

BİDGE Yayınları

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

Editör: Doç. Dr. Murat MAKARACI

ISBN: 978-625-6707-39-9

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2023

BİDGE Yayınları

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

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

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

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

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



ÖNSÖZ

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

Makine Teknolojileri Taşıt ve Enerji Sektörlerine Yönelik Malzeme ve Tasarım Metodları I isimli bu esere 7 adet çalışma grubu katkı sağlamıştır.

Kitapda yapısal ve enerji çalışmalarına ağırlık verilerek 3 bölüme ayrılmıştır. Bölüm- de yapılara entegre güneş pilleri, dikey eksenli rüzgar türbinleri, L-tipi ısı borusunda termal analiz incelenmiş, Bölüm-2 de galeri açma makinesi, otomatik kontrollü briketleme makinesi ve motorların kam mili iyileştirilmesini konu almıştır. Bölüm-3 de yüksek muvakaletli 960 çeliği ile havacılıkta kullanılan kompozit malzemeler incelenmiştir.

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

Editor

Doç.Dr. Murat MAKARACI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER	4
Yapılara Entegre Güneş Pilleri ve Türkiye’deki Son Durumu	6
Ahmet ÇAĞLAR.....	6
Ahmet ÇOŞGUN.....	6
H-Darrieus Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Boşluk Yapısı Uygulamaları.....	19
Himmet Erdi TANÜRÜN	19
L Tipi Isı Borusunda Değişen Akışkan Debisinin Isı Transfer Değişimine Etkisi	44
Mehmet Akif KARTAL	44

Otomatik Kontrollü Briketleme Aracı Tasarımı	55
Abdulkadir İNCİ.....	55
Burcu YALÇINSOY KARADAYI.....	55
Aden GÜNSÜREN.....	55
Berat Fırat DALĞIÇ.....	55
İçten Yanmalı Motorlarda Kam Mili Modifikasyonu	68
Mustafa AYDIN	68
Emre ARABACI	68
Ferdı Mert ÇELİK.....	68
Havacılık Uygulamalarında Karbon Temelli Kompozit Malzemeler	88
Yasin AKIN.....	88
Kubilay HAN	88
Ömer ÇERLEK	88
Yüksek mukavemetli Dillimax 960 çeliğinin kuru ve taşkın soğutma ortamlarında işlenebilirlik parametrelerinin araştırılması	109
Serhat ŞAP	109
Üsame Ali USCA	109
Ünal DEĞİRMENCİ	109

BÖLÜM I

Yapılara Entegre Güneş Pilleri ve Türkiye’deki Son Durumu

Ahmet ÇAĞLAR¹
Ahmet ÇOŞGUN²

Giriş

Dünyada binaların kendi elektriğini kendi üretmesi konsepti git gide yaygınlaşmaktadır. İklim değişikliğine ve çevre kirliliğine dair projeksiyonlar ve bu tehditlere karşı Batının öncülüğünde alınan çerçeve kararlar ve yasal düzenlemeler fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının hayatın her alanında kullanımını gerektirecek birtakım yaptırımları beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların tükeneceğine dair iddia edilen birçok senaryo tutmazken, bu yakıtların ekonomiklik ve etkinlik anlamında cazibesini henüz yitirmediği, bizzat çevresel felaket propagandası yapan ve dünyayı

¹ Doç. Dr., Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği ,
acaglar@akdeniz.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği,
acoskun@akdeniz.edu.tr

bu konuda önlem almaya çağıran bazı ülkeler tarafından kullanımına artarak devam edildiği kaygıyla görülmektedir. İşin esası, gerçekten iklimsel etkilerini ciddi manada hissetmeye başladığımız fosil yakıtların tüketilmesinin sınırlandırılması gerekliliğidir.

Nüfus ve teknoloji ile birlikte artan enerji talebinin, fosil yakıtların kullanımının bir şekilde azaltılması durumunda ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının hızla artması ile karşılanabileceği açıktır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında da en yaygın, en bol ve kullanımı en kolay olanı güneş enerjisidir ve buna dayalı teknolojileridir. Binalarda elektrik ihtiyacının karşılanmasında fotovoltaiik (PV) sistemlerin kullanıldığı bilinmektedir. Binanın elektrik enerjisi tüketim miktarına ve kurulan PV sistemden elde edilen elektrik enerjisinin boyutuna göre binalar sifıra yakın enerjili, net sıfır enerjili veya artı enerjili binalar olarak sınıflandırılmaktadır. Binanın enerji yönetimi yanında, su ve temiz hava yönetimi ile yapısal sağlamlılığına dair bazı koşulları da sağlaması durumunda “yeşil bina” olarak tanımlandığı farklı konseptler de mevcuttur. Bina ısıtmasında kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtların kullanıldığını göz ardı ederek, ısıtmanın da elektrikli sistemler ile sağlandığını varsayılrısa binanın enerji tüketiminin tamamının elektrik kaynaklı olacağı kabul edilebilir. Bu durumda binanın enerji bilançosunu ve enerji sınıfını belli bir zaman dilimindeki elektrik tüketim ve üretim miktarları üzerinden değerlendirmek mümkün olacaktır.

PV malzemeler ve sistemler ile ilgili bilgiler ve sistemi oluşturan elemanlar literatürde detaylı olarak ele alınmaktadır (Sayın & Koç, 2011). Bu çalışmada PV sistemlerin binalarda uygulanma yöntemlerine ve Türkiye’de binalara entegre PV sistemlerin kullanımına yönelik bilgiler verilecektir. Binaya entegre PV sistemin tasarımında ve montajında sadece mühendislik açısından değil, mimari ve estetik açıdan da kriterler ve beklentiler sağlanmalıdır. Güneş ışınlarının bina kabuk yüzeyine geliş açısı, binanın yerleşim yönü gibi faktörler yanında çağdaş mimarinin biçimsel özellikleri ve estetik kaygılar da PV entegre yapıların tasarımında dikkate alınması gereken hususlardır. PV panelin düşey yapı kabuğu olarak

kullanılması durumunda güneş ışığının kontrolü için duruma göre geçirgen, yarı geçirgen veya opak PV panellerin seçimi ve panel boyutları ve montaj detayları önemli hale gelmektedir. Işık kontrolü yanında ses, su ve ısı yalıtımı da PV entegre yapı tasarımında dikkate alınması gereken diğer faktörlerdir. Ayrıca panellerin zamanla kirlenmesi ile panel verimi %3.5 civarında düştüğünden (Çelebi, 2002) tasarım ve konstrüksiyonun panelin temizlenebilmesine imkân verecek şekilde yapılmasına dikkat edilmelidir.

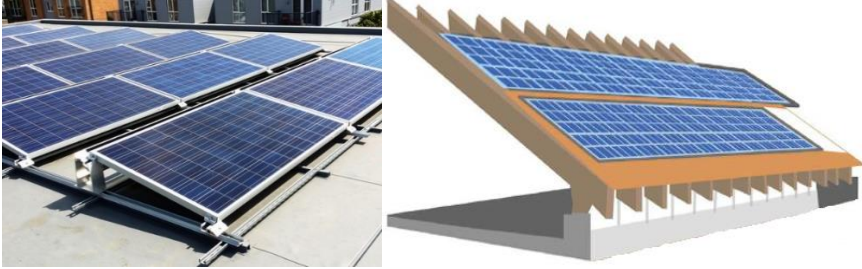
Bina entegre PV sistemlerinin kurulmasına dair bazı devlet destek ve teşvikleri bulunmasına rağmen ilk yatırım maliyetleri halen yüksektir. Fakat artan petrol fiyatları ve etkileri gittikçe artan küresel iklim bozulmaları, çok uzak olmayan bir gelecekte teşvik ve desteklere lüzum kalmadan PV sistemlerinin binalarda kullanımını zorunlu kılacaktır (Türe, 2008). PV paneller binalara çatı uygulaması, giydirme cephe, gölgeleyici veya yağmur perdesi olarak farklı şekillerde entegre edilebilmektedir (Şenyurt & Altın, 2014). Yapılara yerleştirilen PV sistemler, doğrudan çatı veya duvar gibi binanın bir bileşenini oluşturuyorsa bunlara binaya entegre sistemler, eğer binanın işlevi üzerinde doğrudan bir etkisi yoksa ve hareketli raylar kullanarak binaya ekleniyorsa bina uygulamalı sistemler olarak isimlendirilmektedir (Duyan & Bayrakdarlar, 2022).

Binaya Entegre PV Sistemler

1. Çatıya Entegre Sistemler

PV paneller balkon teras da denilen düz çatılara uygulanabileceği gibi (monte sistem), klasik eğimli çatılarda çatı malzemesi (entegre sistem) olarak da uygulanabilmektedir. İkinci durumda PV sistem hem elektrik üretimi yaparken hem de çatı kaplama görevini de yerine getirmektedir. Bu da çatı kaplama maliyetlerinde düşüşü, mimari açıdan temiz ve estetik bir çatı modelini ve düşük bakım ve onarım maliyetleri gibi avantajları beraberinde getirmektedir (Türe, 2008). Direkt çatı malzemesi olarak uygulanmasında su yalıtımına önem verilmelidir. Şekil 1’de

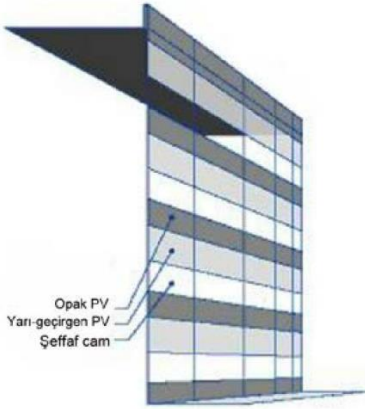
her iki uygulamaya dair örnekler verilmektedir. PV entegre sistemin şüphesiz en verimli çalışacağı uygulanma şekli çatı uygulamalarıdır. Çünkü çatılar PV panellerin güneş ışınlarını maksimum alacak şekilde yerleştirilmesi bakımından daha esnek bir alan kullanımına sahiptir. Çatı ıslıklığı ve saçak uygulamaları ve atriumlu mekanların PV panel kaplaması da çatı uygulamalarına dahil edilebilir (Duyan & Bayrakdarlar, 2022).



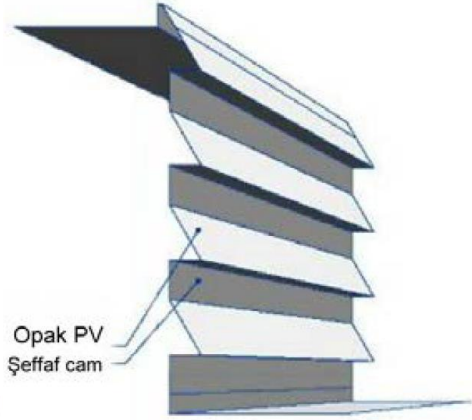
Şekil 1. PV çatı uygulamaları

2. Bina Düşey Kabuğuna Entegre Sistemler

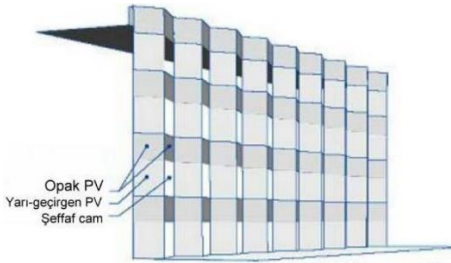
Doğrudan duvar olarak veya mevcut duvara aplike olarak PV panelleri bina düşey kabuğuna entegre etmek mümkündür (Çelebi, 2002). Güneş ışığının ne kadar bina içerisine sızması isteniyorsa buna göre geçirgen (şeffaf), yarı geçirgen veya opak (mat) PV panel çeşidi tercih edilir. Düzlemsel perde duvar, yatayda veya düşeyde kırıklı perde duvar ve akordiyon (akordeon) perde duvar olmak üzere farklı şekillerde direkt düşey bina kabuğu olarak PV panelleri monte edilebilir. Ek taşıyıcı yapıya gereksinim yoktur. Yan kısımlara açılır pencere yapılarak veya bina dışından panellerin temizliği yapılabilir, böylece eğimli duvarlara nazaran zaten düşük olan verimin kirlenme nedeniyle daha da düşmesi önlenir. Bunlara dair örnekler Şekil 2’de verilmektedir.



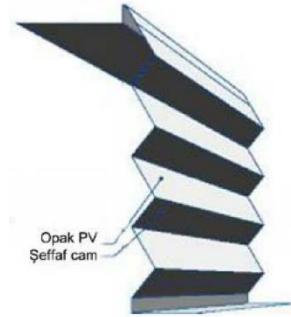
Düzlemsel perde duvar



Yatayda kırıklı perde duvar



Düşeyde kırıklı perde duvar



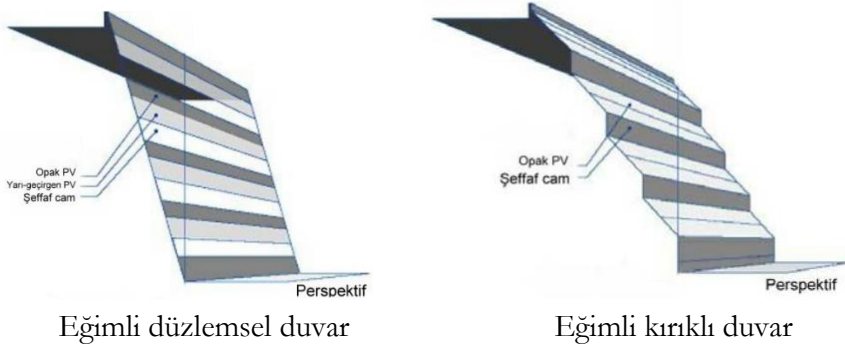
Akordiyon perde duvar

Şekil 2. Bina düşey kabuğuna farklı şekillerde uygulanan PV paneller (Sayın & Koç, 2011)

Düşey kabuğa entegre PV paneller giydirme cephe olarak metal ızgaralara takılır ve binanın taşıyıcı sistemine yük bindirirler. Binanın inşası sırasında statik/dinamik yük hesapları yapılırken bu ek yüklerin de hesaba katılması gerekmektedir. Sızdırmazlık, giydirme cephe tekniklerine uygun yöntemlerle sağlanır. PV panellerin direkt olarak binanın taşıyıcı elemanlarına entegre edildiği örnekler de vardır.

Bina dış kabuğu düşey olabileceği gibi güneşten daha çok yararlanmak için veya estetik mimari düşüncelerle eğimli yüzeye

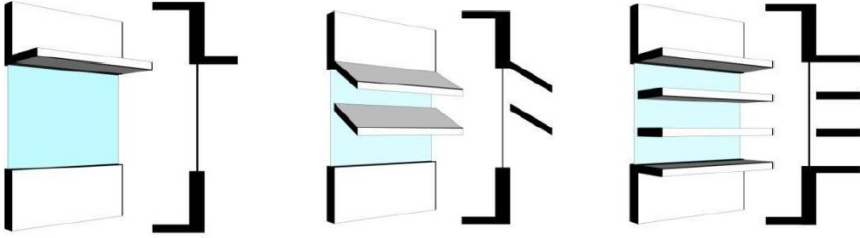
sahip perde duvar şeklinde de yapılabilir. PV sistemin eğimli yüzeye monte edilmesi yukarıda bahsedilen düşey duvara entegre tiplere göre daha verimli sonuçlar vermektedir. Eğim olarak bölgenin enlem derecesinin kullanılması tüm yıl için optimum değer olacaktır. Yaz aylarında daha büyük miktarlarda güneş enerjisi düştüğünden, bundan daha fazla istifade edebilmek amacıyla PV panellerin eğimi, yani aslında dış cephenin yatayla yaptığı açı enlem derecesinden bir miktar küçük olacak şekilde alınabilir. Ancak bu durumda bina kabuğu yataya oldukça yakın olacaktır ki mimari açıdan bu çok tercih edilmemektedir. Bu nedenle eğimli cephelerde mimari ve estetik kaygılar da dikkate alınarak mümkün mertebe daha çok güneş ışıını alacak binalar inşa etmek uygun olacaktır. Güneş enerjisinden maksimum fayda temin etmek amaçlandığından, uygulamada eğimli ya da açılı duvarların genellikle düşeyle 40-60° derecelik bir açı yaptığı görülmektedir. Eğimli cephe düzlemsel yapılabileceği gibi kırıklı perde duvar şeklinde de yapılabilir. Eğimli kırıklı perde duvar, bir eğimli opak PV panel bir düşey şeffaf cam şeklinde sıralı olarak imal edilir. Ancak düzlemsel tipe göre taşıyıcı sisteme daha fazla yük bindirdiğinden daha fazla maliyet gerektirir (Çelebi, 2002). Bunlara dair örnekler Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Bina kabuğunda eğimli yüzeylere PV panel uygulamaları
(Sayın & Koç, 2011)

3. Mevcut Kabuğa Monte (Aplike) Sistemler

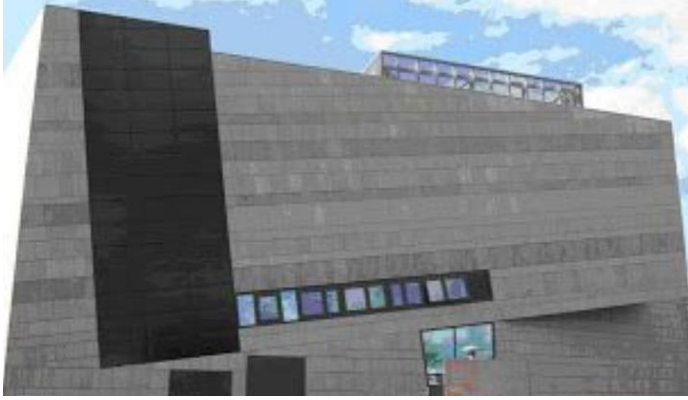
PV paneller birden fazla fonksiyonu yerine getirebilmesi için gölgeleyici (güneş kırıcı) olarak veya yağmur perdesi olarak da bina kabuğuna monte edilebilmektedir. Yaz aylarında pencere ya da cam duvarlardan gelen güneş ışınımını gölgeleyerek iç ortam sıcaklığının ve böylece soğutma yükünün azalmasını sağlar. Diğer yandan üzerine düşen ışınımı sayesinde soğutma ya da diğer evsel amaçlar için elektrik üretimi gerçekleştirir. Güneş kırıcılar sabit açı ile monte edilebilir veya hareketli yapılarak güneş kazancı ve doğal aydınlatma kontrol edilebilir. Kabuktan ayrı bir taşıyıcı sisteme monte edilmektedirler ve ek bir konstrüksiyon gerektirir (Gündüz & İlerisoy, 2021). Gölgeleyici PV panel tek katlı olabileceği gibi çok katmanlı da yapılabilmektedir (Zhang vd., 2018). Farklı modellerde güneş kırıcılar Şekil 4’te görülmektedir.



Şekil 4. Tek ve çok katmanlı farklı açılarda yerleştirilmiş güneş kırıcılar (Zhang vd., 2018)

PV panellerin bina cephesine kaplama şeklinde monte edildiği, ancak enerji üretiminin yanında aynı zamanda cepheyi olumsuz hava koşullarından koruma görevi de gören uygulama türü yağmur perdesi olarak isimlendirilmektedir. PV modüller bir ızgara sistemi yardımıyla kabuğa entegre edilmekte ve elektrik üretmektedirler. Özellikle de nem oranı yüksek iklim bölgelerinde bina dış kabuğu aşırı yağışlar nedeniyle yoğunlaşma, küflenme ve duvar malzemelerinde tahribata maruz kalmaktadır (Uslusoy, 2012). Dış duvar ile PV modül arasında bir havalandırma boşluğu oluşturularak hem PV panelin daha verimli soğutulması ve böylece daha verimli çalışması sağlanır, hem bağlantı elemanları gizlenir, hem de kabuk-

panel arasındaki su yalıtımı gereksinimi ortadan kalkar. Örnek bir yağmur perdesi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Yağmur perdesi olarak da kullanılan PV panel sisteminin bina cephesinin bir kısmında uygulanışı

Binaya entegre PV Sistemlerdeki Gelişmeler

PV hücreler ışıınım şiddetine ve hava şartlarına bağılı olarak elektrik üretmektedirler. Güneş ışıınımı arttıkça üretim miktarı artmakta ancak hücreler daha çok ısınmakta, uygun soğutma yapılmazsa panel verimleri oldukça düşmektedir. Perde duvara entegre PV sistemlerde aktif havalandırma ($V_{hava} > 2$ m/s) yapılması durumunda PV hücrelerin çalışma sıcaklığının düştüğü ve elde edilen enerji miktarının %8 arttığı gözlenmiştir. Havalandırma kullanılmayan ısı yalıtımlı PV uygulamalarda ise hücre sıcaklığı artmakta bu da enerji kazancında %10 civarında kayba neden olmaktadır. PV panellerin su kaynaklı soğutma/ısıtma sistemiyle birlikte kullanıldığı hibrid PV uygulamalarında ise hücre sıcaklığının azalması ile %9 enerji kazancı sağlanabilmektedir (Demir, 2011).

Daha özgün mimarı tasarımlara imkân tanıyan nanoPV malzemelerin geliştirilmesi ile cephe uygulamalarında renk, boyut, ağırlık gibi faktörlerin sınırlayıcı etkileri ortadan kaldırılmıştır (Demir, 2011). İnce film üretim teknolojisini esas alan nanoPV

sayesinde kendini temizleyebilen ve yenileyebilen, güneş enerjisinden daha verimli şekilde elektrik üretebilen, daha ince, esnek ve hafif bir sistemin binaya uygulanması mümkün olmuştur (Ayçam & Kanan, 2009). Ancak bu teknolojinin maliyeti şu an geleneksel PV sistemlerin maliyetiyle rekabet edebilecek düzeyde olmadığından pek tercih edilmemektedir.

Yapıların oluşturulmasında bina yönü, bina formu ve şekli, cephe tasarımı, güneş koruma, doğal aydınlatma, rüzgar kullanımı ve doğal havalandırma, renk seçimi, ağaç ve bitki kullanımı gibi faktörlerin dikkate alındığı iklimsel veriyi referans alan biyoiklimsel (veya biyoklimatik) tasarım modelinin uygulanması, yapı formunun, yerleşimin ve mekan organizasyonunun doğru yapılması, PV entegre binaların enerji tüketiminin önemli ölçüde azaltılmasını ve enerjinin etkin kullanıldığı yüksek performanslı binaların inşa edilmesini sağlayacaktır (Demir, 2011).

Binaların baştan inşa edilirken veya sonradan restore veya revize edilirken bazı uluslararası sertifika sistemlerine uyulması yapılarda yenilenebilir enerjinin doğru ve etkin şekilde kullanımını mümkün kılmaktadır. Bir yapının sürdürülebilir ya da yeşil yapı olması için gereken kriterleri maddeler halinde belgeleyen ve bu kriterleri sağlama durumuna göre binaların yeşil olma özelliklerini derecelendiren LEED, yapıların türüne göre çevresel etkilerini değerlendiren BREEAM, binaların çevresel etkinliğini değerlendiren bir sertifika sistemi olan CASBEE ve ülkemizde uygulanmaya başlayan yapı enerji kimlik belgesi bu sertifika sistemlerine örnek olarak verilebilir.

Türkiye’de PV Panel Entegre Binaların Durumu

Türkiye’de PV panellerin binalarda genellikle çatı uygulaması şeklinde kullanıldığı görülmektedir. Cephe, gölgelik ya da yağmurluk şeklindeki uygulamaların bilimsel amaçlı bazı çalışmalar dışında pek yapılmadığı söylenebilir. Türkiye’de güneş pilleri güneş enerji santralleri ve kırsal alanlarda şahsi elektrik üretimi dışında, orman gözetleme kuleleri ve su pompalama sistemlerinde, haberleşme istasyonlarında, deniz fenerlerinde, trafik

ikaz ışıkları ve yol aydınlatmasında kullanılmaktadır. Ayrıca Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü gibi bazı kurumlarda ve üniversitelerde araştırma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Elektrik güç üretme kapasiteleri sınırlıdır. Akademik literatürde PV entegre yapılara dair ABD, Çin, Güney Kore ve bazı Avrupa ülkelerindeki uygulamalardan birçok örnek verilmekte, fakat Türkiye'deki uygulamalarına dair pek bir bilgi yer almamaktadır. Bazı istisnai özel uygulamalar dışında, verilebilecek dikkate değer bir cephne uygulaması maalesef bulunmamaktadır. Bu durum, ülkemizde bu konuda atılması gereken adımlar olduğunu göstermektedir.

Sonuç

Bir yapı elemanı olan bina kabuklarının inşâi ve mimari açıdan geleneksel olarak yük taşıma ve yaşanabilir konfor mekanları oluşturma gibi amaçları yanında, PV güneş panelleri entegre edilerek binanın kendi enerji ihtiyacını karşılayan bir enerji kaynağı olarak da görev yapması ve binanın enerji verimliliğini artıran bir uygulama yöntemi olarak içselleştirilmesi artık sadece bir tercih ve tasarruf değil, devletler ve uluslararası ortak anlaşmalar tarafından yürürlüğe sokulan bir takım yönetmelik ve protokoller sebebiyle bir zorunluluk haline gelmiştir. PV entegre binalar, gerek ekonomik ve sosyal yönden gerekse fosil yakıt tüketiminin ve dolayısıyla karbon ayak izinin azaltılması sebebiyle çevresel yönden enerji etkin ekolojik bina tasarımının temelini oluşturmaya bir süre daha devam edecektir. Sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir mimari açısından enerjisini yenilenebilir kaynaklardan ve özellikle güneş panellerinden sağlayan yapıların inşa edilmesi önemli hale gelmiştir. Dolayısı ile binaların yukarıda bahsedilen yöntemlerden biri veya birkaçı ile yeşil bina veya yaklaşık sıfır enerjili bina konseptine uygun şekilde tasarlanması gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakılmasına katkı sağlayacaktır.

Şunu da belirtmek gerekir ki yeni modern mimari anlayışta özellikle de yüksek yapılarda artık düzlemsel yüzeyler yerine eğrisel ve değişken kesitli yüzeyler ve dönel formlar daha sık kullanılmaya başlamış, yapılar simgesel olarak adeta bir güç gösterisine

dönüştür. Bu nedenle PV entegre edilecek yapıların tasarımında arazi koşulları, bulunduğu bölgedeki iklim şartları, binanın kendi bileşenlerinden veya etrafındaki diğer yapılardan kaynaklı gölgelenme durumunun ve panel temizleme kolaylığının yanında binanın estetik formunun da dikkate alınması önem arz etmektedir.

Kaynakça

Ayçam, İ., & Kanan, N. Ö. (2009). Ekolojik mimarlık kapsamında bina bütünleşik nano-PV malzemenin incelenmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 73-77, Diyarbakır.

Çelebi, G. (2002). Bina düşey kabuğunda fotovoltaiik panellerin kullanım ilkeleri, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17 (3), 17-33.

Demir, N. (2011). *Yüksek yapılar ve sürdürülebilir enerji*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Duyan, F., & Bayrakdarlar, K. P. (2022). Enerji etkin bina tasarımında yapı elemanı olarak fotovoltaiik sistemler, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 7 (3), 965-980. Doi:10.26835/my.1197319

Gündüz, M. F., & İlerisoy, Z. Y. (2021). Fotovoltaiik panel sistemlerin yüksek yapılarda cephe uygulamaları üzerinden değerlendirilmesi, *Middle East International Conference on Contemporary Scientific Studies-V*, Vol.III, 357-373.

Sayın, S., & Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaiik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri, *Selçuk Üni. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 26 (3), 89-106.

Şenyurt, S. U., & Altın, M. (2014). Enerji etkin tasarımın çatı ve cephelere yansıması, 7. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 3-4 Nisan 2014, İstanbul.

Türe, E. (2008). Çatı malzemesi olarak güneş enerjisi sistemleri, 4. *Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, 13-14 Ekim 2008, İstanbul.

Uslusoy, S. (2012). *Yenilenebilir enerji kaynakları kullanan enerji etkin binaların yapı bileşeni açısından irdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zhang, X., Lau, S-K., Lau S. S. Y., Zhao Y. (2018). Photovoltaic integrated shading devices (PVSDs): A review, *Solar Energy*, 170, 947-968. Doi:10.1016/j.solener.2018.05.067

BÖLÜM II

H-Darrieus Dikey Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Boşluk Yapısı Uygulamaları

Himmet Erdi TANÜRÜN¹

Giriş

Dünya genelinde artan nüfus ve ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin yükselmesi enerji talebinin artmasına neden olmuştur (Tanürün & ark., 2021). Bu artış, enerji altyapısının ve enerji politikalarının yeniden gözden geçirilmesini gerekli kılmıştır. Özellikle sanayi devriminden bu yana fosil yakıtlar, enerji ihtiyacını karşılamada anahtar bir role sahip olmuştur (Chen & ark., 2022; Talhar & Bodkhe, 2019). Ancak, fosil yakıtların doğurduğu birçok problem bulunmaktadır. Bunlar; karbondioksit (CO₂) salınımları, sınırlı rezervlere sahip olmaları (Tanürün & ark., 2020; Çakıroğlu & ark., 2023), enerji güvenliği sorunları, birim maliyetlerindeki artış ve çevresel kirlilik olarak sıralanabilir (Tanürün & ark., 2019). Buna ek

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi

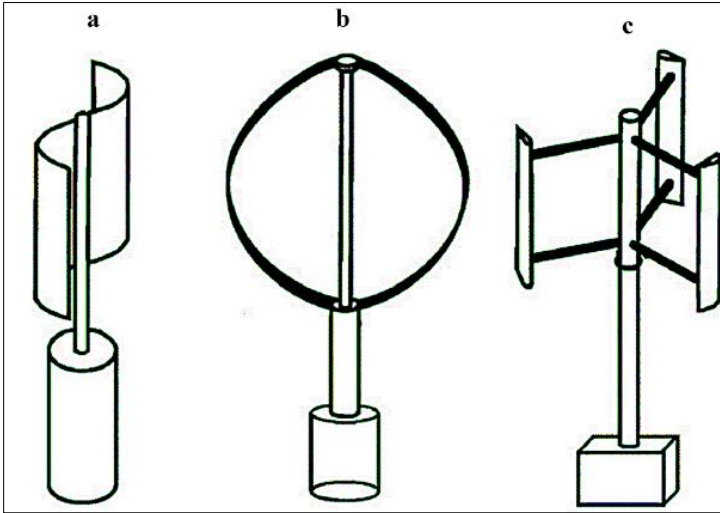
olarak, son yıllarda enerji politikalarında sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik kavramları öne çıkmaya başlamıştır. Bu, enerji ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesini beraberinde getirmiştir. Güneş, hidroelektrik, jeotermal, biokütle ve rüzgâr, bu yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir (Ghandriz & ark., 2021). Bu enerji kaynakları, sürekli olarak doğada bulunmaları, düşük çevresel etkilere sahip olmaları, enerji fiyatlarını stabilize edebilmeleri ve enerji bağımsızlığını teşvik etmeleri gibi avantajlara sahiptir.



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

Rüzgâr enerjisi, bu yenilenebilir enerji kaynakları arasında daha ucuz olmasından kaynaklı hızla ön plana çıkan bir enerji kaynağıdır (Peng & ark., 2022; Sun & ark., 2023). Rüzgâr türbinleri,

rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar. Türbinler temelde iki kategoriye ayrılır: yatay eksenli rüzgâr türbinleri (YERT) ve dikey eksenli rüzgâr türbinleri (DERT) (Tian & ark., 2019; Tanürün & Acir, 2022). YERT'ler, yüksek enerji dönüşüm verimliliği sunmalarından dolayı şuan ticari olarak daha aktif durumdadır (Elkhoury & ark., 2015; Kuang & ark., 2023). Ancak YERT'lerin sapma mekanizması ihtiyacı (Guo & ark., 2019), kule yatırım maliyeti, yüksek gürültü seviyesi, geniş alan ihtiyacı, aşırı rüzgâr hızlarına karşı hassasiyet ve bakım zorlukları gibi dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar, özellikle kentsel alanlarda ve çatı tipi uygulamalarda YERT'lerin kullanımını sınırlar (Chen & ark., 2022). DERT'ler ise bu dezavantajların birçoğunu ortadan kaldıran özelliklere sahiptir. Rüzgârı her yönden alabilme yeteneği (Riegler, 2003), daha kompakt yapıları, zemine yakın olmaları (Xu & ark., 2018), estetik avantajları, sessiz çalışma karakteristikleri (Shigetomi & ark., 2011; Rainbird & ark., 2015) ve kolay montajı bu avantajlardan birkaçıdır (Rezaeiha & ark., 2018; Su & ark., 2020; Hand & ark., 2021). Bu avantajları sayesinde DERT'ler kentsel alanlarda kullanım potansiyeliyle ön plana çıkmaktadır (Posa, 2021).

