

ISSN 2667-4297

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 17

Sayı: 2

Kasım 2019



**Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
ATILIM ÜNİVERSİTESİ - ANKARA**

Yayın Kurulu

Editör: Erhan İlhan Konukseven
Yardımcı Editör: Hakan Kalkan
Yardımcı Editör: Oğuzhan Yılmaz
Yardımcı Editör: Sezer Özerinç

ODTÜ
Atılım Üniversitesi
Gazi Üniversitesi
ODTÜ

Kurul Üyeleri

Metin Akkök
Can Çoğun
Mustafa Bakkal
Cemal Merih Şengönül
Erhan Budak
İsmail Durgun
Volkan Esat
Mehmet Fırat
Hüseyin Filiz
Necdet Geren
Mustafa İ. Gökler
Yiğit Karpat
İsmail Lazoğlu
İzzet Özdemir
Tuğrul Özel
Ferruh Öztürk
Evren Yasa
İ. Ethem Saklakoğlu
Halim Meço
Yusuf Kaynak
Ali Oral
Haydar Livatyalı

ODTÜ
Çankaya Üniversitesi
İTÜ
Atılım Üniversitesi
Sabancı Üniversitesi
TOFAŞ
ODTÜ Kuzey Kıbrıs
Sakarya Üniversitesi
Gaziantep Üniversitesi
Çukurova Üniversitesi
ODTÜ
Bilkent Üniversitesi
Koç Üniversitesi
İYTE
Rutgers Üniversitesi
Uludağ Üniversitesi
Eskişehir
EGE Üniversitesi
FNSS
Marmara Üniversitesi
Balıkesir Üniversitesi
YTÜ

Danışma Kurulu

Tuna BALKAN
Melik DÖLEN
O. Selçuk YAHŞI
Yiğit YAZICIOĞLU
Orhan YILDIRIM

ODTÜ
ODTÜ
ENVY A.Ş.
ODTÜ
ODTÜ

Yazışma Adresi, Telefon ve Faks

Makina Tasarım ve İmalat Derneği
Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
ATILIM Üniversitesi
İncek, ANKARA
Tel : (312) 586 8860, 586 8368, Faks : (312) 586 8091
Web : <http://www.matim.org.tr>

e-mail : iletisim@matim.org.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 17 Sayı: 2

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 17 No: 2

ISSN 2667-4297

TELİF HAKKI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde yayımlanan bütün yazıların telif hakkı MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERNEĞİ'nindir. Yayımlanmış yazıların başka bir yerde tekrar yayımlanması, çoğaltılması ve dağıtılması, Yayın Kurulundan yazılı izin almak koşulu ile mümkündür. Makalelerdeki görüşlerden doğacak sorumluluk makale yazarına aittir.

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

KOBİ'lerin Malzeme Aktarma ve Depolama Sistemlerine Yönelik Endüstri 4.0 Uygulamalarında Karşılaştığı Güçlükler ve Çözüm Önerileri

39

Nimet Karabacak
Nil Aras

Alüminyum Al6061-T6'nın İşlenmesinde Sürme Kuvvetinin Hesaplanması ve Sürtünme Katsayısının Etkisinin Araştırılması

46

Okan Deniz Yılmaz
Samad Nadimi Bavi Oliaei

Minimum Miktar Yağlama Tekniğinin Ti-6Al-4V Alaşımının Kaba İşlenmesinde Kesme Kuvvetlerine Etkisinin İncelenmesi

51

Ramazan Hakkı Namlu
Sadık Engin Kılıç
Bahram Lotfi Sadigh

Karbür Uçlar ve Titanyum Nitrür (TiN) Kaplamalı Karbür Uçlar ile Titanyum Alaşımı (Ti6Al4V) ve AISI 1045 Çeliği Arasında Sürtünme ve Aşınma Performansı Araştırması

57

Tuğçe Hacaloğlu
Bilgin Kaftanoğlu

Ergiyik Filament Fabrikasyonu, 3B Yazıcılar İçin Kompozit Filament Ekstrüder Makinesi Geliştirilmesi

65

Berk Barış Çelik
Batıhan Şener
Gökberk Serin
Hakkı Özgür Ünver

Sayın Okurlarımız,

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi 1986 yılından bu yana özgün araştırmaları yayımlayan hakemli bir dergi olarak süreklilik kazanmıştır. 2001 yılında dergimize ISBN (ISBN1302-9487) numarası verilmiş, TÜBİTAK tarafından ulusal veri tabanına alınmış ve dergi basım adedi artırılarak Türkiye’de daha yaygın dağıtımını sağlanmıştır.

Yayın kurulumuz dergiye özgün çalışma ürünü, derleme veya bir bilgi ve tecrübe aktarımını sağlayacak makaleler bulmak konusunda katılımlarınızı beklemektedir. Ayrıca kitap tanıtımı, konu taraması ve sanayi kuruluşlarının etkinliklerini içeren yazılara da geçmişte olduğu gibi yer verilmektedir.

Dergimiz, 2017 yılından beri TÜBİTAK DERGİPARK ortamında yayınlanmaktadır. (<http://dergipark.org.tr/tr/pub/matim>) 2019 yılından beri elektronik yayına dönmemiz nedeni ile dergi ISSN-No 2667-4297 olmuştur. Dergimizin eski sayılarına da bu ortamda (<http://dergipark.org.tr/tr/pub/matim/archive>) ulaşılabilinmektedir. Ayrıca yeni web sayfamızda (<http://matim.org.tr/>) Dergimiz ve Derneęimiz ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

Dergimizi, endüstri ve akademik kuruluşlarımızın karşılıklı bilgi alışverişinde bulunduğu, teknik sorunları tartıştığı ortak bir forum haline getirmek için siz meslektaşlarımızın katkı ve önerilerini bekleriz.

Saygılarımızla,

Yayın Kurulu

Nimet Karabacak* Eskişehir Teknik Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü
EskişehirNil Aras Eskişehir Teknik Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü
Eskişehir**Makale Bilgisi:**

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 26-08-2019

Kabul: 19-01-2020

*Sorumlu Yazar: Nimet Karabacak

Email: nimetkarabacak@gmail.com

KOBİ'lerin Malzeme Aktarma ve Depolama Sistemlerine Yönelik Endüstri 4.0 Uygulamalarında Karşılaştığı Güçlükler ve Çözüm Önerileri

Üretim şirketlerinin dijital dönüşüm stratejileri, rekabetçi maliyetlerle ürün ve hizmetler sunabilmeleri için oldukça önemlidir. Yeni teknolojilerle elde edilen verilerin, yapay zeka tarafından yeni bir zeka türüne dönüştürülmesi sürecinde, malzeme aktarma ve depolama sistemleri ile ilgili olarak, Endüstri 4.0 için uygulama desteği alan ve değişimi uygulayan işletmeler, bu konuda radikal değişimlerin öncüleridir. Bu değişimler incelendiğinde, işletmelerin malzeme aktarma ve depolama sistemlerinde yaptıkları inovatif dönüşümler, kilit rolü üstlenmektedir. Türkiye'de faaliyet gösteren Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelere (KOBİ), Endüstri 4.0 uygulamalarının entegre edilmesinde bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, entegrasyon süreçlerinde ortaya çıkabilecek problemlerin açıklanması ve global alandaki çözüm yöntemlerini esas alan önerilerin sunulmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Malzeme Aktarma, Depolama, KOBİ, Endüstri 4.0.

1. GİRİŞ

Malzeme aktarma sistemleri, ürünlerin fabrika içine veya fabrika dışına taşınmasını kapsamaktadır. Depolama sistemlerinde ise ürünün, depoya girişini, giriş anından itibaren depodaki hareketlerini, depodan çıkış sürecini de içeren aktiviteler topluluğu çerçevesinde izleyeceği tüm yol haritasının modellenmesi hedeflenmektedir.

Bir işletmenin Endüstri 4.0 ile dijital dönüşümünün sağlanabilmesi için bulut sistemler kullanılmalıdır. Bu sistemler, eş zamanlı olarak erişilebilir olmalıdır. Sensörlerden gelen taşıma, aktarma, depolama bilgileri bulutta toplandıktan sonra, verilerin analizi yapılmalıdır. Bu verilerin taşınması ve analizi sırasında ortaya çıkabilecek güvenlik sorunları, birçok siber saldırıya sebep olabilmektedir. Bu durumu engelleyecek sistemler tasarlanmalıdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bahnes vd. (2016), malzeme transfer sistemleri ile ilgili Endüstri 4.0 uygulamalarını araştırmışlardır. Bunun için, Intelligent Transport System (ITS) kapsamında, IAV (Intelligent

Autonomous Vehicles-Akıllı Otonom Araçlar) konusunu incelemiştir [3].

Bechtsis vd. (2016), Endüstri 4.0 ve Iot (Internet of things), Otomatik Yönlendirmeli Araçların (Automatic Guided Vehicles-AGV) ağ optimizasyonu ve dağıtım sorunlarını ele almışlardır. AGV'lerin modern üretim sistemlerinde sürdürülebilirliğini mümkün kılan özelliklerini açıklamışlardır. ARENA simülasyon yazılımında tipik bir depo modellenmiştir ve AGV'lerin operasyonel faaliyetleri önerilen düzeneklerde incelenmiştir [4].

Preuveneers ve Ilie-Zudor (2017) lojistik süreçlerinde verimliliğin arttırıcı bulut bilişim, büyük veri ve akıllı karar destek sistemleri ile akıllı fabrika ortamlarının sağlanabileceğini vurgulamışlardır [10].

Göçmen ve Erol (2018), Endüstri 4.0' in ilkelerini bir lojistik firmasında taşımacılık, depolama, yükleme/boşaltma ve bilgi hizmetleri birimlerinde incelemiştir. Çalışmada, bu konulara odaklanan bir literatür çalışması sunulmuştur. Bu alanda lojistik işletmeleri tasarlamak için gerekli temel ilkelere karar verilmiştir. Çalışmada, Endüstri

4.0'a geçiş için önemli olan otonom taşıma, otonom stok yönetimi, 3D depolar, küresel kaynak planlama, rotalama kriterlerinin önceliklendirilmesi için bulanık mantığa dayalı bir yöntem kullanılmıştır. Ayrıca, bir lojistik firması için fizibilite kriterleri tartışılmıştır [6].

Liu vd. (2018), Endüstri 4.0 için CPS (Cyber-Physical Systems) tabanlı akıllı depo teknolojilerini araştırmışlardır. Çalışmada, siber-fiziksel sistemlerdeki en son teknolojilerin, akıllı depolar inşa etmeyi nasıl kolaylaştırdığı incelenmiştir [8].

Ünlü ve Atik (2018), bilgi ve teknoloji ağırlıklı ekonomiye Endüstri 4.0 ile dönüşüm sürecinde, Avrupa Birliği (AB) politikalarının baskın olduğunu belirtmişlerdir. AB'ne aday ülke konumunda olan Türkiye'nin Endüstri 4.0 performansını belirlemişlerdir. Bunun için, 28 AB ülkesi ile Türkiye'ye ait 10 Endüstri 4.0 göstergesinden faydalanarak faktör analizi ve kümeleme analizi yapılmıştır. Bunun için, kümeleme analizinde Ward yöntemi tercih edilmiştir. Elde edilen bulgular, Almanya'nın Endüstri 4.0 açısından en iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, analize dahil edilen ülkelerin Endüstri 4.0 açısından homojen bir görünüm sergilemediği tespit edilmiştir. Türkiye; Macaristan, Letonya ve Polonya ile aynı kümede yer almıştır [11].

Alcácer ve Cruz-Machado (2019), Endüstri 4.0'ın dijitalleşme çağına öncülük ettiğini ve fiziksel akışların sürekli olarak dijital platformlarda haritalanabileceğini belirtmişlerdir. En son teknolojiye sahip fabrikaların, değer zincirinin tüm unsurlarına ulaşmasıyla akıllı imalat ekosistemini oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Endüstri 4.0 üretim ortamındaki teknolojileri, sistemleri, genel uygulamaları açıklamışlardır [2].

Furmans vd. (2019), malzeme taşıma alanındaki gelecekteki teknolojiler açıklamışlardır. Günümüzdeki malzeme taşıma sistemleri ile gelecekteki malzeme taşıma sistemleri için istenen kriterleri tanımlamışlardır. Çalışmada, bu sistemler için gerekli işlevler açıklanmıştır. Bazı modern malzeme taşıma sistemlerinden örnekler sunmuşlardır [5].

Ivanov vd. (2019), tedarik zincirinin dijitalleştirilmesi ve operasyon yönetimi ile ilgili bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada, SCOM (Supply Chain and Operations Management) mükemmellik kavramı ile dijital tedarik zinciri arasındaki karar mekanizması ve iyileştirmeler, nitel ve nicel bakış açılarıyla tartışılmıştır [7].

Safar vd. (2018), Endüstri 4.0 gibi platformların işletmelerin organizasyonunu ve iş modellerini nasıl değiştireceğini incelemişlerdir. Endüstri 4.0 için gerekli olan yazılım ve bulut çözümleri üzerinde durmuşlardır. Bu tür bir dönüşümün, KOBİ'ler tarafından finanse edilemeyeceğini belirtmişlerdir [21].

Mourtzis vd. (2019), bir kağıt firmasında depo tasarımı için Artırılmış Gerçeklik (AR) sistemlerini kullanarak, depolama ve envanter maliyetlerini minimize etmişlerdir [9].

3. GLOBAL ALANDA ENDÜSTRİ 4.0 VE ENDÜSTRİ 4.0 ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Endüstri 4.0 ilk olarak Avrupa'da (Almanya'da) kullanılmıştır. ABD ve Japonya'da uygulanmıştır. Endüstri 4.0 konsepti ülkemizde de hızla benimsenmeye başlanmıştır. Endüstri 4.0 uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte taşıma yönetim sistemlerinin kullanımı önem kazanmıştır. Bu sistemler talep yönetimi, dağıtım merkezi veya depolar arasında karşılıklı etkileşimi sağlamaktadır.

3.1. Global alanda Endüstri 4.0

Endüstri 4.0'ı kullanan ülkelerdeki işletmelerin işgücü maliyeti ve üretim maliyeti azalmaktadır. Bu konuda, Almanya'da gelecek yıllarda verimliliğin artacağı ve maliyetlerin azalacağı öngörülmüştür. Almanya'da bazı Endüstri 4.0 projeleri için, 5-7 yıl boyunca en az 450 milyon Euro'luk devlet desteği verilmektedir. Desteklenen teknolojiler; otonom sistemler, donanım geliştirme, yardım ve görselleştirme sistemleridir. Yazılım geliştirme de önemli miktarda destek almaktadır. Araştırma alanlarında fon miktarına ve destek alan proje sayısına bağlı olarak tematik alanlarda da destekler verilmektedir.

İsviçre'deki KOBİ'lerde, Endüstri 4.0 ile dijital dönüşüm süreci, operasyonel ve teknik olarak uygulanmıştır. Bir fabrikadaki veya depodaki malzemelerin aktarıldığı araçların rotası, yapay zeka, ileri robotik ve sensör teknolojiler tarafından belirlenmektedir. Bu durum, tedarik zinciri yönetiminde etkili olup, daha az maliyet ve süre tasarrufu sağlamaktadır. İsviçre'deki KOBİ'lerin, depolama ve lojistik faaliyetlerinde Endüstri 4.0 ile dijital dönüşümlerden %74 oranında yararlanılmaktadır [1].

ABD'de, Endüstri 4.0 gibi yeni teknolojilere yatırım yapılması ve sürekli gelişimlerin sağlanması amacıyla, Gelişmiş İmalat Ortaklığı kurulmuştur.

Çin’de, bilgi teknolojileri, nesnelerin interneti, otomasyon uygulamaları, akıllı imalat ekipmanları, akıllı kontrol sistemleri ve üst sınıf nümerik kontrollü makineler gibi Endüstri 4.0 çözümlerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

AB’de, nesnelerin internetinin, imalat sektöründe uygulanmasına yönelik girişimler bulunmaktadır. KOBİ’lere, imalat ve üretim otomasyonu ve Ar-Ge projelerini teşvik etmek için ARTEMIS teknoloji platformu oluşturulmuştur. Bu platforma toplam 2.4 milyar Euro yatırım yapılmıştır. Siemens firmasının liderlik ettiği IoT@Work projesine 5.8 milyon Euro bütçe verilmiştir. Ayrıca, akıllı merkezi imalat alanındaki projeler için Geleceğin Şirketleri adlı kamu-özel ortaklığı girişimi için 1.2 milyar Euro ödenek verilmiştir.

Endüstri 4.0 Hindistan’da, ülkenin Beş Yıllık Planı’nın önceliklerinden biri olmuştur. Bu planda, gayrisafi yurtiçi hasılanın yüzde ikisini arttırmak amacıyla Endüstri 4.0 kapsamında, Ar-Ge ve inovasyon yatırımları yapılmıştır. Endüstri 4.0 için insan görünümlü robotlar ve siber-fiziksel sistemler ile ilgili çalışmalar, İnovasyon Merkezi Projesi kapsamında yürütülmektedir. Zebra Tech Company tarafından yürütülen bir çalışmaya göre, Hindistan’daki işletmeler, nesnelerin interneti teknolojisinin kabul edilmesi ve kullanılması açısından dünya lideri konumundadır [22].

Türkiye’de, Endüstri 4.0 uygulamaları açısından planlama ve uygulama eksikliği bulunmaktadır. Türkiye’deki Endüstri 4.0 uygulamalarında başarı sağlanabilmesi, sürdürülebilmesi ve geliştirilebilmesi için devlet tarafından daha etkin planlamalar yapılmalıdır.

Ülkemizdeki KOBİ’lerin, malzeme aktarma ve depolama sistemlerinin dijital uygulamaları incelendiğinde, işletmelerin yarısının yetersiz olduğu görülmektedir. Bu işletmelerde stoklar, sistemli olarak takip edilirken, tedarikçiyle karşılıklı veri paylaşımı yapılmamaktadır. Endüstri 4.0 ile ilgili teknolojiler daha çok, otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Diğer sektörlerde Endüstri 4.0 ile bağlantılı ileri teknolojiler kullanılarak, verimlilik hedeflenmektedir. Türkiye’de Endüstri 4.0, fason üretim yapan imalat atölyelerinden yılda 3 milyon dolar ciro yapan KOBİ’lere ve büyük holdinglere kadar her alanda hızla uygulanabilecek potansiyele sahiptir [13].

3.1.1. Endüstri 4.0’ın uygulanmasında KOBİ’lerin karşılaştığı problemler:

Otonom teknolojiler, esnek lojistik sistemler, yeni hizmetler, yeni depolama ve dağıtım modelleri, üretimde, montaj öncesinde ve dış hizmet sağlayıcılar arasındaki bağlantılar ile ilgili olan entegrasyonlarda ortaya çıkmaktadır.

KOBİ’ler bilgi işlem gereksinimlerini ve yazılım sistemlerini dış tedarikçilerden karşılamak zorundadırlar. Buna karşın, verilerinin iş ortakları tarafından yeterince korunup korunmadığı konusunda siber fiziksel güvenlikle ilgili endişeleri vardır [12]. Radikal bir dönüşüm için Endüstri 4.0 uygulamalarını kullanabilecek ve çalıştırabilecek nitelikli iş gücüne sahip değildirlir. Bununla birlikte, bilgi güvenliği politikasının olmaması, personelin eğitimsizliği ve korumasız ağ bağlantıları, KOBİ’ler için Endüstri 4.0 uygulamalarında büyük risk oluşturmaktadır.

KOBİ’lerin, Endüstri 4.0 uygulamalarını gerçekleştirecek bilişim teknolojilerine, altyapıya, veri ve sistem mimarilerine yatırım yapması gerekmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin geliştirilmesi ve piyasaya sürülmesi, büyük miktarda yatırım gerektirebilir. KOBİ’ler ise belirli IT sistemleri, makineleri ve süreçleri zamanla edinebilme eğilimindedirler. Makineler ve donanımlar çeşitli üreticilere aittir ve farklı güçtedir. Sonuç olarak, dijital dönüşümü sağlamak için otomasyon yazılımının güçlendirilmesi pahalıdır [14]. KOBİ’lere Endüstri 4.0 teknolojileri için düşük faiz oranları, kolay kredi koşulları, devlet teşvikleri sağlanmalıdır [18].

Maliyeti azaltacağı belirtilen Endüstri 4.0, nitelikli işgücü ve yatırım konularında yüksek maliyet ortaya çıkarmaktadır.

KOBİ’lerde, çok sayıda veri bulunmaktadır. Bu veriler esnek değildir. KOBİ’ler, satış, planlama, kontrol, üretim bölümlerindeki verilerin, tedarikçilere ve müşterilere akışını sağlamakta zorlanmaktadır [16]. Bunun yanında, işletme içindeki bölümler arası eşgüdümü sağlamakta da güçlük çekmektedir. Bu durum, dijital dönüşüm sürecinin yönetilmesine engel teşkil etmektedir.

3.2. Endüstri 4.0 çözümleri

Endüstri 4.0 çözümleri; işletme dışındaki ağ çözümleri, işletme içindeki entegrasyon çözümleri, mühendislik çözümleri, hızlı teknoloji çözümleri olarak ele alınmıştır.

3.2.1. İşletme dışındaki ağ çözümleri:

Bilgi teknolojilerinin entegrasyonu, veri analitiği ve yönetimi, bulut tabanlı uygulamalarda basit ağ çözümleri, akıllı üretim sistemleri ağı ve operasyonel etkinliklerdir. Malzemeler ve nihai ürünler için, tedarikçilerin değer zincirinden müşterilere ulaşmasına kadar olan tüm aşamaların entegrasyonu sağlanmalıdır. Bu çözümler için sensörler, modüller, kontrol sistemleri, iletişim ağları kullanılmalıdır.

3.2.2. İşletme içindeki entegrasyon çözümleri:

İş modeli optimizasyonu, akıllı tedarik zinciri, akıllı lojistik, bilgi teknolojileri güvenliği yönetimi, vergilendirme modeli, diğer yeni teknolojilerdir. Buradaki dijital dönüşüm, tek bir veri tabanı oluşturacaktır. Akıllı tedarik zinciri, süreçlerin daha şeffaf ve etkin olmasını sağlamaktadır. KOBİ'ler, operasyonel güvenlik ve değer zincirine karşı yapılabilecek siber saldırılar için siber güvenlik stratejisi oluşturmalıdır. Endüstri 4.0'da ağlar arası veri paylaşımında, veri güvenliği sağlanmaktadır. Üç boyutlu baskı teknolojisi, farklı ülkelerde faaliyet gösteren KOBİ'lerin ticaret yapabilmesini sağlamaktadır.

3.2.3. Mühendislik çözümleri:

İnovasyon tasarımı ve yönetimi, portföy yönetimini kapsamaktadır. Endüstri 4.0 ile, yatırım kazancı elde edilirken, verilere dayalı bir karar alma süreci oluşturulur.

3.2.4. Hızlı teknoloji çözümleri:

Kurumsal girişimler ve öğrenen organizasyon yapısı, KOBİ'ler için uzun dönemde fayda sağlayacak çözüm yöntemleridir. Start-up yatırımı, inovatif teknolojilere yapılan yatırımlar, bu girişimleri kapsamaktadır [17]. Yeni teknolojilerin entegrasyonu için işletmeler istikrarlı olmalıdır. Yeni fikirler, yeni süreçler ve yeni iş modelleri, mevcut akışta da uygulanabilir olmalıdır.

