

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

ALANINDA ARAŞTIRMALAR
VE DEĞERLENDİRMELER

— EKİM 2026 —



— EDITÖR —

Prof. Dr. Yılmaz KISMET

gece
kitaplığı

İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız
Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı

Birinci Basım / Ekim 2026 - Ankara
ISBN / 978-625-321-303-9

© copyright

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Gece Kitaplığı

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

0312 384 80 40

www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt

Bizim Büro

Sertifika No: 42488

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE
DEĞERLENDİRMELER**

EKİM 2026

EDİTÖR

Prof. Dr. Yılmaz KİSMET

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

ENDÜSTRİYEL TİTREŞİM SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE MOTOR SEÇİMİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Serkan PINAR 7

BÖLÜM 2

HİBRİT POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNMELEİNDE KESME PARAMETRELERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Murat KOYUNBAKAN, Zafer KAYA, Hüseyin YEŞİL 18

BÖLÜM 3

CAD MODELLERİNDEN UNSUR TANIMLAMA VE STEP-NC UYUMLU ZEKİ BİR PROSES PLANLAMA SİSTEMİ

Murat KOYUNBAKAN, Yusuf ŞAHİN, Ali ÜNÜVAR 34

BÖLÜM 4

İKİ ZAMANLI AKIŞ KONTROLLÜ BENZİN MOTORUNUN SİLİNDİR TASARIMI VE İMALATI

Zafer KAYA, Dinçer BURAN 55

BÖLÜM 1

ENDÜSTRİYEL TİTREŞİM SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE MOTOR SEÇİMİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Serkan PINAR¹

¹ Öğr. Gör., Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, serkan.pinar@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8601-3248.

1. GİRİŞ

Endüstriyel sistemlerde titreşim, kontrol altında tutulmadığında tahribatlara yol açan ancak belirli bir amaç için yönlendirildiğinde birçok mekanik prosesin temelini oluşturan kritik bir parametredir. Titreşim kontrolsüz bırakıldığında, mekanik yapılar üzerinde aşırı gerilmelere, yorulmalara ve çatlak gibi hasarlara neden olabilmektedir. Plaka gibi temel mühendislik yapılarında meydana gelen hasarlar, sistemin rijitliğini düşürmekte ve doğal frekanslarını değiştirmektedir (Gönenli ve Duymazlar, 2024). Bu tür plaka gibi yapıların hasar durumlarını ve dinamik karakteristiklerini doğru tespit edebilmek için, köşe yay-sönümleyici sistemler ile desteklenen modellerin itki yanıtları incelenerek güçlü bir teorik altyapı oluşturulmaktadır (Gönenli ve Duymazlar, 2025). Benzer şekilde, dönen sistemlerdeki eksen kaçıklıkları periyodik eksenel kuvvetler oluşturarak santrifüj pompalarda ve şaft sistemlerinde titreşim karakteristiğini bozmakta, bu durum makine sağlığını tehdit etmektedir (Wang ve Luo, 2025). Bu yıkıcı etkileri sönümlemek amacıyla şekil hafızalı alaşımlar gibi akıllı malzemeler kullanılarak tasarlanan aktif titreşim sönümleyici plaklar, farklı frekanslarda başarıyla uygulanabilmektedir (Nazlım ve Taşkesen, 2023).

Öte yandan, kontrollü titreşim, endüstride malzemelerin taşınması, elenmesi ve akışkanlaştırılması gibi süreçlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Trifaze titreşim motorlarının sağladığı dairesel ve tek yönlü titreşimler; besleyiciler, silolar ve kalıplar gibi sistemlerde temel tahrik mekanizmasını oluşturmaktadır (Italvibras, 2004). Zemin mühendisliğinde ise, sıvılaştırılabilir zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak için titreşimli problemler yardımıyla "rezonans sıkıştırma" yöntemleri kullanılmaktadır (Du vd., 2020). Gelişmiş makine tasarımlarında yüksek kuvvet elde etmek için, tek bir motordan iki esnek kaplin ile tahrik edilen eksantrik rotor sistemleri geliştirilmiş, bu sayede mekanik yük dağılımı iyileştirilerek senkronizasyon başarısı artırılmıştır (Li vd., 2019). Son yıllarda biyolojik sistemlerden ilham alan amfibik robotlarda da, çok ince kıl benzeri ayakların titreştirilmesiyle düşük enerji tüketimli ilerleme mekanizmaları geliştirilmektedir (Kahraman, 2021).

İmalat mühendisliği alanında titreşim, kaynaklı imalat veya talaşlı imalat süreçlerinde yapıların içerisinde biriken zararlı artık gerilmelerin giderilmesinde alternatif bir çözüm sunar. Titreşimli Gerilim Giderme (Vibratory Stress Relief - VSR) yöntemi, yapıya rezonans frekansında mekanik enerji uygulayarak artık gerilmeleri düşürmektedir (Gönenli vd., 2025). Titreşimli gerilim giderme sürecinde uygulanan genliğin büyüklüğü, işlemin verim oranını doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Ayrıca, bu titreşim süreçlerini matematiksel olarak modellemek için geliştirilen Fizik Bilgisi Sinir Ağları, dinamik sistemlerin

sönümlü ve sönümsüz durumlarını yüksek doğrulukla tahmin ederek mühendislik optimizasyonunda güçlü bir araç sunmaktadır (Duymazlar ve Gönenli, 2024).

Motor seçimi ve sistem tasarımı aşamasında, titreşimli masalarda ve eleklerde rezonans geçişleri sırasındaki kontrolsüz genlik artışlarını önlemek için, motorları süren frekans konvertörlerinin (VFD) statik karakteristiklerinin düzeltilmesi üzerine yöntemler önerilmektedir (Vedemikov ve Dunaev, 2021). Bu çalışma kapsamında; yerli bir titreşim motoru üreticisine (Vibramod, 2025) ait kataloglar ve çevrimiçi endüstriyel tedarik platformlarında (Kampa, 2026) sunulan ticari ürün verilerinden seçilen geniş bir trifaze motor yelpazesi üzerinden parametrik bir veri analizi gerçekleştirilmiştir. Kitap bölümünün amacı, fiziksel bir titreşim veya hasar deneyi yapmaksızın, bu ticari verilere dayanarak farklı devir gruplarındaki (1500 d/d ve 3000 d/d) motorların şebekeden çektikleri elektriksel güce karşılık ürettikleri mekanik merkezkaç kuvvetini teorik olarak karşılaştırmak ve "Güç/Kuvvet Verimlilik İndeksi"ni mühendislik açısından tartışmaktır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Titreşim Motorları ve Fiziksel Bağlılıklar

Endüstriyel titreşim sistemlerinde hedeflenen mekanik kuvvetin üretilmesi için genellikle trifaze asenkron titreşim motorları tercih edilmektedir. Bu motorlar, rotor şaftının her iki ucuna simetrik veya asimetrik olarak monte edilmiş eksantrik ağırlıkların döndürülmesi prensibiyle çalışırlar. Dönen kütlelerin yarattığı bu merkezkaç kuvveti, şaft üzerinden motor gövdesine ve oradan da titreşime maruz bırakılmak istenen platforma aktarılır. Şekil 1’de örnek bir titreşim motoru gösterilmektedir.



Şekil-1: Endüstriyel tip bir titreşim motoru

Trifaze motorların oluşturduğu merkezkaç kuvveti (F_c), Newton mekaniği yasaları çerçevesinde aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir (Li vd., 2019):

$$F_c = mr\omega^2 \quad (1)$$

Burada;

- m : Dönme eksenine yerleştirilmiş toplam eksantrik kütleyi (kg),
- r : Eksantrik ağırlık merkezinin dönüş eksenine olan uzaklığını (yarıçapı) (m),
- ω : Motor şaftının açısal hızını (rad/s) temsil etmektedir.

Açısal hız, motorun devir sayısı (n , d/d veya rpm) ile doğrudan ilişkilidir ve

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Motorun mekanik çıkış kapasitesini belirleyen kütle ve yarıçap çarpımı ise literatürde ve endüstriyel kataloglarda motorun çalışma momenti (W_m veya M) olarak tanımlanır. Endüstriyel pratikte merkezkaç kuvveti hesabı sıklıkla şu formülle de basitleştirilerek uygulanmaktadır (Kem-P, 2022):

$$F = Mn^2/18235 \quad (3)$$

Burada F Newton cinsinden kuvveti, M cm·kg cinsinden çalışma momentini ifade etmektedir. Titreşimli masalar, gerilim giderme platformları veya titreşimli elekler gibi mekanik sistemlerin tasarımı sırasında, sistemin toplam kütesine bağlı olarak sistemin hedef titreşim genliği ise şu şekilde formüle edilmektedir (Vibramod, 2025):

$$e = 5 \frac{n_{motor} W_m}{n_{motor} M_{motor} + M_{vm}} \quad (4)$$

Burada W_m çalışma momentini, M_{motor} bir adet titreşim motorunun ağırlığını, M_{vm} ise titreştirilecek makinenin ağırlığını, n_{motor} ise kullanılan motor sayısını ifade etmektedir. Bu bağıntı, istenilen titreşim genliğine ulaşmak için sadece kuvvetin (F_c) değil, aynı zamanda statik momentin (W_m) ve sistem kütesinin birbirleriyle ne şekilde kompanze edilebileceğini göstermesi açısından kritiktir.

Bu çalışma kapsamında, endüstri standartlarını belirleyen teknik kataloglarda yer alan verilere dayanarak (Italvibras, 2004; Vibramod, 2025; Kem-P, 2022), 1500 devir/dakika (d/d) ve 3000 d/d devir hızlarına sahip iki farklı motor grubuna ait elektriksel güç (Watt) ve ürettikleri santrifüj kuvveti (kgf) değerleri parametrik bir analize tabi tutulmuştur. Şebekeden çekilen aktif

elektriksel güce (P) karşılık üretilen mekanik santrifüj kuvvetinin oransal kıyaslamasını yapabilmek için, bu çalışmada Kuvvet/Güç Verimlilik İndeksi (I_e) şu şekilde tanımlanmıştır:

$$I_e = \frac{F_c}{P} \left(\frac{Kgf}{Watt} \right) \quad (5)$$

Veri seti analizi sırasında;

1. Farklı güç kapasitelerindeki endüstriyel titreşim motorları tablo halinde listelenmiştir.
2. 1500 d/d ve 3000 d/d devir gruplarında eşit elektriksel güce (eşlenik Watt) sahip motorların mekanik kuvvet çıktıları karşılaştırılarak analiz edilmiştir.
3. Yüksek devirli ve düşük devirli motorlar arasındaki verim değişimini açıklamak için açısal hız (ω) ile statik moment (mr) arasındaki fiziksel ters orantı kullanılmıştır.

2.2 Veri Setinin Oluşturulması

Bu çalışmada, parametrik analizin gerçekleştirilebilmesi amacıyla ticari titreşim motoru kataloglarından (Vibramod, 2025; Kem-P, 2022) geniş bir ürün yelpazesini temsil eden toplam 28 adet trifaze asenkron titreşim motoru seçilmiştir. Fiziksel ve elektriksel dönüşüm karakteristiklerinin doğrudan karşılaştırılabilmesi için seçilen motorlar, endüstride en sık kullanılan iki temel nominal çalışma hızı olan 1500 devir/dakika (d/d) ve 3000 d/d gruplarına ayrılarak sınıflandırılmıştır. Veri setinin analitik süreçlerde daha düzenli işlenebilmesi ve ticari marka/model karmaşasının önlenmesi adına motorlar nominal devirlerine uygun olarak kodlanmıştır; 1500 d/d çalışma hızına sahip motorlar "M15" önekiyle, 3000 d/d çalışma hızına sahip motorlar ise "M30" önekiyle artan güç değerlerine göre numaralandırılmıştır. Tablo 1'de, çalışmaya konu olan her bir motorun şebekeden çektiği aktif elektriksel güç (Watt) ve motor şaftındaki eksantrik kütlelerin dönmesiyle elde edilen maksimum mekanik merkezkaç kuvveti (kgf) değerleri sistematik olarak sunulmaktadır.

Tablo-1. Çalışmada kullanılan 1500 d/d ve 3000 d/d trifaze titreşim motorlarına ait güç ve merkezkaç kuvveti katalog verileri

1500 d/d Trifaze Titreşim Motoru			3000 d/d Trifaze Titreşim Motoru		
Motor Kodu	Elektriksel Güç (W)	Merkezkaç Kuvveti (kgf)	Motor Kodu	Elektriksel Güç (W)	Merkezkaç Kuvveti (kgf)
M15-01	100	109,05	M30-01	270	328,54
M15-02	180	216,72	M30-02	370	436,21
M15-03	240	260,82	M30-03	470	523,92
M15-04	270	303,38	M30-04	500	655,12
M15-05	310	432,28	M30-05	550	695,80
M15-06	340	575,52	M30-06	570	810,38
M15-07	470	726,03	M30-07	650	915,32
M15-08	570	907,54	M30-08	720	1094,24
M15-09	600	1133,79	M30-09	1000	1367,80
M15-10	720	1352,71	M30-10	1400	1495,15
M15-11	950	1528,72	M30-11	1500	1669,70
M15-12	1150	1835,35	M30-12	2000	1810,10
M15-13	1200	2047,25	M30-13	2200	2087,14
M15-14	1300	2386,21	M30-14	2300	2364,24

3. SONUÇLAR

Ticari kataloglardan (Vibramod, 2025; Kem-P, 2022) elde edilen ve Tablo 1'de sunulan 1500 d/d ve 3000 d/d trifaze titreşim motorlarına ait veriler, elektriksel güç tüketimi ile mekanik merkezkaç kuvveti üretimi arasındaki ilişkinin motor devrine bağlı olarak doğrusal olmadığını göstermektedir. Bu veri setinin parametrik analizi, endüstriyel motor seçimi ve enerji verimliliği optimizasyonu açısından üç temel bulguyu ortaya koymuştur.

3.1 Eşlenik Güç (Watt) Değerlerinde Mekanik Çıktı Karşılaştırması

Şebekeden aynı aktif elektriksel gücü (W) çeken motorlar karşılaştırıldığında, düşük devirli (1500 d/d) motorların salt mekanik kuvvet (kgf) üretiminde belirgin bir üstünlüğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Tablo 1'de her iki devir grubunda da yer alan eşlenik güç değerlerindeki motorlar incelendiğinde bu fark netleşmektedir.

- 470 W güç tüketiminde: 1500 d/d devirli M15-07 motoru 726,03 kgf kuvvet üretirken, 3000 d/d devirli M30-03 motoru 523,92 kgf kuvvet üretmektedir. Düşük devirli motor, aynı enerji ile %38,5 daha fazla kuvvet sağlamaktadır.

- 570 W güç tüketiminde: 1500 d/d devirli M15-08 motoru 907,54 kgf üretirken, 3000 d/d devirli M30-06 motoru 810,38 kgf üretmektedir (Fark: %12).
- 720 W güç tüketiminde: 1500 d/d devirli M15-10 motoru 1352,71 kgf üretirken, 3000 d/d devirli M30-08 motoru 1094,24 kgf üretmektedir (Fark: %23,6).

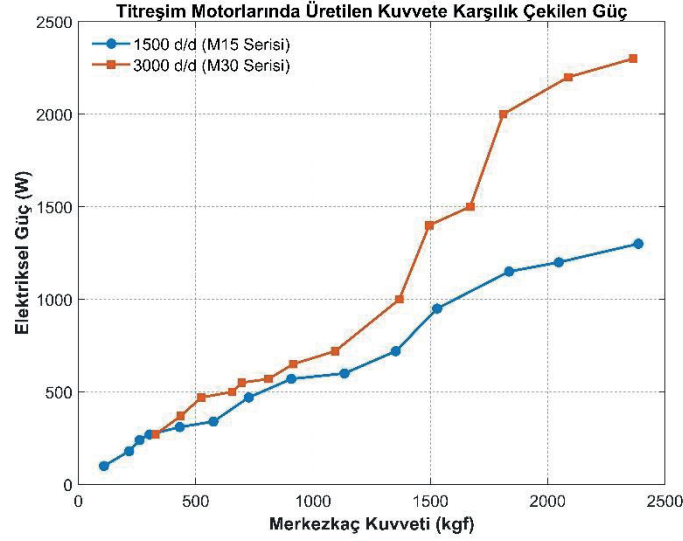
Bu bulgular, enerji tüketiminin sınırlandırılması gereken endüstriyel tesis tasarımlarında, aynı güç kapasitesine sahip motorlar arasından düşük devirli (1500 d/d) olanların seçilmesinin, daha yüksek merkezkaç kuvveti elde etmek için kritik olduğunu göstermektedir.

3.2 Kapasite Artışında Verimlilik Eğilimi

Motorların elektriksel güç kapasiteleri arttıkça, 1500 d/d ve 3000 d/d devir gruplarının verimlilik davranışlarının zıt yönlerde ilerlediği gözlemlenmiştir. Denklem 5 ile hesaplanan Kuvvet/Güç Verimlilik İndeksi üzerinden yapılan değerlendirmede:

- 1500 d/d Grubunda Artan Verim: Skalanın en altındaki M15-01 (100 W) motoru 109,05 kgf (Verimlilik: 1,09 kgf/W) üretirken, skalanın en üstündeki M15-14 (1300 W) motoru 2386,21 kgf (Verimlilik: 1,83 kgf/W) üretmektedir. Güç 13 kat artarken, üretilen merkezkaç kuvveti yaklaşık 22 kat artmış ve sistem ölçeklendikçe daha verimli hale gelmiştir.
- 3000 d/d Grubunda Azalan Verim: Skalanın altındaki M30-01 (270 W) motoru 328,54 kgf (Verimlilik: 1,21 kgf/W) üretirken, M30-14 (2300 W) motoru 2364,24 kgf (Verimlilik: 1,02 kgf/W) üretmektedir. Güç 8,5 kat artarken, üretilen kuvvet sadece 7,2 kat artmış ve yüksek devirli sistem ölçeklendikçe verim kaybı yaşamıştır.

Bu durum, yüksek devirli (3000 d/d) motorların kapasite büyüdükçe artan elektromanyetik ve mekanik kayıplarından ötürü azalan verimler eğilimi gösterdiğini kanıtlamaktadır. Elde edilen bu kapasite-verim ilişkisi ve yüksek devirli motorlardaki parabolik güç artış eğilimi Şekil 2'de sunulan dağılım grafiğinde görülmektedir.



Şekil-2: Farklı devir gruplarındaki trifaze titreşim motorlarında hedeflenen merkezkaç kuvvetine karşılık şebekeden çekilmesi gereken elektriksel gücün (W) dağılımı

3.3 Statik Moment ve Enerji Tüketimi İlişkisi

Veri setinde birbirine en yakın maksimum merkezkaç kuvvetini üreten iki motor (M15-14 ve M30-14) üzerinden teorik statik moment hesabı yapılmıştır.

- M15-14 (1500 d/d): 1300 W güç tüketimi ile 2386,21 kgf kuvvet.
- M30-14 (3000 d/d): 2300 W güç tüketimi ile 2364,24 kgf kuvvet.

Her iki motor da yaklaşık 2360-2380 kgf aralığında kuvvet üretmektedir. Denklem 1'e göre, 3000 d/d hızın açısal hızı, 1500 d/d hızın iki katıdır ve karesi dört katı büyüklüktedir. Eşit kuvvet üretilebilmesi için, 1500 d/d motorun eksantrik ağırlığının statik momentinin, 3000 d/d motorun statik momentinin tam 4 katı olması gerekmektedir.

Bulgulara göre; M15-14 motoru, rotor şaftında 4 kat daha büyük bir statik momenti çevirmesine rağmen, şebekeden M30-14 motoruna kıyasla 1000 W (%43) daha az elektriksel güç çekmektedir. Bu sonuç, asenkron titreşim motorlarında yüksek mekanik çıktı elde etmek için dönen kütleyi artırmanın, motor devrini artırmaya kıyasla elektriksel açıdan çok daha düşük maliyetli ve verimli bir mühendislik çözümü olduğunu doğrulamaktadır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, endüstriyel titreşim sistemlerinin temel tahrik unsuru olan trifaze asenkron titreşim motorlarının elektriksel güç tüketimleri ile ürettikleri mekanik merkezkaç

kuvvetleri arasındaki ilişki, 1500 d/d ve 3000 d/d hız gruplarındaki 28 farklı ticari motorun verileri üzerinden incelenmiştir. Fiziksel bir deney kurulumuna ihtiyaç duyulmaksızın, doğrudan endüstriyel verilerin parametrik analizi ile elde edilen bulgular, titreşimli sistem tasarımlarında geleneksel motor seçim kriterlerinin enerji verimliliği perspektifiyle yeniden değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın önemli bir çıktısı, merkezkaç kuvveti üretiminde dönen kütleyi artırmak ile dönüş hızını artırmak arasındaki ciddi enerji maliyeti farkının katalog verileri üzerinden görülmesidir. Fiziksel prensipler gereği, motor devrinin iki katına çıkarılması üretilen kuvveti teorik olarak dört katına çıkarmaktadır. İlk bakışta yüksek devir kullanmak, daha küçük eksantrik ağırlıklarla yüksek kuvvet elde etmek için avantajlı görünse de veri analizi, bu durumun elektriksel güç tüketiminde büyük bir azalan verimler handikabı yarattığını kanıtlamıştır. Yüksek devirli bir sistemin eksantrik ağırlığını hızla çevirmek için yenmesi gereken aerodinamik direnç, rulman sürtünmeleri ve artan elektromanyetik kayıplar, şebekeden çekilen aktif gücü parabolik olarak artırmaktadır. Nitekim yaklaşık 2380 kgf kuvvet üreten iki motorun eşlenik karşılaştırmasında; 1500 d/d'lik motorun rotorunda dört kat daha büyük bir kütle ataletini çevirmesine rağmen, 3000 d/d'lik motora kıyasla şebekeden yaklaşık 1000 W (%43) daha az güç çektiği ispatlanmıştır. Bu bağlamda, enerji tüketiminin kritik olduğu tesislerde aynı mekanik çıktıyı elde etmek için düşük devirli ancak statik momenti yüksek motorların tercih edilmesi daha verimli bir mühendislik çözümü olarak öne çıkmaktadır.

Endüstriyel pratikte göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli boyut ise değişken frekanslı sürücülerin sistem tasarımındaki yeridir. Titreşim kuvvetinin motor devrine karşı doğrusal olmayan bir davranış sergilemesi, devir düşürüldüğünde mekanik çıktının çok daha dramatik bir şekilde azalmasına yol açar. Nominal hızı 3000 d/d olan bir motor invertör ile yarı hıza düşürüldüğünde, üreteceği merkezkaç kuvveti nominal değerinin yarısına değil, tam dörtte birine inmektedir.