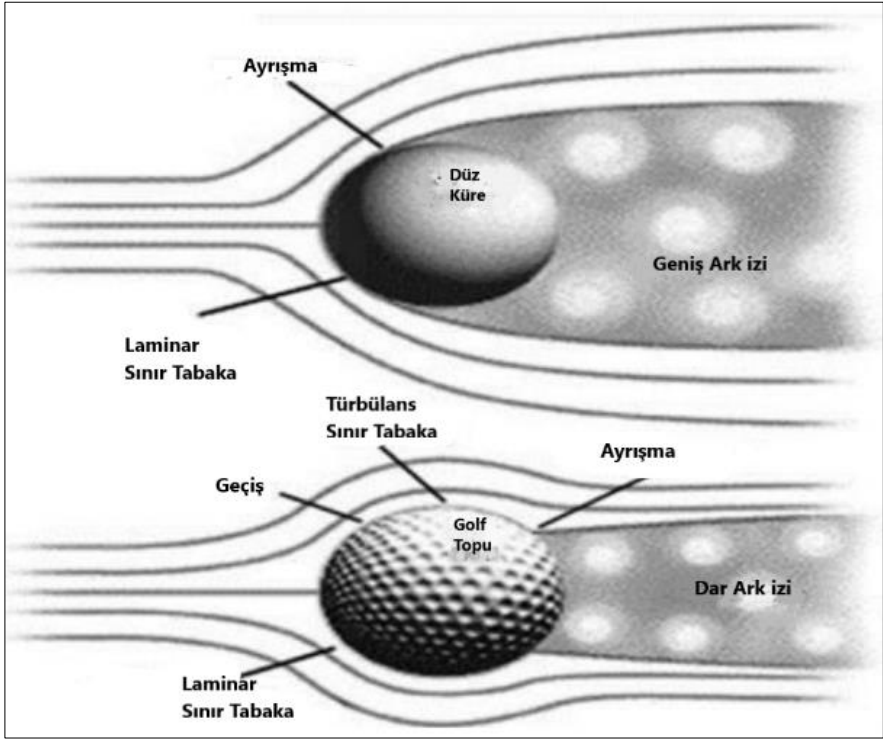


Şekil. 2 a) Savanious b) Egg-beater Darrieus c) H-tipi Darrieus
DERT Çeşitleri (Eriksson & ark., 2008)

DETR'ler, ana olarak Savonius ve Darrieus trbınleri olmak üzere ikiye ayrılırlar (Kaya & ark., 2021). Şekil. 2'de görülen (Tanürün & ark., 2023b), Savonius, genellikle düşük rüzgâr hızlarında daha etkilidir, fakat verimlilik açısından Darrieus trbınlerine göre daha düşük performansa sahip olmasından dolayı Darrieus trbınlerini daha popülerdir. Ancak Darrieus trbınlerinin de kendine özgü zorlukları bulunmaktadır. Bunlar arasında ilk uyarı problemi ne çıkar. Ayrıca, genel olarak YERT'lere kıyasla düşük verimliliği (Zamani & ark., 2016; Li & ark., 2018), bu trbın türünün ticarileŐmesi ve sürdürülebilirliği önündeki en büyük engellerden biri olarak görülmektedir. Bu zorlukları aşmak için yapılan araŐtırmalarda, pasif kontrol yöntemleri ön plana çıkmıŐtır. Pasif kontrol, trbınlerin aerodinamik yapılarını optimize etmek ve enerji dönüşüm verimini artırmak için yapılan tasarım ve yapısal deđiŐiklikleri ifade eder. Son dönemde, özellikle trbın kanatlarının yüzeyinde yapılan kiriŐ (Tanürün & ark., 2021), tüberkül (Tanürün & Acir., 2019), boşluk, J-tipi ve gibi pasif yöntem uygulamaları, rüzgârın trbın üzerindeki etkilerini optimize etmek amacıyla kullanılır.

DETR kullanılan boşluk yapısı uygulamaları

Boşluk (ukur), golf topunun yüzeyinde bulunan minik ukurlardır. Bu çukurlukların ana fonksiyonu, topun havada daha stabil bir yol izlemesini sağlamaktır. Hava molekülleri, bu çukurlar sayesinde top yüzeyinde daha düzensiz ve türbülanslı bir akış oluşturur. Bu türbülanslı akış, topun yüzeyinden daha uzakta kesilmesini sağlar, böylece hava direnci azalır ve top daha uzun mesafelere gider (Chowdhury & ark., 2016).



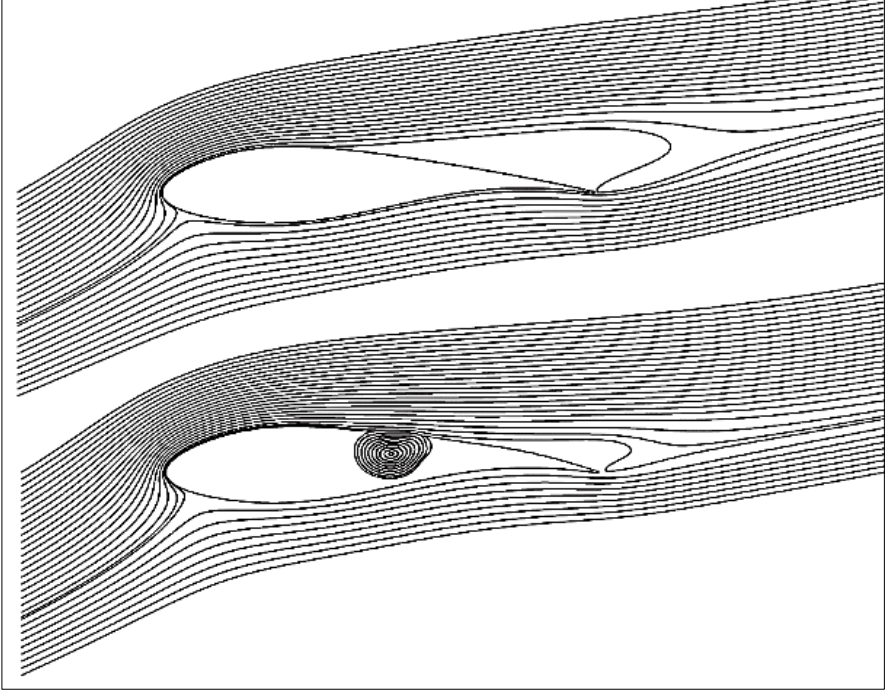
Şekil. 3 *Golf topu ve basit top üzerinde akış karakteristiğini karşılaştırılması (Mishra & ark., 2020).*

Rüzgâr türbini kanatlarında da benzer aerodinamik prensipler geçerlidir. Rüzgâr türbininin kanatları, hava ile optimum etkileşimde bulunmak için tasarlanmıştır. Golf topundaki çukurların yarattığı türbülanslı akış prensibi, rüzgâr türbini kanatlarının verimini artırabilir (Mishra & ark., 2020). Kanatta oluşturulan türbülanslar, rüzgârın kanat üzerinde daha etkili bir akış oluşturmalarını sağlamakta, böylece türbinin enerji üretim kapasitesi artmaktadır. Bu kapsamda literatürde çukur yapısını DERT'in performansı üzerine etkisi literatürde son dönemde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır.

Tablo 1. *İncelenen türbin kanadının boşluk karakteristiği (Sophani & ark., 2017)*

Çukurun Şekli	Çukurun Çapı	Çukurun Pozisyonu	Çukurun İsmi
	0.08c	$\frac{1}{4}c$	Nu-14-8
	0.08c	$\frac{2}{4}c$	Nu-24-8
	0.08c	$\frac{3}{4}c$	Nu-34-8
	0.08c	$\frac{1}{4}c$	Nd-14-8
	0.08c	$\frac{2}{4}c$	Nd-24-8
	0.08c	$\frac{3}{4}c$	Nd-34-8

Sophani ve ark. (2017) DERT'in aerodinamik analizlerinin farklı aşamaları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu çalışmada, türbinin performansını artırmak amacıyla DERT kanadının profilinde bir boşluk oluşturulmuştur. Çalışmada, türbülanslı akışta türbinin simülasyonunu yapabilmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) kullanılmıştır. Çeşitli çukur parametreleri (çap, profil ve konum gibi) dikkate alınarak türbinin aerodinamik performansı ve verimliliğini artırma potansiyeli değerlendirilmiştir. Optimal kanat profilinin, kanadın basınç tarafında ve hücum kenara yakın bir konumda, veter (c) uzunluğunun %8'ine eşit çapta dairesel bir çukur elde edildiği tespit edilmiştir. Bu optimal profile, çukurlu kanat kullanıldığında, referans alınan kanat profiline göre türbinin verimliliğinin sırasıyla %18 ve %25 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Çukurların farklı konumları, çapları ve profilleri (dairese, kare ve üçgen) üzerine yapılan değerlendirmeler, dairese oyuk profilinin, özellikle yüksek uç hız oranlarında (λ), türbin performansına en büyük etkiyi yaptığını göstermiştir.

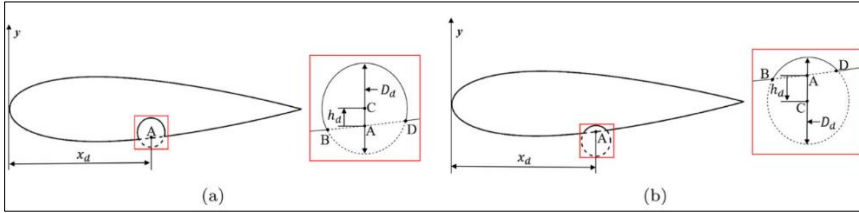


Şekil. 4 $AOA = 17^\circ$ 'de optimize edilmiş boşluk ve boşluk olmayan kanat profilleri etrafındaki akış çizgilerini karşılaştırma (Fatehi & ark., 2019)

Fatehi ve ark. (2019) konvansiyonel kanat profillerinin tasarım noktaları dışındaki koşullarda optimum performanslarını kaybettiklerini belirtmiştir. Bu çalışmanın ana odak noktası, aerodinamik performansı artırmak için optimize edilmiş bir boşluk kullanımıdır. Özellikle Riso_B1_18 kanat profili, rüzgâr türbini kanatları için öne çıkan aerodinamik performansı nedeniyle bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Araştırmada, genetik algoritma kullanılarak boşluk şeklinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Hedef fonksiyon olarak kaldırma-kuvveti (F_L) ile sürüklenme-kuvveti (F_D) arasındaki oranı maksimize etmeyi amaçlamışlardır. Elde edilen sayısal sonuçlar, optimize edilmiş boşluğun sürüklenme marjını kontrol altında tuttuğunu, akış dalgalanmalarını engellediğini ve tasarım dışı koşullarda kaldırma-sürüklenme

oranını (F_L / F_D) önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Şekil 4 görüldüğü üzere, her iki kanat modelinin akış ayrışması ve ark izi bölgeleri oldukça farklıdır. Deney sonuçları ise, optimize edilmiş çukur kullanımının $AoA=14^\circ$ için %31 ve $AoA=20^\circ$ için %57, F_L/F_D oranında artış sağladığını göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, boşluğun şekli ve konumu gibi parametrelerin aerodinamik performans üzerinde önemli bir etkisi olduğunu doğrulamaktadır. Boşluğun doğru bir şekilde konumlandırılması, akışın ayrılmasını geciktirirken, boşluğun yanlış bir konuma getirilmesi aerodinamik performansta büyük bir düşüşe neden olabilir. Ayrıca, boşluğun sonunda bir çıkıntının oluşturulması, aerodinamik performansı artırıcı etkiye bulunmuştur. Optimize edilmiş boşluklu kanat profili, tasarım noktasındaki F_L / F_D daha düşük olsa da, rüzgâr türbini uygulamaları için daha geniş bir operasyonel aralık sunmaktadır. Bu, boşluğun Reynolds sayılarının geniş bir aralığında olumlu etkisinin sürdüğünü göstermektedir (Fatehi & ark., 2019).

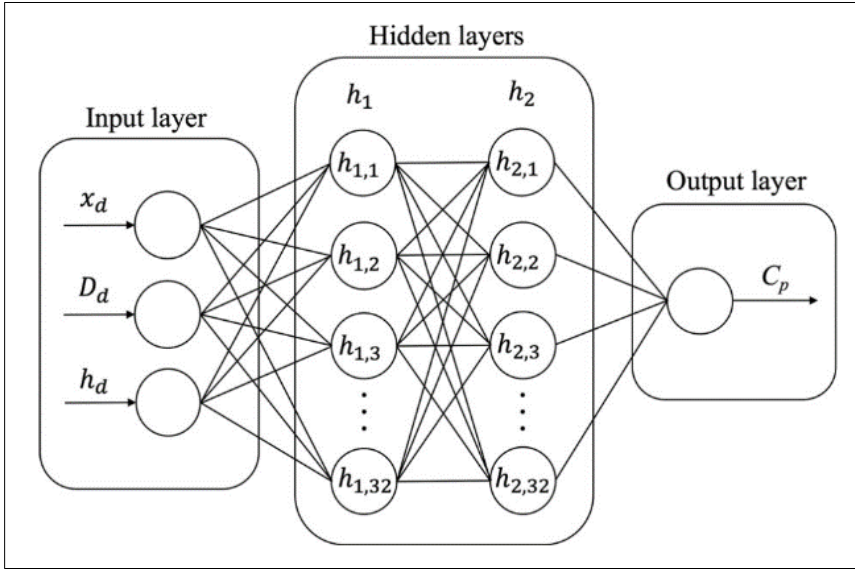


Şekil. 5 Bir çukurluğun konfigürasyonunu belirleyen üç parametre.

x_d , D_d ve h_d parametreleri sırasıyla çukurluğun pozisyonlarını, çemberinin çapını ve derinliğini tanımlar. a) ve b), h_d parametresi sırasıyla pozitif ve negatif olduğundaki durumları temsil eder (Yoo & Oh, 2021).

Yoo ve Oh (2021) DERT'in aerodinamik performansları üzerine boşluk geometrisinin etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada, boşluğun konumu, boyutu ve derinliği gibi üç ana parametreyi kullanarak, bir rüzgâr türbin kanadının alt yüzeyine monte edilen bir boşluğun en uygun konfigürasyonunu belirlemek için HAD simülasyonları ve optimizasyon teknikleri uygulanmıştır.

Şekil 5'de sunulan parametreler x_d , D_d ve h_d ; sırasıyla boşluğun pozisyonu, çapı ve derinliğini belirtmektedir. Bu parametreler, boşluk yapısını parametrize etmek ve optimizasyon gerçekleştirmek için kullanılmıştır. Optimizasyon, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve genetik algoritma kullanılarak $\lambda=2.5$ 'te yapılmıştır. Şekil 6'da ise YSA'nın yapılandırmasının grafiksel bir açıklaması bulunmaktadır. Tasarım parametreleri, her birinde 32 nöron bulunan iki gizli katmana sahip ANN kullanılarak eğitilmiştir. YSA'nın çıktısı olarak C_p belirlenmiştir.

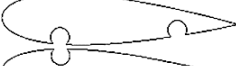
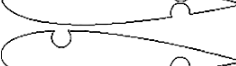
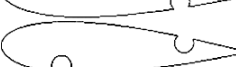
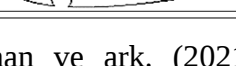


Şekil. 6 YSA'nın grafiksel açıklaması. Üç tasarım parametresi, her biri 32 nöron içeren iki gizli katmanlı bir YSA kullanılarak eğitilir. YSA'nın çıktısı güç katsayısı olarak ayarlanmıştır (Yoo & Oh, 2021).

Boşluğun aerodinamik performansa etkisi, boşluğun kanat ucu arkasına yaklaştıkça güç katsayısında (C_p) artış olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca, küçük boşluk boyutlarının performans artışında daha etkili olduğu ancak boşluk kanat ucu arkasına doğru hareket ettikçe bu etkinin azaldığı tespit edilmiştir. Optimal konfigürasyona sahip bir boşluk ile donatılmış rüzgâr türbini kanadı,

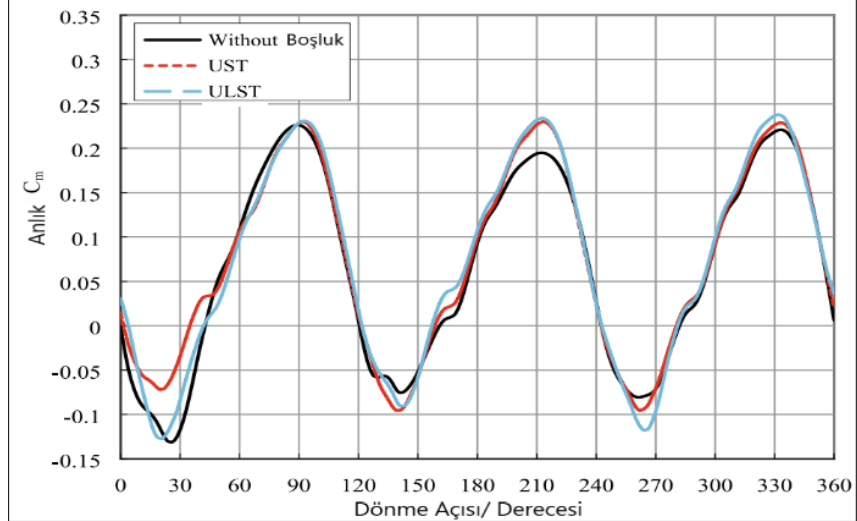
referans türbine göre %6.46'lık bir performans iyileştirmesi göstermiştir. Optimal ve referans rüzgar türbini kanatları arasındaki akış karşılaştırıldığında, optimal durumda kanat ark izinde azalma ve akış ayrılmasında gecikme gözlemlenmiştir, bu da optimal rüzgar türbininin referans türbinden daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamaktadır (Yoo & Oh, 2021).

Tablo 2. İki boşluklu kanat profilinin farklı konfigürasyonları (Roshan & ark., 2021).

Konfigürasyon	Kanat Şekli	Boşluk Pozisyonu	Kanat İsmi
#1		Upper surface (leading and trailing edges)	USLT
#2		Lower surface (leading and trailing edges)	LSLT
#3		Upper and lower surfaces (leading edge)	ULSL
#4		Upper and lower surfaces (trailing edge)	ULST
#5		Upper and lower surfaces (leading and trailing edges)	ULSLT
#6		Upper and lower surfaces (trailing and leading edges)	ULSTL

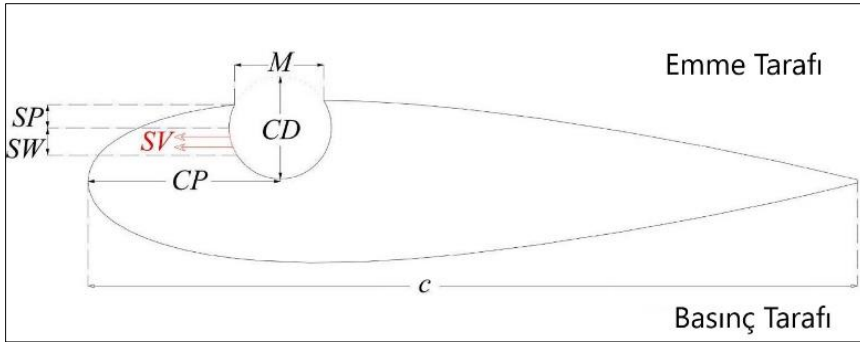
Roshan ve ark. (2021) Darrieus tipi DERT'lerin kanat profilindeki boşluk kullanımının avantajlarına odaklanmaktadır. Araştırmanın temel amacı, az rüzgârlı bölgelerde, özellikle kentsel alanlarda kullanılabilecek, düşük rüzgâr hızlarında yüksek ilk uyarı kapasitesine sahip ileri bir Darrieus DERT tasarlamaktır. Bu yeni tasarım, kanatların üzerindeki rüzgâr tarafından oluşturulan F_D 'den yararlanarak profildeki değişikliklere bağlıdır. Araştırmada, farklı boşluk şekilleri, sayıları, büyüklükleri ve kanat yüzeyindeki pozisyonları dikkate alınmıştır. Tablo 1'de farklı çift boşluk konfigürasyonları gösterilmişken, Şekil 7'de boşluğun farklı şekilleri ve $\lambda = 2$ 'de dönme açısı ile anlık C_m 'nin varyasyonu gösterilmektedir. Araştırma sonuçlarına göre, özellikle arka kenarın üst yüzeyinde oluşturulan boşluğun olduğu durumlarda, C_p ve C_m değerlerinin en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Konfügrasyon	Kanadın Şekli	Boşluğun Şekli
#1		Daire
#2		Eliptik
#3		Eğimli



Şekil. 7 a) Boşluğun farklı şekilleri ve **b)** $\lambda = 2$ iken dönme açısı ile anlık C_m 'nin değişimi (Roshan & ark., 2021).

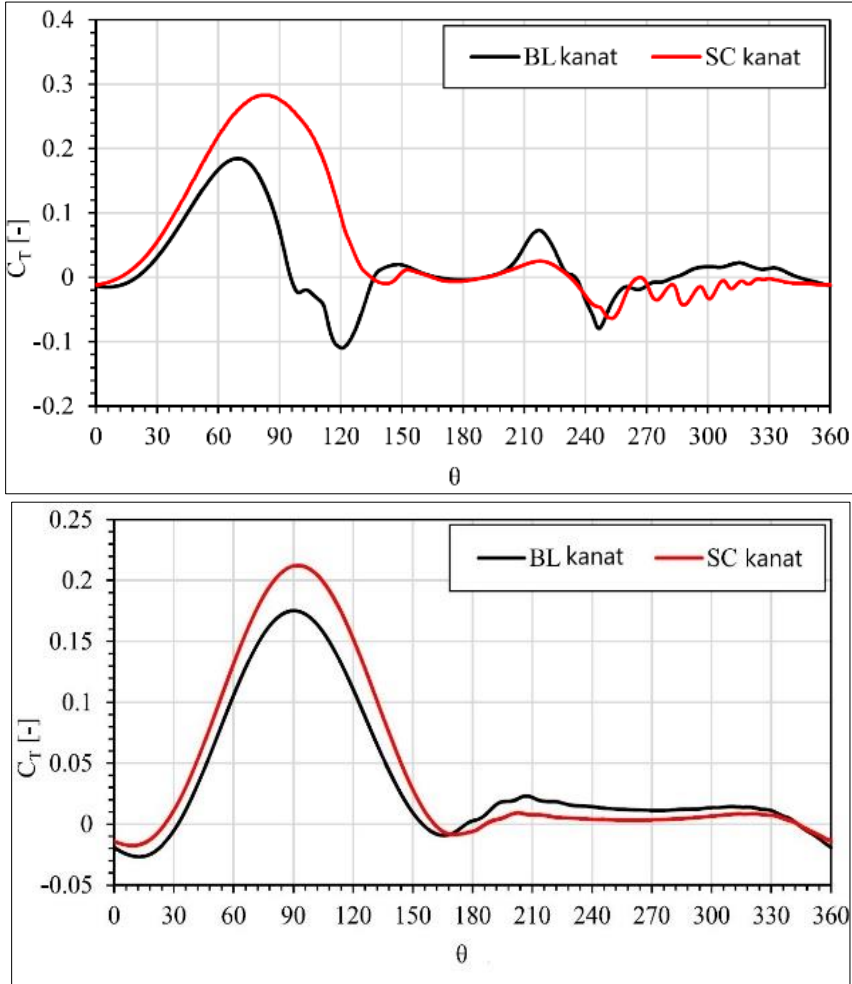
Araştırma, boşluk çapı $0.08 c$ olan bir durumda, $C_{P,ort.}$ %18 arttığını ortaya koymuştur, ancak boşluk çapı arttıkça bu iyileşmenin önemi azalmıştır. Ayrıca, çift boşluklu kanat profilleri arasında yapılan performans iyileştirmesi karşılaştırmasında, diğer çift boşluklu profillere göre ULST profili tercih edilmiştir. Bir boşluksuz kanat profiline kıyasla, bu profil $\lambda = 3.5$ 'de C_P yaklaşık %17 artırmıştır. Darrieus tipi DERT kanatlarında boşluk kullanımı, DERT'in genel performansında önemli bir faktör olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, kanat profillerindeki bu tür modifikasyonların, özellikle düşük rüzgâr hızlarında ilk uyarı kapasitesinin gelişmesine ve böylece düşük rüzgâr enerjisinden daha iyi yararlanılmasına olanak sağladığını göstermiştir (Roshan & ark., 2021).



Şekil. 8 Emiş boşluğu kısmındaki boşluğun geometrik parametreler (İbrahim & ark., 2022).

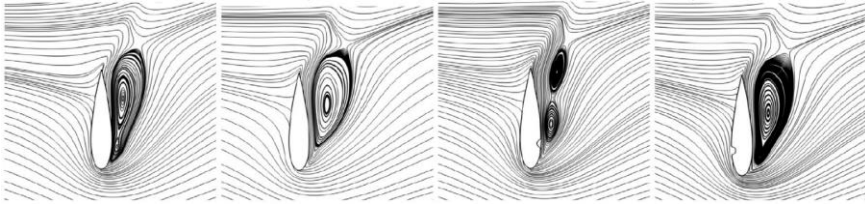
İbrahim ve ark., (2022) Darrieus tipi DERT'lerin aerodinamik verimliliğini artırma potansiyelini incelemişlerdir. Türbin kanatlarının emiş tarafında oluşturulan bir boşluk içinde hapsolmuş bir girdap yaratarak sınır tabaka kontrolü sağlamış, bu durumda C_{μ} artışı sağlamayı hedeflemektedir. Özellikle düşük λ 'da, aktif emiş boşluğu teknolojisinin entegre edildiği türbin kanatları, standart kanat tasarımlarına göre daha yüksek bir C_P sunduğunu belirlemişlerdir. Seçilen test durumu için, emiş boşluğuna sahip türbinin $C_{P,mak.}$ 0,435 değerine ulaşırken, standart model için bu oran 0,375'te kalıyor. Bununla birlikte, emiş oranı %0,35 olan bir

durumda, $C_{p,pik}$ 'de %28'lik bir net artış kaydedilmiş, bu da teknolojinin teorik olarak enerji bakımından uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Özellikle yüksek AoA'da, kanatların emiş tarafındaki sınır tabakasını kontrol altında tutma kabiliyeti sayesinde, rüzgâr türbininin, rüzgârın geldiği yön bölümünde önemli performans iyileştirmeleri elde edilmiştir.



Şekil. 9 a) $\lambda = 1.67$ 'deki ve b) $\lambda = 3.08$ 'deki C_M ile θ pozisyonunun (İbrahim & ark., 2022).

Şekil 8, emiş boşluğuna sahip kanat profillerinin geometrik parametrelerini sunarak, bu yenilikçi tasarımın detaylarını gözler önüne sererken, Şekil 9'da, farklı λ değerlerinde C_M 'nin θ pozisyonuna göre değişimini grafiksel olarak temsil ediyor. Bu grafikler, aktif kontrol tekniklerinin kullanılmasının, türbinin T üretim kapasitesi üzerinde doğrudan ve olumlu bir etkisi olduğunu vurgulamaktadır. Darrieus DERT'lerin ticarileşme potansiyelini artırabilecek boşluk performansının avantajlarını ve uygulanabilirliğini öne çıkararak, rüzgâr enerjisi teknolojileri alanında önemli bir adım atmıştır (İbrahim & ark., 2022).

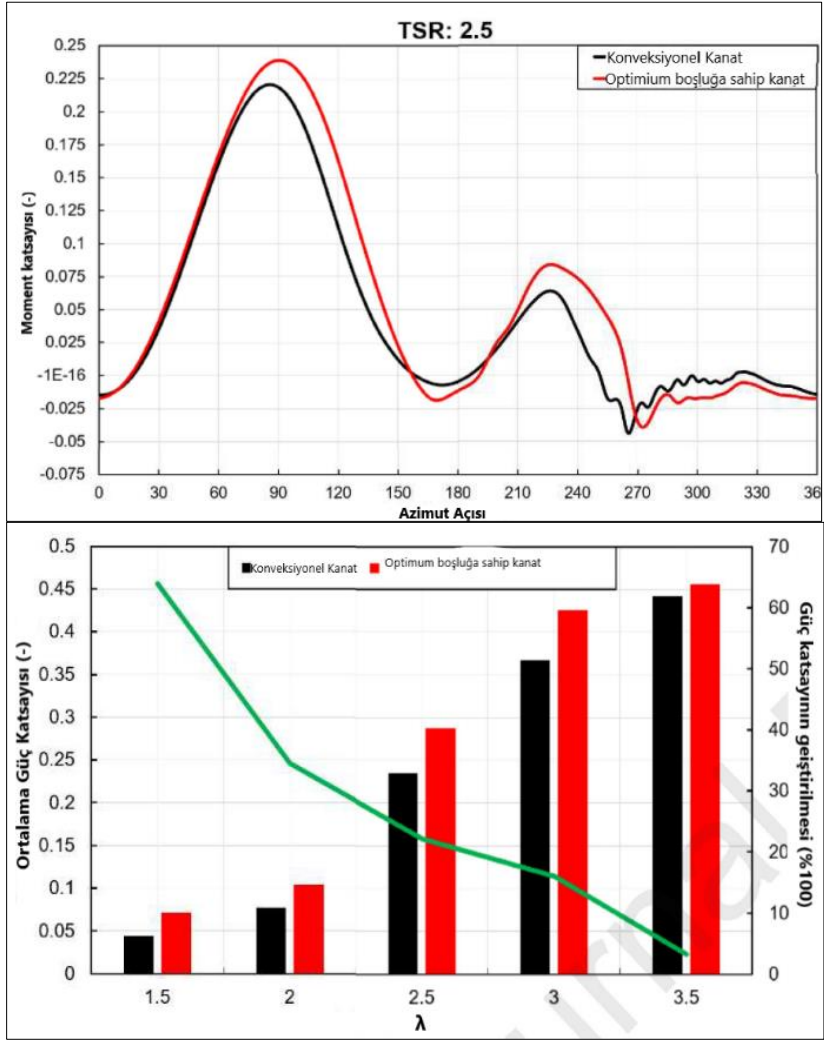


Şekil. 10 $AoA = 31.4^\circ$ ve $\lambda = 1.64$ için $\theta = 90^\circ$ 'deki, çap oranı 0.2 ve bağlantı açısı 45° olduğu durumda a) Darrieus, b) Hibrit, c) İç bükey hibrit ve d) Dış bükey hibrit kanadın akış çizgileri (Eltayesh & ark., 2023).

Eltayesh ve ark. (2023) gerçekleştirdiği çalışma, küçük ölçekli rüzgâr teknolojisinde performans artışını sağlayacak yenilikçi çözümleri araştırmaktadır. Bu araştırmada, daha etkili enerji üretimi ve daha stabil bir çalışma aralığı için bir Darrieus DERT üzerindeki hibrit rotor tasarımı ve yüzey özellikleri optimizasyonu ele alınmıştır. Araştırmanın odak noktası, türbin kanatları üzerine uygulanan boşluk tasarımıdır, bu pasif akış kontrol yöntemi, özellikle düşük λ 'larda olmak üzere, geniş bir rüzgâr rejimi yelpazesinde rotor performansını artırma potansiyelini kanıtlamıştır. Hibrit rotor, Darrieus ve Savonius türbinlerinin bir kombinasyonunu içerir; burada iç Savonius bölümü türbinin başlangıç T'sini artırırken, dış Darrieus bölümüne uygulanan boşluk, hava akışını düzenleyerek aerodinamik performansı iyileştirmektedir. HAD simülasyonları yoluyla elde edilen sonuçlar, bu tasarımların etkinliğini doğrulamış ve türbinin düşük λ 'da %47,5'e varan

performans artışı sağladığını göstermiştir. Özellikle 3 kanatlı Darrieus rotor için içbükey boşluk konfigürasyonu, 0.2 çap oranı ve 45 derece eklenti açısıyla en etkili yapılandırma olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, boşluk tasarımının, daha düşük $C_{p,max}$ sahip olmasına rağmen, özellikle türbülans akış koşullarında çalışan türbinler için en etkili çözüm olabileceğini vurgulamaktadır. Şekil 10'da, farklı λ değerlerinde ve 31.4° AoA'da, 3 kanatlı Darrieus rotorunun bir kanadının akış çizgileri gösterilmiştir, bu da boşlukların aerodinamik etkisini görselleştirmekte ve sonuçları pekiştirmektedir. Bu çalışması, yerel enerji üretiminde küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinin rolünü güçlendirecek şekilde, mevcut teknolojilerin sınırlarını genişletmeyi amaçlamaktadır.

