanlara veya deliklere gerek yoktur ve hermetik olarak sıkı muhafazalar oluşturmak mümkündür.



Şekil 1: Standart ultrasonik kaynak işleminde kullanılan ekipmanlar (Sonikel, 2024)

Şekil 1’de ultrasonik plastik kaynak makinelerinde yaygın olarak bulunan bileşenlerin kısa bir listesi bulunmaktadır:

Güç Kaynağı Ünitesi: Güç kaynağı ünitesi (PSU), kaynak makinelerine önceden belirlenmiş bir voltajda elektrik sağlar; tipik olarak 110-240 V arasındadır. Ancak bu voltaj uygulamaya bağlı olarak farklılık gösterebilir.

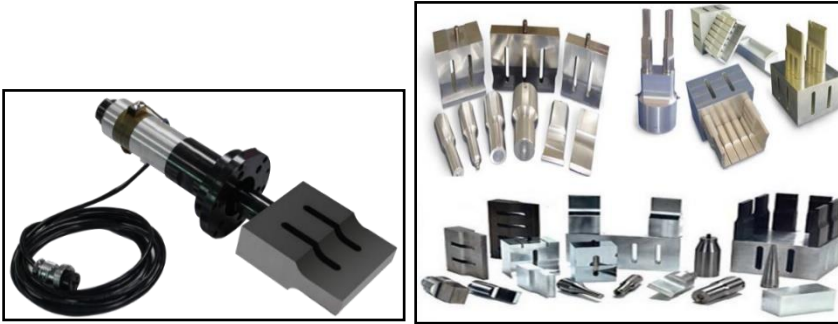
Pnömatik Piston/Pres: Pnömatik piston/pres, plastik parçaların düzgün bir şekilde bir araya gelmesini ve kaynak için uygun sıcaklıklara ulaşmasını sağlamak için dönüştürücü, güçlendirici ve horndan oluşan bir yığını aşağı doğru iter. Geleneksel pnömatik preslere benzer olmasına rağmen, bu bileşen yalnızca kaynağın başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için yeterli basıncı uygular (Raza, 2015; Offringa, 1996).

Dönüştürücü: Bazen iki ayrı parçaya ayrılrsa da dönüştürücü, elektrik enerjisini mekanik titreşimlere dönüştürmekten sorumludur. İçinde sinüzoidal AC akımından gelen piezoelektrik sinyallere yanıt olarak genişleyerek veya büzülerek elektrik sinyallerine yanıt veren birkaç piezoelektrik plaka bulunur; Üzerine sinüzoidal AC akımı uygulandığında, bu piezoelektrik plakalar yüksek frekanslarda genişler veya büzülür ve ultrasonik kaynaklar için gerekli mekanik titreşimler üretir (Tipik çıkış frekansı 15-40kHz, ancak kesin ayrıntılar kullanılan malzemeye göre değişir).

Güçlendirici: Oluşturulan kaynak sinyalleri yüksek frekanslı olsa da, kaynağın gerçekleşmesi için dönüştürücüden gelen çıkış titreşimlerinin güçlendirilmesi gerekir; dolayısıyla bir güçlendiriciye ihtiyaç vardır. Adından da anlaşılacağı gibi bu bileşen, yeterli kaynak faaliyeti sağlamak amacıyla horna giden sinyalleri yükseltmek için belirli frekanslarda rezonansa

girer. Ayrıca bu parça, yığın alt montajı ile kaynak presi arasında bağlantı görevi görür.

Horn: Kaynak hornları, titreşim sinyallerine mekanik kazanç eklemek ve titreşim makineleri için mekanik kazanç oluşturmak üzere tasarlanmış bileşenlerdir. En çok strese maruz kalan bileşenlerden biri olan kaynak hornları, titanyum veya alüminyum gibi dayanıklı malzemelerden yapılır. Titreşimler ile çatlamadan etkili bir şekilde titreşimleri aktaracak şekilde tasarlanmalıdır. Bu, eksenel kanal açma, sertleştirilmiş uçlar veya her bir parçaya maksimum uyum sağlayan konturlu uçlar gibi özellikleri içerebilir.



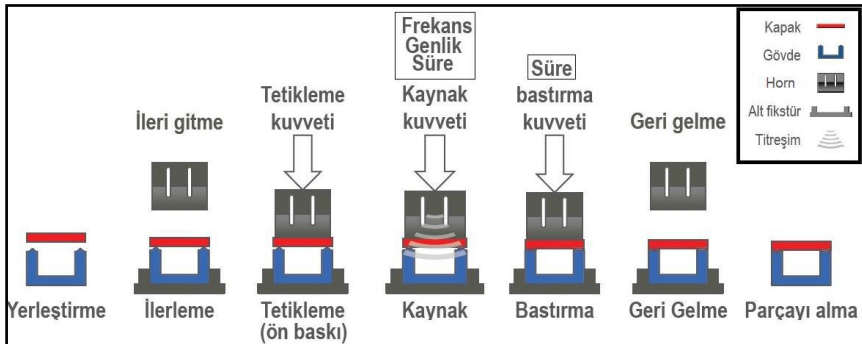
Şekil 2: Ultrasonik kaynakta kullanılan horn örnekleri

Şekil 2’de görüldüğü gibi ultrasonik hornlar, kendi doğal frekanslarında titreyecek şekilde tasarlanırlar. Hornların bu doğal frekansta titreşimlerine “rezonans” adı verilir. En basit örnek, aksiyel modda yarım dalga titreşen bir horndur. Horn kaynak yapılan bileşene enerji sağlayan ultrasonik makinenin elemanıdır. Ticari olarak temin edilebilen bazı tipik hornlar Şekil 2’de gösterilmiştir. Horn tasarımı, ultrasonik enerjinin başarılı bir şekilde uygulanması için kritik öneme sahiptir. Ultrasonik sistemin frekansında rezonansa

girecek şekilde tasarlanmıştır. Titreştiğinde boyu az miktarda uzar ve kısalır. Bu harekete horn genliği denir. Horn, dönüştürücü ile iş veya uygulama noktası arasındaki boşluğu doldurması ve ultrasonik enerjiyi uygulama noktasına aktarması gerekir. Horn her uygulama için gereklidir. Ayrıca, işleme ve kaynaklama gibi bazı uygulamalar için titreşimlerin genliği, hornun özel tasarlanmasıyla yükseltilmesi gerekir (Branson, 2024).

Ses dalgasının hızının kesit alanındaki azalmayla doğru orantılı olduğu prensibiyle çalışır. Böylece amplifikasyonu arttırmak için dalga giriş alanı büyütölür ve çıkış alanı küçölütölür. Bunu elde etmek için çeşitli konik işlevler uygulanabilir.

Örs-Altık: Örs, kaynak işlemleri sırasında parçaların birbirine düzgün şekilde oturmasını sağlamak amacıyla kullanılan destek takımının bir parçasıdır. Horndakine benzer gibi örs de genellikle çalışma sırasında hareketi önleyen ve kaynak işlemleri sırasında parçaları harekete karşı güvende tutmaya yarayan düşük toleranslı bir yapıya sahip olmalıdır. Şekil 3'te görölldüğu gibi ultrasonik kaynak, birbiriyle oldukça bağlantılı beş alt süreçten oluşmaktadır.



Şekil 3: Ultrasonik kaynak işlemleri

- a) Birleştirilecek iki termoplastik parça, fiksur adı verilen destekleyici bir yüzey üzerine st üste yerleştirilir.
- b) Horn adı verilen bir titanyum veya kaplanmış alüminyum bileşen st plastik parça ile temas ettirilir.
- c) Horna kontrollü bir basınç uygulanarak iki plastik parça fikstüre karşı birbirine kenetlenir.
- d) Horn, kaynak süresi adı verilen önceden belirlenmiş bir süre boyunca bir inin binde biri (mikron) cinsinden ölçülen mesafelerde saniyede 15.000 (15 kHz) veya 30.000 (30 kHz) kez dikey olarak titreştirilir. Bu titreşimli mekanik enerji iki parça arasındaki sınırlı temas noktalarına yönlendirilir. Mekanik titreşimler, sürtünme ısısı oluşturmak için termoplastik malzemeler aracılığıyla bağlantı arayüzüne iletilir. Bağlantı arayüzündeki sıcaklık erime noktasına ulaştığında, plastik erir, akar ve titreşim durdurulur. Bu, erimiş plastiğin soğumaya başlamasını sağlar.
- e) Erimiş plastik soğuyup katılaştığa parçaların kaynaşmasını sağlamak için sıkıştırma kuvveti önceden belirlenmiş bir süre boyunca korunur. Bu bekleme süresi olarak bilinir. Bekletme süresi boyunca daha yüksek bir kuvvet uygulanarak daha iyi bağlantı mukavemeti ve sızdırmazlık elde edilebilir.
- f) Erimiş plastik katılaştığında, sıkıştırma kuvveti kaldırılır ve horn geri çekilir. İki plastik parça artık

birlikte kalıplanmış gibi birleştirilir ve fıkstürden tek parça olarak çıkarılır.

ULTRASONİK KAYNAK PARÇA TASARIMI

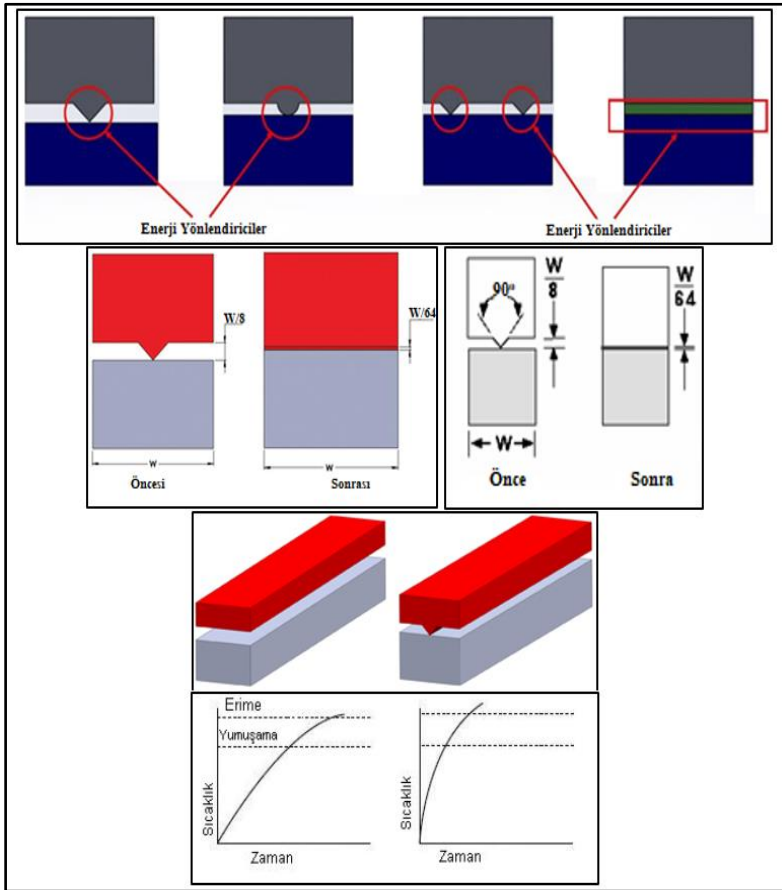
Ultrasonik kaynağın montajda kullanılabilmesi için plastik parçaların uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu, hem malzemelerin hem de bağlantı tasarımının dikkate alınması anlamına gelir.

Enerji Yönlendirici (Energy Director) Tasarım Türleri

Yaygın olarak enerji yönlendirici tasarımlarının ana türleri şunlardır:

Alın Birleştirme 90° Enerji Yönlendirici Kaynak Bölgesi Tasarımı: Parça üzerindeki enerji yönlendirici formu genellikle üçgen şeklindedir ve kalıpta elde edilir. Enerji yönlendiricinin öncelikli görevi enerjiyi kaynak bölgesine, birleşim yüzeyinin hızlı yumuşamasını ve erimesini sağlayacak şekilde iletmektir. Şekil 4 diagramda enerji yönlendiricili tasarım ile enerji yönlendirici kullanılmamış tasarım arasındaki fark zaman-sıcaklık eğrileriyle açıkça ortaya konmaktadır. Enerji yönlendiricili tasarım, diğer düz tasarıma göre daha hızlı şekilde yumuşama ve erime için istenen sıcaklığa ulaşmaktadır.

Birleşen yüzeyler; üçgen nokta düz bir yüzeye baskı yaparken yanal hareketi en aza indiren kademeli bir tasarıma sahiptir (Şekil 4). Bu tasarım, kaynak için parça konumunu basitleştirir.



Şekil 4: Düz ve enerji yönlendiricili tasarımların zaman-sıcaklık eğrileri

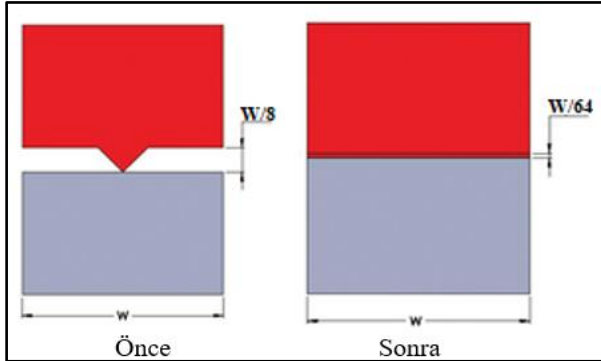
Enerji yönlendirici, tipik olarak bağlantı yüzeylerinden biri üzerine kalıplanmış yükseltilmiş üçgen şeklinde bir malzemedir. Enerji yönlendiricinin birincil işlevi, birleştirme yüzeyinin yumuşamasını ve erimesini hızla başlatmak için enerjiyi yoğunlaştırmaktır. Şekil 4'teki diyagramlar, bir alın eklemi için zaman-sıcaklık eğrilerini ve bir enerji yönlendiricisi içeren daha ideal bir bağlantıyı göstermektedir. Enerji yönlendiricisi, maksimum

güce ulaşırken hızlı kaynağa izin verir, yönlendirici içindeki malzeme genellikle birleştirme alanı boyunca akar. Enerji yönlendiricisi amorf malzemeler için en sık kullanılan tasarım olmasına rağmen yarı kristal malzemeler için de kullanılır (Devine, 2001; Tolunay, Dawson & Wang, 1983).

Enerji Yönlendiricisi ile Alın Bağlantısı: Enerji yönlendiricili tasarım için temel tasarım formülü Şekil 4'te gösterilmektedir. Bağlantı ara yüzü üzerindeki enerji yönlendiricisinin boyutu ve konumu aşağıdaki parametrelere bağlıdır.

- Kullanılan malzemeler,
- Kaynak gereklilikleri,
- Parça boyutudur.

Enerji yönlendiricisinin uç kısmı mümkün olduğu kadar keskin olmalıdır; Tepe noktasında yuvarlak veya düz olan enerji yönlendiricileri yüksek miktarda akmayacaktır.



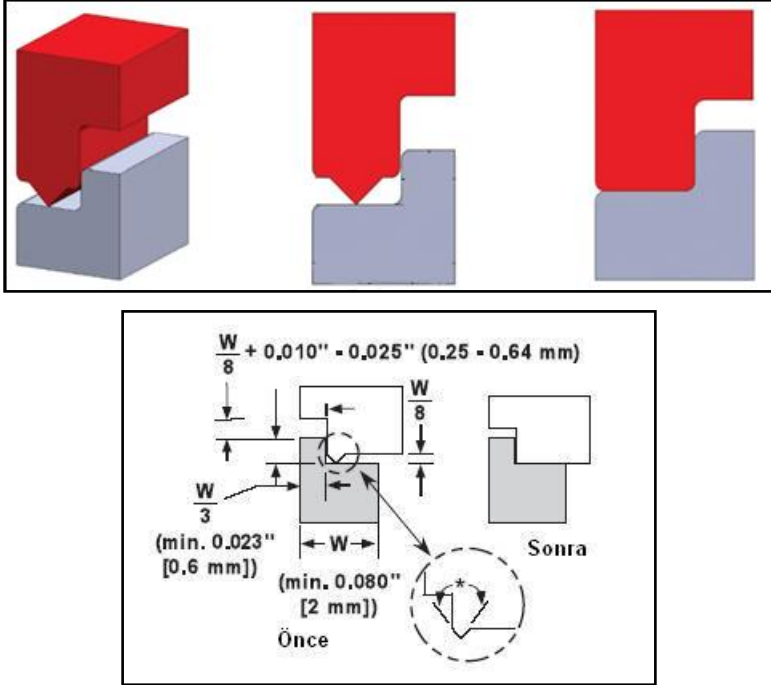
Şekil 5: Kaynak öncesi ve kaynak sonrası durumuyla enerji yönlendiricili tasarım (Tasarımda dikkat edilmesi gereken boyutsal sınırlar)

Enerji yönlendiriciler, yarı kristal reçineler (Örneğin; Asetal ve Naylon) malzemelerde maksimum bağlantı mukavemeti genellikle yalnızca enerji yönlendiricisinin tabanının genişliğinden elde edilir. Enerji yönlendiricisi parçanın her iki yarısında da bulunabilse de genellikle hornun temas ettiği kısımda yer alır. Özel durumlarda (farklı malzeme kombinasyonlarında olduğu gibi) genel uygulama, enerji yönlendiricisini, erime sıcaklığı ve sertliği en yüksek olan malzemenin bulunduğu parça üzerine yerleştirmektir. Enerji yöneticisi tasarımı, pimler ve yuvalar, hizalama çubukları veya dil ve oluk tasarımları gibi bir hizalama aracı gerektirir. Enerji Yönlendiricili tasarımda dikkat edilmesi gereken boyutlar Sekil 5'te gösterilmiştir. Tipik olarak amorf reçineler için 90°'lik bir iç açı kullanılırken, yarı kristalli reçineler için 60°'lik bir iç açı kullanılır. Dahil edilen açı malzemelere, dolgu maddelerine, parça geometrisine veya gereksinimlere bağlı olarak değişebilir (Dukane, 2024).

Enerji yönlendirici bağlantısının temel tasarım çeşitleri daha iyi kaynak işlemi yapabilmek uç bağlantı dışındaki ortak parametrelerde dahil edilebilir.

Kademeli Birleştirme Tasarımı: Kademeli bağlantı, hizalama için ve açıkta kalan bir yüzeyde aşırı erime veya parlamanın sakıncalı olduğu uygulamalar için kullanılır (Şekil 6). Parçanın çevresini çevreleyen boşluğa 0,005-0,020 inç (0,13-0,51 mm) eklenir. Kaynaklı birleştirmelerin ölçü tamlığının elde edilmesi için kullanılır. Ayrıca kaynaklı birleştirme yerlerinde bulunan eriyiklerin dışarı taşmaması için bu yöntem kullanılır. Sekil 6'da kademeli birleşme tasarımının boyutsal sınırları görülmektedir (Branson, 2024).

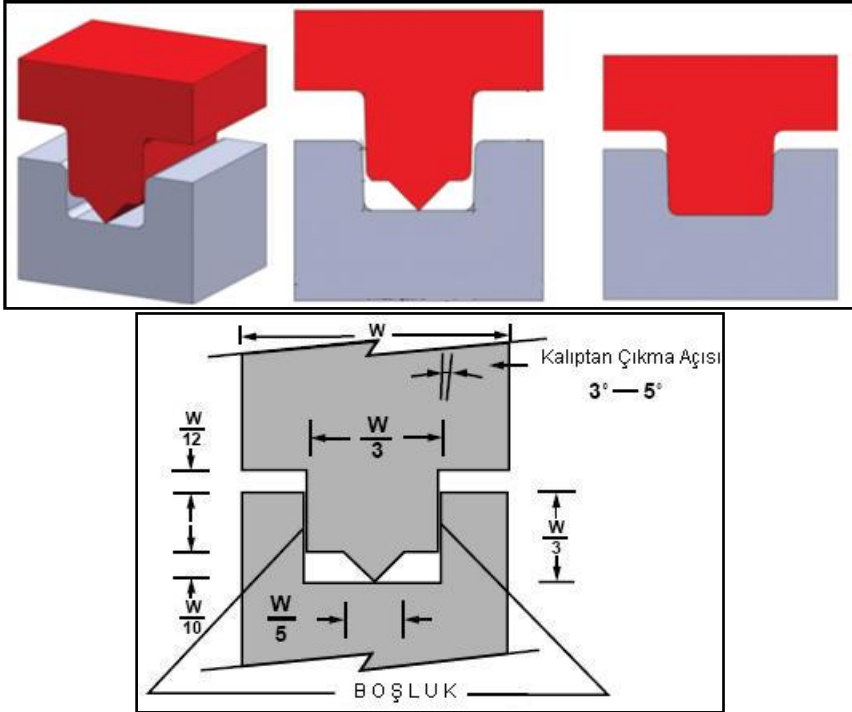
Burada bir yüzey düz, diğeri ise üçgen şeklindedir. Üçgen noktasını mümkün olduğu kadar keskin tutmak enerji transferini en üst noktaya çıkarır.



Şekil 6: Kademeli birleştirme

Girintili Çıkıntılı Birleştirme Tasarımı: Bu bağlantı tasarımı, parçalar arasında hizalama sağlarken hem içeriden hem de dışarıdan flaşın kontrol altına alınmasına yardımcı olur. Malzemenin oluk içinde tutulması hermetik bir sızdırmazlık sağlanmasına yardımcı olur. Şekil 7'de görüldüğü gibi bu bağlantının kullanılmasının en büyük faydası, hem içeriden hem de dışarıdan parlamayı önlemesi ve hizalamayı sağlamasıdır. Malzemenin muhafaza edilmesi hermetik contaların elde edilmesini artırır. Ancak çıkıntının her iki tarafında açıklığın korunması ihtiyacı bunun

kalıplanmasını daha da zorlaştırır. Ayrıca kaynak alanının azalması nedeniyle genellikle basamaklı bağlantı kadar güçlü değildir. Burada enerji yönlendiricisinin tasarımı, alın eklemli enerji yöneticisinde kullanılan aynı temel tasarım düşünce sürecini kullanılır (yani malzeme, gereksinimler, parça boyutu). Enerji yönlendirici burada da yine enerjinin kaynak bölgesine verimli bir şekilde aktarılmasını sağlamaktadır. Bu tasarımın en büyük avantajı çapakların oluşmasına engel olmasıdır. Ayrıca sızdırmazlık istenen durumlarda tercih edilir.



Şekil 7: Girintili-çıkıntılı birleşme tasarımı

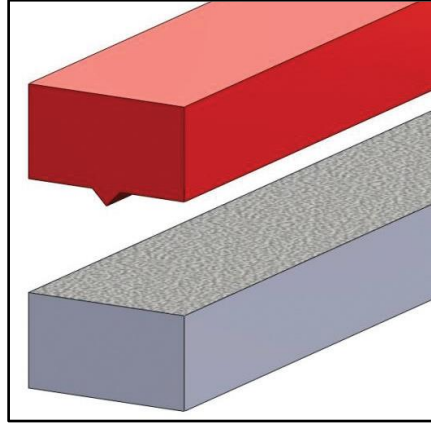
İşlem tamamlandığında, parçanın çevresi etrafındaki birleşme çizgisi, parçadan parçaya farklılıklar daha az fark

edileceğinden daha estetik bir görünüm yaratacaktır. Eğer boşluk tamamen kapatılmış olursa dışarıdaki bazı alanlarda flaş oluşması, bazılarında ise hafif boşluklar oluşması muhtemeldir. Fakat birleşme hattında parçalardaki küçük değişikliklerin fark edilme olasılığı daha düşüktür.

Pürüzlü Yüzeyli Birleştirme Tasarımı: Şekil 8’de görüldüğü gibi bu özellik sadece bir enerji yönlendiricisi ile birlikte kullanılır. Eşleşen parça üzerinde dokulu bir yüzeyin kalıplanması, sürtünme özelliklerini ve eriyik kontrolünü geliştirerek genel kaynak kalitesini ve mukavemetini artırır. Tablo 1’de de görüldüğü gibi genellikle doku 0,003 ila 0,006 inç derinliğindedir (0,076 ila 0,152 mm) ve enerji yönlendiricinin yüksekliğine göre değişir. Çoğu durumda, avantajlar arasında artan kaynak mukavemeti, azaltılmış parlama veya partikül, azaltılmış kaynak süreleri veya daha düşük genlik gereksinimleri bulunur. (Herrmannultraschall, 2024).

Tablo 1. Pürüzlü yüzey ölçüleri

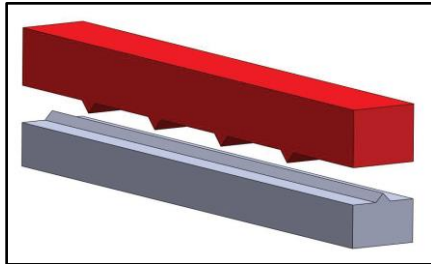
Pürüzlü yüzey ölçüleri	Pürüzlü yüzey derinliği
300/11040”	0,003”
450/11050”	0,0045”
600/11050-6”	0,006”



Şekil 8: Pürüzlü yüzey

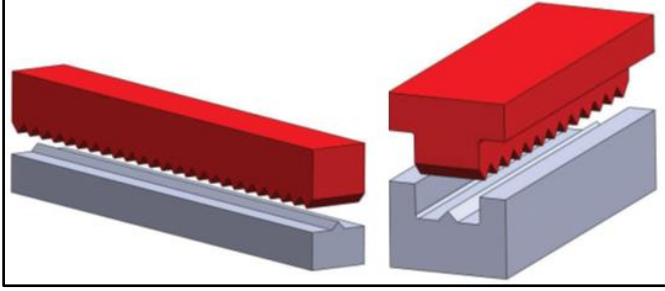
Ancak çıkıntının her iki tarafında açıklığın korunması ihtiyacı bunun kalıplanmasını daha da zorlaştırır.

Çapraz Birleştirme Tasarımı: Bu tasarım, her iki birleşme bölümünde birbirine dik olan enerji yönlendiricilerini birleştirir ve potansiyel olarak daha büyük hacimde malzeme katılımına izin verirken arayüzde minimum ilk teması sağlar. Bu, kaynakta mukavemetin artmasına neden olabilir (Şekil 9). Her enerji yönlendiricisi, standart tekli enerji yönlendiricisi tasarımında kullanılacak boyutun yaklaşık %60'ı kadar boyutlandırılmalı ve standart 90°'ye karşı 60°'lik bir iç açığa sahip olmalıdır.



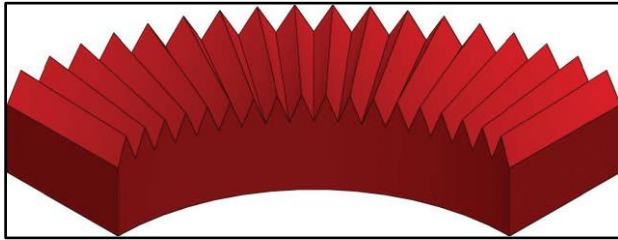
Şekil 9: Çapraz enerji yönlendirici

Şekil 10’da hava veya sıvı geçirmez bir contaya ihtiyaç duyulursa ilgili enerji yönlendiricilerinin testere dişi gibi sürekli olması önerilir. İlgili testere dişi enerji yönlendiricileri, hornun temas edeceği kısımda bulunmalıdır.



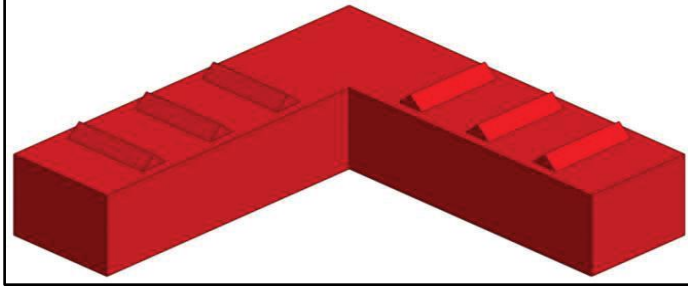
Şekil 10: Hava veya sıvı geçirmez birleştirmeler için çapraz tasarım

Bu tasarımda çok yüksek bir malzeme akışı üretir. Bu nedenle, parça tasarımında çapak içirme konusu ele alınmalıdır (örneğin, girinti ve çıkıntı veya basamak tasarımı tercih edilir). Bu tasarımla hermetik bir sızdırmazlık elde etmek için testere dişindeki enerji yönlendiricilerinin her biri arasında boşluk kalmaması önemlidir. Yuvarlak parçalar için, enerji yönlendiricisi Şekil 11’de gösterildiği gibi, istenen boyuta göre yükseklik ve iç açı ile tasarlanmalıdır (Herrmannultraschall, 2024).



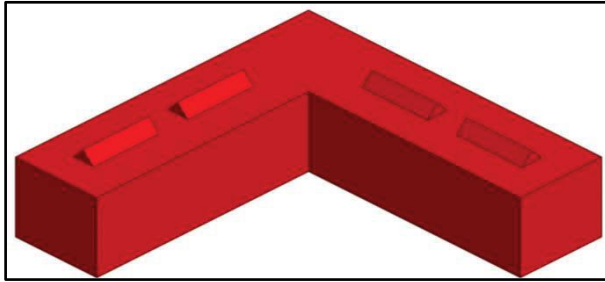
Şekil 11: Yuvarlak parçalarda çapraz tasarım

Duvara Dik Birleştirme Tasarımı: Kuvvetlerine karşı direnç kazanmak ve parlamayı azaltmak için kullanılır (şekil 12). Bu tasarım yalnızca yapısal yalıtıma ihtiyaç duyulduğunda kullanılmalıdır.



şekil 12: Duvara dik enerji yönlendirici

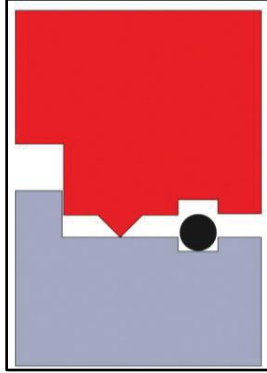
Kesintili Birleştirme Tasarımı: Genel alanı ve ardından gereken enerji veya güç seviyesini azaltmak veya parça işaretlemesini en aza indirmek için kullanılır. Yalnızca yapısal (hermetik olmayan) yalıtım malzemelerinin gerekli olduğu yerlerde kullanılır (şekil 13).



şekil 13: Kesintili enerji yönlendirici

Özel Bağlantılar için Birleştirme Tasarımı: Daha kolay kaynaklanabilen reçinelerde veya düzensiz şekillerde hermetik bir sızdırmazlık elde etmek amacıyla, sıkıştırılabilir bir sızdırmazlık

elemanı veya eriyik akışı için kıvrımlı bir yol kullanılması gerekli olabilir. Şekil 14’te bir O-halka içeren bir bağlantı tasarımını göstermektedir. O-halka yalnızca kaynağın sonunda maksimum %10 ila %15 oranında sıkıştırılması gerektiğine dikkat etmek önemlidir. Pimler ve soketler (saplama kaynağı) O-halka tasarımıyla da başarılı bir şekilde kullanılabilir.

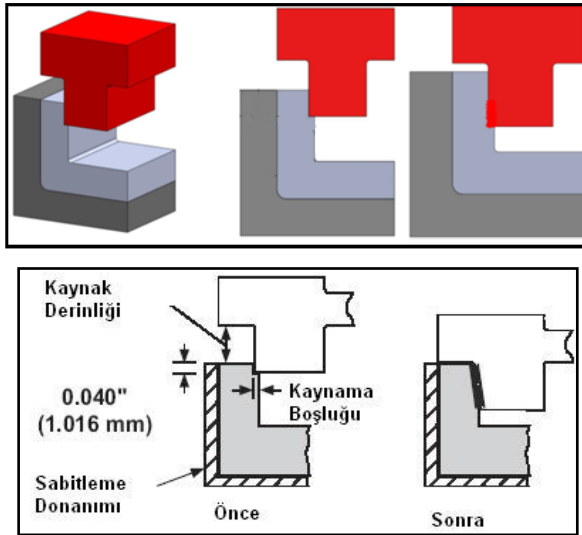


Şekil 14: Hermetik sızdırmazlık için O-halka bağlantı tasarımı

Kayma Eğilimli Formda Birleşme Tasarımı: Bazı uygulamalarda enerji yönlendiricili tasarım ile yeteri kadar dayanım elde edilemeyebilir. Böyle durumlarda temas noktasında birleşme esnasında kayma eğilimli bir form tasarımı kullanılır. Bu yöntemde uzuvlar birbiri için belli bir aralık boyunca kayarak uygun bir birleşme belli sürede elde edilir. Şekil 15’te görüldüğü gibi ilk temas noktası küçük ve sivridir. Bu yöntemde, iyi bir sızdırmazlık özelliği elde edilir. İçine hava almaz ve erken soğumayı engeller. Bazı durumlarda enerji yönlendiricili birleşme yeri tasarımı, özellikle de yarı-kristal yapıdaki malzemelerde, istenen sonuçları vermez. Bunun nedeni ise yarı-kristal yapıdaki malzemelerin kısa sürede akma eğilimi göstermesi ve aynı şekilde geri gelmesi olarak

görülmektedir. Yarı-kristal yapıdaki termoplastik malzemelerde kaynak dayanımı, enerji yönlendiricinin tabanının genişliğine bağlı olarak az olur. Bu nedenlerden dolayı parça geometrisinin izin verdiği takdirde bu tarz malzemelerde parçalar arasında kayma eğilimli bir birleşme yeri tasarımı önerilir. Parçalar arası kayma eğiliminde tasarlanmış birleşme yeri tasarımında ilk erime temas noktasında başlayacaktır ve dikey temasta bulunan duvarlar boyunca devam edecektir (Dukane, 2024).

Şekil 15'te kayma eğilimli birleşme yeri tasarımında kaynakta herhangi bir sapma olmaması yan duvarların çok iyi şekilde sabitlenmiş olmasına bağlıdır. Kaynatılmış birleşme yerinin dayanımı, kaynak derinliğinin bir fonksiyonudur.



Şekil 15: Kayma eğilimli formda birleşme yeri tasarımı (Taş, 2008)

Kaynaklı bağlantının mukavemeti, uygulamanın gerekliliklerini karşılamak üzere ayarlanabilen bağlantı noktasının erimesinin dikey boyutunun (kaynak derinliği) bir fonksiyonudur.

Kaynak derinliği için genel kılavuz duvar kalınlığının 0,75 katı kullanılmalıdır.

Kesme Bağlantılı Birleştirme Tasarımı: Bir kesme bağlantısının başarılı olabilmesi için aşağıdaki koşulların karşılanması gerekir:

- Kesme bağlantısı, kaynak sırasında sapmayı önlemek için sert yan duvar desteği gerektirir. Alt bölümün duvarları, parçanın dış konfigürasyonuna yakından uyum sağlayan tutma aparatı ile bağlantı noktasında desteklenmelidir.

- st kısım iç sehime dayanabilecek yeterli yapısal bütünlüğe sahip olmalıdır. Benzer şekilde, bükülmeyi önlemek için alt kısmın minimum duvar kalınlığı 0,080 inç (2,00 mm) olmalıdır.