Sonuç olarak; dozajlama bantları veya hassas elekler gibi titreşim genliğinin anlık olarak değiştirilmesi gereken esnek sistemlerde invertör ve yüksek devirli motor kullanımı rasyonel bir stratejidir. Ancak titreşimli gerilim giderme, zemin sıkıştırma veya ağır yük sarsakları gibi prosesin sabit ve yüksek bir kuvvete ihtiyaç duyduğu senaryolarda, yüksek devirli bir motoru invertör ile kısmak ciddi bir enerji israfıdır. Çalışmada elde edilen veriler ışığında, bu tür ağır hizmet uygulamalarında doğrudan düşük nominal devirli motorların kullanılmasının sistemin enerji-kuvvet dönüşüm verimliliğini maksimize edeceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Du, G., Xia, H., Cai, J., Pan, H., & Sun, C. (2020). Liquefiable ground treatment using cruciform section probe resonant compaction method: A case study in the Xitong Expressway, Eastern China. *Advances in Civil Engineering*, 2020, Article 6564193.
- Duymazlar, O., & Gönenli, C. (2024). Analysis of the extrapolation capabilities of physics-informed neural networks on damped and undamped vibration cases. In M. Bozdemir (Ed.), *Makine mühendisliği* (ss. 198-214). YAZ Yayınları.
- Gönenli, C., Duymazlar, O., Ercan, E., & Aka, Ç. (2025). Design and application of a PLC-based vibratory stress relief system. In H. Gürbüz (Ed.), *Türkiye ve dünyada makine mühendisliği* (ss. 423-437). YAZ Yayınları.
- Gönenli, C., & Duymazlar, O. (2025). Impulse response of solid and cut-out plates supported by corner spring-damper systems. In B. Kılıç & S. A. Özdemir (Eds.), *Innovative applications and research methods in engineering sciences* (ss. 7-18). Platanus Publishing.
- Gönenli, C., & Duymazlar, O. (2024). Examination of natural frequencies depending on the location of damage on plates. In A. Bideci (Ed.), *Article and reviews in engineering sciences* (ss. 363-376). Platanus Publishing.
- Italvibras. (2004). Motovibrator selection guide. https://mb-projekt.eu/sites/default/files/2021-06/katalog%20aplikacji%20i%20dobor%C3%B3w%20Italvibras_%28EN%29.pdf
- Kahraman, A. (2021). Titreşime dayalı hareket eden çok bacaklı robotik ilerleme mekanizmasının deneysel incelenmesi (Yüksek lisans tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Kampa. (2026). Vibrasyon motorları kategorisi. <https://www.kampa.com.tr/kategori/vibrasyon-motorlari?marka=vibramod&tp=1&ozellikler=voltaj-6:380-volt-2>
- Kem-P. (2022). Trifaze ve monofaze elektrikli titreşim motorları kataloğu. <https://www.kem-p.com/wp-content/uploads/2022/12/kem-p-katalog-2022.pdf>

- Li, Y., Ren, T., Zhang, J., & Zhang, M. (2019). Synchronization of two eccentric rotors driven by one motor with two flexible couplings in a spatial vibration system. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, Article 2969687.
- Nazlım, O., & Taşkesen, A. (2023). Şekil hafızalı alaşımlar ile titreşim sönümleyici plak tasarımı. *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 124-137.
- Vedernikov, A. S., & Dunaev, D. I. (2021). Correction of the static characteristic of a frequency converter to reduce the amplitudes of resonance vibrations of the vibrating table. *Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta. Seriya Tehniceskie Nauki*, 29(2), 117-128.
- Vibramod. (2025). Endüstriyel titreşim motorları teknik kataloğu. <https://www.vibramod.com/wp-content/uploads/2025/01/Katalog-vibramod-2025.pdf>
- Wang, Y., & Luo, J. (2025). Analysis of the impact of shafting angle misalignment on the vibration characteristics of centrifugal pumps. *Physics of Fluids*, 37(5), Article 052111.

BÖLÜM 2

HİBRİT POLİMER KOMPOZİT MALZEMELERİN DELİNMELEİNDE KESME PARAMETRELERİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Murat KOYUNBAKAN¹, Zafer KAYA², Hüseyin YEŞİL³

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav-Kütahya, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2135-9648> Mail: murat.koyunbakan@dpu.edu.tr

² Mekatronik Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav-Kütahya, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5489-3997> Mail: zafer.kaya@dpu.edu.tr

³ İç Mekan Tasarımı Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav-Kütahya, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-6492> Mail: huseyin.yesil@dpu.edu.tr

1. Giriş

Kompozit malzeme, farklı türden iki ya da daha fazla malzemeden oluşur. Bu birleşme esnasında malzemeler birbiri içinde çözünmez ve birleşim makro ölçekte gerçekleşir. Bu malzemelerin üretilmesindeki amaç, malzemenin eksik ya da kusurlu taraflarının birbirlerinin iyi özellikleriyle kapatılmasıdır (İlhan & Feyzullahoğlu, 2019; Yanen & Solmaz, 2016). Kompozit malzemelerin üretimde ana bileşene matris denilirken, ikinci bileşen ise takviye malzemesi olarak adlandırılmaktadır (Çakır & Berberoğlu, 2018). 1900'li yılların ortalarından beri iyi performans gösteren ve hafif bileşenlere sahip fiber takviyeli tabakalı polimer kompozitler geliştirilmektedir (Azmi et al., 2012). Geliştirilme olanağına sahip yenilikçi mühendislik malzemeleri olarak fiber takviyeli tabakalı polimer kompozit malzemeler, kendilerine has spesifik özellikleri sebebiyle diğer mühendislik malzemelerinden üstün özelliklere sahiptirler (Nagarajan et al., 2013). Kompozit malzemelerin yüksek performansı ilk olarak havacılık ve savunma sektörlerinde kullanılmış ve daha sonra otomotiv, denizcilik, spor ekipmanları ve inşaat gibi diğer alanlara yayılmıştır. Mükemmel mekanik özellikleri ve çok yönlü kullanımları nedeniyle bu malzemeler mühendislikte en ilgi çekici ve yenilikçi türlerden biri haline gelmiştir (İsbilir & Ghassemieh, 2013). Kompozit malzemelerde kullanılan matris malzemelerinden biri epoksi reçinedir. Epoksi reçineler, mekanik özellikleri, kimyasallara karşı olan direnci ve farklı malzemelere güçlü bağlanma yeteneklerinden dolayı tercih edilmektedirler (De et al., 2024).

Epoksi reçineler, kürlendiğinde sert ve dayanıklı bir katı oluşturan termoset polimerlerdir. Takviye lifleriyle üstün arayüzey bağları sayesinde kompozit uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar ve böylece ortaya çıkan kompozit malzemenin mekanik özelliklerini ve yapısal bütünlüğünü artırır (Chi et al., 2022; Gonçalves et al., 2022; Hao et al., 2022). Epoksi reçinelerin işleme tekniklerindeki çok yönlülüğü ve belirli uygulamalara göre özelleştirilebilme kapasitesi, onları yüksek performanslı kompozit üretiminde tercih edilen bir seçenek haline getirmektedir (Kara et al., 2022; Polat et al., 2018). Karbon fiber takviyeli polimer kompozitler, korozyon direnci ve düşük termal genleşme gibi üstün mekanik özellikleriyle iyi bilinmektedir. Karbon fiber takviyeli polimer kompozit plakalar, havacılık ve uzay sanayilerinde, savunma, denizcilik, otomotiv, takım tezgâhları, ulaşım yapılarında, enerji üretiminde ve petrol ve gaz endüstrilerinde muazzam bir rol oynamaktadır. Uygulamalar, uygun aletler ve kesme parametreleri kullanılarak boyutsal doğruluk ve yüzey bütünlüğü de dahil olmak üzere yüksek kaliteli işlenmiş yüzeyler gerektirmektedir (Wang & Zhang, 2003). Matris malzemesini daha güçlü hale getirmek için iki ya da daha fazla takviye elemanın kullanıldığı çalışmalar son

zamanlarda sıklıkla yapılmaktadır (Aravind et al., 2021; Çakır & Berberoğlu, 2018; Zakaria et al., 2023; Zia et al., 2023). Karbon fiberler, yüksek mukavemet ve sertlik sunarken, yüksek maliyetli ve düşük darbe direncine sahiptir. Karbon fiberin bu dezavantajları, makul maliyetli ve yüksek kopma uzaması özelliklerine sahip olan cam fiberlerin eklenmesiyle aşılmaktadır. Farklı türde takviyeler ekleyerek tek takviyeli kompozitlerin eksikliklerini gidermek hibridizasyonun temelini oluşturur (Nagaraja et al., 2020).

İleri mühendislik malzemelerinin kullanıldığı uygulamalarda alternatif yeni bir malzeme olarak hibrit kompozitler ilgi çekici olmaktadır (İsbilir & Ghassemieh, 2013). Kompozit yapılar neredeyse nihai şekle göre üretilmek üzere tasarlanmış olsa da özellikle montaj için delme gibi ek son işleme operasyonları sıklıkla tercih edilmektedir (Durão et al., 2012). Delme işlemi, özellikle havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanılan kompozit yapılarda cıvatalı veya perçinli montajlar oluşturmak için yoğun olarak kullanılmaktadır (Abrão et al., 2008; El-Sonbaty et al., 2004). Bununla birlikte, fiber takviyeli polimer kompozitlerde delme işlemi; katman ayrışması, yapışma kaybı, delik büzülmesi ve lif çekilmesi gibi kompozit yapıların zarar görmesine yol açan ciddi kusurlara neden olabilir (Palanikumar et al., 2012; Rajakumar, I.P.T., Hariharan, Srikanth, P., 2013). Düşük itme kuvveti ve iyi delik kalitesi elde etmek ve katman ayrışmasını önlemek için optimum delme parametrelerinin seçilmesi çok önemlidir (Capello, 2004; Debnath et al., 2016) delme kaynaklı katman ayrışmasının, malzemenin ömrünü etkileyen birincil sorumlu arıza mekanizması olduğu bilinir (Mohan et al., 2007), ilerleme, kesme hızı ve tabaka kalınlığı gibi delme parametrelerinin delaminasyon arızasının ana parametreleri olduğunu göstermiştir. Fiber takviyeli polimer kompozitlerin işlenebilirliği üzerine çok fazla çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda kesme parametrelerinin, matkap malzemelerinin ve geometrilerinin katman ayrışması, yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ünüvar ve ark. (Ünüvar et al., 2022) katkılı ve katkısız cam fiber takviyeli polimer kompozitlerin delinmelerinde işleme parametrelerinin katman yarışması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İlerleme hızına bağlı olarak düşük ilerleme ile daha az deformasyon oluştuğunu söylemişlerdir. Bunun gibi sonuçlar diğer çalışmalarda da bulunmuştur (Davim et al., 2004; Gupta et al., 2022; Mohan et al., 2007).

Matkap geometrisi fiber takviyeli polimer kompozit malzemelerin delinirken oluşan deformasyonların üzerinde kesme parametreleri kadar etki eder. Can ve Ünüvar, farklı matkap uç açıları ile delme yaparak bunu göstermiştir. Matkap geometrisi ve itme kuvvetleri açısından deformasyonu incelemişlerdir (Can & Ünüvar, 2017). Abrao ve diğerleri, cam fiber takviyeli polimer kompoziti farklı kesici takım geometrisi ve takım malzemeleri ile delerek oluşan itme

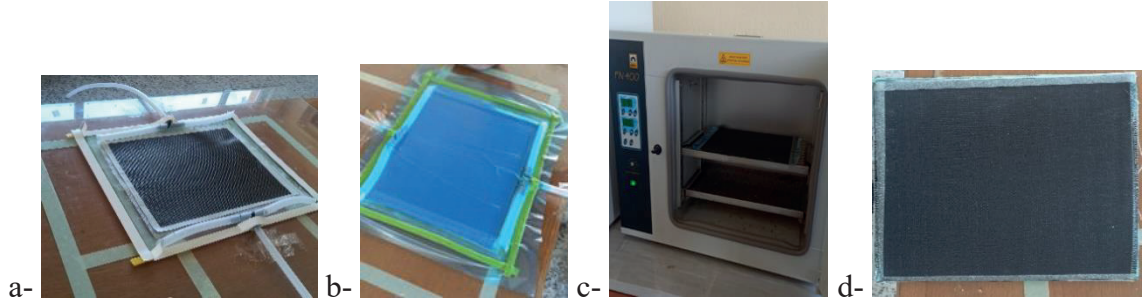
kuvveti ve delemantasyonu araştırmışlardır. Düşük uç açısını verimli bulmuşlardır (Abrão et al., 2008). Koyunbakan ve ark. (Koyunbakan et al., 2021), cam fiber takviyeli polimer kompoziti ağaç matkabı ile delerek oluşan itme kuvvetlerini ve meydana gelen katman ayrışmasına kesme parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Kaya ve ark. (Kaya et al., 2025), bor nitrür nanoplateletlerinin (BNNP) cam ve aramid liflerle güçlendirilmiş hibrit polimer kompozitlerin mekanik performansı ve işlenebilirliği üzerindeki etkilerini incelediler. Değişken kesme koşulları ve parametreleriyle yaptıkları delme denemelerinde hem itme kuvvetlerini hem de meydana gelen tabaka ayrılmasını değerlendirdiler. Prasanth ve ark. (Prasanth et al., 2024), cam ve karbon hibrit epoksi kompozitlerin frezelenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ile katman ayrışması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Köklü ve ark., cam ve karbon fiber takviyeli kompozit malzemede iki farklı devir sayısı ve ilerleme parametresini kullanarak yapılan deneylerde itme kuvvetini ve katman ayrılmasını incelemişlerdir. İlerlemenin sonuçlar üzerinde etkin bir parametre olduğunu bulmuşlardır.

Bu çalışmada E cam fiber ve karbon fiber kumaşlar özdeş olarak temin edilmiştir. Bu iki kumaşın epoksi reçine kullanılarak hibrit kompozit oluşturma fikri çalışmanın ana motivasyonunu oluşturmuştur. Üretilen polimer hibrit kompozit plakanın işlenebilirlik özellikleri, farklı kesme parametreleri ve matkap uçları kullanılarak gerçekleştirilen delme deneyleri ile incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Bu çalışmada, Dost Kimya firmasından temin edilen 200 g/m² ağırlığına sahip, düz dokuma (plain weave) Karbon ve E Cam kumaşlar kullanılmıştır. Hibrit polimer kompozitin üretilmesinde Hexion MGS L285 epoksi reçine ve Hexion H287 sertleştirici tercih edilmiştir. Vakum Destekli Reçine Transfer (VARTM) yöntemi kullanılarak plaka üretilmiştir. Epoksi reçine/sertleştirici karışımı ağırlıkça 60:40 oranındadır. Vakum işlemi tüm kumaşlar ıslandıktan sonra durdurulmuş ve oda sıcaklığında 24 saat kürlenmiştir. Daha sonra sağlayıcı firmanın tavsiyesi üzerine 80 °C sıcaklıkta 16 saat boyunca ikinci kürleme işlemi yapılmıştır. Üretilen plakanın kalınlığı 2,2 mm'dir. Üretim aşamaları ve elde edilen plaka Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. a-Serilen kumaşlar, b-Vakum torbasına alma, c-FN 400 Etüv Fırını d-Kürlenen hibrit kompozit plaka

Çekme deney numuneleri ASTM D3039 standartına göre hazırlanmıştır. Numuneler 100 kN kapasiteye sahip Zwick/Roell Z100 model üniversal test makinesi kullanılarak 2 mm/dk sabit çene hızında çekme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 2). Çekme deneyleri 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Üretilen hibrit plakanın çekme deneyi sonucunda elde edilen ortalama mekanik test sonuçları Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Çekme Deneyi Sonuçları

Elastisite Modülü (GPa)	40.54
Çekme Dayanımı (MPa)	449.53
Kopma Uzaması (%)	1.21



Şekil 2. Çekme Testi Cihazı

2.2. Delme Deneyleri

Deneylerde farklı kesme parametreleri ve matkap uçları kullanılmıştır. Bunlar Tablo 2’de verilmiştir. Kesme parametreleri belirlenirken literatür göz önünde bulundurulmuştur (Fedai, 2024; Kilickap, 2010; Nagarajan et al., 2013). Standart karbür ve HSS matkap uçlarının yanı sıra ağaç matkabı da araştırmaya dahil edilmiştir. Delme işlemleri maksimum 18000 devir/dakikada çalışabilen Skilled 2040 CNC takım tezgahında ve soğutma sıvısı olmadan gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Karbür ve HSS matkap uçları Makine Takım Endüstrisi-Türkiye firmasından alınmıştır. Ağaç matkabı olarak Craftotomat marka uç tercih edilmiştir. Tüm matkap uçlarının çapları 6 mm’dir. Her deney için yeni bir matkap ucu kullanılmıştır.

Tablo 2. Kesme Parametreleri

Kesme Parametreleri			
Devir Sayısı (dev/dk)	2500	---	---
İlerleme (mm/dev)	0.05	0.075	0.1
Matkap ucu	Karbür	HSS	Ağaç Matkabı

Minitab 17 programı kullanılarak deney tasarımı yapılmıştır. Seçilen L27 ortogonal tasarım Tablo 3’te verilmiştir.

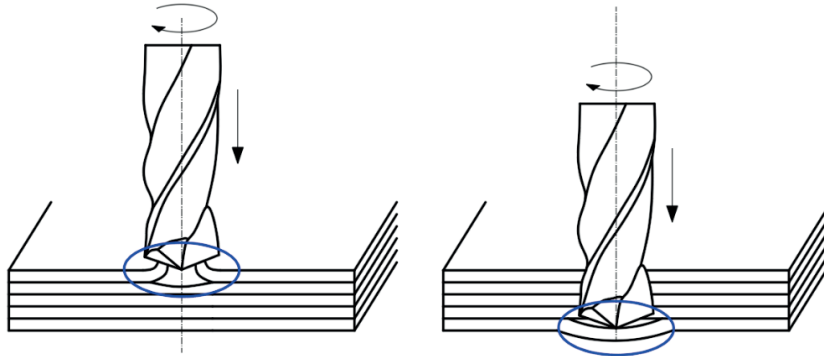
Tablo 3. Deney Tasarımı

Deney No	İlerleme (mm/dev)	Matkap Ucu	Deney No	İlerleme (mm/dev)	Matkap Ucu
1	0.050	Karbür	15	0.075	HSS
2	0.050	Karbür	16	0.075	Ağaç Matkabı
3	0.050	Karbür	17	0.075	Ağaç Matkabı
4	0.050	HSS	18	0.075	Ağaç Matkabı
5	0.050	HSS	19	0.100	Karbür
6	0.050	HSS	20	0.100	Karbür
7	0.050	Ağaç Matkabı	21	0.100	Karbür
8	0.050	Ağaç Matkabı	22	0.100	HSS
9	0.050	Ağaç Matkabı	23	0.100	HSS
10	0.075	Karbür	24	0.100	HSS
11	0.075	Karbür	25	0.100	Ağaç Matkabı
12	0.075	Karbür	26	0.100	Ağaç Matkabı
13	0.075	HSS	27	0.100	Ağaç Matkabı
14	0.075	HSS			



Şekil 3. Skilled 2040 CNC takım tezgahı

Fiber takviyeli polimer kompozitlerin delerken alt ve üst yüzeylerde meydana gelen hasar mekanizması ve delaminasyon şematik olarak Şekil 4’te verilmiştir. Deformasyon, plakanın alt ve üst kısımlarında matkap ucunun etkisiyle doğal renginden beyaza doğru dönüşen bölgedir. Bu bölge bir tahribatsız muayene tekniği olan deformasyon faktörünün belirlenmesi ile tespit edilir. Delaminasyon faktörü, en büyük hasar çapının matkap çapına oranıyla belirlenir (Kaya et al., 2024).

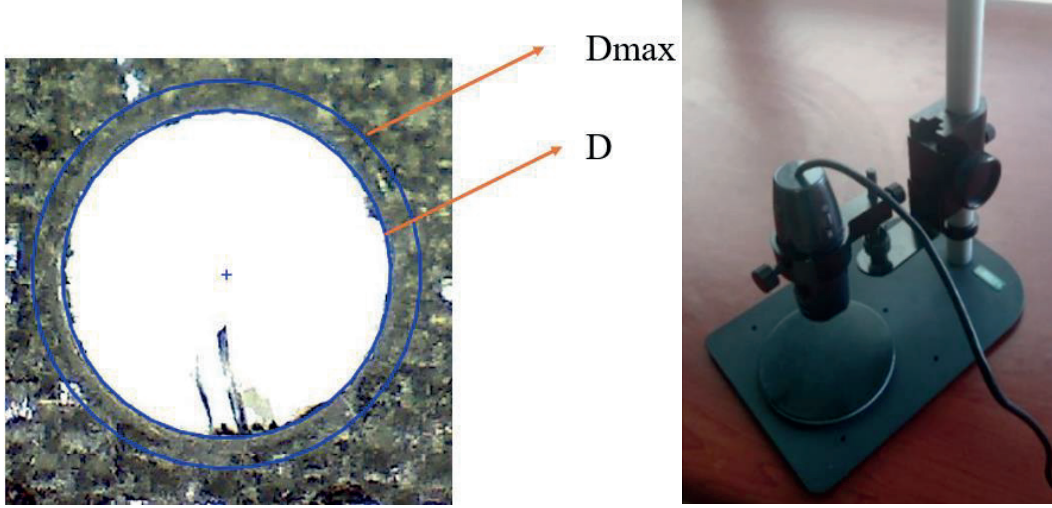


Şekil 4. Katman ayrılması oluşumundaki mekanizmanın şematik resmi (Kaya et al., 2024).

Matkap ucunun giriş ve çıkış yüzeylerinde oluşturduğu hasar Insize ISM-PM 200SB marka optik mikroskop ile fotoğraflanmıştır. Deformasyon faktörü aşağıda verilen Denklem 1 ile hesaplanmıştır. Burada; F_D -deformasyon faktörü, D_{max} - maksimum hasar çapı, D ise matkap

çapıdır (Kilickap, 2010). Kullanılan optik mikroskop ve deformasyon faktörünün bulunması için örnek bir resim Şekil 5'te verilmiştir.

$$F_D = \frac{D_{max}}{D} \quad (1)$$



Şekil 5. Deformasyon faktörünün bulunması ve optik mikroskop

3. Bulgular ve Tartışma

Polimer tabakalı kompozitlerin delinmelerinde kesme parametrelerinin etkileri biliniyor; ancak matkap geometrilerinin ve malzemelerin etkileri için benzer bir şey söylemek zordur (Gemi et al., 2019). Bu çalışmada, 120° uç açısına sahip karbür ve 118° uç açısına sahip HSS matkap uçlarının yanı sıra iğne uçlu yüksek alaşımlı çelikten yapılmış ağaç matkabı farklı kesme parametreleri kullanılarak Tablo 3'teki deney tasarımına uygun olarak delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda kompozit plakada matkap ucunun giriş ve çıkış yüzeylerinde delaminasyon meydana gelmiş ve ölçülmüştür. Ölçülen tüm deformasyon faktörleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Deformasyon Faktörleri

Deney No	Giriş	Çıkış	Deney No	Giriş	Çıkış
1	1.08953	1.08759	15	1.13692	1.13487
2	1.09996	1.10044	16	1.15018	1.20910
3	1.09246	1.11286	17	1.16019	1.20124
4	1.11527	1.11839	18	1.15360	1.18980
5	1.11514	1.11954	19	1.11621	1.13232
6	1.12329	1.12962	20	1.11268	1.10697
7	1.14216	1.17390	21	1.12034	1.12224
8	1.15416	1.14371	22	1.13177	1.15606
9	1.14861	1.15655	23	1.12912	1.16026
10	1.12253	1.13607	24	1.12791	1.15744
11	1.12183	1.13363	25	1.14208	1.19496
12	1.12436	1.13464	26	1.13817	1.18613
13	1.13978	1.14129	27	1.13813	1.19792
14	1.13051	1.13398			

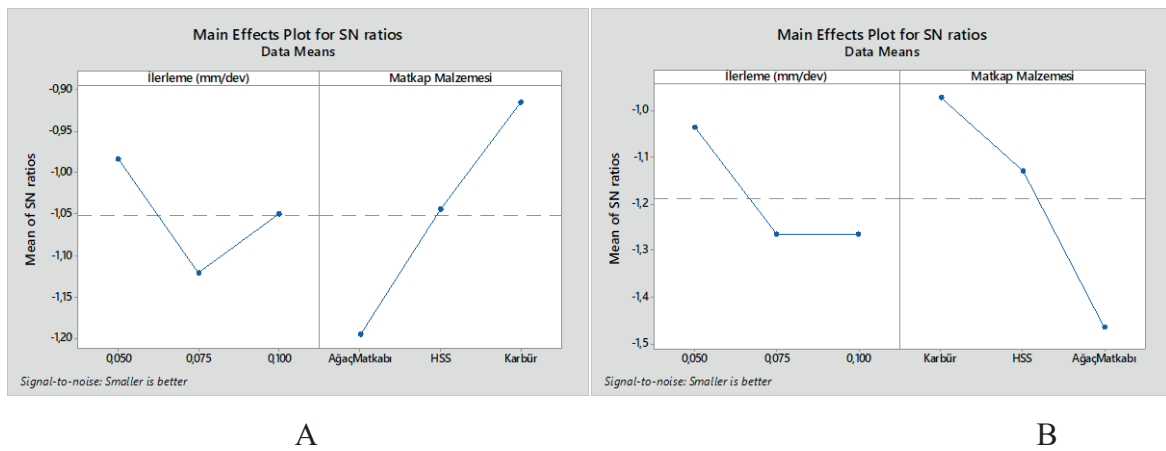
Deformasyon faktörü sonuçları, ilerleme ve matkap ucunun giriş ve çıkış deformasyon faktörleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gösteriyor. Taguchi yöntemi, en uygun işlem parametrelerini tespit etmek için Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir. Taguchi yöntemi, üç yöntemi birleştirerek sonuca ulaşır: ortogonal deney tasarımı, sinyal-gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA). Ortogonal deney tasarımında, tüm parametre uzayı taranarak minimum sayıda deneyle özel bir tasarım oluşturulur. Ortogonal deney tasarımına göre planlanan deneylerden elde edilen sonuçlar, S/N oranına dönüştürülerek analiz edilir. S/N oranı, gerekli değerlerin performans özelliklerini ölçmek için kullanılır. S/N oranı, "(S/N)SB, ne kadar küçükse o kadar iyi"; "(S/N)LB, ne kadar büyükse o kadar iyi"; ve "(S/N)NB, nominal değer en iyisidir" gibi üç ana performans özelliğine bağlı olarak belirlenir. ANOVA, işlem parametrelerinin performans özellikleri üzerindeki istatistiksel önem derecesini bulmak için kullanılır (Ünüvar et al., 2022). Kompozit malzemeler delindiğinde deformasyon faktörünün az olması gerekir, S/N oranı için “daha küçük-daha iyisi” performans özelliği seçilmiştir. S/N oranlarının hesaplanmasında kullanılan Denklem (2) aşağıda verilmiştir (Kaçal & Gülesin, 2011).

$$S/N_{SB} = \eta = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

İstatistiksel analizler, Taguchi yöntemine uygun olarak Minitab 17 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 5’te, S/N oranı için yanıt tablosu verilmiştir. Her parametre için, daha yüksek S/N oranı değerleri, faktörlerin optimum kombinasyonunu gösterir (Kaçal & Gülesin, 2011; Valarmathi et al., 2013). Şekil 6’da giriş ve çıkış deformasyon faktörlerinin S/N oranları için ana etki grafikleri verilmiştir. Varyans analizi ile kesme parametrelerinin sonuçlara olan katkıları bulundu. Tablo 6’da S/N oranı için varyans analizi tablosu gösterilmektedir. Giriş ve çıkış deformasyon faktörleri açısından ilerlemenin ve matkap malzemesinin birinci seviyeleri optimum faktörlerdir. Cam ve karbon fiber takviyeli hibrit epoksi polimer kompozit malzemelerinin farklı matkap malzemeleri ve geometrileri ile delinmelerinde 3 seviye ilerleme ve matkap malzemesi için minimum değerleri “daha küçük daha iyidir” kuralına göre, giriş için karbür matkap ucu kullanılarak 0,05 ilerleme ile 1,08953 olarak elde edilmiştir. Çıkış için de aynı parametrelerde 1,08759 olarak tespit edilmiştir. Giriş ve çıkış deformasyon faktörlerine en büyük katkıyı sırasıyla %72,49 ve %74,71 ile matkap malzemesi yapmıştır.