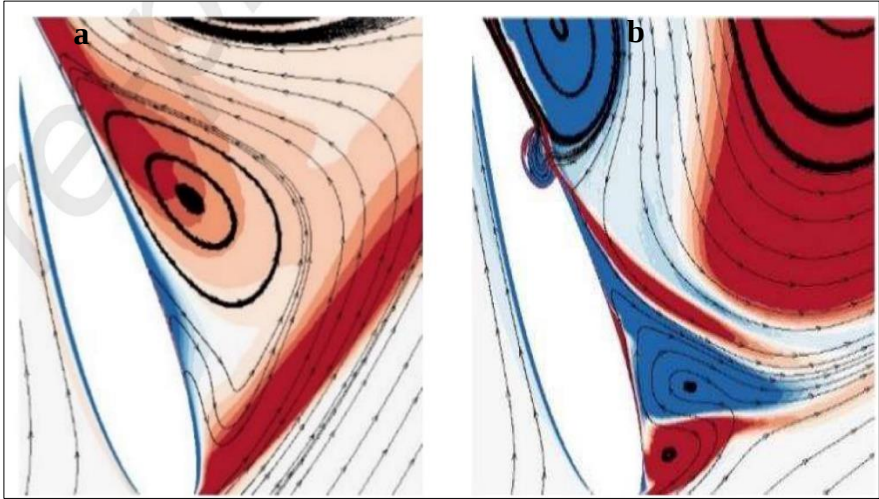
Abbaskhah ve ark. (2023) rüzgâr türbinlerinden elde edilen T ve itme kuvvetinin tahmin edilmesi için makine öğrenimi modellerinin uygulanabilirliğini araştırmaktadır. Boşluk ve orijinal kanatların yanı sıra deneysel verilerden oluşan üç farklı veri setini kullanarak dört nöral ağ modeli (Multilayer Perceptron - MLP ve Convolutional Neural Network - CNN) tasarlamışlardır. Bu modeller, sınırlı sayıda veriyle bile T ve itme kuvveti tahmininde yüksek doğruluk sağlamıştır. MLP modeli, on denemenin beşinde; CNN modeli ise on denemenin sekizinde CFD verileriyle uyumlu optimal noktaları başarıyla tespit etmiştir, bu da CNN modelinin MLP'ye kıyasla daha üstün olduğunu göstermektedir. Özellikle, CNN modelleri, hesaplama maliyetleri yüksek olan HAD simülasyonlarının yerini alabilecek potansiyele sahiptir. Sonuç olarak, geliştirilen model, T ve itme kuvveti tahminindeki başarıları ve HAD'e kıyasla düşük hesaplama maliyetleri ile rüzgar türbini performans tahmininde önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, boşluk uygulamasının performans üzerindeki olumlu etkisi vurgulanmaktadır.



Şekil. 11 a) $\lambda=2.0$ 'da anlık moment katsayısının davranışı b) Ortalama güç katsayılarının karşılaştırılması (Javaid ve ark., 2023)

Javaid ve ark. (2023) gerçekleştirdiği bu çalışma, DERT'in düşük λ 'larda C_p 'yi artırma amacı gütmektedir. Araştırmada, NACA 0018 kanat profilinin emiş tarafına yerleştirilen optimum boşluk

şekli, genetik algoritma ve Gaussian Süreç Regresyonu (GPR) modeli kullanılarak, statik irtifa kaybı açısından izole edilmiş bir ortamda bulunmuştur, böylece optimizasyon sürecinin hesaplama maliyeti düşürülmüştür. GPR modelleri, F_L ve F_D 'yi tahmin etmek için kullanılmış ve F_L/F_D optimizasyon algoritmasında bir hedef fonksiyon olarak belirlenmiştir. Başlangıçta 80 HAD koşusu için eğitim ve testler kullanılmış, bu da saf HAD tabanlı bir optimizasyon yaklaşımına göre hesaplama çabasını %97 oranında azaltmıştır. GPR modelleri tarafından tahmin edilen optimum boşluk şeklinin aerodinamik verimliliği, HAD simülasyonu ile doğrulanmış ve yalnızca %0.5'lik bir fark göstermiştir.



Şekil. 12 110 derece azimut açısında a) konveksiyonel Kanat ve b) Optimum Boşluklu Kanat için boyutsuz Girdap dağılımı (Javaid ve ark., 2023)

Optimum boşluk şekline sahip bir kanat profilinde, aerodinamik verimlilik düşük AoA'da tutarlıyken, irtifa kaybı bölgesine yakın olan $AoA=16^\circ$, konveksiyonel kanat profiline kıyasla %31.8'e varan önemli bir artış gözlenmiştir. Temel DERT'in kanatları üzerine yerleştirilen optimum boşluk, $\lambda=1.5$ 'te %63.8'lik C_p artışı sağlamıştır. Ayrıca, $\lambda = 2, 2.5, 3$ ve 3.5 'te sırasıyla %34.4,

%22.2, %16.1 ve %3.2 oranında C_p artışı elde edilmiştir. Bu, düşük λ 'larda içerisindeki girdabı hapsederek akışı kontrol etmede oldukça etkili olan optimum boşluk şeklinin performans artışı için sunduğu potansiyeli göstermektedir. Javaid ve ekibinin çalışmasında sunulan şekillerde, bu bulguların somut kanıtlarıdır. Şekil 11, $\lambda=2$ 'da anlık moment katsayısının davranışını ve $C_{p,ort.}$ karşılaştırmasını yapmaktayken ve Şekil 12, 110° azimut açısında konveksiyonel kanat ve optimum boşluklu kanat için girdap dağılımını sergilemektedir. Bu görseller, optimum boşluğun tasarımının aerodinamik verimlilik ve güç üretimi üzerindeki etkilerini net bir şekilde göstermekte ve bu yenilikçi yaklaşımın DERT'lerin güç performansını önemli ölçüde iyileştirebileceğini teyit etmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada kapsamlı literatür araştırması, DERT'lerde kullanılan boşluk tasarımlarının aerodinamik performansı önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Optimize edilmiş boşluk tasarımlarının, kanat profillerinde akış kontrolünü geliştirdiği ve böylece düşük λ 'larda bile türbin kanatlarının enerji üretim kapasitesini ciddi bir şekilde artırabildiği literatürde belgelenmiştir. Bu tasarım yaklaşımlarının, kanatların aerodinamik verimliliğini ve başlangıç momentini iyileştirerek, türbinlerin düşük rüzgâr hızlarında dahi etkin bir biçimde çalışmasına olanak tanıdığı anlaşılmaktadır.

Boşluğun aerodinamik avantajları, özellikle kanatların hava akışı ile etkileşim noktalarında gözlemlenmiş, bu da irtifa kaybı olayını geciktirerek F_L artırarak, C_p 'nin geliştirilmesini sağlamaktadır. Aerodinamik iyileştirmelerin yanı sıra, boşluk tasarımının türbinlerin ilk harekete geçme kabiliyetini geliştirdiği ve bu sayede daha geniş bir rüzgâr hızı aralığında enerji üretimine imkân tanıdığı bulgular arasındadır.

Sonuç olarak, boşluk konseptinin, DERT'lerde aerodinamik performansın ve operasyonel verimliliğin artırılmasında kritik bir rol oynadığı, geniş çaplı literatür taraması ile desteklenmiştir. Rüzgâr

türbinlerinin enerji üretim verimliliğini ve mekanik dayanıklılığını artırmak amacıyla, boşluk tasarım ve optimizasyonu, geleceğe yönelik araştırmalar için güçlü bir temel oluşturmaktadır. Bu tür yenilikçi tasarım yaklaşımları, rüzgâr enerjisi teknolojilerinin etkinliğini artırarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş çaplı kullanımının önünü açmaktadır. Bu çalışma, boşluk tasarımlarının DERT'lerde güç ve T performansını nasıl artırdığı konusunda bilgi vererek, bu alanda yapılacak gelecek çalışmalar için önemli bir referans ve kılavuz niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Abbaskhah, A., Sedighi, H., Akbarzadeh, P., & Salavatipour, A. (2023). Optimization of horizontal axis wind turbine performance with the dimpled blades by using CNN and MLP models. *Ocean Engineering*, 276, 114185. Doi: 10.1016/j.oceaneng.2023.114185

Chen, W. H., Wang, J. S., Chang, M. H., Hoang, A. T., Lam, S. S., Kwon, E. E., & Ashokkumar, V. (2022). Optimization of a vertical axis wind turbine with a deflector under unsteady wind conditions via Taguchi and neural network applications. *Energy Conversion and Management*, 254, 115209. Doi: 10.1016/j.enconman.2022.115209.

Chowdhury, H., Loganathan, B., Wang, Y., Mustary, I., & Alam, F. (2016). A study of dimple characteristics on golf ball drag. *Procedia engineering*, 147, 87-91. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.194

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

Elkhoury, M., Kiwata, T., & Aoun, E. (2015). Experimental and numerical investigation of a three-dimensional vertical-axis wind turbine with variable-pitch. *Journal of wind engineering and Industrial aerodynamics*, 139, 111-123. Doi: 10.1016/j.jweia.2015.01.004.

Eltayesh, A., Castellani, F., Natili, F., Burlando, M., & Khedr, A. (2023). Aerodynamic upgrades of a Darrieus vertical axis small wind turbine. *Energy for Sustainable Development*, 73, 126-143. Doi: 10.1016/j.esd.2023.01.018.

Eriksson, S., Bernhoff, H., & Leijon, M. (2008). Evaluation of different turbine concepts for wind power. *Renewable and*

Sustainable Energy Reviews. 12(5), 1419-1434. Doi: 10.1016/j.rser.2006.05.017

Fatehi, M., Nili-Ahmadabadi, M., Nematollahi, O., Minaiean, A., & Kim, K. C. (2019). Aerodynamic performance improvement of wind turbine blade by boşluk shape optimization. Renewable Energy. 132, 773-785. Doi:10.1016/j.renene.2018.08.047.

Ghandriz, Y., Noorbakhsh, S. M. Z., Gavagsaz-Ghoachani, R., & Phattanasak, M. (2021). Effect of wide observation of nature in renewable energy engineering education. Research, Invention, and Innovation Congress: Innovation Electricals and Electronics (RI2C), 01-03 Sep 2021, Bangkok, Thailand, (pp. 193-198).

Guo, J, Zeng, P, Lei, L. (2019). Performance of a straight-bladed vertical axis wind turbine with inclined pitch axes by wind tunnel experiments. Energy. 174:553–61. Doi:10.1016/j.energy.2019.02.177

Hand., B., Kelly., G., & Cashman, A. (2021). Aerodynamic design and performance parameters of a lift-type vertical axis wind turbine: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 139, 110699. Doi:10.1016/j.rser.2020.110699.

Hansen, K., Breyer, C., & Lund, H. (2019). Status and perspectives on 100% renewable energy systems. Energy. 175:471–80. Doi:10.1016/j.energy.2019.03.092

Ibrahim, A. A., Elbaz, A. M., Melani, P. F., Mohamed, O. S., & Bianchini, A. (2022). Power augmentation of Darrieus wind turbine blades using trapped vortex boşluk. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 223, 104949. Doi:10.1016/j.jweia.2022.104949.

Javaid, M. T., Sajjad, U., ul Hassan, S. S., Nasir, S., Shahid, M. U., Ali, A., & Salamat, S. (2023). Power enhancement of vertical axis wind turbine using optimum trapped vortex boşluk. Energy. 278, 127808. Doi:10.1016/j.energy.2023.127808.

Kaya, A. F., Tanürün, H. E., & Acır A. (2021). Numerical investigation of radius dependent solidity effect on H-type vertical axis wind turbines. *Politeknik Dergisi*. 25(3), 1007-1019. Doi:10.2339/politeknik.799767.

Kuang, L., Zhang, R., Su, J., Shao, Y., Zhang, K., Chen, Y., Zhang, Z., Tu, Y., Zhuo, D., Han, Z., Bao, Y. & Cao, Y. (2023). Systematic investigation of effect of rotor solidity on vertical-axis wind turbines: Power performance and aerodynamics analysis. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 233, 105284. Doi:10.1016/j.jweia.2022.105284.

Li, Y., Zhao, S., Tagawa, K., & Feng, F. (2018). Starting performance effect of a truncated-coneshaped wind gathering device on small-scale straight-bladed vertical axis wind turbine. *Energy Convers Manage*. 167, 70–80. Doi:10.1016/j.enconman.2018.04.062.

Mishra, N., Jain, A., Nair, A., Khanna, B., & Mitra, S. (2020). Numerical and experimental investigations on a dimpled savonius vertical axis wind turbine. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 10(2), 646-653.

Peng, H. Y., Liu, M. N., Liu, H. J., & Lin, K. (2022). Optimization of twin vertical axis wind turbines through large eddy simulations and Taguchi method. *Energy*. 240:122560. Doi: 10.1016/j.energy.2021.122560.

Posa, A. (2021). Secondary flows in the wake of a vertical axis wind turbine of solidity 0.5 working at a tip speed ratio of 2.2. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 213, 104621. Doi:10.1016/j.jweia.2021.104621.

Rainbird, J. M., Bianchini, A., Balduzzi, F., Peiró, J., Graham, J. M. R., Ferrara, G, & Ferrai L. (2015). On the influence of virtual camber effect on airfoil polars for use in simulations of Darrieus wind turbines. *Energy Convers Manage*. 106:373–84. Doi: 10.1016/j.enconman.2015.09.053.

Rezaeiha, A., Montazeri, H., & Blocken, B. (2018). Characterization of aerodynamic performance of vertical axis wind turbines: Impact of operational parameters. *Energy Conversion and Management*. 169, 45-77. Doi:10.1016/j.enconman.2018.05.042.

Riegler H. (2003). HAWT versus VAWT: Small VAWTs find a clear niche. *Refocus*. 4:44–6.

Roshan, M. Y., Khaleghinia, J., Nimvari, M. E., & Salarian, H. (2021). Performance improvement of Darrieus wind turbine using different boşluk layouts. *Energy Conversion and Management*. 246, 114693. Doi:10.1016/j.enconman.2021.114693.

Shigetomi, A., Murai, Y., Tasaka, Y., & Takeda. Y. (2011). Interactive flow field around two Savonius turbines. *Renewable Energy*. 36(2):536–45. Doi: 10.1016/j.renene.2010.06.036.

Sobhani, E., Ghaffari, M., & Maghrebi, M. J. (2017). Numerical investigation of dimple effects on darrieus vertical axis wind turbine. *Energy*. 133, 231-241. Doi:10.1016/j.energy.2017.05.105

Su, H., Dou, B., Qu, T., Zeng, P., & Lei, L. (2020). Experimental investigation of a novel vertical axis wind turbine with pitching and self-starting function. *Energy Conversion and Management*. 217, 113012. Doi:10.1016/j.enconman.2020.113012.

Sun, S. Y., Liu, H. J., & Peng, H. Y. (2023). Power performance and self-starting features of H-rotor and helical vertical axis wind turbines with different airfoils in turbulence. *Energy Conversion and Management*. 292, 117405. Doi:10.1016/j.enconman.2023.117405

Talhar ,A. S, & Bodkhe, S. B. (2019) The global survey of the electrical energy distribution system: a review. *Internat J Electric Comput Eng*. 9:2247. Doi:10.11591/ijece.v9i4.pp2247-2255.

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

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

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

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

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

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

Tian, W., Mao, Z., & Ding, H. (2019). Numerical study of a passive-pitch shield for the efficiency improvement of vertical axis wind turbines. *Energy conversion and management*, 183, 732-745. Doi: 10.1016/j.enconman.2019.01.006.

Xu, Z., Feng, Y-H., Zhao, C-Y., Huo, Y-L., Li, S., Hu, X-J., & Zhong Y-J. (2018). Experimental and numerical investigation on aerodynamic performance of a novel disc-shaped wind rotor for the small-scale wind turbine. *Energy Convers Manage*. 175, 173–91. Doi:10.1016/j.enconman.2018.09.003

Yoo, S., & Oh, S. (2021). Flow analysis and optimization of a vertical axis wind turbine blade with a dimple. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 15(1), 1666-1681. Doi:10.1080/19942060.2021.1989041

Zamani, M., Maghrebi, M. J., & Varedi S. R. (2016). Starting torque improvement using J-shaped straight-bladed Darrieus vertical axis wind turbine by means of numerical simulation. *Renewable Energy*. 95, 109–26. Doi:10.1016/j.renene.2016.03.069

BÖLÜM III

L Tipi Isı Borusunda Değişen Akışkan Debisinin Isı Transfer Değişimine Etkisi

Mehmet Akif KARTAL¹

Giriş

Eşanjör, esasında iki akışkanın aralarındaki transferin ısı temelinde gerçekleşmesini tedarik eden bir vasıtaadır. Bu vasıta sayesinde iki akışkanın birbirlerine karışmasına mani olarak ısı transferinin gerçekleşmesi ve sıcaklık değişiminin sağlanmasıyla ayırt edici özelliğini oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle bu ekipmanlar ortamdan enerji almadan ya da zorlayıcı bir etki olmadan sıcaklıkların enerji transferiyle değişime uğradığı vasıtalar olarak genel anlamda ifade edilebilmektedir. Isıtma-soğutma alanında da kullanılabilen bu ekipmanlar sanayide ve endüstride geniş kullanım yelpazesine sahip olmaktadır. Bu ekipmanların çalışma prensipleri

¹ Öğretim Görevlisi Doktor, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, mkartal@bandirma.edu.tr

akışkanlardan birinin sıcaklığını yükseltirken diğerinin sıcaklığını da düşürmekte olduğu temel prensip bazında benzeşirler. Enerjinin değişim yönü sıcaktan soğuğa doğru yönelim göstermektedir [1-2].

Isının enerji olarak tanımlandığı ortamda her zaman enerji akışı sıcaklığın yüksek olduğu yerden düşük olan tarafa doğru olduğu ifade edilebilmektedir. Bu mekanizma enerji dengesinin gerçekleştiği ana kadar devam edilebileceği söylenebilmektedir. Isı transferinin gerçekleşebilmesi için aradaki enerji farkının oluşması gerekmekte ve transfer alanı ile doğru orantılı, kalınlık ile ters orantılı olarak değişebildiği bilinmektedir. Isının konveksiyonla yayılmasında yine sıcaklık farkı rol oynamaktadır. Sıcak hava ısınır ve yoğunluğu düşerek yükselir ve aynı şekilde soğuk hava yoğunluğu sıcak havaya göre daha yüksek kalır o yüzden o da diplerde birikerek yer değiştirir ve konveksiyonla iletim ve ısının iletilmesi sağlanabilmektedir [3-4].

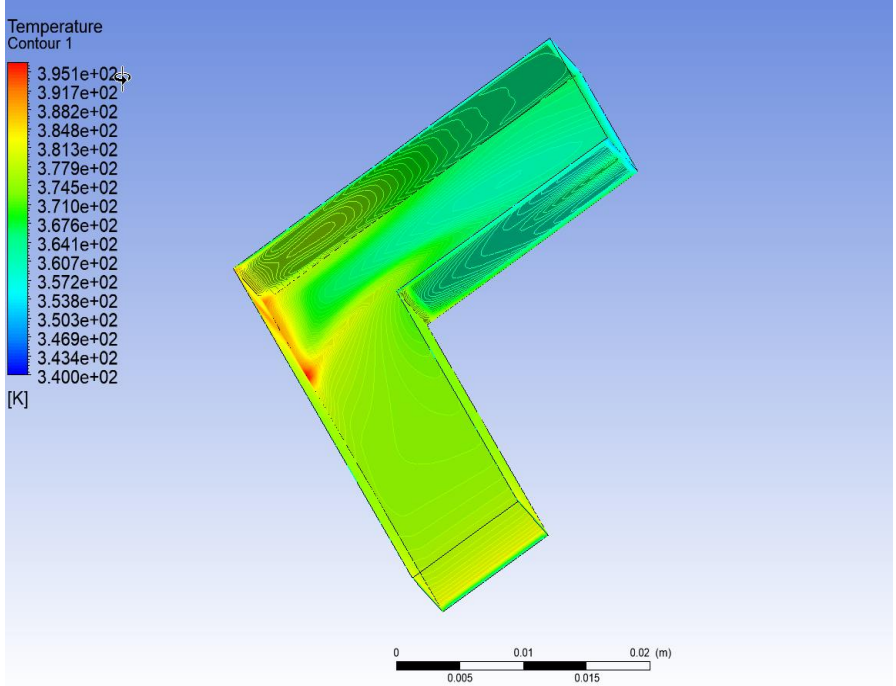
Katı, sıvı ve gaz akışkanlarında görülebilen kondüksiyon ile ısı iletiminde enerjisi yüksek partiküllerden düşüğe doğru bir madde içerisinde akma prosesi olarak tanımlanabilmektedir. Sıvı ve gaz akışkanlarında moleküllerin rastgele olarak çarpışması sonucunda kondüksiyon ile ısı iletimleri gerçekleşebilmektedir [5].

Elektromanyetik dalgalar halinde ise yayılımların radyasyon ile iletilmesi söz konusu olabilmektedir. Bu iletim tarzında nasıl güneşin dünyayı ısıtması gibi aracı bir vasıtaya gerek duymuyorsa radyasyonla iletimde de gerek duymamaktadır [6].

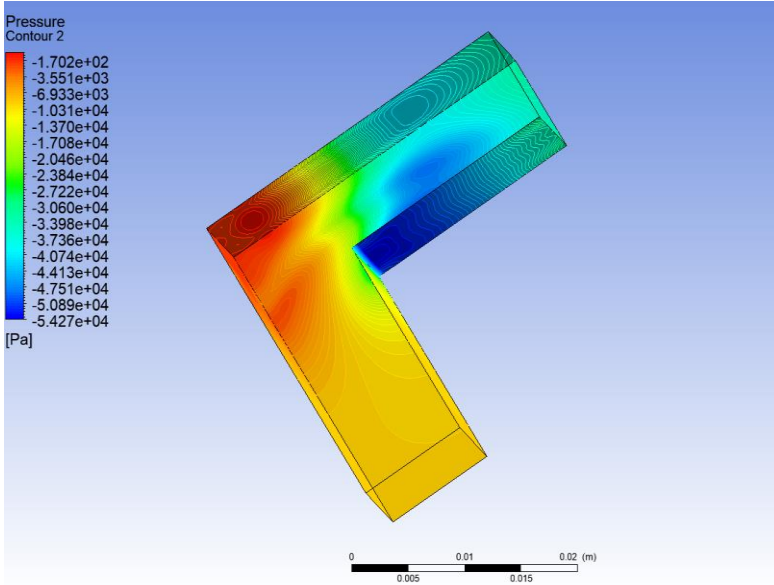
Isı değiştiricilerinde akışkan hızının değişimi ve debi değerleri ısı transferinin iletilmesinde ve değişiminde önem kazanmaktadır. Çalışmada L tipi bir ısı borusu kullanılmıştır. L tipi ısı borusunun girişte sıcaklığı 340°C’de olan suyun akışkan debisinin farklı kütleli debiler olan 0.5 kg/s, 1.0 kg/s, 1.5 kg/s ve 2.0 kg/s ‘deki değişimleri incelenmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Farklı Debilerdeki L Tipi Isı Borusunun Analizi

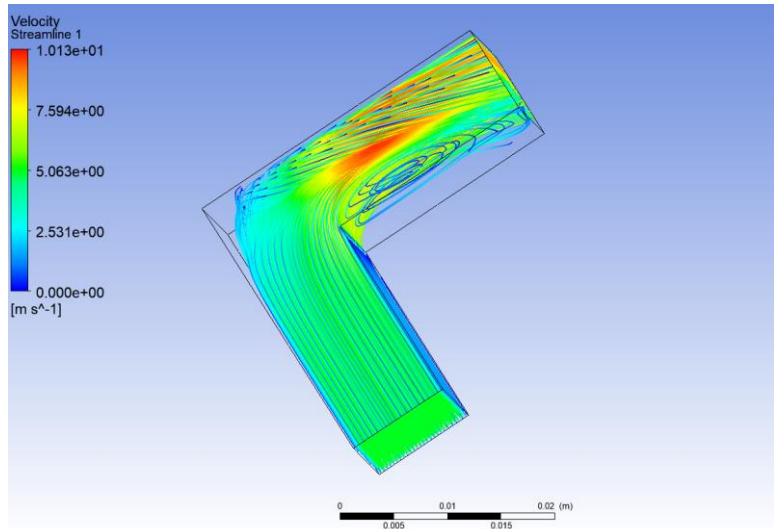
L tipi ısı borusunda kütlelesel debilerin suyun akışkan debisinin farklı kütlelesel debiler olan 0.5 kg/s, 1.0 kg/s, 1.5 kg/s ve 2.0 kg/s 'deki değişimleri olması durumunda akış davranışında değişiklikler meydana gelmektedir. Bu davranışları kullandığımız program sayesinde simüle ettiğimizde aşağıdaki verilerin elde edildiği gözlemlenmektedir.



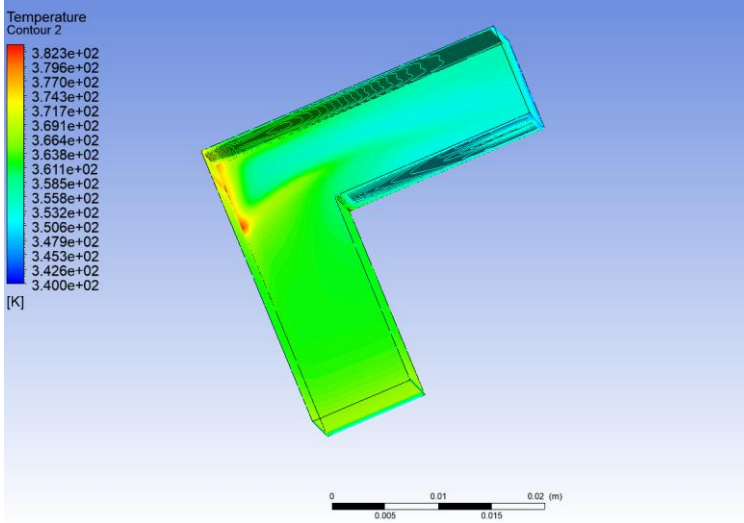
Şekil 1. L tipi ısı borusu debinin 0.5 kg/h olması durumundaki sıcaklık değişimi



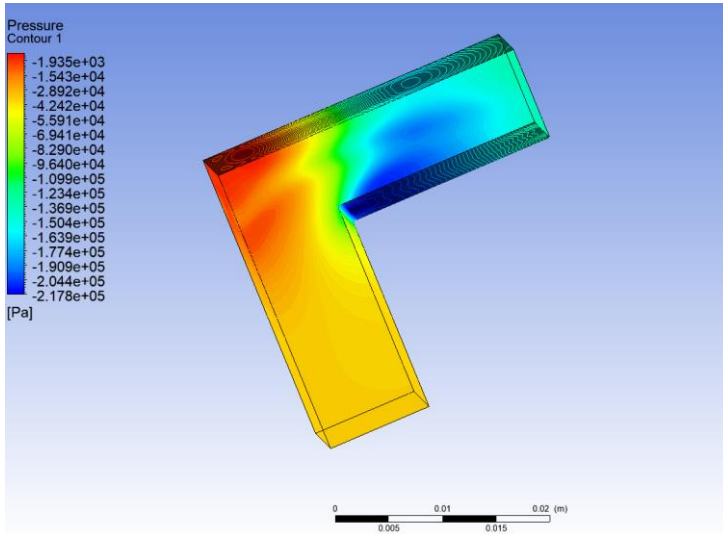
Şekil 2. L tipi ısı borusu debinin 0.5 kg/h olması durumundaki basınç değişimi



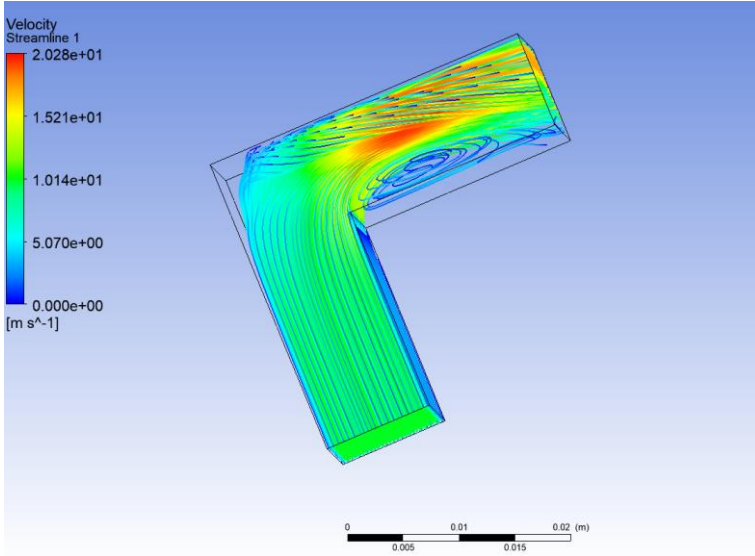
Şekil 3. L tipi ısı borusu debinin 0.5 kg/h olması durumundaki hız akış çizgileri



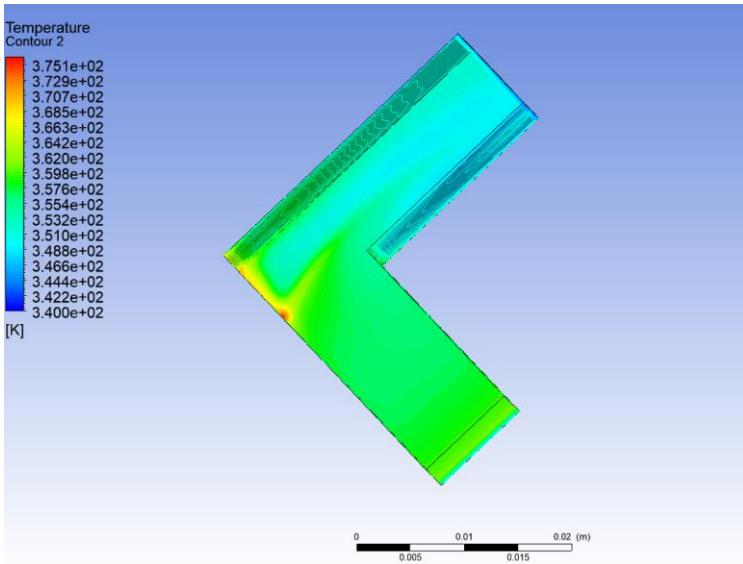
Şekil 4. L tipi ısı borusu debinin 1.0 kg/h olması durumundaki sıcaklık değişimi



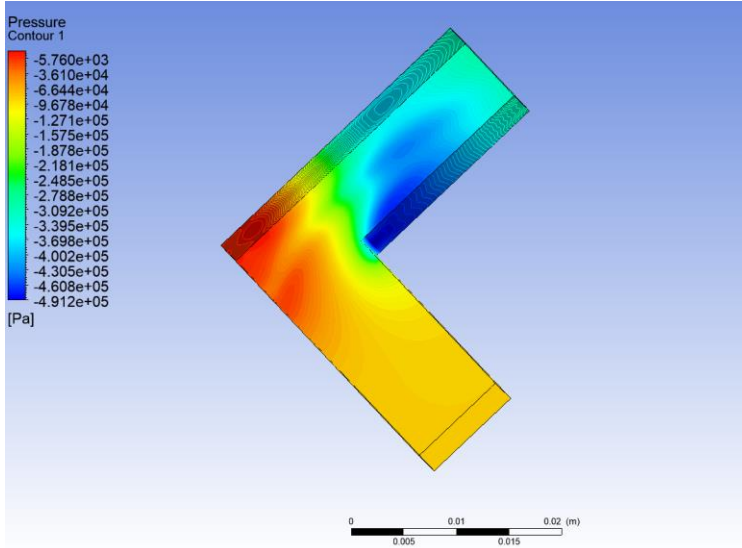
Şekil 5. L tipi ısı borusu debinin 1.0 kg/h olması durumundaki basınç değişimi