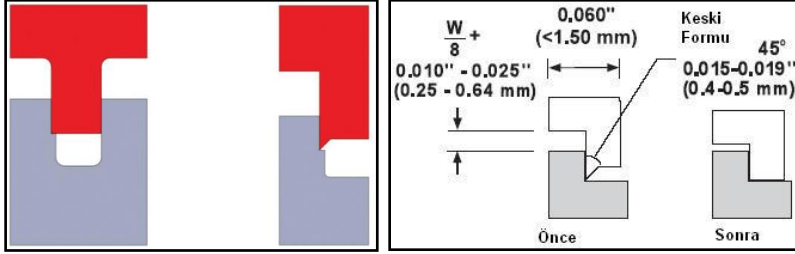
- st ve alt kısımlar arasında girişim oluşturan yüzeyler düz ve birbirine 90° açıda olmalıdır.

Kesme bağlantısının kullanılamayacağı durumlar:

- Maksimum boyutu 3,0 in olan parçalar için.
- Keskin köşeleri veya düzensiz şekilleri olan parçalar. Bunun nedeni tutarlı sonuçlar elde etmek için gerekli kalıplama toleranslarını korumanın zorluğudur.

Bu koşulların dışında kalan parçalar için enerji yönlendirici tipi bağlantı önerilmektedir. Duvar ortası birleşim yeri için şekil 16'da gösterilen zıvana ve oluk varyasyonu tercih edilir. Genellikle duvar kalınlığı 1.524 mm'den az ise bu form kullanılmaktadır. Bu durumda standart boyutlardaki enerji yönlendirici kullanılması durumunda standart enerji yönlendirici küçük kalacak ve kaynak dayanımı azalacaktır. Bu yöntemde kaynak genişliğinin az

olmasından dolayı kaynak dayanımı her durumda azalacaktır, dayanımı ancak karşı yüzeyi pürüzlendirerek arttırabilir.

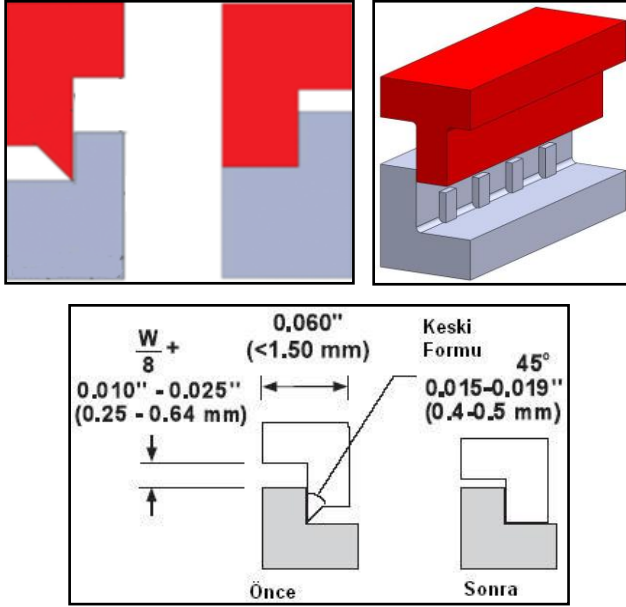


Şekil 16: Dil-oluk keskin ve kesme-keskin bağlantı tasarımı

Büyük parçalar için de kullanışlıdır. Yalnızca bir tarafta girişim yapılması önerilir. Yapısal kaynak gerektiren parçaları birleştirirken (hermetik veya hava geçirmez contalar gerekli değildir), Şekil 17’de gösterilen kesintili dikey enerji yönlendiricilerine sahip kesme bağlantısı tasarımı kullanılır. Bu tasarım, genel alanı ve ardından kaynak yapmak için gereken enerji veya gücü azaltır. Tablo 2’de maksimum parça boyutuna göre engelleme ve parça toleransına ilişkin genel boyutlar verilmiştir (Branson, 2024).

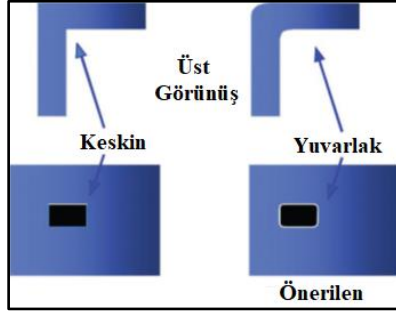
Tablo 2 Keski formunda olan tasarımlarda boyut sınırlamaları

Maksimum parça boyutu	Taraf başına girişim (Aralık)	Parça boyut toleransı
Daha az 0.75" (18 mm)	0.008" to 0.010" (0.2 to 0.254 mm)	± 0.001" (± 0.025 mm)
0.75" to 1.50" (18 to 35 mm)	0.010" to 0.014" (0.254 to 0.356 mm)	± 0.002" (± 0.050 mm)
1.50" to 3.0" (38 to 76 mm)	0.014" to 0.018" (0.356 to 0.457 mm)	± 0.003" (± 0.075 mm)



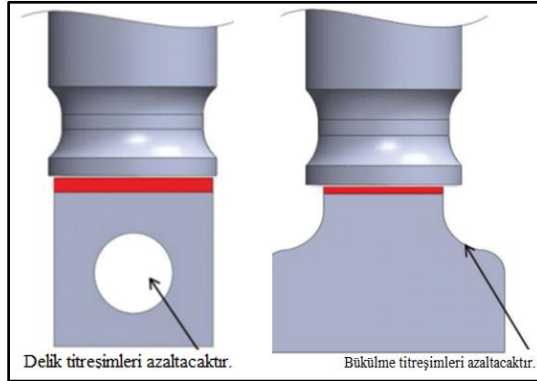
Şekil 17: Kesintili kesme bağlantı tasarımı

Gerilim konsantrasyonuna sahip kalıplanmış bir parça ultrasonik mekanik titreşimlere maruz kaldığında, yüksek gerilimli bölgelerde hasar (kırılma, erime) meydana gelebilir. Bu durum köşelerde, kenarlarda ve bağlantı noktalarında geniş bir yarıçap (0,020 inç/0,508 mm) bulundurularak hafifletilebilir. En azından tüm köşeler veya kenarlar kırılmalıdır (Şekil 18). Keskin köşeler gerilmeleri toplar. Eğer gerilim konsantrasyonu yüksek kalıplanmış parçalar ultrasonik mekanik titreşimlerle zorlanırsa gerilim bölgelerinde çeşitli hasarlar (çatlak gibi) oluşur. Şekil 18’de görüldüğü gibi bu gerilim konsantrasyonu bu köşelerin yuvarlatılmasıyla azaltılır (Sneeringer, 2024).



Şekil 18: Keskin ve yuvarlatılmış köşeler

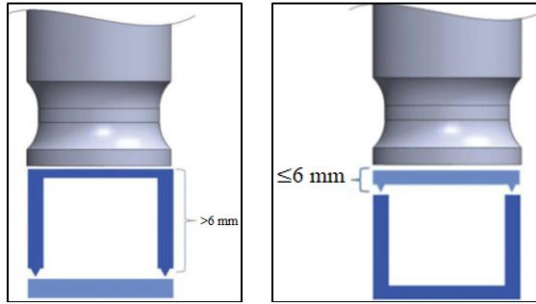
Delikler ve Boşluklar İçin Birleştirme Tasarımı: Kaynak esnasında parçalarda bulunan kabarcık ve kıvrımların geri kısmında oluşan kaynak zayıflığı Şekil 19’da gösterilmiştir. Hornun temas ettiği kısımdaki portlar veya diğer açıklıklar gibi delik veya boşluklar, ultrasonik enerjinin iletiminde kesinti yaratabilir. Malzemenin türüne (özellikle yarı kristal reçineler) ve deliğin boyutuna bağlı olarak açıklığın hemen altında çok az kaynak meydana gelebilir veya hiç kaynak meydana gelmeyebilir (Branson, 2024).



Şekil 19: Enerji iletimine engel ortamlar

Parçada bir delik veya kıvrım mevcut olduğunda, reçine enerji iletimini azaltır ve özellikle kesme durumunda titreşimlerin horn temas noktasından kaynak yapılacak parçaların arayüzüne geçmesini zorlaştırır. Bu tür problemlili alanların oluşmaması için parça tasarımına dikkat edilmelidir. Kalıp aletindeki uygun olmayan havalandırma nedeniyle plastiğin içindeki hava kabarcıkları da titreşimlerin iletimini azaltacak veya malzemenin bu alanlarda patlamasına neden olacaktır.

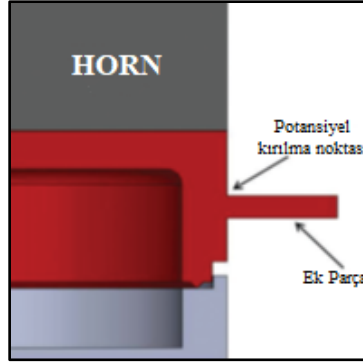
Yakın Alan ve Uzak Alan Kaynağı: Yakın alan ve uzak alan kaynağı, horn temas yüzeyinden sırasıyla 0,250 inçten daha az veya 0,250 inçten daha uzaktaki bir bağlantı anlamına gelir (Şekil 20).



Şekil 20: Uzak ve yakın alan kaynağı (Taş, 2008)

Amorf plastiklerde moleküllerin rastgele düzenlenmesi, titreşimlerin çok az zayıflamayla kolayca geçmesine olanak tanır. Nispeten, yapıları nedeniyle yarı kristal reçineler enerji iletimini azaltarak uzak alan koşullarında kaynak yapılmasını daha zor hale getirir. Sönümleme aynı zamanda düşük sertlikteki reçinelerde de (düşük modül) gerçekleşir. Bağlantı alanına yeterli enerji iletimini sağlamak için parçalar tasarlanırken dikkatli olunmalıdır.

Kaynak Parçalarının İç veya Dış Yüzeyine Kalıpta Eklenmiş Parçalar Tasarımı: Şekil 21’de ek parça da zayıflık doğabilecek bölge gösterilmiştir.



Şekil 21: Ek parçada potansiyel kırılma noktası

Kalıbın iç veya dış yüzeylerine kalıplanmış ekler, çıkıntılar veya diğer detaylar mekanik titreşimlerden etkilenebilir ve bu da kırılmaya neden olabilir. Bunu en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için;

- Eklerin ana parçayla kesiştiği alanın yuvarlatılması,
- Esnekliğin dış yollarla sönmülmesi,
- Kalınlığını artırarak veya köşebentler ekleyerek eklentinin dayanımını arttırmak ile uygun hale getirilir.

SONUÇ

Termoplastiklerde ultrasonik kaynak yöntemi; daha ucuz, az iş gücü, temiz, az hurda maliyeti ve yüksek kalite ile üretim sağlamaktadır.

Ultrasonik kaynak, diğer kaynak biçimlerine göre birçok önemli avantaj sunar: Ultrasonik kaynak, geleneksel yöntemlere

göre önemli ölçüde daha hızlıdır ve geleneksel yöntemlere kıyasla neredeyse hiç soğuma veya sertleştirme süresi gerektirmez. Ayrıca, yüksek düzeyde otomasyon, parçaları daha kısa sürede temin ederken insan gücü maliyetlerini de azaltır.

Üretim maliyetlerini azaltır. Bu yöntem, malzemeleri tutkal, yapıştırıcı veya vida gibi bağlantı elemanlarına ihtiyaç duymadan birleştirir. Ayrıca düşük enerji tüketimi, işletme için daha düşük maliyetler sağlar ve bunun sonucunda üretim maliyetleri azalır.

Dolgu malzemeleri veya aşırı ısı kullanmadan yüksek kaliteli birleşimler ve sıkı contalar oluşturur. Kirlenici maddelerin giriş potansiyelini veya termal bozulmayı ortadan kaldırır. Parçaların birleştiği yerde görünür bir dikiş oluşturmaz ve görsel olarak estetik bir yüzey oluşturur. Diğer kaynak yöntemlerinden daha üstün dayanıklı bağlantılar üretir. Güvenilir sızdırmazlık özelliği sayesinde ultrasonik kaynağı özellikle gıda ambalajları ve tıbbi ürünlerin birleşimi için ideal bir kaynak yöntemidir.

Malzeme sınırlamaları, parça boyutlarının küçük olması ve ilk maliyet açısından diğer yöntemlere oranla daha sıkıntılı gözükürken her şekilde kaynak sırasında ideal parametreler doğru seçilir ise uygun kaynak yapılmış olur.

KAYNAKÇA

Advani, S. G. Hsiao, K. T. (2012). Introduction to composites and manufacturing processes. In *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites (PMCs)*; Woodhead Publishing: Oxford, UK, pp. 1-12.
<https://doi.org/10.1533/9780857096258.1.1>

Balle, F. Wagner, G. Eifler, D. (2009). Ultrasonic Metal Welding of Aluminium Sheets to Carbon Fibre Reinforced Thermoplastic Composites. *Adv. Eng. Mater.* 11, 35-39.
<https://doi.org/10.1002/adem.200800271>

Benatar J. A. Gallego-Juárez, K. F. Graff (Eds.) (2015). Ultrasonic welding of plastics and polymeric composites, *Power ultrasonics: applications of high-intensity ultrasound*, Woodhead Publishing pp. 295-312 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820254-8.00006-3>

Benatar, A. (2015). Ultrasonic welding of plastics and polymeric composites. In *Power Ultrasonics*, Gallego; Juárez, J.A., Graff, K.F., Eds.; Woodhead Publishing: Oxford, UK, pp. 295–312.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-028-6.00012-0>

Benatar, T. G. (1989) Ultrasonic welding of PEEK graphite APC-2 composites *Polym Eng Sci*, 29 (23) pp. 1705-1721
<https://doi.org/10.1002/pen.760292313>

Bersee, H. E. N. Villegas, I. F. (2010). Ultrasonic welding of advanced thermoplastic composites: An investigation on energy-directing surfaces. *Adv. Polym. Technol.* 29, 112-121.
<https://doi.org/10.1002/adv.20178>

Bolt, S. (2014). Ultrasonic Plastic Welding of Carbon Fiber Reinforced Polyamide 6 to Aluminium and Steel; Delft University of Technology: Delft, The Netherlands, <http://resolver.tudelft.nl/uuid:383ccfc6-c496-4f77-8eb5-b83e82d64471>

Branson, (2024). <https://www.emerson.com/documents/automation/catalog-ultrasonic-horn-branson-en-us-160126.pdf> 2024, 2024 03 15)

Chawla, K. K. (1998). Composite Materials, Science and Engineering. New York, USA New York Inc.

Devine, J. (2001) Ultrasonic Plastics Welding Basics. Weld. J. 80, 29-33

Dukane. Intelligent Assembly Solutions Guide to Ultrasonic Plastics Assembly. <https://documents.dukane.com/DesignGuides/Guide%20To%20US%20Plastic%20Assembly.pdf> (2024, 02 20).

Ensminger, D. Bond, L. J. (2012). Ultrasonics: Fundamentals, Technologies, and Applications, 3rd ed.; CRC Press (Taylor & Francis Group): Boca Raton, FL, USA, x

Ganesh, M.; Praba Rajathi, R. (2013). Experimental study on ultrasonic welding of aluminum sheet to copper sheet. Int. J. Res. Eng. Technol. 2, 161-166

Gauthier, M. M. (1995). Joining and Assembly of Plastics. Engineered Materials Handbook Desk Edition. Materials Park: ASM International <https://doi.org/10.31399/asm.hb.emde.a0003021>

Gilmore, C. M. (1998) Advanced Composites Manufacturing By Timothy G. Gutowski. Mater. Manuf. Process. 13, 626 <https://doi.org/10.1080/10426919808935286>

Grewell, D. A. Benatar, A. Park, J. B.(2013). Plastics and Composites Welding Handbook; Hanser Gardner Publications: Munich, Germany,

Grimm, R. A. (1995). Welding Process for Plastics . Advanced Materials and Processes, ASM International

Gutnik, V. G. Gorbach, N. V. Dashkov, A. V. (2002). Some Characteristics of Ultrasonic Welding of Polymers. FIBER Chem. 34, 426-432. <https://doi.org/10.1023/A:1022912325343>

Haddadi F. Abu-Farha, F. (2015). Microstructure and mechanical performance of aluminium to steel high power ultrasonic spot welding J Mater Process Technol, 225 pp. 262-274 <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.06.019>

Harras, B. Cole, K.C. Vu-Khanh, T. (1996). Optimization of the Ultrasonic Welding of PEEK-Carbon Composites. J. Reinf. Plast. Compos. 15, 174-182. <https://doi.org/10.1177/073168449601500203>

Sonikel, (2024). <https://sonikel.com.tr/> (Erişim Tarihi: 05/02/2024)

Dukane, (2024). <https://www.dukane.com/> (Erişim Tarihi: 05/02/2024)

Emerson, (2024). <https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-plastic-joining-en-5181378.pdf> (Erişim Tarihi: 05/02/2024).

Herrmannultraschall, (2024).
<https://www.herrmannultraschall.com/en> (Erişim Tarihi: 25/02/2024).

Medicaldesignbriefs, (2024).
<https://www.medicaldesignbriefs.com/component/content/article/45815-medical-plastics-understanding-ultrasonic-welding-part-1>
(Erişim Tarihi: 05/02/2024)

Telsonic (2024).
<https://www.telsonic.com/en/products/sonotrodes-and-booster/>
(Erişim Tarihi: 25/02/2024)

Sonics, (2024).
<https://www.sonics.com/site/assets/files/2951/joint-designs-for-ultrasonic-welding.pdf> (Erişim Tarihi: 05/02/2024).

Liu, S. J. Chang, I. T. (2002). Optimizing the Weld Strength of Ultrasonically Welded Nylon Composites. J. Compos. Mater. 36, 611-624. <https://doi.org/10.1177/0021998302036005476>

Niu, C. Niu, M. C. Y. (1999). Airframe Structural Design: Practical Design Information and Data on Aircraft Structures; Adaso Adastra Engineering Center: Hong Kong, China,

Offringa, A. R. (1996). Thermoplastic composites-Rapid processing applications. Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. 27, 329-336. [https://doi.org/10.1016/1359-835X\(95\)00048-7](https://doi.org/10.1016/1359-835X(95)00048-7)

Palardy, G. Shi, H. Levy, A. Le Corre, S. Fernandez Villegas, I. (2018). A study on amplitude transmission in ultrasonic welding of thermoplastic composites. Compos. Part A Appl. Sci.

Manuf. 113, 339-349.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.07.033>

Palardy, G. Villegas, I. (2016). Smart ultrasonic welding of thermoplastic composites. In Proceedings of the American Society for Composites-31st Technical Conference (ASC), Williamsburg, VA, USA, 19-23 September X

Palardy, G. Villegas, I. F. (2017). Ultrasonic welding of CF/PPS composites with integrated triangular energy directors: Melting, flow and weld strength development. Compos. Interfaces 24, 515-528.
<https://doi.org/10.1080/09276440.2017.1236626>

Palardy, G. Villegas, I. F. (2017). On the effect of flat energy directors thickness on heat generation during ultrasonic welding of thermoplastic composites. Compos. Interfaces 24, 203-214.
<https://doi.org/10.1080/09276440.2016.1199149>

Peebles H. Jr, Huffman M. W. (1971). Thermal degradation of nylon 66 J Polym Sci, 9 pp. 1807-1822
<https://doi.org/10.1002/pol.1971.150090703>

Raza, S. F. (2015). Ultrasonic Welding of Thermoplastics. Ph. D. Thesis, University of Sheffield, Sheffield, UK

Rudolf, R. Mitschang, P. Neitzel, M. Rueckert, C. (1999). Welding of High-Performance Thermoplastic Composites. Polym. Polym. Compos. 7, 309-315.

Sneeringer, D. H. <https://www.medicaldesignbriefs.com/>
Erişim Tarihi: (2024, 02 20).

Somen K., Bhudolia Goram Gohel, K. F. (2020). Advances in Ultrasonic Welding of Thermoplastic Composites: A Review. Materials, 13(6), 1284 <https://doi.org/10.3390/ma13061284>.

Stokes, V. K. (1989). Joining methods for plastics and plastic composites: An overview. Polym. Eng. Sci. 29, 1310-1324. <https://doi.org/10.1002/pen.760291903>

Taş, Y. (2008). Termoplastiklerin Birleştirilmesinde Kullanılan, Ultrasonik Kaynak Yönteminde Kaynak Kalitesini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tolunay, M. N. Dawson, P. R. Wang, K. K. (1983). Heating and bonding mechanisms in ultrasonic welding of thermoplastics. Polym. Eng. Sci. 23, 726-733. <https://doi.org/10.1002/pen.760231307>

Troughton, M. J. (2008). Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide (Plastics Design Library) 2nd Edition. UK: William Andrew

Troughton, M. J. (2009). Chapter 11-Induction Welding. In Handbook of Plastics Joining, 2nd ed.; William Andrew Publishing: Boston, MA, USA, pp. 113-120. <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1581-4.50013-5>

Vendan, S. A. Natesh, M. Garg, A. Gao, L. (2019). Polimerlerin Ultrasonik Kaynağı. Polimer Birleştirmede Multidisipliner Bilimlerin Birleşiminde; Springer: Singapur, s. 73-101. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0626-6_3

Vijendra, B. Sharma, A. (2015). Induction heated tool assisted friction-stir welding (i-FSW): A novel hybrid process for joining of thermoplastics. *J. Manuf. Process.* 20, 234-244. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.07.005>

Villegas I. F. (2014). Strength development versus process data in ultrasonic welding of thermoplastic composites with flat energy directors and its application to the definition of optimum processing parameters *Compos Part A*, 65 pp. 27-37 <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.05.019>

Villegas, I. F. (2019). Ultrasonic Welding of Thermoplastic Composites. *Front. Mater.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00291>

Villegas, I. F. Bersee, H. E. N. (1989). Ultrasonic welding of advanced thermoplastic composites: an investigation on energy-directing surfaces *Adv Polym Technol*, 29 (2) pp. 112-121

Wagner, G. Balle, F. Eifler, D. (2012). Ultrasonic Welding of Hybrid Joints. *JOM* 64, 401–406. <https://doi.org/10.1007/s11837-012-0269-5>

Wagner, G. Balle, F. Eifler, D. (2013). Ultrasonic Welding of Aluminum Alloys to Fiber Reinforced Polymers. *Adv. Eng. Mater.* 15, 792-803. <https://doi.org/10.1002/adem.201300043>

Wang K., Shriver, Banu, D. M. Hu, S.J. Xiao, Arinez, G. J. et al. (2017). Performance prediction for ultrasonic spot welds of short carbon-fiber reinforced composites under shear loading *J Manuf Sci Eng* <https://doi.org/10.1115/1.4037320>

Wang, K. Li, Y. Banu, M. Li, J. Guo, W. Khan, H. (2017). Effect of interfacial preheating on welded joints during ultrasonic composite welding. J. Mater. Process. Technol. 246, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.03.014>

Wang, K. Shriver, D. Li, Y. Banu, M. Hu, S. J. Xiao, G. Arinez, J. Fan, H. T. (2017). Characterization of weld attributes in ultrasonic welding of short carbon fiber reinforced thermoplastic composites. J. Manuf. Process. 29, 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.07.024>

Wedgewood, A. R. Hardy, P. E. (1996). Induction Welding of Thermoset Composite Adherends using Thermoplastic Interlayers and Susceptors. In Proceedings of the 28th International Technical Conference Society for the Advancement of Material and Process Engineering, Seattle, WA, USA, pp. 850-861.

Wool R. P. O'Connor K. M. (1981). A theory of crack healing in polymers J Appl Phys, 52, pp. 5953-5963 <https://doi.org/10.1063/1.328526>

Wu D. Y. Meure S. Solomon D. (2008). Self-healing polymeric materials: a review of recent developments Prog Polym Sci, 33 pp. 479-522 <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.02.001>

BÖLÜM II

Titanyum Esaslı Eİ Parçalarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Isıl ve Mekanik Yüzey İşlemlerinin Etkisi

Gizem ATEŞ ÇÖMLEKÇİOĞLU

Giriş

Geleneksel üretim yöntemlerinden olan döküm ve talaşlı imalat ile titanyum alaşımlarını işlemek zor olduğundan dolayı Eklemeli İmalat yöntemlerinden biri olan DMLS yönteminde titanyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır (Yalçın ve Ergene, 2017). Ancak, Eİ üretim yöntemleri ile üretilen malzemelerde oluşan yüksek gözeneklilik, yüzey pürüzlülük değerleri ve üretimden kaynaklanan artık gerilmeler nedeniyle, havacılık ve biyomedikal bileşenler için teknik anlamda kalite gereksinimlerini karşılamak zordur (Karakılınç vd., 2019). DMLS yöntemi ile üretilen malzemeler genellikle iyi statik mukavemet gösterebilirler de dinamik yükler altında ki performansları süneklik, artık gerilmeler, hatalı yoğunluk ve uygun olmayan yüzey

morfolojisi nedeniyle kısıtlanmaktadır (Bagheridard vd., 2018). Üretimde meydana gelen hataların giderilmesi ya da malzemenin mekanik özellik sınırını genişletmek amacıyla ardıl işlemlere başvurulmaktadır.

Titanyum metalinin endüstride kullanımına bakıldığında titanyumun yüksek dayanımı, oksidasyon direnci, düşük yoğunluklu olması (hafifliği), ısı ve korozyon etkilere direncinin yüksek olması önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle havacılık, uzay ve denizcilik başta olmak üzere biyomedikal ve otomotiv sektörleri gibi birçok alanda Ti alaşımlarını kullanılabilir kılmaktadır. Titanyum alaşımlarından endüstride en çok talep göreni Ti6Al4V alaşımıdır. Bu alaşım eklemeli imalat sektöründe hammadde olarak kullanılmaya başlanmış ve bu sayede karmaşık geometrilikli parçalar malzeme kaybı olmadan tasarruflu bir şekilde üretilmektedir.

Bu çalışmada, Eklemeli İmalat Yöntemlerinden biri olan Direkt Metal Lazer Sinterleme (DMLS) yöntemi ile üretilen Ti6Al4V parçalarının mikroyapıları ve mekanik özelliklerine bilyalı dövme işlemlerin etkileri incelenecektir. Eklemeli imalat yöntemi ile üretilen parçalarda işlem sonrasında yüksek enerji yoğunluğu ve kısa sürelerde soğumalardan dolayı artık gerilmeler meydana gelmektedir. Değişken yüklere maruz kalan yüksek gerilmeli uygulamalar için sınırlama yaratabilecek olan imalat yönteminden kaynaklanan artık gerilmelerin azaltılması için Ti6Al4V numunelerine gerilim giderme tavlama ve dış yüzey katmanlarında soğuk plastik deformasyona neden olan bilyalı dövme işlemi uygulanacaktır. Bilyalı dövme sonrası imalat esnasında ortaya çıkan zararlı artık gerilme profilinin ortadan kaldırılarak faydalı artık gerilme profilinin oluşturulması amaçlanmaktadır. Bunu

sağlayabilmek için en uygun bilyalı dövme şiddetlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Eklemeli İmalat

Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM International) ve Uluslararası Standartlar Örgütü'nün (ISO) oluşturmuş olduğu “ISO/ASTM 52900 Eklemeli İmalat - Genel İlkeler - Terminoloji” standartlarına göre Eklemeli İmalat tanımı, “Eksiltmeli imalat ve şekillendirici imalat metodolojilerinin aksine, 3 boyutlu model verilerinden parçalar yapmak için malzemelerin genellikle katman üzerine katman olacak şekilde birleştirilmesi işlemidir” olarak yapılmaktadır (Şirin, 2021).

Eklemeli imalat teknolojilerinin yaygınlaşması neticesinde Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM) bu teknolojiyi standartları arasına almıştır. Bu standarda göre eklemeli imalat yöntemleri temelde yapılan işlem türüne, malzeme türüne, malzeme formuna ve işleme kaynağına göre dört sınıf altında incelenebilir. İşlem türüne göre ergitmeli, sinterlemeli ve kürlemeli olarak, malzeme türüne göre metal, polimer, seramik ve bunların kompoziti olarak, malzeme formuna göre toz, tel ve reçine olarak, işleme kaynağına göre ise lazer, elektron ışını ve ultraviyole ışını olarak eklemeli imalatı dallara ayırmak mümkündür (Kaya, 2021).

Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) yöntemi, 1995 yılında EOS firması tarafından geliştirilen toz metal eklemeli imalat yöntemlerinden biridir. DMLS yöntemi, yüksek güçlü bir lazer kullanılarak metal tozların katman katman sinterlenerek net şekilli metalik parçaların üretilmesi mantığına dayanmaktadır (Singh vd., 2020; Öter, 2021).

DMLS yönteminde, işleme başlamadan önce metal tozların oksidasyonunu önlemek için imalatın gerçekleşeceği oda inert gazla doldurulmaktadır. İmalat işlemi sırasında, toz halindeki malzeme bir merdane ya da bıçak yardımıyla imalat tablası üzerine serilmektedir. Metal toz yüksek enerjili lazer ışınları ile sinterlenir. Sinterleme, metal tozların moleküler seviyede difüzyon mekanizmaları vasıtasıyla birleşmesi prensibine dayanır. Sinterleme mekanizması yaygın olarak sıvı faz sinterlemesi olarak karşımıza çıkar. İlk katman oluşturulduktan sonra inşa platformu belirlenen katman kalınlığı kadar alçalarak yeni toz malzeme tabla üzerine serilmektedir. İstenilen parça geometrisi tamamlanana kadar toz serme ve sinterleme işlemleri tekrarlanmaktadır. İşlem tamamlandıktan sonra, üretim tablası üzerinde doğal destek görevi gören tozlar fırça veya vakumlu süpürge ile temizlenmektedir.

DMLS yönteminde sıvı fazın miktarı imal edilmiş nihai ürünün mukavemetini ve yoğunluğunu belirleyen ana faktördür. Sinterleme esnasında lazerin temas ettiği bölgedeki tozların sıcaklıkları aniden artmakta ve lazerin başka bir alana yönelmesinden sonra tozlar hızla soğumaktadır. Bu nedenle sıvı fazın metal tozlar arasındaki boşlukları doldurması için çok kısa süreler bulunmaktadır. Tozun soğuma hızı lazer gücü, lazer hızı, tarama mesafesi ve katman kalınlığı parametrelerine bağlıdır (Öter, 2021).

Materyal Yöntem

Bilyalı dövme işleminde kullanılan dövme parametreleri Tablo 1’ de verilmiştir. Numunelerin üst ve yan yüzeyi olmak üzere iki yüzeyine bilyalı dövme işlemi uygulanmıştır. Bilyalı dövme işleminde S110 bilya çapı tercih edilmiş olup A12-14, A16-18, A20-

22 ve A24-26 olmak üzere 4 farklı dövme şiddeti (Almen şiddeti) uygulanmıştır. A12-14 ve A24-26 şiddetlerinde dövülen numune gruplarında %100 ve %200 olmak üzere iki farklı doyurma oranı uygulanmıştır.

Bilyalı dövme işlemleri sonrası Şekil 5.16'da görülmekte olan Hommel Tester T500 cihazı kullanılarak numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri Ra cinsinden ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük ölçümleri numunelerin üst bölgesinden 4,8 mm uzunluğundaki 3 farklı bölgenin taranması ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri bulunmuştur. Bu değerler yardımıyla bilyalı dövme işlem parametrelerinin yüzey kalitesine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Atomik Kuvvet Mikroskobu, nanometre çapında sivri uçlu bir iğne yardımıyla, malzeme yüzeyinin yüksek çözünürlükte üç boyutlu topografik görüntülerinin elde edilmesini sağlamaktadır. AFM analizi 1mm boyutunda kesiti alınan numunelerin yüzeyinde belirlenen 5*5 μm 'lik noktalardan alınarak gerçekleştirilmiştir. İğnenin yüzeye vurularak uygulamanın gerçekleştirildiği tapping modu kullanılmıştır. AFM analizi ile yüzeyin üç boyutlu görüntüleri alınarak yüzey topografyası incelenmiştir.

Eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş Ti6Al4V numunelerine uygulanan bilyalı dövme işlem parametrelerinin mikroyapı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla, SEM incelemeleri gerçekleştirilmiştir. SEM incelemeleri Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM bünyesinde yer alan FEI QUANTA FEG 250 model taramalı elektron mikroskobu kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Dövülmemiş ve farklı parametrelerde bilyalı dövülmüş numunelerin yüzey morfolojileri 100x ila 1000x büyütme değerleri ve arasında incelenmiştir.

Tablo 1. Bilyalı dövme parametreleri

Cihaz adı:	Kummetal Otomatik Shotpeening Makinesi
Bilya türü	S110 ASH MILİTARY
Bilya çapı (mm)	0.22-0.28
Bilya sertliği (HRC)	62
Püskürtme basıncı (bar)	6
Çarpma açısı (°)	90
Süre (sn)	12-20
Servo motor dönme hızı (Hz)	32

Tablo 2. Deney gruplarına uygulanmış işlem parametreleri

Deney Grupları	Almen Dövme Şiddeti	Doyurma Oranı
Dövülmemiş	İşlem uygulanmamış malzemeler	-
Grup1	A12-14	100%
Grup2	A12-14	200%
Grup3	A16-18	100%
Grup4	A20-22	100%
Grup5	A24-26	100%
Grup6	A24-26	200%

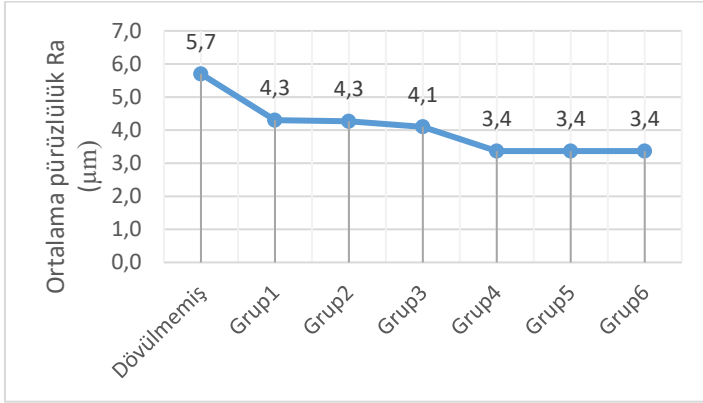
X-ışınları kırınımı ile kalıntı gerilme analizleri, Bursa Teknik Üniversitesi, MERLAB bünyesinde yer alan Bruker / D8 model X-ışını difraktometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD yöntemi ile kalıntı gerilme analizi, $\sin^2\psi$ yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin bilyalı dövme öncesi ve sonrası kesit alanı mikroyapısal karakterizasyonları ve yüzey incelemeleri Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği'nde yer alan Nikon (Eclipse ME600) marka optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.22). Görüntüler 5X ve 10X büyütmelemler kullanılarak elde edilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

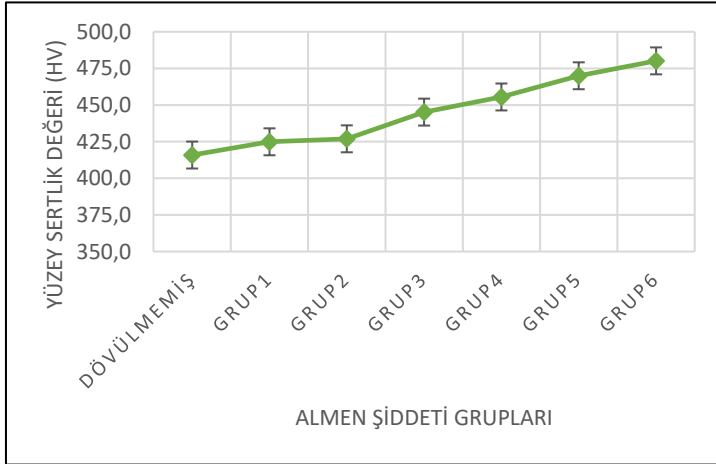
Bu çalışmada, DMLS yöntemi ile üretilmiş Ti6Al4V alaşımı malzemelerine uygulanan ısıtım işlemi sonrası farklı Almen şiddetlerinde uygulanan bilyalı dövme işlemlerinin etkileri araştırılmıştır. Bilyalı dövme işlemi sonucunda malzemenin yüzey pürüzlülüğü değişimi, yüzey veya yüzeye yakın bölgelerde tane boyutu ve sertlik değişimi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Bilyalı dövme işlemi sonrası malzemenin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinde azalma olduğu ortaya konulmuştur. DMLS yöntemi ile üretilmiş Ti6Al4V numunelerine uygulanan bilyalı dövme işlemi sonucunda yüzey pürüzlülük değerinde yaklaşık %40 oranında azalma gözlemlenmiştir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri dövülmemiş numunelere ait olup 5,7 μm 'dir. A20-22 ve A24-26 Almen şiddetinde dövülen numuneler en düşük Ra değeri olan 3,4 μm yüzey pürüzlülüğü değerine sahip numune gruplarıdır (Grafik 1). Doyurma oranının artması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde bir değişim olmadığı ortaya konulmuştur.