4. TARTIŞMA

Endüstri 4.0, kalite, maliyet, hassasiyet açısından üstünlük getirmektedir. Küreselleşen rekabet ortamı nedeniyle, malzemelerin etkin bir şekilde tedarik edilmesini, depolanmasını ve taşınmasını sağlamak için malzeme aktarma ve depolama faaliyetleri oldukça önemlidir. Ancak beklenen durumlar için programlanan sistemler, beklenmeyen bir durum olduğunda çökmektedir. Bu durumda, yanlış malzemeler veya ürünler yanlış merkezlere aktarılıp, yanlış merkezlerde depolanabilir. Ancak insanın doğal zekası,

beklenmeyen durumlarda yanlış veya doğru kararlar alabilmektedir. KOBİ'ler için Endüstri 4.0 çözümlerinde, kilit noktalara yerleştirilmiş insan işçilere ihtiyaç vardır.

Endüstri 4.0, rekabeti arttırmaktadır. Riskleri azaltarak, fırsatları optimize etmektedir. En büyük avantajlarından biri de kaynakların etkin olarak kullanılabilmesidir. Endüstri 4.0 entegrasyonunda KOBİ'lerin bilgi teknolojileri altyapısı sağlam olmalıdır. Endüstriyel kontrol sistemlerindeki eski protokoller bu konuda yetersizdir. Bu nedenle internete bağlandıkları anda saldırıya açık sistemlerdir. Bu nedenle bilgi güvenliği risk analizi yapılmalıdır.

4.1. KOBİ'lerde Endüstri 4.0 ortamına uygun sistemlerin tasarımı

Endüstri 4.0 için genel dijital dönüşüm modeli olarak; ilk aşamada; etkinlik programlarında ve fuarlarda KOBİ'lere tanıtılmaktadır. İkinci aşamada, bilgi paylaşım grupları ve ileri eğitim ile, KOBİ'lerde deneme ve test süreci uygulanmaktadır. Somut problemler için transfer projelerinin oluşturulması (proje tanımı, proje çıktısı, proje uygulaması, sıralama, proje seçimi, transfer projeleri), yatırım ve ön bilgi ile entegrasyon tamamlanmaktadır.

Ülkemizde Endüstri 4.0'ı ilk olarak karanlık robot fabrikalar olarak planlanmamalıdır. Endüstri 4.0 kapsamında sensörler ve nesnelerin interneti ile küçük çaplı, yerel, düşük maliyetli, esnek ve dağıtık teknolojiler kullanılmalıdır. Daha sonra, yukarıda belirtilen teknolojik süreç optimizasyonu çözümlerinin uygulanması gerekmektedir.

4.2. Malzeme aktarma ve depolama sistemleri ve diğer sistemler için KOBİ'lerde Endüstri 4.0 örnekleri

KOBİ'lerde Endüstri 4.0, aktarma ve depolama sistemlerinden; konveyörler, konveyör hatları, depolama alanları, paketleme üniteleri ve raflar için uygulanmıştır. Bunun yanı sıra, diğer süreçler için de uygulamalar yapılmıştır.

Almanya-Detmold'da bir KOBİ olan MSF-Vathauer Antriebstechnik, malzeme taşıma uygulamalarında sıkça kullanılan tahrik bileşenleri ve otomasyon sistemleri üretmektedir. Şirket, OWL Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'ndeki LLA-Leistungselektronik ve Elektrische Antriebe ile birlikte, fren kullanımı yoluyla enerji tasarrufu potansiyelini kullanmak için yenilikçi bir enerji geri kazanım sistemi geliştirmiştir. Endüstri 4.0 çözümleri kullanılarak, enerji geri kazanım sistemi ve konveyör

sistemleri, daha yüksek enerji verimliliği ile çalıştırılmıştır. MSF Vathauer Antriebstechnik tarafından daha da geliştirilen sistem piyasaya başarıyla sunulmuştur. Alman şirket girişimi, Polonya'da Automaticon otomasyon fuarında 2014 OWL Transfer Ödülü'nü kazanmıştır [19].

Kanada'da bir mobilya üreticisi olan Etalex, depolara malzeme yerleştirilmesi ve depolardan siparişe göre malzeme çekilmesi faaliyetleri için Endüstri 4.0 çözümlerini uygulamıştır. Ayırıştırma ve gruplama işlemlerini, bilgisayar kontrollü otomatik veya robotik sistemler ile yapmıştır. Bu teknoloji sayesinde firma, aynı çalışan sayısı ile satışlarını yaklaşık % 40 artırmıştır.

Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliği, tedarik, üretim ve depolama, malzeme aktarma ve taşıma, lojistik alanlarının, Endüstri 4.0 ile dijital dönüşümün kilit noktaları olduğunu vurgulamıştır. Bu bölgedeki bir KOBİ, Endüstri 4.0 ile depolama tesisinde, ortak kullanım gerektiren konveyör hatlarının bulunduğu alanda, gereksiz beklemleri ortadan kaldırmıştır. Böylece, %10-%15 oranında daha fazla ürünün işlenmiştir. Tüm tesisin %10-%12 oranında daha verimli çalışması sağlanmıştır [22].

Almanya Bielefeld Üniversitesi'nde insan-makine etkileşimi aktarım merkezinde, Endüstri 4.0 uygulamaları test edilmektedir. Heinz Nixdorf Enstitüsü, Bilişim ve Robotik Enstitüsü ve Küme Mükemmeliyet Merkezi'ndeki araştırma enstitüleri de yetkinliklerini paylaşmaktadırlar. Bilişsel Etkileşimli Teknolojiler ile ilgilenen şirketler, en gelişmiş teknolojileri ve yazılımları bu merkezlerde denemektedir. Kullanılan yöntemler; sanal/artırılmış gerçeklik, etkileşimli robotik, makine öğrenmesi, etkileşim tasarımı, kullanılabilirlik ve değerlendirme, otomatik görüntü işleme alanları üzerinedir. Bu birimlerde iş modelleri için danışmanlık ve eğitim hizmetleri sunulmaktadır.

Almanya-Fraunhofer Society ve OWL (OstWestfalenLippe) Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nden SmartFactoryOWL, bir Endüstri 4.0 uygulama merkezidir. Bu merkezde, akıllı fabrikalar için en önemli faaliyet alanlarına odaklanılmıştır. Bunlar; uyarlanabilirlik, kaynak verimliliği ve insan-makine etkileşimidir. Merkez, aynı zamanda KOBİ'ler için bir test alanıdır. KOBİ'ler, uzman ekip desteğiyle, Endüstri 4.0 teknolojilerini deneyip, üretim ve iş süreçlerine yeni teknolojileri entegre edebilmektedir. Kullanılan yöntemler; endüstriyel iletişim, otomasyonda veri analitiği, görüntü işleme ve örüntü tanıma algoritmalarıdır.

Fraunhofer Sistem Mühendisliği LIVE LAB, teknik sistemlerin geliştirilmesi için en son yöntem ve araçların test edildiği, karşılaştırıldığı bir uygulama ve transfer merkezidir. KOBİ'ler Endüstri 4.0 ortamında, siber-fiziksel sistemleri, iş modellerini, yenilikçi ürünleri ve karmaşık sistemleri geliştirmeyi öğrenmektedirler. Model tabanlı sistem mühendisliği, pilot projelere uygulanmaktadır.

Almanya-Rheda-Wiedenbrück'te orta büyüklükte bir işletme olan makine üreticisi Venjakob Maschinenbau, kendi kendine optimizasyon yöntemini kullanmıştır. Mevcut sistemlerdeki gelişme potansiyeli tespit edilmiştir. Dijital dönüşüm projesi oluşturularak, uygulama fikirleri paylaşılmıştır.

Almanya'daki bir KOBİ'de, Endüstri 4.0 çözümleriyle işletme içindeki entegrasyon sağlanmıştır [14]. Bilgi teknolojileri çözümleri ile süreçler hiyerarşisinin çeşitli seviyeleri arasındaki koordinasyon sağlanmıştır. Sonuç olarak verimlilik artırılmış ve teslim süreleri kısaltılmıştır [15].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Değer zincirinin tüm ana alanlarını 2025 yılına kadar etkileyecek olan sekiz kilit teknoloji vardır. Endüstri 4.0 çözümleri kapsamındaki bu teknolojilerden en az beş tanesi, 2020 yılına kadar hazır olmalıdır [20]. Malzeme aktarma ve depolama sistemleri gibi işletme sistemlerinde uygulanması gereken bu teknolojiler; nesnelerin interneti, otonom araçlar, dronlar, yapay zeka, makine öğrenmesi, robotik, dijital izlenebilirlik, üç boyutlu baskı, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve blok zinciridir.

Endüstri 4.0 uygulamaları kullanılarak; depolama alanlarından %80'e kadar tasarruf, tam otomatik robotlu depolar ile sürekli çalışan sistemler, hat başı besleme, bekleme modülleri ile kusursuz stok yönetimi, "0" stok kaybı ve süre tasarrufu sağlanmaktadır. Endüstri 4.0 için, iş modelleri optimize edilmelidir. Maksimum verimlilik, yüksek kalite, karar vermede hızlilik ve kolaylık, artan karlılık, azalan iş gücü maliyetleri Endüstri 4.0 uygulamalarının sağladığı avantajlar olarak sıralanabilir.

Endüstri 4.0 uygulamalarında, yapay zeka ile oluşturulan sistemler için siber saldırılar büyük bir risk oluşturmaktadır. Bu saldırıların uzman sistemler tarafından kontrol edilmesinde bazı problemler ortaya çıkabilir. Ancak, uzman sistemler iyileştirildiğinde başka bir teknolojik devrim söz konusu olacaktır.

5.1. Malzeme aktarma ve depolama sistemleri için Endüstri 4.0 çözüm önerileri

Endüstri 4.0 uygulaması olarak dronlar, depo işlemleri, malzemelerin depodan üretim alanına taşınması ve bitmiş ürünlerin üretimden nakliye taşıması gibi faaliyetler için malzeme aktarma ve depolama sistemlerinde kullanılabilir. Bu uygulamalar, işgücü maliyetlerini önemli ölçüde azaltacaktır. Yüksek maliyetli ve entegrasyon yükü ağır çözümler yerine yüksek verimli bulut ürünler tercih edilmesiyle tasarruf sağlanacaktır. Özel tasarlanan stok denge, stok yaşlandırma raporlarına göre, süre ve kaynak tasarrufu sağlanabilir.

Endüstri 4.0 ile dijitalleşme sürecinde KOBİ'lerin en önemli sorunlarından biri, verilerin anlamlandırılmamış olmasıdır. Birbirinden farklı, bütünlüğü sağlanmamış, eksik kalmış verilerin bulunduğu işletmelerde, dijital dönüşüm öncelikle veriler üzerinden yapılmalıdır. Endüstri 4.0 ile ürün gruplamaları daha verimli hale gelerek daha sağlıklı analizler yapılabilir. Envanter sayımlarında ve mal teslimlerinde ürün verilerine kolayca ulaşılmaktadır. Böylece, stok yönetimi, masraf takibi ve analizi kolaylaşacaktır. Malzemelerin etiketlenmesi ve ambalajlanması faaliyetlerinde, esneklik kavramı önemlidir. Esnekliği sağlamak için KOBİ'lerin, dijital teknolojilerden yararlanmaları gerekmektedir. Gelecek dönemlerde kendi sektörlerine önderlik etmeyi hedefleyen KOBİ'ler, katma değer zincirleri için dijital stratejiler geliştirmelidir.

CHALLENGES IN INDUSTRY 4.0 APPLICATIONS AND SOLUTIONS TO MATERIAL HANDLING AND STORAGE SYSTEMS OF SMES

Technological developments and digital transformation of manufacturing companies are very important for present and new markets to provide products and services at competitive costs. This necessitates the creation of systems in which problems can be solved by the use of innovations such as the Internet of Things, Big Data and Artificial Intelligence in different industries. Businesses that may be ahead of their competitors in the future are those who have adopted and successfully implemented new basic technologies today. In this regard, the adaptation of material transfer and storage systems to current technologies plays a key role in production and logistics processes in the enterprises. In the process of transforming the data obtained with new technologies into a new type of intelligence by artificial intelligence, enterprises that receive application support for Industry 4.0 and implement change in relation to material transfer and storage systems are the pioneers of radical changes in this matter. Small and Medium Enterprises operating in

Turkey (SMEs) in integrating Industry 4.0 application for these systems is to cause some problems. In the integration process, it is of great importance for enterprises to prevent these problems from obstructing workflows. The aim of this study is to explain the problems that may arise in the integration processes and to examine the global solution methods for solving these problems. As a result, suggestions on how to design material transfer and storage systems in SMEs in our country in accordance with the Industry 4.0 environment and how to use real time data collected through digital technologies to make decisions are presented.

Keywords: Material Transfer, Storage, SME, Industry 4.0.

*Corresponding author e-mail address: nimetkarabacak@gmail.com

KAYNAKÇA

1. Anonim, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>
2. Alcácer, V., Cruz-Machado, V., Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems, Engineering Science and Technology, an International Journal, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>.
3. Bahnes, N., Kechar, B., Haffaf, H. (2016), "Cooperation Between Intelligent Autonomous Vehicles to Enhance Container Terminal Operations", Journal of Innovation in Digital Ecosystem, 3, pp.22-29.
4. Bechtsis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., Iakovou, E. (2016), "Sustainable Supply Chain Management in the Digitalisation Era: The Impact of Automated Guided Vehicles", Journal of Cleaner Production, 142, pp.3970-3984.
5. Furmans, K., Seibold, Z., Trenkle, A., Future Technologies in Intralogistics and Material Handling, Operations, Logistics and Supply Chain Management, 545-574, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-92447-2_24.
6. Göçmen E., Erol R., 2018, The Transition To Industry 4.0 In One Of The Turkish Logistics Company, International Journal Of 3D Printing Technologies And Digital Industry 2:1 (2018) 76-85.
7. Ivanov, D., Tsipoulanis, A., Schönberger, J., 2019, Digital Supply Chain, Smart Operations and Industry 4.0, Global Supply Chain and Operations Management, pp 481-526, https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-94313-8_16#citeas.

8. Liu, X., Jao, J., Yang, Y., Jiang, S., 2018, CPS-Based Smart Warehouse for Industry 4.0: A Survey of the Underlying Technologies, Received: 16 November 2017; Accepted: 29 January 2018; Published: 2 February 2018, Computers 2018, 7, 13; doi:10.3390/computers7010013.
9. Mourtzis, D., Samothrakis, V., Zogopoulos, V., Vlachou, E., 2019, Warehouse Design and Operation using Augmented Reality technology: A Papermaking Industry Case Study, Procedia CIRP 79 (2019) 574-579, 10.1016/j.procir.2019.02.097.
10. Preuveneers, D., Ilie-Zudor, E., 2017, The Intelligent Industry Of The Future: A Survey On Emerging Trends, Research Challenges And Opportunities In Industry 4.0. Journal Of Ambient Intelligence And Smart Environments, 9(3): 287-298. doi: 10.3233/ais-170432.
11. Ünlü, F., Atik, H., Türkiye'deki İşletmelerin Endüstri 4.0'a Geçiş Performansı: Avrupa Birliği Ülkeleri İle Karşılaştırmalı Ampirik Analiz, Ankara Avrupa Çalışmaları Dergisi Cilt:17, No: 2 (Yıl: 2018), s. 431-463, <http://aacd.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/462/2019/01/C17S2UnluveAtik.pdf>.
12. <https://bilisim.com.tr/haberler/endustri-40-ve-kobi-ler-291>.
13. https://www.taider.org.tr/images/belgeler/endustri_40_neden_onemli_ve_turkiyede_nasil_uygulan_mali.pdf.
14. Forstner, Lisa; Dümmler, Mathias 2014: Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke – Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0 [Integrated value creation networks – opportunities and potentials of Industry 4.0], in: Elektrotechnik & Informationstechnik 131 (7), 199–201.
15. Mussbach-Witer, Ute; Schatz, Anja: Vertikale IT-Integration im Auftragsmanagementprozess: Aspekte der Aufgabenverteilung und des Informationsaustauschs zwischen ERP- und MES-Software [Vertical IT integration in task management: Aspects of task allocation and exchange of information between ERP MES software], in: Software Markt, 1–6 (5), <http://www.it-matchmaker.com/public/downloads/1062.pdf> (10.04.2019).
16. Wischmann, Steffen; Wangler, Leo; Botthof, Alfons 2015: Autonomik Industrie 4.0: Volks und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland [Autonomics and Industry 4.0: Economic and business factors for Germany as an industrial location]. Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0, Berlin, http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/F/industrie-4-0-volksund_20betriebswirtschaftliche-faktoren-deutschland.property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf (13.04.2019).
17. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2014: MonitoringReport Digitale Wirtschaft 2014 [Monitoring report on the digital economy], Berlin, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/monitoring-report-digitale-wirtschaft-2014-langfassung.property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (10.04.2019).
18. Finanzgruppe Deutscher Sparkassen- und Giroverband 2015: Diagnose Mittelstand 2015: Kreditfinanzierung vor Kapitalmarkt, Berlin, <http://www.dsgv.de/diagnosemittelstand/> (10.04.2019).
19. https://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Informationsmaterialien/2017-Technology_Transfer_web.pdf.
20. https://www.unido.org/sites/default/files/files/2017-11/UNIDO%20Background%20Paper%20on%20Industry%204.0_27112017.pdf
21. Safar, L., Sopko, J., Bednar, S., Poklemba, R., Concept of SME Business Model for Industry 4.0 Environment, TEM Journal. Volume 7, Issue 3, Pages 626-637, ISSN 2217-8309, DOI: 10.18421/TEM73-20, August 2018.
22. http://www.eria.org/uploads/media/ERIA-Books-2018-Industry4.0-Circular_Economy.pdf.

Okan Deniz Yılmaz* 

Atılım Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara

Samad Nadimi Bavil
Oliaei 

Atılım Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Ankara

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi 22-01-2020

Gönderilme: Kabul: 14-02-2020

*Sorumlu Yazar: Okan Deniz Yılmaz
Email: okan.yilmaz@atilim.edu.tr

Alüminyum Al6061-T6'nın İşlenmesinde Sürme Kuvvetinin Hesaplanması ve Sürtünme Katsayısının Etkisinin Araştırılması

Metal kesme işlemlerinde, takım kenar yarıçapının (edge radius) etkisiyle ortaya çıkan sürme (ploughing) kuvveti takım aşınması, akış geriliminin tahmini, talaş oluşum mekanizması, yüzey kalitesi ve metal kesme işleminin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi açısından önemli bir değişkendir. Literatürde, sürme (ploughing) kuvveti kararlı hale (steady state) gelmiş metal kesme işlemlerindeki periyodik (cyclic) kuvveti temel olarak tahmin edilebilmiştir. Fakat periyodik (cyclic) kuvvet çoğu metal kesme işlemlerinde ortaya çıkmamaktadır. Bu makalede, sürme kuvveti kesilmemiş talaş kalınlığını (uncut chip thickness) ekstrapolasyon yöntemi ile sıfıra yakınsatarak tahmin edilmiştir. Sürme (ploughing) kuvvetinin bu yöntem ile tahmin edilmesinden sonra Coulomb sürtünme katsayısı hesaplanılarak yapılan varsayımın doğru olup olmadığı karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen sürme (ploughing) kuvveti, kesilmemiş talaş kalınlığına karşı çizildiğinde daha homojendir ve Coulomb sürtünme değeri literatürde bulunan sürtünme kuvvetleriyle oldukça yakın çıkmıştır. Bu yüzden, periyodik (cyclic) kuvvetin oluşmadığı metal kesme işlemlerinde, sürme (ploughing) kuvvetini ekstrapolasyon yöntemi ile tahmin etmek ve Coulomb sürtünme değerini hesaplamak kabul edilebilir görünmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Al6061-T6, Talaşlı İmalat, Sürme Kuvveti, Coulomb Sürtünme Katsayısı

GİRİŞ

Kesme kuvvetleri, talaşlı imalat yöntemlerinde kesici takımın izlenmesi [1, 2], parça veya takım sapmalarının öngörülmesi [3, 4], malzeme akış stresinin hesaplanması [5-9], işleme yöntemlerinin belirlenmesi [10], tezgâh tasarımlarında ve takım tasarımlarında ve seçilmesinde uzun zamandır kullanılmaktadır. Kesici takımlar, takımın yanı (tool flank) ile kesme yüzeyi arasında keskinliğe (tool sharpness) ve temasa (tool contact) sahiptir. Takım hiçbir zaman tamamen keskin olamaz ve bu takım kenar yarıçapı (edge radius) oluşmasına neden olur. Sürme (ploughing) kuvvetini ortaya çıkarır. Sürme kuvveti, talaş oluşumu başlamadan hemen önce ölçülen kuvvet olarak varsayılabilir. Kısaca, sürme kuvveti sıfır kesilmemiş talaş kalınlığında (uncut chip thickness) ortaya çıkan kuvvet denilebilir [9]. Bu sayede, metal kesme işlemlerindeki büyüklük etkisi (size effect) denilen etkiyi açıklayabilir [11]. Sürme (ploughing) kuvveti, takım aşınmasının izlenmesinde, akış stresinin hesaplanmasında, talaş oluşma mekanizmasında ve yüzey kalitesinde oldukça önemli bir değişkendir. İlaveten, kesme kuvvetinin, sıcaklığın

ve yüzey kalitesinin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesinde tam keskin takım kullanılması varsayımının değerlendirilmesinde sürme (ploughing) kuvveti oldukça yararlıdır. Sürme (ploughing) kuvvetinin ölçülen kesme kuvvetlerinden ayırmak oldukça zordur. Bu yüzden, sürme (ploughing) kuvvetinin belirlenebilmesi için teknik yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Ekstrapolasyon yöntemi, ölçülen kuvvet verisi ile kesilmemiş talaş kalınlığını (uncut chip thickness) sabit kesme hızında çizdirerek sıfır kesilmemiş talaş kalınlığına (uncut chip thickness) denk gelen kesme kuvvetini saptamaktır. Sıfır kesilmemiş talaş kalınlığına denk gelen kesme kuvveti sürme kuvveti olarak varsayılır [12-15]. Bu yöntem, birçok araştırmacı [16-19] tarafından gerinim, gerinim oranı, sıcaklık ve takım/talaş temas uzunluğu dikkate alınmadığı için doğruluğu sorgulanmıştır. Colwell'in çalışmasından esinlenilerek [20], sıfır kesilmemiş talaş kalınlığı yöntemimin, kesme işlemi kararlı hale geldikten ve kesme işlemi henüz bitmeden kesme kuvvetinin ölçülmesi ile yapılması gerekmektedir. Ekstrapolasyon yöntemi ile düzeltilen kesme kuvvetlerini kullanarak, Stevenson ve

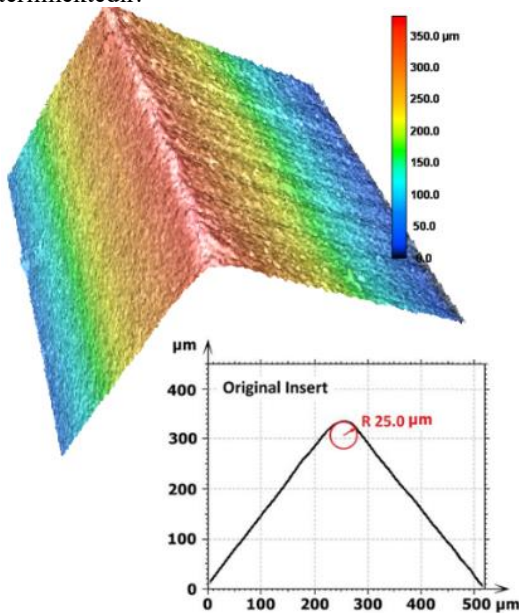
Stephenson [21] ve Stevenson [9] bu yöntemin çoğu koşulda geçerli olduğunu göstermiştir. Ekstrapolasyon yöntemi ile düzeltilen kesme kuvvetlerine bakılarak, malzeme modeli tahminleri ve malzeme akış gerilmeleri arasında makul bir anlaşma vardır [8].