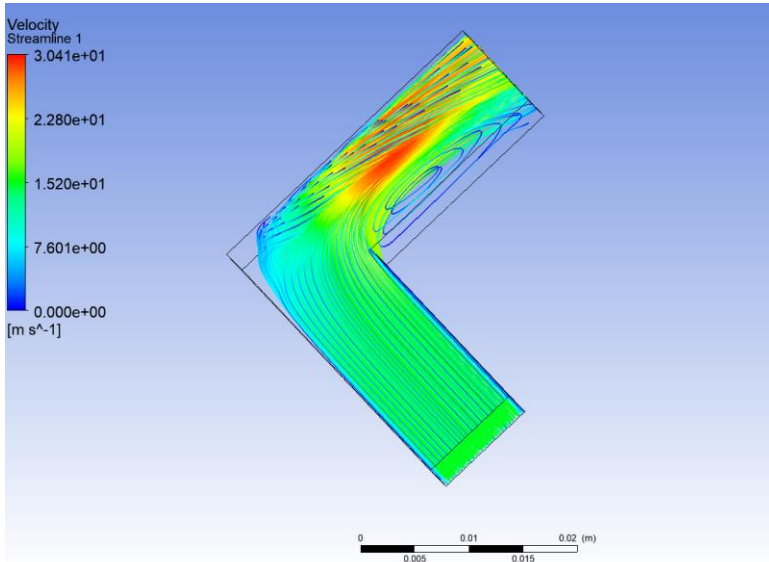
Şekil 6. L tipi ısı borusu debinin 1.0 kg/h olması durumundaki hız akış çizgileri



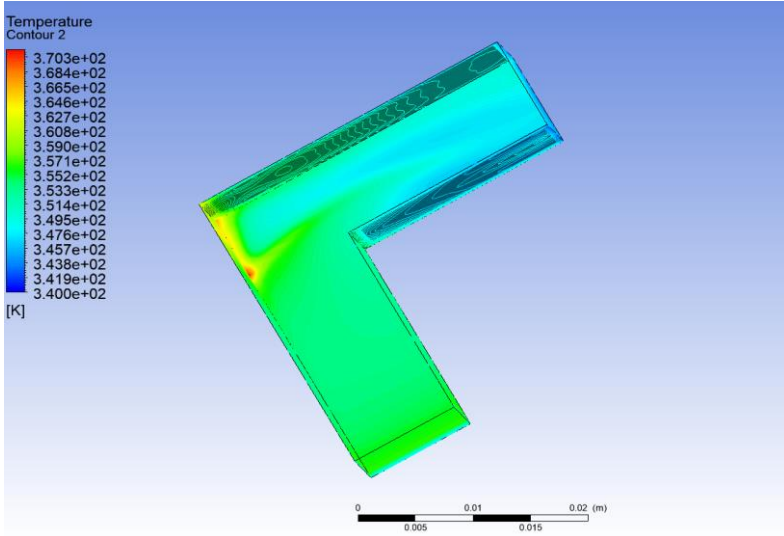
Şekil 7. L tipi ısı borusu debinin 1.5 kg/h olması durumundaki sıcaklık değişimi



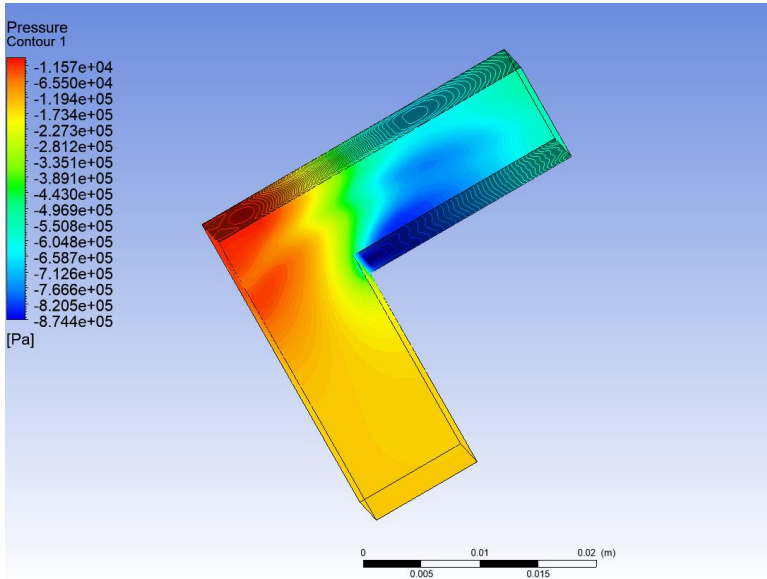
Şekil 8. L tipi ısı borusu debinin 1.5 kg/h olması durumundaki basınç değişimi



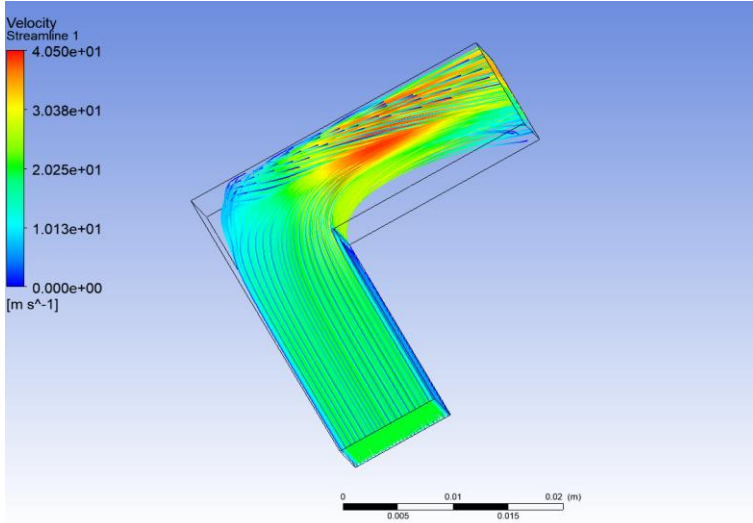
Şekil 9. L tipi ısı borusu debinin 1.5 kg/h olması durumundaki hız çizgileri dağılımı



Şekil 10. L tipi ısı borusu debinin 2.0 kg/h olması durumundaki sıcaklık değişimi



Şekil 11. L tipi ısı borusu debinin 2.0 kg/h olması durumundaki basınç değişimi



Şekil 12. L tipi ısı borusu debinin 2.0 kg/h olması durumundaki hız çizgileri dağılımı

L tipi ısı borusunda 0.5 kg/s, 1.0 kg/s, 1.5 kg/s ve 2.0 kg/s ‘deki dört farklı kütleli debide gerçekleşen analizlerde akışkan davranışının değişimleri gözlemlenmiştir. Şekil 1’e göre 0.5 kg/h olan debide gerçekleşen analizde boru sıcaklığı 450 K ve et kalınlığı 0.02m olarak belirlenmiştir. Buna göre suyun homojen bir sıcaklık dağılımı olmakla birlikte L borusunun köşe kısımlarında sıcaklığın yükselerek kırmızı turuncu bölgeye kadar sıcaklığının yükseldiği tespit edilmiştir. Şekil 4, Şekil 7 ve Şekil 10’da kütleli debinin artmasıyla birlikte sıcaklık dağılımının yer yer değişerek turkuaz-mavi bölgesine doğru gerilediği gözlemlenebilmiştir.

Şekil 2’ye göre basınç dağılımının 0.5 kg/h debi değerinde olduğu durumda analizler gerçekleştirilmiştir. Buna göre, basınç değerinin yer yer değiştiği gözlemlenirken L ısı borusunun köşe kısmında basınç değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Arkasından debilerin arttığı durumlarda da Şekil 5, Şekil 8 ve Şekil 11 gösterilmiştir.

Şekil 3'e göre hız dağılım çizgilerinin 0.5 kg/h olduğu durum analizlere tabii tutulmuştur. En yoğun girdap bölgesinin debinin 0.5 kg/h olduğu durumda gözlemlenebilmiştir. Akışkan debisinin arttıkça girdap bölgesinin azalarak 2.0 kg/h olduğu durumda gözden kaybolduğu tespit edilmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, L tipindeki ısı borusunun basınç düşüşü ve ısı transferine etkileri incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Kullanılan sıvının kütsel debisinin artmasıyla girdap bölgesinin azalarak 2.0 kg/h olduğu durumda gözden kaybolduğu tespit edilmiştir. En düşük debi değeri 0.5 kg/h değerinde L borusunun köşe kısımlarında sıcaklığın yükselerek kırmızı turuncu bölgeye kadar sıcaklığının yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, kütsel debinin artmasıyla birlikte sıcaklık dağılımının yer yer değişerek turkuaz-mavi bölgesine doğru gerilediği gözlemlenebilmiştir.

En düşük debi değeri 0.5 kg/h değerinde basınç değerinin yer yer değiştiği gözlemlenirken L ısı borusunun köşe kısmında basınç değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Debi değerinin artmasıyla birlikte basınç düşüşü artış göstermekte olduğu gözlemlenebilmiştir. En yüksek basınç düşüşünün en yüksek akışkan debisinin 2.0 kg/h olduğu değerde olduğu sonucu çıkarılmıştır.

KAYNAKÇA

[1] A.T. İnan, H. Köten, M.A. Kartal. Experimental comparison and CFD analysis of conventional shell and tube heat exchanger with new design geometry at different baffle intervals. Numer. Heat Tran., Part A: Applications, 83 (5) (2023), pp. 522-533.

[2] İnan AT, Köten H, Kartal M.A. CFD analysis and comparison of conventional type and perforated plate type shell tube heat exchangers. International Journal of Low-Carbon Technologies 2022;17:1280–91.

[3] Kartal M.A., FEYZİOĞLU A. Numerical analysis of multipurpose shell-tube-heat exchanger withal stylized geometry at different baffle gaps and various flow rates. Case Studies in Thermal Engineering 52 (103810).

[4] E.U. Schlunder (Ed.), Heat Exchanger Design Handbook, vol. 3, Hemisphere Publishing Corporation, 1986.

[5] Hugh D. Young-Roger A. Freedman, 2009. University Physics; ISBN 10:0-321-50130-6 sf 596

[6] Aksoy M. H. Santrifüj Pompa Çarkındaki Akış Karakteristiklerinin HAD Ve PIV Yöntemi İle İncelenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Türkiye (2018).

BÖLÜM IV

Otomatik Kontrollü Briketleme Aracı Tasarımı

Abdulkadir İNCİ¹
Burcu YALÇINSOY KARADAYI²
Aden GÜNSÜREN³
Berat Fırat DALĞIÇ⁴

Giriş

Günümüzde talaşlı imalat yapan endüstriyel işletmelerde bulunan CNC cihazları atığı demir talaşı, konveyörü ve demir talaşı briketleme cihazı incelenmiş, demir talaşlarının briketlenmesi bor yağının geri dönüşümünün sağlanması hedeflenmiştir.

Mevcut briketleme cihazları işletmelerin atıl bir bölgesine konumlandırılıyor ve işletme içerisindeki bütün konveyörler

¹ Abdulkadir İNCİ, Proje Uzmanı, Koluman Otomotiv Endüstri

² Burcu YALÇINSOY KARADAYI, Proje Uzmanı, Koluman Otomotiv Endüstri

³ Aden GÜNSÜREN, Proje Uzmanı, Koluman Otomotiv Endüstri

⁴ Berat Fırat DALĞIÇ, Sistem Uzmanı, Koluman Otomotiv Endüstri

briketleme cihazına götürülerek talaşların hidrolik pres yardımıyla briketleme işlemi yapılması sağlanmaktadır. Tasarlanan proje ile bu işle görevlendirilen çalışanları firma içerisinde farklı alanlarda değerlendirilmesi sağlanacaktır. Ayrıca konveyörler dolu iken son derece ağır olduğunda konveyörleri boşaltmakla görevli çalışanlarda zamanla bedensel yıpranmalar meydana geliyor ve mesleki hastalıklar ortaya çıkabiliyor. Tasarlanan proje briketleme cihazlarının eksiklerini ortadan kaldırmasının yanında çalışan sağlığı açısından da iyileşmeler meydana getiriyor.

Bu çalışmada tasarlanan aracın çalışma prensibinden bahsedilmiş, mekanik ve elektriksel bileşenlerinin bir kısmı tanıtılmış olup devre şemalarına ve projenin üç boyutlu görünümüne yer verilmiştir. Tasarım Solid Works çizim programında çizilmiş ve simüle edilmiştir. Proteus simülasyon programı kullanılarak tasarımın elektronik kısmı simüle edilmiştir.

1.1. Demir Talaşı ve Briketleme

Talaşlı imalat yapan endüstriyel işletmeler metal türevlerini freze, torna gibi cihazlarda yüzey tarama, delik delme, kılavuz çekme, rayba, taşlama gibi işlemlerle şekillendirirler. Bu şekillendirme parça yüzeyinden küçük talaş parçaları kopararak gerçekleştirilir. Koparılan bu parçalar parça işlenme hassasiyeti ve cihazların sağlıklı çalışabilmesi için bor yağı vasıtasıyla CNC cihazlarının işleme bölümünden uzaklaştırılır. Oluşan bu talaş bor yağı süspansiyonu talaş ayırma cihazları ile ayrıştırılır. Bu cihazlarla talaşları ayrıştırırken mıknaş ve filtrasyon kağıtlarından yararlanır. Bor yağı tekrar kullanılmak üzere cihazın içerisine gönderilirken talaşlar bir konveyörde toplanır. Konveyör içerisindeki talaşlar kesici takım ve malzemenin özelliğine göre çeşitli ebatlarda olmakla birlikte hacimsel olarak oldukça fazla yer kaplarlar. Bu durum firmaların kullanılabilir depo alanlarının küçülmesine ve taşıma maliyetlerinin artmasına yol açar.

1.2. Tasarlanan Aracın Çalışma Prensibi

Ayrıca talaş ve bor yağı ayıran cihazlar bor yağı ile talaşı tamamen ayıramamaktadır.

Yapılan testler sonucu 100 L hacme sahip bir demir talaşı ile doldurulmuş konveyörde yaklaşık olarak 3 L bor yağı bulunmaktadır. Firmalar genellikle talaşları geri dönüşüm firmalarına satmakta ancak bor yağı içeren talaşlar geri dönüşüm sırasında metallerin saflığını bozduğundan geri dönüşüm firmaları tarafında da çok tercih edilmemektedir.

Yukarıda bahsi geçen sebeplerden dolayı talaşların sıkıştırılması ihtiyacı duyulmuştur. Talaşlar sıkıştırılarak içerisindeki bor yağından %99,5'a kadar ayrışabildiği gibi hacimsel olarak da 20:1'e kadar küçülme meydana gelebilmektedir. Yapılan bu sıkıştırma işleminin adı briketlemedir. Briketleme işlemi bahsi geçen olumsuzlukları ortadan kaldırır. Ayrıca talaşlar çıktığı yerde briketlenir ise malzemenin dış ortama maruz kalan yüzey miktarı küçüleceğinden oksitlenmenin oluşması engellenerek metal korozyonu önlenecektir. Presleme esnasında talaştan çıkan soğutma sıvısı tekrar kullanılarak büyük bir tasarruf sağlanabilmektedir. Bunun yanında biriketlenen talaş, ihtiva ettiği kesme sıvısının neredeyse tamamından arınır. Bu sayede, hem çevre mevzuatının izin verdiği ölçüler içinde kalarak talaşın tehlikeli atık sınıfından çıkmasını sağlanır, hem de kesme sıvısının tekrar kullanılması yoluyla işletmeye avantaj sağlar. Tüm bunların yanında, farklı özelliklere sahip metallerin arka arkaya işlendiği tezgahlarda, hurdaların kolaylıkla birbirinden ayrıştırılması biriketleme yapılarak mümkündür.

Tasarlanan araç, HUB motorlar sayesinde hareketini sağlamaktadır. Firma zeminine çizilen çizgiler sayesinde araç mevcut konumunu ve gidebileceği yönleri algılayabiliyor. Tasarlanan araç, mevcut robotik sistemleri vasıtasıyla işletme içerisinde otonom olarak hareket edebiliyor, hangi konveyörün dolu olduğunu algılıyor. Konveyöre gidilebilecek en kısa rotayı çizip konveyörün yanına gidiyor. Konveyöre dikkatlice yaklaşıyor.

Üzerindeki özel tasarım aparat sayesinde konveyörün içindeki demir talaşlarını kendi haznesine aktarıyor. Kendi haznesi içerisindeki demir talaşlarını hidrolik silindir vasıtasıyla sıkıştırıyor ve demir talaşlarının briketlemesini gerçekleştiriyor. Sıkıştırma işlemi için yaklaşık olarak 75 tonluk bir kuvvet uygulanıyor. Demir talaşları üzerinde kalan bor yağları sıkışma sırasında ayrışıyor. Tasarlanan proje briketlenmiş demir talaşlarını ve bor yağını firma içerisindeki ilgili haznelere aktarıyor.



Şekil-1: *Tasarım Montaj Resmi*

1.3. Mekanik

Tasarlanan araçta sıkıştırma işleminin gerçekleşebilmesi için 100 tonluk hidrolik silindir bulunmaktadır. Tasarlanan araç bu hidrolik silindirle demir talaşlarını sıkıştırdıktan sonra bor yağını ayrı bir haznesine ayırır. Bor yağı ayırımı bittikten sonra araç demir talaşlarını boşaltacağı alana yaklaşır. Sıkıştırma hidrolik pistonu aracın arkasında olduğundan aracın damper bölümü briketleri boşaltırken sıkıştırma hidrolik silindiri yere değebileceğinden dolayı briketleri boşaltmak için Şekil-2’ de gösterildiği gibi bir rampa

tasarlandı. Tasarlanan aracın damperi de iki adet teleskopik hidrolik silindirinle hareket ettirilmektedir.

Tasarımda elektrik motoru kullanıldığından vites kutusuna ihtiyaç duyulmamıştır. Ayrıca tasarımda HUB motor kullanıldığından diferansiyel ve mekanik dönüş sistemlerine de ihtiyaç duyulmamıştır. Diferansiyel ve dönüş sistemleri motor sürücülerini tarafından motorlara farklı sinyaller gönderilerek ayarlanacaktır.



Şekil-2: Briket Boşaltma Düzeneği

1.4. Elektronik

Robot yapımında, robotun amacına göre pek çok araca ihtiyaç duyulur. Bir robot az veya çok dış dünyadan bir algılama yapabilmelidir. Daha sonra bu bilgileri otonom olarak yorumlamalı, algıya ne gibi tepkide bulunacağına karar vermelidir. Son olarak da robot verdiği kararı uygulamaya koyabilmelidir. Özetlersek robot üç

ana kısımdan oluşur. Buna göre bir robotta; çevre hakkında gerçek zamanlı bilgi edinmek için kullanılan sensörler, karar vermeyi sağlayan mikroişlemci, verilen kararların uygulanmasını sağlayan eyleyiciler ve hareket sistemleri bulunur. Robotun ihtiyaç duyduğu algılamalar sensörler sayesinde gerçekleşir. Algılama türüne göre kullanılabilen pek çok sensör çeşidi vardır. Bu sensörlerin algılamaları ısı, ışık, şekil, dokunma gibi olabilir. Mikro işlemcileri robotun beyni olarak da tanımlayabiliriz. Aldığı bilgilere göre robotu yönlendirir. Robotun karar mekanizmasıdır. Yine robotun amacına, kapasitesine göre kullanılabilen pek çok mikro işlemci çeşidi vardır [1-3]. Hareket sistemleri denilince akla gelen ilk şey motordur. Robotun yapması gereken hareketleri motorlar sağlar. Başlıca üç motor çeşidi vardır; step motorlar, servo motorlar ve DC HUB motorlar [4-5]. Step motorlar adım adım hareket ederler. Adımlar, seçilen step motora göre farklı açılarla gerçekleştirilir. Yüksek güce sahip değildirler daha çok küçük ve hız gerektiren yerlerde tercih edilirler. Servo motorlar da açılarla hareket ederler, istenilen açıyla döndürülebilirler. Genel olarak güç gerektiren makinelerde, iş makinelerinde kullanılırlar.

1.4.1 Geliştirilen Tasarım

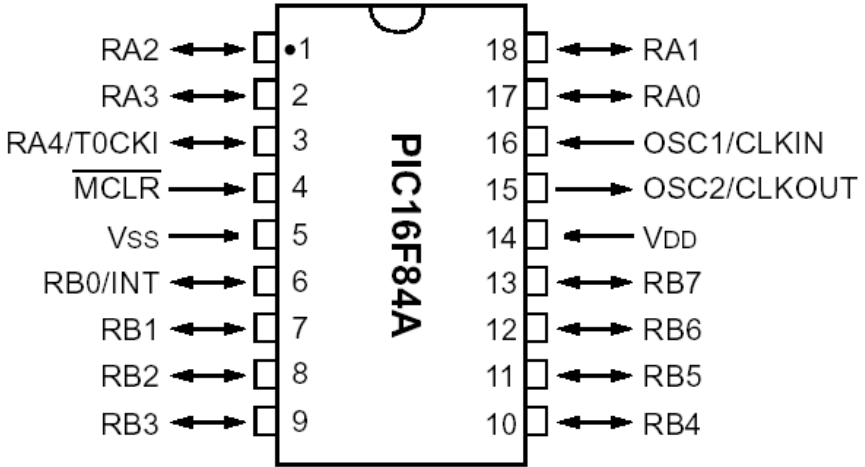
Bu çalışmada, demir konveyörünün bir prototipi üretilmiştir. Tasarımda mikrodenetleyici olarak PIC16F84A ve yazılım için assembler kullanılmıştır [7].

PIC16F84 18 pinli bir mikrodenetleyicidir. Bu pinlerden 13 tanesi I/O (giriş/çıkış) portudur. Bunların dışında Vdd, Vss, MCLR ve osilatör girişleri bulunur. Sahip olduğu flash bellek sayesinde clock girişlerine uygulanan sinyal kesilse de registerleri içindeki veri saklandığından clock sinyali yeniden verildiği zaman program kaldığı yerden çalışmaya devam eder. I/O portlarından girilen dijital sinyalleri yüklenmiş olan programa göre işleyerek dijital çıkışlar verir. Kullanımı en kolay olan motorlar ise DC motorlardır. DC motorların ileri ve geri hareketleri vardır. Farklı güçlerde DC motorlar vardır. Birçok yerde kullanılırlar.

Robotlar geçmişten günümüze ilerleme sağlayıp hayatımızın her alanında bulunmaya başlamışlardır. Robot yapımı ve geliştirilmesi alanında birçok çalışmalar yapılmaktadır [6]. Yapılan çalışmaların en yaygın örnekleri; izci robotlar, itfaiyeci robotlar, Örümcek robotlar ve sumo robotlarıdır. İzci robotlar üzerlerindeki sensörler sayesinde çizgi takip işlemi yapmaktadır. Beyaz zemin üzerinde siyah çizgi veya siyah zemin üzerinde beyaz çizgi takip edebilmektedir. İtfaiyeci robotlar üzerlerindeki sıcaklık sensörleri sayesinde ısının geldiği yere hareket ederek üzerine yerleştirilmiş olan bir su deposuyla ve buna bağlı olan bir mekanizma ile Isının kaynağına su pompalar. Örümcek robotlar, düz zeminlerde değil de çeşitli arazi şartlarında engelleri aşmak ve her türlü engebeli yollarda hareket etmek için tasarlanmış robotlardır. Bu işlevleri üzerlerine yerleştirilen uzaklık sensörü ile engelleri görüp örümcek gibi tasarlanmış olan yürüyen aksamı ile gerçekleştirirler. Sumo robotların amacı ise kurulan daire şeklindeki bir platformda aynı kategorideki robotların birbirlerini platformun dışına itmek ve dışarı itmeyi başaran robotun kazanmasıdır. Bunlar içinde çeşitli sensörler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Otomatik Kontrollü Briketleme Aracı tasarımı yapılmıştır. Yaptığımız tasarım, yukarıda birkaç örneği verilen robot çeşitlerinin pek çok özelliğini ve daha fazlasını üzerinde toplamaktadır. Henüz böyle bir çalışma Türkiye’de mevcut değildir. Otomatik Kontrollü Briketleme Aracı tasarımı için Solid Works çizim programının yanında elektronik tasarımı Proteus programında yapılmıştır. Tasarlanan araçta PIC16F84A mikrodenetleyicisi kullanılmış, tasarım Proteus simülasyon programı kullanılarak simüle edilmiştir. Otomatik kullanım sayesinde, kullanıcı sıfır hata ile araç dolu olan demir talaşı konveyörünü algılayıp, çalışanlara ve firma içindeki diğer hareketli ve hareketsiz cihazlara çarpmadan demir talaşı konveyörünün yanına gitmekte ve demir talaşını kendi haznesine doldurmaktadır. Kendi haznesine doldurduğu demir talaşlarını sıkıştırarak bor yağını ayrıştırmasının yanında demir talaşını da briketleyerek; demir talaşı briketini ve bor yağını ilgili

haznelere aktarmaktır ve bütün bu bahsi geçen işlemleri insan gücü gerekmezsiniz yapabilmektedir.



Şekil-3: PIC16F84A

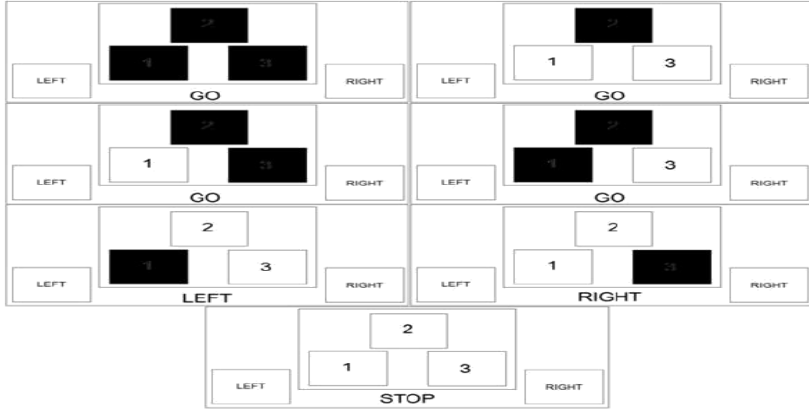
Geliştirilen araç elektronik olarak iki ana kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım aracın yola paralel olarak çizilen çizgiyi takip etmesini ve yola dik olarak çizilmiş bir çizgiye paralel olarak demir talaşı konveyörüne yaklaşmasını sağlamaktadır. Bu çizgiler demir konveyörünün yerini belirlemek için kullanıldığı gibi aracın fabrika içinde serbestçe gezmesini ve demir talaşı konveyörlerinin yerlerini bulmak için kullanılmaktadır. Araç bu çizgiye paralel olarak demir talaşı konveyörüne yaklaştığında demir talaşını demir talaşı konveyöründen alabilmek için uygun konumu almış olacaktır. Demir talaşı konveyörünün yeri sabitlenmiştir dolayısıyla demir talaşı konveyörü ile çizgi arasındaki ilişki de sabittir.

Araç paralel çizgiyi takip etmek için ve dik çizgiye paralel olarak demir talaşına yaklaşabilmek için sensörlerden faydalanır. Bu işlem için toplam beş adet siyahı ve beyazı ayırt edebilen sensör (CNY70) kullanılmıştır.

Bu sensörler siyah zemin üzerinde beyaz çizgiyi veya beyaz (veya gri) zemin üzerinde siyah çizgiyi takip edebilmek için iki farklı şekilde kullanılabilir. Bir çizgiyi takip edebilmek için üç adet sensör kullanılmaktadır. Çizgi kalınlığına uygun olarak belli mesafelerle yan yana konumlanan sensörler, çizginin sağ, sol ve orta kısmını kontrol ederek robotun dönüş yönünü bulmasını sağlamaktadır. Araç bu kararı şu şekilde vermektedir; sürekli yapılan kontrolde, eğer ortadaki sensör çizgiyi görüyorsa araç yoluna düz olarak devam edecek, eğer yalnızca sağ sensör çizgiyi görüyorsa araç sağa dönecek ve son olarak da eğer yalnızca sol sensör çizgiyi görüyorsa araç sola dönecektir. Çizgi takibi için aracın ön-orta kısmına monte edilmiş bu üç sensör dışındaki iki sensör ise aracın ön-sağ ve ön-sol kısmına monte edilmiştir. Bu sensörler ise dik çizgiye paralel olarak demir talaşı konveyörüne yaklaşabilmeyi sağlamaktadır.

Paralel çizgiyi takip sırasında eğer bu iki sensörden bir tanesi çizgiyi görmüşse diğeri de bu çizgiyi görene kadar yani araç dik çizgiye paralel olana kadar çizginin görüldüğü tarafa doğru dönerek doğru bir şekilde park etme işlemi gerçekleştirilir. Örnek olarak, eğer soldaki sensör ilk olarak çizgiyi görmüşse araç sola doğru dönerek sağ sensöründe çizgiyi görmesini sağlar ve demir talaşı konveyörüne yaklaşma işlemi gerçekleştirilir. Araç çizgi takibi sırasında aynı zamanda yolu kontrol eder ve eğer bir engelle karşılaşırsa durur, engel kaybolana kadar bekler ve yola devam eder. Bu işlem için ise yine sensörlerden yararlanılır. Aracın ön kısmına uygun açılarla yerleştirilmiş dört, arka kısmına uygun açılarla yerleştirilmiş üç tane uzaklıkölçer sensörle (SHARP) aracın ön, sağ, sol ve arka kısımları 30 cm uzaklıklarla kontrol edilir.

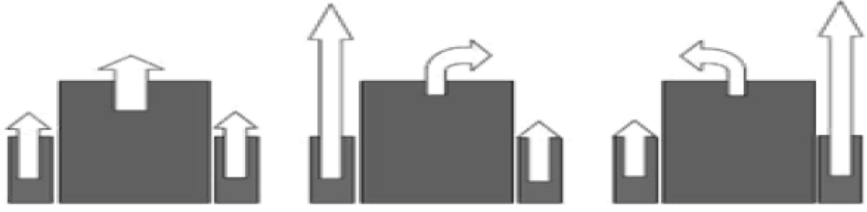
İşlemler gerçekleştirildikten sonra araç, kol benzeri aparatını kullanarak demir talaşı konveyörünü boşaltmak için gerekli süre kadar burada bekler ve yoluna devam eder. Aracın sensörlerden aldığı bilgilerle gerçekleştirdiği işlemler Şekil-4'de görülebilir. Burada ön-orta kısımdaki sensörler sırası ile sol-orta-sağ 1 -2-3, ön-yanlardaki sensörler sol-sağ left-right olarak ve sağa dönüşler right, sola dönüşler left, durma işlemi stop olarak gösterilmiştir.



Şekil-4: Sensör bilgilerine göre dönüşler ve duruş

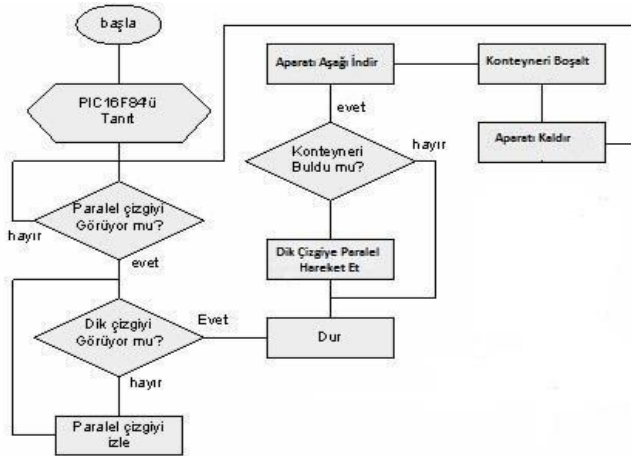
İkinci kısım aracın dolu konveyöre algılayıp demir talaşını kendi haznesine boşaltmasıdır. Dolu olan konveyörü algılayabilmek için Zemic B8D ağırlık sensörü kullanılmıştır. Sensör ağırlık değerini, yapmış olduğumuz Ardunio setine göndermekte ve belirlenen ağırlık seviyesi geçilmişse Ardunio set konveyörün dolu olduğu sinyali konumu ile birlikte tasarlanan araca gönderilir. Araç gidebileceği yollar arasında en kısa yolu seçip konveyörün yanına yaklaşma işlemini gerçekleştirir. Araçtan uzanan bir kol spiral kanatları sayesinde konveyörün içindeki demir talaşlarını aracın haznesine yüklenmesini sağlamaktadır.

