



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TAGUCHI METODUYLA HURDA KIRPMA MAKİNELERİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Mehmet DEMİR

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
EKİM-2015**



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAGUCHI METODUYLA HURDA KIRPMA MAKİNELERİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Mehmet DEMİR

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EKİM-2015

T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

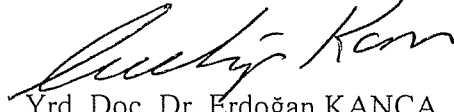
**TAGUCHI METODUYLA HURDA KIRPMA MAKİNELERİNDE KESME
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

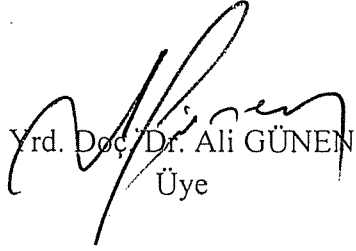
Mehmet DEMİR

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA danışmanlığında hazırlanan bu tez 01/10/2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA
Başkan


Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN
Üye


Doç. Dr. Ahmet YAPICI
Üye

Kod No:

Enstitü Müdürü V.
Prof. Dr. Okan ŞENER

Bu çalışma MKÜ Bilimsel Araştırma Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 13422

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

01/10/2015

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Mehmet DEMİR

ÖZET

TAGUCHI METODUYLA HURDA KIRPMA MAKİNELERİNDE KESME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Bu çalışma, çubuk geometrili hurdaların kesilmesi işleminde kesme kuvveti ve kesme enerjisine etki eden parametrelerin incelenmesiyle ilgilidir. Bu amaçla 50 ton kapasiteye sahip C tipi eksantrik bir pres tasarlanmış ve imal edilmiştir. Pres üç farklı kesme hızında çalışabilmektedir. Pres farklı kesme boşlukları için hassas ayar yapılabilme ve ayrıca kalıpları değiştirilerek hızlı dövme presi olarak da kullanılabilme özelliğine sahiptir.

Kesme kuvvetine etki eden parametreler; kesme hızı, kesilen çelik çubuğun çapı, kesme boşluğu, kesici takım yarıçapı ve kesme kenarı uzunluğu olarak belirlenmiştir. Mevcut çalışmaların aksine bu çalışmada kesme yüzeyinin iyileştirilmesinden ziyade kesme kuvvetinin ve enerjisinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Değişken olarak her beş parametreden üç farklı seviye belirlenmiştir. Parametre sayısı arttıkça deney sayısı da artacağından daha fazla parametreyi kullanabilmesi ve daha az sayıda deney yapabilmek için Taguchi L_{27} ortogonal dizisi esas alınarak deney tasarımı yapılmıştır. Kesme kuvvetine etki eden bu parametrelerin sonuca etkisi Varyans Analizi (ANOVA) yardımıyla tespit edilerek doğrulama deneyleri yapıp en uygun kesme parametreleri bulunmuştur. Tüm bunlara ek olarak mevcut prosesler sonlu elemanlar yönteminde modellenmiştir. Varyans analizi sonucunda, kesme kuvveti ve enerjiyi malzeme çapı, kesme hızı ve kesme boşluğunun değişimi büyük oranda etkilemiştir. Kesme kenarı yarıçapı ve kesme kenarı uzunluğunun etkisi ise ihmal edilebilecek seviyelerde olduğu görülmüştür. Kesme kuvveti ve enerji için ayrı ayrı kesme şartlarının optimum seviyeleri belirlenmiştir.

2015, 62 sayfa

Anahtar Kelimeler: Hurda kesme, kesme kuvveti, kesme enerjisi, pres, Taguchi

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS ON SCRAP SHEARING MACHINE WITH THE TAGUCHI METHOD

This study involves the examination of the parameters affecting the cutting force and cutting energy in the process of cutting of scrap bar. For this purpose, with a capacity of 50 tons of C-type eccentric presses was designed and manufactured. Press can operate in three different cutting speeds. To be able to do fine adjustment for different cutting space, and also has the capability of being used by changing the mold as a quick the forging press.