Tablo 5. S/N oranı için cevap tablosu

Seviye	Giriş Deformasyon Faktörü		Çıkış Deformasyon Faktörü	
	İlerleme	Matkap Malzemesi	İlerleme	Matkap Malzemesi
1	-0.9832	-1.1948	-1.0365	-0.9725
2	-1.1205	-1.0441	-1.2651	-1.1302
3	-1.0497	-0.9146	-1.2651	-1.4640
Fark	0.1373	0.2802	0.2286	0.4915
Önem Derecesi	2	1	2	1



Şekil 6. Giriş ve Çıkış Deformasyon Faktörlerinin S/N Oranları İçin Ana Etki Grafikleri

(A) Giriş için, (B) Çıkış için

Tablo 6. S/N oranı için varyans analizi tablosu

Kaynak	SD	Kareler Toplamı		Ortalama Kareler		F-Oranı		% Katkı	
		GDF	ÇDF	GDF	ÇDF	GDF	ÇDF	GDF	ÇDF
İlerleme	2	0.02829	0.10449	0.014146	0.052246	3.43	8.93	17.37	20.65
Matkap Malzemesi	2	0.11802	0.37793	0.059010	0.188967	14.33	32.31	72.49	74.71
Hata	4	0.01647	0.02339	0.004119	0.005849				
Toplam	8	0.16279	0.50582						

SD: Serbestlik derecesi, GDF: Giriş Deformasyon Faktörü, ÇDF: Çıkış Deformasyon Faktörü

4. Sonuçlar

Cam ve karbon fiber takviyeli hibrit polimer kompozit malzemenin farklı matkap uçları ile delinmelerinde kesme parametrelerinin giriş ve çıkış deformasyon faktörleri üzerindeki etkileri incelemek için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler sonuçlar üzerinde nasıl etki ettiğinin analizi için Taguchi metodu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- İlerlemenin ve matkap ucunun değişimi deformasyon faktörlerini etkilemektedir. Düşük ilerleme değerleri ile daha az deformasyon elde edilmektedir.
- Giriş ve çıkış en düşük deformasyon faktörleri karbür matkap ucu kullanılarak 0,05 ilerleme ile sırasıyla 1,08953 ve 1,08759 olarak elde edilmiştir.
- İlerlemenin düşük alınması literatürde uyumludur.
- Minimum delinme deformasyonu için hibrit malzemenin delinmesinde karbür matkap malzemesi daha uygun görülmüştür.
- Ağaç matkabının sahip olduğu geometriden dolayı deformasyon faktörleri daha fazla çıkmaktadır. Özellikle çıkış bölgesinde matkap ucunun son tabakayı patlatarak çıktığı düşünülmektedir.
- Taguchi analizi sonuçlar için uygun bir teknik olarak uygulanabilmektedir.

Kaynaklar

- Abrão, A. M., Rubio, J. C. C., Faria, P. E., & Davim, J. P. (2008). The Effect of Cutting Tool Geometry on Thrust Force And Delamination When Drilling Glass Fibre Reinforced Plastic Composite. *Materials & Design*, 29(2), 508–513. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2007.01.016>
- Aravind, M., Ahmad, A., Ahmad, I., Amalanathan, M., Naseem, K., Mary, S. M. M., Parvathiraja, C., Hussain, S., Algarni, T. S., Pervaiz, M., & Zuber, M. (2021). Critical Green Routing Synthesis of Silver NPs Using Jasmine Flower Extract For Biological Activities and Photocatalytical Degradation of Methylene Blue. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104877. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104877>
- Azmi, A. I., Lin, R. J. T., & Bhattacharyya, D. (2012). Experimental Study of Machinability of GFRP Composites by End Milling. *Materials and Manufacturing Processes*, 27(10), 1045–1050. <https://doi.org/10.1080/10426914.2012.677917>
- Çakır, M., & Berberoğlu, B. (2018). E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış İle Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(3), 734–740. <https://doi.org/10.31202/ecjse.415482>
- Can, A., & Ünüvar, A. (2017). Optimization of Process Parameters in Drilling of SMC Composites Using Taguchi Method. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 24(2), 435. <https://doi.org/10.17559/TV-20160103215256>
- Capello, E. (2004). Workpiece Damping And Its Effect on Delamination Damage in Drilling Thin Composite Laminates. *Journal of Materials Processing Technology*, 148(2), 186–195. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(03\)00812-4](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00812-4)
- Chi, H., Zhang, G., Wang, N., Wang, Y., Li, T., Wang, F., & Ye, C. (2022). Enhancing The Mechanical Strength And Toughness of Epoxy Resins with Linear POSS Nano-Modifiers. *Nanoscale Advances*, 4(4), 1151–1157. <https://doi.org/10.1039/D1NA00757B>
- Davim, J. P., Reis, P., & António, C. C. (2004). Experimental Study of Drilling Glass Fiber Reinforced Plastics (GFRP) Manufactured by Hand Lay-Up. *Composites Science and Technology*, 64(2), 289–297. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00253-7](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00253-7)

- De, B., Bera, M., Bhattacharjee, D., Ray, B. C., & Mukherjee, S. (2024). A Comprehensive Review on Fiber-Reinforced Polymer Composites: Raw Materials to Applications, Recycling, And Waste Management. *Progress in Materials Science*, 146, 101326. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2024.101326>
- Debnath, K., Sisodia, M., Kumar, A., & Singh, I. (2016). Damage-Free Hole Making in Fiber-Reinforced Composites: An Innovative Tool Design Approach. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(10), 1400–1408. <https://doi.org/10.1080/10426914.2016.1140191>
- Durão, L. M. P., Gonçalves, D. J. S., Tavares, J. M. R. S., De Albuquerque, V. H. C., & Marques, A. T. (2012). Comparative Analysis of Drills for Composite Laminates. *Journal of Composite Materials*, 46(14), 1649–1659. <https://doi.org/10.1177/0021998311421690>
- El-Sonbaty, I., Khashaba, U. A., & Machaly, T. (2004). Factors Affecting The Machinability of GFR/Epoxy Composites. *Composite Structures*, 63(3–4), 329–338. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00181-8](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00181-8)
- Fedai, Y. (2024). Karbon Nano Tüp Katkılı Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin Delme Parametrelerinin Taguchi Tabanlı Critic-Cocoso Yöntemleriyle Optimizasyonu. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 729–750. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1393126>
- Gemi, L., Morkavuk, S., Köklü, U., & Gemi, D. S. (2019). An Experimental Study on The Effects of Various Drill Types on Drilling Performance of GFRP Composite Pipes And Damage Formation. *Composites Part B: Engineering*, 172, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.023>
- Gonçalves, F. A. M. M., Santos, M., Cernadas, T., Alves, P., & Ferreira, P. (2022). Influence of Fillers on Epoxy Resins Properties: A Review. *Journal of Materials Science*, 57(32), 15183–15212. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-07573-2>
- Gupta, A., Vaishya, R., Kumar, R., Khan, K. L. A., Chhabra, S., Singh Verma, A., & Bharadwaj, A. (2022). Effect of Drilling Process Parameters on Delamination Factor in Drilling of Pultruded Glass Fiber Reinforced Polymer Composite. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1290–1294. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.110>

- Hao, J., Li, J., Shi, X., He, P., Shi, W., & Tan, Y. (2022). Changes in Microstructure And Mechanical Properties of The Carbon Fiber And Their Effects on C/SiC Composites. *Materials Characterization*, 193, 112334. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.112334>
- İlhan, R., & Feyzullahoğlu, E. (2019). Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) Kompozit Malzemelerde Kullanılan Doğal Elyaflar ve Dolgu Maddeleri. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2), 355–381. <https://doi.org/10.31202/ecjse.519072>
- Isbilir, O., & Ghassemieh, E. (2013). Numerical Investigation of The Effects of Drill Geometry on Drilling Induced Delamination of Carbon Fiber Reinforced Composites. *Composite Structures*, 105, 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.04.026>
- Kaçal, A., & Gülesin, M. (2011). Determination of Optimal Cutting Conditions in Finish Turning of Austempered Ductile Iron Using Taguchi Design Method. *Journal Of Scientific & Industrial Research*, 70(4), 278–283.
- Kara, M., Tatar, A. C., Kırıcı, M., Kepir, Y., Gunoz, A., & Avcı, A. (2022). Effects of Extreme Low Temperatures on The Impact Behavior of Boron Nitride Nanofillers Added Carbon Fiber/Epoxy Composite Tubes. *Journal of Composite Materials*, 56(30), 4635–4644. <https://doi.org/10.1177/00219983221136278>
- Kaya, Z., Koyunbakan, M., & Akansel, U. (2025). Investigation of Aramid Fiber, Glass Fiber, and Boron Nitride Nanoplate (BNNP) Structures in Terms of Hybridization, Mechanical, Hardness, and Drillability. *Polymers for Advanced Technologies*, 36(4), 1–24. <https://doi.org/10.1002/pat.70185>
- Kaya, Z., Mumcu, H., & Koyunbakan, M. (2024). S-Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozitlerin Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 5(3), 214–223. <https://doi.org/10.52795/mateca.1549461>
- Kilickap, E. (2010). Optimization of Cutting Parameters on Delamination Based on Taguchi Method During Drilling of GFRP Composite. *Expert Systems with Applications*, 37(8), 6116–6122. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.02.023>
- Koyunbakan, M., Ünuvar, A., Eskizeybek, V., & Avcı, A. (2021). CETP Kompozitlerin Ağaç Matkabıyla Delinme Performanslarının Deneysel İncelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 770–776. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.830262>

- Mohan, N. S., Kulkarni, S. M., & Ramachandra, A. (2007). Delamination Analysis in Drilling Process of Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP) Composite Materials. *Journal of Materials Processing Technology*, 186(1–3), 265–271. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.12.043>
- Nagaraja, K. C., Rajanna, S., Prakash, G. S., Koppad, P. G., & Alipour, M. (2020). Studying The Effect of Different Carbon and Glass Fabric Stacking Sequence on Mechanical Properties of Epoxy Hybrid Composite Laminates. *Composites Communications*, 21, 100425. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100425>
- Nagarajan, V. A., Sundaram, S., Thyagarajan, K., Selwin Rajadurai, J., & Rajan, T. P. D. (2013). Measuring Delamination Severity of Glass Fiber-Reinforced Epoxy Composites During Drilling Process. *Experimental Techniques*, 37(2), 66–73. <https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2012.00809.x>
- Palanikumar, K., Latha, B., Senthilkumar, V. S., & Davim, J. P. (2012). Analysis on Drilling of Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Composites Using Grey Relational Analysis. *Materials and Manufacturing Processes*, 27(3), 297–305. <https://doi.org/10.1080/10426914.2011.577865>
- Polat, S., Avci, A., & Ekrem, M. (2018). Fatigue Behavior of Composite to Aluminum Single Lap Joints Reinforced with Graphene Doped Nylon 66 Nanofibers. *Composite Structures*, 194, 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.04.043>
- Prasanth, I. S. N. V. R., Chandra Shekar, K., Raju, V. P., & Sridhar Babu, B. (2024). An Exploratory Study of the Surface Integrity of Various FRP Composites in Face Milling Operation. *Archives of Metallurgy and Materials*, 4, 1601–1610. <https://doi.org/10.24425/amm.2024.151431>
- Rajakumar, I.P.T., Hariharan, Srikanth, P., I. (2013). A Study on Monitoring The Drilling of Polymeric Nanocomposite Laminates Using Acoustic Emission. *J Compos Mater*, 47(14), 1773–1784.
- Ünüvar, A., Koyunbakan, M., & Bagci, M. (2022). Optimization And Effects of Machining Parameters on Delamination in Drilling of Pure And Al₂O₃/SiO₂-Added GFRP Composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119(1–2), 657–675. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08258-x>

- Valarmathi, T. N., Palanikumar, K., & Latha, B. (2013). Measurement And Analysis of Thrust Force in Drilling of Particle Board (PB) Composite Panels. *Measurement*, 46(3), 1220–1230. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.11.024>
- Wang, X. M., & Zhang, L. C. (2003). An Experimental Investigation into The Orthogonal Cutting of Unidirectional Fibre Reinforced Plastics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(10), 1015–1022. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00090-7](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00090-7)
- Yanen, C., & Solmaz, M. Y. (2016). Tabakalı Hibrit Kompozitlerin Bireysel Zırh Malzemesi Olarak Üretimi Ve Balistik Performanslarının İncelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(2), 351–362.
- Zakaria, N. A., Ishak, M. R., Mustapha, F., & Yidris, N. (2023). Tensile Properties of A Hybrid Kenaf-Glass Fibre Composite Shaft. *Materials Today: Proceedings*, 74, 492–498. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.016>
- Zia, A. A., Tian, X., Zhang, M., Huang, Y., Wu, L., Ghouri, M. A., Zhou, J., Kang, Y., & Li, D. (2023). Tailorable Mechanical And Energy Absorption Behaviors of 3D Printed Continuous Hybrid Fiber Reinforced Composites. *Polymers for Advanced Technologies*, 34(9), 2879–2889. <https://doi.org/10.1002/pat.6112>

BÖLÜM 3

CAD MODELLERİNDEN UNSUR TANIMLAMA VE STEP-NC UYUMLU ZEKİ BİR PROSES PLANLAMA SİSTEMİ

Murat KOYUNBAKAN¹, Yusuf ŞAHİN², Ali ÜNÜVAR³

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav-Kütahya, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2135-9648> Mail: murat.koyunbakan@dpu.edu.tr

² Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7333-208X> Mail: ysahin@ohu.edu.tr

³ İstanbul Ticaret Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7285-1531> Mail: aunuvar@ticaret.edu.tr

1. Giriş

Tasarım ve üretim konularında dijital teknolojiler kullanılarak problem çözümlerinin hızla yapılabilirdiği bir çağda yaşıyoruz. Üreticiler, daha fazla ürün çeşitliliği, artan ürün kalitesi ve daha kısa sürede üretim gibi müşteri isteklerini karşılayabilmek için daha fazla dijital üretime yönelmektedirler (Sivakumar et al., 2019; Zhang et al., 2018).

Toplam üretim zamanının azaltılması ve kalitenin artırılmasında proses planlama için bilgisayar teknolojisinin kullanımı yaklaşık kırk yıl önce başlamıştır ve Bilgisayar Tümlşik İmalat (Computer-Integrated Manufacturing, CIM) için bilgisayar destekli proses planlaması (CAPP) anahtar bir teknoloji olarak görülmektedir (Yusof & Latif, 2014). Öte yandan, proses planlama, operasyon sıralaması, kesici takım seçimi, işleme özelliği tespiti ve takım tezgahı seçimini içeren çok çeşitli süreç bilgilerini kapsayan zor bir iştir (Kutin et al., 2018).

İş parçası geometrisinin ve proses uzmanlığının genel karmaşıklığından dolayı farklı bileşenlerden oluşan parçaların proses planlamaları manuel olarak yapıldığından zaman almaktadır. Üretim sürecinde farklı bileşenlerin tasarımı çeşitli tesislerde ve bireysel sağlayıcılar tarafından sağlanmaktadır. Bu nedenle tasarım aşamasında ürün modellerinin tasarımında bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerinin uyumlu olması gerekir. CAD/CAM (bilgisayar destekli üretim) entegrasyonu ve iyi yapılandırılmış ve sürdürülebilir bir CAPP sistemi, üretim sürecinin verimliliğini önemli ölçüde artırabilir ve endüstri ihtiyaçlarına hızla uyum sağlayabilir (Malleswari & Pragvamsa, 2023).

Her bilgisayar destekli sistem, bilgi modeli olarak yaygın olarak tutulabilen ürün verilerini gerektirir. Bu nedenle, ürün verisi çıkarma, entegre üretim ortamı için bir bilgi modeli geliştirmek için önemli bir rol oynar. CAD modeli, proses planlama, NC kod oluşturma, montaj planlama, muayene vb. gibi çeşitli alt akış uygulamaları için kullanılabilen ürün tanımlama verilerini içerir (Sivakumar et al., 2019).

CAD/CAM sistemleri arasında iletilecek en önemli veri unsurdur. Üretim alanında unsurlar, delikleri, kanalları, yuvaları vb. özellikleri tanımlamak için kullanılır. Tasarım terimlerinde 2D yada 3D varlıklar olarak tanımlanan bu unsurlar proses planlama açısından düşük seviye bilgi içermektedir (Venu & Komma, 2017). CAD/CAM entegrasyonu için yapılan çalışmalarda genellikle iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar unsurlar yoluyla tasarım ve unsur tanımlamadır. Unsur tanımlama, geleneksel geometrik modellerden ya da IGES, STEP gibi bağımsız veri formatları kullanılarak unsurların tanımlanmasını kapsar. Unsur tanımlama

yaklaşımı, unsurlar yoluyla tasarımın sahip olduğu bazı sınırlamalardan uzak olmakla birlikte geometrik modelin oldukça karmaşık bir analizini gerektirir (Ismail et al., 2004).

Bir parçanın CAD modelinden geometrik unsurların çıkarılmasında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birinci yaklaşım, parçanın tasarlandığı CAD yazılımının API'sinin kullanımını kapsar. Diğerinde ise, parçanın CAD modeli tarafsız bir veri formatında bir dosya olarak (STEP, IGES, ACIS vb.) yazılımdan alınmaktadır ve bu dosya şekil unsurlarının çıkarılması için uygun bir parça temsil formatına dönüştürülmektedir. Bu dönüşüm; C++, Prolog vb. programlama dillerinde yazılmış kullanıcı arayüzü programı ile yapılmaktadır (Babic et al., 2008).

Planlama, kısıtlar ve sınırlı kaynaklarla önceden belirlenen bir hedefe ulaşmayı amaçlayan çok yönlü bir sorunu çözme yöntemidir (Law et al., 2001). İmalatta işlem planlaması ise, bir parçanın tasarımının imalat yöntemlerine nasıl dönüştürüleceğinin tanımlanmasıdır (Çelik, 2004). Bilgisayar destekli proses planlama (BDPP), ham malzemeden son/nihai ürüne kadar ki teknolojik kaynakları ve operasyonları tasarım isteklerine bağlı olarak nasıl uygulanacağını tanımlanmasıdır (Nonaka et al., 2013). Genişletilebilir, iyi yapılandırılmış ve sürdürülebilir bir BDPP sistemi, imalat sürecinin verimliliğini önemli ölçüde artırabilir, endüstriyel ihtiyaçlara hızla uyum sağlayabilir ve işlevsel bir sistem oluşturulmasına olanak tanır (Malleswari & Pragvamsa, 2023).

İmalat endüstrisinde bilgisayar ve iletişim teknolojilerinin kullanılması ile eş zamanlı mühendislikte CAD ve CAM, manuel ve yarı otomatik yöntemlerle yer değiştirmektedir. Son yıllarda oldukça farklı CAx sistem geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu sistemlerin çoğu tam bir takım yoluyla görsel CNC işleme simülasyonu yapabilmekte ve ürün yaşamının pek çok evresi için bilgisayar desteği sağlamaktadır. 1947'de ilk NC tezgâhın tanıtılmasından beri, çeşitli proses planlama paketleri geliştirilmektedir. Bunlar parça verilerinin daha güvenilir yorumlanabilmesinde kullanılan yeni sistem yaklaşımlarıdır. Bugüne kadar dünya çapında 2000'den fazla CNC tezgâh ve kontrol ünitesi kombinasyonu ortaya çıkmıştır (Yusof & Case, 2010).

Liu ve ark. göre (Liu et al., 2006), küresel endüstriyel çağda daha akıllı, iyi bağlantılı, geniş çapta erişilebilir, daha uyarlanabilir ve daha otonom olan yeni nesil takım tezgahlarına ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, CAD/CAM sistemleri ile CNC makineleri arasında ürün verisi entegrasyonu ve birlikte çalışabilirlik eksikliği vardır. Günümüzün takım tezgahları, çok eksenli kontrol, uyarlamalı kontrol, hata kompanzasyonu ve çok işlemli iş istasyonları gibi gelişmiş

özellikler içermesine rağmen, CNC kontrol üniteleri G kodları olarak bilinen ISO 6983 eski moda programlama diline dayalı olmaya devam etmektedir. Eksen hareketlerini sadece G-kodları ve makine fonksiyonlarını M-kodları olarak tanımlayan bu düşük seviyeli dil, süreç bilgisinin kendisiyle ilgilenmeden CNC sistemlerinin birlikte çalışabilirliğini, esnekliğini ve zekasını geliştirmenin önündeki en büyük engeldir. STEP-NC (Standard for the Exchange of Product model data - Numerical Control), G kodunun mevcut dezavantajlarının üstesinden gelebilecek potansiyele sahiptir. STEP-NC, sadece takım yolu bilgilerini değil, aynı zamanda ürün, süreç, kaynak ve kontrol ile ilgili tüm bilgileri G kodunun aksine temsil eden üst düzey bir veri modeli sağlar (Yusof & Case, 2010) .