Grafik 1. Bilyalı dövme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

En yüksek sertlik değerleri olan 455,5 HV ve 470,0 HV değerlerinin SSP numunelerine (Grup5 ve Grup6) ait olduğu belirlenmiştir(Grafik 2). Bilyalı dövme işlemi yapılmış numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde %15 oranına kadar artış elde edildiği görülmektedir.



Grafik 1. Bilyalı dövme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

AFM ile gerçekleştirilen analizlerden elde edilen yüzey topografya görüntüleri, farklı bilyalı dövme parametrelerinin neden olduğu işlenmiş yüzey üzerindeki çoklu tepe ve vadileri ortaya koymaktadır. Başlangıçtaki yüzey morfolojisi esas alınarak mikro ölçekte pürüzlülük gelişimi eğiliminde olduğunu desteklemektedir.

Dövülmemiş Eİ Ti6Al4V numunesine ait SEM yüzey görüntüsünde kısmen erimiş birçok toz parçacığın olduğu görülmüştür. Dövülmemiş yüzeylerde görülen erimemiş toz tanecikleri ve yapısal süreksizlikler mikro çentik etkisi yaratarak malzemenin mukavemetini olumsuz olarak etkileyebilmektedir. SEM incelemeleri sonrası bilyalı dövme işlemi gerçekleştirilen parçaların yüzey incelemelerinde oluşan yüzey kusurlarının ortadan kaldırıldığı grlmektedir.

XRD ile kalıntı gerilme analizi sonrası yüzeyde meydana gelen kalıntı gerilmelerin dövme şiddeti ile doğrudan ilişkili olduğu ve artan Almen şiddeti ile basma kalıntı gerilmesinin arttığı grlmektedir. Bilyalı dövülmemiş numunelerin yüzeyinde 118,9 MPa artık çekme gerilimi varken, %100 doyurma oranında A12-14 ve A24-26 şiddetinde dövülmüş numunelere ait elde edilen basma artık gerilmeleri sırasıyla 505,5 MPa ve 561,9 MPa’dır.

Kristal tane boyutu Almen şiddetinin artmasıyla azalmaktadır. A12-14 şiddetinde dövülen numunelerin kristalit tane boyutunun 222,7µm değerinden 133,1µm mertebesine azaldığı belirlenmiştir. A24-26 Almen şiddetinde %100 örtme oranında dövülen numunelerin yüzeyinde 118,3 µm’lik en ince tane boyutuna ulaşıldığı grlmektedir. rtme oranının artması ile tane boyutunda ciddi bir değişiklik olmamıştır.

XRD faz analizi sonrası Eİ Ti6Al4V malzemelerin bilyalı dövme sonrası tanelerin küçülmesi nedeni ile Almen şiddeti arttıkça pik genişliğinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca Almen şiddetinin artması ile kırınım piklerinin yoğunluğu azalmaktadır.

Optik mikroskop incelemelerinde dövülmemiş numunenin yüzeyinde çatlakların, girinti ve çıkıntıların olmadığı gözlemlenmiştir. Bilyalı dövme sonrası aşırı plastik deformasyon etkisi ile yüzeyde çukurcuklara ve çatlaklara rastlanmıştır. Ancak SSP numunelerinin dövme sonrası yüzeylerinde çatlakların oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca yüzeyde oluşan vadi ve tepeciklerin doyurma oranının artması ile düzleşmesine neden olduğu belirlenmiştir.

Dövülmemiş numunelerin eğme dayanımı değeri 2132 MPa olarak elde edilmiştir. Bilyalı dövme işlemi sonrası en yüksek eğme dayanımı değerinin A20-22 şiddetinde dövülmüş Grup 4 numunelerin ait olup bu değer 2178 MPa'dır.

KAYNAKÇA

Yalçın B. ve Ergene B., 2017. Endüstride Yeni Eğilim Olan 3-B Eklemeli İmalat Yöntemi ve Metalurjisi, SDU International Journal of Technological Science, Vol.9, No 3, 65-88.Kline, B. R. (2005). *Principles and practice of structural equation modeling* (Second edit). NY: The Guilford Press.

Singh, R., vd., 2020. Powder Bed Fusion Process in Additive Manufacturing: An Overview, Materials Today: Proceedings 26 (2020) 3058–3070.

Özer, G., 2020. Eklemeli Üretim Teknolojileri Üzerine Bir Derleme, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi / NOHU J. Eng. Sci., 2020; 9(1): 606 – 621.

Karakılınç, U., Yalçın, B. ve Ergene, B., 2019. Toz Yataklı/Beslemeli Eklemeli İmalatta Kullanılan Partiküllerin Uygunluk Araştırması ve Partikül İmalat Yöntemleri, Politeknik Dergisi, 22(4): 810-801.

Bagherifard, S., Slawik, S., Fernandez-Pariente, I., Pauly, C., Mücklich, F., Guagliano, M., 2016. Nanoscale Surface Modication of AISI 316L Stainless Steel by Severe Shot Peening, Materials and Design 102 (2016) 68–77.

Kaya, M.Ş., 2021. Helikopter için Eklemeli İmalat İle Ti6Al4V Dişli Üretimi ve Ardıl İşlemlerin Etkisinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, Ankara.

BÖLÜM III

AHP Yöntemi ile Gemi İnşaatında Enerji Verimliliği Stratejilerinin İncelenmesi

İrem DÜZDAR¹
Reyhan GÜNEY²

Giriş

Bilimin ve teknolojinin her geçen gün geliştiği dünyamızda çeşitli kolaylıkların ortaya çıkmasının yanı sıra zorluklar da ortaya çıkmaktadır. Enerji kullanımına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmakta ve enerji verimliliği sağlanması adına çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarla piyasadaki rekabet ortamı artmakta ve piyasada varlığını sürdürmek isteyen sektörler gelişme göstermeye devam etmektedirler (Rebelatto ve ark., 2022).

¹ Doç.Dr. Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Bölümü, Düzce/Türkiye, Orcid: 0000-0002-7642-8121, iremduzdar@gmail.com

² Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Bölümü, Düzce/Türkiye, Orcid: 0000-0002-1327-5260, gunceyrehan52@gmail.com

Bununla beraber endüstriyel alandaki önemli kırılma noktalarından biri olan Endüstri 4.0 hayatımıza girmiştir. Endüstri 4.0'ın temel amacı sanayi ile entegre etmektir. Bu sayede; hatasız ve en az fire ile ürün devamlılığı sağlanarak, üretimde esneklik artırılarak, işin daha hızlı ve kaliteli yapılması sağlanarak ve en yüksek verimlilikte üretim yapılması hedeflenerek enerji verimliliği sağlanması adına çalışmalar yapılmaktadır (Ramirez-Peña ve ark., 2020).

Gemi yapımı çok aşamalı süreçler bütünüdür ve her aşamada enerji kullanılmaktadır. Gemi yapım sektöründe Endüstri 4.0 uygulamaları enerjiden verimlilik sağlarken aynı zamanda işçi sağlığı ve güvenliği bakımından da iyileştirmeler sağlamaktadır (Sánchez-Sotano ve ark., 2020).

Bu çalışmada gemi yapımında enerji verimliliği stratejileri uygulanarak maksimum verimliliğin elde edilebileceği bölümü belirlemek için Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma Endüstri 4.0'ın amaçlarına uygun olarak daha az enerji kullanımı ve daha verimli sonuçlar elde etme adına yapılan çalışmalara ışık tutacak niteliktedir. Bu sonuçlar doğrultusunda gemi yapımı ile ilgili belirlenen kriterler arasından maksimum enerji verimliliği sağlayabilecek olan kriterin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Bu çalışmanın sonucunda gemi yapımında enerji verimliliğinin maksimum düzeyde sağlanacağı alanı belirleyerek gemi yapım sektöründeki enerji verimliliği çalışmalarına yenilik kazandırılmış olacaktır.

Literatür Taraması

Enerjiye verilen önem ve küresel ısınmadaki artış ile birlikte enerji verimliliği alanında çalışmalar yapılarak hem minimum enerji tüketimi ile optimum sonuç elde edilmeye çalışılmış hem de kullanılan enerjiden açığa çıkan sera gazları salınımı azaltılmaya çalışılmıştır. Bozkurt (2008), Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarını inceleyerek enerji verimliliği açısından değerlendirmiştir. Hidrolik, jeotermal, güneş, biyoenerji, hidrojen ve rüzgâr enerjileri için yaptığı incelemede Türkiye’nin rüzgâr enerjisi kullanımında enerji verimliliği açısından umut vaat ettiğini söylemiştir.

Enerji verimliliği çalışmaları her sektörde uygulanmaya devam etmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte enerji verimliliği için yapılan çalışmalar gelişmektedir. Enerji, hızlı gelişmeler gösteren gemicilik sektöründe de önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple, enerji verimliliği çalışmaları gemicilik alanında da kendini göstermektedir. Perera ve arkadaşları (2015), en uygun denge noktasının belirlenmesiyle gemilerde enerji verimliliğini artırmaya yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada gemi performansını ve seyir verilerinin istatistiksel analizini yaparak uygun trim koşulları seçildiği takdirde ana yakıt tüketiminin azalacağı sonucuna ulaşmışlardır. Gemilerde enerji verimliliğinin sağlanmasıyla sera gazı salınımlarını azaltmak için Kaya ve arkadaşları (2017), odak grup çalışması yaparak alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları için yapılabilecek uygulamaları incelemişlerdir. İncelemeleri sonucunda, yöntemlerin etkin kullanılamamasının en büyük sebebinin maliyet olduğu görülmüştür. Gemilerde kullanılabilecek alternatif enerji türlerinin potansiyelini incelemek için Yiğit (2018),

yaptığı çalışmada atık ısının geri kazanımı, organik rankine çevrimini, rüzgâr enerjisini ve güneş enerjisini değerlendirmiştir. 2018 yılında yapılan bu çalışmada henüz hibrit çalışmaların yapıldığı, ancak gelecekte tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan gemilerin sektörde yerini alacağı belirtilmiştir.

Gemi yapımı çok aşamalı bir çalışmalar bütünüdür. Geminin yaşam döngüsünü ele almak ve yol gösterici olmak amacıyla Özyiğit (2006), üretimi planlanan gemilerin tersaneye giren ve stoklanan malzemesinden, üretim basamaklarına, montaj hattından, prosedür işlemlerine kadar gemi inşaatındaki planlama ve üretim aşamalarını anlatmıştır. Gök (2013), Özyiğit'in çalışmasından farklı olarak tüm bu süreci MS Project uygulaması üzerinde planlamış ve örnek göstermiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda bilgisayar tabanlı proje yönetimi firmalarının kaynaklarını etkin ve verimli kullanmaları anlamında fayda sağlayacağı belirlenmiştir. Gonca (2009) yaptığı araştırmada gemi donatımı sürecini yardımcı programlar kullanarak işletmecilere fayda sağlamak amacıyla Tribon ve Ansys programlarını kullanmıştır.

Görçün (2020) gemi türü seçimini etkileyen faktörleri belirlemek ve etki oranlarını araştırmak için bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada gemi türü seçimi kriterlerini geminin hızı, taşıma kapasitesi, güvenlik düzeyi, çevreye duyarlılığı, satın alma maliyeti, taşıma maliyeti ve gemi bakım onarım maliyeti olarak belirlemiştir. Karar alma sürecinde %19,66 ile karar vericilerin tercihini en yüksek düzeyde etkileyen kriter geminin çevreye olan duyarlılığı olarak belirlenmiştir. Balbaş ve arkadaşları (2019) gemi türü seçimi için yaptıkları çalışmada gemi inşa sektörü içerisinde proje yönetiminde öne geçmek isteyen işletmelere yardımcı olmak için çalışmışlardır.

Bu çalışmada gemi tipi seçimini etkileyen kriterler kâr, pazar ihtiyacı, tersane inşa kabiliyetine uygunluk dış kaynak kullanım ihtiyacı, projenin toplam maliyeti ve gelecek getirileri olarak belirlenmiştir. Kriterlerin değerlendirilmesi Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın sonucu uzman karar vericiler tarafından değerlendirilmiş ve tüm kriterler için en uygun gemi tipinin feribot olduğu ortaya çıkmıştır. Erol ve arkadaşları (2015) ise yaptıkları çalışmada gemi türü seçimini etkileyen kriterleri yüksek kredibilite, referans, prestij, gemi maliyeti, kâr marjı, dış kaynak, müşteri güveni olarak belirlemiş ve bu kriterleri Bulanık TOPSIS ile Bulanık VIKOR yöntemleri kullanarak incelemişlerdir. Kriterlere uygun alternatifler belirlenmiş ve yapılan çalışma sonucu en uygun seçimin asfalt tankeri olduğuna karar vermişlerdir.

Armatörlerin istekleri doğrultusunda tersanelerde gemiler yapılır ve yapılan gemiler düzenli olarak bakıma çağırılır. Tersanelerde kullanılan malzemeler ve makineler düşünülünce iş sağlığı ve güvenliğine yüksek önem verilmesi gerekir. Tersanelerdeki iş kazalarının sebeplerini ve bu sebeplerin önem düzeylerini belirlemek adına Yorulmaz ve ark. (2022) yılında AHP yöntemi kullanarak kişisel, çevresel, yönetsel ve malzeme/ekipman kaynaklı faktörleri incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmanın sonucunda iş kazalarının en önemli sebebi kişisel faktörler olarak belirlenmiş ve asıl sebebin çalışanın psikolojik sorunları olduğu görülmüştür. İş sağlığı ve güvenliği için iş yerlerine göre uzman sayısı değişmekle beraber İSG için yapılan çalışmalarda işverenin de sorumluluğu vardır. Bu bağlamda, Akkaya (2013) İSG verilerini istatistiksel olarak incelemiş, iş kazası unsurlarını

belirlemiş ve tersanelerin durumunu açıklamıştır. Akkaya, çalışmasının sonucunda toplumun ve çalışanların bilinçlenmesi için eğitimler verilmesi gerektiğine ulaşmıştır.

Çok Kriterli Karar Verme

ÇKKV (Multi Criteria Decision Making) yöntemleri somut ve soyut kriterlere veya niteliklere göre potansiyel karar seçeneklerinden en iyisinin seçimiyle ilgilenir. ÇKKV, yöneylem araştırması ve yönetim bilimi alanlarının bir alt dalı olarak, karar teorisi ve karar analizinin en yaygın olarak kullanılan yöntemlerinden biridir. ÇKKV yöntemleri nicel veya nitel kriterlere göre olası seçenekler arasından en iyi olanının belirlenmesini amaçlar. ÇKKV, birçok kriterle göre belirlenen alternatiflerin avantajlarının ve dezavantajlarının değerlendirilmesini sağlayan analitik yöntemleri içeren bir topluluktur (Saaty, 2008).

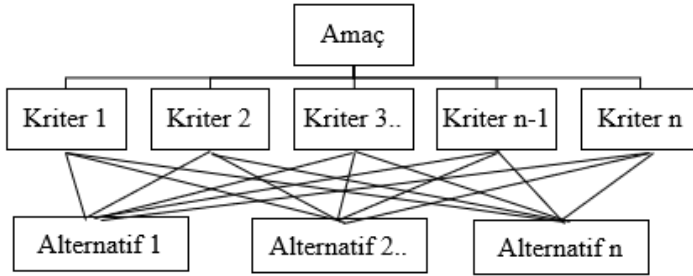
Analitik Hiyerarşi Prosesi

Temel karar verme yaklaşımlarından biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir. Belirli kriterlere göre değerlendirilen birçok alternatif arasından en iyi olanı seçmek için tasarlanmıştır.

AHP, ikili karşılaştırmaları kullanan bir ölçüm teorisidir ve uzmanların kararlarına dayalı öncelik ölçekleri elde etmeyi amaçlar. AHP ayrıca ikili karşılaştırmalara bir özdeğer yaklaşımı olarak da ifade edilir. Kişisel değerlendirmeler (ağır, güzel, yeni, sıcak vb.) bu ölçeklerle ölçülür. Karşılaştırmalar, bir kriterin diğer kriterle ne kadar daha fazla baskın (üstün) olduğunu temsil eden bir tercih ölçeği kullanılarak yapılır. Kararlar yani ikili karşılaştırmalar tutarsız olabilir ve daha iyi tutarlılık elde etmek için tutarsızlığın nasıl

ölçüleceği ve kararların nasıl geliştirileceği AHP ile başarılabılır (Saaty, 2008).

Analitik Hiyerarşi Prosesinin ilk adımı olan bu aşamada öncelikle probleme ve problemin amacına karar verilmesi gerekmektedir. Problem ve problemin amacı belirlendikten sonra amaca uygun olarak alternatiflerde olması gereken kriterler belirlenir. Belirlenen kriterlerle hiyerarşik yapı oluşturulur. Hiyerarşik yapının oluşturulması en önemli adımdır. Hiyerarşik yapı incelendiğinde en tepede çözüm aranan problemin hedefi yer almaktadır. Hiyerarşide alt düzeylere inildikçe detaylar artmaktadır. Hiyerarşinin ortasında kriterler ve sonunda alternatifler yer almaktadır.



Şekil 22. Üç Seviyeli Tam Hiyerarşi Modeli (Saaty, 2008).

Hiyerarşik yapının oluşturulmasından sonra belirlenen kriterler birbirleriyle karşılaştırılır ve önem dereceleri belirlenir. Bu işlem için karşılaştırma matrisleri oluşturulur ve karar verici kişiler tarafından Tablo 1.'de anlatıldığı gibi önem dereceleri belirlenir. Önem dereceleri birden fazla karar verici tarafından belirlendiyse her bir önem derecesi için geometrik ortalamaları alınarak işleme

devam edilir. Bunun sebebi ise verilerin birleştirilmesinin tek yolunun geometrik ortalamalarının alınması olmasıdır (Saaty, 2008).

Tablo 3: Önem Ölçeği ve Tanımları (Saaty, 2008).

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemli	Amaç için iki faaliyet (seçenek) de eşit öneme sahiptir.
3	Orta Derece Önemli	Bir seçenek diğerine nazaran biraz daha önemlidir.
5	Yüksek Derece Önemli	Bir seçenek diğerine nazaran oldukça önemlidir.
7	Çok Yüksek Derece Önemli	Bir seçenek diğerine nazaran çok yüksek biçimde önemlidir.
9	Son Derece Önemli	Bir seçeneğin diğerine nazaran oldukça yüksek biçimde önemi vardır.
2, 4, 6, 8	Ara Değerler	İki seçenek arasında orta bir değer vermek gerektiğinde kullanılır.

Karşılaştırma matrisinden alınan sonuçlara göre yeni bir matris oluşturulur. Bu matriste $a_{ij} > 0$ olarak i kriterinin j kriterine göre önemini göstermek üzere ikili karşılaştırma matrisi (A) elde edilir. Bu matris için veriler “1-9” arasında olduğundan daima pozitifdir. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulma şekli Eşitlik (1)’de gösterilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasından sonra karşılaştırılması yapılan her elemanın göreceli önceliği hesaplanmaktadır. Bu hesaplamanın yapılabilmesi için öncelikle matrisin normalize edilmesi gerekmektedir. Matrisi normalize edilmiş hale getirmek için elemanlar bulundukları sütun toplamına bölünürler. Eşitlik (2) kullanılarak her sütun için sütun toplamı

hesaplanmaktadır. Eşitlik (3) kullanılarak her eleman bulunduğu sütunun toplam değerine bölünmektedir. Elde edilen değerler Eşitlik (4) de gösterilen normalize matris halini almaktadır. Elde edilen bu matrisin ardından kriter ağırlıklarının hesaplanabilmesi için öncelikle her satırın aritmetik ortalaması Eşitlik (5) yardımıyla alınmaktadır. Her bir satır için elde edilen bu aritmetik ortalama değerlerini ikili karşılaştırma matrisindeki her hücreyle çarparak kriter ağırlıkları elde edilmektedir (Saaty, 2008).

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

$$c_{ij} = \frac{a}{b} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (5)$$

Karar verici kişilerden istenilen karşılaştırma değerlendirmelerinin tutarlı olup olmadıklarını incelemek adına tutarlılık oranı hesaplamaları yapılmaktadır. Karar vericilerden alınan değerlendirmelerde herhangi bir hata veya abartı durumu bulunup bulunmadığı tutarlılık oranı hesaplanarak bulunmaktadır. Bu oranın hesaplanabilmesi için öncelikle Eşitlik (6)'da gösterildiği gibi ikili karşılaştırma matrisi ile kriter ağırlıkları çarpılmakta ve ağırlıklı vektör matrisi (D) elde edilmektedir. Daha sonra Eşitlik (7) kullanılarak öz vektör değeri hesaplanmaktadır. Eşitlik (8) ile

tutarlılık indeksi (*CI*) değeri hesaplanır ve bulunan değerler kriter sayılarına göre Tablo 2de verilen Rassallık İndeksi (*RI*) değerlerine bölünmektedir. Eşitlik (9) ile de son olarak tutarlılık oranları (*CR*) hesaplanmış olmaktadır.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i}}{n} \quad (7)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

Tablo 2: Rassal Tutarlılık İndeksi

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

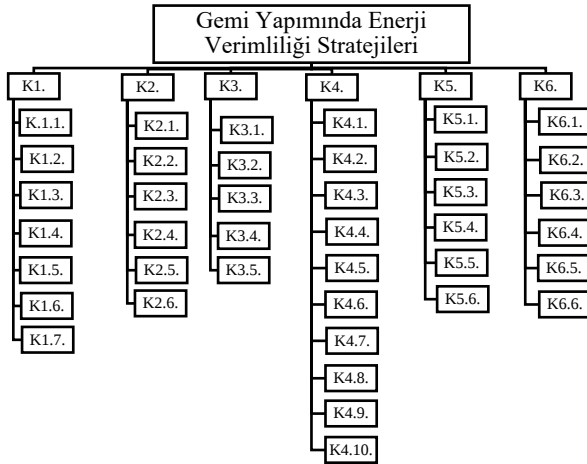
Çalışmada anlatıldığı üzere hesaplanan *CR* değerlerinin 0,10'dan küçük olması beklenmektedir. Bu değerlerin 0,10'dan daha büyük bir değer çıkması, karar vericilerin kriter karşılaştırmalarını yaparken tutarsız davranışlarda bulunduklarını göstermektedir. Bu durumda elde edilen kriter ağırlıkları doğru bilgiyi içermediklerinden verilerin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Bu adım Analitik Hiyerarşi Prosesinin son adımını içermektedir. Diğer adımların tamamlanmasıyla elde edilen sonuçlar incelenmekte ve problemin amacına en uygun alternatif

seçilmektedir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda alternatiflerin genel puanları, kriterlerin görelî önem ağırlıkları ve her bir kritere göre alternatiflerin görelî önem ağırlıkları matrisi elde edilir. Alternatiflerin öncelik matrisi, kriterlerin öncelik vektörleri çarpımı ile alternatiflerin genel puanları elde edilir.

Analitik Hiyerarşi Prosesinin Uygulanması

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'nde model kurulması için öncelikli hedef amacın belirlenmesidir. Bu çalışmada modelin amacı, gemi yapımında enerji verimliliği stratejilerini belirlemek adına kriterler arasında ağırlıklandırma yaparak en etkili kriteri tespit etmektir. Belirlenen amacın ardından kriterler belirlenerek AHP Yönteminin hiyerarşik yapısı kurulmuş olur. AHP Yönteminin hiyerarşik modeli Şekil 2.'de gösterilmektedir.



Şekil 2: AHP Yönteminin Hiyerarşik Modeli

Tablo 3: Kullanılan Kriterlerin Numaraları ve Adları

Kriter Kodu	Kriter Adı	Kriter alt kodu	Kriter Adı
K1.	Gemi Dizaynı	K4.2.	Tersane Tarafından Sağlanan İmkanlar
K1.1.	Gemi Tipi Seçimi	K4.3.	Raspa-Boya Bakım-Onarım
K1.2.	Esas Dizayn	K4.4.	Pervane Bakım-Onarım
K1.3.	Makine Seçimi	K4.5.	Dümen Bakım-Onarım
K1.4.	Stabilite	K4.6.	Sac Bakım-Onarım
K1.5.	Kapasite-DWT	K4.7.	Ana Makine Bakım-Onarım
K1.6.	Geminin Maliyeti	K4.8.	Pompa-Boru Bakım-Onarım
K1.7.	Rantabilite	K4.9.	Baş İtici Pervane İşlemleri
K2.	Gemi Üretimi	K4.10.	Tank, Kargo Alanı ve Yaşam Mahalli
K2.1.	Malzeme-Ekipman Stoğu	K5.	Gemilerde Enerji Verimliliği
K2.2.	Kesme-Taşlama-Yüzey Temizleme İşlemleri	K5.1.	Atık Isının Geri Kazanımı
K2.3.	Parçaların İmalatı	K5.2.	İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Verimliliği
K2.4.	Çelik Tekne Montajı	K5.3.	Alternatif Enerji Yaklaşımları
K2.5.	Raspa-Boya İşlemleri	K5.4.	Makine Yönetimi
K2.6.	Çelik Teknenin Denize İndirilmesi	K5.5.	Gemi Tasarım Uygulamaları
K3.	Gemi Donatımı	K5.6.	Organik Rankine Çevrimi
K3.1.	Makine Donanımı	K6.	Gemilerde İSG
K3.2.	Kumanda ve Ayar Teçhizatı	K6.1.	Tersanelerde İş Kazaları Riskleri
K3.3.	Sevk Donanımı	K6.2.	İSG Politikası
K3.4.	Yardımcı Makinelerin Donanımı	K6.3.	İSG Planlama
K3.5.	Boru Donanımı	K6.4.	İSG Uygulama ve Operasyon
K4.	Gemi Bakım-Onarım	K6.5.	İSG Kontrol
K4.1.	Havuzlama	K6.6.	İSG Yönetiminin Gözden Geçirilmesi

Gemi Dizaynı: İnşa edilecek gemiye uygun olarak tasarımın yapılmasıdır. Gemi dizaynı, birden çok aşama içeren ve bu

aşamaların sırasıyla tamamlanması sonucu inşa edilecek gemi tasarımının ortaya çıkmasıdır.

Gemi Üretimi: Geminin üretilip ortaya konması için malzeme, makine ve ekipmanların bir araya getirilerek işlenmesidir.

Gemi Donatımı: Geminin kullanım amacına ve tipine göre donatım elemanlarının güvenli şekilde gemiye yerleştirilmesidir.

Gemi Bakım-Onarım: Genel olarak geminin tamir edilmesi olarak düşünülebilir. Gemi herhangi bir kaza sonucunda veya yıllık sörvey amaçlı bakım onarıma gelir.

Gemilerde Enerji Verimliliği: Gemilerde birbirinden farklı birçok enerji çeşidi kullanılmaktadır. Bu enerjilerden verimlilik sağlamak adına gemilerde bazı değişimler yapılmış veya önlemler alınmış olabilir.

Gemilerde İş Sağlığı ve Güvenliği: Gemi yapımında ve gemide çalışanların zarar görme ihtimalinin olduğu risklerin önceden belirlenerek gereken önlemlerin alınmasıdır.

Çalışmada kullanılmış olan kriterler Şekil 2.'de numaralandırılarak verilmiştir. Kriter numaraları ve adları Tablo 3.'de verilmiştir.

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)'nin uygulanması için ana kriterler kendi aralarında ve alt kriterler kendi aralarında değerlendirilmiştir. Veriler üç uzmandan alındığı için tüm verilerin geometrik ortalaması alınarak karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve diğer adımlara devam edilmiştir. Ana kriterler için oluşturulan karşılaştırma matrisi Tablo 4.'de verildiği gibidir.

Tablo 4: Ana Kriterler İçin Oluşturulmuş Karar Matrisi

Karar Değişkenleri	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	6,25732	5,59344	5,27763	5	5,129928
K2	0,15767	1	2,46621	3,97906	3,55689	5,129928
K3	0,17758	0,40412	1	2,08008	3,55689	5,593445
K4	0,18632	0,24796	0,47754	1	3	2,758924
K5	0,2	0,27927	0,27927	0,33	1	2,080084
K6	0,19363	0,19363	0,16386	0,35882	0,24796	1
Toplam	1,91521	8,38231	9,98033	13,0256	16,3617	21,69231

Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) kullanılarak normalize edilmiş karar matrisleri oluşturulmuştur. Eşitlik (5)'i kullanarak normalize edilmiş karar matrisinden kriterlerin göreceli ağırlık vektörleri de hesaplanmıştır. Ana kriterler için oluşturulan normalize edilmiş karar matrisleri ve göreceli ağırlık vektörleri Tablo 5.'de verildiği gibidir.

Tablo 5: Normalize Karar Matrisi ve Kriter Ağırlıkları

Karar Değişkenleri	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	0,52214	0,74649	0,56045	0,40517	0,30559	0,236486
K2	0,08233	0,1193	0,24711	0,30548	0,21739	0,236486
K3	0,09272	0,04821	0,1002	0,15969	0,21739	0,257854
K4	0,09728	0,02958	0,04785	0,07677	0,18335	0,127184
K5	0,10443	0,03332	0,02798	0,02533	0,06112	0,09589
K6	0,1011	0,0231	0,01642	0,02755	0,01515	0,046099
Kriter Ağırlıkları	0,46272	0,20135	0,14601	0,09367	0,05801	0,040607

Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için Eşitlik (6)'dan yararlanılmış ve ikili karşılaştırma matrisi ile kriter ağırlıklarını gösteren w sütun vektörü çarpılarak ağırlıklı vektör matrisi (D) elde edilmiştir. Eşitlik (7) kullanılarak en büyük öz vektör hesaplandıktan sonra Eşitlik (8) kullanılarak tutarlılık indeksi hesaplanmıştır. Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için ise Eşitlik (9)'daki gibi tutarlılık indeksi verileri Tablo 2.'de verilen Rassallık İndeksi (RI) değerlerine bölünmüştür. Ana kriterler için hesaplanmış D sütun matrisi (ağırlıklı vektör matrisi) Tablo 6.'da verildiği gibidir.

Tablo 6: Ağırlıklı Vektör Matrisi

Karar Değişkenleri	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	0,46272	1,2599	0,81671	0,49436	0,29006	0,20831
K2	0,07296	0,20135	0,36009	0,37272	0,20634	0,20831
K3	0,08217	0,08137	0,14601	0,19484	0,20634	0,227132
K4	0,08621	0,04993	0,06973	0,09367	0,17403	0,112031
K5	0,09254	0,05623	0,04078	0,03091	0,05801	0,084466
K6	0,0896	0,03899	0,02393	0,03361	0,01438	0,040607
Ağırlıklı Toplam Vektör	3,53206	1,42177	0,93787	0,5856	0,36294	0,241114

Ana kriterler için Eşitlik (7) kullanılarak $\lambda_{\max}=6,59393$, Eşitlik (8) kullanılarak $CI=0,11879$ ve Eşitlik (9) kullanılarak $CR=0,09579$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen tutarlılık oranı $0,09579<0,10$ olduğundan verilerimiz tutarlıdır.

AHP Yönteminden çıkan sonuca göre kriter ağırlığı en yüksek olan ana kriter K1 çıkmıştır. Bu durum, gemi yapımında enerji verimliliği stratejilerinin belirlenmesi adına K1 kriterine yani

Gemi Dizaynı kriterine göre alternatifler belirlememiz gerektiğini göstermektedir.

Sonuç

Günümüz dünyasında önemi artan enerji ve Endüstri 4.0'a geçiş, sektörlerde enerji verimliliği sağlanması adına çalışmalar yapılmasını sağlamıştır. Her geçen gün gelişen teknolojiyle beraber bu çalışmalar daha iyi hale getirilmektedir. Ülkemizin gemi ihracatında ilerlemekte olduğu bugünlerde gemi yapımında enerji verimliliği uygulamaları önem kazanmıştır.

Bu çalışmada enerji verimliliği stratejilerinin uygulanacağı bölümü belirlemek adına Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılmıştır. AHP Yönteminin uygulanabilmesi için gerekli kriterler literatür araştırması yapılarak belirlenmiştir. Gerekli veriler alanında uzman olan üç kişiden toplanmıştır ve AHP Yöntemi uygulanmıştır.

AHP Yönteminden alınan sonuca göre, en yüksek kriter ağırlığı Gemi Dizaynı ana kriterine ait çıkmıştır. Bu durumda, gemi yapımında maksimum enerji verimliliğinin elde edilmesi için Gemi Dizaynı aşamasında enerji verimliliği çalışmaları yürütülmelidir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuca göre, gemi yapımında enerji verimliliğinin sağlanması için uygun stratejiler belirlenerek, belirlenen stratejilerin enerji verimliliği sağlama oranı ve maliyetleri hesaplanarak gemi yapımında enerji verimliliği için çalışmalar yapılması önerilir.

Yapılan bu çalışma gemi yapım sektöründeki çalışmalara yeni bir bakış açısı sunmakta ve sektörlerdeki enerji verimliliği çalışmaları için yol göstermektedir.

Referanslar

Akdeniz, E. (2018). AHP yöntemi ile bir işletmede en iyi çalışanın seçilmesi: BT sektöründe bir organizasyon incelemesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31, 61-90.