Parameters affecting the cutting force is determined as the cutting speed, the diameter of cut steel bars, cutting gap, the radius of the cutting tool and the cutting edge length. In contrast to the preexisting studies is aimed to reduce the cutting forces and energy rather than the improvement of the cutting surface in this study. Three different levels from each of the five parameters are identified as variable. The number of experiments increases proportionally with the number of parameters in order to use more parameters and perform fewer the number of experiments, this study is designed based on Taguchi L27 orthogonal array. The effect of these parameters which influence the cutting force on result is identified through varyans analize (ANOVA). In addition to these, the present processes were be modeled by the technique of finite element. As a result, the appropriate the cutting parameters are found by implementing verification tests. As a result of the analysis of variance, change of the diameter of the material has been the most effective parameter to cutting forces and energy. According to the optimization results, the optimum levels of the cutting conditions are determined to be different for the cutting force and energy

2015, 62 pages

Key Words : Scrap cutting, cutting force, cutting energy, press, Taguchi

TEŞEKKÜR

Ülkemizin büyüme hedefleri içinde en önemli yeri alan imalat sektöründen bir konuda bana çalışma imkânı veren ve tez çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen, yapıcı önerileri ile tezimin tüm aşamalarında bana yol gösteren ve maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA'ya ve Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN'e, hayatım boyunca beni destekleyip bugünlere ulaşmamı sağlayan annem Veliye DEMİR ve babam Mustafa DEMİR'e, manevi desteğini hiç esirgemeyen Arş. Gör. Handan GÜRSOY'a, çalışma süresince beni yalnız bırakmayan değerli dostlarım Arş. Gör. Vedat YEĞİN ve Arş. Gör. Ali Galip MUMCU'ya ve presin imalat süresince her türlü anlayış ve yardımı esirgemeyen Rollvols mühendislik firmasının sahibi Sn. İsmail KALLECİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Yapılan bu çalışma Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu Başkanlığı tarafından 13422 numaralı yüksek lisans tez projesi desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonu Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Mehmet DEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
SİMGELER ve KISALTMA DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1. Materyal	10
3.1.1. Hurda Kırpma Makinesi.....	10
3.1.1.1. Kesme Hızı (KH)	15
3.1.1.2. Kesilen Malzeme Çapı (KMÇ)	16
3.1.1.3. Kesme Boşluğu (KB)	17
3.1.1.4. Kesme Kenarı Yarıçapı (KKY).....	18
3.1.1.5. Kesme Kenarı Uzunluğu (KKU).....	19
3.1.2. Veri Toplama Sistemleri (Data Acquisition – DAQ)	19
3.1.2.1. Duyar Elemanlar (Sensörler).....	20
3.1.2.2. DAQ Kartları.....	23
3.1.2.3. Bilgisayar ve Yazılım.....	24
3.2. Yöntem.....	25
3.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon.....	25
3.2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	33
4.1. Kesme Kuvveti Sonuçları	35
4.2. Kesme Enerjisi ve Sonuçları	44
4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Kesme Kuvveti Sonuçları	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Paralel ağızlı bıçaklarla kesme.....	2
Şekil 1.2	Kesilen çubuk malzemenin geometrisi.....	3
Şekil 3.1	Kesme prosesi şematik gösterimi(Güneş, 2003).....	10
Şekil 3.2	Presin katı modeli	11
Şekil 3.3	Kriko mekanizması Solidworks çizimi.....	12
Şekil 3.4	Yük hücresi montaj kiti Solidworks Çizimi.....	12
Şekil 3.5	50 Tonluk C tipi pres.....	13
Şekil 3.6	Kriko mekanizması.....	14
Şekil 2.7	Yük hücresi montaj kiti.....	14
Şekil 3.8	Kayış-kasnak ve volan mekanizması.....	15
Şekil 3.9	Kesilen St37 çelik çubuklar.....	16
Şekil 3.10	Kesme boşluğu.....	18
Şekil 3.11	Kesme kenarı yarıçapı katı model gösterimi.....	18
Şekil 3.12	Kesme kenarı yarıçapı.....	19
Şekil 3.13	Kesme kenarı iki boyut gösterimi.....	19
Şekil 3.14	Presin elektronik veri toplama sistemi.....	20
Şekil 3.15	Keli Marka LFSCE yük hücresi.....	20
Şekil 3.16	Standart Wheatstone köprüsü konfigürasyonu (Yılmaz, 2010).....	21
Şekil 3.17	Yük hücresi montaj kiti.....	22
Şekil 3.18	Lineer potansiyometre.....	22
Şekil 3.19	Lineer potansiyometre iç yapısı.....	23
Şekil 3.20	Veri toplayıcı.....	24
Şekil 3.21	Yazılım, bilgisayar ve veri toplayıcı.....	24
Şekil 4.1	Kesme kuvveti strok grafiği.....	33
Şekil 4.2	Kesilen numuneler.....	33
Şekil 4.3	Kesme kuvveti sütun grafiği.....	34
Şekil 4.4	Kesme enerjisi sütun grafiği.....	35
Şekil 4.5	Parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri.....	35
Şekil 4.6	Hız ve çapın kesme kuvvetine etkisi.....	37
Şekil 4.7	Hız ve kesme boşluğunun kesme kuvvetine etkisi.....	37
Şekil 4.8	Hız ve yarıçapın kesme kuvvetine etkisi.....	38
Şekil 4.9	Hız ve kesme kenarının kesme kuvvetine etkisi.....	39
Şekil 4.10	Çap ve kesme boşluğunun kesme kuvvetine etkisi.....	39
Şekil 4.11	Çap ve yarıçapın kesme kuvvetine etkisi.....	40
Şekil 4.12	Kesme kenarı ve çapın kesme kuvvetine etkisi.....	40
Şekil 4.13	Kesme boşluğu ve yarıçapın kesme kuvvetine etkisi.....	40
Şekil 4.14	Kesme boşluğu ve kesme kenarının kesme kuvvetine etkisi.....	41
Şekil 4.15	Kesme kenarı ve yarıçapın kesme kuvvetine etkisi.....	41
Şekil 4.16	Kesme kuvvetleri için değişkenlerin S/N oranları.....	42
Şekil 4.17	Parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri.....	45
Şekil 4.18	Hız ve çapın kesme enerjisine etkisi.....	46
Şekil 4.19	Hız ve kesme boşluğunun kesme enerjisine etkisi.....	46
Şekil 4.20	Hız ve yarıçapın kesme enerjisine etkisi.....	47
Şekil 4.21	Hız ve kesme kenarının kesme enerjisine etkisi.....	47
Şekil 4.22	Çap ve kesme boşluğunun kesme enerjisine etkisi.....	48