DENEYSEL YÖNTEM

Kesme deneyleri, BT40 tipi takım tutucu ile Akira Seiki Performa SR3-XP dikey işleme makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dikey kesme deneylerini yapabilmek için, 30 mm dış, 26 mm iç çapa ve 2 mm et kalınlığına sahip içi boş silindirik iş parçası Alüminyum Al6061-T6 malzeme kullanılarak hazırlanmıştır. Silindirik iş parçasının iç derinliği esnemez bir iş parçası elde etmek ve titreşimleri önlemek için kısa tutulmuştur. Dikey kesme deneyleri, 0° talaş (rake angle) açısı ve 7° boşluk (clearance angle) açısına sahip kaplamasız tungsten karbür takım (DCMW 11 T3 04H13A) kullanılarak yapılmıştır.

Takımın kenar yarıçapı (edge radius), 3D lazer tarama mikroskobu kullanılarak 25 µm ölçülmüştür ve Şekil 1'de görülebilir. Kesme kuvvetleri, bir akım yükseltici (Type 5070), Kistler DAQ (Type 5697) veri toplayıcı ve Kistler 9441B takım tutucu yerleştirilmiş 3 bileşenli elmasa sahip Kistler 9265B dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen kesme ve itme kuvvetleri, alçak geçirmen filtre (low-pass filter) kullanılarak gürültüden temizlenmiştir. Şekil 2'de deney düzeneği gösterilmiştir.

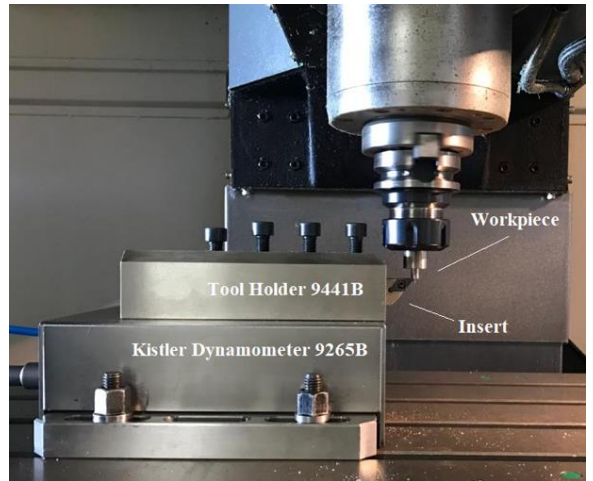
Deneylerde kullanılan Alüminyum Al6061-T6 malzemesinin kimyasal bileşenleri Tablo 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. 3D lazer taramalı mikroskop ile takımın kenar yarıçapının ölçülmesi

Tablo 1. Alüminyum 6061-T6 Malzemesinin Kimyasal Bileşimi

Bileşen	Oranı (%)
Al	95.8 - 98.6
Cr	0.04 - 0.35
Cu	0.15 - 0.4
Fe	maks. 0.7
Mg	0.8 - 1.2
Mn	maks. 0.15
Si	0.4 - 0.8
Ti	maks. 0.15
Zn	maks. 0.25
Diğer, her biri	maks. 0.05
Diğer, hepsi	maks. 0.15



Şekil 2. Dikey kesme işleminin deney düzeneği

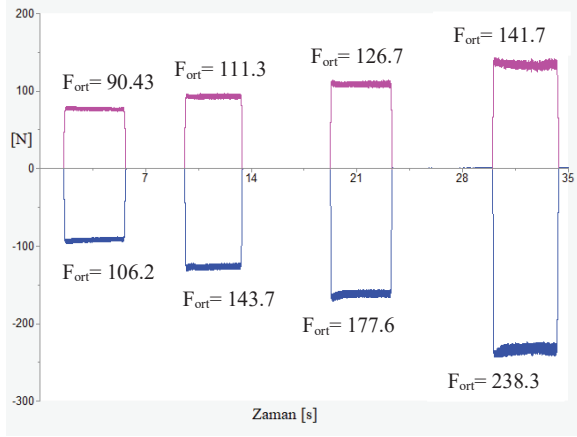
Daha yüksek sertlik ve kesici takım titreşimlerini en aza indirmek için 16 x 16 mm kesitli takım tutucu (SDACR 1616K 11-S) kullanılmıştır. Her kesme deneyi, takım aşınması dikkate alındığından sıfır kesici takım ile yapılmıştır.

SÜRME (PLOWING) KUVVETİ

Farklı kesilmemiş talaş kalınlıkları (0.05, 0.75, 0.1 ve 0.15 (mm/rev)) ve farklı kesme hızlarında (200, 400, 600, 800 ve 1000 (m/dak)) yapılan dikey kesme deneyleri ile kesme ve itme kuvvetleri ölçülmüştür. Her iki kuvvet bileşeni de beklenildiği gibi kesilmemiş talaş kalınlığı artarken artmaktadır.

Ölçülen kuvvet verilerinden sürme kuvvetini hesaplamak için ekstrapolasyon yöntemi kullanılmıştır. Ekstrapolasyon yöntemi, kesme ve itme kuvvetlerinin talaş kalınlığı ile doğrusal olarak arttığı varsayımına dayanmaktadır. Kesme ve itme

kuvvetleri, takımın kenar yarıçapı nedeniyle sürme kuvvetlerinden etkilenir ve sürme kuvvetinin dikey kesme deneylerine tam olarak dâhil olduğu varsayılır. Bu yüzden, kesilmemiş talaş kalınlığı artarken sürme kuvveti değişmez ve takım ile talaş arasında sürtünme katsayısı kesilmemiş talaş kalınlığından bağımsızdır. Dinamometreden ölçülen kesme ve itme kuvvetleri Şekil 3'de görülebilir.



Şekil 3. Al6061-T6'nın 1000 m/dak'da dikey kesme deneylerinde ölçülen kesme(mavi) ve itme(pembe) kuvvetleri

Kesme ve itme kuvvetleri ile kesilmemiş talaş kalınlığına doğrusal fonksiyon olarak çizilebilir. Sürme kuvvetleri, kesilmemiş talaş kalınlığı 0 alınarak doğrusal bir fonksiyon kullanılarak hesaplanabilir. Ortaya çıkan doğrusal fonksiyon ve sürme kuvvetleri Şekil 4'de gösterilmiştir.

Şekil 4'de gösterilen iki çizginin eğimi, sürme kuvvetinin yönünün kesici takımın kenar yarıçapının büyüklüğü ile değiştiğini gösterir.

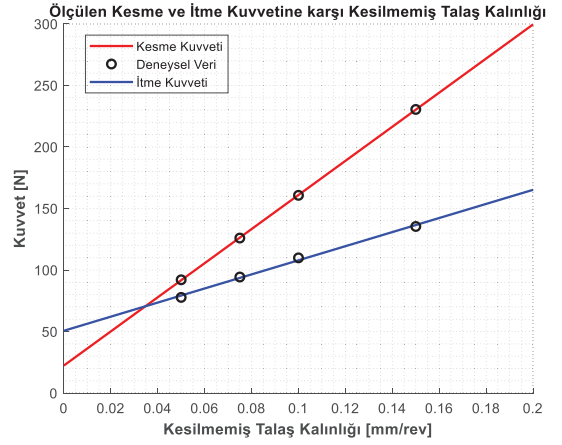
COULOMB SÜRTÜNME KATSAYISI

Takım/talaş ve takım/iş parçası ara yüzündeki sürtünmenin, işleme yönteminin çıktılarının tahmin edilebilmesinde önemli bir etkisi vardır. Coulomb sürtünme katsayısını hesaplamak için, ölçülen kesme (F_c^m) ve itme (F_t^m) kuvvetlerinden sürme kuvveti (F_c^p, F_t^p) çıkarılarak gerçek kesme kuvveti (F_c^c) ve gerçek itme kuvveti (F_t^c) Guo ve Cho'nun [22] belirttiği gibi hesaplanması gerekmektedir. Gerçek kesme ve itme kuvvetleri Denklem (1) ve (2) kullanılarak hesaplanabilir.

$$F_c^c = F_c^m - F_c^p \quad (1)$$

ve

$$F_t^c = F_t^m - F_t^p \quad (2)$$



Şekil 4. Al6061-T6'nın 1000 m/dak'da ekstrapolasyon yöntemi ile bulunmuş kesme ve itme kuvvetleri

Sürme kuvveti bileşenleri (F_c^p, F_t^p) kesilmemiş talaş kalınlığını sıfıra ekstrapolasyon yöntemi ile yakınsayarak elde edilir. Sürme kuvvetinin kesme ve itme bileşenlerinin büyüklüğünü bilerek, takım/talaş ara yüzündeki Coulomb sürtünme katsayısını hesaplamak daha doğru olacaktır.

$$\mu = \frac{F_c^c \sin \gamma + F_t^c \cos \gamma}{F_c^c \cos \gamma - F_t^c \sin \gamma} \quad (3)$$

Sürme kuvveti çıkarıldıktan sonra elde edilen kesme ve itme kuvveti, metal kesme işleminde talaşın açığa çıkması için gereken gerçek kesme ve itme kuvvetleridir. Bu sayede, takım/talaş ara yüzünde Coulomb sürtünme katsayısı Denklem (3) kullanılarak hesaplanabilir. Denklem (3)'de kullanılan γ takımın talaş açısıdır ve kuvvetler ölçülen kesme ve itme kuvvetlerinden sürme kuvvetinin çıkarılması ile hesaplanan kuvvetlerdir.

Tablo 2, farklı kesme hızlarında ve kesilmemiş talaş kalınlığında Coulomb sürtünme katsayısını göstermektedir. Bu sonuçlar, kesme hızı artarken ölçülen kuvvet değerlerinin ve Coulomb sürtünme katsayısının düştüğünü göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, metal kesme işlemlerinde sürme kuvvetinin hesaplanmasını ve bunun malzeme özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

- Sürme kuvveti, ölçülen kesme ve itme kuvvetlerini kesilmemiş talaş kalınlığını sıfıra yakınsama yöntemi sayesinde tahmin edilebilmiştir.
- Sürme kuvvetinin tahmin edilebilmesi, Coulomb sürtünme katsayısının gerçek kesme ve itme kuvvetleri ile hesaplanabilmesini sağlamıştır.

- Kesme hızı arttıkça kesme ve itme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.
- Kesme hızı arttığında Coulomb sürtünme katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir.
- Sabit kesme hızında kesilmemiş talaş kalınlığı artırıldığında kesme ve itme kuvvetleri beklenildiği gibi yükselmiştir.
- Coulomb sürtünme katsayısı, sürme kuvveti dikkate alınmadan ölçülen kesme ve itme kuvvetleri ile hesaplandığında literatür ile uyuşmayan çok büyük rakamlar çıkmaktadır.

INVESTIGATION OF THE CALCULATION PLOUGHING FORCE AND THE EFFECT OF FRICTION COEFFICIENT IN MACHINING OF ALUMINUM 6061-T6

In metal cutting operations, the ploughing force, which occurs due to the effect of edge radius of the tool that is an essential factor in terms of tool wear, prediction of flow stress, chip formation mechanism, surface quality and finite element modeling of metal cutting operations. In the literature, the ploughing force was estimated based on the cyclic force in steady state metal cutting operations. However, cyclic force does not occur in most metal cutting operations. In this

article, the ploughing force was estimated by integrating uncut chip thickness to zero value by using extrapolation method. After estimating the ploughing force by this method, the Coulomb friction coefficient can be calculated and the precision of the assumption is compared. The estimated ploughing force is more homogeneous when plotted against uncut chip thickness, and the Coulomb friction coefficient is quite accurate to friction value which found in the literature. Hereby, the assumption is acceptable to estimate the ploughing force by using extrapolation method and the calculation of the Coulomb friction is valid in metal cutting operation which cyclic force does not occur.

Keywords: Aluminum Al6061-T6, Metal Cutting, Ploughing Force, Coulomb Friction Coefficient

TEŞEKKÜR

Yazarlar, 3D lazer taramalı mikroskobunun kullanımı için Bilkent Üniversitesi Mikro Sistem Tasarım ve İmalat Araştırma Merkezine teşekkür eder. Özellikle, Doç. Dr. Yiğit Karpat'a ve Dr. Şakir Baytaroğlu'na yardımlarından dolayı şükranlarımızı sunarız.

Tablo 2. Al6061-T6'nın Coulomb sürtünme katsayısının hesaplanması

Kesme Hızı (m/dak)	Kesilmemiş Talaş Kalınlığı (mm/rev)	Kesme Kuvveti F_c^m (N)	İtme Kuvveti F_t^m (N)	Sürme Kuvveti (N)	Coulomb Sürtünme Katsayısı
200	0.05	142.7	130.5	$F_c^p = 67.7$ $F_t^p = 89.64$	0.615
	0.075	195.3	173.2		
	0.1	238.3	201.7		
	0.15	308.9	236.1		
400	0.05	124.8	112	$F_c^p = 56.39$ $F_t^p = 83.46$	0.512
	0.075	172.8	151.1		
	0.1	207.4	165.8		
	0.15	275.5	194		
600	0.05	122.7	112.4	$F_c^p = 49.04$ $F_t^p = 76.51$	0.477
	0.075	156.6	126.1		
	0.1	195	147.4		
	0.15	267.4	180.6		
800	0.05	113.2	98.04	$F_c^p = 36.7$ $F_t^p = 65.01$	0.457
	0.075	151	117.1		
	0.1	195	142.9		
	0.15	266.9	168.5		
1000	0.05	106.2	90.43	$F_c^p = 43.47$ $F_t^p = 70.2$	0.373
	0.075	143.7	111.3		
	0.1	177.6	126.7		
	0.15	238.3	141.7		

KAYNAKÇA

1. Y. Altintas and I. Yellowley, "In-process detection of tool failure in milling using cutting force models." 1989.
2. M. Elbestawi, T. Papazafiriou, and R. Du, "In-process monitoring of tool wear in milling using cutting force signature." *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 1991. 31(1): pp. 55-73.
3. J. Sutherland and R.E. Devor, "An improved method for cutting force and surface error prediction in flexible end milling systems." 1986.
4. Y. Altintas, D. Montgomery, and E. Budak, "Dynamic peripheral milling of flexible structures." 1992.
5. M.C. Shaw and J. Cookson, "Metal cutting principles. Vol. 2. 2005: Oxford university press New York.
6. M.E. Merchant, "Mechanics of the metal cutting process. I. Orthogonal cutting and a type 2 chip." *Journal of applied physics*, 1945. 16(5): pp. 267-275.
7. R. Stevenson, "Study on the correlation of workpiece mechanical properties from compression and cutting tests." *Machining science and technology*, 1997. 1(1): pp. 67-79.
8. Y. Guo, "An integral method to determine the mechanical behavior of materials in metal cutting." *Journal of Materials Processing Technology*, 2003. 142(1): pp. 72-81.
9. R. Stevenson, "The measurement of parasitic forces in orthogonal cutting." *International journal of machine Tools and manufacture*, 1998. 38(1-2): pp. 113-130.
10. H. Tönshoff, H.-G. Wobker, and D. Brandt, "Hard turning-influences on the workpiece properties." *Transactions-North American Manufacturing Research Institution of Sme*, 1995: pp. 215-220.
11. G. Boothroyd, "Fundamentals of metal machining and machine tools. Vol. 28. 1988: Crc Press.
12. P. Albrecht, "New developments in the theory of the metal-cutting process: part I. The ploughing process in metal cutting." *Journal of engineering for industry*, 1960. 82(4): pp. 348-357.
13. P. Wallace and G. Boothroyd, "Tool forces and tool-chip friction in orthogonal machining." *Journal of Mechanical Engineering Science*, 1964. 6(1): pp. 74-87.
14. T. HSU. "A study of normal and shear stresses on a cutting tool". in *Mechanical Engineering*. 1965. Asme-Amer Soc Mechanical Eng 345 E 47TH ST, New York, NY 10017.
15. J. Baiey, "Friction in metal machining mechanical aspects." *Wear*, 1975. 31(2): pp. 243-275.
16. W. Palmer and P. Oxley, "Mechanics of orthogonal machining." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1959. 173(1): pp. 623-654.
17. M.E. Abdelmoneim and R. Scrutton, "Tool edge roundness and stable build-up formation in finish machining." 1974.
18. M.E. Abdelmoneim, "Comments on "Friction in metal machining—mechanical aspects". " *Wear*, 1976. 38(2): pp. 391-392.
19. J. Williams and N. Gane, "Some observations on the flow stress of metals during metal cutting." *Wear*, 1977. 42(2): pp. 341-353.
20. L. Colwell, "Methods for sensing the rate of tool wear." *Annals of the CIRP*, 1971. 19(4): pp. 647-651.
21. R. Stevenson and D.A. Stephenson, "The mechanical behavior of zinc during machining." 1995.
22. Y. Guo and Y. Chou, "The determination of ploughing force and its influence on material properties in metal cutting." *Journal of Materials Processing Technology*, 2004. 148(3): pp. 368-375.

Ramazan Hakkı Namlu* 

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Sadık Engin Kılıç 

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Bahram Lotfi Sadigh 

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 22-01-2020

Kabul: 22-02-2020

*Sorumlu Yazar: Ramazan Hakkı Namlu

Email: ramazan.namlu@atilim.edu.tr

Minimum Miktar Yağlama Tekniğinin Ti-6Al-4V Alaşımının Kaba İşlenmesinde Kesme Kuvvetlerine Etkisinin İncelenmesi

Ti-6Al-4V havacılık başta olmak üzere birçok sanayii sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılan bir titanyum alaşımıdır. Bu çalışmada Ti-6Al-4V'nin kaba işlenmesinde yeni bir soğutma tekniği olan Minimum Miktar Yağlama (MMY)'nin kesme kuvvetlerine olan etkisi araştırılmıştır. Farklı kesme parametreleri ve soğutucu koşullarında yapılan deneyler sonucunda Ti-6Al-4V'nin kaba işlenmesinde MMY kullanımının kesme kuvvetlerini düşürerek operasyon esnasında gerekli olan enerjiyi azalttığı ve bu sayede operasyon verimliliğini arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ti-6Al-4V, Kaba İşleme, Kesme Kuvvetleri, Minimum Miktar Yağlama

GİRİŞ

Ti-6Al-4V malzemesi sahip olduğu yüksek mukavemet/ağırlık oranı, iyi korozyon direnci ve yüksek kırılma tokluğu gibi üstün özelliklerinden dolayı havacılık başta olmak üzere medikal, otomotiv, nükleer sektörlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu sektörlerde talaşlı imalat önemli bir üretim yöntemidir. Sanayide işleme genellikle kaba işleme ve hassas işleme olarak ikiye ayrılmaktadır. Kaba işlemede mümkün olan en yüksek malzeme kaldırma oranının en verimli şekilde elde edilmesi amaçlanırken hassas işlemede mümkün olan en düşük tolerans aralığında ve en iyi yüzey kalitesiyle üretim yapmak amaçlanmaktadır. Ancak Ti-6Al-4V'nin yüksek aşınma direnci ve buna bağlı yüksek takım aşınması ayrıca düşük termal iletkenlik özelliklerinden dolayı bu malzemenin işlenmesi geleneksel işleme yöntemleri ile oldukça zordur. Bu nedenle Ti-6Al-4V'nin işlenmesini kolaylaştırmaya yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları soğutma tekniklerini geliştirmeye yöneliktir ve bunlardan biri de oldukça yeni bir soğutma tekniği olan Minimum Miktar Yağlama (MMY) yöntemidir. MMY geleneksel soğutma yöntemlerine göre çok daha az kesme sıvısı

kullanımı, daha etkin yağlama kapasitesi ve daha çevreci bir teknik olması gibi birçok avantaja sahiptir [1].

MMY yöntemi düşük miktarda kesme sıvısı kullanarak gerçekleştirilir. Basınçlı hava ile birleşen kesme sıvısı aerosol formunda şekil değiştirme bölgesine püskürtülür ve aerosol form sıvı forma göre bu bölgeye daha etkin şekilde nüfuz edebilir. Bu sayede kesme sıvısı kesici takım ve iş parçası arasında daha yüksek bir yağlama bölgesi elde edilerek yağlama kapasitesi artırılabilir. Ayrıca yüksek basınçla püskürtülmesinden dolayı cebri konveksiyon ile kesme bölgesinin sıcaklığı da düşürülebilir [1]. MMY'nin yağ tüketimi 2-500 mL/s arasında değişmektedir [1]. Bu miktar, ortalama tüketim oranının yaklaşık 1200 l/s olduğu geleneksel soğutma yöntemlerine kıyasla çok düşüktür [2]. Bu düşük oran operasyon maliyetini ciddi ölçüde azaltmaktadır. Geleneksel kesme sıvılarında kullanılan birçok bileşen operasyon esnasındaki yüksek tüketim nedeniyle insan sağlığını ve çevreyi tehdit etmektedir. MMY'nin düşük tüketimi sayesinde, kullanılan bileşenlerin operasyonu yürüten çalışanın sağlığına olumsuz etkisini ve çevreye olan zararlı etkileri minimuma indirilmesi söz konusudur.