Akkaya, H. (2013). *Tersanelerde iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri ve işverenin sorumluluğu*, (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi. İstanbul, Türkiye.

Atan, M. Ve Altan, Ş. (2020). *Uygulamalarla çok kriterli karar verme yöntemleri*, Ankara/Türkiye, Gazi Kitabevi.

Balbaş, O., Turan, E. (2019). Tersanelerde inşa edilecek gemi tipinin belirlenmesinde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin uygulanması. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 215.

Bozkurt, A.U. (2008). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir, Türkiye.

Doğan, H., Yılankıran, N. (2015). Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli ve projeksiyonu. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 375-383.

Ecer, F (2020). *Çok kriterli karar verme: Geçmişten günümüze kapsamlı bir yaklaşım*. Ankara/Türkiye, Seçkin Yayıncılık.

Erol, A., Gülsün, B., Aydın, M. (2015). Tersanelerde inşa edilecek gemi tipinin bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleri ile belirlenmesi. *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, 203, 95-103.

Erol, M., Erdebilli, B. (2021). Firmaların iş sağlığı ve güvenliği performansının çok kriterli karar verme yöntemleri yardımıyla ölçülmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9, 337-359.

Gonca, G. (2009). *Gemi donatımında detay dizayn ve modelleme*, (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul, Türkiye.

Gök, F. (2013). *Gemi inşa sanayisinde proje yönetimi ve proje yönetim planına ilişkin bir örnek*, (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul, Türkiye.

Görçün, Ö.F. (2020). Gemi türü seçimini etkileyen faktörlerin analitik hiyerarşi süreci (AHP) yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 36-50.

Kaya, A.Y., Erginer, K.E. (2017). Gemilerde enerji verimliliği sağlama ve sera gazı salınımlarını azaltmaya yönelik uygulamalar: Bir odak grup çalışması. *Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 9(2), 212-233.

Özsoylu, A.F. (2017). Endüstri 4.0. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 41-64.

Özyiğit, İ. (2006). *Gemi inşaatında planlama ve üretim kademeleri*, (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul, Türkiye.

Perera, L.P, Mo, B., Kristjansson L.A. (2015). Identification of optimal trim configurations to improve energy efficiency in ships. *IFAC*, 48, 267-272.

Ramirez-Peña, M., Abad Fraga, F. J., Salguero, J., & Batista, M. (2020). Assessing sustainability in the shipbuilding supply chain 4.0: A systematic review. *Sustainability*, 12(16), 6373.

Rebelatto, B. G., Salvia, A. L., Reginatto, G., Brandli, L., & Frandoloso, M. A. L. (2022). Energy efficiency initiatives and the academic community's behaviour: a Brazilian experience. *Discover Sustainability*, 3(1), 33.

Tari, İ. (2014). Dünyada gemi bakım-onarım sektörü ve gemi bakım-onarımının ekonomik maliyetinin modellenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi. İstanbul, Türkiye.

Tezcan, Ö., Kuleyin, B. (2017). Avrupa limanlarında enerji verimliliği uygulamaları: Bir doküman analizi. *III. Liman Kongresi*.

Saaty T. (1980). *The analytic hierarchy process (AHP) for decision making*, Kobe/Japonya.

Saaty T. (2008). Making decisions in hierarchic and network systems. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 257.

Sánchez-Sotano, A., Cerezo-Narváez, A., Abad-Fraga, F., Pastor-Fernández, A., & Salguero-Gómez, J. (2020). Trends of digital transformation in the shipbuilding sector. In *New Trends in the Use of Artificial Intelligence for the Industry 4.0*. IntechOpen.

Yiğit, K. (2018). Gemi teknolojisinde alternatif enerji sistemlerinin kullanım potansiyelinin incelenmesi. *GMO Journal of Ship and Marine Technology Journal*, 214.

Yorulmaz, M., Öztürk, M.A. (2022). Tersanelerdeki iş kazası nedenlerinin önem düzeylerine göre belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, 41, 132-143.

Zülam, E. (2009). *Havuzlu çıkarma gemisi (LPD) dizaynı*, (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul, Türkiye

Wang, Y.M. (2008). On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. *European Journal of Operational Research*, 186, 735-747.

BÖLÜM IV

Otomotiv Havalandırma Sisteminde Akış Laminasyonu İçin Kullanılacak Bileşen Tasarımı Girişimi

**Ahmet Muhammet ALEMDAR¹
Gökçe EKEN²**

1.Giriş

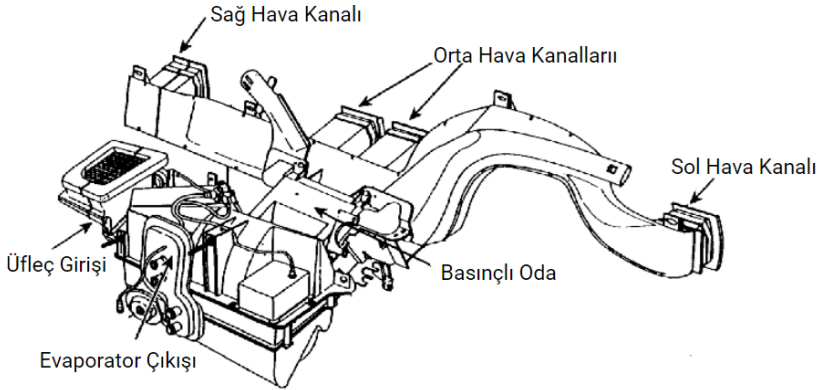
İklimlendirme sistemleri evler, ofisler, endüstriyel tesisler ve araçlar gibi çeşitli ortamlarda sıcaklık, nem, hava kalitesi ve hava akışı gibi atmosferik özelliklerini düzenlemek için tasarlanmış, rahatlık sağlamak ve uygun bir yaşam veya çalışma ortamı korumak için kullanılan sistemlerdir.

Genelde üç alt sistemden oluşan iklimlendirme sistemlerinin araçlarda üç görevi bulunur: ısıtma, soğutma ve havalandırma (Kandelousi, 2018).

¹ Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye

² Researcher, Yıldız Technical University Advanced Materials Research Group, İstanbul, Türkiye -
Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye

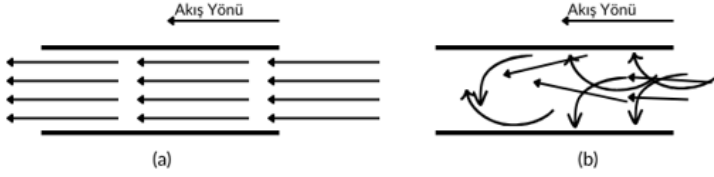
Yakın geçmişte üretilmiş binek araçların HVAC sistemleri temelde aynıdır ve bir şematiği Şekil 1’de görülebilir. Sistemlerin kontrolü kullanıcı tarafından, kabin içindeki kontrolcüler aracılığıyla sağlanır. Ortam koşulları yine kabin içinde bulunan sensörlerce algılanarak sistemin tepkisi belirlenir.



Şekil 1. Otomotiv İklimlendirme Sistemi Şematiği (Brungart T. A. vd, 1992)

Kabin içindeki kontrolörlerden biri, kullanıcının hava akışı yönünü ayarlamasını sağlayan ızgaralardır. Izgaralar, hava kanallarının sonunda bulunup, kabine açılır. Izgaraları kanat benzeri yapılar oluşturur ve aerodinamik olarak havayı iyi yönlendirecek şekilde tasarlanırlar. Bu özellik kavislerle ya da airfoil yapılarıyla sağlanabilir.

Izgaraların efektif şekilde çalışabilmesi için, gelen akışın düzenliliğine bağlıdır (Katopodes, N. D., 2018). Çok türbülanslı bir akış ızgaralara gelirse, bu akış kolayca yönlendirilemez.



Şekil 2. (a) Laminer Akış, (b) Türbülanslı Akış

Bu sebeple çoğu aracın hava kanalları uzun yapılıdır. Önüne engel çıkmadan akan hava böylece kendi kendini düzenler ve çıkışta daha iyi yönlendirilebilir ve daha az aeroakustik ses çıkarır (Krishna, I. M. vd., 2017).

Ancak, torpido içerisinde birçok komponent bulunur ve bunları girişim yapmadan yerleştirmek yeterince zor bir iştir. Üstelik daha büyük parçaların malzeme ve lojistik maaliyeti de daha fazla olmaktadır.

Bu sorunun önüne geçmek için, ızgalara benzer yapıda tasarlanacak başka bir komponentin hava alıklarına yerleştirilerek akışın henüz alıklardayken düzenlenmesi hedeflenmiştir.

2.Yöntem

Hava taşıma kanalları içerisindeki düzensiz hava akış formunun, geometrik sınırlama metoduyla, minimum olarak belirlenmiş bir hacim boyunca düzene sokulması hedeflenmiştir. Düzene giren hava akışının hava üflecine lineer bir akış ile gönderilmesi elde edilmiştir.

Optimum sonuçları elde edebilmek için çeşitli adette ve kalınlıkta modeller hazırlanarak akış analizleri yapılmıştır. Analizler, sürücü ve ön koltuktaki yolcunun sağ ve solunda bulunan

ızgaralar için koşulmuştur. Analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda görülen kodlamalarda kullanılan kısaltmaların anlamı şu şekildedir:

L: Katman Sayısı

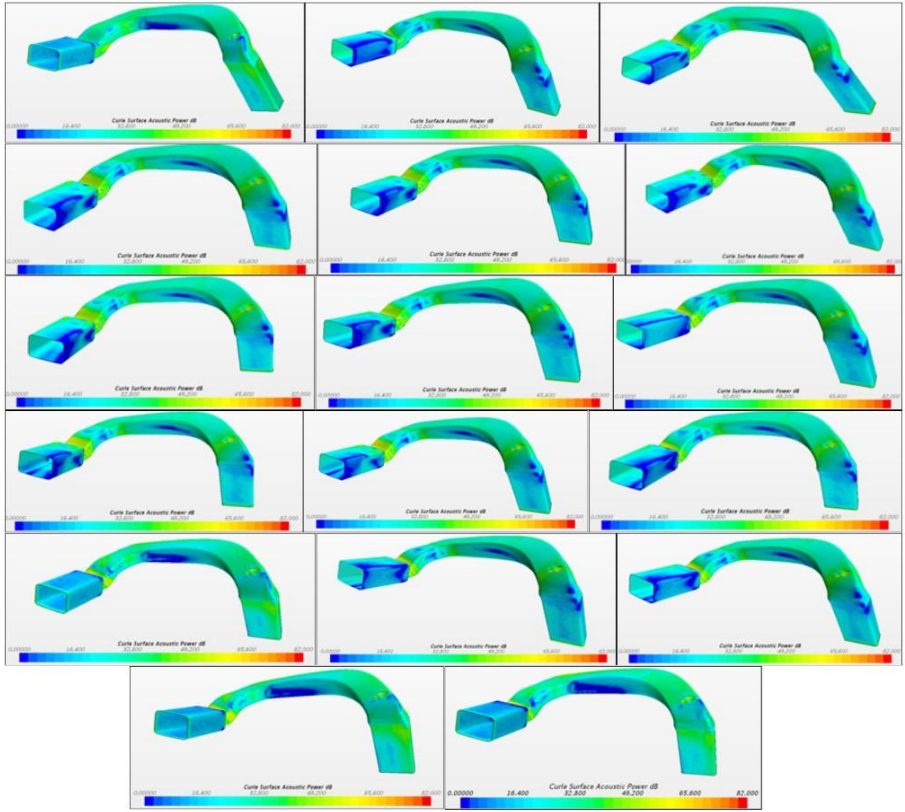
S: Dönüş Sayısı

R: Yuvarlatma yarıçapı

Ayrıca akustik test sonucu görüntüleri Şekil 3’te verilmiştir.

Tablo 1: Test Sonuçları

	Kod	Debi	Ses (dB)	Basınç Farkı	Düzenlilik Endeksi	Ortalama Akış Hızı
1	Air_I.2	0.02025 kg/s	25,64	20,19	70,5	2,6
2	Air_I.2_S2	0.02025 kg/s	27,19	34,33	75,34	2,78
3	Air_I.2_S2_R3	0.02025 kg/s	27,75	40,93	78,73	2,81
4	Air_I.2_S2_R4	0.02025 kg/s	27,8	40,83	78,93	2,82
5	Air_I.2_S2_R5	0.02025 kg/s	27,8	40,83	78,92	2,82
6	Air_I.2_S2_R6	0.02025 kg/s	27,92	42,57	79,22	2,83
7	Air_I.3	0.02025 kg/s	28,01	44,48	79,04	2,83
8	Air_I.3_S2	0.02025 kg/s	28,54	53,53	74,43	2,87
9	Air_I.3_S2_R3	0.02025 kg/s	28,82	55,14	78,4	2,9
10	Air_I.3_S2_R4	0.02025 kg/s	29,1	57,23	79,2	2,94
11	Air_I.4	0.02025 kg/s	27,6	38,45	75	2,82
12	Air_I.4_S2	0.02025 kg/s	29	73,61	96,87	2,36
13	Air_I.5	0.02025 kg/s	28,56	50,14	76	2,87
14	Air_I.5_S2	0.02025 kg/s	28,56	50,14	76,08	2,87
15	Air_I.6	0.02025 kg/s	28,7	59,64	96,8	2,36
16	Air_I.6_S2	0.02025 kg/s	30,5	101,21	96,88	2,35
17	Air_I.7	0.02025 kg/s	30,5	101	96,88	2,35



Şekil 3. Akustik Testlerin Görüntüleri

Test sonuçlarını yorumlarken sesin artmamasına ve düzenlilik endeksinin yüksek olmasına dikkat edilmiştir.

3.Sonuçlar

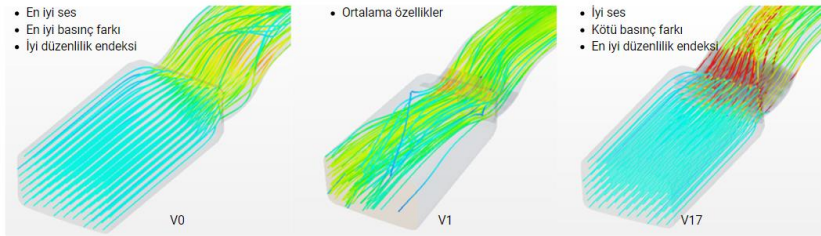
Testten, kullanılan araçtan daha yüksek düzenlilik endeksi ve 30 dB'den düşük ses miktarı ile 12 ve 15 numaralı modeller öne çıkmıştır. Bu modellerin ortak ve diğer modellerden farklı özellikleri incelenerek aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır:

- Kanat sayısının artması kesit alanının daralmasına bağlı olarak ilgili bölgedeki basıncı da arttırır. Bu

nedenle mevcut duruma göre ses seviyesi de artmaktadır.

- Kanat sayısının 1 ile 4 arasında tutulması Delta P ve ses değerini koruyacak, orta bölümdeki kanat sayısının arttırılması ise akışın homojenliğini koruyarak UI değerinin düşmesini engelleyecektir.
- Bu nedenle üretim teknolojisi izin verdiği kadar birbirine yakın ve olabildiğince az sayıda ince duvarlar kullanılacaktır.

Şekil 4'te bahsedilen özelliklerdeki bir eklentinin, tersine göre akış düzenleme etkisi akış analizi ile gösterilmiştir. Kırmızı ile görülen alanlar sesi arttıran alanlar olup, bu etkinin minimize edilmesi için açı ve kalınlık belirleme çalışmalarına devam edilecektir.



Şekil 4. Farklı Modellerin Akış Analizi Sonuçları

Kaynakça

Kandelousi, M. S. (Ed.). (2018). HVAC System. BoD–Books on Demand.

Brungart T. A., et al (1992), “Case History: Acoustic Diagnostics of an automotive HVAC System”, Noise Control Engineering Journal, vol 39

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.arabavs.com%2Faraclarda-hava-sirkulasyon-tusu-ne-ise-yarar.html&psig=AOvVaw1iJEGp_4IsmRdDgwqUXuxg&ust=1715333906306000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBIQjRxqFwoTCLCF_PSigIYDFQAAAAAdAAAAABAE

Katopodes, N. D. (2018). Free-surface flow: environmental fluid mechanics. Butterworth-Heinemann.

Krishna, I. M., Manickam, V., Shah, A., & Davergave, N. (2017). Environmental management: science and engineering for industry. Butterworth-Heinemann.

Teşekkürler

TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası AR-GE Direktörlüğü’nden Kübilay ÖZTÜRK’e ve Motor Ve Araç İklimlendirme Sistemleri Yöneticiliği’ne destekleri için teşekkürlerimizi sunarız.

BÖLÜM V

Kokusuz Kalman Filtresi Yöntemi İle Lityum İyon Pilde Şarj Durum Hesaplaması

Buket ÖZGÜL

Araştırmanın Önemi

Dünya genelinde çevre koşullarının iyileştirilmesi ve sürdürülebilir bir gelecek için elektrikli araçların kullanımı giderek artmaktadır. Elektrikli araçlar, sadece ulaşım sektöründe değil, genel yaşamımızın çeşitli alanlarında da giderek daha fazla yer edinmektedir. Bu araçların çevre dostu ve enerji verimliliği gibi avantajları, toplumun çeşitli kesimlerinde elektrikli araçlara olan ilgiyi artırmaktadır.

Ancak, elektrikli araçların en büyük sınırlaması, batarya teknolojisinin henüz tam olarak gelişmemiş olmasıdır. Batarya kapasitelerinin sınırlı olması, elektrikli araçların menzil ve performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, elektrikli

araçların kullanımının daha yaygın hale gelebilmesi için batarya teknolojisinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Batarya yönetim sistemi (BMS), elektrikli araçların batarya performansını optimize etmek ve batarya ömrünü uzatmak için kritik bir rol oynamaktadır. BMS, batarya hücrelerinin durumunu izler, batarya sıcaklığını kontrol eder ve batarya şarj durumunu yönetir. Bu sayede, batarya güvenliği ve performansı sağlanırken, elektrikli araçların daha uzun menzile sahip olması ve daha uzun ömürlü olması mümkün hale gelir.

Günümüzde, pek çok araştırma ve geliştirme çalışması BMS teknolojisini daha etkili hale getirmek ve batarya kapasitesini artırmak üzerine yoğunlaşmış durumdadır. Bu çalışmaların sonucunda, gelecekte elektrikli araçların daha uzun menzile sahip olması ve batarya teknolojisinin daha güvenilir ve verimli hale gelmesi beklenmektedir. Bu da elektrikli araçların yaygınlaşması ve fosil yakıtların yerini alması için önemli bir adım olacaktır.

Araştırmanın Amacı

Elektrikli araçların bataryaları, kullanım sırasında anlık olarak izlenmesi gereken kritik bir bileşendir. Bu tez çalışmasında, batarya gerilimi, sıcaklık ve akım değerleri anlık olarak ölçülüp gözlemlenerek, batarya hücrelerinin yüksek akıma, yüksek sıcaklığa, aşırı şarja veya zamanında olmayan deşarja maruz kalmasını engelleyerek batarya performansını artırmayı amaçlanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda yerli üretim alanında ülkemize katkıda bulunmanın yanı sıra, ileride yapılacak çalışmalara yol göstererek Batarya Yönetim Sistemi'nin (BMS) daha da geliştirilmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Elektrikli

araçların daha güvenli, verimli ve uzun ömürlü olmasına katkıda bulunarak elektrikli araç teknolojisinin ilerlemesine önemli bir katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

1.Elektrikli Araçların Genel Özellikleri

Elektrikli araçlar, bir veya birden fazla elektrik motorunu kullanır ve hareket kabiliyetini sağlamak için depolanan elektrik enerjisini kullanır.

Elektrikli araçların ana bileşenleri arasında elektrik motoru, motor kontrolörü, ana batarya, batarya yönetim sistemi (BMS), araçtan ayrı olarak çalıştırılabilen portatif şarj cihazı, kablo sistemi, rejeneratif fren sistemi, araç gövdesi ve bir karoser bulunmaktadır.[1]

Elektrikli araçları oluşturan elemanlar arasında batarya, şarj portu, DC/DC dönüştürücü, elektrikli çekiş motoru, yerleşik şarj cihazı, güç elektroniği kontrol cihazı, termal sistem, batarya paketi ve şanzıman yer almaktadır.

- LV Batarya (Akü), elektrikli aracı çalıştırmak ve aksesuarlara güç sağlamak için kullanılır.
- Şarj portu, aracın çekiş batarya paketini harici bir güç kaynağına bağlayarak şarj etmesini sağlar.
- DC/DC dönüştürücü, yüksek voltajlı DC elektrik gücünü düşük voltajlı DC elektrik gücüne dönüştürür.
- Elektrikli çekiş motoru, ana batarya paketinden güç alarak aracın tekerleklerini çalıştırır.

- Yerleşik şarj cihazı, şarj portu üzerinden gelen AC elektriğini alarak ana bataryayı DC elektriğe dönüştürür.
- Güç elektroniği kontrol cihazı, ana batarya tarafından sağlanan elektrik enerjisi akışını yönetir ve elektrikli çekiş motorunun hızını kontrol eder.
- Termal sistem, motor, elektrik motoru ve güç elektroniği gibi bileşenlerin uygun çalışma sıcaklığını korur.
- Ana batarya paketi, elektrikli çekiş motoru tarafından kullanılmak üzere elektrik enerjisi depolar.
- Şanzıman, tekerlekleri sürmek için motordan veya elektrikli çekiş motorundan mekanik güç aktarır.

2.Batarya Türleri

Bataryalar, elektriksel olarak şarj edilebilme yeteneğine sahip olanlar ve olmayanlar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir.

Şarj edilemeyen bataryalar, kimyasal yapıları gereği tekrar kullanılamazlar ve kullanımdan sonra atık haline gelirler. Enerji yoğunlukları düşük olmalarına rağmen, uygun fiyatlı ve pratik oldukları için birçok alanda günlük hayatta yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Örneğin, çinko karbon piller, düşük güç gerektiren ve maliyet açısından uygun olan uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, bu tür bataryaların elektrolitlerinin zamanla batarya dışına sızması istenmeyen sonuçlara neden olabilir.

Çinko klorid bataryalar ise çinko karbon bataryalara göre daha uzun ömürlüdür ve yüksek bir raf ömrüne sahiptir. Alkalın bataryalar ise yüksek güç gerektiren ve düşük maliyetli uygulamalarda tercih edilirler.

Gümüş oksit bataryalar, küçük boyutları ve yüksek enerji yoğunlukları nedeniyle özellikle tıbbi cihazlar gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Lityum piller ise uzun bekleme süreleri ve yüksek enerji yoğunlukları nedeniyle saatler ve bilgisayarlar gibi cihazlarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

Şarj edilebilir bataryalar arasında kurşun asit, nikel kadmiyum (Ni-Cd), nikel metal hidrit (Ni-MH), lityum iyon polimer (LiPO) ve lityum iyon (Li-Ion) gibi çeşitler bulunmaktadır. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu sağlamalarıyla bilinirler.[2]

2.1.Kurşun Asit Bataryalar

Kurşun-asit bataryalar, elektrik enerjisinin depolanması konusunda çağlar boyu kullanılan ve köklü bir geçmişe sahip olan teknolojiler arasında yer alır. Düşük yatırım maliyeti, düşük kendi kendine boşalma oranı ve nispeten kolay bakım imkanı gibi avantajlar, birçok depolama ihtiyacında bu bataryaların tercih edilmesini sağlar.

Ancak, bu teknolojinin bazı eksiklikleri vardır ki bunlar arasında sınırlı çevrim ömrü, düşük enerji yoğunluğu, değişen sıcaklık koşullarında performansın azalması, derin deşarja karşı hassasiyet ve çevresel açıdan zararlı olan kurşun bileşenleri ve asit elektroliti sayılabilir. Ayrıca, her bir kurşun-asit batarya hücresi yaklaşık 2V'luk bir çıkış gerilimine sahiptir, bu durumda, aynı

gerilim seviyesine ulaşmak için daha fazla sayıda batarya hücresinin kullanılması gerekebilir.

Kurşun-asit bataryaların hafıza etkisi olmaması ve kendi kendine boşalma oranının düşük olması, onları çeşitli uygulama alanlarında yaygın bir şekilde kullanılan bir seçenek haline getirir. Tabii, işte cümlelerin biraz daha farklı bir şekilde düzenlenmiş ve zenginleştirilmiş hali:

Kurşun-asit bataryalar, elektrik enerjisinin depolanması konusunda çağlar boyu kullanılan ve köklü bir geçmişe sahip olan teknolojiler arasında yer alır. Düşük yatırım maliyeti, düşük kendi kendine boşalma oranı ve nispeten kolay bakım imkanı gibi avantajlar, birçok depolama ihtiyacında bu bataryaların tercih edilmesini sağlar.

Ancak, bu teknolojinin bazı eksiklikleri vardır ki bunlar arasında sınırlı çevrim ömrü, düşük enerji yoğunluğu, değişen sıcaklık koşullarında performansın azalması, derin deşarja karşı hassasiyet ve çevresel açıdan zararlı olan kurşun bileşenleri ve asit elektroliti sayılabilir. Ayrıca, her bir kurşun-asit batarya hücresi yaklaşık 2V'luk bir çıkış gerilimine sahiptir, bu durumda, aynı gerilim seviyesine ulaşmak için daha fazla sayıda batarya hücresinin kullanılması gerekebilir.

Kurşun-asit bataryaların hafıza etkisi olmaması ve kendi kendine boşalma oranının düşük olması, onları çeşitli uygulama alanlarında yaygın bir şekilde kullanılan bir seçenek haline getirir.

2.2.Nikel Kadmiyum Bataryalar

Nikel-Kadmiyum piller, günlük uygulamalarda kullanışlı bir alternatif haline gelmiştir, çünkü kurşun-asit pillere göre yüksek

enerji yoğunluğuna, uzun çevrim ömrüne ve düşük bakım gereksinimlerine sahiptirler. Yüksek evrim ömrü, yüksek enerji yoğunluğu ve düşük bakım gereksinimleriyle kurşun-asit pillerle rekabet eder hale gelmişlerdir. Ni-Cd piller, zorlu koşullarda iyi performans sergileyebilen tek pil türüdür ve 1000 kez şarj edilebilirler. Ancak pilin tamamen boşaldığından emin olmadan şarj edilmemelidir çünkü bu, pilin şarj kapasitesini düşürebilir ve ömrünü kısaltabilir. Bu nedenle, düzenli aralıklarla tamamen boşaltılması gerekir.

Ni-Cd piller, herhangi bir şarj seviyesinde uzun süreli raf ömrüne sahiptir ve çevrim başına fiyat karşılaştırması yapıldığında en ekonomik batarya türüdür. Ancak, diğer batarya türleriyle karşılaştırıldığında enerji yoğunluğu düşüktür ve hafıza etkisi en büyük dezavantajdır. Ayrıca, evreye zararlı kimyasal maddeler içerirler. Ancak Ni-Cd pillerin uzun ömürlü olması ve fiziksel, kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması en büyük avantajlarıdır. Enerji yoğunluğu bakımından kurşun-asit pillerden daha pahalı olmaları ve kadmiyum içermeleri gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır.[3]

2.3.Nikel Metal Hidrit Bataryalar

Ni-MH piller, enerji kapasiteleriyle oldukça dikkat ekerler. Ni-MH piller, Ni-Cd pillerine göre çok daha geniş bir kapasite aralığına sahip olan pil türleridir. Ancak, Ni-MH piller de Ni-Cd piller gibi tamamen deşarj olmadan önce şarj edilmemelidir, çünkü bu durumda da bellek etkisi ortaya çıkabilir. Ni-MH bataryalar, Ni-Cd bataryalara göre %30 ila %40 daha fazla kapasiteye sahiptirler. Ancak, Ni-MH bataryaların dayanıklılığı Ni-Cd bataryalara göre biraz daha düşüktür. NiMH piller birçok yönden avantajlı olsa da,

kullanılmadıklarında hızla deşarj olabilirler. Bu nedenle, Ni-MH bataryaların belirli aralıklarla deşarj edilmesi önerilir. Ni-Cd bataryalar için bu süre aylık iken, Ni-MH bataryalar için üç aylık bir periyot uygundur.

Nikel metal hidrit bataryalar, içerdikleri zararlı maddelerden dolayı kurşun-asit ve nikel-kadmiyum bataryalara göre çevre dostu bir seçenek sunarlar. Ancak, Ni-MH bataryaların uzun vadeli enerji depolaması konusundaki yetersizlikleri bilinmektedir. Bununla birlikte, maliyet açısından Li-ion bataryalardan daha ekonomiktirler. Ni-MH bataryalar aşırı akımda şarj edildiklerinde çevrim ömürlerinde ciddi azalmalara neden olabilirler. Bu nedenle, şarj sırasında karmaşık bir algoritma kullanılarak şarj edilmeleri önerilir. Ni-Cd bataryalarla karşılaştırıldığında, Ni-MH bataryaların şarj sürelerinin daha uzun ve kendi kendine boşalmalarının daha sık olduğu gözlemlenir. Ayrıca, deşarj akımları daha düşüktür.

2.4. Lityum Polimer Bataryalar

LiPO bataryalar, diğer şarj edilebilir bataryalardan farklı bir elektrolit maddesi kullanır. Bu bataryalarda, elektrolit iletkenliği olmayan ancak iyonların geçişine izin veren bir sıvı elektrolit bulunur. Yapısında sıvı elektrolit olduğu için, pilin sızıntı yapma olasılığına karşı metal folyolarla kaplanmıştır. LiPO bataryalar, istenilen boyutta üretilebilen bir batarya çeşididir ve genellikle büyük cihaz üreticilerinin özel taleplerine göre üretilirler. Bu nedenle, genellikle taşınabilir elektronik cihazlarda kullanılırlar. Ancak, yanıcı ve patlayıcı bir yapıya sahip oldukları için kullanırken dikkat edilmesi gerekir. LiPO bataryalar, yanarken dahi içlerindeki kimyasal yoğunluktan dolayı suya atılsa bile yanmaya devam edebilirler. Hafif olmaları ve aşırı deşarja karşı daha dayanıklı

olmaları gibi özelliklere sahiptirler. LiPO bataryaların iletkenliğinin az olması, yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans sağlamalarını sağlar. LiPO bataryalar, Li-Ion bataryalara göre enerji yoğunluğu ve kullanım ömürleri açısından avantajlıdır. Ancak, lityum negatif elektrotunun potansiyel bir sorun kaynağı olması ve güvenlik önlemleri gerektirmesi gibi zorluklarla da karşılaşılabilir. Bu nedenle, bazı senaryolarda performans düşüşlerine neden olabilirler. Bu sebeple, Li-Ion bataryalar büyük ölçüde LiPO bataryaların yerini almıştır.

2.5. Li – İyon Bataryalar

Li-Ion bataryalar, günümüzde elektrikli araç uygulamalarında ve elektronik cihazlarda en çok tercih edilen batarya türüdür. Bu bataryalar, birim hücre başına en yüksek gerilim ve birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler. Li-Ion bataryaların hafıza etkisi olmaması, kendi kendilerine deşarj olmaları ve yüksek çevrim ömürleri gibi avantajları vardır. Ayrıca, geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahiptirler. Li-Ion batarya hücre gerilimleri 2.5V ile 4.2V arasında değişir ve diğer batarya türlerinin yaklaşık üç katıdır. Ancak, lityumun hızlı tepkime gösterme özelliği nedeniyle kullanımları sırasında patlama ve yanma riski taşırlar. Li-Ion bataryalar, doğrudan güneş ışığına veya yüksek ısıya maruz kalmaları durumunda tehlikeli olabilirler. Şarj işlemi sırasında, şarj geriliminin maksimum değeri batarya geriliminin %80'ine ulaşıncaya kadar sabit akımda gerçekleştirilmelidir. Sonrasında, sabit gerilimde şarj işlemine devam edilir ve şarj akımı belirli bir değere kadar azaldığında şarj işlemi sonlandırılır. Li-Ion bataryalarda, aşırı şarj ve aşırı deşarjı önlemek için koruma devrelerine ihtiyaç vardır. Li-Ion bataryaların farklı malzemeler

kullanılarak çeşitli türleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında LCO (Lityum Kobalt Oksit), LMO (Lityum Mangan Oksit), LFP (Lityum Demir Fosfat), NMC (Lityum Nikel Mangan Kobalt Oksit), LTO (Lityum Titanat Oksit) ve NCA (Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit) bataryalar bulunur.

3.Batarya Yönetim Sistemi Nedir?

BMS, bataryanın ve hücrelerin gerilimini, şarj ve deşarj akımlarını, hücre sıcaklıklarını ölçen ve izleyen özel bir yönetim sistemidir. Ayrıca, maksimum şarj ve deşarj akımlarını, hücrelerin maksimum ve minimum gerilimlerini ile sıcaklıklarını belirleyerek kontrol eder. Bu şekilde, bataryanın güvenliğini sağlamak ve performansını optimize etmek için gereken önlemleri alır.



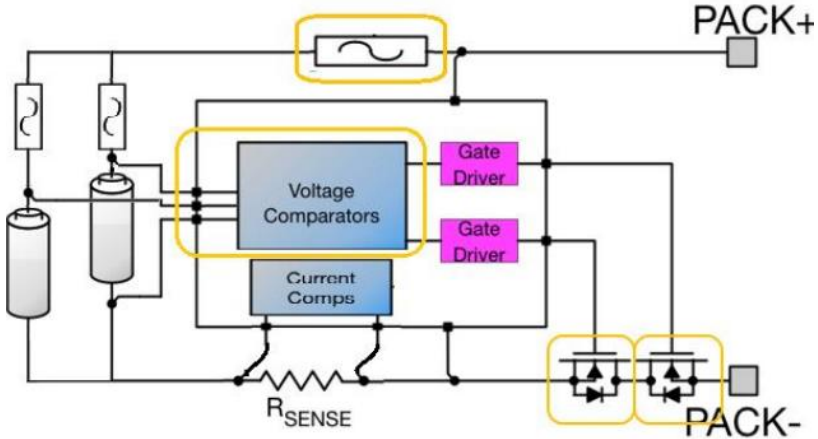
Şekil 1: Batarya Yönetim Sistemi (BMS) alt sistemler



Şekil 2: BMS görevleri

3.1. Gerilim Ölçümü

Batarya yönetim sistemi, seri bağlı tüm hücrelerin gerilimlerini ölçmelidir. Toplam batarya gerilimi, bu değerlerin toplamı şeklinde hesaplanabileceği gibi ayrı bir ölçüm sonucu olarak da alınabilir. Hücresel ölçüm sisteminde, her hücreye bağlı olan elektronik devre ile hücre gerilimi ölçülür. Diğer bir ölçüm yöntemi ise bataryanın çeşitli noktalarındaki gerilimleri ölçerek, hücre gerilimlerini bu noktalar arasındaki gerilim farkından hesaplar. Bir diğer yöntemde ise hücre bağlantı noktalarından diferansiyel olarak ölçüm yapılır ve hücre gerilimleri bu farktan hesaplanır.