Şekil 4.23	Çap ve yarıçapın kesme enerjisine etkisi.....	48
Şekil 4.24	Kesme kenarı ve çapın kesme enerjisine etkisi.....	49
Şekil 4.25	Kesme boşluğu ve yarıçapın kesme enerjisine etkisi.....	49
Şekil 4.26	Kesme boşluğu ve kesme kenarının kesme enerjisine etkisi.....	50
Şekil 4.27	Kesme kenarı ve yarıçapın kesme enerjisine etkisi.....	50
Şekil 4.28	Kesme enerjisi için değişkenlerin S/N oranları.....	51
Şekil 4.29	Kesme prosesinin katı model çizimi.....	53
Şekil 4.30	Sonlu elemanlar ağı (Mesh).....	54
Şekil 4.31	Mildeki anlık kesme kuvvetlerinin gösterilmesi	54
Şekil 4.32	SEY’de elde edilen kuvvet ile deneysel kuvvetlerin karşılaştırılması	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	St37 düşük karbonlu çeliğin kimyasal kompozisyonu.....	16
Çizelge 3.2	St37 düşük karbonlu çeliğin mekanik özellikleri	16
Çizelge 3.3	Kesme kuvveti ve enerjisine etki eden faktörler	28
Çizelge 3.4	Faktör seviyelerin tespiti.....	28
Çizelge 3.4	(Devam) Faktör seviyelerin tespiti.....	29
Çizelge 3.5	Seviye ve faktör değerlerin ataması.....	29
Çizelge 3.5	(Devam) Seviye ve faktör değerlerin ataması.....	30
Çizelge 4.1	Kesme kuvveti değerleri ve S/N oranları.....	36
Çizelge 4.2	Kesme prosesi için kontrol faktörlerinin S/N Oranları.....	42
Çizelge 4.3	Kesme kuvvetinin S/N oranlarının varyans analizi.....	43
Çizelge 4.4	Kesme kuvveti değerleri ve S/N oranları.....	44
Çizelge 4.5	Kesme enerjisi için kontrol faktörlerinin S/N Oranları	51
Çizelge 4.6	Kesme enerjisi S/N oranlarının varyans analizi	52
Çizelge 4.7	Deform programıyla elde edilen kesme kuvvetleri.....	55