İlk kısımda aracın ileriye, sağa ve sola dönüş hareketlerini sağlamak için dört adet HUB motor kullanılmıştır. Düz gitmek için sağ ve solda bulunan motorların tamamı ileriye sürülürler. Sağa dönüş için sağdaki motorlar durur ve soldaki motorlar ileriye sürülmeye devam eder. Sola dönüş için ise soldaki motorlar durur ve sağdaki motorlar sürülmeye devam eder. Bu motorların çalışmaları Şekil-5’de gösterilmiştir.



Şekil-5: Motorların çalışması

İşlemlerini tamamlayan robot çizgiyi takip ederek ilerler ve aynı işlemleri gerçekleştirmeye devam eder. PIC16F84 ile yapılan programın algoritması Şekil-6'da görülmektedir.



Şekil-6: Program algoritması

2. Sonuç:

Bu çalışmalarla kullanımı oldukça kolay ve ihtiyaca göre farklı amaçlarla da kullanılabilecek bir araç tasarlanmıştır. Araç birkaç farklı robot çeşidinin yaptığı işlemleri üzerinde toplamaktadır. Fakat ilk amaç olarak talaşlı imalat sektöründe kullanılan demir talaşı konveyörleri ve briketleme cihazları incelenmiş ve kullanılan insan gücünü en aza indirmeyi amaçlayan bir sistem tasarlanmıştır. Bu tasarım briketleme cihazlarına ek

fonksiyonlar eklenmesi düşünülerek oluşturulan bir robot tasarımıdır. Bu briketleme aracı yardımı insan gücü kullanmaksızın demir talaşı toplama ve briketleme işlemi yapılabilmektedir. Otomatik kullanım hatasız olarak briketleme aracını konveyörlere tam olarak park edebilme olanağını sağlamaktadır. Park işleminden sonra ise demir talaşları hiçbir insan gücü gerektirmeden otomatik olarak briketlenmektedir. Bu sayede insan gücünden ve maddi kaynaklardan tasarruf edilmesi amaçlanmıştır.

Kaynakça:

[1] Brey, B. B., The Intel Microprocessors, Pearson, New Jersey, 2006.

[2] Peatman, J. B., Embedded Design with the PIC18F452 Microcontroller, Pearson, USA, 2003.

[3] Mazidi, M. A., MckInlay, R. D. and Causey, D., PIC Microcontroller and Embedded Systems, Pearson, New Jersey, 2008.

[4] www.electfree.net.

[5] Cook, D., Intermediate Robot Building, Apress, USA, 2004.

[6] www.t-robot.info.

[7] AltInbaşak, O., PIC Programlama, Altaş, İstanbul, Türkiye, 2004.

[8]https://www.researchgate.net/publication/264847933_Mikrodenetleyici_Tabanli_Otomatik_Kontrollu_Cop_Kamyonu_Tasarimi

BÖLÜM V

İçten Yanmalı Motorlarda Kam Mili Modifikasyonu

Mustafa AYDIN¹
Emre ARABACI²
Ferdi Mert ÇELİK³

Giriş

İçten yanmalı motorlarda da sıklıkla kullanılan bir mekanik sistem olan kam mekanizmaları veya diğer bir ifade ile kam-izleyici sistemleri birçok makine sisteminde kullanılmaktadır (Norton, 2002). Kam-izleyici sistemlerinde, izleyicinin hareketi doğrudan temasla zorlayan bir kam tarafından sağlanmaktadır. İzleyicinin hareketi aslında bir daha önceden tasarlanmış bir programın sonucudur. Buna göre kam mekanizması aslında mekanik bir bilgi

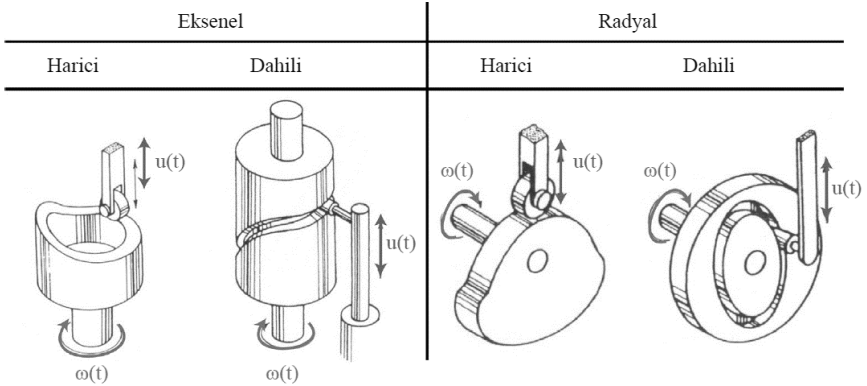
¹ Dr. Öğr. Üyesi, Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü

² Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü

³ Lisans Öğrencisi, Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü

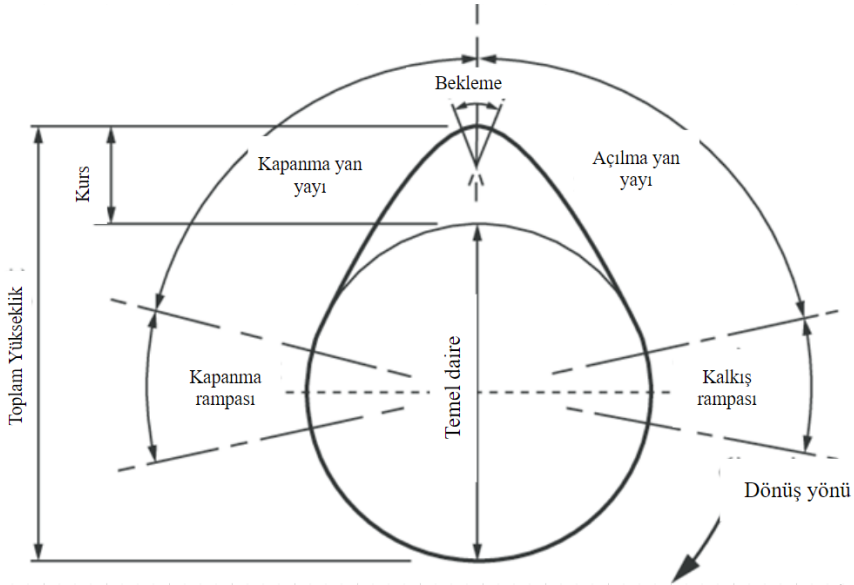
cihazıdır. Yani kam tasarımındaki temel amaç, bir program oluşturmak, kam ile izleyici arasındaki temas noktalarının yerini belirlemek, kam profili koordinat sistemini üretmek ve kamı kabul edilebilir bir doğrulukta imal etmektir (Rothbart, 2004).

Şekil 1’de çeşitli kam-izleyici düzenlemeleri gösterilmiştir. Kam düzenleri radyal veya eksenel olabilmektedir. Kam, takipçiyi kontrollü bir şekilde hareket ettirmek üzere düzenlenmiş, özel olarak şekillendirilmiş bir metal veya başka malzeme parçasıdır. İzleyicinin hareketi dönme veya öteleme olabilir. Dönme veya öteleme hareketi yapan bu tür kamlarda kam-izleyici arasındaki temasın korunması için bir yay veya ağırlık kullanılmaktadır. Bu tür sistemlere açık form bağlantı adı verilmektedir. Kam ve izleyiciyi bir arada tutmak için dış bir kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. İzleyiciyi bir yaya ihtiyaç duymayan kamlara bağlamak için alternatif düzenlemeler de vardır. Kamdaki bir iz veya oluk, silindirik izleyicisini hapseder ve artık hem itebilir hem de çekebilir. Aslında yalnızca her iki yönde de iter. Kam, izleyicinin etrafında oluşturulduğundan ve onu geometriyle yakaladığından buna kapalı form bağlantı adı verilir. Kapalı form bağlantı tipi bu çalışma için kapsam dışı bırakılmıştır (Norton, 2002).



Şekil 1. Hareket türlerine göre farklı kam-izleyici mekanizmaları (Danakas ve ark., 2021)

Bir kam profilinde sürekli hareket oluşturulabildiği örnekleri olmasına rağmen yaygın kullanımı kesikli hareket içindir. Örneğin içten yanmalı motorların supap sistemi kesikli doğrusal hareket yaparak çalışmaktadır. Bu durum “zamanlama” olarak adlandırılmaktadır. Yani belirli bir süre hareket olurken belirli bir süre hareketsizlik yani bekleme meydana gelmektedir. Kamlar belirli bir temel daire üzerine oluşturulmaktadır. İzleyicinin belirli bir kursta hareket etmesi için kalkış rampası ve burun üzerinde temas halinde olarak lob merkez çizgisine kadar pozitif hareket ve lob merkez çizgisinden burun üzerinden iniş rampası temas halinde olarak negatif hareket yapması istenmektedir. Hareketin başlangıcında ve bitişinde izleyici hareketinin yumuşak bir şekilde başlaması için çarpma rampası oluşturulmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Bir kamın bazı kısımları

Kam profili mekanik bir program olduğu için bir programın değiştirilmesi gerektiğinde kam profilinin modifikasyonunun yapılması gerekmektedir. Kamların üzerinde bulunduğu millere kam mili adı verilmektedir. Kam profilinin modifikasyonu aynı zamanda

kam milinin de modifikasyonudur. Bu süreçte kam profilinin belirlenmesi oldukça önemli bir süreçtir. Bilindiği gibi kam profillerinin tasarımı için çeşitli geometrik stratejiler uygulanmaktadır. Bu stratejiler genel olarak kam-izleyici arası hareket etkileşimine bağlı olarak değişebilmektedir (Moon, 1961; Arabacı ve ark., 2014; Arabacı, 2019; Norton, 2002; Rothbart, 2004). Özellikle kam profillerinin modifikasyonu söz konusu olduğunda mevcut kam profilinin belirlenmesi ve bu kam profiline göre yeni tasarımın yapılması önemlidir. Özellikle öteleme hareketinin yapıldığı harici kamlarda kam-izleyici arasındaki bağ bir yay kuvveti etkisiyle yapılmaktadır ve bu yay kuvveti belirli bir hızda dönen kam hareketiyle öteleme hareketi yapan izleyicinin temasını sürekli olarak koruyacak kadar ve kam üzerindeki yükü gereksiz olarak artırmayacak kadar büyük olmalıdır. Bunun için izleyicinin kam sayesinde yapmış olduğu hareket ve türevleri (hız, ivme, jerk vs) oldukça önemli parametrelerdir.

Bir motorda bir kam mili valflerin açılma kapanma zamanlamasını düzenlemekle birlikte başka özellikleri de yerine getirmesi gerekmektedir. Valf sistemleri mekanik sistemlerdir ve değişken koşullar altında çalışmaktadır. Örneğin bir valf sistemi için maksimum hız ve maksimum ivme değerleri önemlidir. Bununla birlikte bir valfin açılma hareketi kam tarafından yapılırken kapanma hareketi yay kuvveti etkisiyle yapılmaktadır. Ancak bu yay kuvveti etkisiyle yapılan hareketin de yine kam profili ile uyumlu olarak gerçekleşmesi arzu edilir. Kam profilleri valfin maksimum hareket kursunu da belirlemektedir. Bununla birlikte açılma-kapanma süreci boyunca ortalama açık kalma yüksekliği de yine kam profiline bağlıdır (Arabacı, 2019).

Bu çalışma tek silindirli bir motorun kam mili modifikasyonu için gerekli kam profilinin deneysel olarak elde edilmesi hakkındadır. Kam mili düz yüzeyli izleyicilere hareket sağlamaktadır. Bu çalışmanın kapsamı emme kam profilinin elde edilmesi ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada öncelikle kam ölçümü için basit bir deney düzeneği oluşturulmuş ve ölçümler yapılmıştır. Elde edilen ham veriler türevlendirilerek kam profili karakteristik

eğrileri elde edilmiştir. Ardından ham veriler türevlendirilerek kam profili karakteristik eğrileri elde edilerek kam mili modifikasyonunda kullanılabilir hale getirilmiştir.

Deneyisel Veri İçin Basit Bir Sistem

İçten yanmalı motorlarda kam-izleyici mekanizmaları genel olarak öteleme hareketi yapan açık form radyal sistemlerdir. Kam ile izleyici arasındaki temas bir yay kuvveti etkisi ile oluşturulmaktadır. Bu çalışma için konvansiyonel, tek silindirli, buji ateşlemeli bir motorun kam mili referans alınmıştır. Kam profili ve supap zamanlama diyagramı tasarımsal bilgiler olup bu bilgiler ne kullanıcı kılavuzunda ne de servis kılavuzunda bulunmaktadır. Bu nedenle kam mili modifikasyonunun gerekli olduğu çalışmalar için detaylı ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

Kam milinin ölçümü için Şekil 3'te gösterildiği gibi basit bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Kam milinin bir kaide üzerindeki yataklara yerleştirildiği bu düzende kam mili hareketi redüktörlü bir DC motor (30 rpm, 24V) ile sağlanmıştır. Kam profilinin elde edilmesi için kam üzerinde temas halinde olan bir lineer enkoder (0.025 mm çözünürlüklü) kullanılmıştır. Ayrıca kam milinin açısal durumu için rotary enkoder (1024 pals) kullanılmıştır. Kontrol ünitesi (EKÜ) olarak basit bir geliştirme kartı kullanılmıştır ve seri port üzerinden bilgisayara veri aktarımı sağlanmıştır.

Anlık Veri

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6
15:31.4	4149	1017	364.66	58.75	101.29	26.07

Veriler

Time	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6
15:03.0	3851	1019	338.46	54.53	94.02	26.12
15:03.0	3890	1018	341.89	55.08	94.97	26.09
15:03.1	3926	1018	345.06	55.59	95.85	26.09
15:03.1	3955	1018	347.6	56	96.56	26.09
15:03.1	3978	1018	349.63	56.33	97.12	26.09
15:03.2	3999	1018	351.47	56.63	97.63	26.09
15:03.2	4024	1017	353.67	56.98	98.24	26.07
15:03.3	4056	1018	356.48	57.43	99.02	26.09
15:03.3	4089	1018	359.38	57.9	99.83	26.09
15:03.3	4118	1018	361.93	58.31	100.54	26.09
15:03.4	4137	1018	363.6	58.58	101	26.09
15:03.4	4146	1018	364.39	58.71	101.22	26.09
15:03.4	4152	1018	364.92	58.79	101.37	26.09
15:03.5	4155	1018	365.18	58.84	101.44	26.09
15:03.6	4154	1018	365.1	58.82	101.42	26.09
15:03.6	4153	1018	365.01	58.81	101.39	26.09
15:04.0	4152	1018	364.92	58.79	101.37	26.09
15:06.5	4151	1017	364.83	58.78	101.34	26.07
15:16.8	4150	1016	364.74	58.76	101.32	26.04
15:31.4	4149	1017	364.66	58.75	101.29	26.07

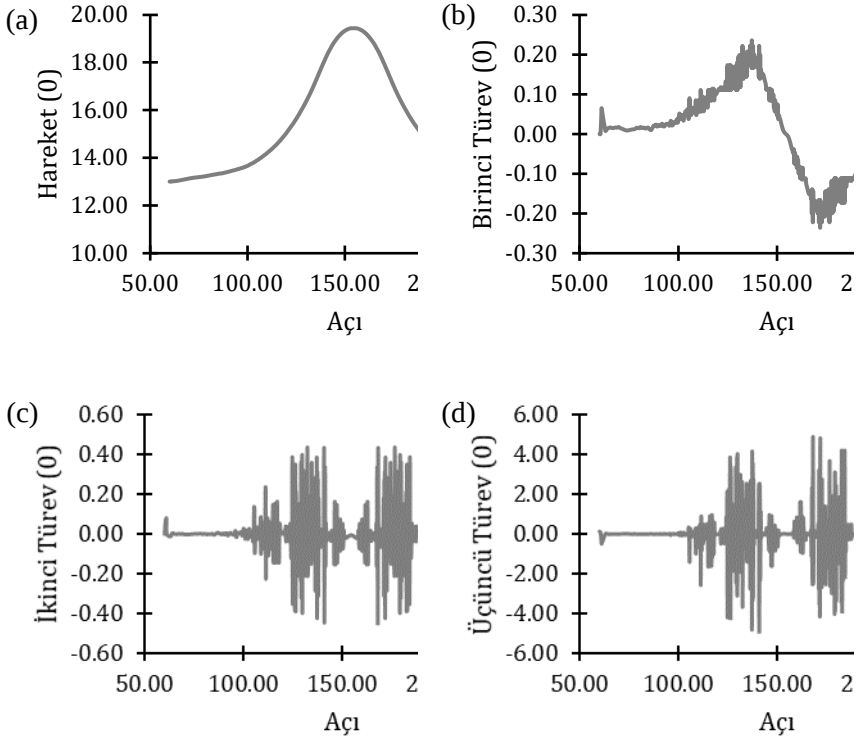
Şekil 4. Ham veriler için oluşturulan arayüz

Ham Verilerin Düzenlenmesi

Sistemin genel çalışma performansı çeşitli nedenlerle kötüleşebiliyor. Bununla birlikte montaj ve titreşim kaynaklı sabit deneysel hatalar ve ölçülen kam profili üzerindeki bozukluk ve kir nedeniyle meydana gelen hatalar görülebilmektedir. Bu ham verilerdeki küçük hatalar verilerin tamamı göz önünde bulundurulduğunda önemsiz olarak nitelendirilebilir. Ancak hareket (yer değiştirme) verilerinin türevleri söz konusu olduğunda anlamsız, arzu edilmeyen, yorumlanamayan veya yanlış yorumlanabilen grafikler oluşmaktadır.

Şekil 5'te ham veri ve bu ham verinin birinci, ikinci ve üçüncü türevleri görülmektedir. Burada birinci türev hızı, ikinci türev ivmeyi ve üçüncü türev ise jerki temsil etmektedir. Buradaki

veriler zamana bağılı olarak değil açıya göre türevlendirilerek oluşturulmuştur. Görüldüğü gibi ham veriler oldukça düzgün görünmesine rağmen hareketin birinci türevinde çok fazla gürültü bulunmaktadır. Buna bağlı olarak ikinci ve üçüncü türev eğrileri oldukça karmaşık ve anlamsız görünmektedir. Burada eksen başlıklarındaki “0” ifadesi ham verinin kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 5. Ham veri ve türevleri

Bu tür verilerdeki gürültülerin ve düzensizliklerin azaltılması için Savitzky-Golay, bitişik ortalama, yüzdelik filtreleme, FFT (hızlı Fourier dönüşümü), Lowess veya Loess (yerel ağırlıklı yumuşatma) gibi birçok yöntem bulunmaktadır. Buradaki her yöntemin avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Bu çalışmada Loess yöntemi

uygulanmıştır. Loess yöntemi, değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek için grafiksel bir araçtır, verilere düzgün bir eğri uydurmak için pratik bir stratejidir.

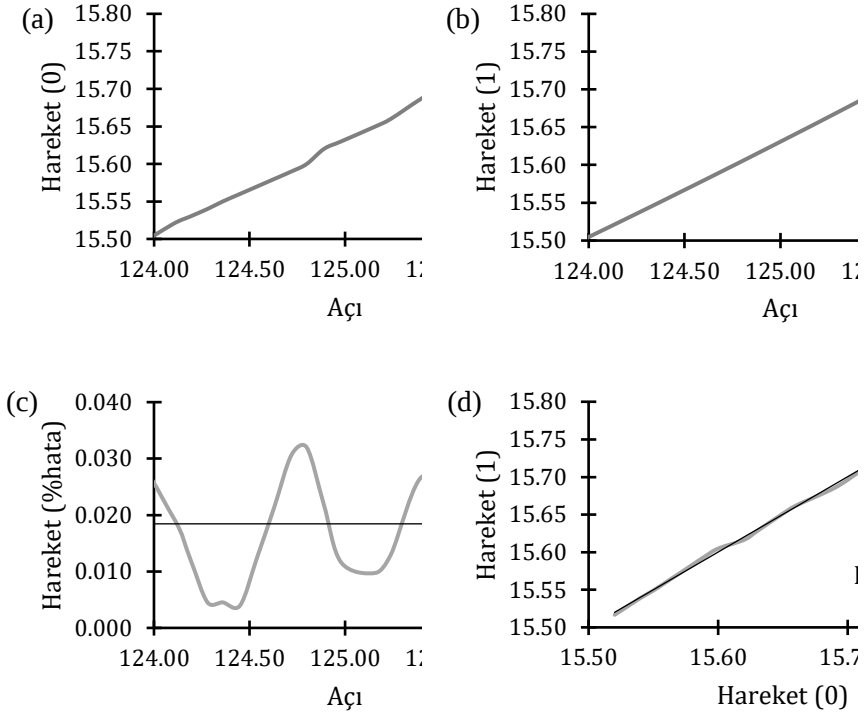
Loess yönteminde istenen dağılım grafiğinin düzgünleştirilmesidir. Loess yöntemi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri, önsel bir bilgi gerektirmeden belirleyen bir teknik olduğu için parametrik olmayan bir tekniktir ve güven aralıkları ile diğer istatistiksel testler için de sonuçlar alınabilmektedir. Loess yöntemindeki her bir ağırlıklandırılmış en küçük kareler uyumu için kullanılan verilerin alt kümeleri en yakın komşuluk algoritmasıyla belirlenmektedir (Karasoy ve ark, 2016). Her x değeri için, $f(x)$ 'in değerini komşu örneklenmiş (bilinen) değerleri kullanılarak tahmin edilir. Hesaplama için öncelikle tri-cubic ağırlık fonksiyonunu (Eş. 1) kullanarak bir merkez noktası x_i ve açıklık içindeki tüm komşu noktalar için ağırlıklar hesaplanır:

$$w_i(x) = \left(1 - \left(\frac{|x - x_i|}{d_i} \right)^3 \right)^3 \quad (1)$$

Burada x , geçerli merkez noktası x_i ile ilişkili açıklık içindeki bir komşu noktadır ve d_i , apsis boyunca x_i 'den açıklık içindeki en uzak komşu noktalara kadar olan mesafedir. Bu adımdan sonra ağırlıklı en küçük kareler regresyonunu gerçekleştirilmeli. Bunun için ikinci dereceden polinom regresyonu kullanılır. x_i için tahmin edilen değeri (x_i, y_i) elde edilir. Sonraki x_{i+1} noktasına geçilir ve ardından tahmin edilen değeri (x_{i+1}, y_{i+1}) elde etmek için hesaplama baştan tekrar edilir. Tüm noktalar hesaplandığında hesaplama durdurulur.

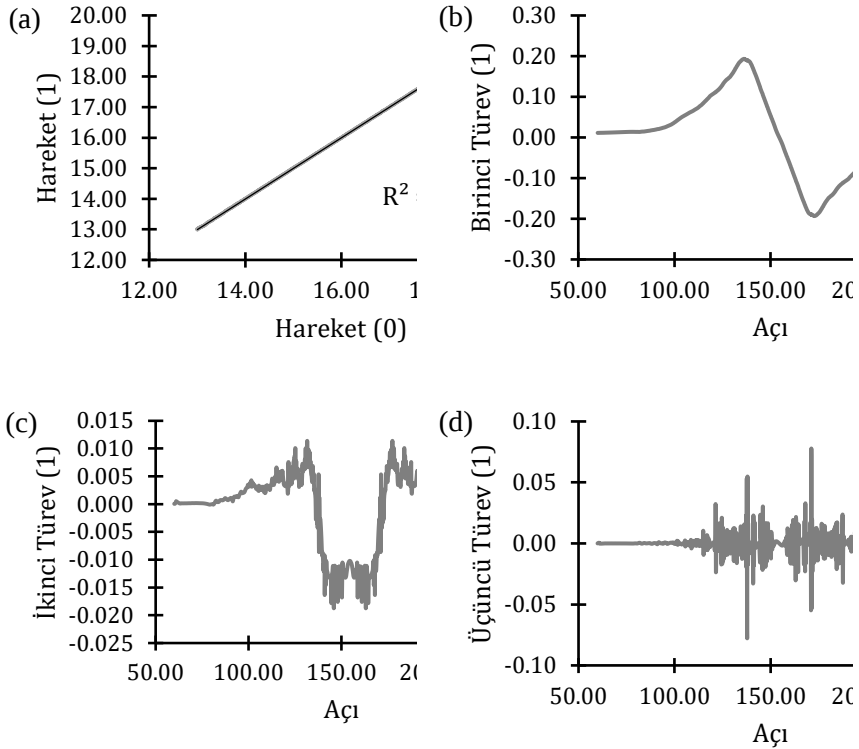
Daha detaylı olarak incelenmesi bakımından ham veriler içerisinde 124-126 derece açı aralığındaki keyfi bir veri grubu seçilmiştir. Açıya bağlı olarak ham verilerin değişimi Şekil 6a'da gösterilmektedir. Buradaki verilerin açığa bağlı değişimi dikkat edilirse düzgün değil. Bunun nedeni tasarlanan deney düzeniğinin titreşimi, montaj hataları, kir, yüzey pürüzü ve lineer enkoder

çalışma kararsızlığı olabilir. Bu hataların bertaraf edilebilmesi için Loess yöntemi uygulandığında Şekil 6b elde edilmektedir. Eksen başlıklarındaki “1” ifadesi ham verinin Loess yöntemi ile düzenlendiğini göstermektedir. Burada ham veri ile düzeltilmiş veri arasındaki yüzde mutlak hata değişimi Şekil 6c’de gösterilmiştir. Ortalama mutlak hatanın değeri yaklaşık %0.018 olduğu görülmektedir. Başka bir ifade ile Loess yöntemiyle verilerin düzenlenmesinde ham veriler üzerinde çok büyük değişiklikler meydana gelmediği anlaşılmaktadır. Şekil 6d’de ise ham veri (hareket (0)) ile düzeltilmiş veri (hareket (1)) karşılaştırması verilmiştir. Burada determinasyon katsayısı 1’e çok yakın bir değer olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Loess yöntemi ile verilerin düzenlenmesi

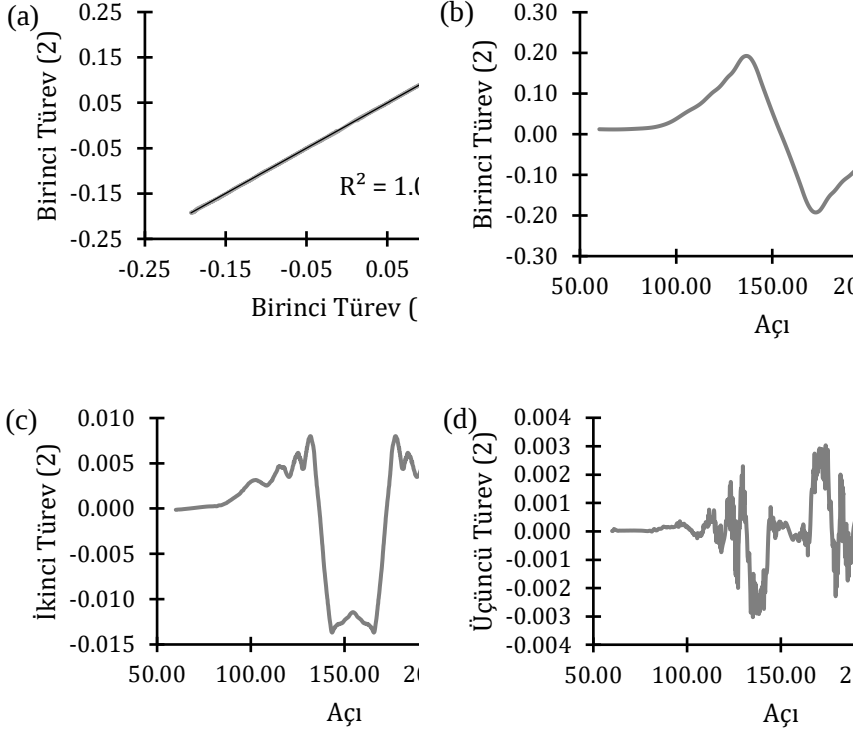
Loess yöntemi öncelikle birinci türev grafiğinin düzenlenmesi için ham veriler üzerinde uygulanmıştır. Daha sonra düzenlenmiş ham veriler türevlendirilmiştir. Ham verilerin Loess yöntemi ile düzenlendikten sonra türevlendirilen verilerin grafikleri Şekil 7’de sunulmuştur. Burada Şekil 7b ile Şekil 5b karşılaştırıldığında birinci türev verisinin oldukça düzgün bir hale geldiği görülebilmektedir. Ancak ikinci (Şekil 7c) ve üçüncü türevlere (Şekil 7d) bakıldığında verilerin halen düzensiz olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Ham veri düzeltildikten sonraki durum

Eğer ikinci türeve kadar bir çalışma yapılacaksa süreç burada sonlandırılabilir. Ancak üçüncü türev de gerekli bir parametre ise bu

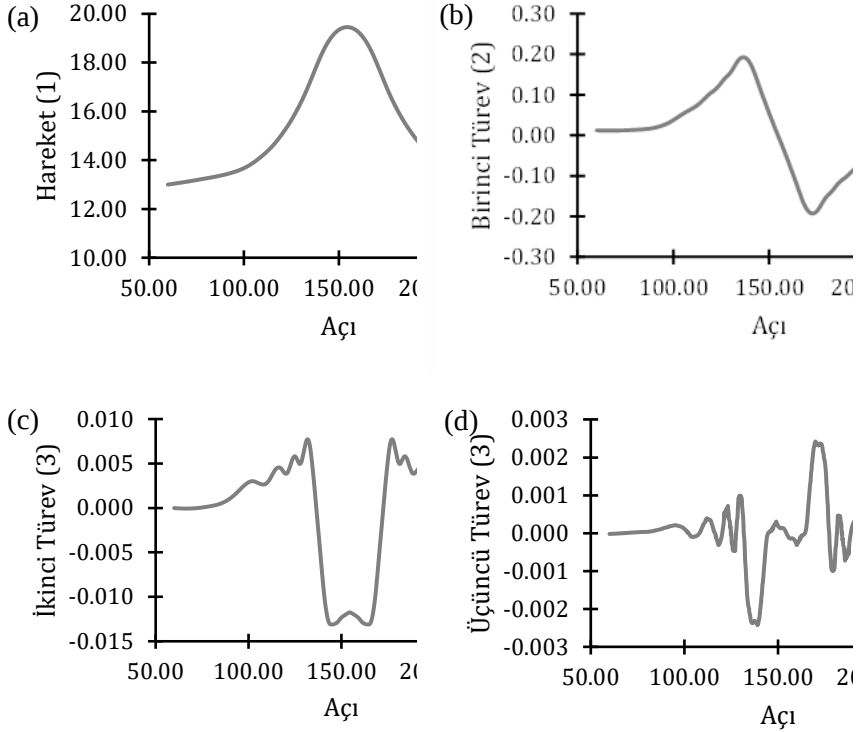
defa düzeltilmiş ham veri yerine düzeltilmiş ham verinin birinci türevine Loess yöntemi uygulanabilir. Şekil 8’de düzeltilmiş verinin birinci türevine Loess yöntemi uygulandığında elde edilen grafikler görülmektedir. Burada eksen başlıklarındaki “2” ifadesi birinci türeve Loess yöntemi uygulandığını göstermektedir.



Şekil 8. Birinci türev düzeltildikten sonraki durum

Şekil 8a’da Loess yönteminin veriler üzerinde çok büyük değişikliğe neden olmadığı görülmektedir. Şekil 8c ile Şekil 7c karşılaştırıldığında ikinci türev verisinin oldukça düzgün ve anlamlı hale geldiği görülmektedir. Şekil 8d’de üçüncü türev verisinde halen düzensizliklerin olduğu görülebilmektedir. Bunun da giderilmesi için ikinci türev verisine Loess yöntemi uygulanarak düzenlenebilir. Buna göre elde edilen eğrilerin nihai durumları Şekil 9’da

gösterilmiştir. Şekil 9'daki bu grafikler ham veri ile elde edilen Şekil 5'teki grafiklere kıyasla oldukça düzgün ve anlamlıdır.