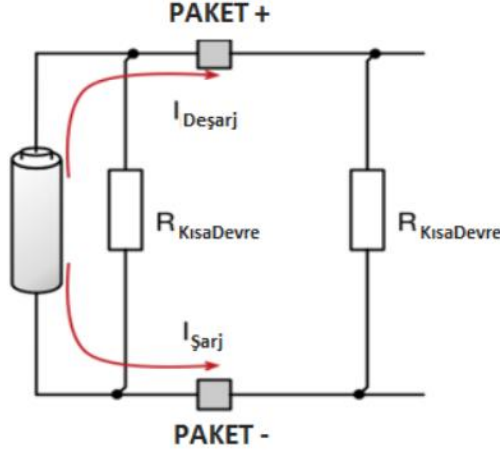


Şekil 3: Batarya gerilim kontrol yapısı

Gerilim ölçümleri için analog çoklayıcı ve bir ADC (Analog-Dijital Dönüştürücü) kullanılabilir. Gerilim ölçümünün doğruluğu, bataryanın anlık durumuna bağlıdır. Temel olarak, bir hücrenin tamamen şarj veya deşarj olduğunu belirleyebilmek için 100mV tolerans yeterli olabilir. Eşitleme yapılan uygulamalarda ise maksimum gerilimde 50mV doğruluk genellikle yeterlidir. Piyasada bulunan BMS'lerin gerilim ölçümü doğruluğu genellikle 10mV ile 30mV arasındadır.

3.2.Akım Ölçümü

Batarya akımı ölçümü, şarj ve deşarj sırasında harcanan enerjiyi hesaplamak için kullanılır. Ancak yüksek deşarj veya şarj akımları, bataryanın kimyasal yapısını bozarak ömrünü kısaltabilir. Bu nedenle, anlık akım ölçümü, bu tür riskleri yönetmek ve bataryanın sağlığını korumak için önemlidir. Belirli aralıklarla yapılan akım ölçümleri, bataryanın anlık durumunu değerlendirmek ve Şarj Durumu'nu tahmin etmek için kullanılır. Akım ölçümü genellikle şönt direnç ve alan etkili akım algılayıcılar ile gerçekleştirilir. Ancak bu yöntem, sistemden izole değildir ve bazı durumlarda çevresel faktörlerin etkisiyle ölçüm doğruluğunu etkileyebilir. Örneğin, ortam sıcaklığının artması, şönt direncinin iç direncini artırarak ölçüm doğruluğunu azaltabilir.[5]



Şekil 4: Batarya içi ve dışı kısa devre gösterimi

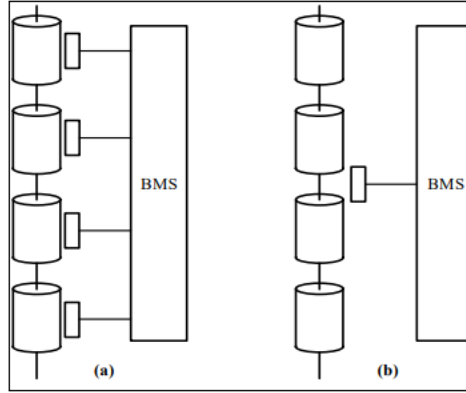
Alan etkili algılayıcılar, akımı ölçmek için manyetik etkiyi kullanır ve buna bağlı olarak bir çıkış gerilimi üretirler. Bu algılayıcılar, ya dirence bağlanarak ya da içlerinden akım geçirilerek ölçüm yapılabilirler.

Akım ölçümünde, alan etkili algılayıcılar kullanılarak sistem izole edilir. İki yönlü veya tek yönlü ölçüm yapabilme yetenekleri, çeşitli uygulamalarda avantaj sağlar. Örneğin, şarj ve deşarj durumunun 0A seviyesinin altına veya üstüne çıkmasıyla bu yöntemle anlaşılabilir. Bu sayede, sistemde yükselteç devrelerine ihtiyaç duyulmaz.

3.3.Sıcaklık Ölçümü

BMS, batarya paketinin veya her bir hücresinin sıcaklığını ölçebilir. Ancak bazı sistemlerde her hücre için ayrı giriş bulunmayabilir. Bu durumda, sıcaklık algılayıcıları stratejik noktalara konularak (örneğin, en sıcak veya en soğuk bölgelere) sıcaklık ölçümü yapılır. Tüm hücrelerin sıcaklığını ölçmek, BMS'in

batarya üzerindeki kontrolünü artırır. Bataryalar, nominal sıcaklık değerlerinin dışında şarj veya deşarj edilmemelidir. Bu kural, bataryanın güvenli ve uzun ömürlü olmasını sağlar.



Şekil 5: Sıcaklık Ölçümü (a) Her hücrenin (b) Batarya paketinin

4.BMS Hücre Gerilimleri Tekniği ve Yöntemleri

Bir depolama sisteminde kullanılan batarya hücreleri, aynı marka, aynı model ve eşit kapasitelere sahip olmalarına rağmen, kimyasal yapıları ve çevresel koşulların etkisiyle farklı karakteristik özellikler gösterebilirler. Bu nedenle, şarj ve deşarj işlemlerinde, başlangıçta aynı özelliklere sahip hücrelerde bile farklı gerilim değerleri görülebilir. Farklı gerilim değerleri, batarya paketinde dengesizliğe yol açabilir.

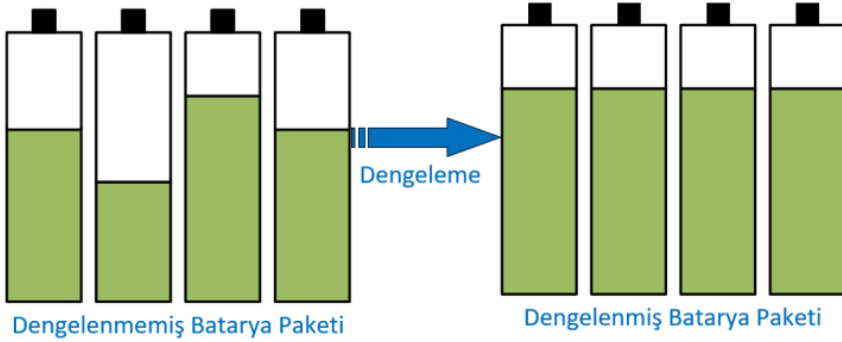
Paralel bağlı batarya hücrelerinde, devre karakteristiği gereği hücreler eş potansiyele doğru kendiliğinden gelir ve böylece hücre gerilimleri eşitlenir. Ancak seri bağlı batarya paketlerinde, yüksek akımlarla oluşturulan yüksek kapasiteli paketlerde bu durum geçerli değildir. Seri bağlı hücrelerde farklı gerilim değerleri olduğundan, bazı hücreler diğerlerine göre daha önce maksimum şarj düzeyine

ulaşır. Bu durum, batarya paketi deşarj edildiğinde, gerilim dengesizliğı nedeniyle tam şarj edilmemiş hücrelerin daha hızlı tükenmesine neden olur.

Batarya paketlerinde hücreler arası gerilim farklılıklarının sebepleri şunlardır:

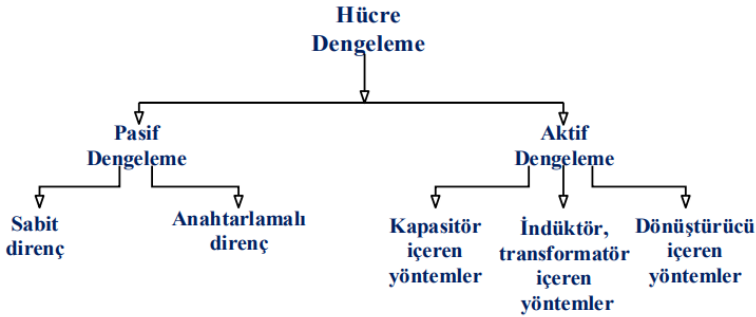
- Batarya hücrelerindeki koruma kılıfları, farklı oranlarda şarj alınmasına neden olabilir.
- Batarya paketinin farklı bölgelerinde meydana gelen ısı artışları, gerilim farklılıklarına yol açabilir.
- Hücrelerin üretim aşamasındaki farklılıklar, batarya paketindeki gerilim farklarını etkileyebilir.
- Hücreler arasındaki empedans farklılıkları, gerilim dengesizliğine sebep olabilir.
- Toparlanma oranlarındaki farklılıklar, hücreler arasındaki gerilim farklarını artırabilir.
- BMS'deki anahtarlama elemanlarından kaynaklanan nedenler de batarya paketindeki gerilim dengesizliğine etki edebilir.

Batarya paketlerindeki hücreler arasındaki gerilim farklarını gidermek ve tüm hücrelerin aynı potansiyele sahip olmasını sağlamak için gerilim dengeleme tekniğine ihtiyaç duyulur. Bu tekniğin temel amacı, hücreler arasındaki şarj düzeyindeki farklılıkları azaltmaktır. Bu sayede, hem potansiyel hem de doluluk açısından eşitlik sağlanır ve batarya paketinin dengelemesi sağlanır. Gerilim dengeleme tekniğı, depolama sistemlerinde daha yüksek verimlilik, daha uzun ekonomik ömür (daha fazla döngü sayısı) ve daha yüksek güvenlik sağlar.[6]



Şekil 6: Batarya hücrelerinin dengelenmesi

Batarya dengeleme teknikleri genellikle "Pasif Dengeleme Yöntemleri" ve "Aktif Dengeleme Yöntemleri" olarak iki ana kategoride incelenir.

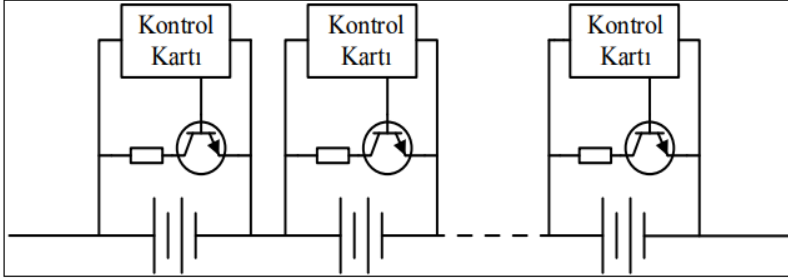


Şekil 7: Batarya hücre dengeleme yöntemi türleri

4.1. Pasif Yöntemler

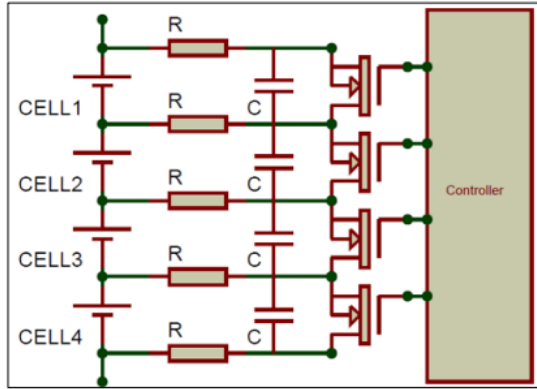
Pasif yöntemlerde, enerjisi fazla olan batarya hücresi belirlenir ve bu hücreye bağlanan paralel direnç aracılığıyla fazla enerji harcanarak ısıya dönüştürülür. Bu yöntem, en basit dengeleme türüdür ve kurulumu ile uygulaması kolaydır. Dengeleme hızı,

kullanılan direncin değerine ve gücüne bağlıdır. Pasif dengeleme yöntemleri, genellikle anahtarlama direnç ve tekli direnç olmak üzere iki türde uygulanır.



Şekil 8: Anahtarlama direnç yöntemi

Anahtarlama direnç yönteminde, her bir hücreye bağlı bir kontrol kartı kullanılarak dirençler devreye alınır ve böylece hücreler arasında dengeleme gerçekleştirilir.



Şekil 9: Pasif balans yöntemi

Tekli direnç yönteminde, tek bir direnç ve birden fazla anahtarlama elemanı kullanılır. Bu yöntemde, her hücre için ayrı bir anahtarlama elemanı bulunur ve bu elemanlar belirli bir kurala göre

devreye alınır veya devreden çıkarılır. Tekli direnç yöntemi, uygulanması zor ve düşük verimli bir yöntemdir.

4.2.Aktif Yöntemler

Aktif hücre dengeleme yönteminde, enerjisi fazla olan hücrelerden diğer hücrelere veya tüm batarya paketine enerji aktarılır. Bu işlemler, hücre gerilimleri eşitlenene kadar kontrollü bir şekilde devam eder. Ancak, bu yöntemin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Birincisi, şarj ve deşarj işlemlerindeki enerji aktarım verimliliği düşüktür. İkincisi, dengeleme süresi ve oranı, eşitleme yapılacak minimum ve maksimum hücre gerilimleri farkına bağlıdır. Bu durumda, gerilim farkı ne kadar büyükse, dengeleme zamanı o kadar kısalmış ve işlemin verimliliği artar. Ancak, gerilim farkı azaldıkça, kapasite üzerindeki şarj ve deşarj işlemiyle daha az enerji aktarılır, ancak devre elemanlarındaki kayıplar aynı kalır. Aktif yöntemlerin en büyük avantajı, hem şarj hem de deşarj durumlarında kullanılabilmesidir.[7]

4.2.1.Kapasitör İçeren Hücre Dengeleme Yöntemleri

Kapasitör tabanlı hücre dengeleme tekniklerinde, fazla enerjiye sahip olan hücrelerin kapasitörleri şarj edilir ve bu enerji daha düşük enerji seviyesindeki hücrelere aktarılır. Bu yöntemle, aynı anda bir hücrenin dengelemesi gerçekleştirilebilir, ancak batarya grubunun sonlarına doğru bu işlem daha uzun sürebilir. Bu teknik, indüktif dengeleme sistemine kıyasla daha yavaş bir dengeleme sağlar.

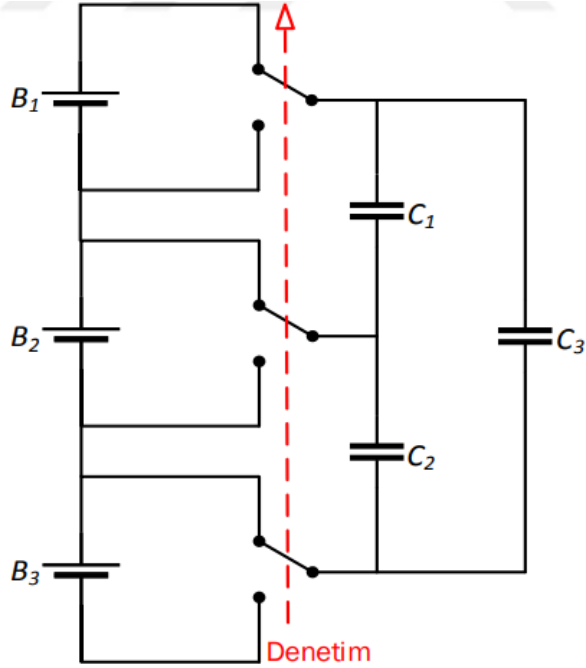
4.2.1.1.Anahtarlı Kapasitör Yöntemi

Anahtarlamalı kapasitör yöntemi, n adet hücreye $n-1$ kondansatör bağlanarak oluşturulur. Sabit bir çalışma oranına sahip

anahtarlar, karmaşık algoritmalar gerektirmez. Örneğin, birinci durumda B1-C1 bağlantısı sağlanırken ikinci durumda B2-C1 bağlantısı kurulur. Kondansatörler, yüksek gerilime sahip hücrede şarj edilir ve bu enerji daha düşük gerilime sahip hücreye aktarılır. Böylece, enerji, yüksek enerjili hücreden düşük enerjili hücreye doğru yönlendirilir. Ancak, hücreler arasındaki gerilim farkı arttıkça dengeleme hızı azalır, özellikle çok sayıda hücre olduğunda bu daha belirgindir. Yüksek sayıda anahtar kullanımı, yöntemin kurulumunu zorlaştırır ve dengeleme hızını düşürür. Ancak, bu yöntemin önemli bir avantajı, hem şarj hem de deşarj işlemlerinde kullanılabilmesidir.

4.2.1.2.Çift Katlı Kapasitör Yöntemi

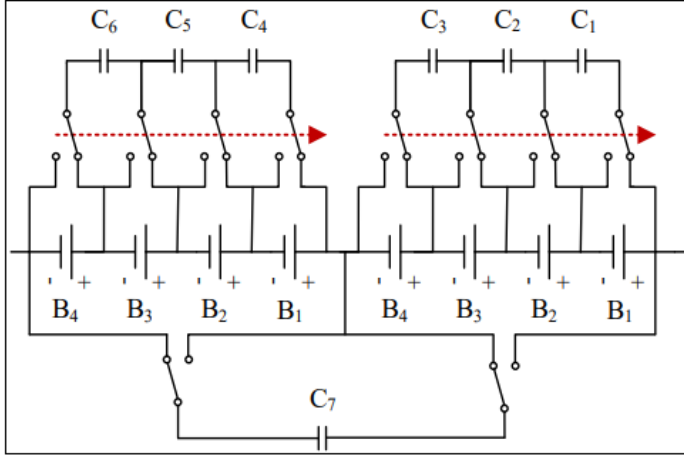
Benzer bir yapıya sahip olan bu yöntemde, anahtarlar sürekli sabit bir çalışma oranı ile hareket eder. Bir örnekte B1-C1 bağlantısı sağlanırken, diğerinde B2-C2 bağlantısı kurulur. Bu esnada, C1 ve C2 kondansatörleri C3 üzerinden birbirine eşitlenir. Anahtarlı kapasitör yöntemine kıyasla, dengeleme hızı daha yüksektir ve verimlilik daha fazladır. Çift katmanlı kapasitör yöntemine ait görsel aşağıda bulunmaktadır.



Şekil 10: Çift katlı kapasitör yöntemi

4.2.1.3. Modülerize Kapasitör Yöntemi

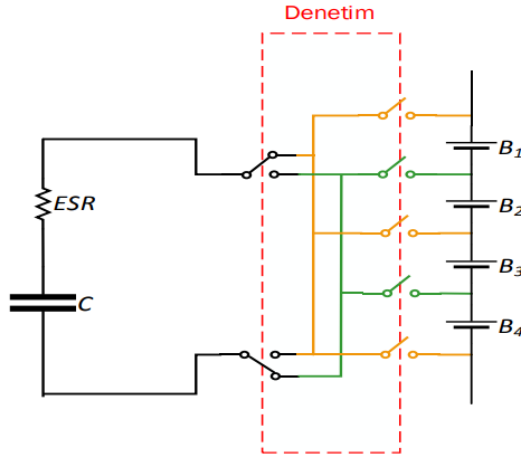
Modüler kapasitör yönteminde, batarya hücreleri aynı sayıda gruplanarak modüller oluşturulur. Bu modüller, kendi aralarında ve diğer modüllerle olan dengelemeye dayanır. Dengeleme hızı, anahtarlama kapasitör yöntemine göre daha hızlıdır ve sabit bir anahtarlama mantığı olduğundan akıllı bir kontrol algoritması gerektirmez. Bu yöntem, bataryanın hem şarj hem de deşarj süreçlerinde kullanılabilir.



Şekil 11: Modülerize kapasitör yöntemi

4.2.1.4. Tekli Anahtarlama Kapasitör Yöntemi

Bu yöntemde kontrol devresi yardımıyla en dolu ve en boş hücreler belirlenir. Direnç ve kondansatör seri olarak bağlanır.



Şekil 12: Tekli anahtarlama kapasitör yöntemi

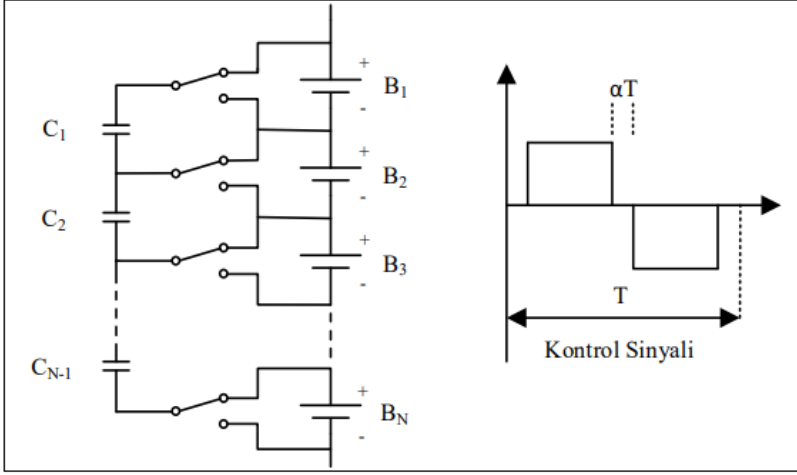
İlk durumda, uygun anahtarlama yapılarak en yüksek dolulukta olan hücredeki kondansatör şarj edilir. İkinci durumda ise en düşük dolulukta olan hücre belirlenerek kondansatör bu hücredeki enerjiyi boşaltır. Bu şekilde, enerji en dolu hücreden en boş hücreye doğru aktarılır. Dengeleme hızı, anahtarlama kapasitör yöntemine göre daha yüksektir. Yüksek verimlilik sağlar ancak kurulumu karmaşıktır. Akıllı bir algoritma gerektirdiği için uygulaması zor olabilir. Ayrıca, en dolu ve en boş hücrelerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

4.2.2.1. Bobin ve Transformatör İçeren Hücre Dengeleme Yöntemleri

Bu yöntemde, bir hücre grubundan alınan enerji, bobin veya transformatör aracılığıyla başka bir hücreye veya batarya grubuna aktarılır. Bu şekilde, dengeleme işlemi hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ancak, bu yöntemlerin karmaşık yapısı ve yüksek maliyeti bazı kısıtlılıklara neden olabilir.

4.2.2.2. Anahtarlama Bobin Yöntemi

Kontrol sistemi, komşu iki hücre arasındaki gerilim farkını belirler. Üstteki anahtarlar iletim modundayken, alttaki anahtarlar kesim modundadır. Fazla enerji, dolu hücredeki bobine depolanır. Anahtarlar kesim moduna geçtiğinde, bu enerji diğer hücreye aktarılır. Bu süreç, tüm hücrelerin eşitlenmesine kadar devam eder.

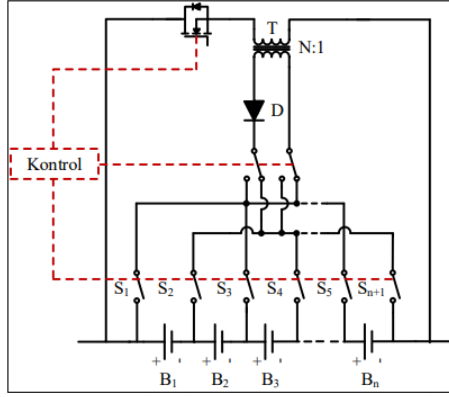


Şekil 13: Anahtarlama bobin yöntemi

Bu yöntemin dengeleme hızı ve verimi oldukça yüksektir. Ancak, devrede çok sayıda anahtar olduğu için kurulumu zordur ve hücre sayısı arttıkça kurulumu daha da zorlaşır. Sabit bir çalışma oranı bulunduğundan, uygulanabilirliği kolaydır.

4.2.2.3. Tek Sarımlı Transformatör Yöntemi

Tek sarımlı aktarım yöntemi iki şekilde uygulanabilir: hücreden batarya paketine veya batarya paketinden hücreye doğru. Batarya paketinden hücreye modunda, en düşük enerji seviyesine sahip olan hücre tespit edilir. Bu hücreden başlanarak, bir anahtar iletim konumuna getirilir ve transformatörün bir sargısına enerji aktarılır. Ardından, anahtar kesme konumuna geçildiğinde, bu enerji en düşük enerji seviyesine sahip hücreye transfer edilir. Bu işlemler, tüm hücreler eşit enerji seviyelerine ulaşana kadar devam eder.

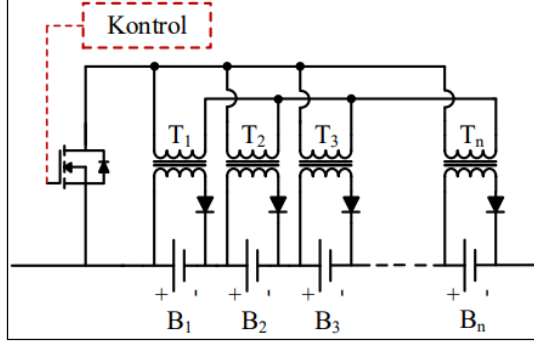


Şekil 14: Tek sarımlı transformatör yönetimi

Bu yöntemin dengeleme hızı ve verimliliği oldukça yüksektir. Ancak, devredeki çok sayıda anahtar nedeniyle kurulumu oldukça zor olabilir. Hücre sayısı arttıkça, kurulumun daha da karmaşık hale geldiği görülür. Bu yöntem, genellikle en düşük veya en yüksek gerilim seviyesine sahip hücreleri belirleme esasına dayanır.

4.2.2.4.Çoklu Transformatör Yöntemi

Her hücreye bir transformatör bağlanarak çoklu transformatör yöntemi oluşturulur. Bu transformatörler, hücrenin katot ucuna ters gerilim koruması sağlayan diyotlarla birlikte gelir. Bu yöntemde, sürekli bir enerji aktarımı gerçekleşir. Mosfet, sabit bir çalışma oranı ile anahtarlama yapar. Dengeleme hızı ve verimi yüksektir. Anahtar sayısının az olması nedeniyle kurulumu daha basittir. Sistemin kontrolü için özel bir algoritma geliştirmeye gerek yoktur.[8]



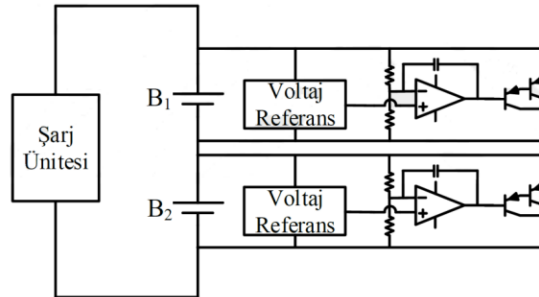
Şekil 15: Çoklu transformator yöntemi

4.3.Diğer Hücre Dengeleme Yöntemleri

Seri bağlı hücreler için her birine bir dönüştürücü bağlanarak oluşturulan bu yöntemler, genellikle yüksek verime sahiptir. Ancak, kurulumu zorlaştıran bir faktör, çok sayıda anahtarlama elemanının gerekliliğidir. Anahtarlama işlemlerinde PWM (Darbe Genişliği Modülasyonu) kullanıldığı için etkili bir kontrol algoritması gereklidir.

4.3.1.Paralel Transistör Yöntemi

Anahtarlama direnç yöntemine benzerlik gösterir ancak fazla olan enerji transistörler üzerinden harcanmaktadır.

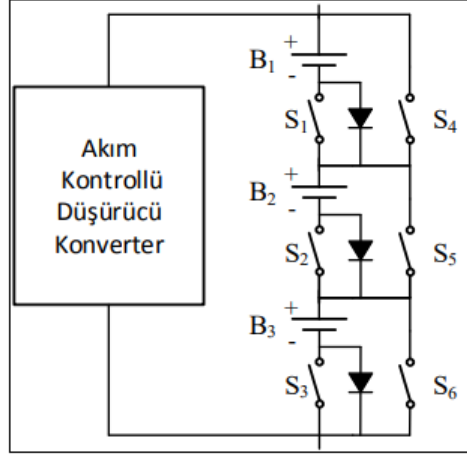


Şekil 16: Paralel transistör yöntemi

Transistörler, hücre gerilim referansına veya gerilim bölücüsü tarafından belirlenmiş maksimum şarj gerilimine ulaştığında ilettime geçer. Bu, hücrenin aşırı şarj edilmesini önlemek için bir koruma mekanizması olarak işlev görür. Transistörün ilettime geçmesiyle, şarj akımı devresi üzerinden tamamlanır ve hücre bypass edilir, yani şarj devresinden geçen akım hücreyi atlar. Bu, hücreler arasında gerilim dengesini sağlar ve aşırı şarjı önler. Bununla birlikte, dengeleme hızı ve verim bu yöntemde düşüktür. Bu yöntem sadece şarj esnasında kullanılabilir ve kurulumu basit ve uygulaması kolaydır.

4.3.2.Tamamen Devreden Çıkarma Yöntemi

Bu yöntemde, her bir hücre tamamen şarj olduğunda, şarj işlemine devam etmek yerine hücreler bypass edilir. Bu sayede, diğer hücrelerin aşırı şarj olması engellenir ve tüm hücreler eşit şekilde şarj edilir. Her bir hücrenin bypass edilmesi, şarj geriliminin azalmasını gerektirir, bu nedenle şarj ünitesi bir düşürücü dönüştürücü olmalıdır. Şekilde tamamen bypass etme yöntemine ait bir görsel bulunmaktadır. Bu yöntemin yüksek dengeleme hızı ve verimi vardır, ancak şarj esnasında dönüştürücünün kontrol edilebilmesi için karmaşık bir algoritma gereklidir, bu da uygulamasını zorlaştırır.



Şekil 17: Tamamen bypass etme yöntemi

5.Hücre Dengeleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Aktif hücre dengeleme yöntemleri, teorik olarak, pasif eşitleme yöntemlerine göre enerji dönüşümünde daha üstündür. Ancak, pratik uygulamalarda pasif eşitleme yöntemleri daha verimli olabilir. Aktif hücre dengeleme yöntemlerinde, elektronik devre elemanlarının sayısı oldukça fazladır. Bu durum, daha karmaşık tasarımlara ve daha yüksek maliyetlere yol açar. Pasif hücre dengeleme yöntemleri sadece dengeleme gerektiğinde çalışır ve enerji kaybı, hem devre tarafından hem de harcanan enerji şeklinde oluşur. Aktif hücre dengeleme yöntemlerinde ise devre, hazırda bekler ve bu bekleme süresinde enerji harcar. Aktif hücre dengeleme yöntemlerindeki toplam hazırda bekleme enerjisi, pasif hücre dengeleme yöntemlerinden daha fazla olabilir. Aktif hücre dengeleme yönteminde, hücreden batarya paketine doğru veya batarya paketinden hücreye doğru enerji dönüşümü yapılır. Bu dönüşüm işlemi belirli bir verimle gerçekleşir ve genellikle %70 ila

%80 arasında bir verime sahiptir. Bu durumda, enerji kaybı da artar.[9]

6.Batarya Yönetim Sistem Türleri

BMS (Battery Management System), temel olarak donanımsal kontrol olarak dört farklı şekilde tasarlanabilir:

1. Merkezi Kontrol: Bu yaklaşımda, tüm batarya yönetimi işlevleri merkezi bir kontrol ünitesi tarafından yönetilir. Bu kontrol ünitesi, tüm hücreler arasında gerilim dengelemesi yapar, aşırı şarj önler ve diğer koruma işlevlerini gerçekleştirir.

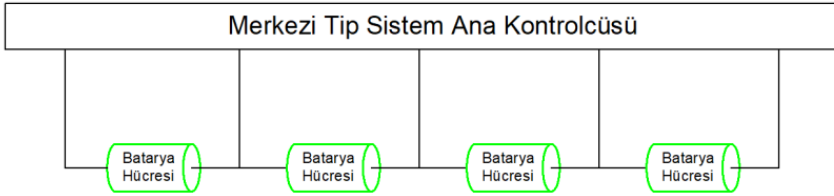
2. Dağıtılmış Kontrol: Bu tasarımda, bataryadaki her hücre için ayrı bir kontrol ünitesi bulunur. Her kontrol ünitesi, kendi hücresini izler ve kontrol eder. Bu yaklaşım, bataryanın her bir hücresinin daha ayrıntılı bir şekilde izlenmesine ve kontrol edilmesine olanak tanır.

3. Paralel Kontrol: Bu yöntemde, bataryadaki gruplar veya modüller paralel kontrol üniteleri tarafından yönetilir. Her bir kontrol ünitesi, kendi grubundaki hücreleri izler ve kontrol eder. Bu yaklaşım, büyük batarya paketlerinin yönetimini kolaylaştırabilir.

4. Hibrit Kontrol: Bu yaklaşım, merkezi, dağıtılmış ve/veya paralel kontrol yöntemlerinin bir kombinasyonunu kullanır. Örneğin, bir merkezi kontrol ünitesi, farklı gruplar veya modüller arasında iletişim kurar ve genel batarya yönetimini sağlar, ancak her grup veya modülde ayrı kontrol üniteleri bulunabilir. Bu yöntem, karmaşık batarya sistemlerinde esneklik sağlar ve özelleştirilmiş kontrol stratejileri uygulanmasına olanak tanır. [10]

6.1.Merkezi Batarya Yönetim Sistemi

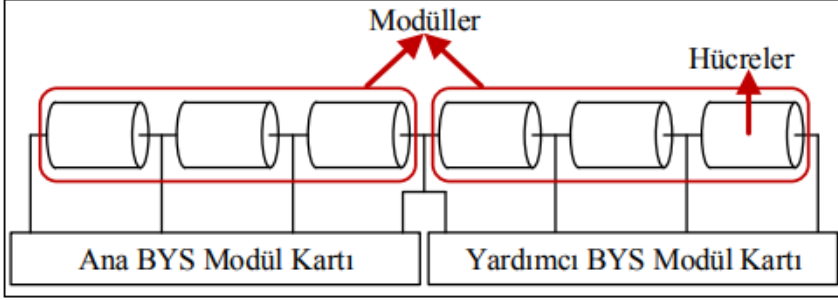
Bu tür BYS'ler (Battery Management System), sadece tek bir ana işlemciye sahiptir. Şekilde görüldüğü gibi, çok basit bir yapıya sahiptir ve maliyeti oldukça düşüktür. Bu sistem kolaylıkla kontrol edilebilir. Tek bir işlemci olduğu için ek bir haberleşme birimine ihtiyaç duymaz. Ancak, bu yöntemin kullanılabilmesi için işlemcinin çok sayıda sayısal çıkışa sahip olması gerekir. Batarya sayısının artması durumunda tek bir işlemcinin çıkış sayısı yetersiz kalabilir.



Şekil 18: Merkezi tip batarya yönetim sistemi

6.2.Parçalı Batarya Yönetim Sistemi

Şekildeki parçalı BYS tasarımında, her bir parça istenilen sayıda hücreden oluşabilir ve bu nedenle parça sayısı değişebilir. Ancak, bu tasarımın merkezi BYS'ye göre kurulumu daha zor ve maliyetlidir. Veriler, yardımcı BYS kartı aracılığıyla alınır ve haberleşme protokolleri kullanılarak ana BYS kartına aktarılır. Ana BYS kartında belirtilen işlemler, hem ana kart hem de yardımcı BYS kartı arasında paylaşılır ve yardımcı kart tarafından gerçekleştirilir. Bu tasarım, büyük ölçekli batarya sistemlerinin yönetimini daha esnek ve ölçeklenebilir hale getirebilir.