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

S	: Sinyal
N	: Gürültü
y_i	: Deneysel veriler
n	: Deney sayısı
s	: Varyans

KISALTMALAR

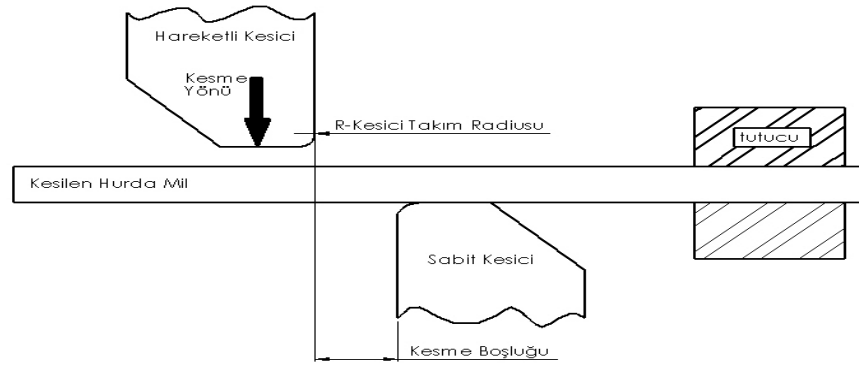
KK	: Kesme kuvveti
KH	: Kesme hızı
KMY	: Kesilen malzeme çapı
KB	: Kesme boşluğu
KKU	: Kesme kenarı uzunluğu
KKY	: Kesme kenarı yarıçapı
SEY	: Sonlu elemanlar yöntemi

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında nüfus artışına paralel olarak kişisel ve kurumsal bazda kullanılan ürünlerin artan tüketimlerinin yer altı kaynaklarını her geçen gün azaltması ve doğal dengeyi bozması insanoğlunu kaynakların verimli kullanımı ve geri kazanımı konularında çalışmaya yönlendirmiştir. Demir, çelik, bakır, kurşun, kağıt, plastik, kauçuk, cam vb. hurdalardan maddelerin geri kazanılması ve tekrar kullanılması endüstride yaygındır. Geri dönüşümün çok önemli bir kısmı da metal malzemelerin geri kazanılmasıdır. Bu malzemeler arasında en fazla kullanım alanı bulan sac, profil veya mil şeklindeki malzeme türleri en basit ulaşım aracı olan bisikletten en karmaşık olan uçaklara, evimizde kullandığımız çatal bıçaktan beyaz eşyalarımıza kadar hemen hemen her alanda kullanılmaktadır (Albayrak, 2011). Dünya sıvı ham çelik üretimin yaklaşık üçte birinin (%69' u entegre, %31 hurda) hurda (Anonim, 2010) kaynaklarından elde edilmesi, doğal kaynakları koruması, hammadde ve enerji tasarrufu sağlaması hurdanın önemini daha da artırmıştır. Aynı zamanda, hurdanın taşınabilir bir madde olması özelliği ise; ticaretinin dünyanın her yerinde yapılabilmesini ve dünya çapında satılabilen değerli bir hammadde olmasını sağlamıştır. Dünya genelinde tüketilen 570 milyon tonluk hurdanın, 103 milyon ton civarındaki kısmı uluslararası ticarete konu olmuştur. Uluslararası ticarete konu olan hurdanın % 20 civarındaki kısmını ithal eden Türkiye, dünyanın en büyük hurda ithalatçısı konumunu sürdürmektedir (Anonim, 2013). Demir çelik sektörü için hurda bu kadar önem arz ederken hurdanın kalitesinin artması, hem maliyetleri düşürmek hem de istenilen çeliğin elde edilmesi açısından önemlidir. İstenilen hurda kalitesini yakalamak ve hurdanın elektrik ark ocaklarına sığmasını sağlamak için uzun malzemeler ergitilmeden önce bir kesme işlemine tabi tutulmak zorundadırlar. Bu işlemin daha az enerji harcayarak daha verimli bir kesme yöntemiyle yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada çelik hurdalarının büyük çoğunluğunun St-37 kalite çelik olmasından dolayı çapları 10, 12 ve 14 mm olan St-37 çelikler kullanılmıştır.