CAD ortamından alınan veriden imalat unsurlarının tanımlanması için farklı sistemler geliştirilmiştir. Çiçek ve Gülesin (Çiçek & Gülesin, 2013), CAD ve CAM entegrasyonunu desteklemek amacıyla uzman sistem tabanlı bir parça tanımlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Sistem giriş verisi olarak parçanın STEP dosyasını kullanmaktadır. Nasr ve diğerleri (Nasr et al., 2014); parça verisinin STEP dosyasından çıkarıldığı, nesne yönelimli yaklaşımın kullanıldığı bir otomatik unsur tanımlama sistemini C++ programlama dili kullanılarak geliştirmişlerdir. 3 boyutlu parça modelleri CATIA V5 kullanılarak tasarlanmıştır. Ismail ve diğerleri (Ismail et al., 2004) ve Tan ve diğerleri (Tan et al., 2012), STEP dosyasından delik unsurunun tanımlanması için bir kural tabanlı yaklaşım önermişlerdir. Han (Han et al., 2001) ve diğerleri; imalat alanında proses planlamanın ve unsur tanımlamanın entegre edilmesi için bir çalışma önermişlerdir. Önerilen sistem giriş ve çıkış verisi olarak STEP kullanmaktadır. STEP'in CAD ve proses planlama arasında uygun bir arayüz olduğunu söylemişlerdir. Dereli ve Filiz (Dereli & Filiz, 2002), unsur tanımlama yoluyla proses planlama için bir arayüz tasarlamışlardır. Arayüzün geliştirilmesinde otomatik unsur tanımlama ve unsur tabanlı tasarım teknolojilerinden ve bilgi değişimi için STEP'ten faydalanılmıştır. Amaitik ve Kılıç (Amaitik & Kılıç, 2007), prizmatik parçalar için STEP unsurlarının kullanıldığı bir proses planlama sistemi geliştirmişlerdir.

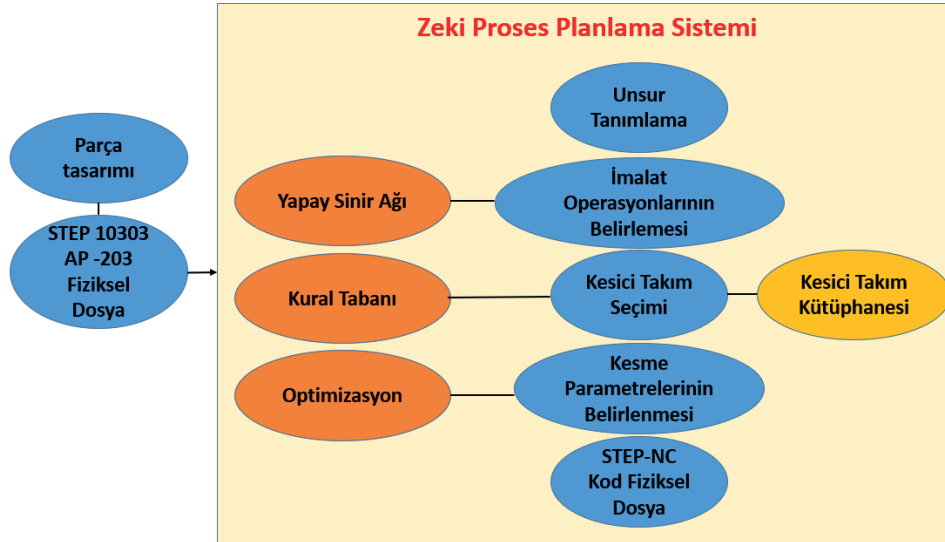
Bu çalışmanın amacı CAD/CAPP/CAM ve CNC zinciri açısından entegrasyonu sağlayabilecek bir sistem geliştirmektir. Bunun için, MATLAB programlama dili kullanılarak prizmatik parçalar için STEP-NC uyumlu ve kullanıcı etkileşimli zeki proses planlama sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde yapay sinir ağı (YSA) ve genetik algoritma (GA) tabanlı özgün bir algoritma kullanılmıştır. Geliştirilen sistem için gerekli ön bilgiler kullanıcı arayüzü ile sisteme girilmektedir. Girilen bu bilgiler kullanılarak diğer işlemler otomatik olarak geliştirilen sistem tarafından gerçekleştirilmektedir.

Kural tabanı, YSA ve GA teknikleri kullanılarak geliştirilen sistem iki modülden meydana gelmektedir. Birinci modülde imalat unsurları tanımlanmaktadır. Sistem giriş verisi olarak CAD ortamında tasarımı yapılan parçanın STEP standardına uygun olarak hazırlanan değişim dosyasını (AP-203) kullanmaktadır. Bu dosya sistem tarafından yorumlanmakta ve parça üzerindeki düzlem yüzey, delik, kanal, kademe ve cep gibi basit imalat unsurları tespit edilmektedir.

İkinci modülde ise proses planlama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Tanımlanan unsurlar için uygun imalat operasyonları modellenen yapay sinir ağları kullanılarak belirlenmektedir. Bu imalat operasyonlarına uygun kesici takımlar, oluşturulan kesici takım kütüphanesinden, kural tabanı kullanılarak sistem tarafından seçilmektedir. Kesme parametreleri ise üretim maliyetini minimize edecek şekilde optimize edilerek belirlenmektedir. Tüm bu bilgiler kullanılarak ISO 14649'la (STEP-NC) uyumlu olacak şekilde yeni nesil CNC tezgâhlarda kullanılabilecek STEP-NC kodu üretilmektedir.

2. Sisteme Genel Bakış

Şekil 1'de sistemin genel yapısı verilmiştir. STEP-NC uyumlu zeki proses planlama sistemi MATLAB programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. MATLAB programlama dili, hücresel yapılar şeklinde veriyi depolayabilmesi, istenilen anda çağırılıp işlenebilmesi ve içerisinde YSA ve GA için hazır araç kutularının bulunmasından dolayı tercih edilmiştir. Sistem, iki modül olarak tasarlanmıştır. Bunlar unsur tanımlama modülü ve proses planlama modülleridir. İki modül birbiriyle bağlantılı çalışmaktadır. Unsur tanımlama modülünden elde edilen bilgiler proses planlama modülü tarafından kullanılmakta ve bu bilgiler ışığında her unsur için sırasıyla gerekli imalat operasyonları belirlenmekte, kesici takım ve kesme parametreleri bilgileri atanmakta ve son olarak STEP-NC kod üretilmektedir. Geliştirilen sistem üretken proses planlama yaklaşımını kullanmaktadır.



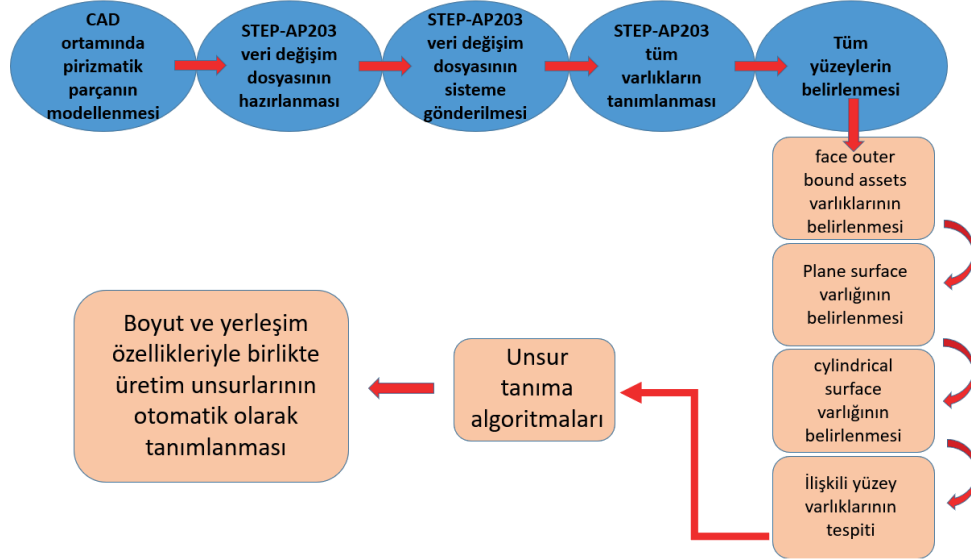
Şekil 1. Geliştirilen sistemin yapısı (Murat Koyunbakan, 2014)

2.1. Unsur Tanımlama

Bilgisayar Tümlşik İmalat (BTİ) yaklaşımına dayalı üretim yapan farklı firmalar arasında veya aynı kuruluşun içerisinde, BDT/BDÜ verilerinin aktarılmasında bazı problemler çıkmaktadır. İki büyük firma birleştiklerinde, bu problemlerden dolayı birbirlerine hiçbir teknoloji transferi yapamamaktadırlar (Dereli & Filiz, 1997). Karşılaşılan problemlerin aşılabilmesi için birtakım standartlar geliştirilmiştir. Bu standartların bazıları bölgesel, bazıları uluslararası, bazıları da belli bir sanayi dalına hitap edecek şekilde geliştirilmiştir. Bu standartların yaygın olarak kullanılanları DXF, IGES, SET, VDAFS, BDT-I, PDDI, PDES ve STEP'tir. STEP standardını diğerlerinden ayıran en belirgin özelliği uluslararası düzeyde desteklenen ve diğer grafik standartlarının tüm fonksiyonlarını içeren bir veri dönüşüm formatı olmasıdır (Çiçek & Gülesin, 2006). STEP, bilgisayarda yorumlanabilecek tarzda ürün bilgi modelleri oluşturan metodolojileri tanımlayan kapsamlı bir ISO 10303 standarttır (Tan et al., 2012). Standartın ilk versiyonu, ISO TC184/SC4 gibi ilgili standartlar komitesinin üyeleri tarafından yaklaşık 10 yıllık bir çalışmanın ardından 1994'te yayınlanmıştır (Çiçek, 2006).

Geliştirilen sistem için giriş verisi olarak STEP-AP 203 fiziksel veri değişim dosyası kullanılmıştır. Unsur tanımlama sistemi STEP-NC uyumlu zeki proses planlama sisteminin ilk modülü olarak geliştirilmiştir. Prizmatik parçalar üzerinde bulunan ve CNC işleme merkezlerinde imal edilebilecek imalat unsurlarını tanımlamak ve boyut ile koordinat bilgilerini tespit etmek görevlerini yerine getirmektedir. Unsur tanımlama sisteminin genel yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Ticari CAD sistemlerinde tasarımı yapılan prizmatik parçanın STEP AP203

fiziksel dosyası elde edildikten sonra, sistem bu dosyayı giriş verisi olarak alır. Daha sonra dosyadaki tüm varlıklar belirlenir ve aralarından yüzeyler tanımlanır. Yüzeylere ait dış sınırlar belirlendikten sonra bu yüzeyin düzlem mi, silindirik mi ya da ilişkili yüzey mi olduğu belirlenir.



Şekil 2. Unsur tanımlama sisteminin genel çalışma şeması (Murat Koyunbakan, 2014)

Çalışmada tasarım ve imalat sektörlerinde oldukça fazla kullanım alanına sahip ticari bir CAD sistemi olan SolidWorks kullanılmıştır. Örnek tasarımlar SolidWorks ortamında yapılmış ve bu parçalar için STEP-AP203 formatında veri dosyası alınmıştır. AP203 uygulama protokolü tüm yaygın CAD ve CAM sistemleri tarafından kabul görmüş ve sistemlerine dahil edilmiştir. Oldukça yaygın olarak kullanılan bu veri değişim dosyasının kolay bir şekilde elde edilebilmesi, bu çalışmada tercih edilmesinin sebebidir. Tasarımı yapılan parçaya ait STEP-AP203 dosyası incelendiğinde, hiyerarşik olarak birbirine atıf yapan varlıkların olduğu bir yazılı metin ile karşılaşılır. Her varlık için bir numara verilmiştir. MATLAB programlama dilinin STEP AP203'ü nasıl çözümleyeceği üzerinde durulmuştur. Bu nedenle ilk işlem olarak STEP AP203 verisinin MATLAB'ın anlayabileceği ve işleyebileceği bir içsel formatta düzenlenmiştir. Yapılan düzenleme öncesi ve sonrası arasındaki farklar Şekil 3'te görülmektedir.

5	FILE_NAME ('1boydanboya.STEP',	14	[]	[]
6	'2014-01-29T14:36:44',	15	[]	[]
7	(''),	16	'1'	'EDGE_CURVE ("NONE", 213, 218, 44, TT);'
8	(''),	17	'2'	'EDGE_CURVE ("NONE", 242, 192, 41, TT);'
9	'SwSTEP 2.0',	18	'3'	'EDGE_CURVE ("NONE", 213, 214, 70, TT);'
10	'SolidWorks 2010',	19	'4'	'EDGE_CURVE ("NONE", 192, 212, 47, TT);'
11	'';	20	'5'	'EDGE_CURVE ("NONE", 218, 232, 75, TT);'
12	FILE_SCHEMA (('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));	21	'6'	'EDGE_CURVE ("NONE", 241, 189, 68, TT);'
13	ENDSEC;	22	'7'	'EDGE_CURVE ("NONE", 192, 241, 16, TT);'
14		23	'8'	'EDGE_CURVE ("NONE", 189, 242, 42, TT);'
15	DATA;	24	'9'	'EDGE_CURVE ("NONE", 188, 239, 23, TT);'
16	#1 = EDGE_CURVE ('NONE', #213, #218, #44, .T.);	25	'10'	'AXIS2_PLACEMENT_3D ("NONE", 211, 200, 201);'
17	#2 = EDGE_CURVE ('NONE', #242, #192, #41, .T.);	26	'11'	'EDGE_CURVE ("NONE", 212, 204, 22, TT);'
18	#3 = EDGE_CURVE ('NONE', #213, #214, #70, .T.);	27	'12'	'AXIS2_PLACEMENT_3D ("NONE", 198, 209, 196);'
19	#4 = EDGE_CURVE ('NONE', #192, #212, #47, .T.);	28	'13'	'ORIENTED_EDGE ("NONE", y, y, 98, FF);'
20	#5 = EDGE_CURVE ('NONE', #218, #232, #75, .T.);	29	'14'	'ORIENTED_EDGE ("NONE", y, y, 7, TT);'
21	#6 = EDGE_CURVE ('NONE', #241, #189, #68, .T.);	30	'15'	'ORIENTED_EDGE ("NONE", y, y, 1, TT);'
22	#7 = EDGE_CURVE ('NONE', #192, #241, #16, .T.);	31	'16'	'LINE ("NONE", 235, 43);'
23	#8 = EDGE_CURVE ('NONE', #189, #242, #42, .T.);	32	'17'	'ORIENTED_EDGE ("NONE", y, y, 94, TT);'
24	#9 = EDGE_CURVE ('NONE', #188, #239, #23, .T.);	33	'18'	'EDGE_LOOP ("NONE", { 38, 13, 52, 33 });'
25	#10 = AXIS2_PLACEMENT_3D ('NONE', #211, #200, #201);	34	'19'	'VECTOR ("NONE", 228, 1000.0000000000000000);'
26	#11 = EDGE_CURVE ('NONE', #212, #204, #22, .T.);	35	'20'	'FACE_OUTER_BOUND ("NONE", 18, TT);'
		36	'21'	'ORIENTED_EDGE ("NONE", y, y, 2, TT);'
		37	'22'	'LINE ("NONE", 199, 19);'

a

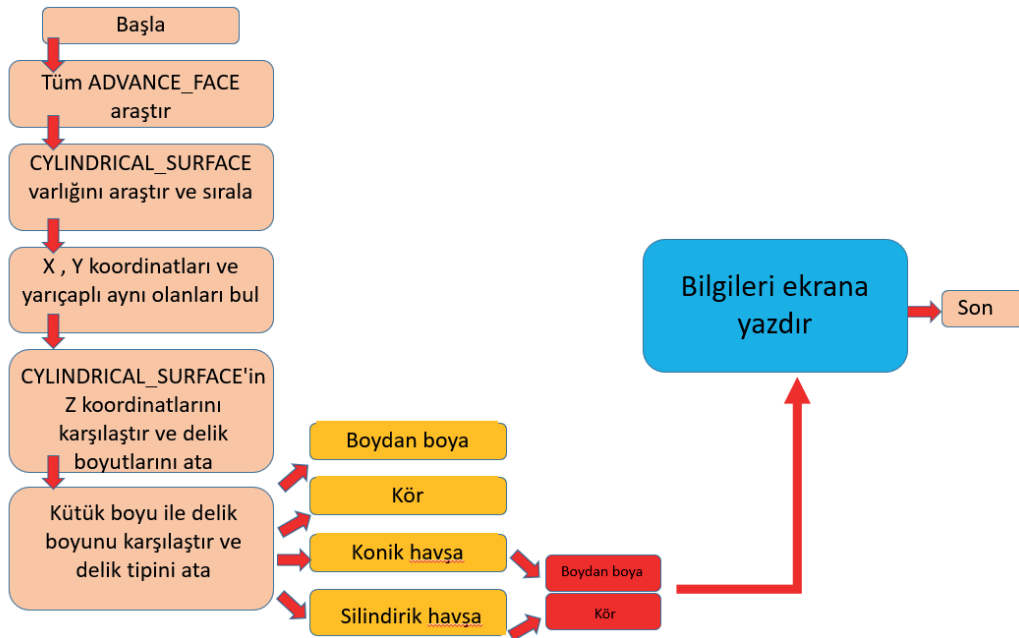
b

Şekil 3. STEP AP203'ün MATLAB dahili veri formatına dönüştürülmesi (a- ön düzenleme, b- son düzenleme) (Murat Koyunbakan, 2014)

STEP AP203 dosya MATLAB'ın anlayabileceği ve işleyebileceği içsel formata dönüştürüldükten sonra tüm hiyerarşi yorumlanmış ve her bir varlık bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Her bir varlığın kaç eleman içerdiği ve hangi elemanlara atıf yaptığı tespit edilmiştir. Bu sayede, STEP AP203'te tanımlanan tüm bilgilere ulaşılmıştır. Daha sonra bu bilgilerin kullanımı ile imalat unsurlarının tespit edilmesi için gerekli algoritmalar oluşturulmuştur. Bu çalışmada düzlem yüzey, delik, kanal, kademe, cep unsurları tanımlanmıştır. Çalışmada örnek olarak delik unsurunun nasıl tanımlandığı hakkında bilgi verilecektir.

Şekil 4'te delik unsurunun bulunmasına yönelik olarak gerçekleşen akış şeması verilmiştir. Öncelikle yüzeyler yönlerine göre ayrılmıştır. Z yönlü yüzeylerde CYLINDRICAL-SURFACE varlığı araştırılır. Çünkü STEP'te bir delik unsuru iki adet CYLINDRICAL-SURFACE varlığı ile temsil edilmektedir. Tüm CYLINDRICAL-SURFACE'ler tespit edilir ve karşılaştırılır. Aynı x ve y koordinatlarına sahip olan ve aynı yarıçap değerlerini veren CYLINDRICAL-SURFACE'lerin bir deliği meydana getirdiğine karar verilir. Bu iki CYLINDRICAL-SURFACE'in başlangıç ve bitişleri farklı CIRCLE varlığı ile tanımlanmaktadır. Bu iki CIRCLE varlığının sahip oldukları kartezyen noktalar karşılaştırılır ve z yönündeki boyu tespit edilir. Ayrıca elde edilen bilgi deliğin çapını, boyunu, merkez noktasına ait referans noktalarını içermektedir. Bunun yanı sıra delik unsurunun tipi de belirlenmektedir. Elde edilen bilgiler yorumlanmakta, bu bilgilerden deliğin boyu ve merkez koordinatları ile yarıçap değerleri karşılaştırılmakta ve deliğin tipine karar verilmektedir. Kütük

parçanın maksimum Z boyu ile delik boyu karşılaştırılmakta ve deliğin boydan boya ya da kör delik olup olmadığına karar verilmektedir. Yine aynı X ve Y koordinatlarına sahip ancak çapları farklı olan delikler varsa, bu durumda konik ya da silindirik havşa unsuru araştırılır. Konik havşa unsurunun varlığı, CONICAL_SURFACE varlığının olup olmadığına göre karar verilmiştir. Konik yüzey için verilen yarıçap değeri havşanın yarıçapıdır. Konik yüzey varlığı yoksa, o zaman silindirik havşalı delik olduğuna karar verilir ve büyük olan çap havşa çapı olarak atanır. Her iki durumda da havşa ve normal delik unsurlarının toplam boyları kütük malzemenin maksimum Z boyu ile karşılaştırılarak havşalı deliğin kör delik mi ya da boydan boya delik mi olduğuna karar verilir.



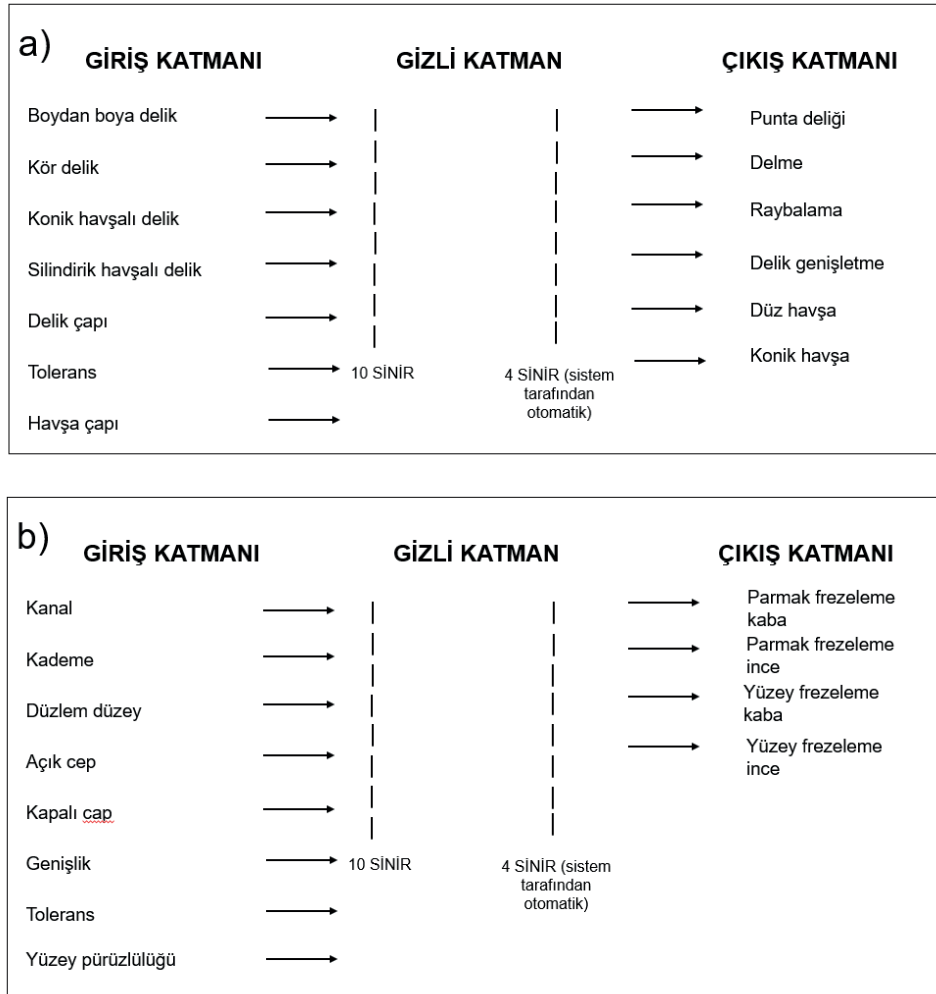
Şekil 4. Delik unsurunun tanımlanması için akış şeması (Murat Koyunbakan, 2014)

2.2. Proses Planlama

Proses planlama modülünde, tanımlanan unsurlar için imalat operasyonunun belirlenmesi, kesici takım ve kesme parametrelerinin seçimi ile STEP-NC kod üretimi yapılmaktadır. Proses planlama modülü hibrit yapıdadır. Sistem yapay sinir ağı, kural tabanı ve optimizasyon tekniklerini kullanarak hibrit yapıda inşa edilmiştir.

İmalat unsurları için tasarlanan sinir ağları Şekil 5'te verilmiştir. İmalat operasyonlarının belirlenmesinde sinir ağları kullanılmıştır. Sinir ağları MATLAB programlama paketi içinde

bulunan nntool araç kutusu kullanılarak tasarlanmıştır. İki adet sinir ağı tasarlanmıştır. Birincisi delik unsuru için, diğeri ise cep, kanal, kademe ve düzlem yüzey unsurları içindir.



Şekil 5. Unsur tanımlama için geliştirilen sinir ağı modelleri a) delik b) cep, kanal, kademe ve düzlem yüzey (Murat Koyunbakan, 2014)

Delik unsuru için tasarlanan yapay sinir ağının eğitiminde 432 adet veri seti kullanılmıştır. Delik unsurunun tipine göre giriş verisi oluşturulmuştur. Delik çapı unsur tanımlama modülünden doğrudan alınmaktadır. Bu değer 20 mm'ye eşit ya da küçükse, matkapla delme işlemi; eğer büyükse, delme işleminin yanı sıra delik genişletme işleminin de yapılacağı belirlenmiştir. Tolerans bilgisi unsur tanımlama sisteminden alınmaktadır. Kurallar oluşturulurken matkapla delme, raybalama gibi işlemlerde elde edilebilecek kesici takım kataloglarındaki tolerans aralıkları dikkate alınmıştır.