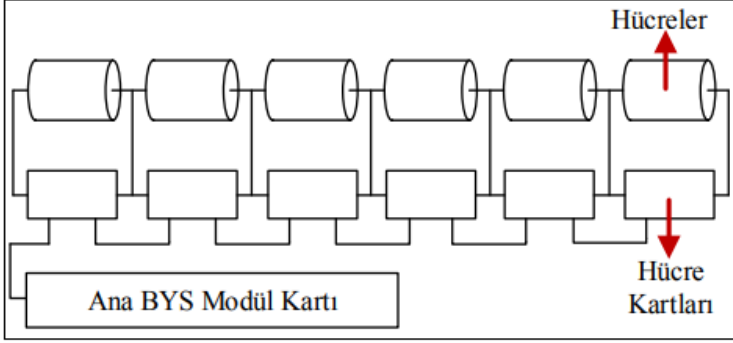
Şekil 19: Modüler batarya yönetim sistemi

6.3.Ana kart Yardımcı Kart Batarya Yönetim Sistemi

Batarya hücrelerinin parçalı olarak belirlenen değerlerinin ölçümleri, yalnızca yardımcı kartlar kullanılarak gerçekleştirilir. Şekilde blok şeması verilen bu sistemde yapılan ölçümler, ana karta iletilir ve değerlendirilir. İşlemler, ana kart ile yardımcı kartlar arasında kullanılan haberleşme protokolleri ile iletilir ve yardımcı kartlar üzerinde gerçekleştirilir. Bu sistem, batarya hücrelerinin parçalı kontrolünü sağlamak ve verimli bir şekilde yönetmek için kullanılabilir.

6.4.Dağıtık Batarya Yönetim Sistemi

Dağıtık BYS'lerde (Battery Management System), Şekilde görüldüğü gibi, hücrelerden oluşan herhangi bir parça bulunmaz. Her bir hücreye bir yardımcı kart bağlıdır. Bu sayede doğrudan hücrelerle bağlantı sağlandığından, ölçümler daha isabetlidir. Ancak, çok sayıda kartın bulunması nedeniyle maliyet yüksektir.



Şekil 20: Dağıtılmış batarya yönetim sistemi

7.Kalman Filtresi

Kalman süzgeci, bir sistemdeki belirsizlikleri ve gürültüyü azaltmak için kullanılan bir kontrol ve tahminleme tekniğine verilen addır. Adını matematikçi ve mühendis olan Rudolf Emil Kalman'dan almaktadır. Kalman süzgeci, bir sistemin geçmiş ve mevcut durumundan, sistemin gelecekteki durumu hakkında en iyi tahmini yapmak için istatistik ve denklemleri bir araya getirir.

Özellikle gerçek zamanlı kontrol ve tahminleme uygulamalarında kullanılır. Örneğin, navigasyon sistemlerinde, uzay araçlarının konumunu tahmin etmek için, robotik sistemlerde, otomatik araçlar ve drone'ların konumunu ve hareketini izlemek için, ekonomik ve finansal modellemede belirsizlikleri hesaba katmak için kullanılabilir.

Genel olarak, Kalman süzgeci sistemin mevcut durumunu tahmin etmek için kullanılan bir algoritmadır ve gerçek zamanlı uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Kalman süzgecinin batarya sistemlerinde kullanılmasının temel amacı, sistemin en uygun tasarımının en küçük değişimle

sağlanmasıdır. Batarya modeli için temel matematiksel eşitlikler (1) ve (2) numaralı eşitliklerde gösterilmiştir.

$$x_{k+1} = f(x_k, u_k) + w_k \quad (1)$$

$$y_{k+1} = g(x_k, u_k) + v_k \quad (2)$$

(1) ve (2) numaralı eşitliklerde, uk sistemin girişleri olan akım, sıcaklık ve iç direnç gibi değişkenleri içerir. y_{k+1} ise sistemin çıkışı olan açık devre gerilimini temsil eder. x_k durum değişkeni, tahmin edilen SoC değerini ifade eder. f ve g fonksiyonları, batarya modelindeki lineer olmayan denklemleri temsil eder. Hesaplama sürecinde, bu değerlerin doğrusallaştırılması gerekmektedir. Kalman süzgeci algoritması, elektriksel bir eşdeğer modeli kullanılarak ifade edilmelidir.

$$\begin{bmatrix} \dot{u}_b \\ \dot{u}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1/R_2 C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_b \\ u_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C_b} \\ \frac{1}{C_2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$u_{oc} = [-1 \ -1] \begin{bmatrix} u_b \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

(3) ve (4) numaralı eşitliklerde bataryanın durum denklemleri verilmiştir. Eşitliklerdeki u_b , C_b kapasite gerilimini; u_2 , RC tankı üzerindeki gerilimi; R_1 iç direnci ve u_{oc} ise açık devre gerilimini temsil eder. [12]

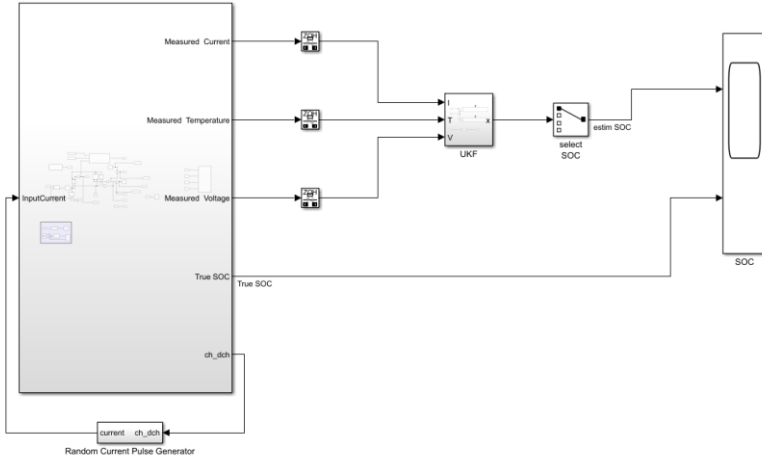
8.Kokusuz Kalman Filtresi

Genişletilmiş Kalman süzgecinin bazı eksiklikleri ve uygulanabilirliğinin zor olmasından dolayı, kokusuz dönüşüm yöntemini kullanarak durum dağılımlarını hesaplamaya çalışan Kokusuz Kalman süzgeci, doğrusal olmayan sistemlerde kullanılmaktadır. Kokusuz Kalman süzgeci yönteminde

doğrusallaştırma işlemi gerçekleştirilmediği için, Genişletilmiş Kalman Süzgecinde karşılaşılan hatalara düşülmeden kestirim yapılabilmektedir. İstatistiksel bir yöntem olan kokusuz dönüşümde, sigma noktaları olarak adlandırılan noktalar kümesinin seçimi büyük rol oynamaktadır. Sigma noktaları, doğrusal olmayan dönüşüm altında Gaussian dağılımının ortalama ve kovaryans değerlerini elde etmek için kullanılır. Bu yöntem temel olarak üç adımdan oluşmaktadır: sigma noktalarının hesaplanması, durum tahmini ve ölçüm güncellemesi. Bu yöntemde sigma noktaları parçacık süzgeci yöntemindeki gibi rastgele seçilmez. Kokusuz Kalman filtresi algoritması için Thevenin eşdeğer devre modeli kullanılarak aşağıdaki eşitlikler elde edilir [13].

9.UKF ile Li- Ion Bataryada SOC Hesaplama

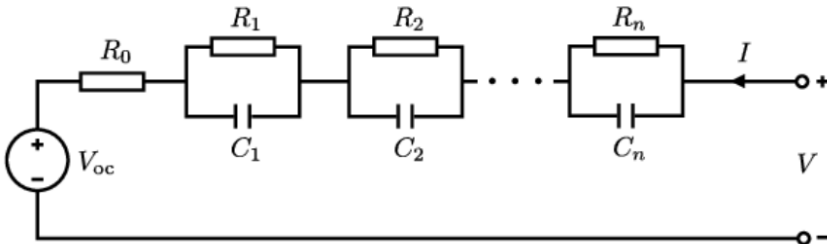
Tez Çalışması kapsamında MATLAB- Simscape modelinde 3 – RC olarak Li-ion batarya modellenmiş olup SOC (State of Charge) hesabı yaptırılmıştır. Modelde filtre yöntemi olarak Kokusuz Kalman Filtresi (UKF) kullanılmıştır. Doğrusal olmayan lineer tahmin modellemelerinde daha kesin tahmin yaklaşımları için UKF tercih edildi.



Şekil 21: UKF'li Batarya SOC modeli

10.Lityum İyon Pilin Simscape'de Modellenmesi

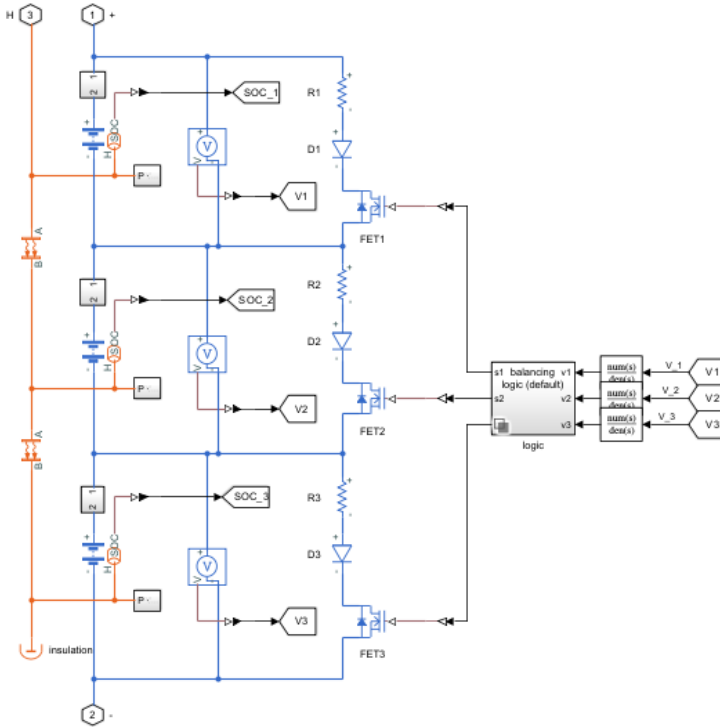
Literatürde pillerin modellenmesi ile alakalı olarak çok farklı çalışmalar mevcuttur. Bunların başında Thevenin methodu gelmektedir. Bu çalışmada yöntem olarak Thevenin modellenmiş oluğ 3 RC'li formu kullanılmıştır.Model doğruluğunun yüksekliği ve işlem gücü dolayısıyla 3.dereceden Thevenin Eşdeğer devresinden optimum derecede faydalanılmıştır.



Şekil 22: Thevenin eşdeğer modeli

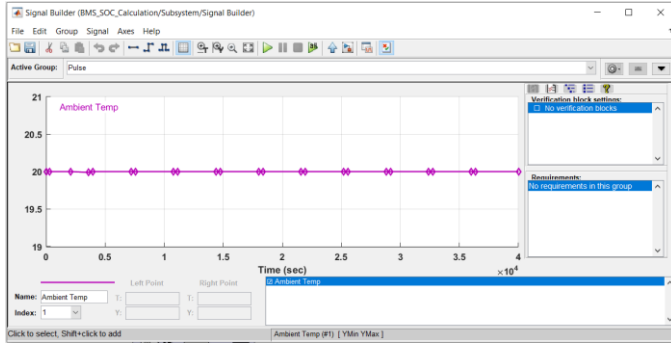
V_{OC} açık devre voltajı, R_0 devreni seri direnci, R_1 , R_2 ve R_3 blok direnç parametreleridir.

C_1 , C_2 blok kapasitör değerlerini temsil ederken V_t terminal voltajı değerini ifade eder. [14]



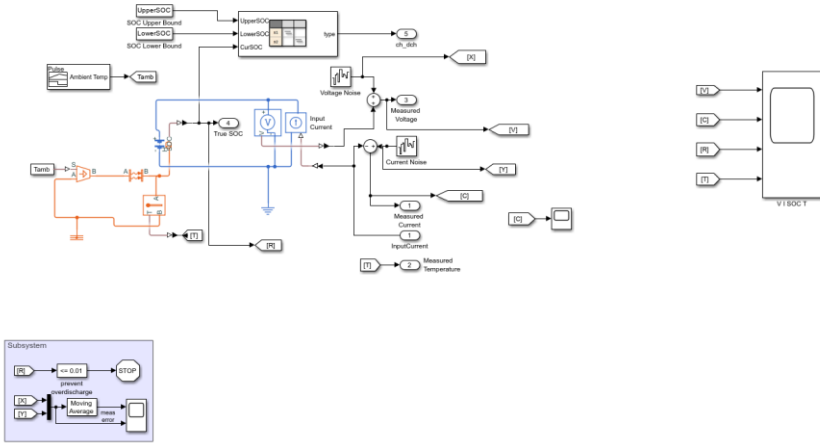
Şekil 23: 3RC Thevenin modeli ile simüle edilmiş seri bağlı hücreler

Modelde gerçek bir batarya paketini ve davranışlarını gerçeğe yakın şekilde simüle edebilmek amacıyla dış ortam sıcaklığı ve ısı kaynağı simüle edilmiştir. Kaynak manual olarak manipüle edilmeye uygun bir grafik şeklinde algoritmaya gömülmüştür.



Şekil 24: Çevre sıcaklığı grafiği

Ayrıca şarj/deşarj dönüğüünü gerçek zamanlı olarak hesaplayabilmek adına akım kaynağı da modele eklenmiştir.



Şekil 25: Simscape model bloğunun yakından görünüşü

KAYNAKÇA

[1] Özdemir, T., Kiraz, E. D. E., & Yıldırım, B. İklim Değişikliği İle Mücadelede Düşük Karbonlu Ulaşım Sistemlerine Geçiş Uygulamaları. Climate and Health Journal, 2021;1(2): 47-57.

[2] He, Y., et al., A new model for State-of-Charge (SOC) estimation for high-power Li-ion batteries, Applied Energy, 101 (2013), pp. 808-814

[3] Muratoğlu, Y.; Alkaya, A., “Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme”, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu-YEKSEM, Adana, 243-248, (2015).

[4] Comparison Table of Secondary Batteries Erişim: 27 Eylül 2019, https://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries

[5] Tremblay O, Dessaint LA, Dekkiche AI. (2007) A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles. In: Proceedings of the IEEE vehicle power and propulsion conference. Arlington, TX; 2007

[6] Daowd M, Omar N, Boessche P, Mierlo J. (2011) A review of passive and active battery balancing based on Matlab/Simulink. In: International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), Vol. xx, n. X in 2011.

[7] T. Wu, F. Ji, L. Liao, and C. Chang, “Voltage-soc balancing control scheme for series-connected lithium-ion battery packs,” Journal of Energy Storage, vol. 25, p. 100895, 2019.

[8] Rahman, M. A., et al., Electrochemical model parameter identification of a lithium-ion battery using particle swarm

optimization method, Journal of Power Sources, 307 (2016), pp. 86-97

[9] Liu S, Jiang J, Shi W, et al. Butler–Volmer-Equation-Based Electrical Model for High-Power Lithium Titanate Batteries Used in Electric Vehicles[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2015, 62(12):7557-7568

[10] Is Li-Ion the Solution for the Electric Vehicle? Erişim: 27 Eylül 2019, https://batteryuniversity.com/learn/archive/is_li_ion_the_solution_for_the_electric_vehicle

[11] Hutter, M. C. (2011), Determining the degree of randomness of descriptors in Linear regression equations with respect to the data Size. Journal of Chemical Information and Modeling, 51(12), 3099–3104.

[12] Zhi, L. ve Peng, Z.ve Zhifu, W. ve Qiang, S. ve Yinan, R. "State of charge estimation for Li-ion battery based on extended Kalman filter" Energy Procedia, 105, 3515– 3520, 2017

[13] W. Wang ve X. Wang ve C. Xiang ve C. Wei ve Y. Zhao, "Unscented Kalman Filter-Based Battery SOC Estimation and Peak Power Prediction Method for Power Distribution of Hybrid Electric Vehicles," in IEEE Access, vol. 6, pp. 35957-35965, 2018

[14] Muratoğlu, Y.; Alkaya, A., “Kalman Filtresi ile LQR ve PI Denetleyicilerin DC Motor Sistemine Uygulanması”, Eleco, 2014-11-27, 2014-11-29, Bursa, 322-326, (2014)

BÖLÜM VI

Bir Kayar Kanopi Mekanizmasına Ait Kilit Yapısının Sayısal Olarak İncelenmesi

Furkan İPEKOĞLU¹
Sadettin ORHAN²

Giriş

Havacılık endüstrisinde kullanılan kayar/kızaklı mekanizmaların performansını artırmaya yönelik yapılan bu çalışmada bir kayar kanopi yapısı farklı geometrilere sahip pin yapıları incelenecektir. Havacılık yapılarında sıklıkla kullanılan kayar/kızaklı mekanizmalar, hafiflikleri, geniş bakım aralıkları ve uzun ömürleri sebebiyle tercih edilmektedir. Özellikle, kanopi ve motor kapakları gibi kritik yapıların tasarımında, mekanizmanın sorunsuz çalışması, taşıyacağı basınç ve aerodinamik gibi çeşitli

¹ Furkan İpekoğlu, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Makine Mühendisliği

² Sadettin Orhan, Prof. Dr., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Makine Mühendisliği

kaynaklardan gelen yükler altında çok daha kararlı bir performans sergilemesi için geometrik toleranslar büyük önem taşımaktadır. [1]

Bu çalışmada, kapanmış ve tam kilitlenmiş bir kayar kanopi mekanizmasına ait üç farklı modelin tasarımı ve analizi yapılmıştır. Her bir model için yüksek mukavemetli havacılık çeliği olan PH 13-8Mo (1.4534) malzemesi seçilerek, farklı geometrilerin etkileri değerlendirilmiştir. Tasarlanan üç farklı kilit mekanizması için sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılarak, her modelin maruz kaldığı gerilme ve deformasyon gibi faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, havacılık endüstrisindeki mühendislerin ve tasarımcıların kayar/kızaklı mekanizmaların optimize edilmiş yapılarını geliştirme sürecindeki kararlarını desteklemektedir. Bu çalışma sonucunda tasarlanacak olan mekanizmaların performansını artırmak ve havacılık yapılarının güvenilirliğini artırmak için stratejik tasarım değişikliklerinin yapılmasına yönelik detaylı bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, gelecekteki araştırmalar için temel oluşturarak, havacılık endüstrisindeki mekanizma tasarımı alanında yeni tasarımların ve geliştirilmelerin yapılmasına bulunmaktadır.

Literatür ve Malzeme

PH13-8 paslanmaz çelik, yüksek performans gerektiren birçok endüstriyel uygulamada tercih edilen bir malzemedir. Martenzitik çökelme sertleşme (PH) çeliği olması, ona yüksek mukavemet ve sertlik kazandırır. Bu özellikler, genel korozyonun yanı sıra stres-korozyon çatlamasına karşı da etkili bir direnç sağlar.

Ayrıca hem uzunlamasına hem de enine yönde büyük kesitlerde bile şekil değiştirme kabiliyeti ve dayanıklılık gösterir. [2]

PH13-8 çeliği, diğer popüler PH çelikleri olan PH17-4 ve PH15-5'e göre daha üstün mekanik özellikler sunar, bu da onu ağır endüstriyel ortamlarda kullanım için ideal hale getirir. Bu çeliğin kullanım alanları oldukça geniştir. Özellikle iniş takımı parçaları, nükleer reaktör bileşenleri ve petrokimya endüstrisinde, özellikle de stres-korozyon çatlamasına karşı dayanıklılık gerektiren uygulamalarda sıkça kullanılır. [3]

Yüksek mukavemeti ve korozyon direnci, uzun süreli dayanıklılığı sağlar ve bu da uzun ömürlü ve güvenilir bileşenlerin üretiminde önemli bir avantaj sağlar. Bu nedenle, PH13-8 paslanmaz çelik, birçok kritik endüstriyel süreçte güvenilir bir malzeme seçeneği olarak kabul edilir.

PH13-8 paslanmaz çeliğinin tipik yaşlandırma işlemi, çözelti ısıtılmasından geçirilmiş malzemenin belirli sıcaklık ve sürelerde yaşlandırılmasını içerir. Bu işlemler, çelikteki metalik bileşiklerin çökmesiyle sertleşmeyi sağlar ve mukavemet ile şekil değiştirilebilirlik arasında uygun bir denge oluşturur. [3]

Örneğin, çözelti ısıtılma işlemi sonrası, H950 veya 510 °C'de 4 saatlik yaşlandırma işlemi uygulanabilir. Bu işlem, çözelti içerisinde çözünen fazların çökmesini sağlayarak çeliğin mukavemetini artırır. [2]

Benzer şekilde, H1100 veya 593 °C'de 4 saatlik yaşlandırma işlemi de kullanılabilir. Bu süreç, çeliğin mekanik özelliklerini optimize ederken çözelti sonrası oluşan mikroyapının istenilen dengeye ulaşmasını sağlar. [3]

Daha ileri yaşlandırma işlemleri de mümkündür. Örneğin, H1150M veya 760 °C'de 2 saatlik bir yaşlandırma işlemi ardından 621 °C'de 4 saatlik bir işlem uygulanabilir. Bu işlemler, çeliğin mukavemetini arttırırken aynı zamanda şekil değiştirilebilirlik ve tokluk gibi özelliklerini de korumasına yardımcı olur. Bu yaşlandırma işlemleri, PH13-8 paslanmaz çeliğinin geniş kullanım alanlarına uyum sağlamasını sağlar. [3]

Özellikle, yüksek mukavemet, sertlik ve korozyon direnci gerektiren uygulamalarda tercih edilirler. Bu yaşlandırma işlemleri sayesinde, çelik çeşitli endüstriyel alanlarda, örneğin havacılık, nükleer ve petrokimya endüstrilerinde kullanılabilir, bu da malzemenin çok yönlü kullanımını sağlar.

Kanopi ve motor koruma kapağı için tasarlanan kilit mekanizmasında da bu mekanizmaların malzemesi de bu özelliklere sahip olan PH13-8Mo çeliği olarak seçilmiştir.

Tasarım ve Analiz

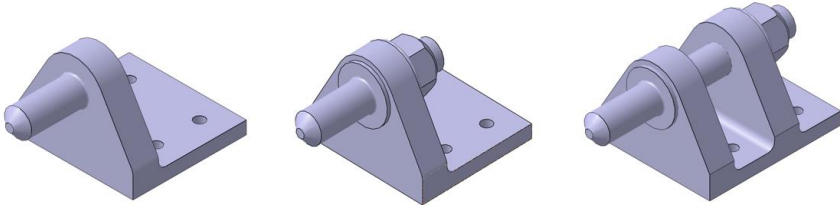
Bu çalışma, kayar kanopiye sahip bir kilit mekanizması için üç farklı tasarımın detaylı bir değerlendirmesini içermektedir. Her bir tasarım, standart pin çapına ve gereksinimlere uygun yüke maruz bırakılarak geliştirilmiş olup, farklı sınır şartlarına sahiptir.

Her bir tasarım için, 16mm çapında ve 40mm uzunluğunda bir pin kullanılmıştır; bu ölçüler pilot görüş açısına, kanopi kafes yapısına ve karşılayacağı yüklere uygun olarak belirlenmiştir.

İlk tasarım, sabit bir pim yapısına sahiptir. Bu tasarım, sabit bir konumda olan ve ayar gerektirmeyen bir yapıya ihtiyaç duyulan durumlar için uygun olabilir. [4] Ancak, esneklik veya ayarlanabilirlik gerektiren durumlar için uygun değildir.

Diğer iki tasarım, eksantriklik seviyeleri sayesinde ayarlanabilir bir yapıya sahiptirler. Bu tasarımlar, pinin pozisyonunu ayarlamak veya belirli bir açıda konumlandırmak gereken durumlar için idealdir. Kullanıcıların ihtiyaçlarına ve uygulamanın gereksinimlerine göre kolayca ayarlanabilirler. PH 13-8Mo (1.4534) malzemesi, her üç tasarım için de tercih edilen malzemedir. Bu malzeme, yüksek mukavemet, dayanıklılık ve korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir ve birçok endüstriyel uygulama için ideal bir seçenek olarak kabul edilir.

Bu çalışmanın amacı, her bir tasarımın avantajlarını ve dezavantajlarını ayrıntılı bir şekilde inceleyerek, kayar kanopiye sahip bir uçak için en uygun tasarımı belirlemektir.



Şekil 1. Tasarlanan Sabit (Solda), Tek Destekli (Ortada) ve Çift Destekli(Sağda) Kilit Geometrileri

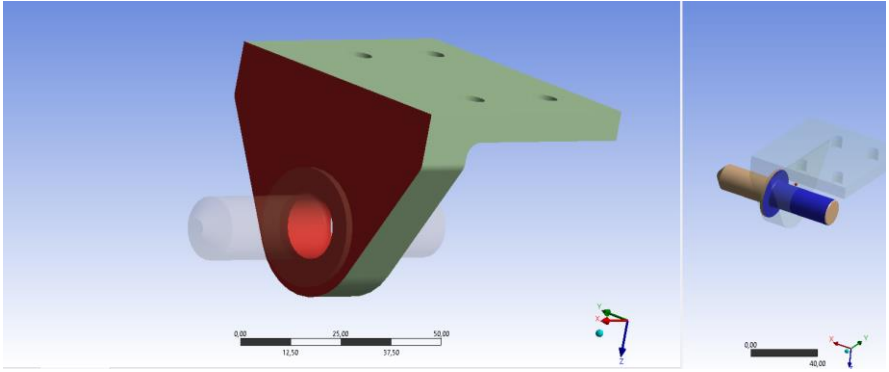
Pinin iki destek elemanı tarafından desteklenmesi, pin momentini azaltarak ön bölgede birikmesi beklenen yük yoğunluğunu azaltmak için titizlikle çalışılmıştır. Bu tasarım stratejisi, yapısal bütünlüğü artırmayı, parçanın dayanıklılığını iyileştirmeyi ve genel sistem performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

Doğru bir analiz sonucu elde etmek için, sınır şartları titizlikle ayarlanmalı ve incelenen sistem için uygun olan parametreler dikkate alınmalıdır. Şekil 2, tek desteğe sahip eksantrik

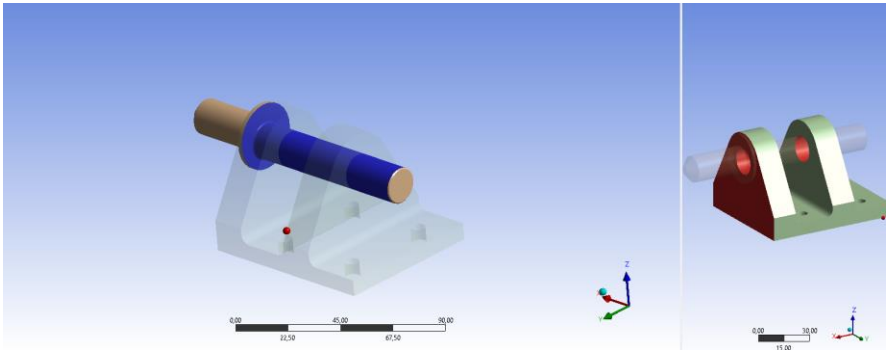
pin yapısına, Şekil 3 ise çift desteğe sahip eksantrik pin yapısına sahip tasarımlar için belirlenen sınır şartlarını göstermektedir.

Bu sınır şartları, pin ve destek yüzeyleri için kontak noktalarının hareketini kısıtlayacak şekilde belirlenmiştir.

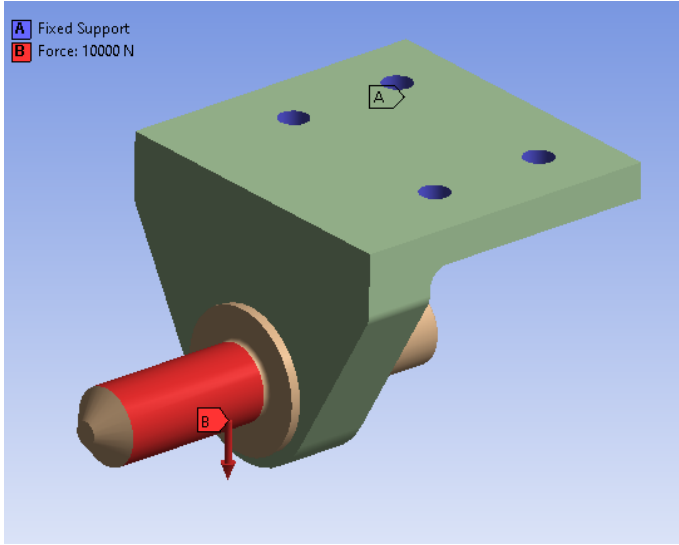
Bu analizde bağlayıcı torku değişiminin delik toleransı değişimine göre bağlantı dayanımına etkisi olacağı [5] varsayıldığı için, uygun şekilde torklanan bağlayıcının kontak noktaları arasında



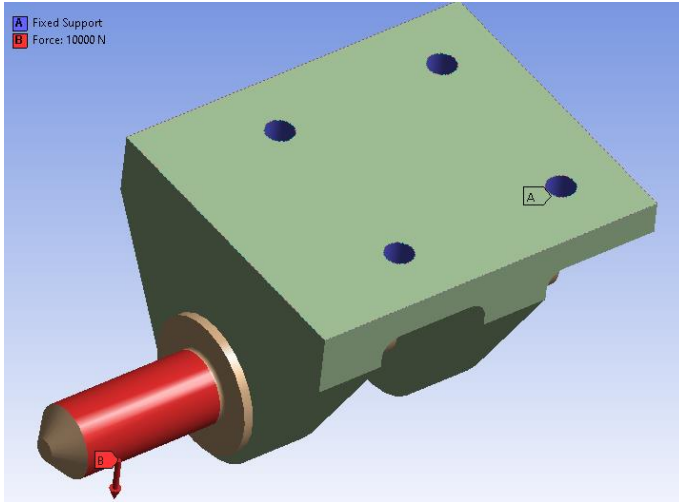
Şekil 2. Tek Destekli Tasarım için Temas Bölgelerinin Tanımlanması



Şekil 3. Çift Destekli Tasarım için Temas Bölgelerinin Tanımlanması



Şekil 4. Tek Destekli Tasarım için Sınır Şartlarının Tanımlanması



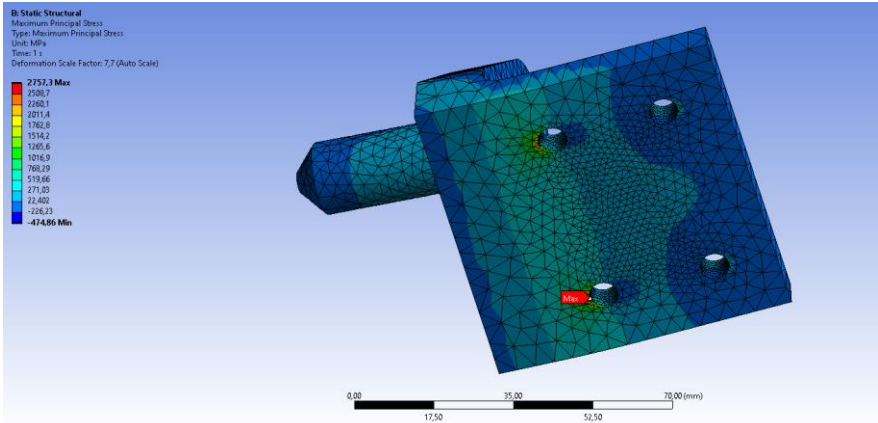
Şekil 5. Çift Destekli Tasarım için Sınır Şartlarının Tanımlanması

Analizden doğru ve kesin sonuçlar elde edebilmek için sınır şartları kadar parçanın optimum şekilde meshlenmesi de kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, yapısal bütünlüğün korunması ve

yüklerin düzgün bir şekilde dağılımının sağlanması amacıyla parçanın belirli bölgeleri için daha detaylı mesh geometrileri çalışılmıştır. Özellikle, yapının sabitlendiği noktalar [5] ve yükün etkisinin yoğun olduğu bölgeler için daha detaylı bir mesh kullanılarak, analizin hassasiyeti artırılmıştır.

Sonuçlar ve Tartışmalar

Şekil 6, detaylı meshlenmiş yüzeyleri göstermektedir. Bu detaylı meshleme yöntemi, yapısal analizdeki önemli bir adımdır ve yapısal mukavemetin doğru bir şekilde değerlendirilmesi için gereklidir.



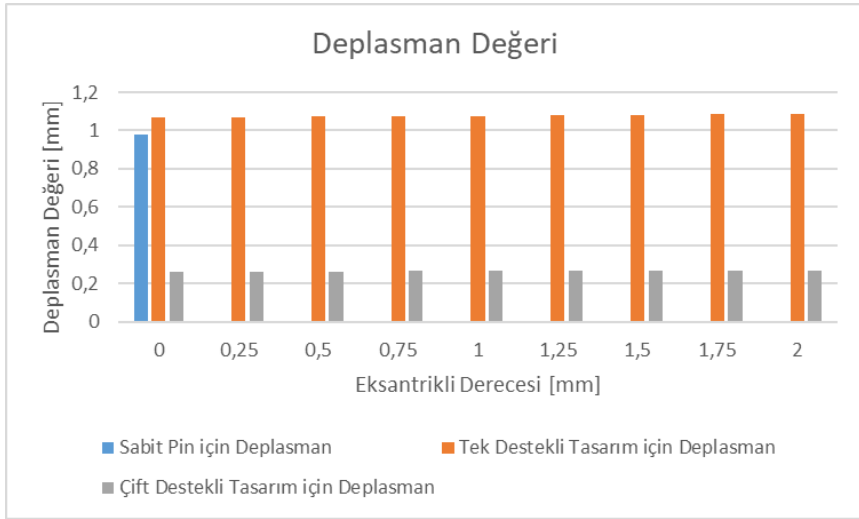
Şekil 6. Sabit Pin Geometrisi için Birincil Asal Gerilme Değeri ve Konumu

Analizden elde edilen verilere göre, sabit pin yapısında en yüksek kuvvetlerin gözlemlendiği nokta, destek noktasının ön bağlayıcılarıdır. Bu durum, kritik parçanın pin değil, ana yapıya bağlanan destek parçası olduğunu göstermektedir.