Parçaları malzemeden istenen ölçülerde, çeşitli metotlarla ayırma işlemine kesme denir (Güneş, 2003). Bu ayırma işlemine etki eden parametreler; kesme hızı (Marouani ve ark., 2009), kesme boşluğu (Quazi ve Shaikh, 2012), malzeme cinsi (Kahraman, 2006), kesilen malzemenin kalınlığı, kesici takım kesme kenarı kalınlığı (Amol ve ark.,

2013), kesilen malzemenin profili (Kasuga ve ark., 2003), kesme açısı, kesme kenarı radiusu (Hambli, 2001), tutucunun uyguladığı kuvvettir (Husson ve ark., 2008). Metaller genel olarak talaş kaldırarak, talaş kaldırmadan ve ergitilerek kesilebilirler. Talaş kaldırmadan kesme bir makas veya kesici takım ile talaş kaldırmadan malzemenin bir hat boyunca (açık veya kapalı kesme çevresi) ayrılması olarak tanımlanır (Şeker, 2010). Makaslarla kesme prosesinde sabit ve hareketli bıçak, baskı düzeni ve yeteri kadar hareket elemanlarından oluşur. Bıçaklar arasına konan malzemeye Şekil 1.1’ de görüldüğü gibi hareketli bıçakla kesme kuvveti uygulanır. Bıçakların malzemeye basmasıyla malzemenin esnekliğinden ötürü bıçakların değme yüzeyleri büyür ve kesme kuvveti bu yüzeyleri doğru yayılır. Bıçakların malzemenin direncini yenerek dalması ile meydana gelen kayma gerilmeleri bıçak uçlarındaki malzemede bir kesilme meydana getirir. Bundan sonra ezilme sınırını aşan basınç gerilmelerinin etkisi ile malzeme kırılır (Güneş, 2003).



Şekil 1.1. Paralel ağızlı bıçaklarla kesme

Kesme sürecinde 4 farklı bölge oluşur. Bunlardan birincisi, üst bıçağın malzemeye vurmasıyla oluşan ve yüzeydeki tanelerin içeriye doğru yönelmesiyle oluşan ezilme bölgesi, ikincisi asıl enerjinin harcandığı ve kesme kalitesiyle direkt olarak ilintili, oldukça parlak ve pürüzsüz olan kesme yüzeyidir. Üçüncü bölge kopma bölgesidir. Bu bölgede basınç gerilmeleri etkisiyle malzemeler birbirinden kopar. Son bölge ise çapak bölgesidir. Çapaklanmanın sebebi kesme boşluğudur. İki bıçak arasına bir miktar malzeme dolar ve kesme işlemi sona erdiğinde bu malzemeler çapak oluştururlar (Hambli, 2001).