Delme işlemi	:	0,080-0,40	mm
Raybalama	:	0,013-0,08	mm
Delik genişletme	:	0,025-0,13	mm

Kanal, kademe, cep ve düzlem yüzey unsurları için tasarlanan yapay sinir ağının eğitimi için 765 adet kural tanımlanmıştır. Kanal, kademe, cep ve düzlem yüzey unsurlarının genişlik değerleri unsur tanımlama modülünden gelmektedir. Bu genişlik yirmi (20) mm'ye eşit veya küçükse parmak frezeleme işlemi, büyükse yüzey frezeleme işlemi yapılacak şeklinde kural geliştirilmiştir. Ayrıca, girilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre ince ya da kaba frezeleme işlemi yapılacak kuralı uygulanmıştır. Kuralların yazılmasında kesici takım sağlayıcılarının görüşleri ve yazarların tecrübesi dikkate alınmıştır.

Kesici takımlar kural tabanı tekniği ile oluşturulan kesici takım kütüphanesinden seçilmektedir. Kesici takım kütüphanesinde bulunan takımlar ve bunlara ait özellikler kesici takım kataloglarından ve el kitaplarından alınmıştır (TaeguTec-2011, Makine Takım Endüstrisi web sayfası, ISCAR 2004). Kesici takımlar çeşitlerine göre ayrılmış, her kesici takımın çap, boy, kaplama, malzeme v.b bilgilerinin yanı sıra farklı iş parçası malzeme türleri için minimum ve maksimum kesme hızı ve ilerleme değerleri girilmiştir. Her kesiciye bir kod atanmıştır. Kural tabanı tekniğiyle ilgili unsura bu kütüphaneden kesici takım seçimi yapılmıştır.

Geliştirilen proses planlama sisteminin kesme parametrelerinin belirlenmesi modülünde, oluşturulan kesici takım kütüphanesinden seçilen takımın minimum ve maksimum kesme hızı ve ilerleme değerleri ile çap değerleri alınmaktadır. Ayrıca kullanıcı sahip olduğu tezgâhın güç bilgisini sisteme girmektedir. Kesme parametrelerinin belirlenmesi için frezeleme ve delme işlemlerine yönelik optimizasyon yöntemlerinden genetik algoritma tercih edilmiştir. Maliyetin minimize edilmesi için amaç fonksiyonları tanımlanmış, kısıtlar belirlenmiş, minimum maliyet açısından uygun kesme hızı ve ilerleme değerleri hesaplanmıştır.

Genetik algoritmalar (GA), özellikle optimizasyon problemlerinin çözümünde sıklıkla tercih edilmektedir. Sahip olduğu yeteneklerinden dolayı diğer yapay zekâ tekniklerine göre ön planda olduğu söylenmektedir. Tek takımlı frezeleme operasyonları için birim üretim maliyeti: malzeme maliyeti, hazırlık veya ayar maliyeti, işleme maliyeti ve takım değiştirme maliyetlerinin toplamıdır. Hazırlık ve ayar maliyeti; işçilik ve üst yönetim maliyetlerinin toplamıdır. Takım değiştirme maliyeti ise işçilik, kesici takım ve üst yönetim maliyetlerinin toplamıdır. Tornalama operasyonlarında uygulandığı gibi Kronenberg'in verilerinden tahmin

edilerek, freze takımının her bir kesici ucu için benzetim yapılarak takım ömrü yazılırsa, düzenlenmiş amaç fonksiyonu aşağıda verildiği gibi olur (Ünüvar & Tosun, 2012).

$$C_u = c_{mat} + (c_1 + c_o)t_s + (c_1 + c_o) K_2 V^{-1} f^1 + (c_1 t_c + c_1 + c_o t_c) K_3 V^{[(l/n)-1]} f^{[(t(w+g)/n) - 1]} \quad (1)$$

Hız ve ilerleme oranları, matkabin dayanımı, takım tezgahının ilerleme mekanizması ve gücüne bağlı olarak maksimum eksenel itme sınırlamaları ile çok takımlı delme için toplam imalat maliyeti aşağıda verilmiştir. Bu model takım ömrünü ve endüstride uygulanan takım değiştirme stratejisini kullanır. Delme işleminde takım ömür denklemi kesme hızı, ilerleme ve matkap çapına bağlı olarak yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$U = k_1(\pi dl/1000)v^{-1}s^{-1} + (k_t + k_{1t_c})(\pi dl/1000)v^{-1}s^{-1} / (C_v D^{z_v} K_v / V s^{y_v} t^{x_v})^{-m} + k_1 (h_1 + h_2) \quad (2)$$

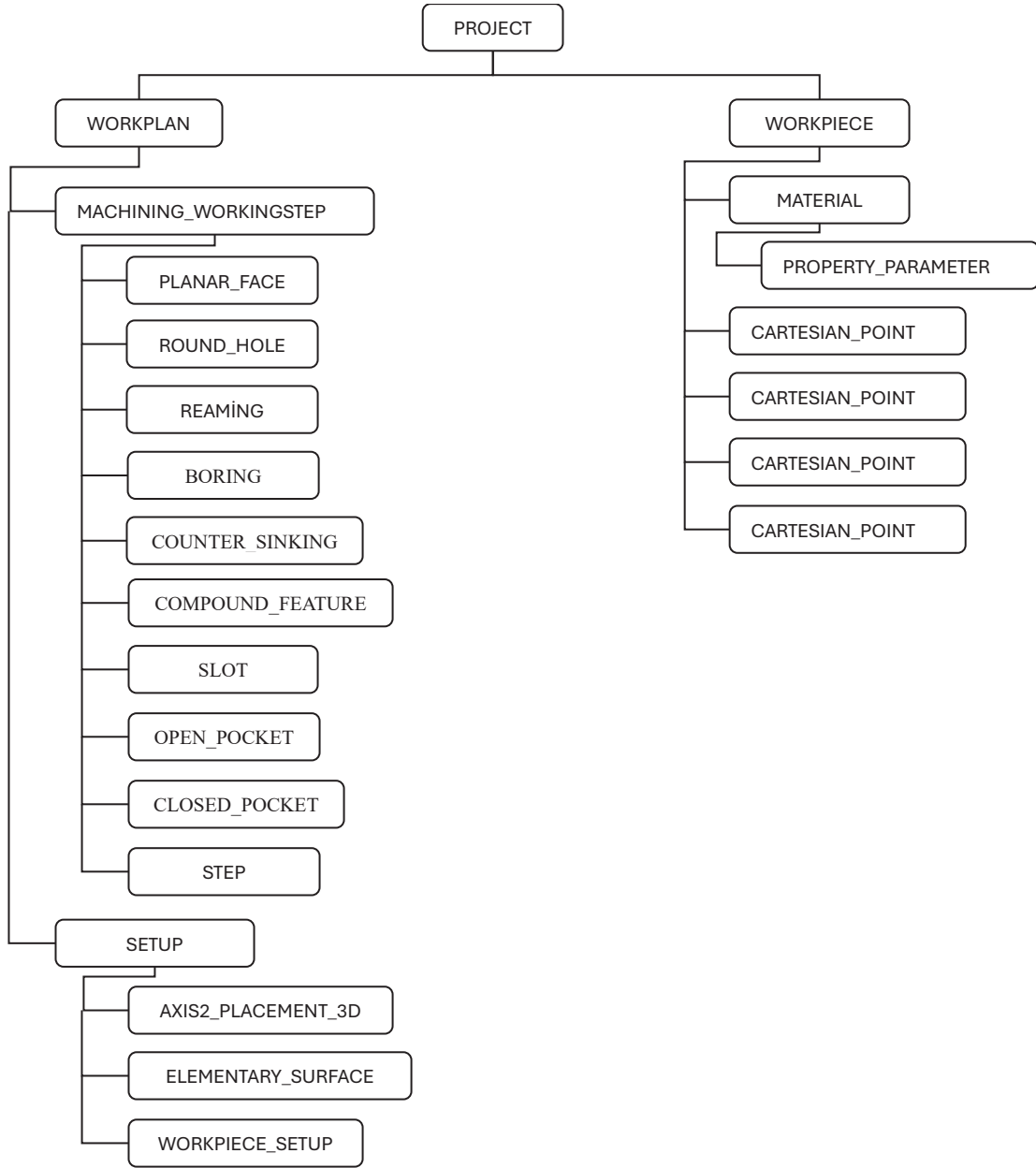
2.3. STEP-NC Kod Üretimi

ISO tarafından 14649 olarak standartlaştırılan STEP-NC standardının 11. kısmında frezeleme operasyonları tanımlanmaktadır. Bu operasyonlar delme ve frezeleme tipi olarak ikiye ayrılabilir. Frezeleme tipi operasyonlar yüzey, alt ve yan frezeleme olarak, delme tipi operasyonlarsa delme, raybalama, delik genişletme ve havşa olarak sınıflandırılırlar. STEP-NC kod fiziksel dosyası da yine STEP fiziksel dosyası gibi ISO 10303-21 standardına uygun olarak hazırlanmaktadır. STEP-NC kod içerisinde iş parçası, proses plan, takım bilgisi v.b. gibi günümüzde kullanılan G&M kodlarında olmayan pek çok bilgi bulunmaktadır. Geliştirilen sistem ile unsur tanımlama ve proses planlama modüllerinden elde edilen bilgiler STEP-NC kod fiziksel dosyaya dönüştürülmektedir. STEP-AP203 dosyasına benzer şekilde STEP-NC kodda da birbirine atıf yapan varlıklar vardır.

Geliştirilen sistem ile unsur tanımlama ve proses planlama modüllerinden elde edilen bilgiler STEP-NC kod fiziksel dosyaya dönüştürülmektedir. Tablo 1'de elde edilen bilgilerden bazılarının STEP-NC'deki karşılıkları verilmiştir. STEP-NC koduna ait hiyerarşik yapı Şekil 6'da verilmiştir.

Tablo 1. Sistemden elde edilen bilgilerin STEP-NC'deki karşılıkları

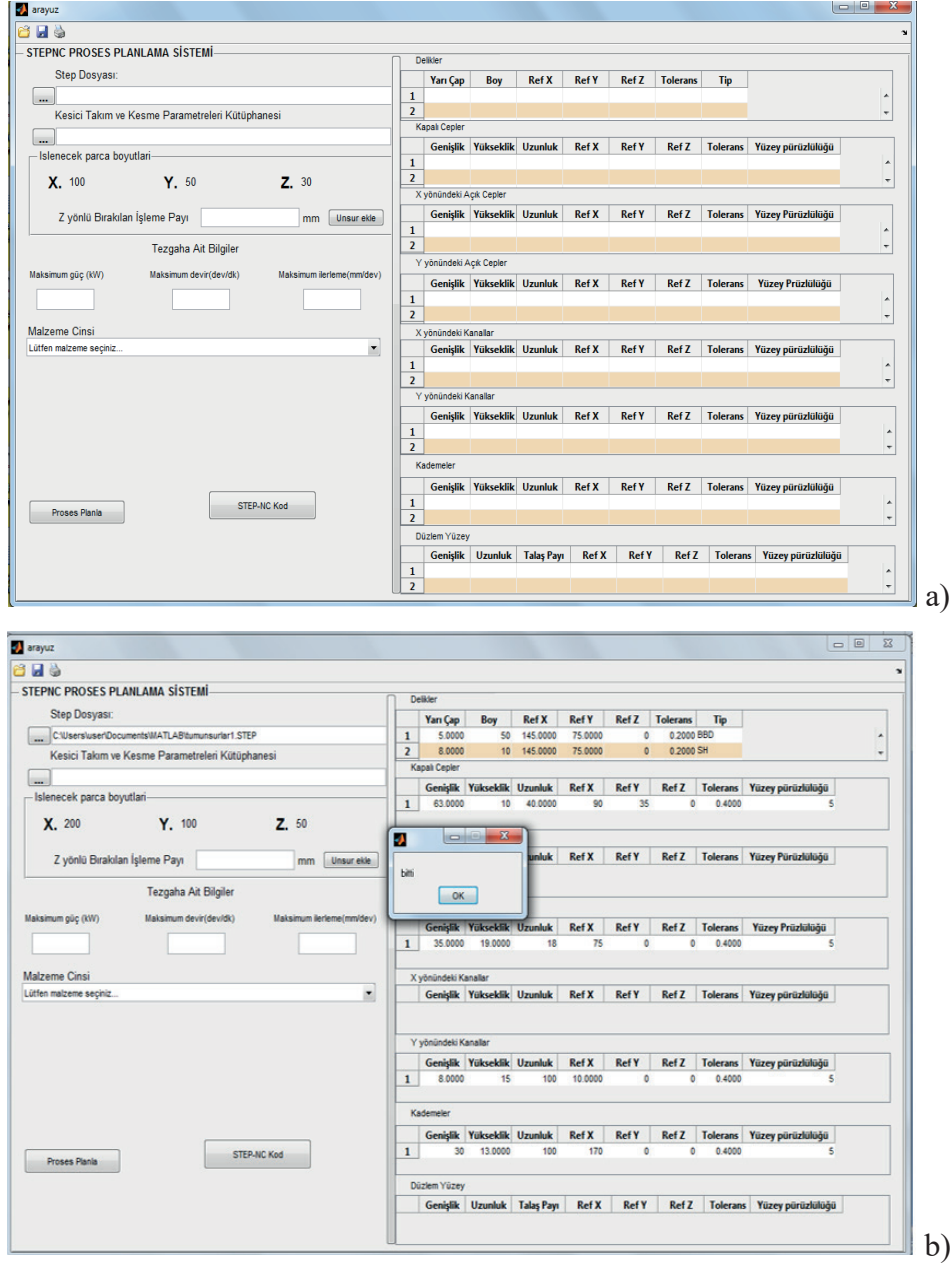
Elde Edilen Bilgiler	Karşılığı
Proses Plan	WORKPLAN
İş parçası	WORKPIECE
Operasyon	MACHINING_WORKINGSTEP
Düzlem yüzey frezeleme	PLANAR_FACE
Delme	ROUND_HOLE
Raybalama	REAMING
Delik genişletme	BORING
Kapalı cep	CLOSED_POCKET
Açık cep	OPEN_POCKET
Kanal	SLOT
Kademe	STEP
Kesici takım özellikleri	MILLING_CUTTING_TOOL



Şekil 6. STEP-NC kod hiyerarşik yapı (Murat Koyunbakan, 2014)

2.4. Geliştirilen Sistemin Kullanıcı Arayüzü

Kullanıcı arayüzünün geliştirilmesinde MATLAB grafik kullanıcı arayüzü (GUI) Türkçe karakterlerle kullanılmıştır. Geliştirilen arayüzde kullanıcı, bilgisayar sisteminde kayıtlı olan STEP uzantılı dosyalarını görüntüleyebilir ve istediği dosyayı seçerek sistemin çalışmasını sağlayabilir. Şekil 7’de kullanıcı arayüzünün ilk açıldığındaki ve STEP uzantılı dosyanın seçilmesinden sonraki ekran görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7. Kullanıcı arayüzü (a) sistemin ilk açılışındaki görüntü, (b) STEP dosyası seçildikten sonraki görüntü. (Murat Koyunbakan, 2014)

STEP uzantılı dosya seçildikten sonra sistem çalışır ve daha önce anlatılan algoritmalar işletilerek parça üzerindeki imalat unsurları ve maksimum X,Y ve Z ölçüleri tespit edilir. İşlem tamamlandığında ekrana “bitti” mesajı verilmektedir. Eğer z yönünde işleme payı bırakılmışsa, kullanıcı tarafından ilgili alana giriş yapılır ve unsur ekle butonuna basılır. Bu işlem sonrası düzlem yüzey isminde bir unsur daha unsurlar kısmına ilave edilir. Sistem arayüzüne sekiz adet

malzeme çeşidi eklenmiştir. Kullanıcı parçaya ait malzemeyi buradan seçebilmektedir. Şekil 8’de malzeme seçim anı ekran görüntüsü verilmiştir.

STEPNC PROSES PLANLAMA SİSTEMİ

Step Dosyası: C:\Users\user1\Documents\MATLAB\itumunsur1 STEP

Kesici Takım ve Kesme Parametreleri Kütüphanesi

İslencek parça boyutları: X. 200 Y. 100 Z. 50

Z yönlü Birakılan İşleme Payı: 3 mm

Tezgaha Ait Bilgiler

Maksimum güç (kW) Maksimum devir (dev/dk) Maksimum ilerleme (mm/dev)

Malzeme Cinsi

Lütfen malzeme seçiniz...

Lütfen malzeme seçiniz:

- Düşük Karbonlu Çelikler (HRC 25)
- Yüksek Karbonlu Çelikler (HRC 25-35)
- Alemlenmiş Çelikler (HRC 25-35)
- Takım-Serileştirilmiş Çelikler (HRC 35-45)
- Paslanmaz Çelikler
- Dökme Demir (HRC 15-25)
- Sfere Dökme Demir (HRC 15)
- Alüminyum Alaşımları

Proses Planla STEP-NC Kod

Değerler

Yarı Çap	Boy	Ref X	Ref Y	Ref Z	Tolerans	Tip
1	5.0000	50	145.0000	75.0000	0	0.2000 BBO
2	8.0000	10	145.0000	75.0000	0	0.2000 SH

Kapalı Cepher

Genişlik	Yükseklik	Uzunluk	Ref X	Ref Y	Ref Z	Tolerans	Yüzey pürüzlülüğü
1	63.0000	10	40.0000	90	35	0	0.4000

X yönündeki Açık Cepher

Genişlik	Yükseklik	Uzunluk	Ref X	Ref Y	Ref Z	Tolerans	Yüzey Pürüzlülüğü
1	35.0000	19.0000	18	75	0	0	0.4000

X yönündeki Kanallar

Genişlik	Yükseklik	Uzunluk	Ref X	Ref Y	Ref Z	Tolerans	Yüzey pürüzlülüğü
1	8.0000	15	100	10.0000	0	0	0.4000

Y yönündeki Kanallar

Genişlik	Yükseklik	Uzunluk	Ref X	Ref Y	Ref Z	Tolerans	Yüzey pürüzlülüğü
1	30	13.0000	100	170	0	0	0.4000

Kademeler

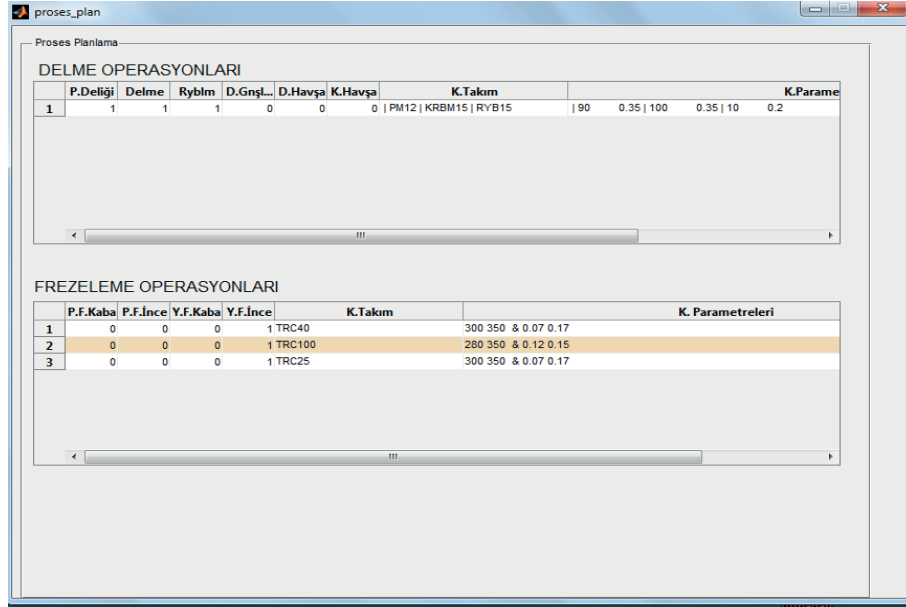
Genişlik	Yükseklik	Uzunluk	Ref X	Ref Y	Ref Z	Tolerans	Yüzey pürüzlülüğü
1	100	200	3	0	0	53	0

Düzlem Yüzey

Genişlik	Uzunluk	Talaş Payı	Ref X	Ref Y	Ref Z	Tolerans	Yüzey pürüzlülüğü
1	100	200	3	0	0	53	0

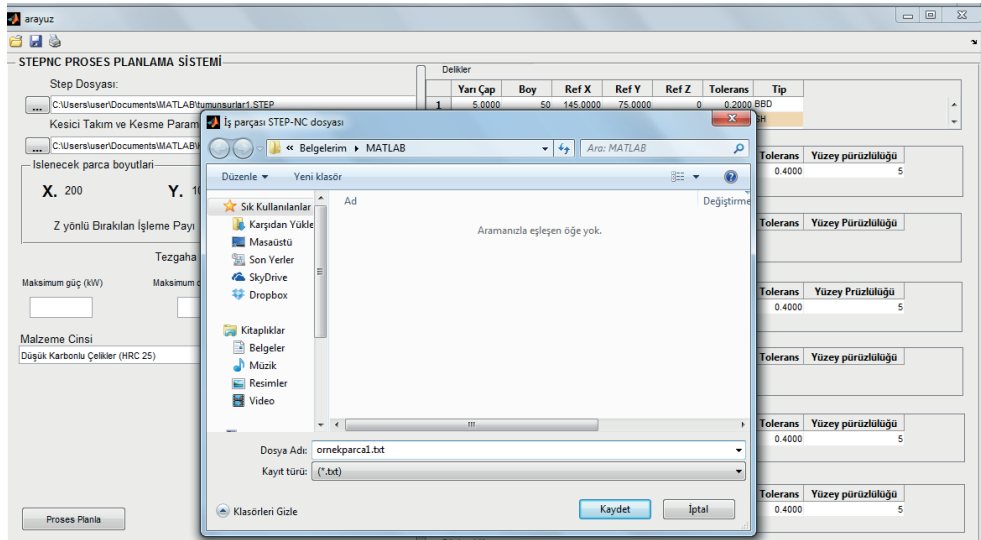
Şekil 8. Malzeme seçimi ekran görüntüsü (Murat Koyunbakan, 2014)

Malzeme seçimi yapıldıktan sonra proses planla butonuna basılarak imalat operasyonları ve kesici takım bilgileri yazdırılır. Bu bilgiler ayrı bir pencerede kullanıcıya sunulur. Kesici takım ve kesme parametrelerini içeren bir dosyanın yeri tanımlandıktan sonra, proses planla butonuna basıldığında sistem bu dosyadan gerekli verileri okur ve imalat operasyonu için gerekli verileri ekrana yazar. Şekil 9’da örnek ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 9. Proses planlama (Murat Koyunbakan, 2014)

Daha sonra STEP-NC kod butonuna basılarak STEP-NC kod oluşturulur. Bu butona basıldığında dosyayı nereye ve hangi isimle kaydedilmek istendiği bilgisinin girileceği pencere açılır. Gerekli bilgiler girilerek kod yazdırma işlemi tamamlanır. Şekil 10'da ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 10. STEP-NC kod yazdırma (Murat Koyunbakan, 2014)

Yalnızca düzlem yüzey unsuru için elde edilmiş örnek STEP-NC fiziksel dosya aşağıda verilmiştir.