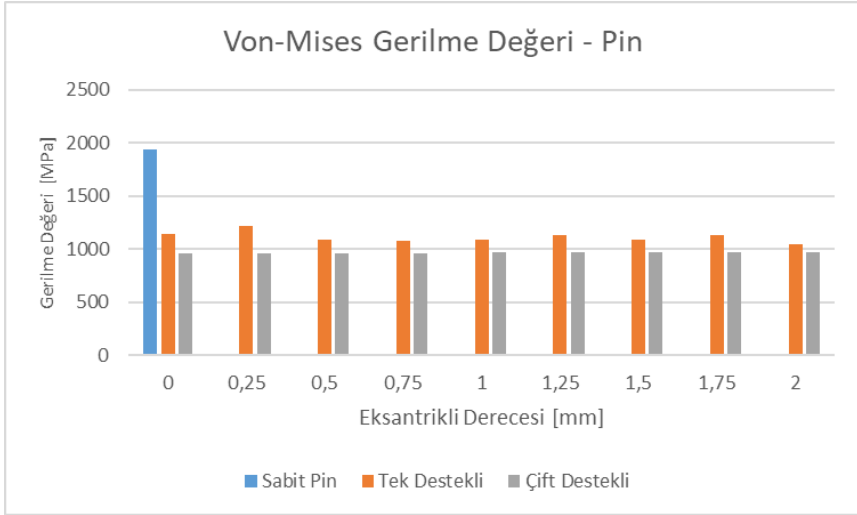
Şekil 6'da, sabit pin yapısı için yapılan analiz sonuçları görülmektedir. Analiz sonuçlarına dayanarak, literatürde de

görölüğü gibi destek noktasının ön bağlayıcılarının tasarımının gözden geçirilmesi ve gerektiğinde güçlendirilmesi gerekebilir.

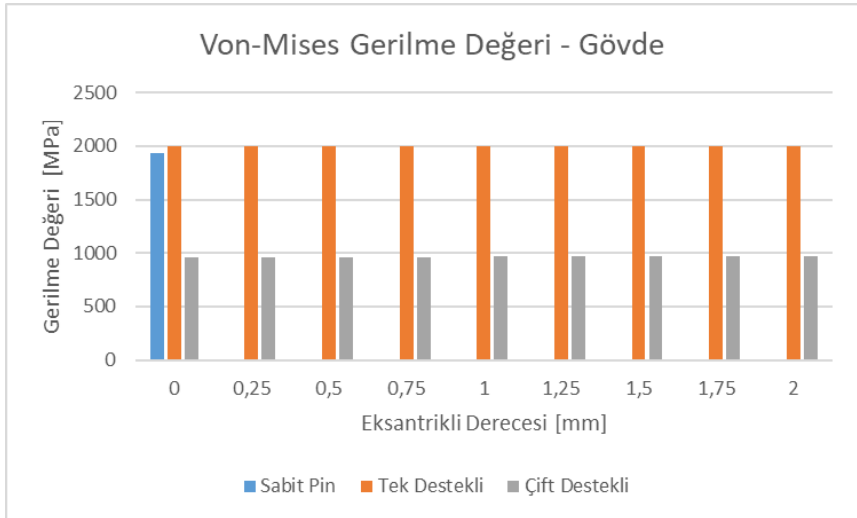
Genel gerilme dağılımları incelendiğinde genellikle gerilme değerlerinin delik çevrelerinde yoğunlaştığı görölmektedir. Bu durumda hasarın delik çevrelerinden başlayacağı söylenebilmektedir. [5]



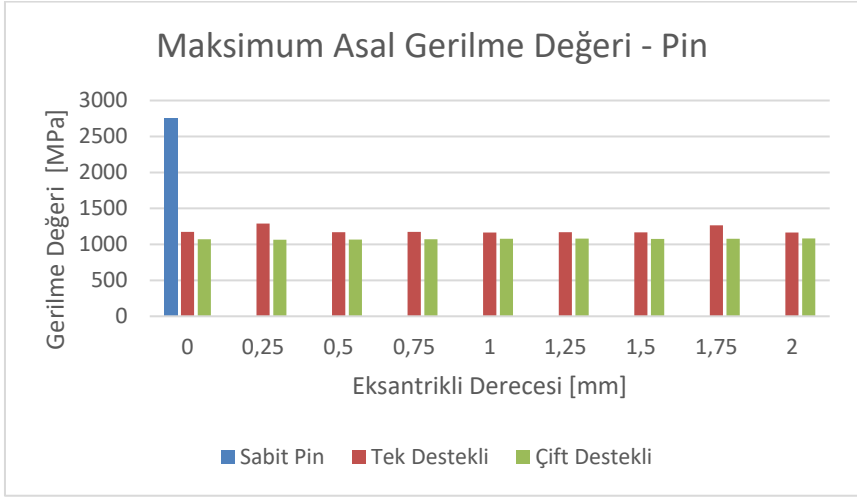
Şekil 7. Deplasman Değerlerinin Karşılaştırılması



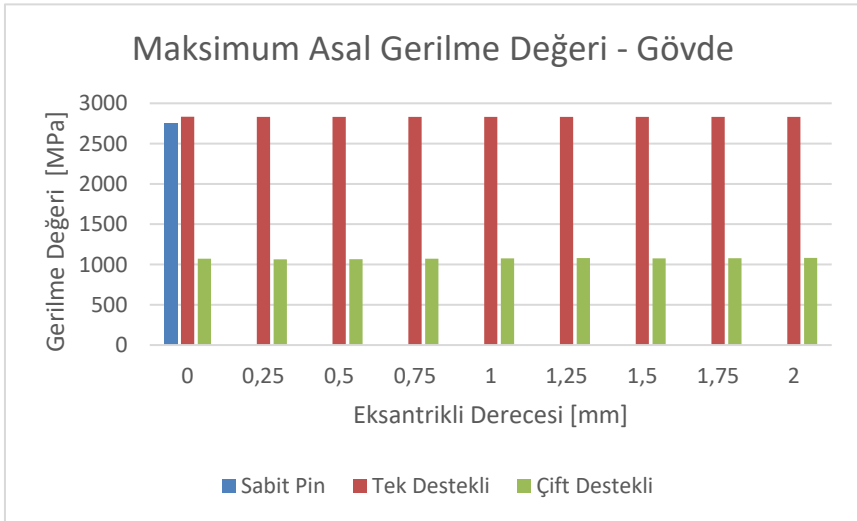
Şekil 8. Von-Misses Gerilme Değerlerinin Pin için Karşılaştırılması



Şekil 9. Von-Misses Gerilme Değerlerinin Gövde için Karşılaştırılması



Şekil 10. Maksimum Asal Gerilme Değerlerinin Pin için Karşılaştırılması



Şekil 11. Maksimum Asal Gerilme Değerlerinin Gövde için Karşılaştırılması

Yapılan çalışma elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Deplasman değerleri, sabit ve tek destekli eksantrik pin tasarımları için benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu durum, yükün homojen bir şekilde yayılmadığını, ancak yalnızca ön bağlayıcılarda biriktiğini göstermektedir. Öte yandan, çift destekli tasarımda deplasman değerlerinde bir azalma gözlemlenmektedir.
- Deplasman değerleriyle benzer bir şekilde, gövde için Von-Mises gerilme değerleri de sabit ve tek destekli tasarımlar için kritik seviyede yüksek bulunmuştur. Bu durum, tasarımların yapısal sağlamlığını etkileyen önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüksek gerilme değerleri, belirli bölgelerdeki aşırı gerilmenin yapısal bütünlüğü tehdit ettiğini ve potansiyel kırılma riski taşıdığını göstermektedir.
- Gövdeye kıyasla, pin yapısında kritik gerilme değerlerinin gözlenmemesi dikkat çekicidir. Bu analiz sonucuna göre, sabit veya tek destekli tasarımlarda yükün yeterince desteklenmediği ve bu nedenle yükün gövde üzerinde biriktiği sonucuna varılabilir.

Referanslar

1. Whitney DE. Mechanical assemblies: their design, manufacture and role in production development. New York: Oxford University Press, 2004.
2. Pollard B. Selection of wrought precipitation-hardening stainless steels. In: ASM Handbook, 6. Materials Park, OH: ASM, 1993. p. 482–94.
3. Guo, Z., Sha, W., & Vaumousse, D. (2003). Microstructural evolution in a PH13-8 stainless steel after ageing. *Acta Materialia*, 51(1), 101-116.
4. Corrado, A., & Polini, W. (2017). Assembly design in aeronautic field: From assembly jigs to tolerance analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231(14), 2652-2663.

Saraç, İ. (2022). The numerical investigation of the effects of hole tolerance and bolt torque variation on the joint strength in the bolted joints.

BÖLÜM VII

Modern Otomobil Isıtma, Havalandırma ve Klima Sistemlerinde Gürültü Sebepleri Ve Alınabilecek Önlemler

Gökçe EKEN¹
Ahmet Muhammet ALEMDAR²

1.Giriş

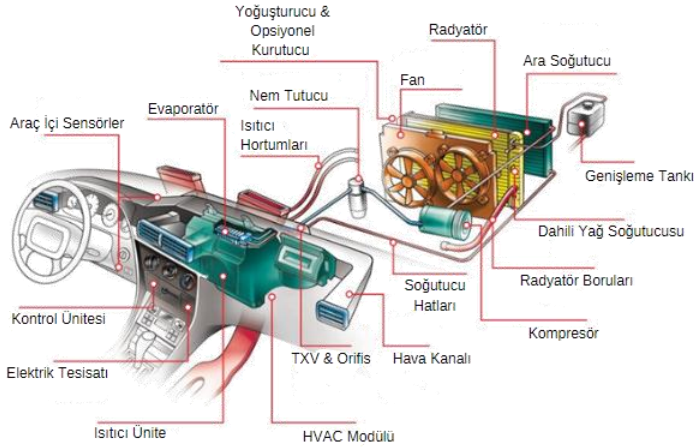
Isıtma ve havalandırma sistemleri (İngilizce HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning) evler, ofisler, endüstriyel tesisler ve araçlar gibi çeşitli ortamlarda sıcaklık, nem, hava kalitesi ve hava akışı gibi atmosferik özelliklerini düzenlemek için tasarlanmış, rahatlık sağlamak ve uygun bir yaşam veya çalışma ortamı korumak için kullanılan sistemlerdir.

¹ Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye Yıldız Technical University Advanced Materials Research Group, Istanbul, Türkiye

² Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye - Researcher

HVAC'ın alt sistemlerinden ısıtma bileşenleri ortamı istenen sıcaklığa ısıtmaktan sorumludur. Havalandırma sistemleri içerideki havayı taze havaya çevirmek için kullanılır. Bu işlemle CO₂ gibi birtakım istenmeyen gazların ortamdan çıkarılması sağlanır, aynı zamanda uygun nem ve hava kalitesinin korunması kolaylaşır. Bir diğer alt sistem olan klima sistemleri ise ortam soğutmasında kullanılır (Kandelousi, 2018).

Yakın geçmişte üretilmiş binek araçların HVAC sistemleri temelde aynıdır ve bir illüstrasyonu Şekil 1'de görülebilir.



Şekil 1. Araç HVAC Sistemi (Arvanas, J. P. A, 2022).

Bu sistemlerin efektif şekilde çalışıyor olması araç sürücüsü ve yolcuların konforu ve sağlığı için önemlidir. Ayrıca alt sistemlerde çıkabilecek sorunlar komşu sistemleri de etkileyebileceğinden, araç ve parça ömrünün uzun olması için de bu sistemlerin düzgün çalışıyor olması istenilen durumdur.

Sistemin “konforlu” olup olmadığı, istenen iklimatik değerlere ne kadar ulaştığı ve çalışırken kullanıcıları titreşim, gürültü vb. etkenlerle rahatsız edip etmediği değerlendirilerek söylenebilir.

2.Gürültüye Sebep Olan Etkenler

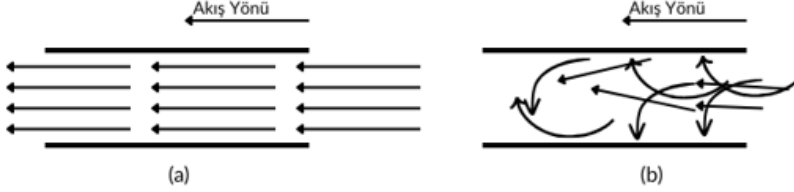
Otomobil iklimlendirme sistemlerinde gürültüyü oluşturan etmenler iki maddede sınıflandırılabilir:

1. Komponentlerin çalışırken çıkardığı, sürtünme, kontak ve titreşim sebepli sesler
2. Akışkanların neden olduğu aeroakustik gürültüler

Gürültünün büyük çoğunluğunun kaynağı, alt komponentlerin çalışırken çıkardığı, titreşim kaynaklı gürültülerdir. Özellikle fan ve bir çeşit pompa olan kompresör gürültüye sebep olur. Buna yapı kaynaklı gürültü de denir (Ashrae, 2008), (DW Bearg, 2019), (Seyam S, 2018). Bu komponentlerin akustik özellikleri hem birbirinden bağımsız, hem de bütün olarak test edilerek seçilirler ve araçta kullanılırlar.

Aeroakustik sesler, soğutucu akışkan ve havalandırma gazının iklimlendirme sistemi içinde bulunan çok sayıdaki kanaldan geçerken çıkardığı seslerdir (McDowall, R. 2007). Sistemde akan hava türbülanslı akışa bir örnektir. Bu da hava moleküllerinin birbirinden bağımsız ve farklı yönlerde hareket ettiği anlamına gelir (Katopodes, N. D. 2018). Hava, kanallarda, menfezlerde ve ızgaralarda hareket ederken moleküller bu ekipmanların yüzeylerine çarparak ses çıkarır. Akış hızı arttıkça; basınç, sürtünme ve vuruş sayısı artar, dolayısıyla gürültü de artar. Şekil 1'de görüldüğü gibi

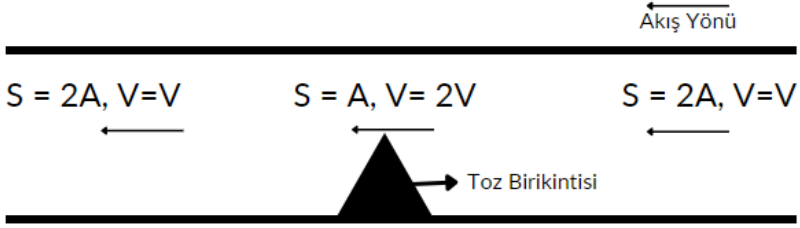
HVAC sistemleri fan ve üfleyicilerden oluşur. Fanlar daha fazla türbülanslı hava akışı üretir ve her iki ekipman da akışları hızlandırır.



Şekil 2. (a) Laminer Akış ve (b) Türbülanslı Akış

“Airborne” gürültü, ani seyahat eden havanın neden olduğu gürültüdür. Bir buzdolabını açtığınızı düşünün, hava buzdolabının içine doğru ilerledikçe ses oluşur ve bunu kapağın açılma sesi olarak duyarsınız. Aynı etki, iklimlendirme sisteminin çeşitli yerlerinde de oluşur. Örneğin havanın kanallara girip çıkması, kanallardan kabine girmesi vb. gibi durumlarda bu gürültü tipi oluşmaktadır (Krishna, I. M., 2018). Bu sesleri önlemek amacıyla iklimlendirme sistemlerinin çoğunda perdeler, damperler ve yalıtımlı kanallar bulunur.

Kanallarda biriken toz, hava akışını ve sürtünmeyi etkilediği için bunların bakımı hayati önem taşımaktadır. Akış hızı, kesit alanıyla ters orantılı olduğu için toz birikmesi yaşanan yerlerde anlık hızlanmalar sonucu aeroakustik sesler oluşabilir. Kesit değişiminin etkisi şekil 3’te gösterilmiştir.



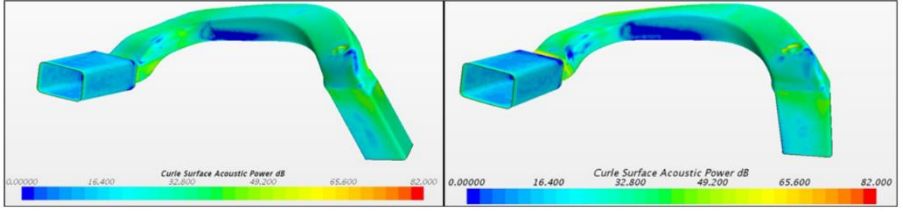
Şekil 3. Kanalda Toz Birikimi Sonucu Hız Değişimi

3.Ses Ölçümü

Genel olarak araçlar için gürültü ölçümü üç şekilde yapılır:

- Komponentlerin yalnız başlarına yarattıkları sesin ölçümü
- Alt sistemlerin ses ölçümü
- Araç bütününe ses ölçümü

Araçta takılan her komponent için ayrı ayrı ses ölçümü yapılmaz. Ses çıkardığı bilinen belli başlı parçalar ve alt sistemler için ölçüm yapılır. Yeni bir araç projesi çalışılırken veya sistem değişikliği yapılacağına, öncelikle sanal ortamda çeşitli bilgisayar programları yardımıyla ses analizleri yapılır. Çıktılara göre tasarım ve/veya komponent değişikliğine gidilir, sonuçlardan memnun olduğunda prototip üretilerek teste gidilir. Daha sonrasında pazara sunulacak araçlar için de özel ortamlarda ses ölçümü yapılır. Şekil 4’te iki farklı havalandırma kanalının ses analizi gösterilmiştir.



Şekil 4. Ses Analizi Örnekleri

Otomobil üretim şirketlerinde sesle ilgili çalışmaları NVH mühendisliği birimi yapar. NVH’ın açılımı “Noise, vibration, harshness”tır ve ses ve titreşim üzerine çalışırlar. Gerçekleştirdikleri testlerin dış ortamdan etkilenmemesi için, testler özel şartlandırılmış odalarda yapılır.

Şekil 5’te, NVH ölçüm ortamına bir örnek olarak TOFAŞ’ın NVH odası verilmiştir. Avrupa’nın en sessiz odalarından biri ve Türkiye otomotiv sektörünün akustik test odası olan bu oda ve diğer örnekleri, oda içinde oda mantığıyla inşa edilir, ki bu öngörülemeyen yer sarsıntılarından dahi kaçınabilmeyi sağlar.

Duvarlardaki özel geometri ve malzeme, yüksek ses ve titreşim yalıtımı sağlar. Şekildeki odanın arka plan gürültüsü 17 dB’dir. Yapılan ölçümlerde bu arka plan gürültüsü de hesaba katılarak ölçümler değerlendirilir.



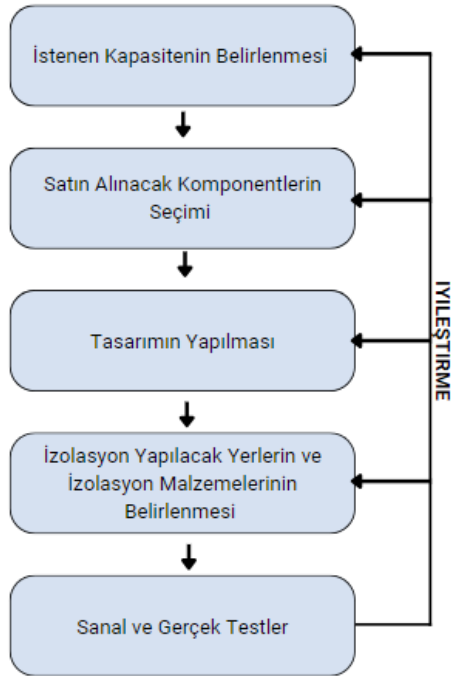
Şekil 5. TOFAŞ NVH Test Odası

4.Gürültü Azaltımında Yöntemler

Ürün yönetiminde ilk hedef, sorunu hiç var etmemek, üretime gitmeden tasarım sırasında potansiyel sorunları ortadan kaldırmaktır. Bu sebeple öncelikle, dışarıdan alınacak olan fan, kompresör ve benzeri komponentlerin seçimi hedefe yönelik yapılır. Araç özelinde konan hedefe uygun olarak, istenen ürün ömrü ve maliyeti de göz önünde bulundurarak dışarıdan alınacak parçalara karar verilir. Bu parçaların birbiriyle veya motorla rezonansa girmemesi de önemli kriterlerden biridir.

Satın alınacak parçaların belirlenmesinden sonra sistemin kalan kısmının tasarımı yapılır. Tasarıma sistemin kapasitesinin belirlenmesi ile başlanır, böylece hava kanallarında yaklaşık ne kadar bir hıza ulaşılabacağı tahmin edilebilir. Torpido içindeki serbest hacim de göz önünde bulundurularak izolasyonların nerelere konacağı ve hava kanallarının nasıl çekileceği belirlenir. Araç motoru da iklimlendirme sistemleri ile aynı doğrultuda yerleştirilmiş

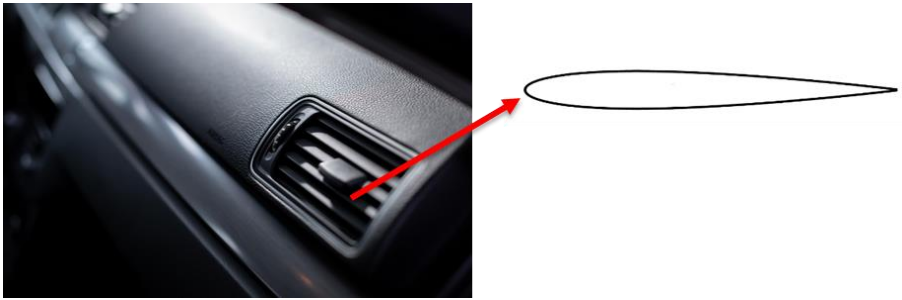
olduğundan, genelde her aracın torpidosunun arka yüzü izolasyonla kaplıdır. Ayrıca plastik parçaların içinde, yumuşak ve sert trim arasındaki geçişlerde, farklı sert trim parçaların arasında, bizzat yumuşak trimin kendisinde izolasyon olabilir.



Şekil 6. Sistem Oluşturmada Adımlar

Son olarak, aeroakustik sesleri düşük tutmak için aerodinamik ve tasarım mühendisleri beraber çalışarak içinde akışkan gezen parçaların tasarımını yaparlar. Bunlar, soğutucu akışkanın aktığı borular ve iklimlendirilecek havanın aktığı kanallardır. Akışan hatları genelde satın alınan parçalar olup, aeroakustik sesleri düşüktür. Öte yandan hava oluklarının geometrisi daha yüksek önem taşır. Daha önce şekil 4’te gösterilen şekilde olduğu gibi, farklı geometriler 10 dB’den fazla ses farklılıklarına sebep olabilir. Burada göz önünde bulundurulan etmen basınç ve akış hızı olacaktır. Düz yapıdan her sapma türbülansı arttıracığından bunlar olabildiğince az ve yumuşak yapılmalıdır. Kabin havanın alınmasını ve yönlendirilmesini sağlayan ızgaralar, kullanıcıya en yakın parçalar oldukları için önemlidirler ve genelde airfoil yapıda yapılırlar.

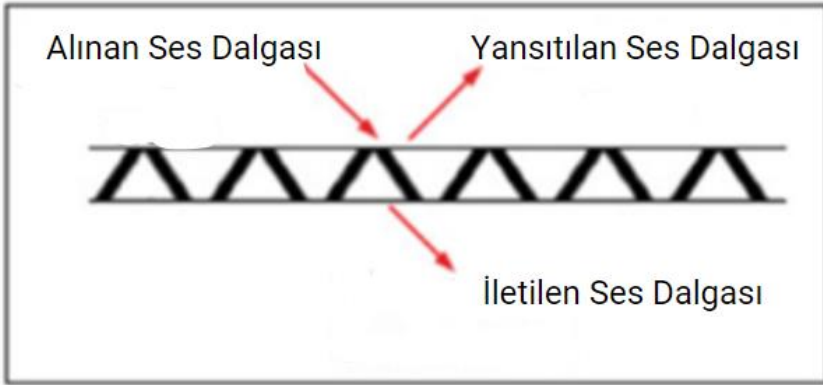
Airfoil, kanat kesidi olarak da bilinen, uçak kanatlarında kullanılan ve karşıladığı akışı yüksek kaldırma kuvveti ve düşük sürüklenme üreterek ayıran özel geometrilerdir. Böylece akış daha düzenli hale gelir, yapısal ve aeroakustik sesler minimize edilir.



Şekil 7. Havalandırma Izgaralarının Yapısı

Yine akışın düzenli olması için yumuşak dönüşlü, belli bir süre dönüşü olmayan hava kanallarının kullanımı da yaygın bir çözümdür.

Tasarımın yetersiz kaldığı ya da sonradan iyileştirme amaçlanan yerlerde malzemeler devreye girer. Yalıtkan malzemeler uygun görülen yerlere yerleştirilerek izolasyon sağlanır. Daha önce söylendiği gibi, aracın çeşitli yerlerinde bu malzemelere rastlanabilir. Şekil 8’de yalıtım malzemelerinin çalışma prensibini açıklayan bir şema verilmiştir. Şekilde de görülebileceği üzere, alınan ses dalgasının çoğunu yansıtan veya soğuran malzeme, yalıtılan ortama giren ses dalgası miktarını azaltır.



Şekil 8. Yalıtım Malzemelerinin Çalışma Prensibi (Tandoğan, F. O., 2006)

Doğal lifler ve tekstil atıkları gözenekli yapıları sayesinde iyi yalıtım sağlayan malzemelerdendir (El-Basheer vd. 2022). Çevre dostu, düşük maliyetli, biyolojik olarak parçalanabilir olmaları ve herhangi bir yan etkilerini olmaması nedeniyle de tercih sebebidirler. Liflerin geometrisi, çapı, uzunluğu, kesit şekli ve düzgünlüğü gibi faktörler akustik performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Örnek bir çalışmada (Singh vd, 2018), jüt keçenin ve atık pamuğun prototip bir HVAC ünitesinde ses giderici olarak ortaya koyduğu etkileri gösterilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

Çoğu nonwoven tekstil malzeme, geniş bir frekans domaininde daha iyi ses emilimi özelliklerine sahiptir. Düşük frekanslı gürültüyü azaltmada nanofiber malzemelerin kullanımı başarılı olmuştur (Singh vd, 2018) 2007’de yapılmış deneysel bir çalışmada (Chen vd, 2017), yapıya nano partiküllerin ve katmanlı lifli yapıların eklenmesinin yalıtım özelliğini geliştirdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada test edilen altı dokunmamış kompozitte üç ana tabaka -pamuk, rami ve polipropilen- ve iki yüzey tabakası - ACF ve cam elyafı - kullanılmıştır. 10 ila 640 Hz arasında, bu kopozitlerin cam elyaf içeren kompozitlerden daha yüksek ses emme özellikleri sergilediği keşfedilmiştir.

Bir diğer popüler yalıtım malzemesi olan termoplastik köpükler; kolay üretim ve geri dönüşüm proseslerine sahip olma, düşük yoğunluk ve küçük gözenek sahibi olma gibi özellikleriyle tercih edilebilir malzemelerdir.

Otomobilin çeşitli yerlerinde bulunan ses yalıtım panellerinde, tekerlek yuvası kaplamalarında vb. iç mekanın akustik kalitesini artırmak için dolgu malzemesi olarak nonwoven malzemeler sıklıkla kullanılır. Buna ek olarak, çeşitli noktalarda termoplastik köpüklerin özellikle boşluklu yapıları doldurma yöntemiyle kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır (El-Basheer, T. M., & Mohamed, H. K., 2023)

Kaynakça

Kandelousi, M. S. (Ed.). (2018). *HVAC System*. BoD–Books on Demand.

Arvanas, J. P. A. (2022). Aplicação de Value-Stream Mapping numa unidade industrial da indústria de compressores automóveis: estudo de caso (Doctoral dissertation).

Handbook, A. S. H. R. A. E. (2008). Heating, ventilating, and air-conditioning systems and equipment. *Atlanta, GA: ASHRAE*.

Indoor Air Quality and HVAC Systems David W. Bearg, C.I.H. Life Energy Associates Concord, Massachusetts, 2019

Seyam, S. (2018). Types of HVAC systems. *HVAC System*, 49-66.

McDowall, R. (2007). Fundamentals of HVAC systems: SI edition. Academic Press.

Katopodes, N. D. (2018). Free-surface flow: environmental fluid mechanics. Butterworth-Heinemann.

Krishna, I. M., Manickam, V., Shah, A., & Davergave, N. (2017). Environmental management: science and engineering for industry. Butterworth-Heinemann.

Tandoğan, F. O., (2006). Vehicle interior noise source contribution and transfer path analysis (Yüksek Lisans Tezi). Yüksek Öğretim Kurulu Tez Merkezi (223499)

El-Basheer, T. M., El Ebissy, A. A., & Attia, N. F. (2022). Fabrication of cost-effective

double layers composite for efficient sound-absorbing based on sustainable and flame-retardant

jute fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 51(3_suppl), 4097S-4117S.

S. Singh, A. Mohanty, HVAC noise control using natural materials to improve vehicle

interior sound quality, *Applied Acoustics* 140 (2018) 100-109.

Y. Chen, N. Jiang, Carbonized and activated non-wovens as high-performance acoustic

materials: Part I noise absorption, *Textile Research Journal* 77 (2007) 785-791.

El-Basheer, T. M., & Mohamed, H. K. Recent progress in acoustical materials and noise control approach, 2023

BÖLÜM VIII

Bir Binek Araç Torpidosunun 3D CAD Modelinde Tasarım Doğrulama Süreçleri

Mesut Can DÖNDÜ¹
Gökçe EKEN²

1.Giriş

Yeni bir aracın projesine başlanıldığında, tasarım işleri aracın alt sistemlerine paylaştırılarak yapılır. Bu bölümler genelde motor, şaşı ve gövde, şanzıman ve aktarma organları, yürüyen aksam, elektrik ve elektronik sistemler, iç tasarım ve güvenlik sistemleri olarak bölünür.

- Motor Bölümü: Araçların güç kaynağı olan motor, genellikle ön kısımda bulunur. Bu bölüm, yakıtın

¹ Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye

² Researcher, TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikası A.Ş. R&D Center, Bursa, Türkiye -

²Researcher, Yıldız Technical University Advanced Materials Research Group, İstanbul, Türkiye

yanmasının gerçekleştiği yerdir ve hareket için gerekli enerjiyi sağlar.

- şasi ve Gövde Bölümü: şasi, aracın iskeletini oluşturan ve ana hatlarını oluşturan yapıdır. Gövde ise aracın dış kısmını oluşturur ve iç kısmı korur. şasi ve gövde, aracın dayanıklılığını ve güvenliğini sağlar. Ayrıca estetik kaygı da içerir.
- şanzıman ve Aktarma Organları: Motorda üretilen gücü tekerleklerle ileten şanzıman ve aktarma organları, aracın vites ve yer değiştirmesini sağlar.
- Yürüyen Aksam: Tekerekler, süspansiyon sistemi ve direksiyon gibi unsurlardan oluşan yürüyen aksam, aracın sürüş konforunu etkiler ve yol tutuşunu sağlar.
- Elektrik ve Elektronik Sistemler: Aracın elektrikli bileşenleri; farlar, korna, klima, pencere hareket sistemleri ve multimedia sistemleridir. Sürüş deneyimini arttırdığı gibi kullanıcı güvenliğinde de önemli rol oynar.
- İ Tasarım: Sürücü ve yolcuların konforunu sağlayan koltuklar, konsol, direksiyon simidi, gösterge paneli ve diğer i tasarım bileşenlerinden oluşur.
- Güvenlik Sistemleri: Hava yastıkları, ABS (Anti-Blokaj Fren Sistemi), ESP (Elektronik Stabilite Programı) gibi sistemler, sürücü ve yolcuların güvenliğini artırmak için tasarlanmıştır (Happian-Smith, 2001).

Araç tasarımının seri üretime geçmeden önce tüm sistemler için Packaging (Paketleme), Geometric Tolerances & Dimensions (Toleranslar ve Ölçüler), Pursuit Quality (Algılanan Kalite) ve Mountability (Montajlanabilirlik) gibi çeşitli doğrulamalardan geçmesi gerekmektedir. Her test, kullanıcı güvenliği ve konforu için yüksek önem taşır (Pheasant, S, 1996). Aracın parçalarının üzerinde bu doğrulamaların fiziksel olarak yapılabilmesi için parçaların üretilmesi gerekmektedir. Bu doğrulamaların sanal olarak yapılması projenin zaman planına uyulmasını kolaylaştırır; maddiyat, enerji ve iş gücü tasarrufu yapılmasını sağlar ve takip kolaylığı sağlar. Projenin ileri fazlarında oluşabilecek hataların önceden öngörülmesini ve önceden bu hataların çözülmesini sağlayarak zaman ve maliyet açısından proje ekibine ve şirkete değer kazandırmaktadır.

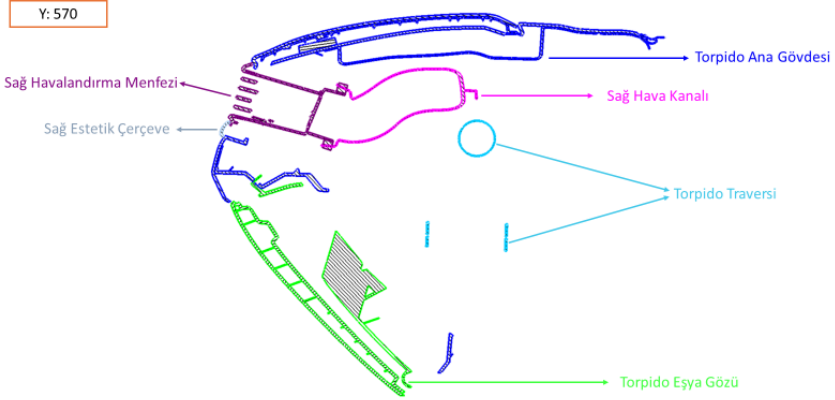
2.Yöntem

Araç projelerin geliştirilmesinde Siemens tarafından geliştirilen Vismockup yazılımı yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. VisMockup yazılımı, dijital prototiplerin ve ürün verilerinin görselleştirilmesi ve analiz edilmesi için kullanılan bir yazılımdır. Bu yazılım, ürün geliştirme sürecinde sanal montaj, çakışma analizi, görsel kontrol ve diğer işlevler için kullanılır. Üreticiler, bu yazılımı ürünlerinin tasarımını ve montajını optimize etmek, hata ayıklamak ve süreçlerini iyileştirmek için kullanabilirler. VisMockup, karmaşık ürünlerin sanal olarak incelenmesini ve test edilmesini sağlarken, üretim maliyetlerinin azaltılması ve ürünlerin kalitesinin artırılmasına katkıda bulunur. Program içine tanımlanmış aracın tasarım doğrulamaları için yapılan çeşitli analizler bulunmaktadır.

2.1.Packaging (Paketleme) Analizleri

Packaging analizleri yapılırken, OEM'in (Original Equipment Manufacturer) kendi ve uluslararası geçerli kalite standartlarını göz önüne alarak oluşturduğu normlar dikkate alınarak parçanın çevresinde bulunan parçalar ile arasındaki mesafe, kesit analizleriyle incelenir (Andersson Ericsson, E., & Rosenkvist, E., 2016). Araç içerisindeki tüm parçalar sabit değildir, bazıları yoldan gelen titreşimlerle, hava akışlarıyla ya da fonksiyonel olarak hareket eder. Bu durumlarda parçaların girişim yapmaması için uygun mesafelerle yerleştirilirler. İki hareketli parça arasındaki mesafe bir sabit bir hareketli parça arasındaki mesafeden daha fazla, sabit-hareketli çiftin arasındaki mesafe de iki sabit parça arasındaki mesafeden daha fazladır. Parçalar arasındaki mesafeler uygun olduğunda packaging analizinin onayları alınarak parçaların üretim onayları verilir.