Şekil 1.2. Kesilen çubuk malzemenin geometrisi

Presler endüstrinin hemen hemen her alanında kullanılmaktadır. Bu alanları genel olarak savunma, demir-çelik, otomotiv, beyaz eşya gibi özetlemek mümkündür. Bahsedilen sektörlerde kullanılan preslerin her biri ayrı amaca hizmet etmektedir. Buna ek olarak şekillendirme işlemleri için farklı özelliklere sahip özel presler de mevcuttur. Bu kadar farklı uygulama sahası olan pres teknolojilerinin sınıflandırmasını yapmak oldukça zordur. Bu çalışmada ise, hurda çubukların kesilmesi için özel bir pres tasarlanmış ve imal edilmiştir. Farklı özelliklere sahip bir mekanik pres tasarımı farklı başlıklar altında incelenmiştir. Presten istenilen özelliklerden ilki 3 farklı hızla çalışabilmesidir. Bu özelliği sağlayabilmek için 3 farklı kasnak kullanılarak 120, 270, 325 mm/s olan 3 farklı hız elde edilmiştir. İkinci bir özellik olarak ise alt ve üst kesiciler arasındaki boşluğun ayarlanabilmesi, pres gövdesinin, sensörlerin tam ve doğru çalışabilmesi, hassas ayar yapılabilmesi ve ayrıca yük altında C tipi preslerde açılmal bir deformasyon oluştuğu için alt ve üst tabla arasındaki paralelliğin zamanla bozulmasından dolayı eski haline getirmek için 3 eksenin pozitif ve negatif yönde de hareket edebilmesini sağlayacak şekilde imal edilmiştir. Preste yük ve mesafe ölçüleceğinden dolayı sabit kesicinin altına yük hücresi, hareketli kesiciyle hareket edecek şekilde ise lineer cetvel montajı yapılmıştır. Volanda depolanan enerjiyi istenilen anda alabilmek için bir pedal kullanılmıştır. Bu pedal sayesinde kesme alanına besleme yapıldıkça kesici harekete geçirilmiş ve bu sayede iş güvenliği tedbirleri alınmıştır. Deneylerin her biri için farklı bıçak profilleri gerektiğinden birbiriyle eşleşen 27 farklı çift ısıtılmış işlem görmüş bıçak imal edilmiştir.

Çalışmada; daha az sayıda deney ile daha çok parametreyi inceleyebilmek amacıyla Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, parametre tasarımı, sistem tasarımı, tolerans tasarımı üzerine kurulmuş bir deney ve optimizasyon

yöntemidir. Herhangi bir tasarımın amaçları dahilinde istenilen sonuçlar elde etmek için yapılacak olan deney sayısını ortogonal dizi oluşturarak minimuma indirmeyi amaçlar (Quazi ve ark., 2013; Taguchi ve ark., 1989). Bu çalışmada Taguchi metoduna uyarlanmış hurda mil kesme parametreleri düzenlenmiştir. Deneyler toplam beş parametre ve üç seviyede yapılmıştır. Ancak çalışma sonuçlarının güvenilirliği için istatistiksel analizlerin yapılması gerekmektedir. Bunun için çok değişkenli varyans analizi (ANOVA) kullanılarak parametrelerin sonuçlar üzerindeki etki yüzdeleri ve güven düzeyleri belirlenmektedir (Şirvancı, 1997). Bu çalışmada Minitab-17 istatistik programı kullanılarak varyans analiz yöntemi, Taguchi L_{27} ortogonal dizisi için uygulanmıştır ve girdi parametrelerinin kesme kuvveti ve enerjisi üzerine etkileri incelenmiştir.

Mühendislikte analitik hesaplama, nümerik hesaplama (SEM) ve deneysel çalışmalar olmak üzere üç çeşit analiz vardır. Bu yöntemler arasında sonlu elemanlar yöntemi, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Ele alınan mühendislik probleminin çözümü alt problemlere ayrıştırılır ve her alt problemde aranan fonksiyonun ifadesi polinom olacak şekilde seçilir. Belirli işlemler dahilinde her alt problemde polinom olarak kabul edilen çözümün katsayıları belirlenmeye çalışılır (Topçu ve ark., 1998). Bu metoddaki ana fikir, karmaşık bir problemi daha basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması ve bazı ihmaller nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmektedir. Ancak bu yaklaşım, sonuç hakkında fikir vermektedir ve eğer modelleme doğru şekilde yapılabilirse ve tanımlamalar gerçeğe uygun yapılabilirse sonuca tam olarak ulaşılabilir. Kesme prosesinin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesinde Deform yazılımı kullanılmıştır. Prosesleri Deform programında modelleyerek bilgisayar üzerinde deneysel sonuçları doğrulanmıştır.