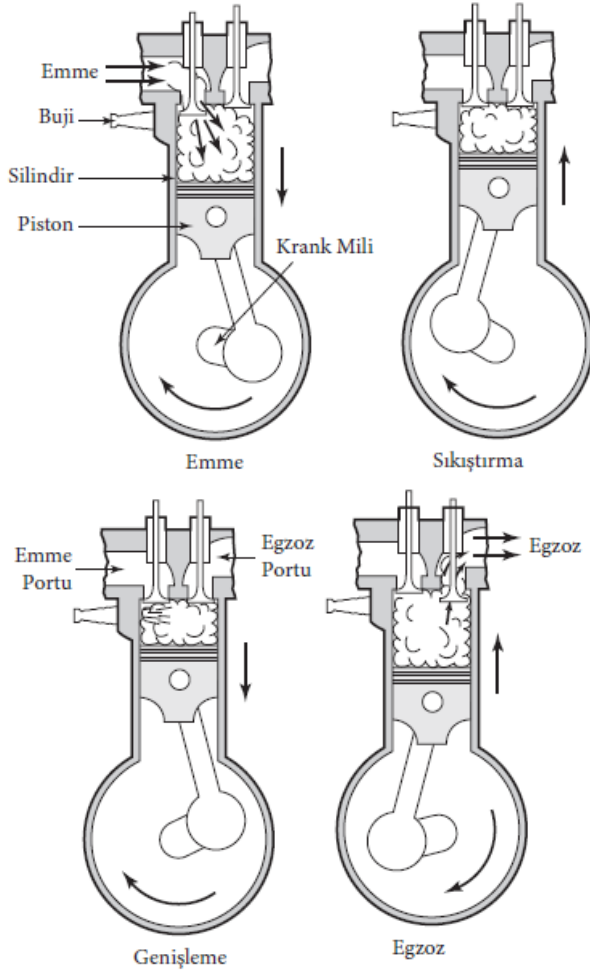


Şekil 9. İkinci türev düzeltildikten sonraki nihai durum

Bundan sonraki adımda bu grafiklere uygun olarak kam profilinin tasarlanması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus sınır koşullardır. Örneğin bir kam profili için temel daire çapı önemli bir parametredir. Bununla birlikte kam profilinin oluşturulduğu açı da diğer bir parametredir. Ancak yalnızca bu iki parametre, kam profili tasarımı yapmaya yetmemektedir. Örnek olarak incelenen kam profili düz yüzeyli bir izleyici ile temas halinde olan bir sisteme aittir. Literatürde bu tür kam profillerinin çift yay kamı ile pratik olarak uyum sağladığı bilinmektedir (Arabacı, 2019; Arabacı ve ark., 2014).

Kam Profilinin Tasarımı ve Modifikasyonu

Fransızca kökenli olan modifikasyon kelimesi biyolojide canlılarda çevrenin etkisiyle meydana gelen ve kalıtsal olmayan özellikler olarak tanımlanmaktadır. Mühendislikte ise sistemin doğasını ve temel işlevini bozmadan yapılan basit değişiklikler için kullanılan bir kavramdır. İçten yanmalı motorlarda kam mili modifikasyonu ise önemli bir konudur. Çünkü günümüz pistonlu içten yanmalı motorlarda zaman oluşumunu meydana getiren birincil öneme sahip parça kam milidir. Zamanlar kam milinin valfleri hareketlendirmesiyle (veya hareketlendirmemesiyle) oluşmaktadır. Örneğin dört zamanlı bir motorun valf düzenine göre motordaki zamanların oluşumu Şekil 10'daki gibi olmaktadır. Burada emme valfi açıkken emme zamanı gerçekleşmektedir. Emme valfinin açılması için emme kamının izleyici vasıtasıyla emme valfini hareket ettirmesi gerekmektedir. Sıkıştırma ve genişleme zamanlarında hem emme hem de egzoz valfi kapalı konumdadır. Egzoz zamanında ise egzoz valfi açık kalmaktadır. Dört zamanlı motorlar için bu dört zamanın meydana gelebilmesi için krank milinin iki tam tur dönmesi gerekmektedir. Kam mili ise dört zamanın oluşumu için yalnızca bir tur dönmektedir.



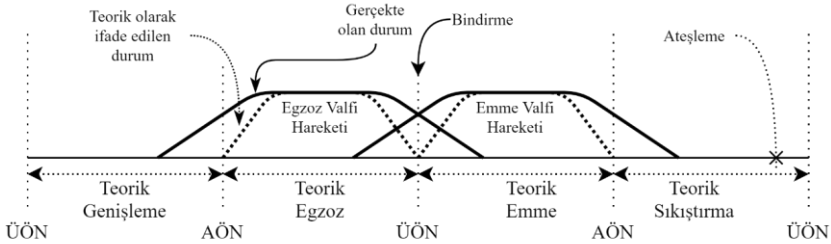
Şekil 10. Buji ateşlemeli dört zamanlı motorda zamanların oluşumu (Ferguson ve ark., 2014)

Kam milinin bir tur dönüşünde dört zaman meydana geldiği için her bir zaman için 90 derecelik teorik bir açı kalmaktadır. Ancak teoride zamanların oluşumu üst ölü noktadan alt ölü noktaya kadar veya alt ölü noktadan üst ölü noktaya kadar devam eder. Bununla birlikte valflerin açılması veya kapanması anlık olarak değil belirli bir zamanda kontrollü olarak gerçekleşir. Bunun çeşitli nedenleri

vardır. Motorda valfler mekanik olarak çalışan parçalardır ve açılması kamın izleyiciyi hareketlendirmesiyle kapanması ile yay kuvveti ile olmaktadır. Valflerin kapalı iken sızdırmaması istenir ve valf ile oturma yüzeyi metal-metal temaslı yüzeylerdir. Motor ömrü boyunca bir valf milyonlarca kez açılıp kapanmaktadır. Bu nedenle açık ya da kapalı durumundan çok açılma ve kapanma süreçleri daha önemlidir. Kam profilindeki temel amaç da aslında valfin açık kalma süresinin yanında bu açılma ve kapanma süreçlerinin de kontrolüdür. Çünkü açık kalma süresi açılma bir durum iken açılma ve kapanma süreçleri hız, ivme ve jerk ile ilgili bir durumdur.

Gerçek bir buji ateşlemeli motorun genişleme zamanında beklenen durum ateşleme ile birlikte silindir içi basıncının artması ve bu basınç artışı etkisiyle pistonun üst ölü noktadan alt ölü noktaya doğru hareketiyle krank milinden güç çıktısı elde etmektedir. Ancak buji kıvılcımıyla birlikte yanma olayının gelişmesi de önemli bir süre gerektirir. Ayrıca ölü noktanın atlaması için maksimum silindir içi basıncı oluşumunun tam üst ölü noktada gerçekleşmesi arzu edilmez. Bu nedenle buji kıvılcımının üst ölü nokta öncesinde gerçekleştirilip maksimum silindir içi basıncının üst ölü noktadan bir miktar (8-12 derece krank açısı) sonra oluşması beklenmektedir. Bu durum ateşleme avansı olarak bilinmektedir. Bununla birlikte piston hareketine göre değerlendirildiğinde genişleme zamanı alt ölü noktada tamamlanmaktadır. Halbuki egzoz valfi alt ölü noktaya gelmeden önce açılmaya başlamaktadır. Böylelikle hem egzoz valfinin tam açılması için makul bir zaman oluşturulmakta hem de egzoz gazlarının çıkışı daha rahat olmaktadır. Egzoz zamanı da piston hareketine göre üst ölü noktada tamamlanmaktadır. Ancak piston üst ölü noktaya gelmeden önce emme valfi açılmaktadır. Yani egzoz zamanı sonu emme zamanı başlangıcındaki üst ölü nokta durumunda her iki valf de açıktır. Bu durum supap bindirmesi (ing. valve overlap) olarak bilinmektedir. Emme valfinin önceden açılmasının sebebi ise emme sürecini uzatarak emme valfinin açılması için gerekli makul sürenin verilebilmesi ve böylelikle silindir içerisine daha fazla hava alınmasının sağlanmasıdır. Emme zamanı başladığında ise egzoz valfi halen açıktır ve bir süre sonra

kapanmaktadır. Yani egzoz zamanı teorik olarak 180 derece krank açısı kadar sürmesine rağmen egzoz valfi 180 dereceden daha fazla açık kalmaktadır. Emme zamanı teorik olarak alt ölü noktada son bulurken emme valfi sıkıştırma zamanı başlangıcında, alt ölü nokta sonrasında kapanmaktadır. Yani emme zamanı da teorik olarak 180 derece krank açısı kadar sürmesine rağmen emme valfi 180 dereceden daha fazla açık kalmaktadır. Bu durum Şekil 11'de basitleştirilerek anlatılmıştır.



Şekil 11. Valf açılma-kapanma hareketleri

Valflerin bu erken açılma ve geç kapanma durumları teorik sıkıştırma (veya genişleme) oranı ile gerçek sıkıştırma (veya genişleme) oranının aynı olmamasına da neden olmaktadır. Teorik sıkıştırma oranı esasen geometrik olarak hesaplanan bir sıkıştırma oranıdır ve silindirin piston alt ölü nokta durumundaki hacminin üst ölü nokta durumundaki hacmine oranı olarak basitleştirilebilir. Ancak valflerin karakteristik açılma-kapanma durumları göz önüne alındığında örneğin gerçekte sıkıştırma oranı emme valfinin tam kapandığı alt ölü nokta sonrasında gerçekleştiği için teorik sıkıştırma oranı ile gerçek sıkıştırma oranı değerleri arasında farklılıklar olmaktadır. Bununla birlikte genişleme oranının sıkıştırma oranına göre daha büyük olduğu Atkinson çevrimi (veya Miller çevrimi) esasen konvansiyonel valf zamanlamasının modifikasyonu ile elde edilmektedir. Genişleme oranının sıkıştırma oranına göre daha büyük olması için basit bir yöntem olarak emme valfinin kapanması bir miktar geciktirilmektedir.

Motorlarda mevcut kam profili belirlendikten sonra izleyici yüzeyine bağlı olarak maksimum hız, maksimum ivme gibi kriterler

belirlenerek uygun bir tasarım yöntemi kullanılarak tasarım yapılmalıdır. Daha sonrasında modifiye edilmek istenen açık kalma açısı, tam açılma süresi, tam kapanma süresi, açılmaya başladığı durum, tam kapandığı durum gibi parametreler değerlendirilir.

Mevcut kam profilinin tasarımı temel olarak bir modifikasyon olsa da bazı durumlarda yalnızca kam profilinin modifikasyonu yeterli olmayabilir. Örneğin altı zamanlı motorlarda bir çevrimin meydana gelmesi için krank milinin üç turuna karşılık kam milinin bir tur dönmesi gerekmektedir. Böyle bir durumda öncelikle krank kam arasındaki dişli (veya zincir, kayış) sistemin modifikasyonunun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak bu gibi durumlarda kam profili modifikasyonu da zorlaşabilmektedir. Dört zamanlı motorlarda her bir zaman için 90 derece kam açısı olurken bu durum altı zamanlı motorlar için 60 derece olmaktadır. Bu nedenle kam mili profili için temel daire çapı, maksimum yükseklik gibi parametrelerin de kısmen değiştirilmesi gerekebilir.

Sonuç ve Öneriler

Kam mili modifikasyonu özellikle motor tasarımı ile ilgilenenler için önemli bir husustur. Kam mili üzerindeki kamlara ait profillerin hatalı olarak belirlenmesi valf açılma ve kapanma hareketlerinin arzu edilen performansta gerçekleşmemesine neden olabilmektedir. Kam profili modifikasyonu yapılırken özellikle valfin açılması ve kapanması süreçlerinin çok iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kam mili modifikasyonunda kam profilinin belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Tek silindirli bir motorun kam mili üzerinde kam profili ölçümü işlemi için basit bir deney düzeneği kullanılmıştır. Elde edilen ham verilerin oldukça gürültülü olduğu tespit edilmiş ve bu ham veriler Loess yöntemi kullanılarak filtrelenmiştir. Ham veriler ve filtrelenen veriler üzerinde açığa bağlı birinci ikinci ve üçüncü türev grafikleri elde edilerek karşılaştırılmıştır. Böylelikle bu verilerin çift yay kam profiline uyum sağladığı görülmüştür. Kam mili modifikasyonu için gerekli kam profilinin elde edilmesinde çift yay kam profili stratejisinin uygulanabileceği anlaşılmıştır. Böylelikle bu çalışma ile

birlikte kam profili modifikasyonu için gerekli olan kam profili stratejisinin belirlenmesi aşaması başarı ile tamamlanmıştır.

Bilgilendirme

Bu deneysel çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu,'nun (Tübitak) 2209-A “*Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı*” kapsamında 2021-2 döneminde mali destek almış olan “*Kam-İzleyici Mekanizması İçin Basit Bir Deney Düzenegi*” adlı projenin öngörülen/hedeflenen yaygın etkisinin oluşturulması doğrultusunda hazırlanmıştır. Yazarlar deneysel çalışma için sağlamış olduğu mali destekten dolayı Tübitak’a teşekkür eder.

KAYNAKÇA

Norton, L. (2002). Cam desing and manufacturing handbook, Newyork: Industrial Press.

Rothbart, H. (2004). Cam design handbook, New York: McGraw-Hill.

Moon, C., 1961, “Cam Design”, Emerson, 7-23, USA.

Arabaci, E., İçingür, Y., & Uyumaz, A. (2014). Su Enjeksiyonu ile Egzoz Isısı Geri Kazanımlı Altı Zamanlı Motor İçin Kam Tasarımı. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 2(2), 213-220.

Arabaci, E. (2019). Dimensionless design approach to translating flat faced follower mechanism with two-circular-arc cam. Mechanical Sciences, 10(2), 497-503.

Karasoy, D., Kumandaş, E., & Tutkun, N. A. (2016). Hacettepe Üniversitesi İstatistik Bölümü mezunlarının mezuniyet sürelerini etkileyen faktörl

Danakas, P., Bilodeau, M., & Quaegebeur, N. (2021). Cam-follower mechanism for airborne ultrasound generation. Applied Acoustics, 182, 108225.

Ferguson, C. R., & Kirkpatrick, A. T. (2014). Internal combustion engines: applied thermosciences. John Wiley & Sons.

BÖLÜM VI

Havacılık Uygulamalarında Karbon Temelli Kompozit Malzemeler

Yasin AKIN¹
Kubilay HAN²
Ömer ÇERLEK³

Giriş

Malzemeler, metaller, polimerler, seramikler ve inorganik camlar ile kompozitler olmak üzere kategorilere ayrılmaktadır. Metaller, yüksek sıcaklıklarda dayanımını kaybederken, polimerik malzemeler genellikle daha düşük sıcaklıklara dayanmaktadır. Seramikler, avantajlı erime noktaları, yüksek sıcaklıklara dayanma yetenekleri, dayanıklılık ve termal genleşme özellikleri açısından metalleri ve polimerleri geride bırakır, ancak kırılabilirlikleri

¹ Araştırma Görevlisi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

² Araştırma Görevlisi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

³ Araştırma Görevlisi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

nedeniyle genellikle yapısal malzemeler olarak tatmin edici değildir. Bu durum, kompozitlerin keşfine yol açmıştır. Kompozit, iki veya daha fazla mikro bileşenin bir karışımı veya kombinasyonu olarak tanımlanmaktadır. Kesici takımlar (metaller + seramikler), elektrotlar (metaller + polimerler), biyomedikal (seramikler + polimerler) gibi kompozit örnekler bulunmaktadır. Güçlü ve sert takviyelerin, özellikle karbon fiberin ortaya çıkışı ve yüksek performanslı reçinelerin matris malzemelerini üretmek için polimer araştırmalarındaki ilerlemeler, modern uçak tasarımlarının ortaya çıkardığı zorlukları karşılamada yardımcı olmuştur. Gelişmiş kompozit malzemelerin büyük ölçekli kullanımı, dünya genelindeki askeri savaş uçakları, NASA havacılık yapıları, küçük ve büyük sivil taşıma uçakları, helikopterler, uydular, fırlatma araçları ve füzelerin geliştirme programlarında bu tür kompozit malzemelerin potansiyelini kullanmanın en belirgin örneği olmuştur (Ahmed vd., 2014).

Geleneksel metal ve petrol tabanlı malzemeler ile karşılaştırıldığında kompozit malzemeler, geliştirilmiş mekanik özellikleri nedeniyle bugün birçok endüstride tercih edilmektedir. Geliştirilmiş mekanik özelliklerinin yanı sıra korozyon dayanımı çok yüksek olan kompozit malzemeler, bu yönleri ile de yapısal sistemlerde ana yapı ya da ikincil yapıların üretilmelerinde tercih edilmektedirler (Karthi vd., 2020). Kompozit malzemelerden üretilmiş olan otomotiv (Sarfraz, 2021), biyomedikal (Chang vd., 2023), elektronik (Zheng vd., 2022) mimari (Zhang vd.,2020) ve hava araçları ve bileşenleri (Kilimtzidis vd., 2023) gibi yapısal sistemler birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1960' lı yıllarda kompozit malzemeler ticari hava araçlarında kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, 1984 yılında NASA destekli üretilen 737 uçaklarının kuyrukları, ticari bir uçakta kullanılan ilk kompozit ana yapı elemanı olarak tarihe geçmiştir. Ağırlık avantajlarına ek olarak, yorulma mukavemeti açısından metalik malzemelerden daha elverişli olan kompozit malzemelerin hava araçlarında kullanımının artması beklenmektedir. Bu özellik, özellikle ticari hava araçlarının bakım periyotlarının daha uzun

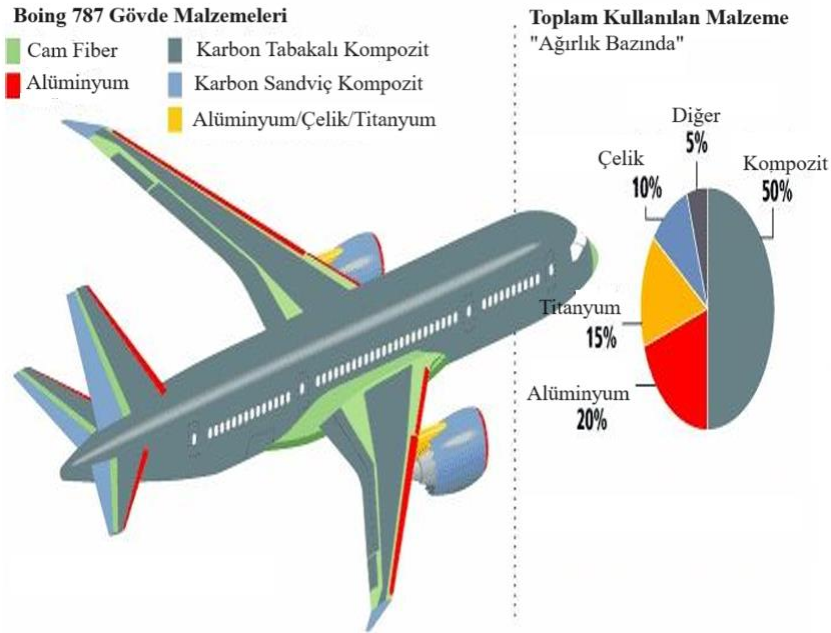
olmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, günümüzde, kompozit malzemeler, farklı hava ve uzay aracı uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılmakta olup özellikle insansız hava araçlarının üretiminde sıkça karşımıza çıkmaktadır (Turgut vd., 2007).

Kompozit malzemeler, mühendislik veya endüstri sektöründe kullanılan yenilikçi mühendislik malzemeleri listesinin başında yer almaktadır. Kompozitler ve nanokompozitler, yüksek özgül dayanım, rijitlik, yorulma direnci ve düşük maliyet gibi özelliklerinin yanı sıra havacılık, savunma ve çeşitli ileri uygulamalar için kolay işleme gibi birçok avantaja sahiptir (Akın vd., 2023; Han vd., 2021; Zhao vd., 2021). Nurazzi ve arkadaşları (2021) hibrit kompozitlerin mukavemetini, sertliğini ve darbe mukavemetini artırmaya yönelik çalışmaları, uzun ve kısa vadeli performanslarını iyileştirmeye odaklanmıştır. Sertlik ve maliyet açısından, polimer kompozitler artık diğer metal malzemelerle rekabet halindedir; çekme ve darbe dayanımı değerleri metal malzemelere yaklaşmaktadır. Takviyeli polimer kompozit malzemeler, araç dış savunma ve uçak bileşenleri ve deniz yapıları dahil olmak üzere çeşitli yapısal ve dış mekan uygulamalarında kullanılmaktadır.

Havacılık Uygulamalarında Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler olağanüstü mukavemetleri, sertlikleri ve diğer fiziksel özelliklerinden dolayı günümüzde özellikle dünya çapındaki taşımacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya çapında havacılık endüstrisinde son 30 yılda ticari uçak yapılarında kullanılan kompozit malzeme sayısı %40 oranında artmıştır. Örneğin 1980'li yıllarda Boeing 757 uçaklarının ağırlığının %10'undan daha azını kompozit malzeme oluştururken, günümüzde Boeing 787 uçaklarının ağırlığının %51'i kompozit malzemelerden oluşmaktadır (Şekil 1). Şu anda Eurofighter ve diğer gelişmiş uçaklarda bu kullanım yüzde 70'e yaklaşmaktadır (Bautista vd., 2020).

Son yıllarda, karbon temelli nanomalzemeler, yüksek mukavemetli ve çok yönlü hafif kompozit malzemelerin kaynağı olarak araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Çoğu çalışma, modifiye edilen polimer matrislerinin mekanik özelliklerinde önemli artışlar gösteren çeşitli dolgu konsantrasyonları ile ilgili deneysel araştırmalara odaklanmıştır (Harussani vd., 2021; Nam vd., 2017; Mohd Nurazzi vd., 2021). Bu bağlamda, grafen ve karbon nanotüpleri (CNT'ler) üzerindeki araştırmalar öne çıkmaktadır. Son çalışmalar, grafen ve CNT'lerin daha iyi dispersiyon sağlama ve daha düşük üretim maliyetine sahip olma gibi üstün özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle, CNT'ler ve grafen, yeni çok fonksiyonlu nanokompozitlerin geliştirilmesinde umut vadetmektedir (Garcia-Macias vd., 2018).



Şekil 1. Boeing 787' deki kompozit malzeme oranları (Ahmed vd., 2014)

Kompozit malzemeler, metallere kıyasla önemli ölçüde düşük bir mukavemet-ağırlık oranına sahiptir. Bu nedenle, kompozit malzemeler, havacılık, otomotiv, denizcilik, elektrik ve yapılar dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde mühendislik malzemesi için büyük potansiyele sahiptir. Kompozitlerde yapılan araştırmalar aracılığıyla, dolgu maddeleri ve matrisin seçimiyle kontrol edilen çeşitli özellikler elde edilebilir. Son zamanlarda, birçok araştırmacı, karbon malzemelerini mühendislik uygulamalarında kullanmaya odaklanmıştır. Tablo 1, karbon takviyeli kompozitlerin havacılık ve uzay endüstrisindeki son gelişmelerin özetini göstermektedir.

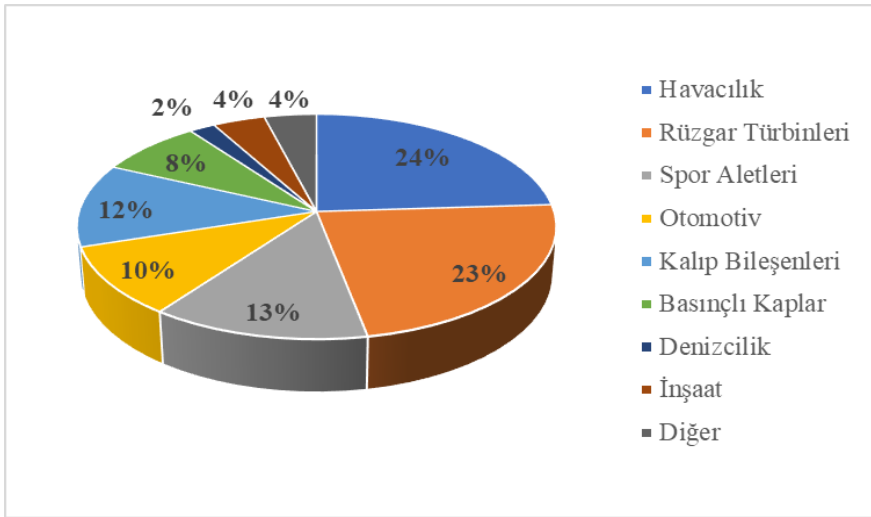
Tablo 1. Karbon temelli malzemelerle güçlendirilmiş kompozitlerin havacılık uygulamalarındaki kullanımı (Harussani vd. 2022)

Polimer Matris	Takviye Malzemesi	Uygulama
Polipropilen	Bambu/Cam Fiber	Havacılık Uygulamaları
Poliaktik Asit (PLA)	Cam Fiber	Havacılık ve Uzay Endüstrisi
Epoksi Reçine	Karbon Fiber	Yapısal Havacılık Uygulamaları
Epoksi Reçine	Karbon Siyahı	Uzay Endüstrisi
Termoplastik ve Termoset Reçineler	Karbon, Cam ve Kevlar Fiber	Hayalet (Stealth) Uçak Uygulamaları
Epoksi Reçine	Polipropilen Karbonu	Uçak elektroniği uygulamaları
Polyester	Toz aktifleştirilmiş karbon	Havacılık Uygulamaları
Alüminyum alaşımları	Aktif karbon	Uzay Endüstrisi
Epoksi reçine	Cam Fiber	Uzay Endüstrisi
Nitril Kauçuk	Karbon Siyahı	Uçak parçaları
Bakır	Karbon	Uzay Endüstrisi- Roketler
Alüminyum	Grafit	Uzay Endüstrisi- Hublle Uzay İstasyonu Anteni
Poliaktik Asit (PLA)	Sürekli karbon fiber	Havacılık ve Uzay Endüstrisi
Silikon	Karbon Fiber	Havacılık ve Uzat-y Endüstrisi
Epoksi Reçine	Grafit	Havacılık Uygulamaları
Polistiren	Grafen	Havacılık Uygulamaları - Koruma
Bakır / Grafit / Karbon / Poliakronitril (PAN)	CNT	Havacılık ve Uzay Elektroniği
CNT	Grafen	Havacılık ve Uzay Elektroniği

Havacılık uygulamalarında karbon fiber (CF), yaygın olarak kullanılan bir kompozit fiberdir. Bu, karbon takviyeli kompozitlerin düşük ağırlığa sahip olması ve mükemmel bir mukavemet-ağırlık oranına sahip olması nedeniyle daha az yakıt tüketimine ve

emisyonlara yol açmaktadır (Sankaran vd., 2018) Ayrıca kompozitler, geliştirilmiş aerodinamik verimliliklere ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine olanak tanımakta; bu durum araştırmacıları ürünlerinin manevra kabiliyetini ve hızını artırmak amacıyla askeri uçak üretimine çekmiştir. Hava taşıtları için ağırlığın kritik bir faktör olduğu göz önüne alındığında, araştırmacılar ilk uçuşun gerçekleştiği günden bu yana kaldırma-ağırlık oranlarını artırmak için çalışmaktadır (Harussani vd., 2022).

Karbon esaslı kompozitlerin gelecekteki pazarı, havacılık ve uçak, spor ve eğlence, rüzgar türbini, otomotiv, inşaat ve denizcilik uygulamalarını kapsamaktadır. Havacılıkta kullanıma yönelik tahmini karbon elyaf talebi 2020 yılında 26 kiloton' dur (Şekil 2), bu talebin büyük çoğunluğu (%70) ticari uçak üreticileri (örneğin, Boeing 787 ve Airbus A 350) tarafından sağlanmaktadır (Zhang vd., 2020).



Şekil 2. Uygulama alanlarına göre 2020 yılında küresel karbon fiber talebi (Zhang vd., 2020)

Karbon fiber takviyeli polimer kompozitler (CFRP), askeri uçaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. JSF, EFA gibi askeri uçaklarda, fiber kompozit malzemelerin yapısal kütesinin yaklaşık

%50' sini, uçağın yüzey alanının ise yaklaşık %70' ini oluşturduğu bilinmektedir (Huda ve Edi, 2013). CFRP' nin askerî uçaklardaki diğer kullanım alanları arasında motor rulmanları, kasalar, hava kanalları ve çıkış flepleri gibi olağanüstü yüksek sıcaklık uygulamaları bulunmaktadır (Ahmad vd., 2023).



Şekil 3. Karbon temelli kompozit malzeme ile üretilmiş a) uçak iniş takımı fren diskleri ve b) roket yanma odası (Harussani vd., 2022)

Havacılık uygulamaları için farklı fiber yönelimlerine sahip karbon-karbon kompozitler, ısı kalkanları, roket motor nozulları ve uçaklardaki yüksek sürtünme parçalarında, Şekil 3a' te gösterildiği gibi kullanılmaktadır. Farklı bir çalışmada, roketlerin yanma odası üretiminde karbon-seramik malzeme kullanılmıştır. (Şekil 3b).

Uçaklarda çeşitli kompozit bileşenler geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bileşenler, uçağın bütünlüğündeki rolünün daha fazla veya daha az önemli olmasına bağlı olarak aşağıda listelenmiştir:

Birincil yapı bileşenleri (uçağın bütünlüğü için hayati öneme sahiptir)

- Kanat paneli, kanat ucu, kanat gövdesi
- Dikey stabilizatör (kuyruk gövdesi), yatay stabilizatör (kuyruk gövdesi)
- Merkezi kanat gövdesi
- Gövde bölümleri
- Basınç bölmeleri

Uçuş kontrolleri

- Kanatçıklar
- Kuyruk, elevatörler
- Kanat flapları
- Hız Kesiciler
- Kıvrık Kanatlar

Kaplamalar

- Gövde kaplaması
- Flap takım kaplamaları
- Kanat kaplamaları (Karmans)
- Motor muhafazası ve çeviriciler
- Kapılar, kargo kapıları
- İniş takımı kapıları
- Antenler
- Kuyruk Gövdeleri

İç tasarım

- Zeminler
- Kabin kaplama panelleri
- Kapılar

Havacılık uygulamalarında kullanılan kompozit malzemeler, geleneksel metallerin yerini alabilen ve birçok avantaja sahip olan malzemelerdir. Kompozit malzemeler genellikle karbon fiber, cam fiber, aramid fiber gibi güçlendirici lifler ile polimer matrislerin kombinasyonundan oluşur. Bu kombinasyon, malzemenin istenilen özelliklere uygun olarak tasarlanmasına olanak tanır. Ancak, bu avantajların yanı sıra kompozit malzemelerin dezavantajları da vardır. Özellikle, üretim süreçleri genellikle karmaşık ve maliyetlidir. Malzeme üretimi için özel ekipmanlar ve uzmanlık gereklidir, bu da başlangıç yatırım maliyetlerini artırabilir. Bu nedenle, uçak tasarımında ve üretiminde kullanılacak malzemelerin seçiminde avantajlar ve dezavantajlar dikkate alınmalı ve uygulama gereksinimleri doğrultusunda en uygun malzeme seçilmelidir.

Havacılık sektöründe kullanılan kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları ile ilgili uygulamalar Tablo 2’ de verilmiştir.

Tablo 2. Havacılık sektöründe kullanılan kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları (Gay, 2015)

Kompozit Malzeme	Avantajları	Dezavantajları
Cam Fiber-Epoksi Kevlar Fiber- Epoksi	Yüksek statik dayanım Yüksek elastik deformasyon Çok iyi yorulma dayanımı	Maksimum çalışma sıcaklığı yaklaşık 80 °C Düşük İletkenlik Karbon/epoksiye kıyasla daha yüksek yoğunluk
Karbon Fiber- Epoksi	Yüksek statik dayanımı Çok iyi yorulma dayanımı Çok iyi ısı ve elektrik iletkenliği Yüksek çalışma sıcaklığı (reçine tarafından sınırlı, yaklaşık 120°C) Cam/epoksiye göre daha düşük yoğunluk	Daha hassas imalat Darbe sonrası düşük direnç Kısıtlı kullanım alanları
Boron fiber – Epoksi	Yüksek statik dayanımı Yüksek rijitlik Epoksi reçineler ile çok iyi uyumluluk İyi yorulma dayanımı	Diğer kompozitlere göre daha yüksek yoğunluk Hassas uygulama ve işleme Yüksek maliyet
Petek yapıdaki kompozitler	Düşük özgül kütle Yüksek elastisite modülü ve dayanım Çok iyi yorulma dayanımı Paslanmaya eğilimli Hataları tespit etmek zordur	Paslanmaya eğilimli Hataları tespit etmede zorluk

Havacılık Uygulamaları (Güler, 2003)

Sivil Uygulamalar

Boeing

Boeing' in sivil uygulamalarındaki kompozit malzeme kullanımı, özellikle ağırlık tasarrufu ve performans artışı açısından önemli bir rol oynamaktadır. Şirketin ilk kompozit uygulamaları kanatçıklar, elevator, dümen ve hız kesiciler gibi kontrol yüzeylerinde gerçekleşmiştir. Günümüzde, grafit en yaygın kullanılan malzemedir, ancak Kevlar ve hibrit alaşımlar da yeni uygulamalara öncülük etmektedir.