Parçalar, birbirlerine bağlandığı, yani paketlenildiği yerlerde doğal olarak birbirlerine yaklaşır ve önceki paragrafta bahsedilen mesafe kuralını ihlal ederler. Bu bölgeler için de ayrı komponentlerden farklı olmak üzere mesafe standartları OEM tarafından belirlenmiştir ve bağlantı tasarımları bu standartlar göz önünde bulundurularak yapılır.



Şekil 1. Araç Torpidosundan Bir Kesit Örneği

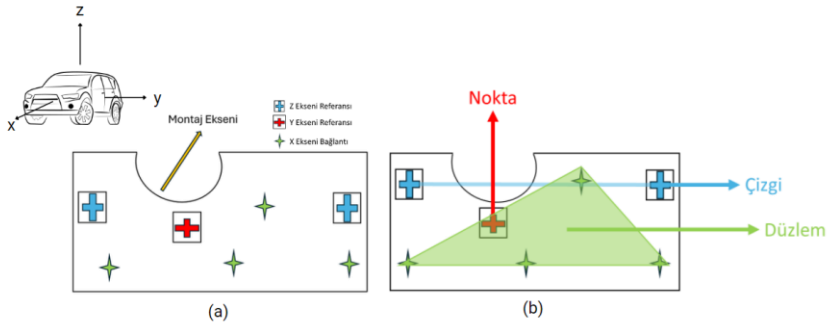
Şekil 1’de, bir torpidodan alınmış bir kesit gösterilmiştir. Bu kesitte pembe ile çizilmiş sağ hava kanalı parçası, içinden geçen hava akımı nedeniyle hareket eden bir parçadır. Bu nedenle yakınındaki parçalardan belli bir mesafe uzaklıkta yerleştirilir. Farklı olarak, gri renkle çizilmiş sağ estetik çerçeve ile mavi ile çizilmiş torpido ana gövdesi sabit parçalardır. Bunlar arasındaki mesafe kaygısı, hava kanalı ile çevre parçaları arasındaki mesafeye göre daha azdır. Son olarak, birbirine bağlı olan parçalar arasındaki mesafe kaygısı en azdır.

2.2.GD&T (Geometric Dimensions and Tolerances, Geometrik Ölçüler ve Toleranslar) Analizleri

Araç üzerindeki parçalar, aracın bulunduğu uzaydaki referans sisteminde birbirine göre konumlandırılmış durumdadır. Konumlamalar yapılırken 3-2-1 Kuralı uygulanır. Bir noktada birleşim için nokta, iki noktada birleşim için çizgi, en az üç noktada birleşim için düzlem oluşur ve referanslandırmalar buna göre yapılır.

Torpedo parçalarında nokta referansı için y ekseninde tek nokta, çizgi referansı için z ekseninde iki nokta ve düzlem referansı için x ekseninde en az üç nokta konumlandırılır. Düzlem referansı parçanın montaj ekseninde refere edilir. Örnek bir görsel Şekil 2’de verilmiştir.

GD&T analizleri, parça geometrisine göre referansların konumlandırılmasıdır. İleri adımlarda referansların kullanımı parçanın sanal ve fiziksel doğrulamaları için önemli olacaktır.



Şekil 2. Örnek Parça Referans Sistemi

2.3.Tolerans Zinciri

Tolerans zinciri analizleri, parçaların montajlandıkları parçalarla olan referans durumları incelenerek tolerans zincirinde oluşacak en kötü senaryolarla simüle edilmesidir. Tolerans zinciri analizi, parçanın montajlandığı bölgelerde verilen tolerans ölçülerini şekillendirmekte önemli faktörlerden biridir. Bu toleranslar parçanın üretiminde kullanılan imalat proseslerinin parametrelerini belirlediği gibi, parçanın malzemesi, kontrol fiksürleri ve montajlandığı diğer parçaların referanslarından da referanslandırma gelebilir (Lindkvist, L., & SÖDerberg, R. , 2003)

Örneğin torpido traversi, kaynak işlemi içeren bir prosesle üretilmektedir. Metal kaynağının insan ya da makineyle yapımına göre tolerans değişir. Ayrıca üretim sırasında kullanılan kontrol fişktürlerinin toleransından gelen bir tolerans etkisi de bulunmaktadır. Torpido traversinin araca yüklenmesi ve montajının yapılması için kullanılan vidalar da torpido traversinin tolerans zinciri analizine dahil edilmektedir. Torpido parçalarının araca montaj sırasıyla yüklenmesiyle her parçanın toleransları üst üste eklene eklene tolerans zincirleri oluşturmaktadır. Elde edilen tolerans zincirleri sanal ortamda simüle edilerek parçanın durumu değerlendirilir (Cho, N., & Tu, J. F., 2002).

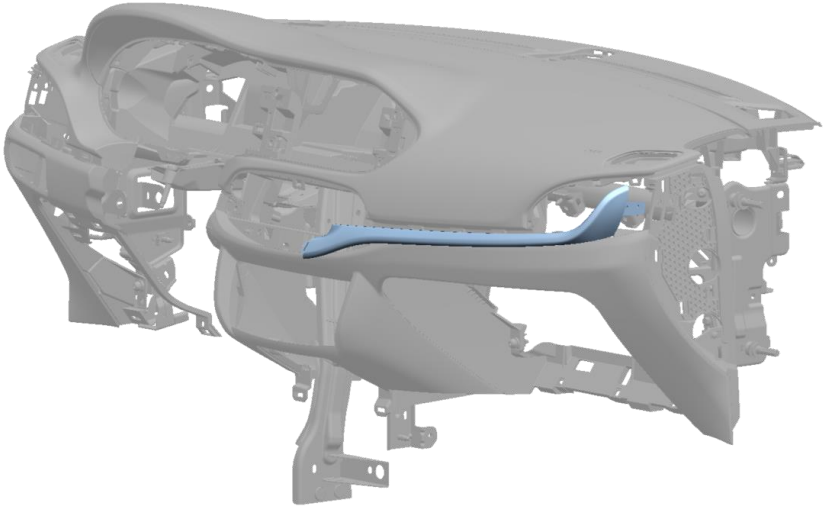


Şekil 3. Örnek Tolerans Zinciri Analizi

Şekil 3'te torpido içerisine konumlandırılmış bir hava yastığının tolerans zinciri analizi hakkında bilgi verilmiştir. Elde edilen en kötü senaryo bilgisi parçaların sanal doğrulama onaylarının verilmesinde önemli faktörlerden biri olacaktır.

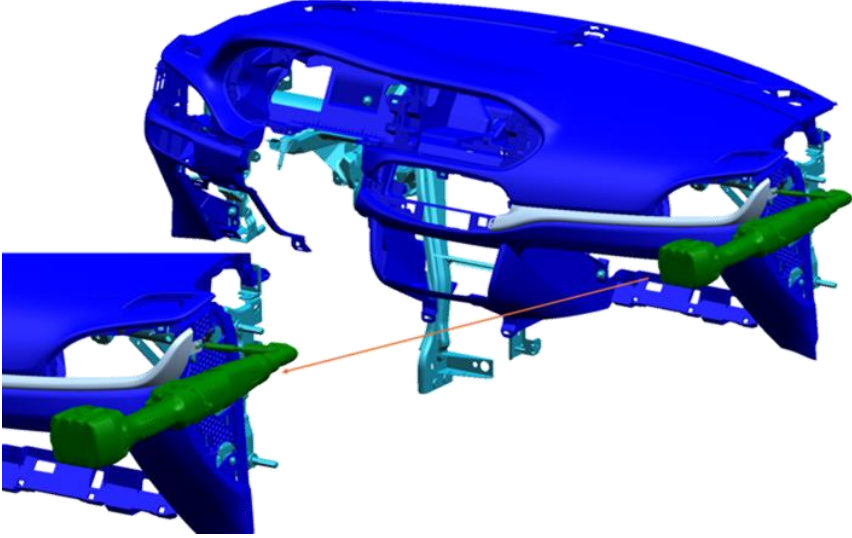
2.4. Mountability (Montajlanabilirlik) Analizleri

Mountability analizleri, parçanın montaj prosesinin bir simülasyonu gibidir. Analiz yapılırken parçanın demontaj edilmesi simüle edilerek parçanın montajlanabilirliği incelenir, çünkü parça eğer demontaj edilebiliyorsa montaj da edilebilir demektir. Analiz, ilgili parçanın montaj ekseninde referans uzunluğu kadar hareket ettirilerek demontajının simüle edilmesiyle yapılır. Demontaj sırasında parçanın çevre parçalarla olan durumuna bakarak montaj prosesinin uygulanabilirliği değerlendirilir. Parça, hareket ettirildiğinde daha önce montajlanmış bir parçayla girişim yapıyorsa, o parçanın montajı uygun durumda değil demektir. Şekil 4'te örnek olarak bir sağ estetik çerçevenin montaj ekseninde uzaklaştırılarak simüle edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4. Bir Torpidoda Sağ Estetik Çerçevenin Mountability Analizi

Şekil 5'te, sağ estetik çerçevenin vida ile montajı için parçaların vida sıkıcısı ile ilişkileri incelenmiştir.



Şekil 5. Vida Sıkıcısı ile Torpido Komplesinin Montaj Sırasındaki İlişkisi

Sonuç

Yapılan analizler sonucunda tüm parçaların tasarımları, üretime başlanabilecek ve birbirleriyle uyum içinde çalışabilecek duruma getirilmiş olur. Bu kararın sanal analizler üzerinden verilmiş olması, şirketin hazır olmayan parçaların üretimi sırasında harcanacak kaynakların maliyetinden tasarruf edilmesini sağlar, ayrıca süreci kısaltır ve doğrulamanın başarı oranını artırır.

REFERANSLAR

Happian-Smith, J. (Ed.). (2001). An introduction to modern vehicle design. Elsevier.

Pheasant, S.: Bodyspace Anthropometry, Ergonomics and the Design of work. Taylor & Francis, London (1996)

Andersson Ericsson, E., & Rosenkvist, E. (2016). A Calculation Model for Packaging Demand-Calculating the basis for investment for inbound packaging with the variable packaging per car at Volvo Cars.

GD&T 101: an introduction to geometric dimensioning and tolerancing. Available online: <https://www.fctiv.com/articles/gdt-101-an-introduction-to-geometric-dimensioning-and-tolerancing>

Lindkvist, L., & SÖDerberg, R. (2003). Computer-aided tolerance chain and stability analysis. Journal of Engineering Design, 14(1), 17–39. <https://doi.org/10.1080/0954482031000078117>

Cho, N., & Tu, J. F. (2002). Quantitative circularity tolerance analysis and design for 2D precision assemblies. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42(13), 1391-1401.

Teşekkür

Bildirinin yazımına değerli görüşleri ile katkı sunan iş arkadaşlarımız Cem İÇİER, Mehmet Burak AKSU, Kübilay ÖZTÜRK ve yöneticimiz Gökay PİRLEPELİ'ye teşekkürlerimizi sunarız.

BÖLÜM IX

Kaskad Tip Soğutma Sisteminde Nanoakışkan Kullanımı

Metin YILMAZ¹
Canan CİMŞİT²
Elif ÖĞÜT³

Giriş

Soğutma, endüstriyel tesislerde, derin dondurmada, soğuk hava depolarında, çeşitli soğuk ürün üretim proseslerinde, gıda, kimyasallar, ilaç vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek kademeli buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi, düşük sıcaklıklarda soğutma için kullanılamaz. Bu düşük sıcaklıklı soğutma

¹ Çayirova Kampüsü, Şifa Mahallesi, Şifa Yolu, Arçelik A. Ş Tesisleri, Tuzla, İstanbul, Türkiye

² Kocaeli Üniversitesi, Gölcük MYO, Kocaeli, Türkiye

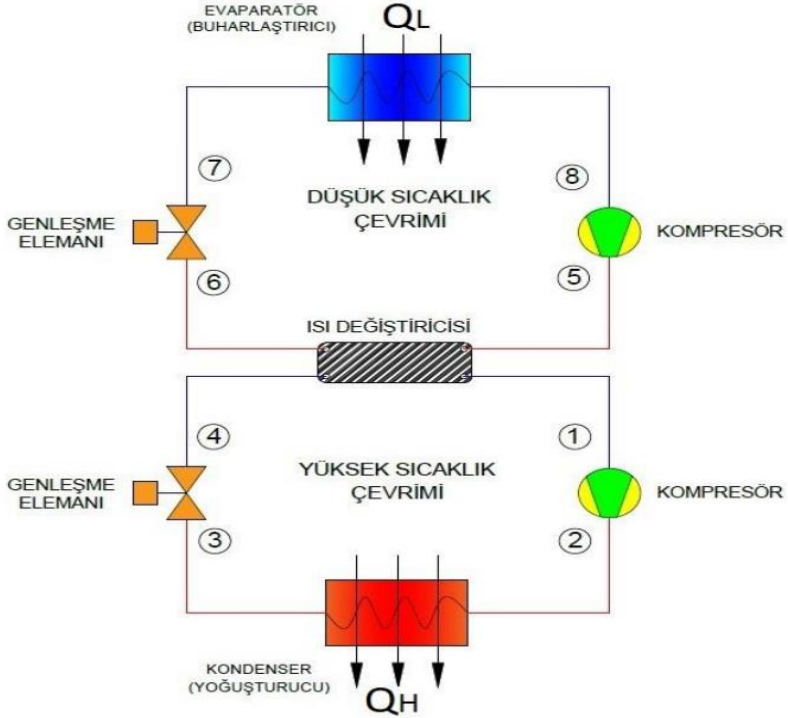
³ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Umuttepe, Kocaeli, Türkiye

uygulamalarında iki buhar sıkıştırmalı soğutma sistemi seri olarak çalıştırılır. Bu sistemlere kaskad soğutma sistemi adı verilmektedir.

Düşük sıcaklıklarda faaliyet gösteren kaskad sistemleri, iki farklı soğutma döngüsünün entegrasyonu ile ortaya çıkan bir hibrit yapıya sahiptir. Bu sistem içinde, ısı transferi iki döngü arasında, bir ısı değiştirici vasıtasıyla gerçekleştirilir. Akışkanların birbirine karışmamalıdır çünkü düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık devrelerinde kullanılan soğutucu akışkanların özellikleri farklıdır. Bu sebeple, kaskad sistemlerde en az iki akışlı ısı değiştiricisinin kullanılması esastır. Şekil 1'de, basit bir kaskad soğutma çevriminin şematik gösterimi bulunmaktadır (Aydınlı, 2022).

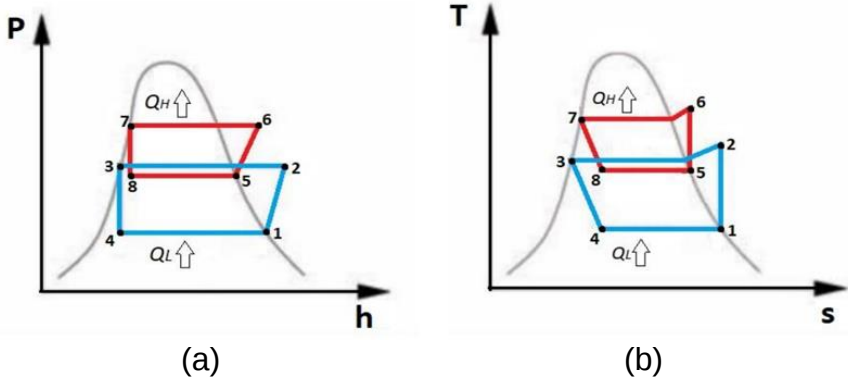
Enerji verimliliği ve maliyet unsurları, kaskad sistemlerinin tercih edilmesinde temel rol oynayan faktörlerdir. Tek kademeli bir çevrim kullanarak düşük sıcaklıklarda soğutma yapmak, daha büyük kapasiteli kompresörler ve maliyeti yüksek malzemelerin gerekliliğini beraberinde getirir. Bu durum, yüksek maliyetin yanı sıra, tek kademeli sistemlerle düşük sıcaklıklarda soğutma yapmanın enerji verimliliğinin düşük ve enerji tüketiminin yüksek olacağı anlamına gelir. Diğer taraftan, kaskad sistemleri standart kapasite ve maliyetle çalışan iki soğutma çevrimini birleştirerek düşük sıcaklıklarda etkili bir soğutma sağlar. Kaskad çevrimlerinde kritik bir rol oynayan önemli bir unsur ise ısı değiştiricisidir. Bu ısı değiştirici, yüksek sıcaklık çevriminde buharlaştırma görevini yerine getirirken, düşük sıcaklık çevriminde yoğuşurma görevini üstlenir. Bu özellik, iki farklı sistemin hibrit ve kademeli bir biçimde entegre edilmesine imkân tanır ve bu da enerji verimliliği ile maliyet avantajları sağlar (Menlik, 2005).

Soğutma sistemlerinin performans iyileştirmeleri kapsamında genelde ya farklı sistem tasarımlar (Cimsit ve Ozturk, 2014; Nguyen, 2020; Cao ve diğ., 2022) ya da çevre dostu, yüksek performans özelliklerine sahip soğutucu akışkanlar (Keven, 2023; Dalkılıç ve Wongwises 2010; Sun ve diğ., 2019) seçilmektedir.



Şekil 1. Kaskad buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi

Şekil 2’de kaskad soğutma çevrimi P-h ve T-s diyagramları görülmektedir (Çengel ve diğ., 2008).



Şekil 2. Kaskad soğutma çevrimi P-h (a) ve T-s (b) diyagramları

Nanoakışkan Kullanılan Kaskad Soğutma Sisteminin Analizi

Akışkan Seçimi:

Bu çalışmada R290 soğutucu akışkanı Düşük Sıcaklık Çevrimi (DSC) için kullanılmıştır. Yüksek Sıcaklık Çevrimi (YSC) için de R717 soğutucu akışkanı kullanılmıştır. Düşük sıcaklıktaki soğutma uygulamalarında R290 soğutucu akışkanı kullanılmaktadır. Bugün, fluo-karbon ailesinin dışında geniş ölçüde kullanılmaya devam edilen tek soğutucu akışkan Amonyaktır (R717). Zehirleyici ve bir ölçüde yanıcı-patlayıcı olmasına rağmen mükemmel ısı özelliklerine sahip olması sebebiyle, iyi eğitilmiş işletme personeli ile ve zehirleyici etkisinin fazla önem taşımadığı hallerde, büyük soğuk depoculukta, buz üretiminde, buz pateni sahalarında ve donmuş paketleme uygulamalarında başarıyla kullanılmaktadır. Buharlaşma ısisının yüksek oluşu ve buhar özgül hacminin de oldukça düşük olması sistemde dolaştırılması gereken akış kan miktarının düşük seviyede olmasını sağlar. R22’de olduğu gibi çıkış sıcaklıkları yüksek seviyeli olup kompresör kafa ve silindirlерinin su soğutma gömlekli olması tercih edilir (Koyun ve diğ., 2005).

Nanopartiküller, nanoakışkan teknolojisinde yaygın olarak kullanılır. Bu özel partiküller, akışkanların termal iletkenliğini artırarak sıvıların ısı transfer özelliklerini geliştirir. Nanoakışkanlar genellikle soğutma sistemlerinde, ısı borularında ve enerji transfer uygulamalarında kullanılır. Nanopartiküllerin yüksek yüzey alanı ve termal iletkenlikleri, sıvı akışkan içinde etkili bir şekilde dağılmalarına ve ısı transferini optimize etmelerine olanak tanır (Padmanathan ve diğ., 2021). Bu özellikleri sayesinde, nanoakışkanlar endüstriyel sistemlerde daha etkili ısı kontrolü ve enerji verimliliği sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Nanopartiküller, boyutları 1 ila 100 nm arasında değişen ultra ince parçacıklardır. Doğada bulunmalarının yanı sıra laboratuvarlarda da birçok kimyasal yolla sentezlenebilmektedirler.

Bu nano boyutlu parçacıklar temel olarak Cu, Ni, Al, Au, Ag vb. metaller, CuO, Al₂O₃, TiO₂, SiO₂, Fe₂O₃, Fe₃O₄ vb. oksitler, karbon nanotüpleri, grafen gibi çeşitli formlarda karbon olabilmektedir (Amalina ve diğ., 2012).

Nano-soğutucu akışkanlar nanopartiküllerin ve geleneksel soğutucu akışkanların karıştırılmasıyla hazırlanmaktadır. Nano soğutucu akışkanların soğutmada kullanımları ile pek çok avantajlar sağlamaktadırlar. İlk olarak, nanopartiküller yağlayıcı ve soğutucu akışkan arasındaki çözünürlüğü arttırabilir. İkinci olarak soğutucu akışkanların ısı iletkenlik ve ısı transfer özelliklerini geliştirilebilir. Son olarak, yağlayıcı içinde dağılmış nanopartiküller sürtünme katsayısını ve aşınma oranını azaltabilir (Bi ve diğ., 2011).

Soğutucu akışkana eklenen nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir (Kedzierski ve diğ., 2017; Zawawi ve diğ., 2017).

Tablo 1. Soğutucu Akışkan Tablosu

Nanopartikül	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (J/kg.K)	İletkenlik (W/m.K)
SiO ₂	2220	745	1,4
ZnO	5630	494	27,2

Termodinamik analiz:

Analizde kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir (Bejan ve diğ., 1996):

Genel kütle ve enerji dengesi:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\varphi \quad (1)$$

$$\sum \dot{Q} - \sum \dot{W} = \sum (\dot{m}h)_\varphi - \sum (\dot{m}h)_g \quad (2)$$

Çevrimin performans katsayısı ise aşağıdaki eşitliği ile ifade edilebilir:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{eva}}{\dot{W} = \dot{W}_{DSÇ} + \dot{W}_{TSÇ}} \quad (3)$$

Bu çalışmada incelenen çevrimler için nanosoğutucu akışkanların yoğunluğunu veren ilgili bağıntı Denklem 4'te verilmiştir (Bhattad ve diğ., 2018).

$$\rho_{NP} = \varphi \rho_{NP} + (1 - \varphi) \rho_R \quad (4)$$

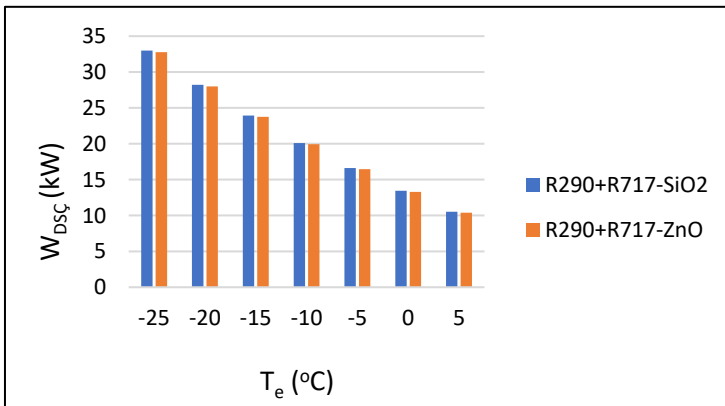
Bu çalışmada kullanılan metot, nanosoğutucu akışkanların buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde kullanılmaya uygun teorik bir

yaklaşım geliştirilmesi için literatürdeki benzer çalışmaların incelenmesine dayanmaktadır. Bu teorik yaklaşım Bilen ve arkadaşlarının (Bilen ve diğ., 2021), Aktemur ve arkadaşlarının (2022) yaptığı yaptığı çalışmadan esinlenilerek oluşturulmuştur.

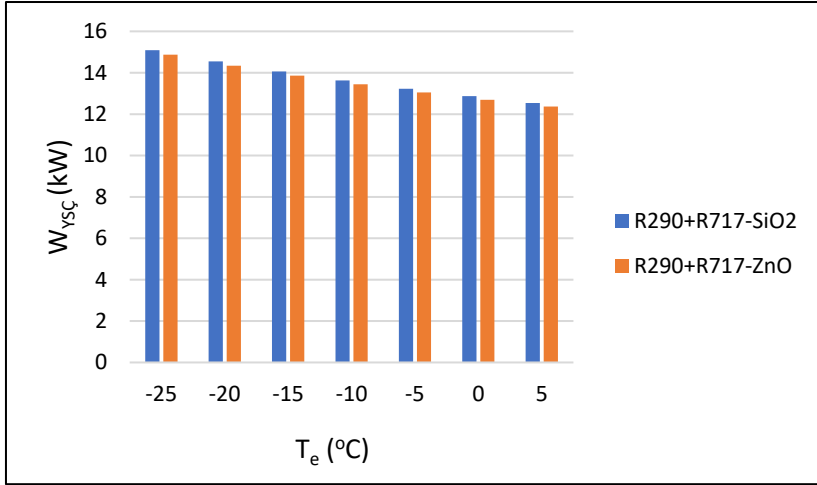
Analiz Sonuçları

Bu çalışmada soğutucu akışkana SiO_2 ve ZnO nanopartikülleri eklenerek farklı evaporatör sıcaklıkları için sistem parametrelerinin değişimi araştırılmıştır. Soğutucu akışkanlar ve karışımlar için kondenser sıcaklığı 50°C 'de sabit tutulmuştur. Soğutma yükü 100 kW 'tır ($Q_e=100 \text{ kW}$). Nanopartiküllerin kütle fraksiyonları $w = 0,01$ 'de sabit tutulmuştur.

Şekil 3 ve Şekil 4'te farklı evaporatör sıcaklıklarında nanosoğutucu akışkanların Düşük Sıcaklık Çevrimi (DSC) ve Yüksek Sıcaklık Çevrimlerine (YSC) ait kompresörlerdeki güç tüketimleri verilmiştir. Evaporatör sıcaklıkları arttıkça her iki çevrimde de güç tüketiminin azaldığı, R290+R717-SiO_2 nanosoğutucunun kompresör güç tüketiminin R290+R717-ZnO nanosoğutucu akışkanına göre daha yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir.

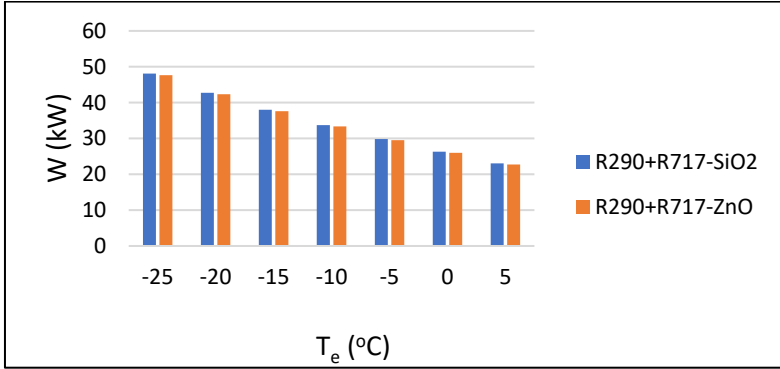


Şekil 3. Farklı evaporatör sıcaklıklarında nanosoğutucu akışkanların düşük sıcaklık çevrim kompresör güç tüketimi



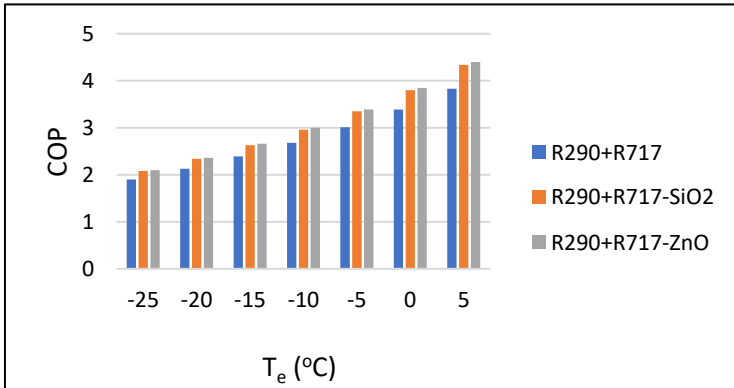
Şekil 4. Farklı evaporatör sıcaklıklarında nanosoğutucu akışkanların yüksek sıcaklık çevrim kompresör güç tüketimi

Analiz sonuçları göre nanosoğutucularda, evaporatör sıcaklığı arttıkça toplam kompresör güç tüketimi (Düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık çevrimlerine ait kompresörlerdeki toplam güç tüketimleri) azalır (Şekil 5). Evaporatör sıcaklıklarındaki artış hem entalpi farkını hem de kütle akışını azaltarak kompresör güç tüketiminin azalmasına neden olur. En düşük kompresör güç tüketimi R290+R717-ZnO nanosoğutucu akışkan kullanılarak elde edilmiştir. En yüksek kompresör güç tüketimi R290+R717-SiO₂ nanosoğutucu akışkan kullanıldığında elde edilmiştir.



Şekil 5. Farklı evaporatör sıcaklıklarında nanosoğutucu akışkanların kompresör güç tüketimi

Evaporatör sıcaklıkları arttıkça kompresör güç tüketimi azalmakta, bu da COP ((Performans Katsayısı) değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Analizde en yüksek COP değerleri R290+R717-ZnO nanosoğutucu akışkanın kullanıldığında, en düşük COP değerleri ise analizde R290+R717-SiO₂ nanosoğutucu akışkanın kullanıldığı kademeli soğutma çevriminde gözlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Farklı evaporatör sıcaklıklarında nanosoğutucu akışkanların COP değişimi

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada düşük sıcaklıkta soğutma uygulamalarında kaskad soğutma sistemlerinde nanosoğutucu akışkan kullanımının Termodinamiğin Birinci Kanununa göre analizi yapılmıştır. Çalışmada düşük sıcaklıklarda kullanımı uygun olana R717 ve R290 soğutucu akışkanları seçilmiştir. Bu soğutucu akışkanlara SiO₂ ve ZnO nanopartikülleri eklenerek farklı evaporatör sıcaklıkları için sistem parametrelerinin analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre ZnO nanopartikülleri kullanım durumlarına göre daha yüksek COP değerleri elde edildiği görülmüştür.

Soğutma sistemlerinde nanosoğutucu akışkanların kullanımı sistemdeki ısı transfer hızını arttırdığından sistemin COP ve soğutma kapasitesini etkiler. COP değerlerinin artması kompresördeki enerji tüketiminin azalmasından kaynaklanmaktadır.

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinin performans iyileştirilmesi çalışmalarında sistem için uygun çalışma akışkanın belirlenmesi oldukça önemlidir. Uygun soğutucu akışkan belirlenirken hem de performansı yüksek hem de doğaya zarar vermeyen soğutucu akışkan olmalıdır. Ayrıca soğutma sistemi için uygun tasarım ve elemanlarının seçilmesi de sistem performansı üzerinde etkilidir. Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinde bu kriterlere dikkat edilmesiyle enerji verimliliği ve çevre koruması mümkün olabilmektedir.

Semboller

COP	: Soğutma tesir katsayısı
DSÇ	: Düşük Sıcaklık Çevrimi
H	: Entalpi (J)
$\dot{m}$	:Kütleli debi, (kg/s)
T	: Sıcaklık, [°C]
$\dot{Q}$	:Isıl güç, (kW)
W	:Güç, (kW)
YSÇ	: Yüksek Sıcaklık Çevrimi

Alt indisler

ç	: Çıkan
e	: Evaporatör
g	: Giren

Kaynaklar

Aydınlı T. R407c / R404a Kaskad Soğutma Sisteminde Aşırı Kızdırma Değerlerinin Oda Sıcaklığına Olan Etkisinin DeneySEL Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, (2020) 723504.

Menlik T. Alternatif Akışkanlı İki Kademeli Soğutma Sisteminin Tasarımı, İmalî Ve Performans Deneyleri. Yayınlanmış Doktora, Gü Fen Bil. Enst., Ankara, (2005) 165948.

Cimsit C., Ozturk I.T. The vapour compression-absorption two stage refrigeration cycle and its comparison with alternative cycles, Journal of Thermal Science and Technology, (2014), 34, 1, 19-26.

Nguyen T. G., Le C. H. Thermodynamic analysis of an ejector–vapour compressor cascade refrigeration system, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry (2020) 141:2189–2200.

Cao X., Liang X., Shao L., Zhang C. Performance analysis of an ejector-assisted two-stage evaporation single-stage vapor-compression cycle, Applied Thermal Engineering 205 (2022) 118005

Keven A. Exergy Analyses of Vehicles Air Conditioning Systems for Different Refrigerants International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering IJCESEN 9-1(2023)20-28.

Dalkilic A.S., Wongwises S. A performance comparison of vapour-compression refrigeration system using various alternative

refrigerants, International Communications in Heat and Mass Transfer 37 (2010) 1340–1349.

Sun Z., Wang O., Xie Z., Liu S., Su D., Cui O. Energy and exergy analysis of low GWP refrigerants in cascade refrigeration system, Energy 170 (2019) 1170-1180.

Çengel Y. A. ve Boles M. A. Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla (A.Pınarbaşı, Çev.), Mc Graw-Hill, (1996).

Koyun T., Koyun A., Acar M. Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Bu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkileri, Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı: 88, s. 46-53, 2005.

Padmanathan P., Raju J. J., Shaik J., Satheesh A. A Critical Review on Nanorefrigerants: Boiling, Condensation and Tribological Properties. International Journal of Refrigeration, (2021) 128, 139-152.

Amalina, M. A., Mahbubul I. M., Saidur R. Latest Developments on the Viscosity of Nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer, (2012) 55(4), 874-885.

M.A. Kedzierski, R. Brignoli, K.T. Quine, J.S. Brown, Viscosity, density, and thermal conductivity of aluminum oxide and zinc oxide nanolubricants, International Journal of Refrigeration, 74 (2017) 3–11.

N.N.M. Zawawi, W.H. Azmi, A.A.M. Redhwan, M.Z. Sharif, K.V. Sharma, Thermo-physical properties of Al₂O₃-SiO₂/PAG composite nanolubricant for refrigeration system, International Journal of Refrigeration, 80 (2017) 1–10.

Bi S., Guo K., Liu Z., Wu J. Performance of a domestic refrigerator using TiO₂-R600a nano-refrigerant as working fluid, Energy Conversion and Management 52 (2011) 733–737.

Bejan A., Tsatsaronis G., Mora M. Thermal Design & Optimization, Wiley, New York: (1996).

Bhattad A., Ghosh P., Sarkar J. Improving The Performance of Refrigeration Systems By Using Nanofluids: A Comprehensive Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, (2018) 82, 3656-3669.

Bilen K., Dağıdır K., Arcaklıoğlu E. Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevriminde R134a Yerine R1234yf ve R1234yf/Al₂O₃ ile R1234yf/CNTs Nanosöğütücü Akışkanların Kullanımının Termodinamiğin I. ve II. Kanunları Bakımından Analizi, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi 7 (3) (2021) 183-195.

Aktemur C., Oztürk I. T. Thermodynamic Performance Enhancement of Booster Assisted Ejector Expansion Refrigeration Systems with R1270/Cuo Nano-Refrigerant, Energy Conversion and Management, (2022) 253.