Kullanılan havanın basıncı 2 bar ila 8 bar arasında değişmekte olup, kesme parametrelerin seçimine göre değişebilmektedir[1]. MMY sistemlerinde işlenecek malzemeye ve işleme operasyonuna göre çeşitli yağlar kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan yağlar sentetik ve bitkisel yağlardır. Sentetik yağlar ester bazlı yağlar gibi yağlama etkisinin yüksek olması istenilen yağlar olabileceği gibi alkol bazlı düşük buharlaşma sıcaklığı özelliği ile soğutmaya daha çok ihtiyaç duyulan operasyonlarda kullanılabilen yağlar olabilir. Bitkisel yağlar ise daha çevreci ve insan sağlığına olumsuz etkisinin

düşük olması gibi özellikleri ile ön plana çıkarken, performans olarak da yine geleneksel kesme sınırlarına göre daha başarılı sonuçlar vermektedir [1]. MMY'nin işleme performansına etkisi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Okonkwo ve diğ.[3] MMY yönteminin Al6061 malzemesinin frezelemesinde yüzey pürüzlülüğünün kuru kesme koşuluna göre %20 daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Li ve diğ.[4] MMY'nin mikro işlemede yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde azalttığını, takım ömrünü arttırdığını ve çapak oluşumunu azalttığını gözlemlemiştir. Kishawy ve diğ.[5] MMY'nin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve kesme kuvveti açısından geleneksel kesme sıvısı ile işlemeye benzer sonuçlar gösterdiğini gözlemlemiştir, ancak MMY'nin düşük miktar tüketimi ve çevreye daha az zarar vermesi göz önüne alındığında daha etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Heinemann ve diğ.[6] delik delme işleminde MMY'nin sürekli uygulanması ile kesici takım ömrünün arttırılabileceğini göstermiştir. Li ve diğ.[7] mikro taşlamada MMY ile yüzey pürüzlülüğünde kayda değer bir azalma ve takım ömründe kayda değer bir iyileşme olduğunu gözlemlemiştirler. Kang ve diğ.[8] MMY ile yapılan yüksek hızlı kenar frezelemesinde olağanüstü bir kesme performansı sunduğunu ve tüm geleneksel kesme sıvısı, kuru ve MMY soğutma koşulları arasında en düşük serbest yüzey aşınmasını MMY'de kaydettiklerini bildirmişlerdir. Namlu ve diğ.[9] Al 6061 malzemesi üzerindeki MMY tekniğinin kesme performansını incelemiştirler, sonuçlar kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün tüm ilerleme ve kesme hızlarında kuru ve geleneksel kesme sıvısı ile kesimlerden daha düşük olduğunu göstermiştir. Liu ve diğ.[10] Ti-6Al-4V malzemesinin frezelemesinde MMY parametrelerinin etkisini incelemiştir ve en uygun püskürtme basıncın 6 bar, en etkili püskürtme açısının ise 135° bulmuştur. Bununla birlikte Ti-6Al-4V'nin frezelemesi esnasında değişen kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametreleri de kesme performansını etkilemektedir [11].

Literatürde görüldüğü üzere yapılan araştırmalarda MMY tekniğinin işleme performansına olumlu etkilerinin olduğu bildirilmiştir. Ancak MMY tekniğinin Ti-6Al-4V malzemesinin frezelemesindeki kesme kuvvetlerine etkisi ile ilgili çalışmalar oldukça azdır. Ayrıca yine bu konuda sanayide çokça kullanılan kaba işleme ile ilgili hiçbir çalışma olmadığı görülmektedir, kaba işlemede yüksek malzeme kaldırma oranından dolayı kesme kuvvetleri de yükselmekte bu da enerji tüketimini arttırmaktadır, bu nedenle kaba işlemede kesme kuvvetlerinin azaltılması enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu çalışmada Ti-6Al-4V malzemesinin frezelemesindeki kaba işlemede MMY tekniğinin kesme kuvvetlerine etkisi incelenmiş ve literatürdeki bu boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerinde kullanılan iş parçası Ti-6Al-4V Derece 5'tir. Alfa fazını stabilize eden alüminyum ve beta fazını stabilize eden vanadyum içeren bir alfa-beta titanyum alaşımıdır. Kimyasal içerik oranları ve fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir [12]. Deneyler Atılım Üniversitesi İmalat Mühendisliği bölümünün imalat laboratuvarında yapılmıştır. Deney numunesinin ölçüleri 80mm × 60mm × 70mm'dir. Toplam 12 deney yapılmıştır, deney koşulları Tablo 3'te görülebilir. Kaba işleme tekniğinin incelenmesi açısından kesme derinliği 3 mm olarak belirlenmiştir. Bütün deneyler VTEC marka 4 eksenli CNC dik işleme merkezinde otomatik olarak yapılmıştır, kesme düzeneği Şekil 1'de görülebilir. Frezeleme işlemleri sırasındaki kuvvetleri ölçmek için Kistler marka 9265B model dinamometre kullanılmıştır. Numune, fikstürlerle birlikte dinamometreye yerleştirilmiştir. Deneyler esnasında dinamometreden gelen sinyaller öncelikle bir yük yükselticisine iletilmiş orada yükseltilecek sinyaller bilgisayara aktarılmak üzere bir veri toplama cihazına iletilmiştir, daha sonra bilgisayarda kurulu olan DynoWare yazılımı ile veri toplama cihazından gelen sinyallerle kesme kuvvetlerinin değerleri alınmış ve kaydedilmiştir, dinamometre sistemi Şekil 2'de verilmiştir. Deneylerde STOCK marka 64551 kodlu TiAlN kaplamalı 10mm çapında 4 kesme ağızlı karbür parmak freze kullanılmıştır. Farklı ilerleme ve kesme hızlarında yapılan deneyler ayrıca kuru kesme ve MMY koşulları altında yapılmıştır. Kullanılan MMY sisteminin bilgileri Tablo 4'te verilmiştir. MMY sisteminde kullanılan yağ ester bazlı Samnos ZM-22W'dur ve sulu polialkilen-glikol çözeltisi içermektedir [13].

Tablo 1. Ti-6Al-4V'nin Kimyasal Bileşen Oranları

Bileşen	Oran %
Al	6
Fe (Enb.)	0,25
O	Max 0,2
Ti	90
V	4

Tablo 2. Ti-6Al-4V'nin Fiziksel Özellikleri

Özellik	Ortalama Değer
Özkütle (g/cm^3)	4,42
Erime Sıcaklığı ($^{\circ}C \pm 15^{\circ}C$)	1649
Özgül Isı ($J/kg \cdot ^{\circ}C$)	560
Termal İletkenlik ($W/m \cdot K$)	7,2

Tablo 3. Deney Koşulları

Deney Numarası	Mil Hızı (dev/dk) Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/diş)	Soğutma Koşulu	
			Kuru	MMY
1	1500 47	0,03	Kuru	MMY
2		0,04	Kuru	MMY
3		0,05	Kuru	MMY
4	2500 78	0,03	Kuru	MMY
5		0,04	Kuru	MMY
6		0,05	Kuru	MMY

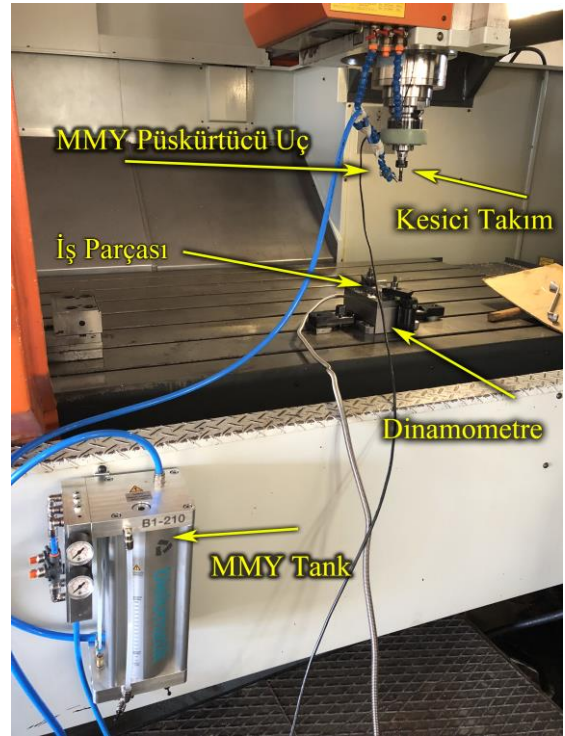
Tablo 4. MMY Sisteminin Özellikleri

Özellik	Değer
Tank Kapasitesi	1,8 lt
Hava Basıncı	5-10 bar
Kalibrasyon	Manuel
Çıkış Opsiyonları	Basınç regülatörlü iki parça
Çalıştırma	Selenoid Valf
Basınç Göstermesi	Manometre
Boyut	460x290x170mm

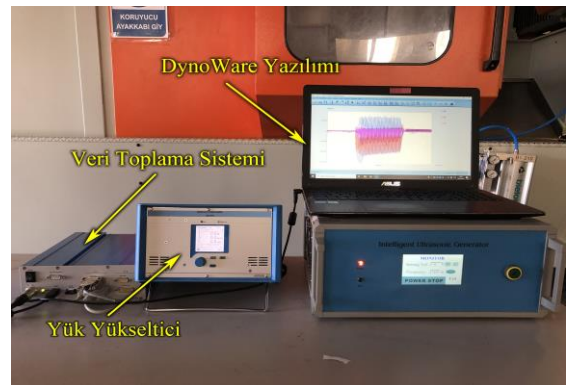
TARTIŞMA

MMY kullanımının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini araştırmak için kuru ve MMY koşullarında deneyler yapılmıştır. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri Tablo 5'te görülebilir. Deneylerdeki parametreler ayrıca ilerleme ve kesme hızının, soğutma tekniği ile birlikte kesme kuvvetleri açısından en uygun kombinasyonunu bulmak için kesici takım üreticisinin önerdiği katalog

değerlerinden seçilmiştir [14]. Kesme kuvvetlerinin, MMY kullanılan tüm deneylerde Şekil 3'te görüldüğü üzere azaldığı gözlemlenmiştir. Kesme kuvvetlerindeki en büyük azalış %18.19 ile 78.5 m/dakika kesme hızı ve 0.05 mm/diş ilerlemede yapılan deneylerde olduğu görülmüştür. MMY kullanımına bağlı olarak kesme kuvvetlerinin azalmasındaki en büyük farklılıklar 0.05 mm/diş ilerlemede kaydedilmiştir. Farklı kesme hızları ve ilerlemelerdeki kesme kuvveti farklılıkları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney Düzeneği



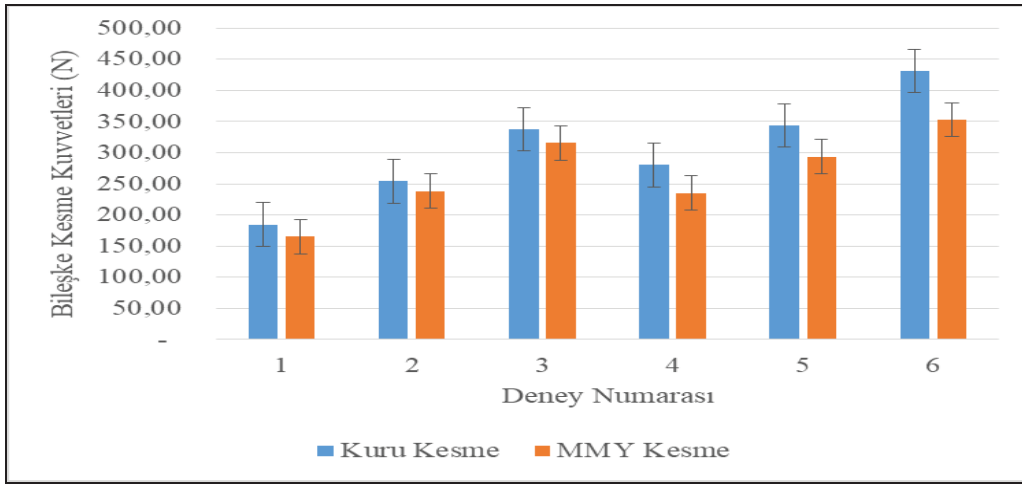
Şekil 2. Dinamometre Sistemi

Elde edilen sonuçlar şu şekilde açıklanabilir; MMY kullanıldığında, püskürtülen aerosol kesme bölgesine çok detaylı bir şekilde nüfuz etmekte ve yüksek yağlayıcı özelliğinden dolayı kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeyi azaltmaktadır. Öte

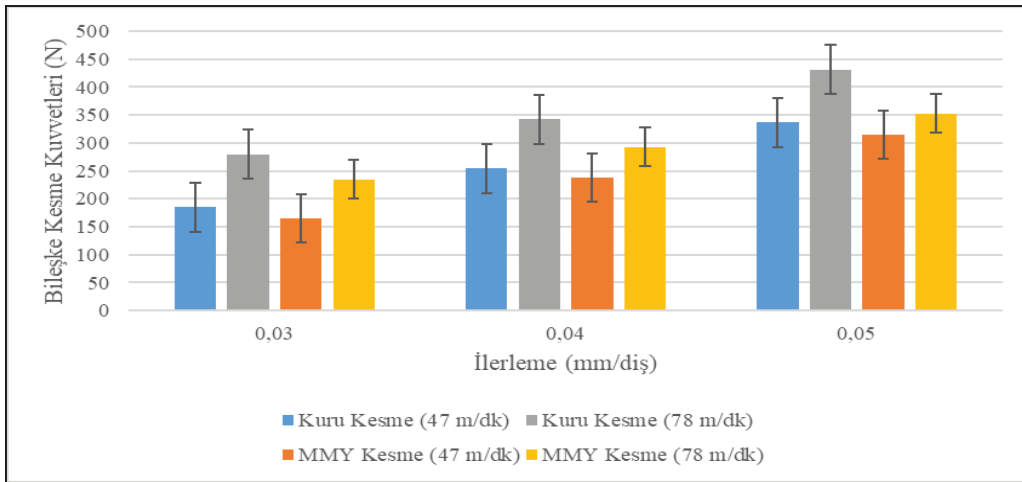
yandan, kullanılan ester bazlı yağ düşük buharlaşma sıcaklığına sahip olmasından dolayı, kesme bölgesinde biriken ısıyı ani buharlaşma yoluyla ortamdaki uzaklaştırmaktadır. Ti-6Al-4V'nin düşük termal iletkenlik özelliği nedeniyle, iş parçası üzerinde değil de kesici takım üzerinde biriken ısı böylece ortamdaki uzaklaştırılmaktadır ve kesici takımın zarar görmesi önlenmektedir. Bu sayede daha az aşınan takım keskinliğini kaybetmeyerek daha kolay talaş kaldırmakta ve kesme kuvvetleri de böylelikle azalmaktadır. Deneylerden çıkarılabilen bir başka sonuç, soğutma ortamına ve kesme hızına bakılmaksızın artan ilerleme ile kesme kuvvetlerinin de artmasıdır. İlerleme arttıkça kesici takımın kaldırması gereken malzeme miktarı da artan talaş kalınlığı ile birlikte artmaktadır.

Bu artış kesici takım ve iş parçası arasındaki temas alanını arttıracığı için sürtünmenin de

artmasına neden olmaktadır, artan sürtünme ile birlikte kesme kuvvetleri de artmaktadır. Ayrıca kesme hızının artmasının da diğer değişkenlerden bağımsız olarak kesme kuvvetini arttırdığı gözlemlenmiştir. Kesme hızı arttıkça, kesme bölgesindeki sıcaklığın artan sürtünme nedeniyle arttığı bilinmektedir. Ti-6Al-4V malzemesinin düşük termal iletkenliği nedeniyle artan ısı kesme bölgesi dışına yayılamamaktadır ve talaşla birlikte atılamamaktadır. Kesme bölgesinde biriken ısı giderilemediğinden, bu ısı kesici takımın ve iş parçasının kesilmemiş yüzeyinde birikmektedir. İş parçasının kesilmemiş yüzeyinde biriken ısı nedeniyle, malzeme talaş sertleşmesine maruz kalmakta, bu da malzemenin yüzeyinden talaşların kaldırılmasını zorlaştırarak kesme kuvvetlerini arttırmaktadır. Bu sonuçlar literatürdeki çeşitli çalışmalarla desteklenmiştir [15], [16].



Şekil 3. MMY kullanımının kesme kuvvetlerine etkisi



Şekil 4. Kesme parametrelerinin kesme kuvvetine etkisi

Tablo 5. Deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri

Mil Hızı (dev/dk) Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/diş)	Kuru Kesme (N)	MMY Kesme (N)
1500 47	0,03	185	165
	0,04	254	238
	0,05	337	315
2500 78	0,03	280	235
	0,04	342	293
	0,05	431	353

SONUÇLAR

Ti-6Al-4V malzemesinin kaba işlemeli frezelemede MMY tekniğinin kesme kuvvetleri üzerine incelenmesi için yapılan deneyler başarı ile sonuçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir,

- MMY kullanımı bütün deneylerde kesme kuvvetlerini azaltmıştır.
- Kaba işlemede kesme kuvvetlerinin azalması, operasyon için gerekli enerjiyi azaltacağı için MMY tekniğinin kullanımının kesme performansını arttırabileceği görülmüştür.
- İlerleme ve kesme hızı arttıkça soğutma tekniğine bakılmaksızın kesme kuvvetlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar oldukça olumlu olup ileriki çalışmalar için de gelecek vaat etmektedir. MMY tekniğinin de farklı parametreleri denenerek en uygun koşullar bulunabilir, ayrıca farklı malzemede MMY kullanımının etkisi araştırılabilir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION TECHNIQUE ON CUTTING FORCES OF ROUGH MACHINING OF Ti-6Al-4V ALLOY

Ti-6Al-4V is a titanium alloy that is widely used in many industries, especially in aviation. In this study, the effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL), which is a new cooling technique in the rough machining of Ti-6Al-4V, on cutting forces is investigated. As a result of the experiments carried out under different cutting parameters and coolant conditions, it was observed that the use of MQL in the rough machining of Ti-6Al-4V reduces the energy required during the operation by reducing the cutting forces, thereby increasing the operational efficiency.

Keywords: Ti-6Al-4V, Rough Machining, Cutting Forces, Minimum Quantity Lubrication

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmayı ATÜ-BAD-1819-02 proje koduyla destekleyen Atılım Üniversitesi'ne ve malzeme temininden dolayı Alp Havacılık'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKÇA

1. H. Tschätsch, A. Reichelt, "Cutting fluids (coolants and lubricants)", in Applied Machining Technology, Ed. Berlin Heidelberg: Springer, 2009, pp. 349-352
2. B. L. Tai, D. A. Stephenson, R. J. Furness, A. J. Shih, "Minimum Quantity Lubrication (MQL) in Automotive Powertrain Machining", Procedia CIRP, Vol: 14, pp. 523-528, 2014.
3. U.C. Okonkwo, I.P. Okokpueje, J.E. Sinebe, C.A.K. Ezugwu, "Comparative analysis of aluminium surface roughness in end-milling under dry and minimum quantity lubrication (MQL) conditions", International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, Vol: 11, pp. 2771-2785, 2015
4. K.M. Li, S.Y. Chou, "Experimental evaluation of minimum quantity lubrication in near micro-milling", Journal of Materials Processing Technology, Vol: 210, pp. 2163-2170, 2010
5. H. A. Kishawy, M. Dumitrescu, E.G. Ng, M.A. Elbestawi, "Effect of coolant strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminium alloy", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol: 45, pp. 219-227, 2005
6. R. Heinemann, S. Hinduja, G. Barrow, G. Petuelli, "Effect of MQL on the tool life of small twist in deep-hole drilling", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol:46, 1-6, 2006
7. K.M. Li, C.P. Lin, "Study on minimum quantity lubrication in micro-grinding", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol: 62, 99-105, 2012
8. M.C. Kang, K.H. Kim, S.H. Shin, S.H. Jang, J.H. Park, C. Kim, "Effect of the minimum quantity lubrication in high speed end milling of AISI D2 coldworked die steel (62

- HRC) by coated carbide tools”, Surface Coating Technology, Vol: 202, 5621-5624, 2008
9. R. H. Namlu, O. D. Yılmaz, S. E. Kilic, B. Cetin, Investigating The Effect Of Cutting Conditions On Machining Performance Of Al 6061-T6 Alloy, In 10th International Congress On Machining, 2019, pp. 293-304
 10. Z. Q. Liu, X. J. Cai, M. Chen, Q. L. An, “Investigation of cutting force and temperature of end-milling Ti-6Al-4V with different minimum quantity lubrication (MQL) parameters”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol: 225, pp. 1273–1279, 2011
 11. R. H. Namlu, O. D. Yılmaz, C. Şimşir, Investigating the effect of milling parameters on residual stresses of Ti-6Al-4V, In The 18th International Conference on Machine Design and Production, 2018, pp. 375-383
 12. R. Boyer, G. Welsch, and E. W. Collings, Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, ASM International, Materials Park, OH, 1994
 13. Internet:<https://www.hpntechnologie.de/de/schmierstoffe/samnos.html> Erişim Tarihi:[19.12.2019]
 14. Internet:https://www.stock.de/pdf/Fräswerkzeuge_VHM%20Schafftfräser_Standard_Schafftfräser_EN.pdf [18.02.2020]
 15. J. Hou, W. Zhou, H. Duan, G. Yang, H. Xu, N. Zhao “Influence of cutting speed on cutting force, flank temperature, and tool wear in end milling of Ti-6Al-4V alloy”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol: 70, pp. 1835–1845, 2014
 16. C.L. Veiga, J.P. Davim, “Review on Machinability of Titanium Alloys: The Process Perspective”, Reviews of Advanced Materials Science, Vol: 3, pp. 148-164, 2013

Tuğçe Hacaloğlu 

ATILIM Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Ankara

Bilgin Kaftanoğlu 

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 07-02-2020

Kabul: 04-03-2020

* Sorumlu Yazar: Tuğçe Hacaloğlu
Email: tugcehacaloglu@gmail.com

Karbür Uçlar ve Titanyum Nitrür (TiN) Kaplamalı Karbür Uçlar ile Titanyum Alaşımı (Ti6Al4V) ve AISI 1045 Çeliği Arasında Sürtünme ve Aşınma Performansı Araştırması

Bu çalışmada, Titanyum alaşımı (Ti6Al4V) ve AISI 1045 çeliği üzerinde, karbür (WC-Co) ve TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uçlar ile kuru sürtünme deneyleri, iki değişik hız ve iki değişik yük altında, tribometre ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Deney sonuçlarında, sürtünme katsayıları zamana bağlı grafikler olarak elde edilmiş, en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, karbür uçlardaki ve Titanyum alaşımı (Ti6Al4V) ve AISI 1045 çeliği disklerdeki aşınmalar da ölçülmüştür. Sürtünme katsayılarının, malzemeye, TiN kaplamaya, hız ve yüke bağlı değişkenlikleri elde edilmiştir. Bu bilgilerin, kesme işlemlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak modellenmesinde uygulanabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünme katsayısı, Aşınma, Triboloji

GİRİŞ

Metal kesme işlemi günümüzde sıklıkla tercih edilen imalat yöntemlerinden biridir [1]. Kesme işlemi esnasında çalışılan iş parçasından ortaya çıkan talaş ile birlikte deformasyonlar, takım ve talaş arasında gerilmeler ve yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır [2]. Metal kesme işlemi esnasında birtakım parametreler kritik öneme sahiptir ve bunların belirlenmesi gerekmektedir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz; kesme esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin ve sıcaklıklarının belirlenmesi, çalışılan malzemenin yüzeyinde ortaya çıkan artık gerilmelerin belirlenmesi, kesme işleminin optimum kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin belirlenmesidir. Tüm bu bahsedilen parametreler deneysel olarak elde edilebilir. Sayısal yöntemler bu açıdan önem kazanmaktadır. Bahsedilen tüm parametreler sayısal yöntemler (sonlu elemanlar yöntemi-SEY) ile yaklaşık olarak modellenmektedir.

Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, metal kesme yönteminin sonlu elemanlar uygulamalarında kullanıldığı ve sürtünme modelleri ile malzeme etkileşimini araştıran çalışmalar görülmektedir. Filice vd.[3] beş farklı sürtünme modeli ve sürtünme katsayılarını SEY ile incelemişlerdir. Bu çalışmada, takım ve iş parçası ile sürtünme modeli arasındaki sıcaklık değişim katsayısının kesme esnasında meydana gelen sıcaklıklara etkileri incelenmiştir. Bil [4] sürtünme modellerini incelemiştir. Üç farklı sonlu elemanlar programı aracılığı ile kesme parametrelerinin kesme

kuvvetlerine etkilerini incelemiştir. Bir diğer, modelleme çalışması ise, Komvopoulos vd. [5] tarafından yapılmıştır. Ortogonal kesme sırasında talaş oluşumunu, talaş akışını, talaş-takım ara yüzeyindeki sürtünme ve takım aşınmasını incelemek için sonlu elemanlar analizini kullanmışlardır. Özel [6], bir çalışmada kesme parametrelerini ve kesici takım ve iş parçası arasındaki sıcaklık değerlerini incelemiştir. Kaplanmış takımlar günümüz metal işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü ince ve sert kaplamalar takım aşınmasını azaltırken, takım ömrünü ve verimliliği de arttırabilmektedir. Bu tür kaplamalar daha düşük takım aşınmaları ve azalan kesme kuvvetleri nedeniyle, işleme ekonomisine ve kesici takım performansına önemli katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, araştırmacılar kaplamalı takımların aşınma performansındaki artışın işleme koşulları ile yakından ilgili olduğunu göstermişlerdir [7].

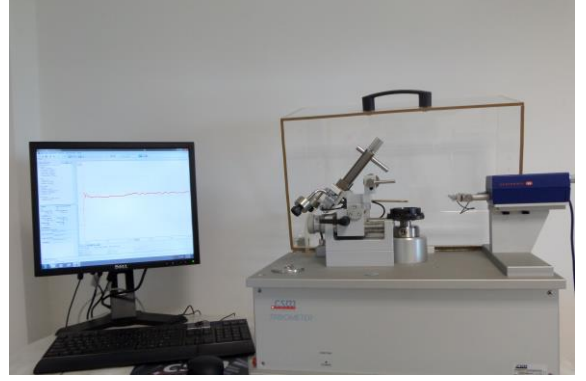
Tribolojik uygulamalar için, yüzey mühendisliğinin kullanılmasında iki amaç vardır. Bunlardan birisi, yüzey malzemesinin aşınma direncini arttırmak, diğeri ise yüzey malzemesinin sürtünme davranışını iyileştirmektir. Osakada vd. [8] yaptıkları çalışmada, kaplanmış takımlar üzerine yaptığı incelemede, sürtünme katsayısının yağlayıcı olmadan takım yüzeyinin pürüzlülüğünden hassas bir şekilde etkilendiğini belirtmiştir. Kesme işleminin teorik olarak modellenmesinde sürtünme katsayısının kullanımı gerekmektedir. Bu katsayıların deneysel olarak ve kesme koşullarının gerektirdiği ortamlar

kullanılarak, örneğin tribometre kullanılarak bulunması gerekmektedir. Tribometre deneylerinde ve diğer simülatif deneylerde, kesme koşullarında kullanılan sıcaklık, hız yağlama tekniği ve yük kullanılmalıdır [9]. Katmanlı kaplama tekniklerinin gelişmesi ile birlikte, kaplamalı karbür kesici takımların geliştirilmiş özellikleri bu takımları, sertleştirilmiş çeliklerin, alaşımli çeliklerin ve demir dışı alaşımların işlenmesini kolaylaştırıcı hale getirmiştir. Karbür kesici takımların aşınma davranışları oldukça karmaşıktır ve seçilen iş parçası malzemesi-kesici takım çiftine göre farklılık göstermektedir. Dolayısıyla takım performanslarını arttırmak için optimum parametrelerin belirlenmesi ve aşınma davranışlarının tanımlanması gerekliliği birçok araştırmacıyı bu konularda çalışmaya sevk etmiştir. Wang ve Ezugwu [10] tarafından yapılan çalışmada PVD yöntemi ile TiN ve TiN/TiCN/TiN kaplanmış karbür kesici takımların Ti6Al4V malzemesinin işlenmesindeki performansı araştırılmıştır. Yan kenar aşınması, talaş oluşumu, takım uç yarıçapında ve talaş yüzeyindeki etkin aşınma mekanizması incelenmiştir. Kesici takımların ve kalıpların aşınma dayanımlarını artırmanın etkili yollarından biri yüzey kaplaması uygulamasıdır. Bu kaplamalardan sanayide en yaygın olarak kullanılanlar titanyum nitrür (TiN) ve titanyum alüminyum nitrür (TiAlN) kaplamalarıdır [11].

Sürtünme katsayısı, genelde “pin on disk” yöntemi kullanılarak bulunmaktadır. Bu çalışmada, bu yöntem kullanılarak Titanyum Nitrür (TiN) kaplamalı ve kaplamsız karbür uçlar ile Titanyum alaşımı (Ti6Al4V) ve AISI 1045 çeliğinin sürtünme ve aşınmaları incelenmiştir.

DENEY DÜZENİ

Ölçümler Şekil 1’de gösterilen CSM Marka Tribometre® cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler “pin on disk” yöntemi ile yapılmıştır. Deneylerde pin veya bilye tipi aşındırıcılar veya aşınan numuneler dönen bir diske karşı bir kuvvet uygulanır. Deney sırasında veya sonrasında sürtünme katsayısı, sürtünme kuvveti, aşınma hızı/oranı, aşınma hacmi, test sıcaklığı ve daha pek çok tribolojik parametre ölçülebilmektedir. Bu yöntem ile alaşımların, seramiklerin, polimerlerin, metallerin, kaplamaların, katı yağlayıcılar vb malzemelerin tribolojik özellikleri karakterize edilebilmektedir. Bu testler kuru, yağlı ve korozif ortamlarda ile farklı atmosferik şartlarda yapılabilmektedir. Test Numuneleri olarak ise, Pin-on-disk yöntemi ile pin veya disk şeklinde numuneler kullanılmaktadır. Bu amaçla bilye hem aşındırıcı hem de numune olarak kullanılabilir.



Şekil 1. Sürtünme ve aşınma test cihazı

Titanyum alaşımı (Ti6Al4V) ve AISI 1045 çeliği olmak üzere iki çeşit numune bulunmaktadır. Kullanılan malzemelere ait malzeme özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Malzeme Mekanik Özellikleri

Malzeme Adı	Poisson Oranı	Elastik Modülüs (GPa)
Titanyum alaşımı (Ti6Al4V)	0,3	110
AISI 1045 Çeliği	0,3	210

Şekil 2’de gösterilen 80mm çapında, 500mm boyundaki çubuklardan Şekil 3’de gösterilen 40-55 mm çapında diskler kesilerek 8 deney için toplam 16 adet numune hazırlanmıştır.



Şekil 2. AISI 1045 çeliği



Şekil 3. Ti6Al4V ve AISI 1045 çeliği örnekleri ile kaplamasız WC-Co ve TiN kaplamalı uçlar

Aynı şekilde kesici uç malzemesi olan karbürden (WC-Co) 16 adet pin SECO tarafından hazırlanmıştır. Hazırlanan karbür (WC-Co) pinlerin 8 tanesi TiN ile SECO tarafından kaplanmıştır. Deneyler oda sıcaklığında ve yağlayıcı kullanılmadan kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, deneyler sırasında temas sıcaklıkları da ölçülmüştür.

Deneylerde, 1.6 N ve 4.5 N olmak üzere iki farklı normal yük ve iki farklı doğrusal hız kullanılmıştır. Bu hızlar, 333.33mm/s ve 1333.3 mm/s' dir. Dönüş çapı 40-55 mm olacak şekilde 56 m boyunca yapılmıştır. Ölçüm parametrelerini içeren arayüz bilgileri Şekil 4'de verilmiştir.

Kullanılan pinlerden birinde oluşan aşınmanın birinde oluşan aşınmanın mikroskop görüntüsü Şekil 5'de verilmiştir

DENEYLER

SÜRTÜNME VE AŞINMA TESTLERİ

Deneyler toplamda 16 adet olmak üzere, karbür WC-Co uçları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu uçların yarısı TiN kaplama ile kaplanmış olarak kullanılmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız deneyler her iki malzeme içinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde diğer parametre ise hız ve yük olmuştur. Yüksek ve düşük yük olmak üzere iki farklı yük kullanılmıştır. Aynı şekilde, yüksek ve düşük hız olmak üzere iki farklı hız kullanılmıştır. Deney parametrelerinin tamamını içeren Tablo 2'de verilmiştir.

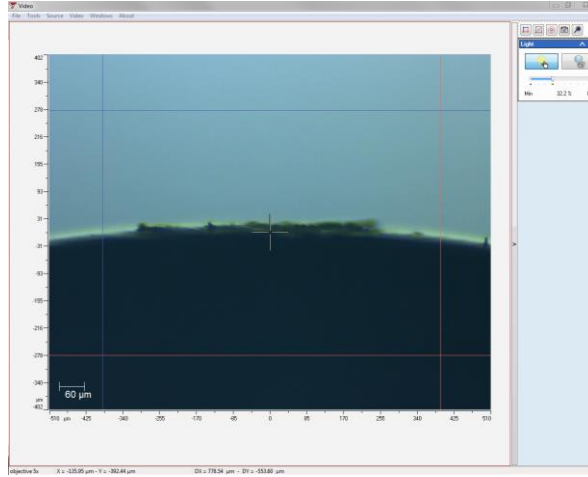
Tablo 2. Deney parametreleri

Malzeme Cinsi	Ti6Al4V	AISI1045
Pin/Uç	TiN+WC-Co	WC-Co
Hız (mm/s)	1333,33	333,33
Yük (N)	4,5	1,6

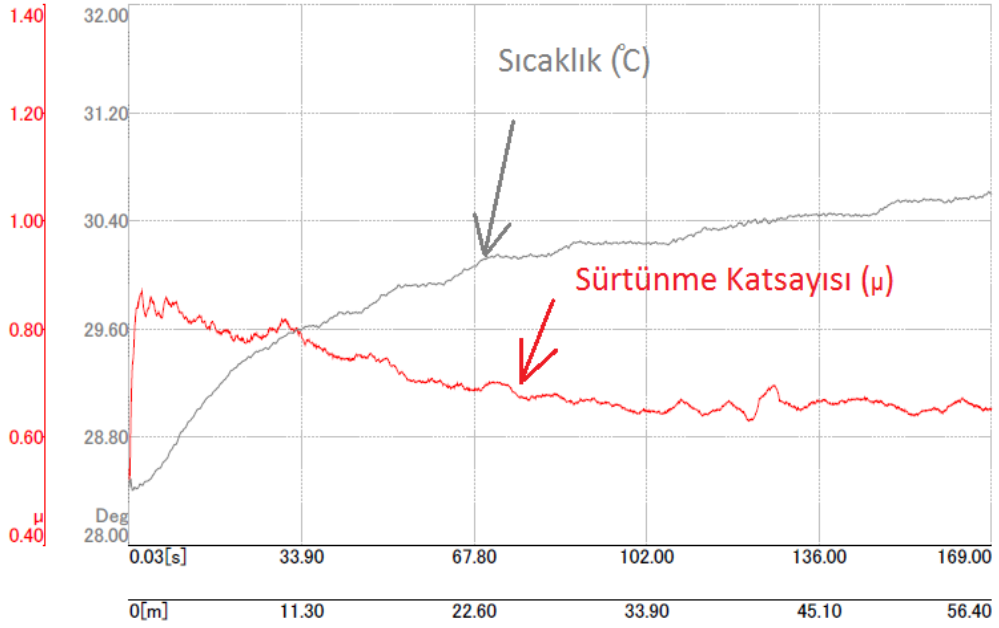
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ti6Al4V ve AISI 1045 çeliği ölçüm sonuçları sırası ile Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Ayrıca, Şekil 6 ve Şekil 7'de Ti6Al4V ve AISI 1045 çeliğin ait sürtünme katsayısı ölçüm sonuç grafiği verilmiştir.

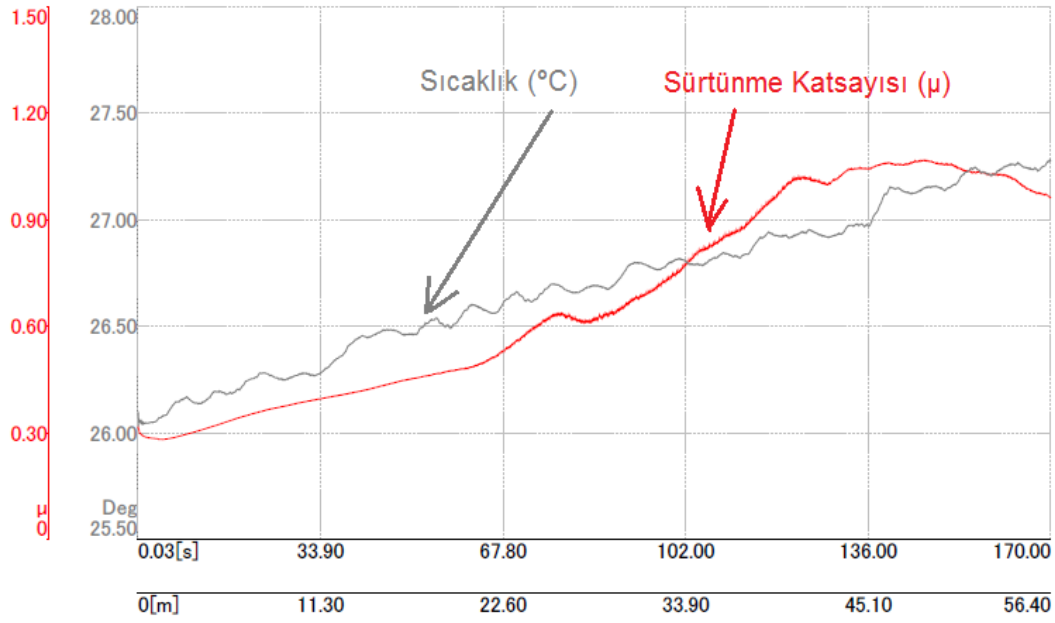
Şekil 4. Tribometre Deney parametreleri



Şekil 5. Pinde oluşan aşınmanın mikroskop görüntüsü



Şekil 6. TiAl6V4 alaşımı 6 numaralı örneğin TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uç ile yapılan tribometre deneyi sonuç grafiği



Şekil 7. AISI 1045 çeliği 4 numaralı örneğin kaplamasız karbür (WC-Co) uç ile yapılan tribometre deneyi sonuç grafiği

Tablo 3. Titanyum alaşımlı (Ti6Al4V) örnekler için ölçüm parametreleri ve sürtünme katsayısı sonuçları

Pin tipi	Numune Tipi ve adı	Yük (N)	Hız (mm/s)	Sürtünme katsayısı ortalama değeri
Kaplamasız Karbür Uç	Ti-1	4.5	333.33	0.62
	Ti-2	1.6	333.33	0.72
	Ti-3	4.5	1333.33	0.67
	Ti-4	1.6	1333.33	0.70
TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uç	Ti-5	4.5	1333.33	0.62
	Ti-6	4.5	333.33	0.71
	Ti-7	1.6	1333.33	0.76
	Ti-8	1.6	333.33	0.84

AISI 1045 Çeliği üzerinde kaplamalı ve kaplamasız karbür (WC-Co) uçlar ile yapılan ölçümlere ait tablo Tablo 4’de verilmiştir.

Aşınma deneyleri sonuçları:

Aşınma, birbirine temas eden yüzeylerden mekanik etkiler sebebiyle mikro parçacıkların ayrılması sonucunda malzemede istenilmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi şeklinde açıklanmıştır.

Temas halindeki yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına neden olmakta, aşınma ise çalışma toleranslarının bozulmasına ve makine parçalarının fonksiyonlarını tam olarak yerine getirmesine engel olmaktadır [9]. Aşınma deneyleri yine aynı şekilde sürtünme katsayısı ölçümü esnasında ölçülmüştür. Yazılımdaki aynı ekrana malzeme bilgileri girilerek elde edilmiştir. Mikroskop ile pinde oluşan aşınma görülebilmektedir.

Tablo 4. AISI 1045 Çeliği örnekler için ölçüm parametreleri ve sürtünme katsayısı sonuçları

Pin tipi	Numune Tipi ve adı	Yük (N)	Hız (mm/s)	Sürtünme katsayısı ortalama değeri
Kaplamasız Karbür (WC-Co) uç	C45-1	4.5	1333.33	0.74
	C45-2	1.6	1333.33	0.67
	C45-3	4.5	333.33	0.88
	C45-4	1.6	333.33	0.68
TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uç	C45-5	4.5	1333.33	0.71
	C45-6	4.5	333.33	0.85
	C45-7	1.6	1333.33	0.72
	C45-8	1.6	333.33	0.86

AISI 1045 Çeliği aşınma deneyleri sonuçları:

Tablo 5. AISI 1045 Çeliği örnekleri ve karbür (WC-Co) uçlardaki aşınma bilgileri

Pin tipi	Numune Tipi ve adı	Pin aşınma oranı (mm ³ /n/m)
Kaplamasız Karbür (WC-Co) uç	C45-1	4,037E-18
	C45-2	2,197E-17
	C45-3	3,727E-15
	C45-4	1,952E-17
TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uç	C45-5	6,076E-19
	C45-6	4,651E-19
	C45-7	1,501E-18
	C45-8	6,956E-18

Titanyum alaşımı (Ti6Al4V) aşınma deneyleri sonuçları:

Tablo 6. Titanyum alaşımı (Ti6Al4V) örnekleri ve karbür (WC-Co) uçlardaki aşınma bilgileri

Pin tipi	Numune Tipi ve adı	Pin aşınma oranı (mm ³ /n/m)
Kaplamasız Karbür (WC-Co) uç	Ti-1	1,827E-18
	Ti-2	7,457E-18
	Ti-3	7,839E-18
	Ti-4	1,792E-17
TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uç	Ti-5	5,192E-18
	Ti-6	1,172E-17
	Ti-7	1,252E-17
	Ti-8	1,251E-17

Tablo 7. TiN kaplamalı uçlar ile yapılan deneylerin aşınma oranları karşılaştırma tablosu

TiN kaplamalı uçlar ile yapılan deneyler	Pin aşınma oranı (mm ³ /n/m)
Ti-5	5,192E-18
Ti-6	1,172E-17
Ti-7	1,252E-17
Ti-8	1,251E-17
C45-5	6,076E-19
C45-6	4,651E-19
C45-7	1,501E-18
C45-8	6,956E-18

Tablo 8. Kaplamsız WC-Co uçlar ile yapılan deneylerin aşınma oranları karşılaştırma tablosu

WC-Co kaplamsız uçlar ile yapılan deneyler	Pin aşınma oranı (mm ³ /n/m)
Ti-1	1,827E-18
Ti-2	7,457E-18
Ti-3	7,839E-18
Ti-4	1,792E-17
C45-1	4,037E-18
C45-2	2,197E-17
C45-3	3,727E-15
C45-4	1,952E-17

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Titanyum alaşımı (Ti6Al4V) örnekler üzerinde elde edilen sonuçlara ilişkin yorumlar aşağıda verilmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'te kaplamalı ve kaplamsız uçlara ait sürtünme katsayısı değerleri ayrı ayrı sunulmuştur. Tablo 5 ve Tablo 6'da ise kullanılan pinlere ait aşınma sonuçları verilmiştir. Ayrıca, Tablo 7 ve Tablo 8'de pinlerdeki aşınma sonuçlarının kaplamalı ve kaplamsız uçlara göre karşılaştırması verilmiştir.

Kaplamsız karbür (WC-Co) pinlerin kullanıldığı sürtünme ölçümleri sonucu:

1. Yüksek yükte, hız arttıkça sürtünme katsayısı 0,05 azalmıştır.
2. Düşük yükte, hız arttıkça sürtünme katsayısı aynı kalmıştır.

TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uçların kullanıldığı sürtünme ölçümlerinin sonucu:

1. Yüksek yükte, hız arttıkça sürtünme katsayısı 0,09 azalmıştır.
2. Düşük yükte, hız arttıkça sürtünme katsayısı 0,08 azalmıştır.

Titanyum (Ti6Al4V) alaşımı üzerinde, TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uçlar ile yapılan ölçümlerde hızın artması ile sürtünme katsayısını azaldığı gözlemlenmiştir. Düşük yük altında yapılan kaplamalı ve kaplamsız pinlerin kullanıldığı deneylerde hızın artışı etken olmuştur.

AISI 1045 çeliği örnekleri üzerinde elde edilen sonuçlara ilişkin yorumlar aşağıda verilmiştir. Kaplamalı ve kaplamsız uçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Kaplamasız karbür (WC-Co) pinlerin kullanıldığı sürtünme ölçümleri sonucu:

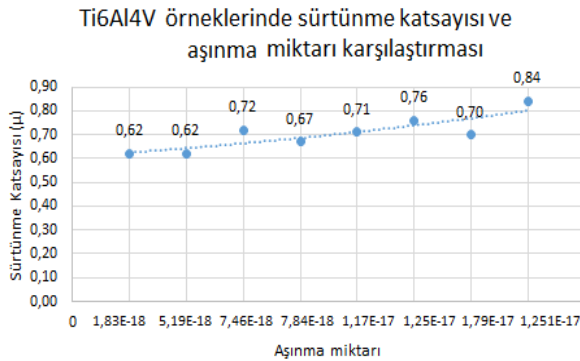
1. Yüksek yükte, hız arttıkça sürtünme katsayısı 0,14 azalmıştır.
2. Düşük yükte, hız arttıkça sürtünme katsayısı aynı kalmıştır.

TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uçların kullanıldığı sürtünme ölçümlerinin sonucu:

Hız arttıkça sürtünme katsayısı 0.14 azalmıştır. Yükün etkisi bulunmamaktadır.

AISI 1045 çeliği üzerinde, TiN kaplamalı karbür (WC-Co) uçlar ile yapılan ölçümlerde hızın etkisi belirleyici olmuştur. Hız arttıkça sürtünme katsayısı değeri genel anlamda azalmaktadır.

Aşınma deneyleri sonucunda, TiN kaplamalı WC-Co uçların kullanıldığı sonuçlar karşılaştırıldığında Ti-7 örneğinde kullanılan pin en çok aşınmıştır.

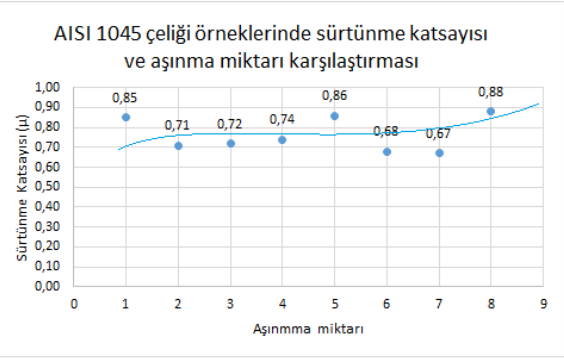


Şekil 8. Ti6Al4V örneklerinde sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı karşılaştırması

Aynı şekilde, kaplamasız WC-Co uçlardaki aşınma sonuçları karşılaştırıldığında C45-3 örneğinin kullanıldığı pin en çok aşınmıştır.