Boeing 757, kompozit malzemelerin yoğun olarak kullanıldığı bir modeldir. Kontrol yüzeylerinde ve hız kesicilerde genellikle grafit-epoksi kullanılırken, taşıyıcı kapaklarda ve kanat/gövde kaplamalarında grafit/keklar hibridi kullanılmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde 757'de %10' luk bir ağırlık tasarrufu elde edilmiştir.

Boeing 737'de ise keklar, grafit, cam fiberleri ve bunların hibridleri, kaplamalar, kontrol yüzeyleri ve iniş takımı kapakları gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Boeing 767'de kompozit malzemelerin kullanımıyla %20' den fazla ağırlık tasarrufu sağlanmış ve mukavemet/ağırlık oranında %30'dan fazla artış elde edilmiştir. Hibrid kompozitler, grafit/epoksi ve keklar gibi malzemeler, kanat, kuyruk ve motor muhafaza kutularında kullanılmaktadır.

Airbus

Airbus'un sivil uygulamalarında da kompozit malzemeler önemli bir rol oynamaktadır. Airbus modellerinde grafit ve Kevlar, kontrol yüzeyleri ve diğer çerçeve elemanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle A 310-200 modelinde keklar ve karbon fiberlerinin kullanımı dikkat çekicidir.

Lear Fan 2100 modeli ise neredeyse tamamen kompozit malzemeden üretilmiştir. Karbon, cam ve aramid (kevlar) fiberlerini içeren bu uçak, toplamda 852 kg ağırlığındadır. Bu da gösteriyor ki kompozit malzemeler, uçak endüstrisinde önemli bir evrimin parçası haline gelmiştir.

Askeri Uygulamalar

Kompozit malzemelerin askeri alandaki uygulamaları, özellikle uçak ve helikopter tasarımında önemli bir evrim geçirmiştir. Bu uygulamaların örnekleri şunlardır:

F-14

Bu uçağın dengeleyicileri (yatay kuyruk), bor içeren kompozitlerin ilk kez birincil yapı olarak kullanıldığı alanlardır. Kaplama malzemeleri, ağırlık ve maliyet göz önüne alınarak seçilmiştir. Bor-epoksi malzemesi, titanyuma göre %20 ağırlık tasarrufu sağlarken, maliyetleri diğer malzemelerle rekabet edebilecek durumdadır. Bu uygulama, F-15' in hem yatay hem dikey dengeleyicilerinde de yapılmıştır.

F-16

Türkiye tarafından üretilen bu uçağın C ve D modellerinin iç yapısı ve kaplaması çoğunlukla alüminyumdan oluşsa da, tamamen hareketli olan yatay kuyruğun kaplamaları ve düşey kuyruk ile yatay kuyruklarının bir kısmı grafit-epoksi kompozitidir. F-16'daki kompozit kısımlar, yapısal ağırlığın yaklaşık %3' ünü oluşturur.

Gelişmiş Taktiksel Savaş Uçağı (ATF)

ATF'de kullanılan ileri kompozitler, azaltılmış hava direnci, radara yakalanmama ve yüksek hızlarda meydana gelecek yüksek sıcaklıklara dayanıklılık gibi özellikler kazandırmaktadır. ATF' nin yaklaşık %50' si kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Grafit, bor ve cam takviyeli kompozitler ile alüminyumun bir araya geldiği

ATF' nin kompozit kanatları, özellikle hafif ve dayanıklı olmaları açısından dikkat çekicidir.

Gelişmiş Teknolojili Bombardıman Uçağı B-2

B-2' nin en önemli özelliği radara yakalanmamasıdır. Her B-2'de büyük miktarlarda kompozit malzeme bulunmaktadır. Uçak yapımı sırasında birçok yeni malzeme ve proses geliştirilmiştir.

AV-8B Harrier

Harrier uçaklarının yaklaşık %26' sı grafit takviyeli epoksi reçinesinden oluşan kompozit malzemelerden yapılmıştır. Kanadının tamamı kompozit olan bu uçak, ön gövde ve yatay kuyruklarında da grafit-epoksi kompozitinden parçalar içermektedir.

F/A-18

Birleşik Devletler Donanması' nın uçak gemilerinde konuşlandırılan F/A-18 uçaklarında kanat yüzeylerinde grafit-epoksi kompozitleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Osprey Tilt-Rotor (V-22)

Osprey uçaklarının yaklaşık %40' ı kompozit malzemedan üretilmiştir. Özellikle kanat kısımlarında grafit-epoksi kullanılırken, pervane ve rotorlarda cam fiber takviyeli kompozitler kullanılmaktadır.

F-5

F-5 uçağının orta ve arka kısım gövdesi, grafit-epoksi kompozitinden yapılmıştır. Bu uygulama, gövde yapılarına kompozitlerin uygulanması için bir deneme olarak seçilmiş ve başarıyla tamamlanmıştır. Grafit-epoksi, bor, cam ve metal gibi malzemelerin kombinasyonuyla oluşan bir kompozit kullanılmıştır.

Helikopterler

Helikopterlerde genellikle kompozit malzemeler, özellikle rotor imalatında kullanılmaktadır. Fiber takviyeli kompozitlerin helikopter rotorlarında kullanımı, geliştirilmiş aerodinamik geometri, yüksek mukavemet ve düşük maliyet gibi avantajları beraberinde getirmiştir.

Helikopterlerin boş ağırlığının büyük bir kısmını gövde, motor dişli kutusu ve rotor sistemi oluşturur. Modern helikopterlerde dişli kutusu ağırlıkları belirli seviyelere kadar düşürülmüştür. Bu nedenle boş ağırlığın daha da azaltılması için gövde ağırlığının azaltılması önemlidir. Bilgisayar destekli tasarım ve kompozit malzemelerin kullanımı, günümüzde bu hedefe ulaşmayı mümkün kılmaktadır.

CH-47 nakliye helikopterinin kompozit gövdesi ve Eurocopter EC-135, Pah-1 Tiger, MHDC Explorer ve Alman/Hindistan ALH helikopterlerindeki kompozit kullanımı, helikopter endüstrisindeki önemli gelişmeleri temsil etmektedir. Sikorsky-Boeing Comanche helikopterlerinin tamamen kompozit malzemeden üretilen gövdeleri, bu alandaki ilerlemelerin bir örneğidir ve prototip aşamasında olup yakın gelecekte hizmete girmesi planlanmaktadır.

Uzun ve ince kesitlerde elde edilen anizotropik özellikler, kompozit malzemelerin tercih edilmesine yol açmaktadır. Ayrıca, çekirdekli yapılar ağırlık dengesini istenen şekilde sağlamak için kullanılabilir. Kompozit malzemeler, alüminyum parçalara göre daha yüksek yorulma dayanımı göstermektedir. Alüminyumun 40.000 çevrimde yorulma hasarına uğradığı bir durumda, aynı şartlar altında kompozit malzemenin 500.000 çevrimde hasara uğramadığı belirlenmiştir. Ayrıca, alüminyumun titreşim şekil değiştirmesi kompozite göre yaklaşık 5 kat daha az ölçülmüştür.

Sikorsky S-76 helikopterlerinde kevlar ve kevlar peteği ile birlikte termoset reçineler sıkça kullanılmaktadır. Bu kompozit malzeme, ağırlık tasarrufu sağlamakla birlikte titreşimleri de

sönümlenmektedir. Bu helikopterlerde toplam gövdenin %60' ı kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Bu gelişmeler, helikopter endüstrisindeki teknolojik ilerlemelerin bir yansımasıdır.

Uzay Uygulamaları

Kompozit malzemeler, olağanüstü özellikleri ve performansları nedeniyle çeşitli uzay uygulamalarında kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle karbon fiber takviyeli polimerler, uydu yapıları, anten reflektörleri ve güneş panelleri gibi bileşenlerin inşasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler, yüksek mukavemet-ağırlık oranı sunarak hafif ve dayanıklı yapıların uzayın zorlu koşullarına dayanmasını sağlar. Ayrıca, kompozit malzemeler, roket kapakları ve ısı kalkanları gibi uzay aracı bileşenlerinin imalatında da kullanılır. Bu malzemeler, termal koruma ve aerodinamik performansın artırılmasıyla uzay görevlerinin güvenli ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır. Son yıllarda, polimerlerin ve karbon esaslı takviyeli kompozitlerin uzay uygulamalarında kullanımına artan bir ilgi gözlemlenmektedir (Sarantinos vd., 2019).

Uydular

Uzay araştırmalarındaki son gelişmelerin çoğu, hafif, yapısal olarak esnek ve geleneksel uydulara göre daha uygun maliyetli olan nano uyduların kullanımına odaklanmaktadır. Bu nedenle, polimerik malzemelerin kullanımı, genellikle epoksi reçine bazlı karbon fiber takviyeli malzemelerle karakterize edilen, düşük kalınlık ve yüksek paketleme verimliliği ile bilinen, uzaya yerleştirilebilir yapılar alanında önemli ölçüde artmıştır (Suliga vd., 2018).

Yakıt Tankları ve Basınçlı Kaplar

Uzay uygulamalarında kullanılan ileri kompozit malzemeler, özellikle kevlar ve epoksi gibi, itici yakıt veya katı yakıt sağlayan basınçlı kapların oluşturulmasında kullanılmaktadır. Kevlar ve epoksi gibi ileri kompozit malzemeler, yüksek dayanıklılık

özelliklerine sahiptir. Bu, basınçlı kapların dayanıklılığını artırarak uzay koşullarına uygun hale getirmektedir. Aynı zamanda düşük yoğunluklara sahip malzemeler, uzay aracının genel ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğini artırmakta ve uzaya fırlatma maliyetlerini düşürmektedir. Ayrıca kimyasal direnç özelliklerinden dolayı, itici yakıtların veya katı yakıtların kimyasal etkileşimlerinden kaynaklanan aşınma ve bozulmaya karşı direnç sağlamaktadır.

Bu özellikler, uzay uygulamalarında yakıt tankları ve basınçlı kaplar için ideal olan kompozit malzemelerin seçilmesini destekler. Uzay araçlarının performansını artırarak, dayanıklılıklarını ve verimliliklerini optimize etmeye yönelik önemli avantajlar sunmaktadır.

Roket Nozulları

Katı roket yakıtlı iticilerde kullanılan nozullar, yüksek sıcaklık dayanımı, düşük özgül ağırlık, yüksek aşınma direnci, iyi termal kapasiteye sahip ve mekanik şoklara karşı direnç sağlamak için karbon/karbon kompozitlerden yapılmaktadır. Nozül yanması için dirençli malzemeler tercih edilir.

Uzay Mekiği ve Kapsülleri

Karbon fiber takviyeli kompozit kaplamalar, uzay mekiği ve kapsüllerin yapısal bileşenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Termal koruma için silika/silika seramik kaplamalar ve yanma kaplamaları kullanılmaktadır.

Enerji Depolama

Uydularda ve uzay istasyonlarında kullanılan kompozit volanlar, elektrik gücü sağlama ve konum kontrolü için kullanılmaktadır. Geleneksel depolama yöntemlerine göre daha düşük kütleye sahiptir. Uzay uygulamalarındaki kompozit malzemeler, yüksek dayanıklılık, düşük ağırlık, termal direnç ve mükemmel mukavemet gibi özellikleri nedeniyle tercih

edilmektedir. Bu özellikler, uzaya fırlatma maliyetlerini azaltmak ve uzay araçlarının performansını artırmak için önemlidir (Gay, 2015).

Sonuç

Havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılan kompozit malzemeler, bir dizi avantaj sunarak endüstriye önemli katkılarda bulunmaktadır. Bu malzemelerin kullanımı, performans artışı, yakıt tasarrufu, hafif yapılar, dayanıklılık ve mukavemet gibi çeşitli faktörlerle ilişkilidir. İşte bu uygulamaların sonuçlarına yönelik bir özet:

Performans Artışı: Kompozit malzemelerin hafif ve dayanıklı olması, havacılık ve uzay araçlarının performansını artırır. Daha hafif yapılar, daha yüksek hızlara, daha uzun menzillere ve daha yüksek taşıma kapasitesine olanak tanır.

Yakıt Tasarrufu: Hafif kompozit yapılar, uçak ve uzay araçlarının yakıt verimliliğini artırır. Yakıt tasarrufu, operasyon maliyetlerini azaltır ve çevresel etkileri minimize eder.

Dayanıklılık ve Mukavemet: Kompozit malzemeler, geleneksel metal yapıların sağlamadığı özelliklerde dayanıklılık ve mukavemet sağlar. Uzun ömürlü ve düşük bakım gereksinimleri, havacılık ve uzay endüstrisinde güvenilirlik sağlar.

Termal Direnç ve İzolasyon: Uzay uygulamalarında kullanılan kompozit malzemeler, yüksek sıcaklık değişimlerine dayanıklıdır. Termal izolasyon özellikleri, uzay araçlarının ekstrem sıcaklık koşullarında çalışmasına olanak tanır.

Uzay Araştırmalarında İlerleme: Kompozit malzemeler, uzay araştırmalarının daha ileri gitmesine ve yeni teknolojilerin geliştirilmesine katkıda bulunur. Daha hafif ve dayanıklı malzemeler, yeni nesil uzay araçlarının tasarımını mümkün kılar.

Maliyet ve Verimlilik: Kompozit malzemelerin üretimindeki ilerlemeler, üretim maliyetlerini düşürür. Hafif yapının sağladığı yakıt tasarrufu ve dayanıklılık, toplam işletme maliyetlerini azaltır.

Sonuç olarak, havacılık ve uzay endüstrisinde kompozit malzemelerin kullanımı, sektördeki teknolojik ilerlemeyi desteklerken ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğı artırır. Bu malzemelerin avantajları, gelecekteki uçuş teknolojilerinin gelişiminde önemli bir rol oynayacaktır.

Kaynakça

Akın, Y., Kahraman, H., & Özsert, İ., (2023). Proton Değişim Membranlı (PEM) Yakıt Hücrelerinde Bipolar Plakaların Malzeme Seçimi. *Mühendislikte Güncel Yaklaşımlar*, 503–519. <https://doi.org/10.59287/mgy.1009>

Ahmad, F., Al Awadh, M., & Noor, S. (2023). Optimum alternate material selection methodology for an aircraft skin. *Chinese Journal of Aeronautics*, 36(7), 476-488. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2023.05.019>

Ahmed Atique, M. S., Probha, N. N., & Nafi, A. S. (2014). Polymer composites: a blessing to modern aerospace engineering. In *International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering* (pp. 26-27). Khulna, BANGLADESH.

Bautista, A., Casas-Rodriguez, J.P., Silva, M., & Porras, A. (2020). A dynamic response analysis of adhesive-bonded single lap joints used in military aircrafts made of glass fiber composite material under cyclic impact loading. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 102, 102644. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102644>

Chang, Q., Guo, S., & Zhang, X. (2023). Radiation shielding polymer composites: Ray-interaction mechanism, structural design, manufacture, and biomedical applications. *Materials & Design*, 233, 112253. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112253>

Chowdhury, P., Sehitoglu, H., & Rateick, R. (2018). Damage tolerance of carbon-carbon composites in aerospace application. *Carbon*, 126, 382-393. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.10.019>

Gay, D., (2015). *Composite materials design and Applications*. CRC Press

Güler, K. A., (2003). Uçak yapımında kullanılan malzemeler ve özelliklerinin incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi.

García-Macías, E., Rodríguez-Tembleque, L., & Sáez, A. (2018). Bending and free vibration analysis of functionally graded graphene vs. carbon nanotube reinforced composite plates. *Composite Structures*, 186, 123-138. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.11.076>

Harussani, M. M., Sapuan, S. M., Rashid, U., & Khalina, A. (2021). Development and characterization of polypropylene waste from personal protective equipment (PPE)-Derived char-filled sugar palm starch biocomposite briquettes. *Polymers*, 13, 1707. <https://doi.org/10.3390/polym13111707>

Han, H., Sun, H., Lei, F., Huang, J., Lyu, S., Wu, B., et al. (2021). Flexible ethylene-vinyl acetate copolymer/fluorographene composite films with excellent thermal conductive and electrical insulation properties for thermal management. *ES Mater Manuf*, 53-64. <https://doi.org/10.30919/esmm5f523>

Huda, Z. ve Edi, P. (2013). Materials selection in design of structures and engines of supersonic aircrafts: a review. *Materials and Design*, 46, 552–560.

Karthi, N., Kumaresan, K., Sathish, S., Gokulkumar, S., Prabhu, L., & Vigneshkumar, N. (2020). An overview: Natural fiber reinforced hybrid composites, chemical treatments and application areas. *Materials Today: Proceedings*, 27(3), 2828-2834. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.011>

Kilimtzidis, S., Kotzakolios, A., & Kostopoulos, V. (2023). Efficient structural optimisation of composite materials aircraft wings. *Composite Structures*, 303, 116268. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116268>

Nam, I. W., Park, S. M., Lee, H. K., & Zheng, L. (2017). Mechanical properties and piezoresistive sensing capabilities of FRP composites incorporating CNT fibers. *Composite Structures*, 178, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.07.008>

Nurazzi, N. M., Asyraf, M. R. M., Athiyah, S. F., Shazleen, S. S., Rafiqah, S. Ayu, Harussani, M. M., Kamarudin, S. H., Razman, M. R., Rahmah, M., Zainudin, E. S., Ilyas, R. A., Aisyah, H. A., Norrrahim, M. N. F., Abdullah, N., Sapuan, S. M., & Khalina, A. (2021). A Review on Mechanical Performance of Hybrid Natural Fiber Polymer Composites for Structural Applications. *Polymers*, 13(13), 2170. <https://doi.org/10.3390/polym13132170>

M.M. Harussani, S.M. Sapuan, Gohar Nadeem, Tahrim Rafin, W. Kirubaanand. (2022). Recent applications of carbon-based composites in defence industry: A review. *Defence Technology*, 18(8), 1281-1300. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.03.006>

Mohd Nurazzi, N., Asyraf, M. R. M., Khalina, A., Abdullah, N., Sabaruddin, F. A., Kamarudin, S. H., Ahmad, S., Mahat, A. M., Lee, C. L., Aisyah, H. A., Norrrahim, M. N. F., Ilyas, R. A., Harussani, M. M., Ishak, M. R., & Sapuan, S. M. (2021). Fabrication, Functionalization, and Application of Carbon Nanotube-Reinforced Polymer Composite: An Overview. *Polymers*, 13(7), 1047. <https://doi.org/10.3390/polym13071047>

Sankaran, S., Deshmukh, K., Ahamed, M. B., & Pasha, S. K. K. (2018). Recent advances in electromagnetic interference shielding properties of metal and carbon filler reinforced flexible polymer composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 114, 49-71. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.08.006>

Sarantinos, N., Loginos, P., Charlaftis, P., Argyropoulos, A., Filinis, A., Vrettos, K., ... & Kostopoulos, V. (2019). Behavior of photopolymer fiber structures in microgravity. *SN Applied Sciences*, 1(12). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1632-8>

Sarfraz, M. S., Hong, H., & Kim, S. S. (2021). Recent developments in the manufacturing technologies of composite components and their cost-effectiveness in the automotive industry: A review study. *Composite Structures*, 266, 113864. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113864>

Suliga, A., Jakubczyk, E. M., Hamerton, I., & Viquerat, A. (2018). Analysis of atomic oxygen and ultraviolet exposure effects on cycloaliphatic epoxy resins reinforced with octa-functional POSS. *Acta Astronautica*, 142, 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.10.018>

Turgut, T., Kayran, A., Alemdaroğlu, N., Ceylan, (2007) Vakum Torbalama Yöntemi ile Kompozit Malzemeden Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması, *Mühendis ve Makina*. (48, 566).

Zhang, X., Zhao, N., & He, C. (2020). The superior mechanical and physical properties of nanocarbon reinforced bulk composites achieved by architecture design – A review. *Progress in Materials Science*, 113, 100672. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100672>

Zhao, B., Liang, L., Bai, Z., Guo, X., Zhang, R., Jiang, Q., et al. (2021). Poly(vinylidene fluoride)/Cu@Ni anchored reduced-graphene oxide composite films with folding movement to boost microwave absorption properties. *ES Energy Environ*, 14, 79-86.

Zheng, X., Zhang, H., Liu, Z., Jiang, R., & Zhou, X. (2022). Functional composite electromagnetic shielding materials for aerospace, electronics, and wearable fields. *Materials Today Communications*, 33, 104498. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104498>

BÖLÜM VII

Yüksek mukavemetli Dillimax 960 çeliğinin kuru ve taşkın soğutma ortamlarında işlenebilirlik parametrelerinin araştırılması

Serhat ŞAP¹

Üsame Ali USCA²

Ünal DEĞİRMENCİ³

Giriş

Dillimax 960, yüksek çelik mukavemetiyle bilinen bir malzemedir. Bu çelik, yüksek direnç gösteren yapısal bir çelik türüdür. Dillimax 960, minimum 960 MPa çekme mukavemetine sahiptir ve ekstra yüksek mukavemet ve dayanıklılık sağlar (Guo et

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü

² Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

³ Dr. Öğr. Üyesi, Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü

al., 2015). Bu elik genellikle ağır yük taşıyan ve mukavemet gerektiren yapısal parçaların imalatında kullanılmaktadır. Örneğin, köprüler, vinçler, gemi yapısı, delici platformlar gibi uygulamalarda kullanılabilir. Bu elik türü, özel bir ısıl işlem sürecinden geçirilerek düşük sıcaklıklarda da mukavemetini koruması sağlanan bir üründür (Qiang, Bijlaard, & Kolstein, 2013). Ayrıca, stn özelliklere sahip bu elik iyi bir kaynak performansına sahiptir. Dillimax 960 eliği, yüksek mukavemet ve dayanıklılığa sahip olmasının yanı sıra, aynı zamanda iyi kaynaklanabilirlik ve yüksek darbe mukavemeti gibi özelliklere de sahiptir. Bu nedenle, zorlu çalışma koşullarında güvenilir bir performans gösterir. Bu elik, yapısal mühendislik projelerinde kullanılan bir elik türüdür ve uluslararası standartlara uygun olarak üretilir. Dayanıklılığı ve yüksek mukavemeti sayesinde, birçok endüstride güvenilir ve uzun ömürlü yapılar için tercih edilen bir seçenektir.

Talaşlı imalat, endüstrideki önemli bir imalat yöntemidir. Bu yöntem genellikle metallerin şekillendirilmesi için kullanılır ve çeşitli parçaların üretilmesi için önemli bir adımdır. Talaşlı imalat, bir materyal üzerinde kesici takımlar yardımıyla talaş adı verilen küçük parçaların çıkarılması işlemidir. Bu yöntemle parçaların şekli, boyutu ve yüzey pürüzlülüğü istenilen şekilde belirlenebilir (S. Zhang, Li, & Wang, 2012). Talaşlı imalat yöntemi, yüksek hassasiyet gerektiren parçaların üretiminde etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu yöntemle, mikroskobik ölçekte bile yüksek hassasiyetle işlem yapılabilir. Talaşlı imalat yöntemi, çeşitli malzemelerin işlenmesi için kullanılabilir. Bu yöntemle metal, plastik, seramik ve kompozit gibi birçok farklı malzeme işlenebilir. Bu yöntem otomotiv, havacılık, savunma ve enerji gibi endüstrilerde yaygın olarak kullanılır (H. Zhang et al., 2022). Ancak talaşlı imalatın birkaç zorluğu da vardır. Talaşlı imalat, yüksek maliyetli ekipmanların kullanılmasını gerektirir. Takımların sık sık değiştirilmesi ve tamir edilmesi gerekebilir. Ayrıca bu yöntemde enerji tüketimi de yüksek olabilir (Yıldırım, Sarıkaya, Kıvak, & şirin, 2019). Ortaya çıkan talaş ve atıklar, doğru şekilde yönetilmelidir. Bu atıkların bertarafı ve geri dönüşümü önemlidir.

Aksi halde çevresel etkilere yol açabilir. Talaşlı imalat sırasında kesici takım ile iş parçası arasında oldukça yüksek sıcaklıklar meydana gelebilmektedir. Bu süreçte soğutmanın önemi oldukça büyüktür (Wang, Li, Liu, & Shu, 2017). İşlem sırasında oluşan sürtünme ve kesme ısısı sonucu oluşan yüksek sıcaklık, aletin ve iş parçasının ömrünü etkileyebilir. Soğutucu sıvılar bu durumda iş parçası ve takımın sıcaklığını düşürerek aşırı ısınmasını engeller ve böylece deformasyon ve hasarı önler (Uysal, 2018). Soğutmak aynı zamanda talaşlı imalat sürecinde stabil bir şekilde çalışmayı sağlar. Akışkanla soğutulmayan takımlarda oluşan aşırı ısınma, aşınma ve deformasyonu arttırarak takımın ömrünü kısaltabilir (Usca et al., 2022). Soğutma sistemi kullanıldığında ise takımın sıcaklığı dengelenir ve daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Soğutma işlemi, kesme sıvısı ile yapılır ve bu sıvılar çeşitli özelliklere ve fonksiyonlara sahip olabilir (Usca, Şap, & Uzun, 2023). Kesme sıvısı, yüksek sıcaklıklarda kararlılık sağlar, talaşın yüzeyde birikmesini önler ve kesme alanını temizler. Ayrıca, soğutma sıvıları talaşın tahliyesini kolaylaştırır ve yüzey kalitesini iyileştirir (Şirin, Yıldırım, Kıvak, & Sarıkaya, 2021). Sonuç olarak, talaşlı imalatta soğutmanın önemi, takımların ömrünü uzatarak maliyetleri azaltır, iş parçasının kalitesini artırır ve sürecin verimliliğini artırır (Tapoglou, Lopez, Cook, & Taylor, 2017). Kısacası, soğutma işlemi talaşlı imalatın sağlıklı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için vazgeçilmezdir. İşlenebilirlik süreçlerinde önem arz eden bir diğer husus kesme parametreleridir. Kesme hızı ve ilerleme hızı, bir malzemeyi işlerken birlikte değerlendirilmesi gereken önemli faktörlerdir (Talebizadehsardari, Eyvazian, Khan, & Sebaey, 2021). İşlenebilirlik, malzemenin belirli bir işleme sürecine göre ne kadar kolaylıkla şekillendirilebileceğini ifade eder. Kesme hızı, bir malzemenin kesilme işlemi sırasında yapılan kesme hareketinin hızını ifade eder (Tu et al., 2023). Kesme hızı yüksekse, kesme aleti malzemenin üzerinde daha hızlı hareket eder ve işlem daha hızlı tamamlanır. Bu durumda, malzeme daha az zaman boyunca kesilir ve işlem daha verimli gerçekleşir. Ancak, kesme hızı arttıkça aletin aşınma hızı da artar ve aletin ömrü azalır (Thakur, Ramamoorthy, &

Vijayaraghavan, 2015). İlerleme hızı ise, kesme işlemi sırasında malzemenin üzerindeki kesme aletinin ilerleme hızını ifade eder. İlerleme hızı yüksekse, kesme aleti daha hızlı ilerler ve daha fazla malzeme kaldırır. Bu durumda, işlem daha hızlı tamamlanır ve daha fazla iş parçası üretilebilir. Ancak, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvveti ve ısı da artar, bu da aletin aşınma ve deformasyon riskini artırır. Kesme hızı ve ilerleme hızı arasındaki denge, işlenebilirlik açısından önemlidir. İşlenebilirlik, malzeme işlemi sırasında aletin performansı ve malzemenin kalitesi arasındaki dengeyi sağlamak için optimal kesme ve ilerleme hızlarını belirlemeyi gerektirir (Singh, Gupta, Mia, & Sharma, 2018). İşlenebilirlik yüksekse, malzeme daha kolay şekillendirilebilir ve işlem daha verimli olur. Ancak, işlenebilirlik düşükse, kesme ve ilerleme hızlarına dikkat edilmesi gerekebilir ve daha fazla işlem süresi ve enerji gerekebilir (S. Şap, Ü. A. Usca, M. Uzun, M. Kuntoğlu, E. Salur, et al., 2022).

Bu bölümde birçok sanayi endüstrisinde kullanılan Dillimax 960 yapısal çeliğinin kuru ve taşkın soğutma ortamlarında frezelenmesinin etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla iki farklı kesme hızı (120-180 m/dak), iki farklı ilerleme hızı (0,03-0,06 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0.5 mm) seçilmiştir. Seçilen farklı ortamların ve farklı kesme parametrelerinin takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Malzeme ve Ekipman

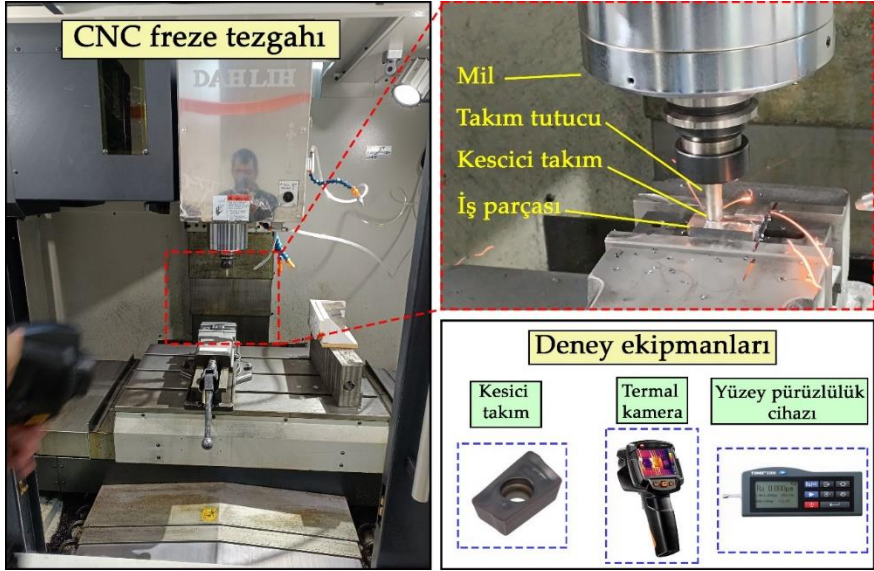
Deneysel olarak yapılan bu çalışmada iş parçası olarak birçok sanayi endüstrisinde kullanılan Dillimax 960 yapısal çeliği kullanılmıştır. Dillimax 960, yüksek mukavemetli bir yapışkan çeliktir ve genellikle ağır hizmet uygulamaları için kullanılır. Bu çelik, özellikle yapısal parçalarda ve makine parçalarında yüksek dayanıklılık gerektiren endüstriyel alanlarda tercih edilir. Mukavemeti, tokluğu ve işlenebilirliği ile bilinir ve genellikle özel kullanım gerektiren durumlarda tercih edilir. Bu tür çelikler genellikle inşaat, madencilik, denizcilik ve ağır sanayi gibi

sektörlerde kullanılır. Tablo 1’de Dillimax çeliğinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 1. Dillimax çeliğinin kimyasal bileşimi

C (ağ. %)	Si (ağ. %)	Mn (ağ. %)	Cr (ağ. %)	Mo (ağ. %)	P (ağ. %)	S (ağ. %)	Ni (ağ. %)	Cu (ağ. %)
0,20	0,50	1,60	0,80	0,70	0,020	0,010	2,0	0,30

Deneyler için temin edilen numuneler 50x50 mm boyutlarında kesilerek yüzeyler frezelenmiştir. Her numunenin iki yüzüne toplam dört adet frezeleme yapılmıştır. Talaşlı imalat, metal ve diğer malzemelerin işlenmesinde kullanılan bir üretim yöntemidir. Kesici takımlar, bu işlemde hayati bir öneme sahiptir. İş parçasını şekillendirmek, kesmek, delmek veya yüzeyini işlemek için kullanılırlar. Doğru kesici takımlar, işlem hızını artırabilir ve üretkenliği artırabilir. Uygun takımlar daha hızlı kesme veya işleme sağlayabilir (Sarıkaya et al., 2021). Kaliteli kesici takımlar, iş parçasının istenilen boyut, şekil ve yüzey kalitesine daha hassas bir şekilde ulaşılmasını sağlar. Kesici takımların doğru seçimi iş parçasının kalitesini etkiler. Düzgün tasarlanmış ve uygun şekilde kullanılan takımlar, istenilen yüzey pürüzsüzlüğü, boyut ve şekil sağlayabilir (S. Şap, Usca, Uzun, Kuntoğlu, & Salur, 2022). Doğru takımlar, malzeme israfını azaltabilir ve işletme maliyetlerini düşürebilir. Örneğin, daha az enerji tüketimi veya daha az malzeme kaybı gibi avantajlar sağlayabilir (Salur, 2022). Kesici takım olarak AlTiN kaplı kesici karbür uçlar kullanılmıştır. Adil bir kıyaslama için her bir deneyde yeni bir kesici takım kullanılmıştır. Deneyler bilgisayar kontrollü bir freze tezgahında (Dahlih MCV-860) yapılmıştır. Deneylerde kullanılan freze tezgahı ve kullanılan ekipmanlar Şekil 1’de gösterilmektedir. Tablo 2’de full deney tasarımı verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan freze tezgahı ve kullanılan ekipmanlar

Tablo 2. Full deney tasarımı

Deney numarası	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Kesme ortamı
1	120	0,03	Kuru ortam
2	120	0,06	Kuru ortam
3	180	0,03	Kuru ortam
4	180	0,06	Kuru ortam
5	120	0,03	Taşkın soğutma
6	120	0,06	Taşkın soğutma
7	180	0,03	Taşkın soğutma
8	180	0,06	Taşkın soğutma

Kesme hızı ve ilerleme hızları, malzemenin özelliklerine, kesici takımın özelliklerine (malzeme, kesici açılar, kaplama türü vb.) ve işleme koşullarına (soğutma, yağlama, titreşimler vb.) bağlı olarak dikkatlice seçilmelidir (E. Şap, Usca, & Uzun, 2022). Genellikle, deneme-yanılma yöntemi veya malzeme üreticisinin

önerileri temel alınarak en uygun hızlar belirlenir. Ayrıca, CNC gibi otomatik kontrol sistemlerinin kullanımıyla bu hızlar daha hassas bir şekilde ayarlanabilir. İş parçasının gereksinimlerini karşılayacak şekilde kesme ve ilerleme hızlarının optimize edilmesi önemlidir. Kesme parametreleri, daha önce edinilen tecrübeler ve üretici firma önerileri ışığında belirlenmiştir. Bu bağlamda iki farklı kesme hızı (120-180 m/dak), iki farklı ilerleme hızı (0,03-0,06 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0,5 mm) seçilmiştir. Soğutma/yağlama ortamı olarak kuru ve taşkın soğutma ortamı belirlenmiştir. Talaşlı imalat sanayisinde soğutma stratejisi olarak genellikle taşkın soğutma kullanılmaktadır. Şekil 2’de frezeleme işlemi yapılan deney numuneleri gösterilmektedir.