ISO-10303-21;

HEADER;

FILE_DESCRIPTION((ornekparca1, ,) 1);

FILE_NAME(ornekparca1.STP,2014-03-04, (MURAT KOYUNBAKAN, ALİ
ÜNÜVAR,YUSUF ŞAHİN),(Selcuk Univ, Konya-Turkiye),\$,ISO 14649,\$);

FILE_SCHEMA((İşleme_Şeması, Frezeleme Şeması));

ENDSEC;

DATA

#1= PROJECT(Örnek Parça,#2,(#3),\$,\$,\$);

#2= WORKPLAN(MAIN WORKPLAN(#25),\$,#10,\$);

#3= WORKPIECE(SIMPLE WORKPIECE,#4,0.01,\$,\$,\$(#6,#7,#8,#9));

#4= MATERIAL(,Düşük Karbonlu Çelikler (HRC 25),(#5));

#5= PROPERTY_PARAMETER()

#6= CARTESIAN_POINT(CLAMPING_POSITION1,(20,0,25));

#7= CARTESIAN_POINT(CLAMPING_POSITION2,(20,100,25));

#8= CARTESIAN_POINT(CLAMPING_POSITION3,(180,0,25));

#9= CARTESIAN_POINT(CLAMPING_POSITION4,(180,100,25));

#10= SETUP(,#11,#15,(#20));

#11= AXIS2_PLACEMENT_3D(SETUP,#12,#13,#14);

#12= CARTESIAN_POINT(SETUP:LOCATION,);

#13= DIRECTION(AXIS,(0.000,0.000,1.000));

#14= DIRECTION(REF_DIRECTION,(0.000,1.000,0.000));

#15= ELEMENTARY_SURFACE(SEcurity_PLANE,#16);

#16= AXIS2_PLACEMENT_3D(PLANE,#17,#18,#19);

3. Sonuçlar

Günümüzde CAD/CAM/CNC entegrasyonu önemli bir konudur ve bu amaca ulaşmak için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada prizmatik parçalar için zeki bir proses planlama sistemi geliştirilmiştir. Sistemin geliştirilmesinde yapay sinir ağları, kural tabanı ve genetik algoritmalar kullanılmıştır.

MATLAB kullanılarak geliştirilen sistem iki modülden meydana gelmektedir. İlk modül unsur tanımlamasını yaparken, ikinci modül tanımlanan unsurlar için proses planlamasını yapmaktadır. Sistem çıktı olarak STEP-NC kodu üretmektedir.

Unsur tanımlama modülünde prizmatik parçalarda bulunan delik, kapalı ve açık cep, kanal, kademe ve düzlem yüzey unsurları tanımlanmaktadır. Modül giriş verisi olarak, herhangi bir ticari CAD sisteminde tasarımı yapılan prizmatik parçanın STEP AP203 veri değişim dosyasını kullanmaktadır.

Proses planlama modülünde tanımlaması yapılan unsurlar için gerekli işleme operasyonları, kullanılacak kesici takımlar ve kesme parametreleri sistem tarafından atanmaktadır. Proses planlama işlemi tamamlandıktan sonra yeni nesil CNC tezgâhlar için uygun olan STEP-NC kod üretilmektedir.

Açıklama: Bu çalışmada bazı yazılım şirketlerine ve ticari yazılım sistemlerine yer verilmiştir. Söz konusu şirket veya sistemlerin belirtilmiş olması, bunların yazarlar tarafından tavsiye edildiği ya da desteklendiği anlamına gelmez; ayrıca bu ürünlerin, amaçlanan kullanım için mevcut olan en iyi seçenek oldukları da ifade etmez. Bunun yanı sıra, bu belgede yer alan görüş, bulgu, sonuç veya tavsiyeler bütünüyle yazarlara aittir. Hazırlanan kitap bölümünde, sunulan bazı bilgiler/bölümler 2014 yılında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde, Murat Koyunbakan tarafından hazırlanmış doktora tezinden alınmıştır.

Kaynaklar

- Amaitik, S. M., & Kiliç, S. E. (2007). An Intelligent Process Planning System For Prismatic Parts Using STEP Features. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(9–10), 978–993. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0269-5>
- Babic, B., Nesic, N., & Miljkovic, Z. (2008). A Review Of Automated Feature Recognition with Rule-Based Pattern Recognition. *Computers in Industry*, 59(4), 321–337. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.09.001>
- Çelik, İ. (2004). *İşleme Merkezlerinde Üretilecek Parçalar İçin Bilgi Tabanlı İşlem Planlama Sistemi*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çiçek, A. (2006). STEP Veri Dönüşüm Formatında 3 Boyutlu Parça Temsili. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 31–38.
- Çiçek, A., & Gülesin, M. (2006). BDT/BDÜ Uygulamaları İçin STEP Dosyalarının Yorumlanması. *Teknoloji*, 8(1), 47–58.
- Çiçek, A., & Gülesin, M. (2013). BDT/BDİ Uygulamaları İçin Bilgisayar Destekli Parça Tanıma Yaklaşımının Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 238–246.
- Dereli, T., & Filiz, İ. H. (1997). Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Sistemlerinde Bilgi Değişimi ve Standartları. *Mühendis ve Makina*, 38(452), 11–19.
- Dereli, T., & Filiz, İ. H. (2002). A Note on the Use of STEP for Interfacing Design to Process Planning. *Computer Aided Design*, 34, 1075–1085.
- Han, J., Kang, M., & Choi, H. (2001). STEP-Based Feature Recognition For Manufacturing Cost Optimization. *Computer-Aided Design*, 33(9), 671–686. [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(01\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(01)00071-9)
- Ismail, N., Osman, M. R., Tan, C. F., Wong, S. V., & Sulaiman, S. (2004). Extraction Of Cylindrical Features From Neutral Data Format For CAD/CAM Integration. *International Journal of Engineering and Technology*, 1(2), 206–212.
- Kutin, A., Dolgov, V., Sedykh, M., & Ivashin, S. (2018). Integration of Different Computer-aided Systems in Product Designing and Process Planning on Digital Manufacturing. *Procedia CIRP*, 67, 476–481. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.247>
- Law, H.-W., Tam, H.-Y., Chan, A. H. S., & Hui, I. K. (2001). Object-Oriented Knowledge-Based Computer-Aided Process Planning System for Bare Circuit Boards Manufacturing. *Computers in Industry*, 45(2), 137–153. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(01\)00084-7](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(01)00084-7)
- Liu, R., Zhang, C., & Newman, S. T. (2006). A framework and data processing for interfacing CNC with AP238. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19(6), 516–522. <https://doi.org/10.1080/09511920600623690>
- Malleswari, V. N., & Pragvamsa, P. G. (2023). Automatic Machining Feature Recognition From STEP Files. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(6), 863–880. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2162590>

- Murat Koyunbakan. (2014). *STEP-NC uyumlu zeki proses planlama sisteminin geliştirilmesi* [Doktora]. Selçuk Üniversitesi.
- Nasr, E. S. A., Khan, A. A., Alahmari, A. M., & Hussein, H. M. A. (2014). A Feature Recognition System Using Geometric Reasoning. *Procedia CIRP*, 18, 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.138>
- Nonaka, Y., Erdős, G., Kis, T., Kovács, A., Monostori, L., Nakano, T., & Váncza, J. (2013). Generating Alternative Process Plans For Complex Parts. *CIRP Annals*, 62(1), 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2013.03.048>
- Sivakumar, S., Dhanalakshmi, V., & Vishnuvardha, R. (2019). Extraction of Subtractive Features of Prismatic Parts from STEP File for CAD/CAM Integration. *Pertanika Journal Science & Technology*, 27(1), 343–356.
- Tan, C. F., Ismail, N., Wong, S. V., Sulaiman, S., & Osman, M. R. (2012). Development of Step Hole Recognition System for Computer Aided Process Planning. *Jurnal Teknologi*, 43(A), 73–86. <https://doi.org/10.11113/jt.v43.758>
- Ünüvar, A., & Tosun, E. (2012). Frezelemede Çok Amaçlı Genetik Algoritma Yaklaşımı Ile Kesme Koşullarının Optimizasyonu. 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, UTİS*.
- Venu, B., & Komma, V. R. (2017). STEP-Based Feature Recognition From Solid Models Having Non-Planar Surfaces. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(10), 1011–1028. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2016.1268719>
- Yusof, Y., & Case, K. (2010). Design Of A STEP Compliant System For Turning Operations. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(6), 753–758. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.05.002>
- Yusof, Y., & Latif, K. (2014). Survey on Computer-Aided Process Planning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75(1–4), 77–89. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6073-3>
- Zhang, Z., Jaiswal, P., & Rai, R. (2018). Featurenet: Machining Feature Recognition Based on 3D Convolution Neural Network. *Computer-Aided Design*, 101, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2018.03.006>

BÖLÜM 4

İKİ ZAMANLI AKIŞ KONTROLLÜ BENZİN MOTORUNUN SİLİNDİR TASARIMI VE İMALATI

Zafer KAYA¹, Dinçer BURAN²

¹ Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav-Kütahya, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5489-3997> Mail: zafer.kaya@dpu.edu.tr

² Makine Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5079-7191> Mail: dincerburan@sdu.edu.tr

1. Giriş

Motor silindirinde yanma sürecinde meydana gelen akışkan hareketine eksenel girdap denir (Hill & Zhang, 1994). Girdabın şiddeti arttıkça öngörülenin aksine ortalamanın üzerinde hız dalgalanmaları olur (Glover et al., 1988). Buji ateşlemeli motorlarda yanma odasındaki akışkana dönme hareketi (girdap) verilmesinin temel amacı, hız dalgalanmalarını artırarak yanma oranını ve tutuşabilirlik sınırını yükseltmektir. Bu uygulamanın başlıca avantajları; daha kısa yanma periyodu sayesinde ısı enerjisinin mekanik enerjiye daha verimli dönüşümü, doğal gaz gibi yavaş yanan yakıtların etkili kullanımı ve çevrimler arası değişkenliğin azalmasıyla hidrokarbon ile karbonmonoksit emisyonlarının düşmesidir. Ancak girdap oluşumunun dezavantajları da bulunur: muhtemel yüksek ısı kayıpları ve dönüş hareketinin oluşturulma yöntemine bağlı olarak daha düşük volümetrik verim bunların başında gelir. Girdap olayı, yönlendirilmiş portlar ve bunların değişik uygulamaları (Fansler, 1985), girdap vanaları (Arcoumanis et al., 1982, 1983) ve yönlendirilmiş supaplar (Aydın & Walker, 1993; Kuwahara & Ando, 1993; Lancaster, 1976), helisel port (Arcoumans & Whitelaw, 1987; Kajiyama et al., 1984), değişken olarak yöneltilmiş (Mikulec et al., 1988), girdap kontrol valfleri (Inoue et al., 1980; Urushihara et al., 1995), gibi farklı metotlar kullanılarak oluşturulabilir. Disk biçimli yanma odalarına sahip motorlarda, giriş supabı kapanması (inlet valve closure (IVC)) ve üst ölü nokta (top dead centre (TDC)) teğetsel hız dağılımı “sabit-cisim dönmesine” (solid-body-rotation) yaklaşır (Arcoumanis et al., 1982; Hall & Bracco, 1987). Girdap merkezi genellikle silindirin merkezi ile tam olarak çakışmaz (Arcoumanis et al., 1987; Itoh et al., 1985). Liu ve Santavicca, disk biçimli yanma odalarında türbülans üst ölü nokta civarında kenardan homojen bir yapıya sahip olduğunu yaptıkları deneylerle göstermişlerdir (Liou & Santavicca, 1983). Liou ve arkadaşları, LDV ölçüm tekniğini kullanarak 600 ila 2400 dak-1 arasındaki motor devirlerinde türbülans homojenliği ve isotropisinde +/- %20 değişim görüldüğünü tespit etmişlerdir (Liou et al., 1984). Türbülans şiddeti ile motor hızı arasında yakın bir ilişki söz konusudur (Hill & Zhang, 1994). Sabit cisim dönüşümlü girdabın hacim akışındaki türbülans artışına etkisinin ihmal edilebilecek seviyede olması beklenir. Ancak silindir duvarlarından kaynaklanan türbülans hacim akışına difüzyon ve ikincil akışlar yoluyla aktarılabilir. Ayrıca çıkıntı oluşturan parçalar (örneğin buji) yüzey sınır gerilmeleri ve girdap çalkantıları sebebiyle türbülans oluşturlar. Bu nedenle sabit cisim dönüşü yapan girdaplar yanma odası içerisinde dikkate değer bir türbülans artışı gösterirler (Hill & Zhang, 1994). Genellikle girdabın şiddeti veya derecesi girdap oranı (SR) veya girdap sayısı ile tanımlanır (Denklem 1) (Heywood, 1989).

$$SR = \frac{w_s}{w_n}$$

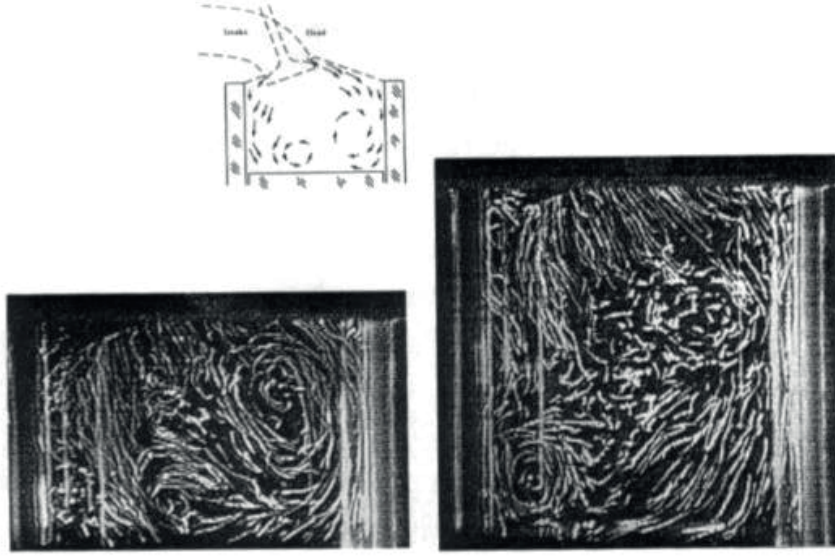
(Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.)

Burada w_s girdabın açısal hızı ve w_n ise, krankın dönme hızıdır.

Disk biçimli yanma odalı motorlarda yapılan farklı motor hızlarındaki ortalama hız ölçümleri girdap şiddetinin motor hızıyla orantılı olduğunu göstermiştir (Hall & Bracco, 1987; Saxena & Rask, 1987). Bu tip motorlarda 2400 dak⁻¹'e kadar olan motor hızlarında yapılan bazı ortalama hız ve türbülans şiddeti ölçümlerinde girdap oranının artan motor hızıyla birlikte düşme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir (Nagayama et al., 1977). İtegami ve arkadaşları LDV metodunu kullanarak yaptıkları türbülans araştırmalarında motor devri 400 ile 800 dak⁻¹ arasında değişen tek silindirli bir motoru kullanmıştır. Üst ölü noktada girdaplı ve girdapsız akış deneylerinde girdaplı akış deneyinde aldıkları sonuçlarda girdapsız olan deneylere göre yanma hızının yaklaşık iki misli olarak arttığını tespit etmişlerdir (Ikegami et al., 1985).

1.1. Tumble

Silindir içerisindeki dolgunun dikey eksen yönünde yaptığı dönme hareketi, tumble hareketi olarak adlandırılır. Araştırmacılar, uzun süre tumble ile sıkıştırma stroğundaki piston hareketinin hız gradyanını yoğunlaştırabileceği ve dolayısıyla kayma gerilmesinin türbülans üretimi oranını yükseltebileceği düşüncesi üzerinde çalışmışlardır. Bu düşünce pek çok deneysel ve nümerik çalışmaya konu olmuştur. Witze ve arkadaşları kenardan valfli bir motorda piston hareketiyle tumble hareketinin arttığını tespit etmişlerdir (Witze et al., 1983). Tumble hareketinin türbülansa etkisi ile ilgili yapılan bir diğer çalışmada ise, sıkıştırma periyodu esnasında tumble olayının, üst ölü noktadaki tahmin edilen türbülans şiddetini ortalama piston hızının 1,2 katı kadar yükselttiği ve türbülans oluşumunu artırdığı sonucuna varmıştır (Gosman et al., 1985). Khalaghi (PTV) particle tracking velocimetry ölçüm metodunu kullanarak optik bir silindir üzerine 4 valfli bir kapak takarak suyun silindir içerisindeki tumble hareketini incelemiştir. Yapılan bu incelemeye ait deney düzeneği ve elde edilen görüntü şekil 1'de verilmiştir (Khalighi, 1990).



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. Silindir İçerisindeki Tumble Olayı (Hill & Zhang, 1994).

1.2. Türbülansın Yanmaya Etkisi

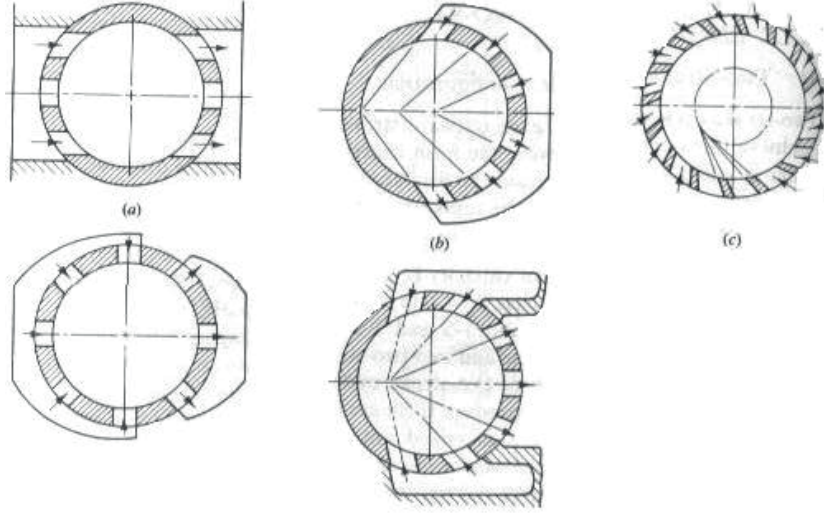
Motor alevinin gelişimi türbülanslı bir ortamda gerçekleşir. Türbülansın etkisi alevi kıvrıyarak uzatmak (türbülansın derecesine bağlı olarak) ve böylece yüzey alanını büyütmek dolayısıyla efektif alev hızını arttırmaktır (Hill & Zhang, 1994). Alev gelişimi bujide kıvılcım çaktıktan yaklaşık 50 μ s sonra başlar. Hemen hemen küresel ve dış yüzeyi düz olarak ortaya çıkan alev, buji tırnakları arasındaki türbülanslı akış alanıyla temas ettikçe giderek büyümeye başlar (Heywood, 1989). Bujı yakınındaki akışkan hareketinin ateşleme ve fakir yanma limiti üzerinde pek çok etkisi vardır. Bujı elektrotları arasındaki hava hızı arttıkça karışımın tutuşma ihtimali yükselir. Şayet hızın şiddeti çok büyükse tutuşabilirlik mümkün olmaz. Büyük akış hızlarında alev elektrotlardan uzağa sürüklenerek temas alanı azalır ve böylece elektrotlardaki ısı kaybı düşer (Pischinger & Heywood, 1990). Alev gelişimi, karışımın durumu ve bileşeninin yanı sıra daha öncelikli olarak buji yakınındaki akışkan hareketinden etkilenir. Başlangıçta küçük fakat ölçülebilir yanmış karışım oranı periyodu “alev gelişme açısı” olarak adlandırılır ve genellikle %1, %5 ve %10 yanmış kütle oranı olarak gösterilir. Bu periyot bazen yanlış olarak tutuşma gecikmesi periyodu olarak adlandırılır. Ancak pratikte dizel motorları hariç buji ateşlemeli motorlarda tutuşma gecikmesi yoktur (Heywood, 1989). Alevin yapısı yanma odası boyunca alev ilerledikçe gelişmesine devam eder. “Hızlı yanma açısı” olarak adlandırılan ve karışımın büyük bir bölümünün yandığı periyot yanma odası içerisindeki şartlardan önemli ölçüde etkilenir. Bu açı alev gelişiminin sona erdiği (genellikle yanmış kütle oranının %10 olduğu bölüm) ve yanmanın sona erdiği (genellikle yanmış kütle oranının %90 olduğu bölüm) periyotlar arasında kalan bölüm olarak tarif edilir. Pek çok motor deneyi sonucu artan girdap

ve/veya azalan yanma periyodu arasında pozitif bir korelasyonun olduğu gösterilmiştir (Hamamoto et al., 1987; Mikulec et al., 1988; Nagayama et al., 1977).

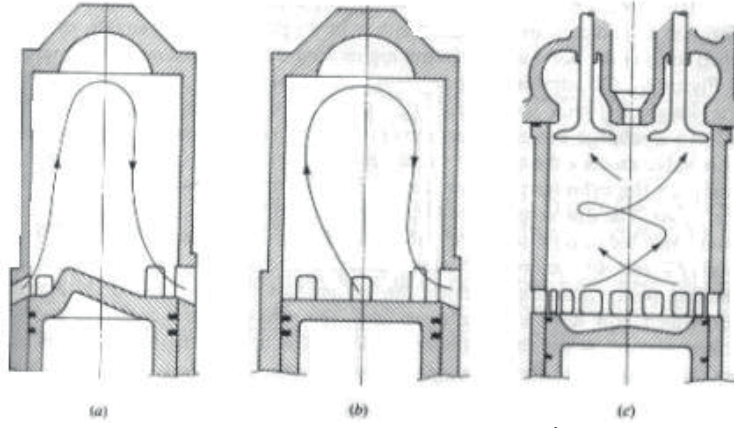
Bujinin yerleştirildiği yerdeki değişimin yanma zamanı üzerindeki etkileri de pek çok araştırmaya konu olmuştur (Kim, 1993; Mikulec et al., 1988; Urushihara et al., 1995). Bu konuda yapılan deneylerden bujinin silindir merkezine yerleştirilmesi halinde en kısa yanma zamanının elde edildiği gözlemlenmiştir (Yüksek girdap derecelerinde kenardan ateşleme daha iyi sonuç vermiştir.) (Urushihara et al., 1995). Silindir orta radyüsünden ateşleme, düşük girdap seviyelerinde ve 3000 dak-1'in üzerindeki motor hızlarında, girdap olmayan şartlardaki yanma performansının benzeri veya daha kötü sonuçlar vermiştir (Mikulec et al., 1988).

1.3. Motorlarda Uygulanan Süpürme Şekilleri

Bir yanma olayında silindir içine gönderilen karışımın hangi açıyla gönderildiği önemlidir. Silindir içine gönderilen yakıtın giriş açısı emme portunun konumuna bağlıdır. Emme portu yerleştirme açısına göre iyi yanma sağlayacak türbülans elde edilir. Emme portunun değişik konumlarına göre silindir içindeki süpürme durumlarına bağlı yanma hareketini gösteren çeşitli örnekler şekil 2 ve şekil 3'te verilmiştir. Süpürme işlemi üç farklı biçimde gerçekleştirilebilir. a-Çapraz süpürme, b-Döngülü süpürme ve c-Karma akışlı süpürme. Süpürme portlarının yeri ve biçimi süpürme işlemi kontrol eder. Çapraz ve döngülü süpürme sistemlerinde egzoz ve emme potları piston alt ölü noktaya ulaştığında tam açık olacak şekilde silindir duvarına açılmıştır. Karma akışlı sistemlerde emme portları egzoz supaplarıyla birlikte silindir kafasında ya da emme ve egzoz portları karşılıklı pistonlarla birlikte kullanılır. Her bir silindir geometrisiyle farklı akış şekilleri oluşturulmasına karşılık bunların genel çalışma prensipleri benzerdir. Dizel motorlarında hava ya da buji ateşlemeli motorlarda hava-yakıt karışımı, egzoz sistemi basıncından daha yüksek bir basınçla emme portlarına gönderilmelidir (Heywood, 1989).



Şekil 2. Farklı Akış Şekilleri Oluşturmak İçin Tasarlanmış Port Konfigürasyonları (Heywood, 1989).



Şekil 3. Portların Farklı Konumlarına Göre Silindir İçindeki Akışın Durumu (Heywood, 1989).

2. Motor Silindiri Tasarımı

İmalatı yapılacak olan silindir için tasarımı belirleyen kriterlerden bir tanesi mevcut motora ait ölçüler ve diğeri ise deney motorunda olması arzu edilen performans değerleridir. Mevcut UD IT motorun piston ile krank-biyel mekanizması değişiklik yapılmaksızın kullanıldığından, silindir çapı ve yüksekliği çap ve strok ölçüleri esas alınarak belirlenmiştir.