AISI 1045 çeliği örneklerinde TiN kaplı uçlarda C45-8 en çok aşınan olmuştur. Kaplamsız uçla yapılan deneylerde C45-3 en çok aşınmıştır. İncelemeler sonucunda, AISI 1045 çeliği örneklerinde kullanılan düşük hızda yapılan deneylerde aşınma daha fazla olmuştur. Ayrıca,

sürtünme katsayıları incelendiğinde her iki örneğinde sürtünme katsayısı aynıdır.



Şekil 9. AISI 1045 çeliği örneklerinde sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı karşılaştırması

Ti6Al4V örneklerinde Ti-4 kaplamasız uçlarda, Ti-7 örneği de kaplamalı uçlarda en çok aşınan olmuştur.

İncelemeler sonucunda, Ti6Al4V örneğinde kullanılan pinlerde yüksek hızda yapılan deneylerde aşınma daha fazla olmuştur. Ayrıca, sürtünme katsayıları incelendiğinde her iki örneğin de sürtünme katsayısı aynıdır.

Her iki malzeme için sürtünme katsayısı ve aşınma karşılaştırması Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sürtünme katsayısı arttıkça aşınma artmaktadır. Bu artış hızı çelikte daha düşüktür.

INVESTIGATION OF FRICTION AND WEAR PERFORMANCE BETWEEN COATED (TiN) AND UNCOATED TUNGSTEN CARBIDE PINS FOR TITANIUM ALLOY (Ti6Al4V) AND AISI 1045 STEEL

In this research, dry friction tests at two different speeds, two different loads, for Coated (TiN) and uncoated Tungsten Carbide Pins and Titanium Alloy (Ti6Al4V) and AISI 1045 Steel are conducted using a tribometer at room temperature. Curves showing coefficient of friction as a function of time are obtained. Minimum, maximum and average friction coefficients are calculated. Wear rates on Tungsten Carbide Pins and Titanium Alloy (Ti6Al4V) and AISI 1045 Steel Discs are measured. Variation of friction coefficients as a function of materials, TiN Coating, speed, and load are obtained. This data can be useful in the modelling of the cutting operation by Finite Element Method (FEM).

Keywords: Coefficient of Friction, Wear, Tribology

TEŞEKKÜR

Yazarlar, ATILIM Üniversitesi, Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi'ne ve

BOREN Bor Kaplamaları Yetkinlik Merkezi'ne deneylerin yapılması için sağlanan olanaklar ve destekleri için teşekkür ederler. Karlsruhe Üniversitesine ve SECO firmasına da gösterdikleri işbirliği ve sağladıkları deney malzemesi için teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. Grzesik W. “Advanced machining processes of metallic materials” Elsevier 2008.
2. Tekait, İ., & Demir, H. (2015). A1S1 H13 ve A1S1 D2 Çeliklerinin Delinmesi Esnasında Kesme Bölgesinde Oluşan Sıcaklığa Kesici Takım Kaplamasının ve İşleme Parametrelerinin Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2).
3. Filice L, Micari F. , Rizutti S. , Umbrello D. “A critical analysis on the friction modelling in orthogonal machining” International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 709-714.
4. Bil H. “Simulation of orthogonal metal cutting by finite element analysis” Yüksek lisans tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Ankara 2003.
5. Komvopoulos K. ve Erpenbeck S.A., “Finite Element Modeling of Orthogonal Metal Cutting” 1991 J. Eng. Ind113(3): 253-267,doi:10.1115/1.2899695
6. Özel T. “The influence of friction models on finite element simulations of machining” International Journal of Tools & Manufacture 46 (2006) 518-530.
7. H. Czichos, “Tribology-A System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear”, Elsevier, Amsterdam, 1987.
8. Osakada K. Ve Matsumoto R. , fundametnal Study of Dry Metal Forming with Coated Tools, 2000,Annals of CIRP Vol. 49/1/2000.
9. Rech J., Arrazola P.J., Claudin C., Courbon C., Pusavec F., Kopac J., Characterisation of friction and heat partition coefficients at the tool-work material interface in cutting, 2003, CIRP Annals-Manufacturing Technology 62 ,79–82.
10. Wang, Z. M., Ezugwu, E. O. Performance of PVD-Coated Carbide Tools when Machining Ti6Al-4V. Tribology Transaction, 1997, 40 (1), 81-86
11. Bunshah, R. F., Handbook of Hard Coatings: Deposition Technolgies, Properties and Applications, 2002, 1st edition, William Andrew, Park Ridge, New York

Berk Barış Çelik 
TOBB ETÜ
Makine Mühendisliği Bölümü
Ankara

Batıhan Şener 
TOBB ETÜ
Makine Mühendisliği Bölümü
Ankara

Gökberk Serin 
TOBB ETÜ
Makine Mühendisliği Bölümü
Ankara

Hakkı Özgür Ünver* 
TOBB ETÜ
Makine Mühendisliği Bölümü
Ankara

Makale Bilgisi:

Araştırma Makalesi

Gönderilme: 16-01-2020

Kabul: 13-02-2020

*Sorumlu Yazar: Hakkı Özgür Ünver

Email: hounver@etu.edu.tr

Ergiyik Filament Fabrikasyonu, 3B Yazıcılar İçin Kompozit Filament Ekstrüder Makinesi Geliştirilmesi

Bu çalışmanın temel içeriğini, ergiyik filament fabrikasyonu yönteminde malzemelerin filament geometrik yapısında olması önkoşulunu sağlamak için çeşitli kompozit malzemeler üzerine çalışmaya yönelik bir filament ekstrüzyon sisteminin geliştirilmesidir. Bu sistemin başarıyla tasarımı ve imalatından sonra, sistem ile fonksiyonel kompozit test numunelerinin hazırlanmış, çekme testleri yapılmış ve numunelerin endüstriyel isterleri karşılayıp karşılamadığı, kıyaslanarak incelenmiştir.

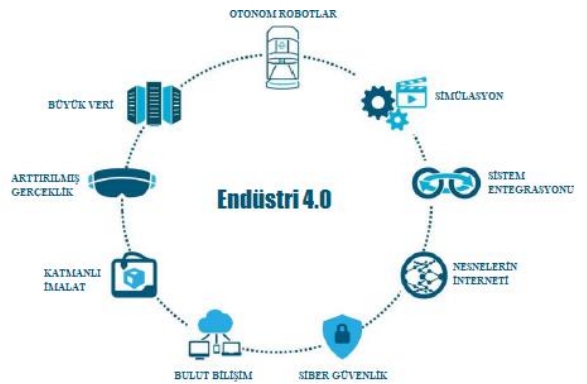
Anahtar Kelimeler: Ekstrüzyon, Polimer-matris kompozit, Karbon fiber, Mekanik özellikler, Eklemeli imalat, PLA.

GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, birçok farklı alanla beraber imalat alanına da yenilikler getirmiştir. Bu yenilikler, önceleri üretimi mümkün olmayan gözyle bakılan bazı konseptlerin üretimini mümkün kılmıştır. Bu yeniliklerin bir kolu eklemeli imalat teknikleri olarak tanımlanabilir. Eklemeli imalat teknikleri ile ilgili kavramlar hem akademik hem de endüstriyel dünyada oldukça popülerdir, bu nedenle ürünlerin fiziksel özelliklerini artırmak, üretim zamanlarını kısaltmak ve eklemeli imalatla ilgili kullanım alanını genişletmek amacıyla birçok çalışma devam etmektedir. Nispeten yeni olan bu üretim uygulamaları, mühendislik uygulamalarında da genişlemekte ve yerini sağlamlaştırmaktadır. Hem son kullanıcıların hem de endüstriyel üreticilerin tercihleri ile 3B yazıcıların kullanımında çarpıcı bir büyüme olduğu görülmektedir.

Endüstri 4.0 uygulama alanları gereksinimleri eklemeli imalat yöntemlerine ihtiyaç yaratmaktadır. Eklemeli imalat, ardışık malzeme katmanlarını üst üste sererek üç boyutlu bir nesnenin yaratıldığı bir tür eklemeli üretim teknolojisi biçimidir [1]. 3B baskı

pazarı göz ardı edilemeyecek bir büyüme potansiyeli taşımaktadır. Endüstri 4.0, yüksek teknoloji ürünlerini üretmek için fazladan araç ve zaman harcamamak adına eklemeli imalat teknolojilerine ihtiyaç duymaktadır. Eklemeli imalatın endüstri 4.0'ın diğer bileşenleri arasındaki yeri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Endüstri 4.0 şematik gösterimi [2].

Endüstrinin geleceği, eklemeli imalatı önemli bir konuma getirirse de, zorlukları da beraberinde getirmektedir. Endüstriyel kullanımda çoğunlukla metal esaslı yöntemler kullanılmakta ve incelenmektedir, çünkü endüstriyel gereksinimler ancak bu malzemelerle karşılanabilmektedir. Polimer bazlı ürünler ise hızlı prototipleme ile sınırlı kullanım alanına sahiptir.

Birçok malzemeye göre dayanımları daha yüksek olan metaller bile bazı alanlarda endüstrinin çeşitli ihtiyaçlarına cevap veremeyebilir. Bu koşullar farklı araştırma konuları yaratmıştır. Eklemeli imalat tekniklerinin tarih boyunca süregelen malzeme kullanımı Şekil 2'de görülmektedir.

Görüldüğü üzere, 2000'li yıllarda kompozit malzemeler test edilip eklemeli imalat yöntemlerinde kullanılmaya başlamıştır. Kompozit yapı malzemeler, maddelerinin en iyi özelliklerinin sağladığı davranışı gösterme avantajına sahiptir. Konvansiyonel üretim yöntemlerinden ziyade eklemeli imalat ile kullanımda zorluklar olsa da, kompozit malzemeler umut vericidir. Ergiyik filament fabrikasyonu, polimer malzemeler ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin çalışma prensibi lülenin ergiyik malzemeyi (filament halinde) yüzeye itmesi ve katmanlı bir yapı oluşturması esasına dayanmaktadır. Filamentler, tüp geometrisinde üretilen malzemelerdir. 3B yazıcı mekanizmalarında çalışması için bu şekilde üretilmeleri gerekmektedir.

Lüleye sabit malzeme akışı filament formunda gerçekleşir ve ürün analitik olarak, baskı uzayındaki noktalardan oluşur. Şekil 3'te ergiyik filament fabrikasyonu 3B yazıcı şematik olarak gösterilmiştir.

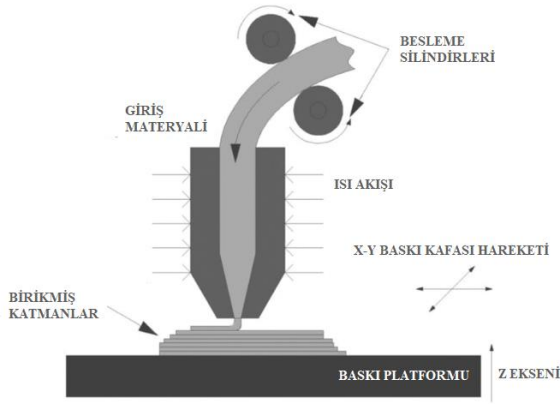
Filamentin özellikleri, ortaya çıkan ürünü doğrudan etkiler. Ergiyik filament fabrikasyonu sistemlerinin mekanizmaları birçok yönden ortaktır ve filament kalitesini ve içeriğini kontrol ederek imalat özelliklerini kontrol etmek mümkündür. Bu, bir filamentin kompozit karakteristiğinin, 3B baskı ürününü bir kompozit ürün haline getireceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle bu çalışmada filament üretim sürecine odaklanılmıştır.

Üretilen plastik filament ekstrüder, PVC hariç tüm termoplastik malzemelerden filament yapmak için kullanılmaktadır. Üretilen filament hızlı prototipleme ve 3B baskı makinelerinde kullanılabilir [5]. Filament bir matrikse dağılmış olan fiber veya partikül takviyesinden oluşmaktadır [6]. Termoplastik matris kompozitler daha fazla tokluk ve geri dönüştürülebilirlik sağlamaktadır [7].

Polimer matriks içerisine farklı yüzdelerde karbon fiber karıştırılacağı için uzun denemeler yapmak gereklidir. Bu nedenle, filament üretim sürecine odaklanmak için sürdürülebilir bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda, öncelikle piyasadaki ekstrüzyon sistemleri incelenmiştir, ardından matriks olarak kullanılacak en uygun polimer malzemeyi seçmek için çeşitli polimer malzemeler belirli isterler doğrultusunda incelenmiştir.



Şekil 2. Eklemeli imalatta kullanılan malzemelerin tarihsel ilerlemesi [3].



Şekil 3. Ergiyik filament fabrikasyonu 3B yazıcı şematik gösterimi [4].

EKSTRÜDER SİSTEMLERİ

Bu çalışmada ekstrüder sistemleri, endüstriyel sistemler ve kompakt sistemler olmak üzere iki farklı kategoride bulunmaktadır. Endüstriyel ölçekli sistemler daha iyi ve daha sürdürülebilir bir üretim kalitesi sağlarken kompakt çözümler bu çalışma için daha uygundur, çünkü bileşenlerin daha küçük ölçeklerde üretilmesi ve kontrol edilmesi daha kolaydır. Bu nedenle bu çalışmada kompakt tasarımlar incelenmiştir.

Ticari örnekler üzerinden bir araştırma yapılmıştır. Bunun nedeni ise ticari örnekler kendilerini bir kereden fazla kanıtlamış ve çok sayıda kullanıcı bu sistemleri test etmiş olmalarıdır. Böylece ürünlerin genel sonuçları daha iyi gözlemlenebilecektir. Ayrıca son kullanıcıların bu ürünler hakkındaki düşüncelerine ve yorumlarına ulaşmak daha kolay olacaktır.

Yapılan araştırma sonucunda çalışma konusuna uygun olacak iki sistemin detaylı incelemesi yapılmıştır. Birinci sistem, küçük ölçekli endüstriyel filament ekstrüzyon sistemi mantığı ile oluşturulmuş bir sistemdir. İkinci sistem ise daha kompakt bir tasarıma sahiptir ve filament üretmek için plastik atıkları kullanan bir sistemdir. İncelenen sistemlerden ilki Noztek isimli firmanın Xcalibur isimli modelidir. Bu sistem Şekil 4'te gösterilmiştir.

Farklı polimer türleriyle filament üretimine olanak tanıyan Xcalibur, farklı malzemelerin birleştirilmesini desteklemektedir. Soğutma sistemi olarak, su ile soğutma kullanmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen bir diğer sistem ise 3devo isimli firmanın Composer 450 isimli modelidir. Bu sistem Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Xcalibur, ekstrüder sistemi [8].



Şekil 5. Composer 450, ekstrüder sistemi [9].

Sistem kompakt boyutlarına rağmen kabul edilebilir kalitede çıktı verebilmektedir. Soğutma sistemi olarak hava ile soğutma sağlayan bir fan kullanmaktadır. Bu sistem endüstriyel üretim için uygun değildir. Bu ürün ayrıca filament üretmek için farklı polimer türlerinin birleştirilmesine de olanak sağlar, ancak polimerler dışındaki materyallerin eklenmesini mümkün kılmamaktadır.

Yapılan araştırmalar ışığında, uzun deneme sürelerine dayanacak sürdürülebilirlikte olan aynı zamanda da kompakt tasarıma sahip bir sistem inşasına karar verilmiştir.

POLİMER MATRİKS SEÇENEKLERİ

Bu çalışma materyal kompozisyon özelliklerinin incelenmesini ve geliştirilmesini de içerdiğinden, ergiyik filament fabrikasyonunda kullanılmakta olan filament üretimi adına piyasa ve akademik dünyanın neler sunduğunu incelemek gerekir.

Piyasada çeşitli kompozit 3B baskı filamentleri vardır. Bakır, pirinç, bronz vb. metal katkılı örnekler bulmak mümkündür. Elektriksel ve termal iletkenlik ya da görünüm, gelişmiş mekanik

özellikler gibi fiziksel karakter için farklı malzeme bileşimleri kullanılmaktadır. Sebeplerinin ötesinde, bu filamentlerin tümü ergiyik filament fabrikasyonu için üretilmektedir, bu nedenle matris yapıları termoplastiklerdir. Ergiyik filament fabrikasyonunda yaygın olarak kullanılan termoplastikler, özellikleri ile birlikte Şekil 6'da gösterilmiştir.

Ergiyik filament fabrikasyonunda (FFF) kullanılan ana malzemelerdeki mevcut durum, Şekil 6'da verildiği gibidir. Metal takviyeli seçeneklerin dışında kompozit fiber (elyaf) takviyeli malzemeler de kullanılmaktadır ve bunlar geleneksel kompozit malzemeler ile benzer özelliklere sahiptir. Karbon fiber takviyeli filamentler, zaman geçtikçe daha fazla kabul görmeye başlamıştır. Bunların yanı sıra polikarbonat ve akrilonitril butadien stiren (PC-ABS) bileşimi gibi farklı termoplastik bileşimleri de bulunmaktadır. Fakat bu çalışmanın ana odağı kompozit iplik takviyeli polimerlerdir. Karbon fiber takviyeli filamentler birçok seçeneğe sahiptir. Bu seçenekler; farklı matrisler, karbon fiber oranları ve karbon partikül büyüklükleridir. Ortak olarak, tüm karbon fiber takviyeli filamentler hafiflik, boyutsal kararlılık, sertlikte ve dayanımda artış gibi avantajlara sahiptir. Tüm karbon fiber takviyeli filamentlerin 3B yazıcı lüleleri ve filament ekstrüzyon sistemleri üzerinde aşındırıcı etkisi bulunması, ayrıca karışım yapısının filamentler üzerinde kırılma eğilimine neden olması ise dezavantajlarıdır.

Yapılan araştırmalar sonucunda, baskı kalitesi, baskı kolaylığı, kolay yapışma gibi özelliklere sahip olduğu görülen polilaktik asit (PLA) polimerinin matris polimer olarak kullanılmasına karar verilmiştir.

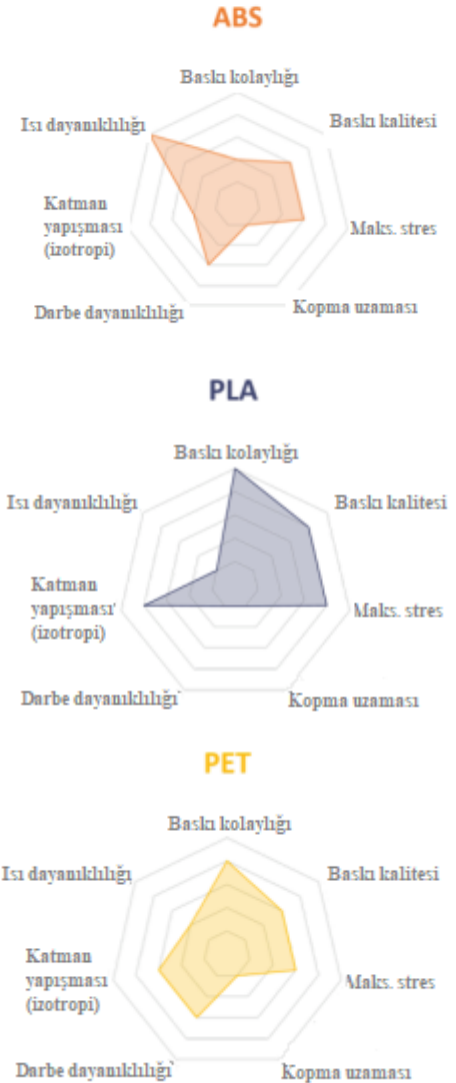
Genel Konsept

Daha önce de belirtildiği gibi, filamentler standardize edilmiş malzeme formlarıdır ve bu durum prosedürü de standart hale getirir. Böylece tüm filament ekstrüzyon sistemleri benzer bir yol izler. Geliştirilecek sistemin ana bileşenleri Şekil 7'de gösterilmektedir.

Sistemin çalışması birkaç temel işlem içermektedir. Bu işlemler ve ilgili sistem bileşenleri sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- DC motor sürüşü ve ekstrüzyon vidasını döndürülmesi (DC Motor, redüktör, ekstrüzyon vidası)
- Ekstrüzyon kovanın ısıtılması (Kovan, kelepçe rezistans)

- Kovan içindeki malzeme akışına katı madde eklenmesi (giriş haznesi, hammadde)
- Malzemenin eritilmesi ve şekillendirilmesi (lüle)
- Filamentin soğutulması (fan ya da su ile soğutma)
- Filament geometrisinin ayarlanması (tolerans çektirmesi)
- Filamentin sarılması (filament sarıcı sistem)
- Numunelerin üretilmesi (3B yazıcının entegrasyonu)
- Numune testleri (test ekipmanı)



Şekil 6. 3B baskıda kullanılan termoplastiklerin örnekler ağı grafikleri [10].

TASARIM

Tasarım kriteri

Proje sistemi için tasarım kriterleri üç ana başlıkta incelenebilir; maliyet verimliliği, güvenilirlik ve işlevsellik.

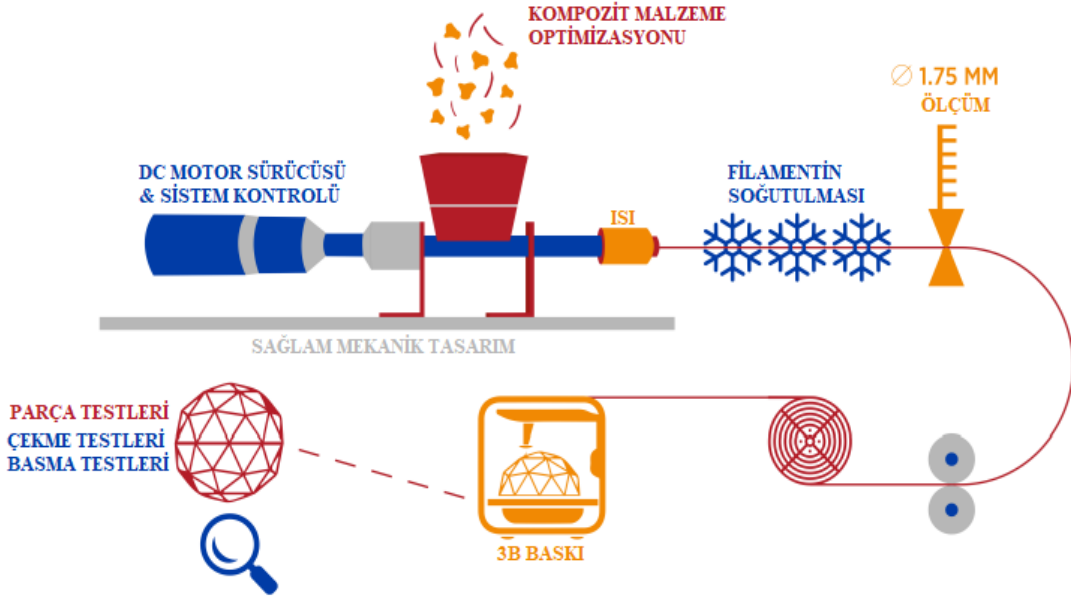
Maliyet verimliliği, çalışmanın uygulanabilirliği için çok önemlidir. Bu projenin temel amaçlarından biri, sınırlı kaynaklar ile inşa edilmiş bir ürün oluşturmaktır. Bu amaç, maliyet verimliliğini proje için en önemli kriterlerden biri haline getirmektedir. Satışa hazır bir cihaz yerine testler süresince ihtiyaçları karşılayacak bir sistem hedeflenmektedir. Filament veya malzeme karışımları üretmek için kullanılan endüstriyel sistemler oldukça pahalı ekipmanlar içermektedir. Tüm tasarım seçenekleri kısıtlı bir bütçe çerçevesinde yapılmıştır.