Şekil 2. Frezelenen deney numunelerine ait görüntüler

Talaşlı imalat sektöründe harcanan enerji toplam tüketimin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu yüzden bu sektörde harcanan enerji miktarının azaltılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada

Dillimax 960 çeliğinin ferzelenmesi sırasında harcanan enerji miktarının belirlenmesi amacıyla HIOKI-PW3198 model bir güç analizörü kullanılmıştır. Güç analizöründen elde edilen ham verilerden özel bir yazılım aracılığı ile tüketilen toplam enerji miktarı hesaplanmıştır. Şekil 3'te harcanan enerji miktarının belirlenmesinde kullanılan güç analizörü verilmiştir.



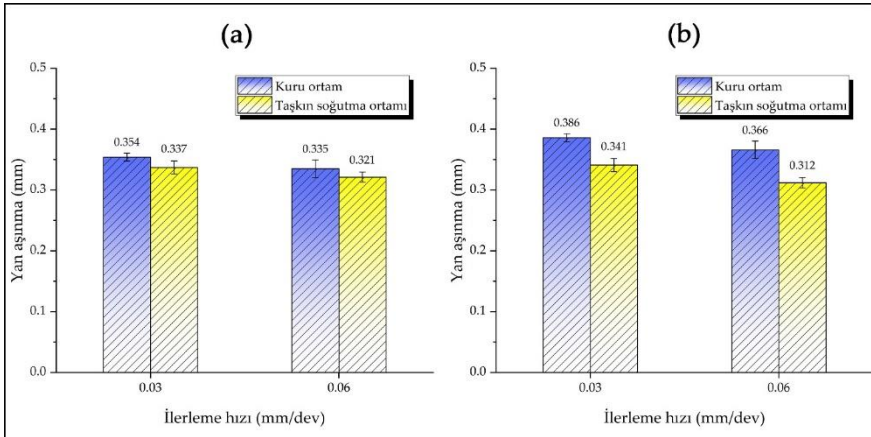
Şekil 3. Enerji tüketiminin belirlenmesinde kullanılan güç analizörü

Bulgular ve tartışma

Yan aşınma analizi

Kesici takımların yan kısımlarında meydana gelen aşınma, genellikle kesme işlemi sırasında ortaya çıkan bir durumdur. Bu aşınma çeşitli nedenlerden kaynaklanabilir. Kesme işlemi sırasında oluşan yan kuvvetler, takımın yan yüzeylerinde aşınmaya yol açabilir. Kesici takımın düzgün bir şekilde yerleştirilmemesi veya iş parçasının yeterince sıkı tutulmaması gibi faktörler yan kuvvetlerin artmasına ve dolayısıyla yan kısımlarda aşınmaya sebep olabilir (Ross, Srinivasan, Amutha, Gupta, & Korkmaz, 2022). Kesici takımın yan kısımlarındaki aşınmanın bir nedeni de, kesme kuvvetlerinin dengelenememesi veya takımın uygun olmayan bir şekilde konumlandırılmasıdır. Kesme işlemi sırasında takımın yan yüzeylerine fazla kuvvet uygulanması aşınmayı artırabilir. Yan

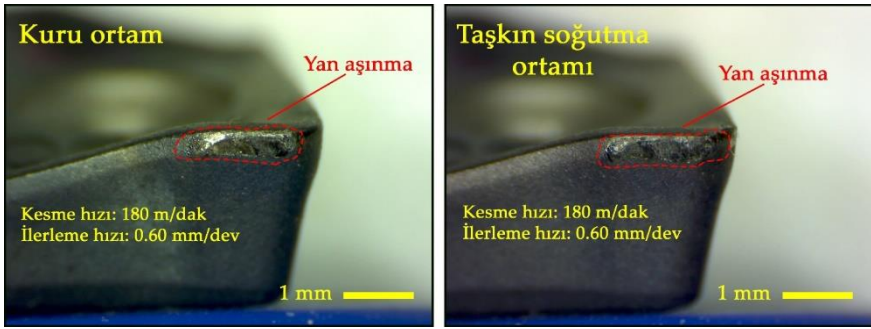
kısımlardaki aşınma, kesme hızı, ilerleme hızı ve besleme oranı gibi kesme parametrelerinin doğru ayarlanmaması sonucunda da olabilir. Yanlış kesme parametreleri, takımın yan yüzeylerinde aşınmaya ve hatta takımın erken hasar görmesine yol açabilir (Değirmenci, Usca, & Şap, 2023). Kesici takımın malzemesi ve kaplaması, yan kısımlardaki aşınmayı etkileyebilir. Yüksek kaliteli takımlar veya özel kaplamalar genellikle aşınmaya daha dirençli olabilir. Ancak, uygun olmayan bir malzeme veya kaplama kullanımı, aşınma problemlerine yol açabilir. Bu tür aşınmaların azaltılması veya önlenmesi için, doğru kesme parametrelerinin belirlenmesi, takımın düzgün bir şekilde konumlandırılması ve sıkı bir şekilde tutulması önemlidir. Ayrıca, uygun soğutma/yağlama stratejileri kullanılması aşınma problemlerini azaltmaya yardımcı olabilir (Usca et al., 2021). Şekil 4'te kuru ve taşkın soğutma ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin yan aşınma üzerindeki etkileri gösterilmektedir.



Şekil 4. Kuru ve taşkın soğutma ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin yan aşınma üzerindeki etkileri; a) 120 m/dak, b) 180 m/dak

En yüksek yan aşınma değerlerinin kuru ortamda yapılan frezeleme sonucunda elde edildiği görülmektedir. Taşkın soğutma ortamında yan aşınma değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığı gözlenmektedir. 120 ve 180 m/dak kesme hızlarında yapılan deneylerde ilerleme hızı arttıkça yan aşınmanın azaldığı

görülmüştür. 120 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında yan aşınmanın yaklaşık % 5 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 4 oranında azalma kaydedilmiştir. 180 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında yan aşınmanın yaklaşık % 11 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 14 oranında azalma kaydedilmiştir. Kesme hızları açısından bakıldığında hem kuru ortamda hem de taşkın soğutma ortamında yan aşınma değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 5'te kuru ve taşkın soğutma ortamlarında yapılan frezeleme sonucunda kesici takımında meydana gelen aşınma bölgeleri görülmektedir.

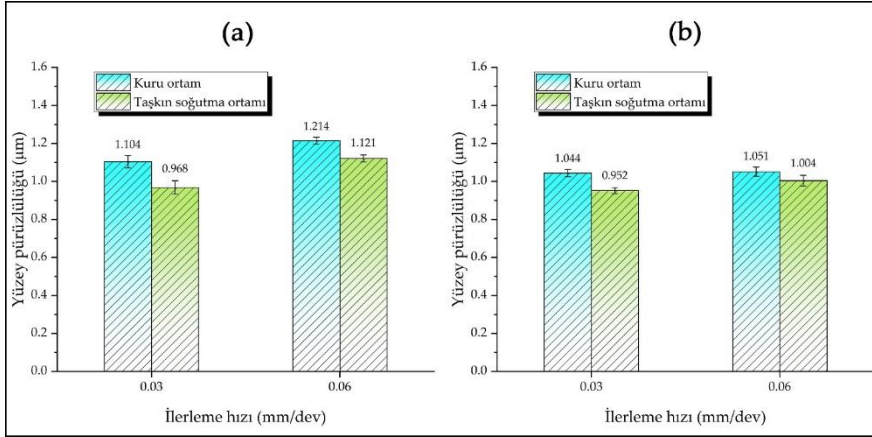


Şekil 5. Kuru ve taşkın soğutma ortamlarında yapılan frezeleme sonucunda kesici takım optik görüntüleri

Yüzey pürüzlülüğü analizi

Frezeleme işleminden sonra elde edilen yüzey kalitesi, kullanılan kesici takımın özellikleri, kesme parametreleri ve işleme koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır. Yüzey kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri, kullanılan frezeleme takımının türü, kesici kenar geometrisi ve kalitesidir. Yüksek kaliteli, keskin ve uygun kaplamalı takımlar genellikle daha pürüzsüz yüzeyler elde etmeye yardımcı olur. Kesme hızı, ilerleme hızı, besleme oranı gibi kesme parametreleri doğru şekilde ayarlanmalıdır. Optimize edilmiş kesme parametreleri, istenilen yüzey kalitesini sağlamak için önemlidir (Patel et al., 2021). Yüksek kesme hızları veya yanlış besleme oranları yüzey pürüzlülüğünü artırabilir. Frezeleme işlemi sırasında

soğutma ve yağlama sistemleri doğru şekilde çalışmalıdır. Bunlar, iş parçası ve kesici takımın aşınmasını azaltarak daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmeye yardımcı olabilir. İş parçasının ve takımın tutma sistemi, işleme sırasında titremeyi ve istenmeyen titreşimleri azaltmaya yardımcı olmalıdır. Titreşimler yüzey kalitesini olumsuz etkileyebilir. Kesici takımların düzenli bakımı ve kontrolü önemlidir. Aşınma veya hasar gören kesici takımlar, yüzey kalitesini düşürebilir. Yüzey kalitesi, iş parçasının son kullanım amacına bağlı olarak değişebilir. Düzgün tasarlanmış ve uygulanmış bir frezeleme işlemi, istenilen pürüzsüzlük, düzgünlük ve detayları sağlayabilir. Her durumda, doğru ekipman, kesme parametrelerinin dikkatlice ayarlanması ve uygun işleme koşulları, istenilen yüzey kalitesini elde etmede önemlidir (Öndin, Kıvak, Sarıkaya, & Yıldırım, 2020). Şekil 6'da kuru ve taşkın soğutma ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin yan aşınma üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde taşkın soğutma ortamında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Kuru ortamda ise yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. 120 ve 180 m/dak kesme hızlarında yapılan deneylerde ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir. 120 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık % 12 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 180 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık % 9 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 5 oranında azaldığı görülmüştür. Kesme hızlarının 120 m/dak'dan 180 m/dak'ya çıkmasıyla hem kuru ortamda hem de taşkın soğutma ortamlarında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı anlaşılmaktadır. Buradan yola çıkarak frezeleme sırasında taşkın soğutma yöntemi kullanılarak iyi bir yüzey kalitesi elde edilebileceği tespit edilmiştir.

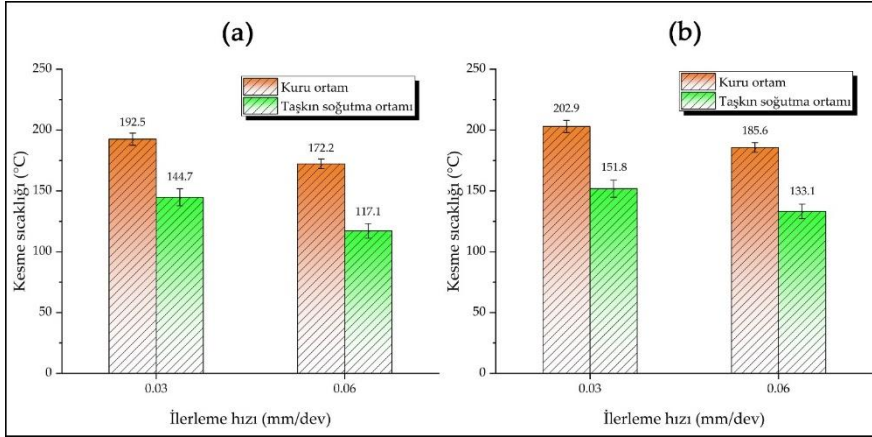


Şekil 6. Kuru ve taşkın soğutma ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri; a) 120 m/dak, b) 180 m/dak

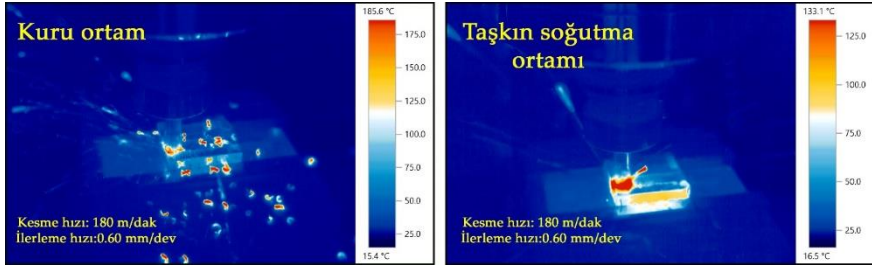
Kesme sıcaklığı

Talaşlı imalatta kesme sıcaklığı, kesme işlemi sırasında ortaya çıkan ve önemli bir faktör olan sıcaklık artışını ifade eder. Bu sıcaklık, kesici takımın ve iş parçasının temas ettiği bölgelerde oluşur. Kesme sıcaklığı, birçok etkene bağlı olarak değişebilir. Malzeme özellikleri, kesme sıcaklığını büyük ölçüde etkiler. Farklı malzemeler, farklı kesme sıcaklıklarına neden olabilir (Nimel Sworna Ross & Manimaran, 2019). Örneğin, sert ve termal iletkenliği düşük bir malzeme, daha yüksek kesme sıcaklıklarına yol açabilir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve besleme oranı gibi kesme parametreleri, kesme sıcaklığını etkiler. Yüksek kesme hızları veya yanlış besleme oranları, daha yüksek kesme sıcaklıklarına sebep olabilir. İyi bir soğutma sistemi veya yağlama, kesme sıcaklığını düşürebilir. Soğutma ve yağlama, takımın aşınmasını azaltabilir ve iş parçasının kalitesini artırabilir. Kesici takımın geometrisi ve kaplaması da sıcaklık üzerinde etkilidir. Özellikle kaplama türü, ısıyı daha iyi dağıtabilir veya azaltabilir. Kesme sıcaklığının kontrolü, takımın ömrünü uzatabilir, iş parçasının kalitesini artırabilir ve işlem verimliliğini artırabilir. Aşırı yüksek kesme sıcaklıkları, takımın

erken aşınmasına, iş parçasının termal deformasyonuna veya yüzey kalitesinde düşüşe neden olabilir. Bu nedenle, uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ve iyi bir soğutma/yağlama sisteminin kullanılması önemlidir (Musfirah, Ghani, & Haron, 2017). Kesme sıcaklığını kontrol altında tutmak için kesme parametrelerinin düzenli olarak ayarlanması ve takibinin yapılması gereklidir. Şekil 7, kuru ve taşkın soğutma ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı üzerindeki etkilerini temsil etmektedir. Grafikler incelendiğinde kuru ve taşkın soğutma ortamında kesme sıcaklıkları açısından belirgin farklar olduğu görülmektedir. En yüksek kesme sıcaklıklarının kuru ortamda yapılan işleme neticesinde elde edildiği tespit edilmiştir. En düşük kesme sıcaklıkları ise taşkın soğutma ortamında elde edilmiştir. 120 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında kesme sıcaklığının yaklaşık % 24 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 32 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 180 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında kesme sıcaklığının yaklaşık % 25 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 28 oranında azaldığı görülmüştür. Kesme hızlarının 120 m/dak'dan 180 m/dak'ya çıkmasıyla hem kuru ortamda hem de taşkın soğutma ortamlarında kesme sıcaklıklarının arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak kuru ortam ve taşkın soğutma ortamlarının karşılaştırılması neticesinde taşkın soğutmanın kesme sıcaklıklarını azaltmada oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Şekil 8'de kuru ve taşkın soğutma ortamlarında yapılan işleme sırasında çekilen termal görüntüler gösterilmektedir.



Şekil 7. Kuru ve taşkın soğutma ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin kesme sıcaklığı üzerindeki etkileri; a) 120 m/dak, b) 180 m/dak

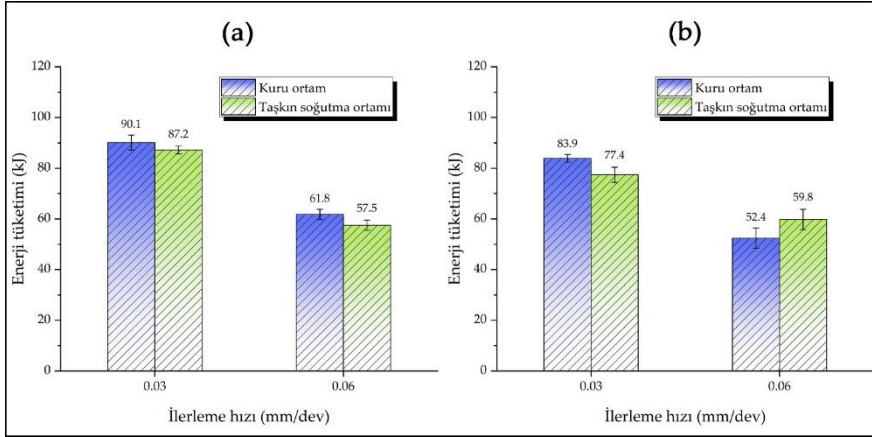


Şekil 8. Kuru ve taşkın soğutma ortamlarında yapılan işleme sırasında çekilen termal görüntüler

Enerji tüketimi

Talaşlı imalat süreçleri genellikle enerji yoğun işlemlerdir, ancak enerji tüketimi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Kesici takımın kalitesi ve malzemesi, enerji tüketimini etkileyebilir. Daha yüksek kaliteli takımlar genellikle daha az enerji tüketir, çünkü daha az dirençle işleme yaparlar. Kesme hızı, ilerleme hızı ve besleme oranı gibi kesme parametreleri, enerji tüketimini etkiler. Daha yüksek kesme hızları veya yanlış besleme oranları genellikle daha fazla enerji tüketir. Soğutma veya yağlama sistemleri, enerji

tüketimine katkıda bulunabilir. Bazı sistemler daha fazla enerji gerektirebilirken, daha verimli ve optimize edilmiş sistemler daha az enerji tüketebilir (Mia, Gupta, Singh, Królczyk, & Pimenov, 2018). İşlenecek malzemenin özellikleri, işleme için gereken enerji miktarını etkiler. Farklı malzemeler, farklı enerji gereksinimlerine sahiptir. Kullanılan makine teknolojisi ve ekipmanın verimliliği de önemlidir. Yeni nesil makineler genellikle daha enerji verimli olabilir. Enerji tüketimini azaltmak veya optimize etmek için, doğru kesici takım seçimi, uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi, daha verimli soğutma sistemlerinin kullanılması ve gelişmiş makine teknolojisinin benimsenmesi gibi çeşitli stratejiler kullanılabilir (Ma, Ge, Chang, & Lei, 2014). Endüstride enerji verimliliği her geçen gün daha da önemli hale gelmekte, bu nedenle talaşlı imalat işlemlerinde enerji kullanımının optimize edilmesi ve azaltılması çeşitli yöntemlerle sürekli olarak araştırılmaktadır. Şekil 9'da kuru ve taşkın soğutma ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin enerji tüketimi üzerindeki etkileri gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde genel olarak kuru ortamda yapılan işlemin enerji tüketimini artırdığı söylenebilir. En düşük enerji tüketimi değerleri taşkın soğutma ortamında elde edilmiştir. 120 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında enerji tüketiminin yaklaşık % 3 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 180 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında enerji tüketiminin yaklaşık % 8 oranında azaldığı, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 14 oranında arttığı belirlenmiştir. Kesme hızlarının 120 m/dak'dan 180 m/dak'ya çıkması genel olarak enerji tüketiminin azalmasına neden olmuştur. Sonuç olarak talaşlı imalat sırasında soğutma/yağlama ortamlarının kullanılmasıyla enerji tüketiminin azaltılabileceği kanıtlanmıştır.



Şekil 9. Kuru ve taşkın soğutma ortamlarının ve farklı kesme parametrelerinin enerji tüketimi üzerindeki etkileri; a) 120 m/dak, b) 180 m/dak

Sonuçlar

Deneyssel olarak yapılan bu çalışmada bilgisayar kontrollü bir CNC freze tezgahında Dillimax 960 çeliğinin kuru ve taşkın soğutma ortamlarında ve farklı kesme parametreleri altında işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- 120 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında yan aşınmanın yaklaşık % 5 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 4 oranında azalma kaydedilmiştir. 180 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında yan aşınmanın yaklaşık % 11 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 14 oranında azalma kaydedilmiştir. Kesme hızları arttıkça hem kuru ortamda hem de taşkın soğutma ortamında yan aşınma değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.
- Taşkın soğutma ortamında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. Kuru ortamda ise yüzey pürüzlülüğü

değerlerinin arttığı gözlenmiştir. 120 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık % 12 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 180 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık % 9 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 5 oranında azaldığı görülmüştür. Kesme hızlarının 120 m/dak'dan 180 m/dak'ya çıkmasıyla hem kuru ortamda hem de taşkın soğutma ortamlarında yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir.

- En düşük enerji tüketimi değerleri taşkın soğutma ortamında elde edilmiştir. 120 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında enerji tüketiminin yaklaşık % 3 oranında, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 180 m/dak kesme hızında, 0,03 ilerleme hızında, kuru ortama nazaran taşkın soğutma ortamında enerji tüketiminin yaklaşık % 8 oranında azaldığı, 0,06 ilerleme hızında ise yaklaşık % 14 oranında arttığı belirlenmiştir. Kesme hızlarının 120 m/dak'dan 180 m/dak'ya çıkması genel olarak enerji tüketiminin azalmasına neden olmuştur.

Kaynakça

Değirmenci, Ü., Usca, Ü. A., & Şap, S. (2023). Machining characterization and optimization under different cooling/lubrication conditions of Al-4Gr hybrid composites fabricated by vacuum sintering. *Vacuum*, 208, 111741. doi:<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111741>

Guo, W., Crowther, D., Francis, J. A., Thompson, A., Liu, Z., & Li, L. (2015). Microstructure and mechanical properties of laser welded S960 high strength steel. *Materials & Design*, 85, 534-548. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.037>

Ma, J., Ge, X., Chang, S., & Lei, S. (2014). Assessment of cutting energy consumption and energy efficiency in machining of 4140 steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74(9-12), 1701-1708. doi: 10.1007/s00170-014-6101-3

Mia, M., Gupta, M. K., Singh, G., Królczyk, G., & Pimenov, D. Y. (2018). An approach to cleaner production for machining hardened steel using different cooling-lubrication conditions. *Journal of Cleaner Production*, 187, 1069-1081. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.279>

Musfirah, A. H., Ghani, J. A., & Haron, C. H. C. (2017). Tool wear and surface integrity of inconel 718 in dry and cryogenic coolant at high cutting speed. *Wear*, 376-377, 125-133. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.031>

Nimel Sworna Ross, K., & Manimaran, G. (2019). Effect of cryogenic coolant on machinability of difficult-to-machine Ni–Cr alloy using PVD-TiAlN coated WC tool. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(1), 44. doi:10.1007/s40430-018-1552-3

Öndin, O., Kivak, T., Sarıkaya, M., & Yıldırım, Ç. V. (2020). Investigation of the influence of MWCNTs mixed nanofluid on the machinability characteristics of PH 13-8 Mo stainless steel.

Tribology International, 148, 106323.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106323>

Patel, T., Khanna, N., Yadav, S., Shah, P., Sarikaya, M., Singh, D., . . . Kotkunde, N. (2021). Machinability analysis of nickel-based superalloy Nimonic 90: a comparison between wet and LCO₂ as a cryogenic coolant. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113(11), 3613-3628. doi:[10.1007/s00170-021-06793-1](https://doi.org/10.1007/s00170-021-06793-1)

Qiang, X., Bijlaard, F. S. K., & Kolstein, H. (2013). Post-fire performance of very high strength steel S960. *Journal of Constructional Steel Research*, 80, 235-242. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2012.09.002>

Ross, N. S., Srinivasan, N., Amutha, P., Gupta, M. K., & Korkmaz, M. E. (2022). Thermo-physical, tribological and machining characteristics of Hastelloy C276 under sustainable cooling/lubrication conditions. *Journal of Manufacturing Processes*, 80, 397-413. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.06.018>

Salur, E. (2022). Understandings the tribological mechanism of Inconel 718 alloy machined under different cooling/lubrication conditions. *Tribology International*, 174, 107677. doi:<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107677>

Sarikaya, M., Gupta, M. K., Tomaz, I., Pimenov, D. Y., Kuntoğlu, M., Khanna, N., . . . Krolczyk, G. M. (2021). A state-of-the-art review on tool wear and surface integrity characteristics in machining of superalloys. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 35, 624-658. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.08.005>

Singh, G., Gupta, M. K., Mia, M., & Sharma, V. S. (2018). Modeling and optimization of tool wear in MQL-assisted milling of Inconel 718 superalloy using evolutionary techniques. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(1), 481-494. doi:[10.1007/s00170-018-1911-3](https://doi.org/10.1007/s00170-018-1911-3)

Şap, E., Usca, Ü. A., & Uzun, M. (2022). Machining and optimization of reinforced copper composites using different cooling-lubrication conditions. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44(9), 399. doi:10.1007/s40430-022-03678-6

Şap, S., Usca, Ü. A., Uzun, M., Kuntoğlu, M., & Salur, E. (2022). Performance evaluation of AlTiN coated carbide tools during machining of ceramic reinforced Cu-based hybrid composites under cryogenic, pure-minimum quantity lubrication and dry regimes. *Journal of Composite Materials*, 56(22), 3401-3421. doi:https://doi.org/10.1177/00219983221115846

Şap, S., Usca, Ü. A., Uzun, M., Kuntoğlu, M., Salur, E., & Pimenov, D. Y. (2022). Investigation of the Effects of Cooling and Lubricating Strategies on Tribological Characteristics in Machining of Hybrid Composites. *Lubricants*, 10(4), 63. doi:https://doi.org/10.3390/lubricants10040063

Şirin, Ş., Yıldırım, Ç. V., Kıvak, T., & Sarıkaya, M. (2021). Performance of cryogenically treated carbide inserts under sustainable cryo-lubrication assisted milling of Inconel X750 alloy. *Sustainable Materials and Technologies*, 29, e00314. doi:https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00314

Talebizadehsardari, P., Eyvazian, A., Khan, A., & Sebaey, T. A. (2021). Measurement and evaluation of magnetic field assistance on fatigue life and surface characterization of Inconel 718 alloy processed by dry electrical discharge turning. *Measurement*, 173, 108578. doi:https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108578

Tapoglou, N., Lopez, M. I. A., Cook, I., & Taylor, C. M. (2017). Investigation of the Influence of CO2 Cryogenic Coolant Application on Tool Wear. *Procedia CIRP*, 63, 745-749. doi:https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.351

Thakur, D. G., Ramamoorthy, B., & Vijayaraghavan, L. (2015). Effect of posttreatments on the performance of tungsten carbide (K20) tool while machining (turning) of Inconel 718. *The*

International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 76(1), 587-596. doi:10.1007/s00170-014-6279-4

Tu, L., Lin, L., Liu, C., Zheng, T., Deng, Y., Han, L., . . . Chen, M. (2023). Tool wear characteristics analysis of cBN cutting tools in high-speed turning of Inconel 718. *Ceramics International*, 49(1), 635-658. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.09.034>

Usca, Ü. A., Şap, S., & Uzun, M. (2023). Evaluation of Machinability of Cu Matrix Composite Materials by Computer Numerical Control Milling under Cryogenic LN2 and Minimum Quantity Lubrication. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32, 2417-2431. doi:<https://doi.org/10.1007/s11665-022-07262-w>

Usca, Ü. A., Uzun, M., Kuntoğlu, M., Şap, S., Giasin, K., & Pimenov, D. Y. (2021). Tribological Aspects, Optimization and Analysis of Cu-B-CrC Composites Fabricated by Powder Metallurgy. *Materials*, 14(15), 4217. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/15/4217>

Usca, Ü. A., Uzun, M., Şap, S., Giasin, K., Pimenov, D. Y., & Prakash, C. (2022). Determination of machinability metrics of AISI 5140 steel for gear manufacturing using different cooling/lubrication conditions. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 893-904. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.09.067>

Uysal, A. (2018). Effects of nano graphene particles on surface roughness and cutting temperature during MQL milling of AISI 430 stainless steel. *Materials Testing*, 60(5), 533-537. doi:[doi:10.3139/120.111184](https://doi.org/10.3139/120.111184)

Wang, F., Li, L., Liu, J., & Shu, Q. (2017). Research on tool wear of milling nickel-based superalloy in cryogenic. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(9), 3877-3886. doi:10.1007/s00170-017-0079-6

Yıldırım, Ç. V., Sarıkaya, M., Kıvak, T., & Şirin, Ş. (2019). The effect of addition of hBN nanoparticles to nanofluid-MQL on tool wear patterns, tool life, roughness and temperature in turning of Ni-based Inconel 625. *Tribology International*, 134, 443-456. doi:<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.02.027>

Zhang, H., Dang, J., An, Q., Ming, W., Chen, M., & Zhang, J. (2022). Investigation of machinability in milling of Inconel 718 with solid Sialon ceramic tool using supercritical carbon dioxide (scCO₂)-based cooling conditions. *Ceramics International*, 48(4), 4940-4952. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.11.032>

Zhang, S., Li, J. F., & Wang, Y. W. (2012). Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. *Journal of Cleaner Production*, 32, 81-87. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.014>