Deney motorunun, daha sonraki çalışmalarda yanma görüntülerinin alınabileceği optik bir silindir kafasıyla çalıştırılması hedeflendiğinden, yüksek basınçlara çıkılması arzu edilmemektedir. Bu nedenle iki zamanlı motorların çalışabileceği sıkıştırma oranı aralığının alt limitleri seçilmiştir. Ancak vuruntulu çalışma koşulları da dikkate alınarak, yapılan hesaplamalarda maksimum yanma basıncının daha yüksek değerlerde olabileceği varsayılmıştır. Port boyutları literatürde yer alan bazı çalışmalardan yararlanılarak tespit edilmiştir. Deney motorunda sadece birkaç çevrimin analizi yapılacağı ve dolayısıyla motor

uzun süreli çalıştırılmayacağından, soğutma sistemi kullanılmamış, aksine motoru normal çalışma sıcaklığında tutabilmek için ısıtıcı elemanların yerleştirilebileceği kör delikler tasarlanmıştır. Emme ve egzoz portlarının açık ve kapalı kalma süreleri iki zamanlı motorlara ait veriler ışığında hesaplanmıştır.

2.1. Sıkıştırma Oranı

Sıkıştırma oranı motor performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Sıkıştırma oranı arttıkça motorun termal verimi de artar. Ancak vuruntulu yanma sıkıştırma oranının üst limitini belirleyen önemli bir etkidir. Benzinli ve dizel motorlara ait sıkıştırma oranı aralıkları Tablo 1’de özetlenmiştir.

Sıkıştırma oranı r , maksimum silindir hacminin minimum silindir hacmine oranı şeklinde tarif edilir (Denklemler 2).

$$r = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (2)$$

Burada V_d , piston tarafından süpürülen hacmi, V_c ise yanma odası hacmini göstermektedir.

Tablo 1. İçten Yanmalı Motorlar İçin Bazı Dizayn Verileri (Heywood, 1989).

	Zaman	Sıkıştırma Oranı	Silindir Çapı (m)	Strok/Çap Oranı
Buji ateşlemeli motorlar				
Küçük motorlar	2-4	6-11	0,05-0,085	1,2-0,9
Otomobil motorları	4	8-10	0,07-0,1	1,1-0,9
Kamyon motorları	4	7-9	0,09-0,13	1,2-0,7
Büyük gaz motorları	2-4	8-12	0,22-0,45	1,1-1,4
Wankel motorları	4	≈ 9	Her yanma odasında 0,57dm ³	
Dizel motorlar				
Otomobil motorları	4	17-23	0,075-0,1	1,2-0,9
Kamyon motorları	4	16-22	0,1-0,15	1,3-0,8
İş makineleri	4	14-20	0,1-0,15	1,3-0,8
Lokomotif, endüstri ve deniz motorları	4-2	12-18	0,15-0,4	1,1-1,3
Büyük motorlar, sabit ve deniz motorları	2	10-12	0,4-1	1,2-3

Yapılan silindir tasarımında, strok ve silindir çapı orijinal değerinde tutulduğundan süpürme hacmi $V_d=300,98 \text{ cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. İki zamanlı döngülü süpürmeli bir motorda, sıkıştırma işlemi ancak egzoz portu piston tarafından kapandıktan sonra başlayacağı için, “efektif” süpürme hacmi; $V_{de}=220,72 \text{ cm}^3$ olarak bulunur. Disk biçimli yanma odası için,

silindir çapı sabit olduğundan yanma odasının hacmini belirleyen tek ölçü yanma odası yüksekliğidir. İleride yapılacak çalışmalarda tasarlanacak olan optik silindir kafasındaki kuvarz pencerelerin ve basınç detektörü, kenardan ateşleme bujisi gibi elemanların yerleştirilebilmesi için yanma odası yüksekliğinin 8-10 mm civarında seçilmesi gerekmektedir. İlk aşamada gerek sıkıştırma oranını düşük tutmak gerekse yukarıda sözü edilen parçaların kolayca yerleştirilmesini sağlamak için, yükseklik 10 mm seçilerek yanma odası hacmi $V_c=40,13\text{cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Buna göre efektif sıkıştırma oranı $r_e=6,5/1$ olarak bulunmuştur. Ancak silindir imalatı sonrasında yapılan denemelerde motorun çalıştırılmasında yaşanan zorluklar sebebiyle sıkıştırma sonu basıncının yeteri kadar yükselmediği anlaşılmıştır. Bunun üzerine yanma odası yüksekliği 9 mm'ye ve dolayısıyla yanma odası hacmi $V_c=36,11\text{cm}^3$ 'e düşürülmüştür. Bu düzenleme neticesinde efektif sıkıştırma oranı $r_e=7,11/1$ olarak hesaplanmıştır.

2.2. Silindir Malzemesi

Silindir, pistonu yataklık eden ve çalışma maddesinin çevrim boyunca olan değişikliklerinin yer aldığı ortamdır. Pistonlu motorlarda, güç elde edilen yer silindirler olduğundan, silindir boyutları motor gücüne direk olarak etki etmektedir. Silindirler çok değişken şartlarda, karışık gerilme ve sürtünme kuvvetleri altında çalışmak zorundadırlar. Yüksek basınç, sıcaklık, aşınma ve paslanmadan etkilenmemesi veya en az seviyede etkilenmesi için, çalışma ortamlarına göre ideal boyutlarda ve uygun malzemelerden imal edilmesi gerekir (Çetinkaya, 1998). Silindir blokları genellikle dökme demirden yapılırlar. Çelikten ve alüminyum alaşımlarından yapılan bloklara da rastlamak mümkündür (Öztunç & Öztunç, 1976). Hazırlanan deney motorunda ileride yapılması planlanan silindir içi yanma ve akış görüntülerinin çekilmesi esnasında, optik silindir kafası camlarının motor yağıyla kirlenmemesi için, motorun mümkün olan en az yağla ya da yağsız çalıştırılması gerekir. Bu esnada yağlama problemi yaşanmaması için gözenekli yapısı nedeniyle yağlama kolaylığı sağlayan gri dökme demir silindir malzemesi olarak tercih edilmiştir. Gri dökümün işleme kolaylığı ve ekonomik oluşu da bu malzemenin seçimindeki etkenlerin başında gelmektedir.

2.3. Silindir Et Kalınlığı

Motor silindiri et kalınlığının hesabında silindir malzemesinin emniyet gerilmesi, silindir iç çapı ve silindir için maksimum yanma basıncı önemli rol oynar. Buji ateşlemeli motorlarda maksimum silindir basıncı 20-60 bar arasında değerler alabilmektedir. Vuruntulu çalışma halinde ise basınç daha yüksek değerlere (~100 Bar) ulaşabilmektedir (Heywood, 1989). Vuruntu ile ilgili çalışmalar bu deney motoru için planlanmamasına rağmen, maksimum yanma

basıncı emniyet açısından 100 bar kabul edilmiştir. Gri dökme demir için emniyet gerilmesi 30-60 N/mm² arasındadır. İmalatı yapılan silindir malzemesi için bu değer 40 N/mm²'dir. Silindir et kalınlığı denklem 3 ile hesaplanmıştır.

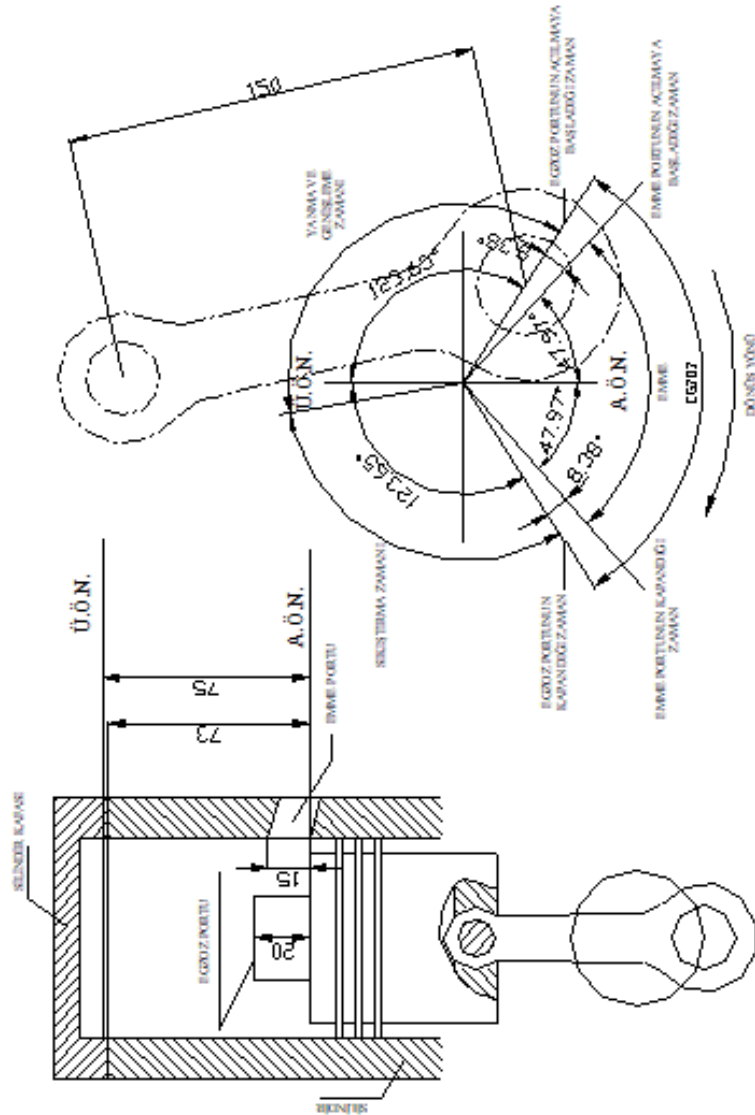
$$t_c = \frac{D \cdot P_{\max}}{2 \cdot \sigma_{em}} \quad \text{(Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.)}$$

Burada, t_c -Silindir kalınlığını (mm), D -Silindir çapını (mm), $P_{\max}$ -Maksimum yanma basıncını (N/mm²), σ_{em} -Malzemenin emniyet gerilmesini (N/mm²) ifade etmektedir. Yukarıda belirtilen değerlere göre silindir et kalınlığı;

$$t_c = \frac{D \cdot P_{\max}}{2 \cdot \sigma_{em}} = \frac{71,50 \cdot 10}{2 \cdot 40} = 8,93 \text{ mm} \cong 9 \text{ mm} \text{ olarak bulunur.}$$

2.4. Emme-Egzoz Portları

Silindir üzerinde biri emme diğeri de egzoz olmak üzere iki adet port tasarlanmıştır. Bu portların konumu birbirlerine göre 270°'dir. Her iki port da dikdörtgen kesitli olup piston alt ölü noktada iken tamamen açık konumdadır. Portların dikdörtgen kesitli seçilmesinin nedeni deneysel çalışmalarda yapılacak hız ve debi hesaplamalarını kolaylaştırmaktır. Emme ve egzoz portlarının boyutları bu tür deney motorlarında kullanılan port ölçülerine benzer şekilde (Buran, 1998), emme portu için 15x20 mm egzoz portu için 20x30 mm olarak belirlenmiştir. Giriş havası basınçlı olarak silindire alınacağından ve egzoz gazları ile taze karışımın egzoz portundan dışarı atılmasını azaltmak amacıyla, egzoz portu emme portuna nazaran daha önce açılacak şekilde ve daha büyük olarak tasarlanmıştır. Portlara ait bu bilgiler ışığında hazırlanan port açılma/kapanma diyagramı ve silindire ait bazı temel ölçüler şekil 4'te verilmiştir.



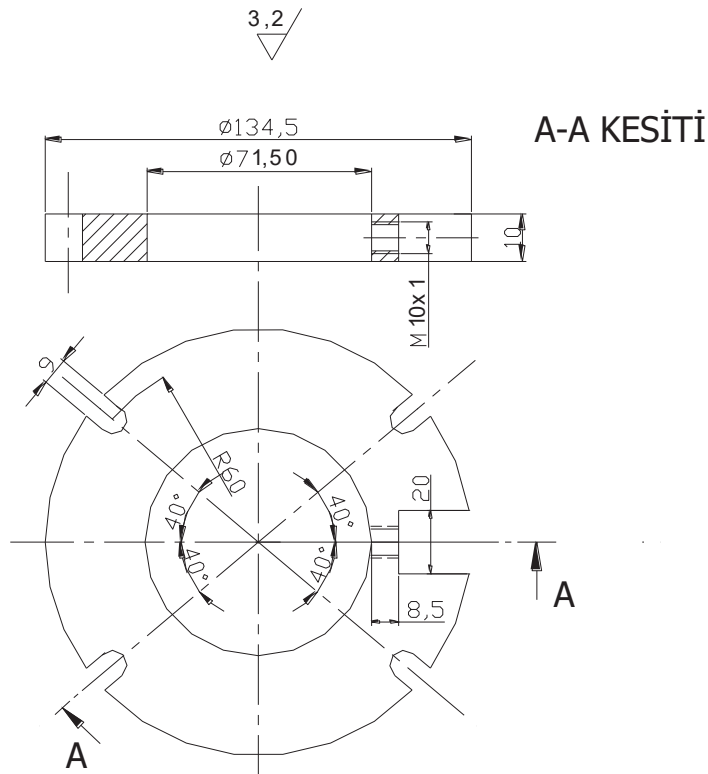
Şekil 4. Emme ve Egzoz Portları Açılma/Kapanma Zaman Diyagramı.

Ayrıca silindire alınan taze hava-yakıt karışımının egzoz portundan dışarıya kaçışını engellemek için emme manifoldu silindir yatay eksenine göre 100°'lik açı ile bağlanacak şekilde emme manifoldunun alt ve üst kenarlarına pah kırılmıştır.

2.5. Silindir Kafası

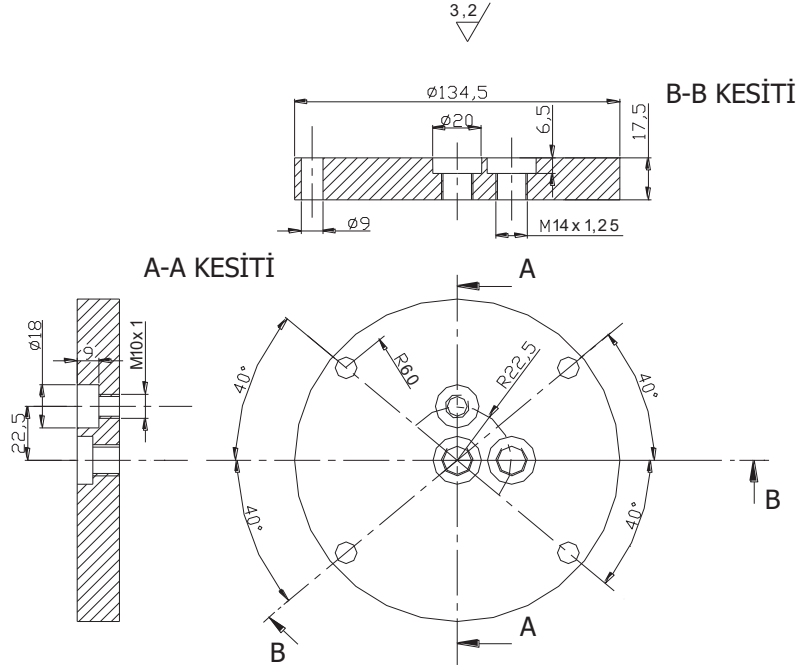
Tasarımı yapılan silindirin imalat sonrası motor üzerinde denenebilmesi amacıyla metal bir silindir kafası tasarımı yapılmıştır. Bu silindir kafası aynı zamanda görüntü almayı gerektirmeyen motor testlerinin yapılabilmesi için planlanmıştır. Yanma odası içerisindeki olayların basitten başlayarak karmaşığa doğru analiz edilebilmesi için disk biçimli yanma odasına sahip bir silindir kafası tercih edilmiştir. Metal silindir kafası yanma odasını oluşturan ara parça ve üst kapak olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Silindir şeklindeki yanma odasının çapı, silindir çapı ile aynı, yüksekliği ise daha önce belirtilen sıkıştırma oranına uygun

olarak seçilmiştir. Kistler 601-A tipi basınç detektörü bağlayabilmek amacıyla, yanma odası dış kenarına 20 mm genişliğinde bir kanal ve kanalın devamında M10x1 mm vidalı delik açılmıştır. Ayrıca yanma odası çevresine, üst kapak ile silindiri birbirine bağlayacak olan cıvatalara kılavuzluk edecek olan 9 mm genişliğinde 4 adet kanal yerleştirilmiştir. Yanma odasına ait detay resmi şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Yanma Odası Detay Resmi.

Üst kapak tek parça olup üzerine biri silindir merkezi ve diğeri silindir orta radyüsünde olmak üzere iki adet M14x1,25 mm boyutunda buji takılabilecek delik açılmıştır. Ayrıca orta radyüs üzerinde silindir içi basınç ölçümünün yapılabileceği Kistler 601-A tipi basınç detektörü için ikinci bir M10x1 mm vidalı delik yerleştirilmiştir. Üst kapağa ait diğer boyutlar şekil 6’da gösterilen detay resmi üzerinde verilmiştir.



Şekil 6. Üst Kapak Detay Resmi.

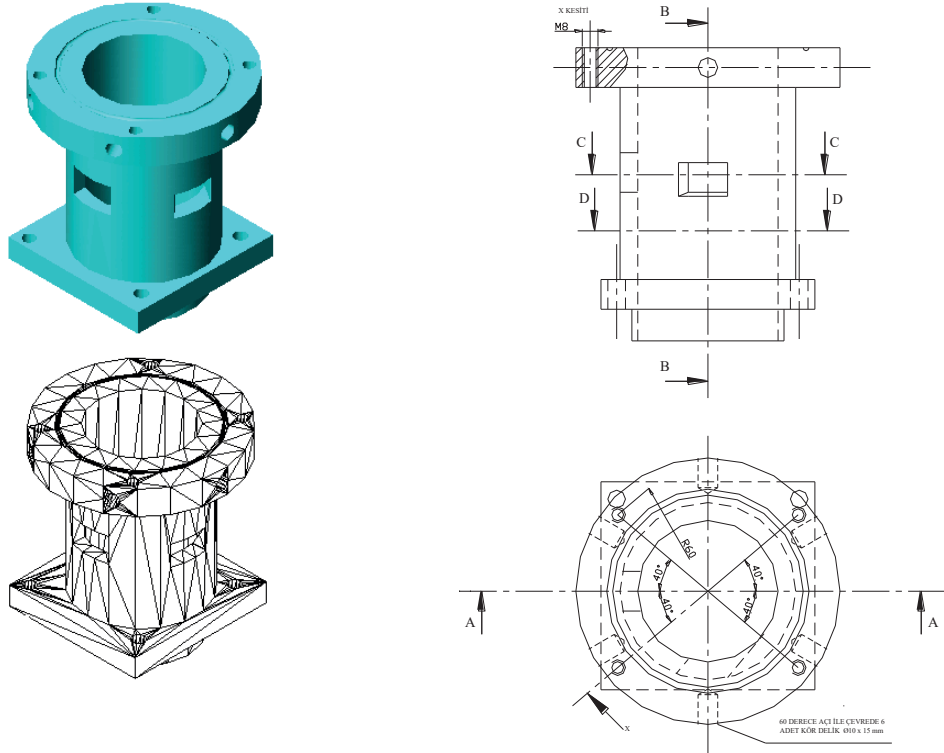
2.6. Silindir Tasarımına Ait Diğer Detaylar

Bir sonraki çalışmada tasarlanacak olan optik silindir kafasının silindir üzerine yerleştirilebilmesi için, silindirin üst kısmında çapı 134,50 mm, genişliği 20 mm olan bir üst kademe oluşturulmuştur. Silindir kafasının silindire montajı için, kademe üzerinde merkezi R60'dan geçen ve merkeze göre 400 açılı 4 tane delik delinerek M8 kılavuz çekilmiştir ve tasarımı yapılan silindirin katı modeli ve üç boyutlu görüntüsü verilmiştir (Şekil 7).

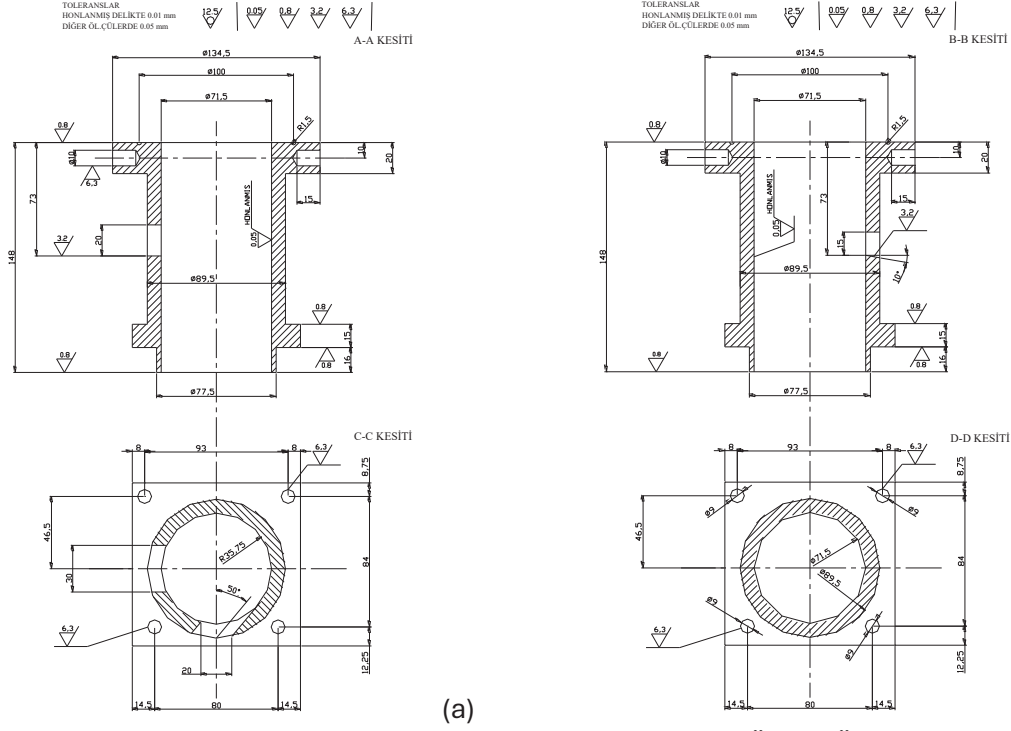
Tasarımı yapılan deney motorunda sadece birkaç çevrimin analizi yapılacağından motorun uzun süreli çalıştırılması ve dolayısıyla normal çalışma sıcaklığına ulaşması mümkün değildir. Motorun normal çalışma sıcaklığında tutulabilmesi için dışarıdan ısıtılması gerekmektedir. Bu nedenle kademe çevresinde 6 adet çapı 10 mm boyu 15 mm olan, ısıtma bujilerinin yerleştirilebileceği kör delikler açılmıştır. Ayrıca silindir üst yüzeyinde merkezi 100 mm çaptan geçen R1,5 mm olan bir kanal mevcuttur. Bu kanal silindir kafası yerleştirildiğinde sızdırmazlığın sağlanması için conta kanalıdır (Şekil 8 (a)).

Silindir alt kısmında silindirin motor bloğu üzerine yerleştirilmesine yarayan ve yüksekliği 15 mm olan bir alt kademe oluşturulmuştur. Bu kademenin profili üzerinde M8 saplamaların gireceği 9 mm çapında 4 adet delik bulunmaktadır. Kademenin profili ve saplama deliklerinin yeri tamamen eski silindirin motor gövdesi üzerindeki konumuna ve motor gövdesi üzerindeki yerleştirme düzenine göre tasarlanmıştır. Silindirin altında 16 mm uzunluğunda ve dış çapı

77,50 mm olan bir diğer kademe bırakılmıştır. Bu kademe pistona kılavuzluk etmesi amacıyla motor gövdesi içine girecek şekilde uzatılmıştır (Şekil 8 (b)).



Şekil 7. Tasarlanmış Silindirin Üç Boyutlu Görüntüleri ve Motor Silindirin Ön ve Üst Görünüşleriyle Kesit Düzlemleri.



Şekil 8. (a) Tasarlanan Silindirde A-A ve C-C Kesitleriyle Ön ve Üst Görünüşleri, (b) Silindirde B-B Ve D-D Kesitleriyle Ön ve Üst Görünüşleri.