Güvenilirlik, tasarım tercihlerindeki beklentiler ile ilgili kriterlerdir. Farklı bileşenler, güvenilirlikle ilgili farklı çözümler gerektirebilir: Örneğin söz konusu seçenek belirli sıcaklık değerleri altında çalışabilir, ancak güvenilirlik kriterleri için ana konu aynı zamanda ne kadar verimli olduğudur. Bir bileşenden beklenen sonuç, çeşitli tasarım çözümleri için farklı olabilir.

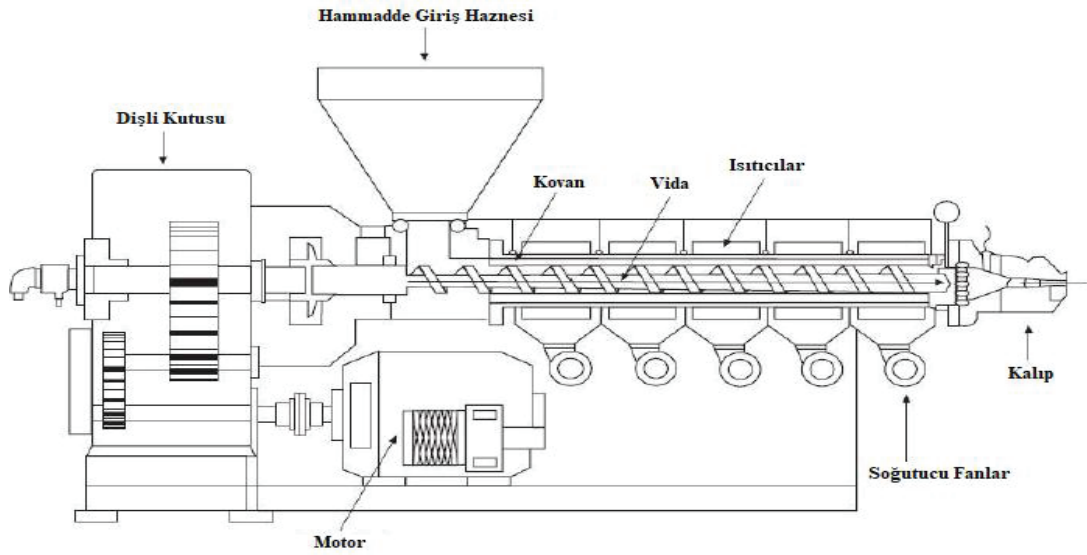
İşlevsellik ve modülerlik temel kriterlerdir. Bir tasarım kararında işlevsellik kriterleri, bileşenin ana işlevini nasıl yerine getirdiği ile doğrudan ilgilidir. İşlevsellik ve güvenilirlik arasındaki temel fark; işlevsellik bileşenin ana işlevine odaklanırken, güvenilirliğin ana işlevin sürdürülebilirliğine odaklanmasıdır.

Başlıca Tasarım Seçenekleri

Ekstrüzyon sisteminin majör tasarım başlıkları eritme bölümü, sıkıştırma bölümü, ısıtma sistemi ve filament soğutma sistemidir. Sistemin ısıtılması, eritme prosedürünü gerçekleştirmeyi amaçlar. Erime malzemenin şekillendirilmesi için akışkan hale getirilmesi gereklidir. Ekstrüzyon bölümünden çıkan filament istenilen sıcaklıkta olmalıdır, bu nedenle hammaddeye ısı işlem uygulanması gerekmektedir. Bahsedilen işleme ilişkin tasarım kararları şunlardır: ekstrüzyon kovani, ekstrüzyon vidası, kelepçe rezistans(lar) ve soğutma sistemi. Ürün Mimarisi bölümünde tüm bu sistem bileşenlerini ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Şekil 8'de standart bir ekstrüzyon sistemi kesiti çizimi gösterilmiştir.



Şekil 7. Konsept tasarım.

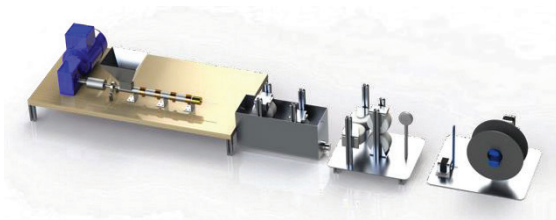


Şekil 8. Standart ekstrüzyon sistemi kesit görüntüsü [11].

ÜRÜN MİMARISI

Konsept Alternatifleri

Yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda ortaya çıkan konsept tasarım Şekil 9'da gösterilmiştir:

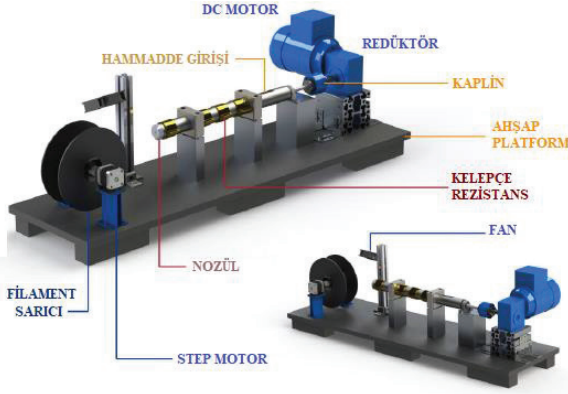


Şekil 9. Filament ekstrüzyon sistemi, soğutma sistemi ve sarma sistemi konsept tasarımları.

Konsept tasarım için tercih edilen bileşenlerin kolay ulaşılabilir standart parçalar olmasına özen gösterilmiştir, bu nedenle tasarım modüler bir formda olmuştur. Bu tasarımda; uygun fiyatlı ve kolay tedarik edilebilecek malzeme kullanımına ve esnek bir tasarım olmasına dikkat edilmiştir. Esnek bir tasarım yapılması ile tasarımın ihtiyaçlar doğrultusunda değiştirilebilmesini mümkün kılmak amaçlanmıştır. Çalışma prensipleri mevcut filament ekstrüzyon sistemleriyle benzerdir. Modülerlik ve maliyet verimliliği göz önünde bulundurularak hazırlanan konsept tasarım üzerinde yapılan çalışmalar ve denemeler sonucunda nihai tasarıma ulaşılmıştır. Aşağıdaki bölümde, nihai tasarımdan ve görsellerinden bahsedilecektir.

Nihai Konsept Tasarım

Konsept tasarım üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan sistemin genel yapısı Şekil 10'da görülmektedir:

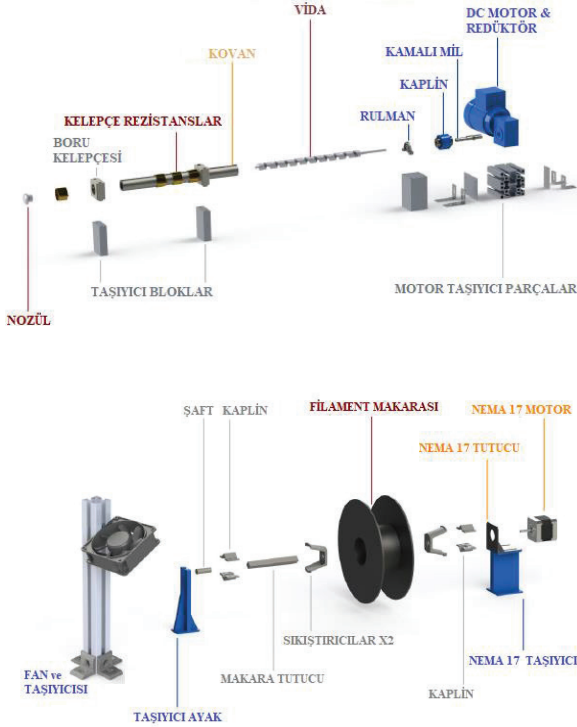


Şekil 10. Ekstrüder ve filament sarma sistemi.

Sistem 3 ana alt sistemde incelenebilir:

- Ekstrüzyon bölümü
- Soğutma bölümü
- Sarma bölümü

Bu 3 ana alt sistemin ayrılmış görüntüleri Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Nihai tasarım ayrılmış görüntüleri.

Sistem çok sayıda iterasyon sonunda son haline ulaşmıştır.

ANALİZLER

Hesaplamalı Akışkan Analizi

Proje sistemi hakkında daha iyi bir bakış açısına sahip olmak için bir dizi analiz yapılmıştır. Bu analizler ANSYS 19.2 Fluent programı kullanılarak yapılmıştır.

Ekstrüzyon sistemi, bir kontrol cihazına bağlı dört adet kelepçe rezistansa sahiptir, bu nedenle analiz durumunu eşit dağılmış bir durum haline getirdiği varsayılabilir. Analizde Enerji ve Katılaşma & Erime Modelleri kullanılmıştır. Tablo 1 ve 2’de verilen PLA ve sistem için bu özellikler verilmiştir.

Tablo 1: PLA malzeme özellikleri [12].

Vizkozite	0.3 kg/m.s
Katılaşma Sıcaklığı	58.5 °C
Sıvılaşma Sıcaklığı	155 °C
Saf Çözücü Erime Özısı	2060 J/kg.K

Tablo 2: Sistem özellikleri

PLA Giriş Akış Oranı	1.004e-5 kg/s
Ortam Basıncı	101.325 kPa
Giriş Sıcaklığı	93 °C
Kovan Yüzey Sıcaklığı	160 °C
Lüle Sıcaklığı	130 °C

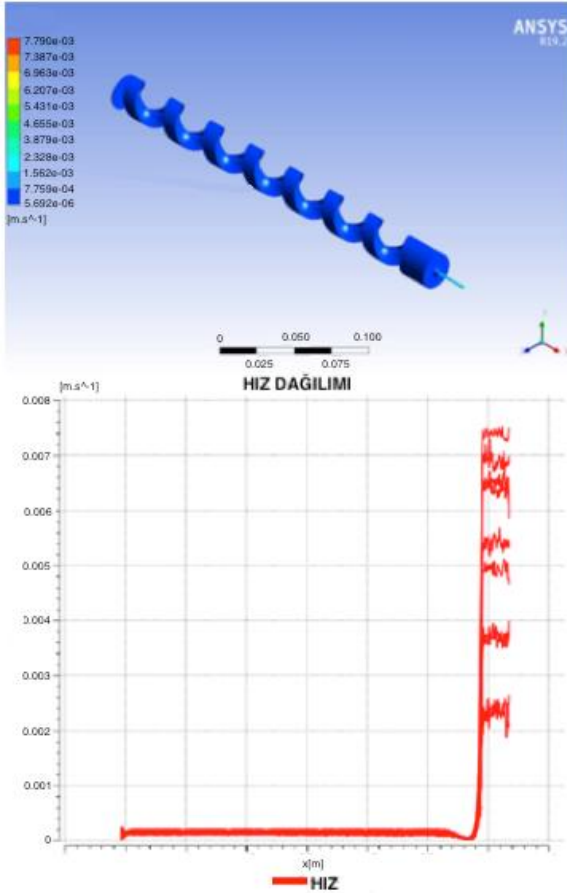
Şekil 12’de PLA polimerinin ANSYS 19.2 Fluent programı kullanılarak yapılan analizler doğrultusunda ortaya çıkan hız dağılımı görülmektedir. Şekil 13’te ise yine aynı akışkan analiz programı kullanılarak yapılan analizler doğrultusunda elde edilmiş basınç dağılımı görülmektedir.

ÜRETİM VE MONTAJ

Sistem Bileşenleri İmalatı

Teknik çizimlere göre, öncelikle matkap ucu temin edilmiştir. Matkap ucu alındıktan sonra çelik boru ölçülere göre kesilmiştir. Taşıyıcı destekler sistemin hafifliği için alüminyumdan üretilmiştir. Çelikten, farklı kalınlık denemeleri yapmak için farklı çaplarda lüleler üretilmiştir. Boruyu desteklere sabitlemek için iki adet hidrolik boru tutucu, DC motordan matkap ucuna tork vermek için kamalı mil, kamalı mil ve matkap ucu arasında bağlantı kurmak için bir adet kaplin, soğutmayı sağlayacak bir adet

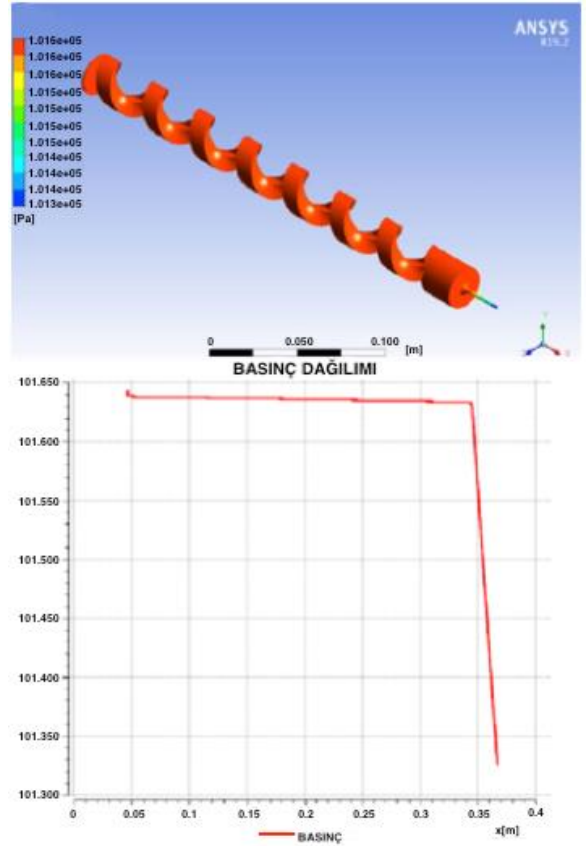
fan ve boruyu ısıtmak için dört adet kelepçe rezistans temin edilmiştir. Kelepçe rezistanslarının sayısının dört adet olarak belirlenmesinin sebebi ise, ısının çelik boruya eşit olarak dağıtılacak olmasıdır. Bir adet rulman, Nema 17 step motor tutucu ve Nema 17 step motor temin edilmiştir. İki parçalı step motor tutucu, küçük boyutlu bir mil ve bir kaplin 3B baskı ile üretilmiştir. Sistemin üzerinde durduğu platform ise ahşaptan üretilmiştir.



Şekil 12. PLA hız dağılımı.

Sistem Montajı

İlk olarak, hidrolik boru tutucular ve DC motor desteklere vidalanmıştır. Daha sonra, hidrolik boru tutucularına çelik boru oturtulmuştur ve DC motor sigma profiller ile istenilen yüksekliğe yerleştirilmiştir. Bir sonraki adımda, kamalı mil ve matkap ucu kapline bağlanmıştır. Kamalı milin diğer ucu DC motora bağlanmıştır ve matkap ucu çelik borunun içine yerleştirilmiştir. Ekstrüzyon sisteminin montaj kısmının son adımında ise, kelepçe dirençler çelik boruya bağlanmıştır.



Şekil 13. PLA basınç dağılımı.

Montajın ikinci kısmı, filament sarma bölümüdür. İlk olarak Nema 17 step motor tutucusu 3B basılmış tutucuya vidalanmıştır. Ardından, Nema 17 step motor, motor tutucusuna ve vidalanan parçalar taban platformuna vidalanmıştır. Daha sonra, makara 3B basılmış şafta ve mil, 3B basılmış kaplin ile Nema 17 step motoruna bağlanmıştır. Şaftın diğer tarafı diğer 3B baskılı tutucu kısmına yerleştirilmiştir. Soğutma fanı ve fan tutucu sigma profil birbirine yapılandırılmıştır.

Montaj aşamasının son adımı, mekanik parçaların sistemin elektronik parçalarıyla bağlanması ile sona ermiştir.

Tasarım revizyonları

Elektronik devre elemanlarının tasarımında, ısıtıcıları kontrol etmek için bir Arduino ve kullanıma hazır PID kontrolcüler arasında seçim yapılmıştır. Kolay programlanabilirlik ve düşük maliyetler sebepleri nedeniyle Arduino kullanımına karar verilmiştir [13]. Soğutma işlemi ilk aşamada durgun su içerisinden geçirilerek sağlanmıştır fakat su soğutma sistemi, su ve filament arasındaki aşırı temas nedeniyle başarısız olmuştur. Soğutma sistemi, suyu düşük akış hızıyla lüle çıkışındaki filament

üzerine pompalamak için bir pompa sistemi olarak değiştirilmiştir, ancak filament çapı düzensizlikleri gözlemlenmiştir. Son olarak, su soğutma sistemi yerine fan soğutma sistemine geçilmiştir. Fan soğutma sistemi ile filament çapında istenilen başarı sağlanmıştır. Son olarak yapılan bu revizyon Şekil 14'de gösterilmiştir.

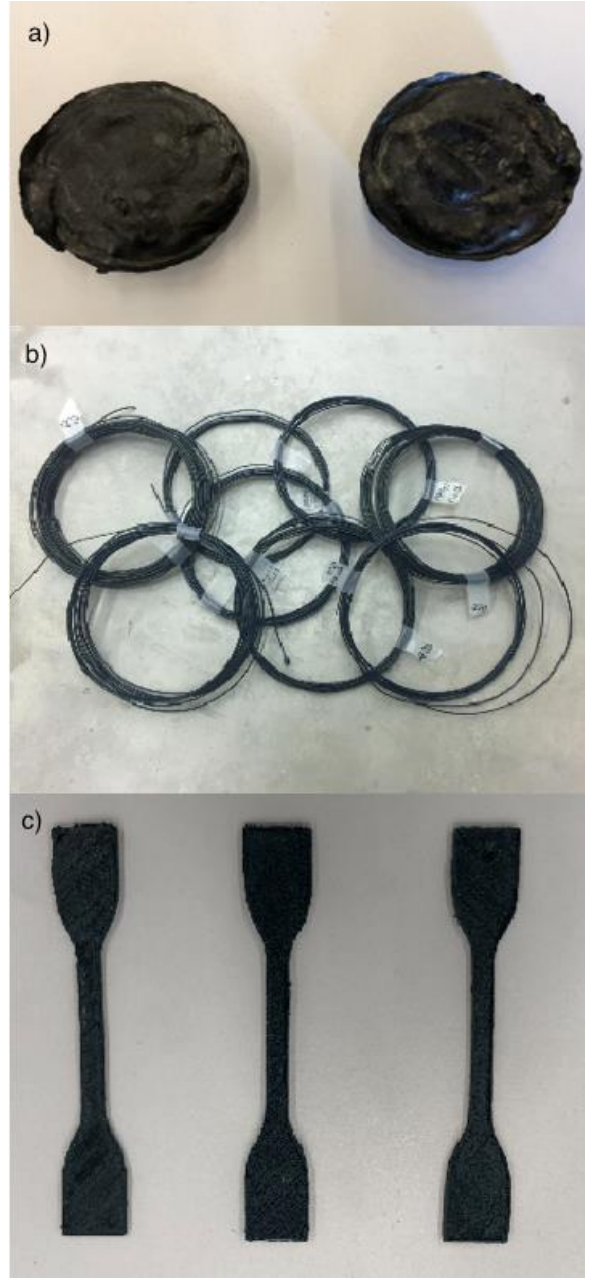


Şekil 14. Ana tasarım revizyonu.

TEST NUMUNESİ İMALAT SÜRECİ

Karbon fiberler yüksek çekme dayanımına ve yüksek mekanik mukavemete sahiptir. Yapılan literatür taraması sonucunda; karbon fiber takviyeli PLA'nın çekme dayanımı, süneklik gibi mekanik özelliklerini geliştirmek hedeflenmiştir. İşlem PLA'nın karbon fiber tozu ile karıştırılmasıyla başlamıştır. İlk olarak, PLA granülleri bir fırında seramik kaselerde eritilmiştir. Granüller polimer işleme endüstrisinde kullanılan yaygın bir hammaddedir [14]. Daha sonra, seramik kaselere farklı miktarlarda karbon elyaf tozu eklenmiştir ve ısıya dayanıklı bir çubukla karıştırıldıktan sonra tekrar fırına koyulmuştur. Bir saat ısıtılma sonunda fırın kapatılmıştır ve sünekliği arttırmak için karışımlar yavaşça soğumaya bırakılmıştır. Üç saat süren yavaş soğutmanın ardından, karışımlar fırından çıkarılmıştır. Kaseler kırılarak soğutulmuş karışımlar kaselerden ayrılmıştır. Bu karışımlar Şekil 15a'da görülmektedir.

Karışımlar, ekstrüder giriş açıklığı boyutlarına ulaşana kadar bir çekiç yardımıyla küçük parçalara ayrılmıştır. Karbon fiber takviyeli PLA granülleri kovan içerisine atılmıştır. DC motor tarafından döndürülen matkap ucu, granülleri kovan içerisinde ilerletmeye başlamıştır. Granüller boru içinde hareket ederken katıdan akışkan hale geçmeye başlamıştır. Granüller, çıkıştaki lüleye ulaştığında tamamen akışkan hale geçmiştir. Akışkan matriks ve karbon fiber PLA karışımı lüleden ekstrüde edilmiştir. Ekstrüde edilmiş filamentin çapı, standart filament boyutu olan 1.75 mm'den daha fazla olmuştur. Filament, lülenin dışına doğru çıktığında sıcaklığı 130 °C idi. Üretilen filamentler Şekil 15b'de gösterilmiştir.



Şekil 15. Test numunesi imalat aşamaları

Bu sıcaklığın, yapılan ölçümlere göre lüle sıcaklığı ile aynı olduğu gözlemlenmiştir. Sıcak filament fan yardımı ile sarılmaya gitmeden önce durgun hava ile temas sağlandığı için soğuma başlamıştır. Sarma kısmında, iki adet 3B basılı parça tarafından tutulan bir Nema 17 motor, makaraya merkezlenmiş bir 3B baskılı mil tarafından döndürülmüştür. Şaftın dönüş hızı, filamentin çıkış hızından daha yüksek olduğu için istenen filament çapına ulaşılmıştır. İstenilen ± 0.1 mm toleranslarda üretilen filament, delta tipi FFF 3D yazıcıya yerleştirilmiştir ve test numuneleri üretilmiştir. Üretilen test numuneleri Şekil 15c'de gösterilmiştir.

Karbon fiber ile ekstrüde edilmiş filament 3B baskı parametreleri, PLA filamentin 3B baskı parametrelerinden farklı olmuştur.

Farklı olan parametreler,

- Baskı sıcaklığı
- Lüle çapı
- Filament iletim hızı
- Baskı kafasının dış çevrede ilerleme hızı

olarak belirlenmiştir.

Lülenin tıkanmasını önlemek amacıyla baskı sıcaklığı ve lüle çapı artırılmış ve filament akışı azaltılmıştır. Dış çevrede kafa ilerleme hızı, filamentlerin kenarlardan uzaklaştırılmasını önlemek için azaltılmıştır. Çekme testi numunesinin iç dolgu sürekliliğini arttırmak için doldurma hızı düşürülmüştür.

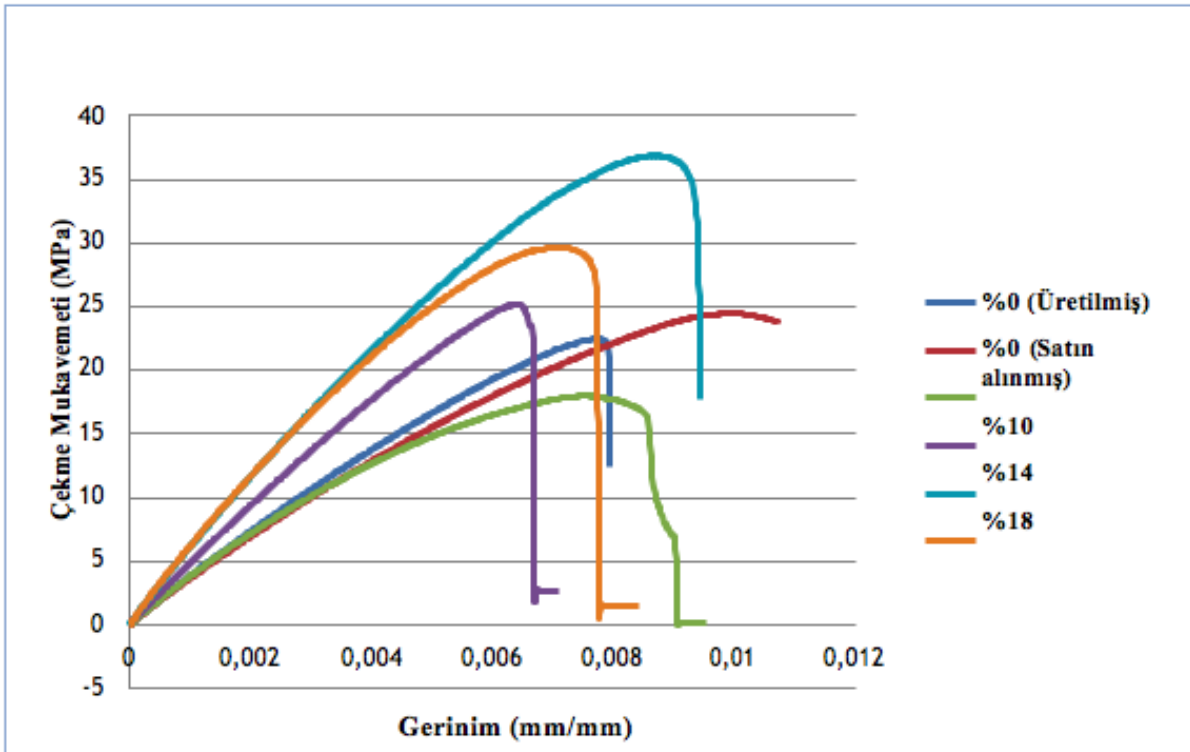
DOĞRULAMA TESTLERİ

İmal edilen karbon fiber takviyeli filamentler kullanılarak 3B basılan çekme numunelerinin dayanım değerlerini elde etmek için çekme testleri yapılmıştır. Kompozit malzemeler için belirlenmiş bir standart olduğu için ASTM D638 TİP IV çekme numunesi standartları, malzeme testleri için

kullanılmıştır. Üretilen çekme numunelerine yapılan çekme testi sırasında bazı numuneler geçersiz sayılmıştır. Geçersiz oluşun sebebi; numune içinde oluşan porozitelerdir. Porozite oluşumunu etkileyen faktörlerin büyük bir oranda lüle sıcaklığı, baskı hızı ve katman kalınlığıyla ilgili olduğu belirlenmiştir. Çekme testi sonuçları Grafik 1 ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Yapılan testler sonucunda piyasada satılan PLA filamenti ve projede üretilen PLA filamentinin çekme dayanımı değerlerinin yakın olduğu görülmüştür (21.68 MPa, 23.22 MPa). Ağırlıkça %10 karbon fiber oranına sahip çekme numunesinin ağırlıkça %0 olandan düşük olmasının nedeni, karbon fiber oranından bağımsız olarak, çekme numunesinin 3B basımı sırasında oluşan makine kaynaklı hatalardır. Ağırlıkça %14 ve ağırlıkça %18 karbon fiber oranına sahip çekme numunelerinin, çekme dayanımındaki artışının nedeni ise karbon fiber parçacıklarının katmanların birbirine yapışmasındaki artıştır. %22 ağırlık karbon fiber oranının porozitelere neden olduğu gözlemlenmiştir. Numunenin çekme mukavemetinin poroziteli yapı nedeniyle azaldığı görülmüştür. Tablo 3'te gösterildiği gibi, karbon fiber oranlarının artışı ile Young modülünün arttığı görülmüştür. Bu nedenle çekme numunelerinin sertliği artmıştır.

Grafik 1. Yüzde karbon oranlarına göre çekme mukavemeti-gerinim grafiği.



Tablo 3. Farklı yüzde karbon fiber oranlarına göre deney sonuçları.

Karbon Fiber Oranı (%)	Deney	Çekme Gerilmesi (Mpa)	Young Modülü (Gpa)	Maks. Uzama (mm)	Maks. Gerinim (%)
%0 (üretilmiş)	1	22,45707	3,735946	0,194219	0,776876
	2	23,99962	3,0497632	0,234937	0,939748
	Ortalama	23,228345	3,3928546	0,214578	0,858312
%0 (satın alınmış)	1	18,90444	2,7610688	0,255797	1,023188
	2	24,47266	3,4560344	0,249219	0,996876
	Ortalama	21,68855	3,1085516	0,252508	1,10032
10%	1	18,01201	3,7154111	0,188297	0,753188
	2	12,68282	3,2055687	0,135922	0,543688
	Ortalama	15,347415	3,46048	0,1621095	0,648438
14%	1	25,17958	4,7707677	0,159937	0,639748
	2	24,31666	5,5787741	0,150047	0,600188
	Ortalama	24.748	5,1747709	0,154992	0,619968
18%	1	35,03613	5,8835857	0,202547	0,810188
	2	36,86876	5,829892	0,216625	0,8665
	Ortalama	35,952445	5,85673885	0,209586	0,838344
22%	1	25,92513	6,6448686	0,130906	0,523624
	2	29,64635	6,0046636	0,176703	0,706812
	Ortalama	27,7855735	6,3247661	0,1538045	0,615218

SONUÇ

Üretilen filamentin çapı; lüle çapına, borunun sıcaklığına, lüle sıcaklığına ve motorun çalışma hızına bağlıdır. İterasyonların bir sonucu olarak, borunun sıcaklığı 160 °C, lüle sıcaklığı 130 °C, motor devri 8 Hz ve lüle çapı 2.5 mm olarak ayarlanmıştır. Tasarım ve üretim iterasyonlarının sonucunda, ± 0.1 mm tolerans ile 1.75 mm çapta filamentler üretilmiştir. Piyasada PLA ve PLA + granüllerinin bulunamaması nedeniyle, hazır filamentler granül haline getirilmiştir. Bu granüller filament üretmek için kullanılmıştır.

Karbon fiber yoğunluğu arttıkça, PLA partiküllerinin numune içindeki etkileşimi de azalmıştır. Bu azalma, test numunelerinde plastik deformasyona neden olmuştur. PLA parçacıkları arasındaki etkileşimin azalması, yük etkisi altında iken deplasmanda azalmaya neden olmuştur. Karbon fiber oranı arttıkça gerilme düşmüştür. Süneklikte artış görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda farklı polimer matrisler ve farklı iplikler kullanılarak testlerin devam ettirilmesi planlanmaktadır.

FUSED FILAMENT FABRICATION, DEVELOPMENT OF A COMPOSITE FILAMENT EXTRUDER FOR 3D PRINTERS

The main purpose of this study is the development of a filament extrusion system. This system's main requirement is to produce composite filaments which will be use in research for FFF 3D Printing. After design and development of the prototype, functional composite test samples were prepared for FFF 3D printing. Finally, various composite-polymer ratios are printed according to ISO standarts and tensile tested for comparision..

Keywords: Extrusion, Polymer-matrix composite, Carbon fiber, Mechanical properties, Additive manufacturing, PLA.

KAYNAKÇA

1. Wankhade, H., Bahaley, G., "Design and Development of Plastic Filament Extruder for 3D Printing", IRA Int. J. Of Technology and Engineering, 2018, 10(3), pp.23-40.

2. Investor Place Financial News, <https://investorplace.com/wpcontent/uploads/2017/01/3dprintingmsn.jp> [Şubat 2019'da erişilmiştir.]
3. Global One-Stop Reports Center, <http://www.gosreports.com/3d-printing-materials-development-history/> [Ocak 2019'da erişilmiştir.]
4. Jerez, R., Travieso, J.A., Corbella, X., "Finite element analysis of the thermal behavior of a RepRap 3D printer liquefier", *Mechatronics*, 2016, 36, pp.119-126.
5. Harimalairajan, K., Sadhanathan, S., Sakthivel, R., "Development of Plastic Filament Extruder for 3D-Printing", *Int. J. of Mechanical and Production Engineering*, 2016, 4(11), pp.32-35.
6. Zhong, W., Li, F., Zhang, Z., Song, L., Li, Z., "Short Fiber Reinforced Composites for Fused Deposition Modeling", *Materials Science and Engineering: A*, 2001, 301(2), pp.125-130.
7. Tekinalp, H., Kunc, V. Velez, M., "Highly Oriented Carbon Fiber-Polymer Composites via Additive Manufacturing", *Composites Science and Technology*, 2014, 105, pp.144-150.
8. Noztek, <http://www.noztek.com> [Şubat 2019'da erişilmiştir.]
9. 3devo, <https://3devo.com/products/> [Şubat 2019'da erişilmiştir.]
10. 3D Hubs, <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared> [Mart 2019'da erişilmiştir.]
11. AZoM Materials Science Industry, <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13566> [Nisan 2019'da erişilmiştir.]
12. Farah, S., Anderson, D., Langer, R., "Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications - A comprehensive review", *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2016, 107, pp.367-392.
13. Albi, E., Kozel, K., Ventoza, D., "Akabot: 3d printing filament extruder", *Mechanical Engineering Senior Thesis*, Santa Clara University, 2014.
14. Volpato, N., Kretschek, D., Foggiatto, J.A., "Experimental analysis of an extrusion system for additive manufacturing based on polymer pellets", *Int. J. Of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, 81, pp.1519-1531.

YAYIN İLKELERİ

Amaç

1. Makina tasarım ve imalatı alanında yerli teknoloji üretimine yönelik kuramsal ve uygulamalı çalışmaları duyurmak.
2. Bu alanda çalışan kişi ve kuruluşlar arasında bilgi alışverişini sağlamak.
3. Yayımlanan çalışmalar üzerinde teknik tartışma ortamı yaratmak.
4. Üniversite – endüstri arasındaki yakınlaşma ve işbirliğinin geliştirilmesine katkıda bulunmak.
5. Türkçe teknik bilgi birikimini arttırmak.

Kapsam

- (a) Dergi amaçları doğrultusunda aşağıda belirtilen konularda veya bunlara yakın konulardaki yazıları yayımlar;
Makina Tasarımı, Mekanik Sistemlerin Tasarımı ve Analizi, Makina Teorisi ve Mekanizma Tekniği, Makina Elemanları, İmalat Yöntemleri, Bilgisayar Yardımı ile tasarım ve İmalat, Robotik ve Esnek İmalat Yöntemleri, Akışkanlar Mekaniği, Malzeme Seçimi ve Malzeme Sorunları, Kalite Kontrolü, Fabrika Organizasyonu ve Üretim Planlaması, Bakım ve Onarım, Derginin amacına uygun diğer konular.
- (b) Dergide yayımlanacak makaleler, bir yeniliği, ilerlemeyi, gelişmeyi, araştırma ya da uygulama sonuçlarını içermek üzere araştırma makaleleri, uygulama makaleleri, derleme makaleleri, çeviri makaleleri ve kısa makaleler olabilir.
- (c) Dergide üyelerimize faydalı olabilecek imalat ve teknoloji ile ilgili araştırma ve çalışmaların sunulduğu veya firma ve kuruluşların tanıtıldığı yazılar yayımlanabilir.

- (d) Derginin kapsamına giren konularda düzenlenen yurtiçi ve yurtdışı konferans, seminer, vb. etkinliklere ve ayrıca bu konulardaki kitap, dergi vb. yayınlara ait duyurular yer alır.

Makalelerin Değerlendirilmesi

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, yayın kalitesi olarak belirli bir düzeyin üstünde kalmayı amaçlamıştır. Türkiye koşullarını da gözönüne alarak, bu kalite düzeyinin sürdürülmesi için gerekli tüm çaba ve titizlik gösterilecektir. Dergi'ye gelen her makale kesinlikle incelemeden geçirilecek ve bu amaçla mümkün olduğu kadar Türkiye çapında ya da yurtdışında konunun uzmanı hakemler tarafından değerlendirilmesine özen gösterilecektir. İnceleme ve değerlendirme sonuçları hakkında makale yazarlarına bilgi verilecektir.

YAYIN HAKKI

Dergide yayımlanan makalelerin her türlü yayın hakkı Makina Tasarım ve İmalat Derneği'ne aittir. Dergideki yazılar, yazılı izin almadan başka yerde yayımlanamaz ve çoğaltılamaz.

ÇALIŞMA İLKELERİ

Derginin yasal sahibi, MAKİNA TASARIM VE İMALAT (MATİM) DERNEĞİ'dir.
"Dergi Yayın Kurulu" dergi yönetimi ile ilgili organdır. Dergi Yayın Kurulu, MATİM Derneği Yönetim Kurulu tarafından bir yıl süre ile seçilir. Yayın Kurulu derginin yayın ilkelerine uygun yayımı ile yükümlüdür. Yayın Kurulu faaliyetleri konusunda MATİM Derneği Yönetim Kuruluna bilgi verir ve onayını alır.

Journal of MECHANICAL DESIGN AND PRODUCTION

Journal of Mechanical Design and Production is a periodical, published by the Turkish Mechanical Design and Production Society, Ankara, Turkey. It is one of the society's aims, to publish qualified research and review papers in Turkish. The published papers are strictly refereed to maintain a high scientific and engineering level at international standard.

MAKALE GÖNDERME KOŞULLARI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi'ne yurt içinden ya da yurt dışından isteyen herkes yayımlanmak üzere makale gönderebilir. Gönderilen makalelerin dergi temel amaçlarına uygun ve dergi kapsamı içinde olması ve aşağıdaki makale kabul ilkelerini sağlaması gerekmektedir. Dergi Yayın Kuruluna gelen her makale en az iki hakem tarafından değerlendirilir ve sonuç olumlu ya da olumsuz olsa da, yazarına bildirilir.

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde aşağıdaki makaleler yayımlanabilir.

- Araştırma Makaleleri.
- Uygulama Makaleleri.
- Derleme Makaleleri: Belirli bir konu üzerinde bilimsel ve teknolojik son gelişmeleri zengin bir kaynakçaya dayanarak aktaran ve bunların değerlendirmesini yapacak nitelikte olmalıdır.
- Çeviri Makaleler: Yerli teknoloji ve bilgi birikimine önemli bir katkıda bulunacak nitelikte olmalıdır.
- Kısa Makaleler: Yapılan bir çalışmayı zaman geçirmeden duyuran veya bu dergide yayımlanan bir makaleyi tartışan yazılardır.
- Diğer: Yukarıda tanımlanan içerikte olmayan, ancak üyelerimize faydalı olabilecek, imalat ve teknoloji ile ilgili çalışma ve araştırmaların sunulduğu, firma ve kuruluşların teknik özelliklerinin tanıtıldığı yazılardır.

Örnek makale <http://matim.org.tr/> sitesinde verilmiştir. Yazarlar, makalelerini TÜBİTAK ULAKBİM tarafından yürütülen <http://dergipark.gov.tr/matim> sitesine yüklemelidirler. Bir sorun ile karşılaşılırsa İlhan Konukseven (konuk@metu.edu.tr) veya Bilgin Kaftanoğlu (bilgin.kaftanoğlu@atilim.edu.tr) ile iletişim kurabilirler. Yazarlar, yayımlanma kabulünü takiben makalenin en son halini elektronik olarak aynı şekilde yüklemelidirler. Kelime-işlemci olarak Windows işletim sisteminde çalışan MS Word program paketi kullanılmalıdır.

MAKALE KABUL İLKELERİ

Makaleler içerik ve şekil olarak aşağıda belirtilen biçimde hazırlanmalıdır.

Yazım Dili

Kullanılan dilin olabildiğince basit, anlaşılır ve kesin olmasına özen gösterilmelidir. İleri düzeyde teknik ya da alışılmamış kavramlar kullanmak gerektiğinde, bunlar uygun bir şekilde tanımlanmalı ve yeterince açıklanmalıdır.

Makalenin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

- Makalenin adı
- Yazar(lar) ad(lar)ı, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve kuruluşun bulunduğu il.
- Özet ve anahtar kelimeler
- Makalenin ana kısmı
- Teşekkür (gerekli ise)
- İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler
- Kaynakça
- Ek(ler) varsa

Makalenin adı, olabildiğince kısa, gereksiz ayrıntıdan arınmış olmalı, ancak gerekli anahtar sözcükleri içermelidir.

Yazarların ad ve soyadları, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve bulunduğu il verilmelidir. Ayrıntılı görev ve adres ise ayrı bir kağıtta ve yazarların kısa özgeçmişleri ile birlikte belirtilmelidir.

Özette sadece sonuçlar değil makalenin tümü çok kısa ve öz şekilde açıklanmalıdır. Özet, makalenin konusu, kapsamı ve sonuçları hakkında fikir verebilmeli, ilgili anahtar sözcük ve deyimleri içermelidir. 100 kelimeyi geçmeyen Türkçe özetin ve anahtar sözcüklerin İngilizcesi de konulmalı ve makale başlığının İngilizcesi de mutlaka yazılmalıdır. Bu konuda istenirse dergi Yayın Kurulu yardımcı olabilir.

Makalenin ana kısmında makalenin amacından söz edildikten sonra bir mantık zinciri içinde sorun tanıtılmalı, çözüm yolları ve diğer bilgiler verilerek sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi sunulmalıdır.

Teşekkür kısmında gerekiyorsa kişi, kuruluş ya da firmalara teşekkür edilebilir. Özellikle firma adlarının bu bölümünün dışında başka bir yerde verilmemesine özen gösterilmelidir.

Başlıklar

Gerek makalenin yapısını belirlemek, gerekse uzun bölümlerde düzenli bir bilgi aktarımı sağlamak için üç tür başlık kullanılabilir:

- Ana Başlıklar,
- Ara Başlıklar,
- Alt Başlıklar.

Ana Başlıklar: Bunlar, sıra ile, özet, makalenin ana kısmının bölümleri, teşekkür (varsa), kaynakça, ekler (varsa)'den oluşmaktadır. Ana başlıklar büyük harflerle yazılmalıdır.

Ara Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harfle yazılmalıdır.

Alt Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harflerle yazılmalı ve hemen başlık sonunda iki nokta üstüste konularak yazıya aynı satırdan devam edilmelidir.

Matematiksel Bağıntılar

Matematiksel bağıntılar, bilgisayar ile anlaşılır şekilde açık ve seçik olarak yazılmalı, Türkçe alfabenin dışındaki karakterleri sayfanın sol tarafındaki boşlukta ayrıca ne oldukları yazı ile belirtilmelidir. Üst ve alt harf veya rakamlar belirgin bir şekilde yazılmalıdır. Özellikle bilgisayar kullanımında "I" (Ie) harfi ile "1" (bir) sayısının, "O" harfi ile "0" (sıfır) sayısının karıştırılmamasına özen gösterilmelidir. Metin içindeki bağıntılar 1 (bir)'den başlayarak sıra ile numaralandırılmalı ve bu numaralar eşitliğin bulunduğu satırın sağ kenarına parantez "()" içinde verilmelidir.

Şekiller, Çizelgeler ve Resimler

Şekiller, küçültme ve basımda sorun yaratmamak için bilgisayar ile, düzgün ve yeterli çizgi kalınlığında çizilmelidir. Şekiller 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her şeklin altına alt yazılarıyla birlikte yazılmalıdır. Çizelgeler de şekiller gibi, 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her çizelgenin üstüne başlığıyla birlikte yazılmalıdır.

Resimler yeterli çözünürlükte sağlanmalıdır. Ayrıca şekiller için verilen kurallara uyulmalıdır. Derginin elektronik ortamda renkli olarak yayınlanacağı dikkate alınmalıdır.

Çizelge başlıklarının sadece ilk kelimesinin baş harfi büyük harfle, diğer harfleri ve kelimeler küçük harfle yazılmalıdır. Çizelge başlıkları, ayrıca bir sayfada da sıra ile verilmelidir.

Dip Notu

Dip notu gereken yerlerde bu bir üs numarası 1 ile belirtilmelidir. Buna karşılık gelen dip notu aynı sayfanın altında ara metinle bir çizgi ile ayrılmış olarak verilmelidir.

Kaynakça

Makale içinde gönderme yapılan (atıfta bulunulan) her türlü basılı yayın makalede söz edildiği sırada ve köşeli parantez [] içinde verilmelidir. Dergilerde yayımlanan makaleler, kitaplar, raporlar, tezler, kongre ve sempozyumlarda sunulan makaleler aşağıdaki örneklerde verilen şekilde yazılmalıdır.

- Dergi Makalesi
1. Richie, G.S., Nonlinear Dynamic Characteristics of Finite Journal Bearings, *ASME, J. of Lub. Technology*, 105 (1983) 3, 375-376. Kitap
 2. Shigley, J.E. ve Mitchell, L.P., *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983. Rapor
 3. Arslan, A.V. ve Novoseletsky, L.A., *Mathematical Model to Predict the Dynamic Vertical Wheel/Rail Forces Associated with Low Rail Joint*, AAR Technical Center, Technical Report, No.R-462, October 1980. Kongre Makalesi
 4. Adalı, E. ve Tunali, F., Bilgisayar Denetimli Tezgaha Geçiş, *1. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı*, 287-293, ODTÜ, 1984.

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

Dergide yayımlanacak makaleler 13 makale sayfasını geçmemelidir. Makaleler bilgisayar ile A4 formatında, iki aralıklı olarak yazılmalı ve sayfa kenarlarında yeteri kadar boşluk bırakılmalıdır.

Kabul edilen makaleler dergi için yapılan dizgi ve şekilsel düzenlemeden sonra kontrol için basımdan önce yazarına gönderilir.

Yayımlansın veya yayımlanmasın gönderilen makaleler yazarına geri gönderilmez. Yazılardaki fikir ve görüşler yazarına, çeviriden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.

1. Örnek dip notu