3. Tasarlanan Motor Silindirinin İmalatı

3.1. Silindir Modelinin İmalatı

Tasarımı yapılan silindirin döküm işleminin yapılabilmesi için önce ahşap malzemeden modeli oluşturulmuştur. Döküm işleminden sonra dökümden çıkan malzemenin çekmesinden dolayı küçülme olacağından dolayı, model silindir tasarım ölçülerinden daha büyük olarak imal edilmiştir. Silindir modeli Simav Teknoloji Fakültesi Uygulama Atelyesinde bulunan Tos marka torna tezgahında imal edilmiştir. Model daha sonra döküm işlemi sırasında alt ve üst derecelere yerleştirilebilmesi için silindir düşey ekseninden ikiye kesilmiş ve modele kavelalı birleştirme uygulanmıştır. Silindir modelinin hazırlanma aşaması ile son durumunu gösteren fotoğraflar sırasıyla şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Silindir Modelinin İmalat Aşaması ve Modelinin Son Şekli.

3.2. Silindirin İmalatı

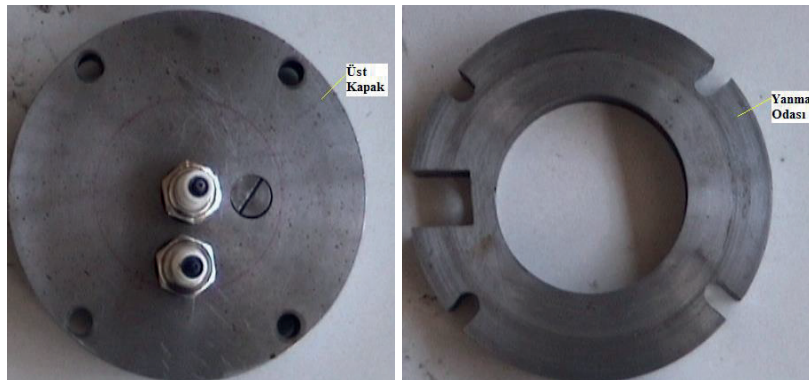
Silindir modeli imal edildikten sonra Eskişehir Deniz Döküm Sanayi Anonim Şirketine gönderilerek istenilen dayanım özelliklerine sahip gri döküm olarak dökülmüştür. Silindire uygulanan tornalama, frezeleme ve taşlama işlemlerinin tamamı Simav Teknoloji Fakültesi, Uygulama atelyesinde bulunan tezgahlarda gerçekleştirilmiştir. Silindir imalatının bazı aşamalarını gösteren fotoğraflar şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Silindirin Bazı İmalat Aşamaları.

3.3. Silindir Kafasının İmalatı

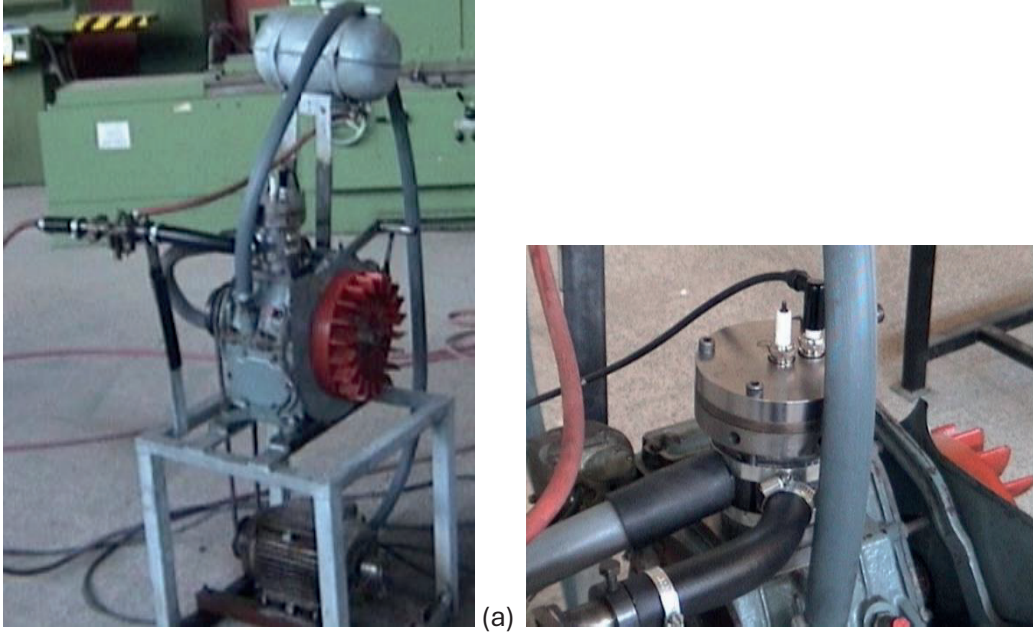
Silindir kafası yanma odası ve bir kapak olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Her iki parça için Ç1050 malzeme kullanılmıştır. İmalatlar, Simav Teknoloji Fakültesi Uygulama Atelyesinde gerçekleştirilmiştir. İmalatı yapılan silindir kafasının fotoğrafı şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. İmalatı Yapılan Silindir Kafası ve Parçaları.

4. Deney Motorunun Montajı, Çalıştırılması ve Basınç Ölçümü

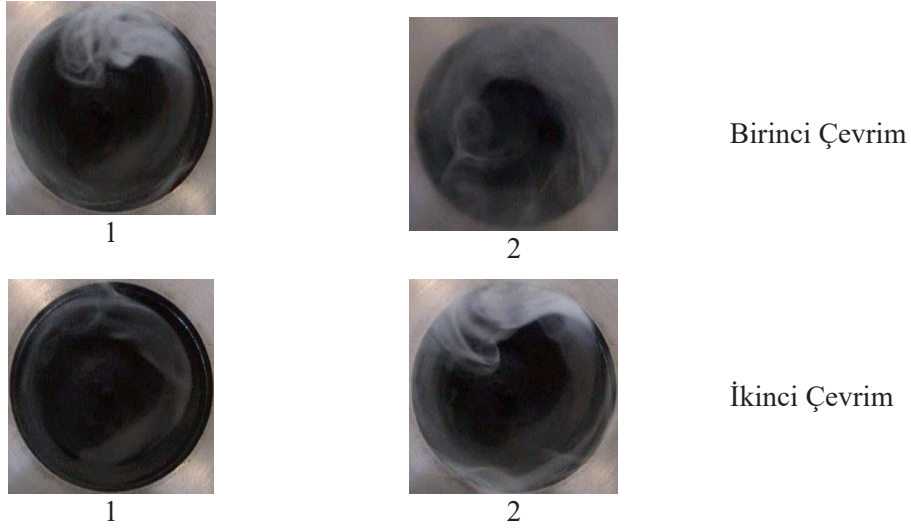
Bu bölümde, tasarımı ve imalatı yapılan tüm parçaların (silindir, silindir kafası, manifoldlar v.b.) motor üzerine montajı, hava-yakıt sistemi ve ateşleme sisteminde yapılan düzenlemeler ile motorun benzinle çalıştırılması işlemleri yapılmıştır. Ayrıca farklı çalışma şartları altında (farklı buji konumları, farklı emme manifoldu bağlantı açıları gibi) motorun çalışma performansı silindir içi basınç ölçümü yapılarak test edilmiştir. Motoru sabit bir devirde döndürmek amacıyla motor bloğu altına 5,5 Beygir Gücünde, 1435 dak^{-1} devirli, 4 KW gücünde özelliklerde bir alternatif akım elektrik motoru yerleştirilmiş ve kayış kasnak sistemi yardımıyla motor krank miline bağlanmıştır. Daha sonraki çalışmalarda bu elektrik motorunun yerine dinamometre kullanılması planlanmaktadır. Motorun tüm parçalarının montaj edilmiş durumunu gösteren fotoğrafları şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Deney Motorunun Hazırlanan Sehpa Üzerindeki Yerleşimi (a-Genel görünüm, b-Silindir, Silindir kafası ve Manifoldlar).

4.1. Silindir İçi Akış Kontrolü

Silindir düşey eksenini etrafında dönen tek merkezli bir girdabın oluşup oluşmadığı silindir kafası montajından önce yapılan basit bir deneyle test edilmiştir. Yapılan bu testte motorun karbüratör tarafından silindir içerisine duman-hava karışımı gönderilmiş ve silindir içerisindeki akışkan hareketleri dijital bir kamera yardımıyla kaydedilmiştir. Şekil 13’te 50°’lik manifold bağlantısı kullanılarak çekilmiş iki farklı çevrime ait akış görüntüleri yer almaktadır. Her iki çevrimde de silindir düşey eksenini etrafında dönen tek merkezli bir girdabın oluştuğu ve benzer akış hareketlerinin tekrarlanabilir olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 13. 50⁰'lik Manifoldla Alınan Görüntüler.

Sıfır derecelik manifold bağlantısı ile elde edilen akış görüntülerine ait iki örnek şekil 14'te görülmektedir. Her iki çevrimde de akışkanın silindir karşı duvarına çarptıktan sonra farklı yönlere hareket ettiği ve silindir içerisinde homojen, tekrarlanabilir bir dağılımın oluşmadığı anlaşılmaktadır.



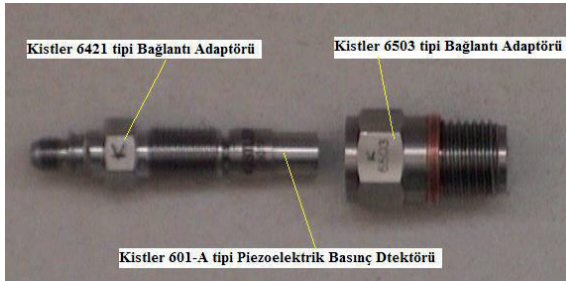
Şekil 14. 0⁰'lik Manifoldla Alınan Görüntüler.

Bu görüntülerden hareketle, 50°'lik manifoldla çalıştırıldığı zaman motorun daha kararlı bir performans göstereceği ancak 0°'lik manifoldla çalıştırıldığında motor performansı üzerinde önemli etkisi olan çevrimler arası farkın artabileceğini söylemek mümkündür.

4.2. Silindir İçi Basınç Ölçümü

Yanma basıncı, motor performansının analizinde kullanılabilecek en önemli verilerden bir tanesidir. Bu nedenle hazırlanan deney motorunun farklı çalışma şartları altında gösterdiği performans, silindir içindeki basınç değişiminin ölçülebileceği bir düzencele test edilmiştir.

Basınç ölçümü için Kistler 601-A tipi (Şekil 15) piezoelektrik basınç detektörü ve bununla uyumlu Kistler 5015 tipi Charge Meter (Şekil 16) kullanılmıştır. Bu tip detektörler, yüksek frekanslara cevap verebilirler (150 kHz, yükselme zamanı 3 μ s), küçük boyutlu olmaları sebebiyle kolayca montaj edilebilirler ve çevre koşullarından hemen etkilenmezler. Bu özellikleri sebebiyle, piezoelektrik basınç ölçerler, dinamik basınçların ölçümünde en çok tercih edilen basınç detektörleridir. Bu tip detektörler içerisindeki kuvarz kristal, silindir basıncı arttıkça sıkışır ve basınçla orantılı olarak elektrik akımı üretir. Üretilen elektrik akımı Charge Meter tarafından güçlendirilir ve gerilim (0-10 V) olarak depolama ünitesine (PC) gönderilir. Bu çalışmada detektörün ürettiği akım Kistler 1631C5 tipi data kablosu (Şekil 17) ile Charge Meter'e aktarılmıştır. Basınç verilerinin kaydedilmesi ve grafik şeklinde sunulması amacıyla Kistler firması tarafından hazırlanan 5015_Applikation programı kullanılmıştır. Basınç ölçümü için hazırlanan düzencek Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 15. Basınç Detektörü ve Bağlantı Elemanları.

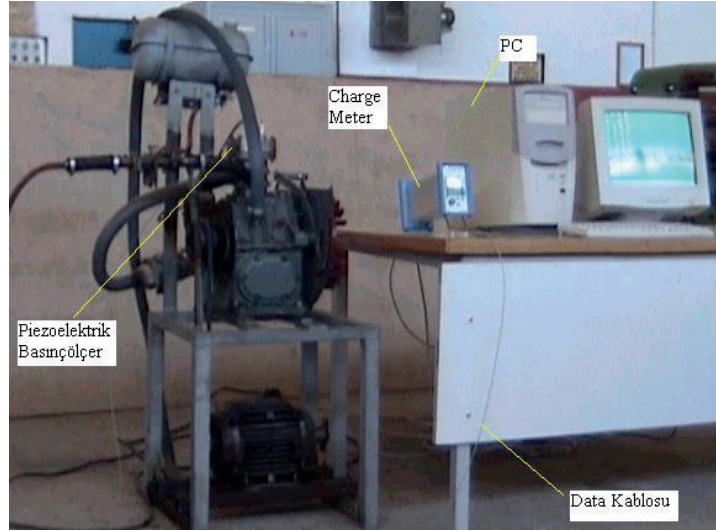


Şekil 16. Kistler 5015 Tipi Bir Charge Meter.



Şekil 17. Kistler 1631C5 Tipi Data Kablosu.

Farklı çalışma şartları altında motor performansının test edilmesi için hazırlanan düzenekte yapılan ilk ölçümler esnasında, statik elektrik boşalması nedeniyle Charge Meter’de istenmeyen bir arıza meydana gelmiştir. Arızanın giderilmesi için Charge Meter’ın, İsviçre’de bulunan Kistler firması ile irtibata geçilmiş, ancak bu tez çalışması için ayrılan süre içerisinde tamir işleminin mümkün olamayacağı anlaşılmıştır. Bu nedenle performans analizinde kullanmak üzere yapılması planlanan basınç ölçümleri bir sonraki çalışmaya bırakılmıştır.



Şekil 18. Basınç Ölçüm Düzeneği.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Rus Ulyanovetz firması tarafından 1970 yılında üretilen dört zamanlı, L tipi, tek silindirli bir motora ait silindir modifiye edilerek, dönüşlü süpürmeli ve iki zamanlı motor silindiri olarak tasarlanarak imal edilmiştir.

Silindir içerisine alınan akışı kontrol altında tutabilmek amacıyla, farklı açılarda silindire bağlanabilen emme manifoldlarının imalatı yapılarak, motor girdaplı ve girdapsız akış şartlarında test edilmiştir. Ayrıca farklı konumlarda (silindir merkezi, silindir orta radyüsü) buji bağlantısı yapılabilen disk biçimli bir silindir kafasının tasarımı ve imalatı yapılmıştır. İmalatı yapılan tüm parçaların motor bloğu üzerine montajı yapıldıktan sonra, silindir kafası olmaksızın, 0°'lik ve 50°'lik emme manifoldları ile silindir içerisindeki akış kontrolü yapılmıştır. Bu kontrol için akışa madde ilavesi yöntemi uygulanmıştır. Çalıştırmak için motorun orijinal yakıt ve ateşleme sistemi kullanılmıştır. Farklı buji konumları ve emme manifoldu bağlantı açılarının kombinasyonu şeklindeki çalışma şartları altında, motorun benzini yakabilme performansı ön bir teste tabi tutulmuştur. Yanma basıncının ölçümü için düzene hazırlanmış, ancak meydana gelen bir arıza sebebiyle ölçüm işlemi gerçekleştirilememiştir. Yapılan testlerde elde edilen sonuçlar aşağıya çıkartılmıştır.

1-Akış kontrolü için yapılan testlerde, 500'lik manifoldla bu çalışmada hedeflenen silindir düşey eksen etrafında tek merkezli bir girdap hareketinin oluştuğu gözlenmiştir.

2-00'lik manifold bağlantısı halinde, silindir içerisinde her çevrim için farklı bir akış şeklinin oluştuğu tespit edilmiştir. Bu durumun, motor çalıştırırken zaman çevrimler arası farkı artırabileceği tahmin edilmektedir.

3-Farklı manifold açıları ve buji konumlarında en düzgün çalışmanın 500'lik manifold ve silindir orta radyüsünden ateşleme halinde gerçekleştiği gözlenmiştir. Ancak ateşleme avansı ve yakıt-hava karışım miktarı tam olarak kontrol edilemediğinden, bu durumun daha sonraki çalışmalarda tekrar kontrol edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma esnasında kazanılan tecrübeler ve görülen eksiklikler doğrultusunda, ileride yapılacak çalışmalara ışık tutabilecek öneriler aşağıdaki gibidir.

1-Montaj sonrası yapılan ilk denemelerde efektif sıkıştırma oranının küçük olması nedeniyle yakıtın tutuşması sağlanamamış ve dolayısıyla yanma odası hacmi küçültülerek sıkıştırma oranı artırılmıştır. Bir sonraki çalışmada yapılacak olan optik silindir kafası için yanma odası yüksekliğinin yetersiz kalması halinde emme ve egzoz port yükseklikleri küçültmek suretiyle efektif süpürme hacmi ve dolayısıyla sıkıştırma oranı yükseltilebilir.

2-Deneysel çalışmalar için motora gönderilen yakıt ve hava miktarları mutlaka ölçülmelidir. Bu maksatla hava ve yakıt miktarlarını ölçen uygun debi ölçerler temin edilmelidir.

3-Yeni bir ateşleme sistemi oluşturularak, avans kontrol altında tutulmalıdır.

4-Motor krank mili çıkışına şaft kodlayıcı bağlanmalı ve basınç verileri kodlayıcı sinyallerine bağlı olarak analiz edilmelidir.

5-Motor devri, değişken devirli bir dinamometre yardımıyla kontrol edilmelidir.

Açıklama

Bu kitap bölümü, 2004 yılında, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalında, tamamlanan “Tek Silindirli akış kontrollü motor silindiri tasarımı ve imalatı” başlıklı Yüksek Lisans tezinden bölümleri içermektedir. Tamamlanan tez, Yükseköğretim Kurulu, Ulusal Tez Merkezi veri tabanında 150560 numarası ile tanımlanmaktadır.

Kaynaklar

- Arcoumanis, C., Bicen, A. F., & Whitelaw, J. H. (1982). *Effect of Inlet Parameters on the Flow Characteristics in a Four-Stroke Model Engine*. 820750. <https://doi.org/10.4271/820750>
- Arcoumanis, C., Bicen, A. F., & Whitelaw, J. H. (1983). Squish and Swirl-Squish Interaction in Motored Model Engines. *Journal of Fluids Engineering*, 105(1), 105–112. <https://doi.org/10.1115/1.3240925>
- Arcoumanis, C., Hadjiapostolou, A., & Whitelaw, J. H. (1987). *Swirl Center Precession in Engine Flows*. 870370. <https://doi.org/10.4271/870370>
- Arcoumans, C., & Whitelaw, J. (1987). Frequency Analysis of Tumble and Swirl in Motored Engines. *Institution of Mechanical Engineers*, 201(C1), 57–74.
- Aydın, K., & Walker, C. P. (1993). Flow and Combustion Analysis within a Spark Ignition Engine. *Institution of Mechanical Engineers*, C245(025), 249–260.
- Buran, D. (1998). *Turbulent Flame Propagation in a Methane Fuelled Spark Ignition Engine* [PhD thesis]. School of the Mechanical Engineering the University of Leeds.
- Çetinkaya, S. (1998). *Motor Tasarımına Giriş (Yayınlanmamış Ders Notları)*.
- Fansler, T. D. (1985, February 1). *Laser Velocimetry Measurements of Swirl and Squish Flows in an Engine with a Cylindrical Piston Bowl*. <https://doi.org/10.4271/850124>
- Glover, A. R., Hundleby, G. E., & Hadded, O. (1988, February 1). *An Investigation into Turbulence in Engines using Scanning LDA*. <https://doi.org/10.4271/880379>
- Gosman, A. D., Tsui, Y. Y., & Vafidis, C. (1985, February 1). *Flow in a Model Engine with a Shrouded Valve-A Combined Experimental and Computational Study*. <https://doi.org/10.4271/850498>
- Hall, M. J., & Bracco, F. V. (1987, February 23). A Study of Velocities and Turbulence Intensities Measured in Firing and Motored Engines. *SAE International Congress and Exposition*. <https://doi.org/10.4271/870453>
- Hamamoto, Y., Tomita, E., Tanaka, Y., Katayama, T., & Tamura, Y. (1987). The effect of swirl on spark-ignition engine combustion. *JSME International Journal*, 30(270), 1995–2002. <https://doi.org/10.1299/jsme1987.30.1995>
- Heywood, J. B. . (1989). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill.
- Hill, P. G., & Zhang, D. (1994). The effects of swirl and tumble on combustion in spark-ignition engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 20(5), 373–429. [https://doi.org/10.1016/0360-1285\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0360-1285(94)90010-8)
- Ikegami, M., Shioji, M., Wel, D. Y., & Sugura, M. (1985). In-cylinder measurement of turbulence by laser monodyne principle. *International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Reciprocating Engines*, 115–123.
- Itoh, T., Takagi, Y., Ishida, T., Ishikawa, S., & Ishikawa, T. (1985). Analysis of In-Cylinder Air Motion with LDV Measurement and Multi-Dimensional Modelling. *International Symposium on Diagnostics and Modelling of Combustion in Reciprocating Engines*.
- Inoue, T. ., Nakanishi, K. ., Noguchi, H., & Iguchi, S. (1980). The Role of Swirl and Squish in Combustion of the SI Engine. *VDI-Berichte*, 181–188.

- Kajiyama, K., Nishida, K., Murakami, A., Arai, M., & Hiroyasu, H. (1984, February 1). An Analysis of Swirling Flow in Cylinder for Predicting D.I. Diesel Engine Performance. *SAE International Congress and Exposition*. <https://doi.org/10.4271/840518>
- Khalighi, B. (1990, February 1). Intake-Generated Swirl and Tumble Motions in a 4-Valve Engine with Various Intake Configurations-Flow Visualization and Particle Tracking Velocimetry. *SAE International*. <https://doi.org/10.4271/900059>
- Kim, S. S. (1993). Effects of Swirl on Early Flame Development and Late Combustion Characteristic in a High-Speed Single-Shot Visualised SI Engine. *JSME International Journal, Series B*, 36(4), 711–722.
- Kuwahara, K., & Ando, H. (1993). TDC Flow Field Structure of Two-Intake-Valve Engines with Pentroof Combustion Chamber. *JSME International Journal Series B*, 36(4), 688–696. <https://doi.org/10.1299/jsmeb.36.688>
- Lancaster, D. R. (1976, February 1). Effects of Engine Variables on Turbulence in a Spark-Ignition Engine. *SAE Paper*. <https://doi.org/10.4271/760159>
- Liou, T.-M., Hall, M., Santavicca, D. A., & Bracco, F. V. (1984). Laser Doppler Velocimetry Measurements in Valved and Ported Engines. *SAE Paper*, 840375. <https://doi.org/10.4271/840375>
- Liou, T.-M., & Santavicca, D. A. (1983). Cycle Resolved Turbulence Measurements in a Ported Engine With and Without Swirl. *SAE Paper*, 830419. <https://doi.org/10.4271/830419>
- Mikulec, A., Kent, J. C., & Tabaczynski, R. J. (1988, February 1). The Effect of Swirl on Combustion in a Pancake Chamber Spark Ignition Engine: The Case of Constant Inducted Kinetic Energy. *SAE International Congress and Exposition*. <https://doi.org/10.4271/880200>
- Nagayama, I., Araki, Y., & Iioka, Y. (1977). Effects of Swirl and Squish on S.I. Engine Combustion and Emissions. *Conference of the SAE International Automotive Engineering Congress and Exposition*, 770217.
- Öztunç, A., & Öztunç, M. (1976). *Motor Teknolojisi*. M.E.B. (Milli Eğitim Bakanlığı) Yayınevi.
- Pischinger, S., & Heywood, J. B. (1990). How Heat Losses to the Spark Plug Electrodes Affect Flame Kernel Development in an SI-Engine. *SAE Technical Paper 900021*, 23. <https://doi.org/10.4271/900021>
- Saxena, V., & Rask, R. B. (1987). Influence of Inlet Flows on the Flow Field in an Engine. *SAE International Congress and Exposition*, 19. <https://doi.org/10.4271/870369>
- Urushihara, T., Murayama, T., Takagi, Y., & Lee, K.-H. (1995). Turbulence and Cycle-by-Cycle Variation of Mean Velocity Generated by Swirl and Tumble Flow and Their Effects on Combustion. *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. B*, 950813. <https://doi.org/10.4271/950813>
- Witze, P. O., Martin, J. K., & Borgnakke, C. (1983). Measurements and Predictions of the Precombustion Fluid Motion and Combustion Rates in a Spark Ignition Engine. *SAE Technical Paper Series*, 2688–3627. <https://doi.org/10.4271/831697>