Bu çalışmada, çeliklerin hurda kırıpma makinesinde kesme hızı, kesme kenarı uzunluğu, kesme kenarı yarıçapı, kesme boşluğu ve çelik malzeme çapı parametreleri değiştirilerek kesme kuvvetine ve enerjisine etkileri incelenmiştir. Mevcut çalışmaların aksine bu çalışmada kesme yüzeyinin iyileştirilmesinden ziyade kesme kuvvetinin ve enerjisinin düşürülmesi hedeflenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürdeki çalışmalar; kesme işlemini gözlemlemeye ve kesilen malzemelerin yüzey kalitesi üzerine yoğunlaşmıştır. Silindir çubukların kesilmesi üzerine ise literatürde çok az sayıda çalışmaya rastlanmıştır.

Chan ve ark. (1998) çalışmalarında, hassas kesme ve mil kesme proseslerinin kesme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında yapacakları deneyler için her iki kesme prosesine özel bir set dizayn etmişler. Kesme kalitesini etkileyen parametrelerin; kesme boşluğu, malzeme, kesme hızı, tutucu yükleri ve eksenel yükler olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, aynı kesme parametreleri uygulanarak karşılaştırıldığında hassas kesme prosesinde, çubuk kesme prosesine göre yüzey kalitesinin daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Hambli ve Potiron (2000) çalışmalarında, malzemeye göre kesme işleminin simülasyonunun doğrulanması için bir sonlu elemanlar yöntemi geliştirilmiş ve matematiksel bir model önermişlerdir. Yaptıkları çalışmada batma, çatlama ve kopma bölgesi elastik-plastik deformasyon konularını incelemişlerdir. Çalışmada kesilen geometrinin değişik işlem parametreleri ve zımbanın kesme kuvveti değerlendirilerek bir hesaplama algoritması abaküs programı kullanılarak geliştirilmiştir. Sonuç olarak deneysel metotla sonlu elemanlar yöntemi simülasyonun aynı sonucu verdiğini saptamışlardır.

Kartal (2000), St 33 ve St 52 çeliklerinin kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin farklı seviyeleriyle sementit karbür kesicilerle işlenebilirliğini incelemiştir. Deneyleri, Taguchi Yönteminin L9 dikey dizinine göre yapmıştır. Bu deneylerden elde edilen verileri varyans analizi aracılığıyla değerlendirip en uygun kesme parametrelerini bulmuştur. Varyans analizi yardımıyla St 33 malzemenin yüzey pürüzlülüğü için en uygun kesme parametreleri olarak; kesme hızı 180 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve kesme derinliği 1 mm olarak belirlemiştir. Ayrıca, St 33 malzeme için, kesme parametrelerinin Ra değerine etkinlik yüzdelerinin tespitini yapmıştır. Ra değeri kesme hızı için % 8,2, ilerleme miktarı için % 75,2 ve kesme derinliği için % 1,9 olarak bulmuştur. St 52 malzemenin yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametreleri olarak; kesme hızı 180 m/dak, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev ve talaş derinliği 1,5 mm olarak belirlemiştir. St 52 malzemedeki, kesme parametrelerinin etkinlik yüzdelerini ise

kesme hızı % 8,40, ilerleme miktarı % 72,56 ve kesme derinliği % 6,88 olarak bulunmuştur.

Maiti ve ark. (2000)'de yaptıkları çalışmalarında, kesme boşluğu, sürtünme, kesici takım boyutu ve kesilen metalin deformasyona etkileri incelenmişlerdir. Çeşitli takım hareketleri ve levhadaki gerilme dağılımlarıyla zımba yükleri elde edildiği, kesme boşluğundaki azalmanın kesme kuvvetini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Sürtünme katsayısının artışıyla da kesme kuvvetinin arttığını belirtmişlerdir.

Dawim (2001)'de yaptığı çalışmada, tornalama işleminde kesme parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini Taguchi Yöntemi ile analiz etmiştir. L27 dikey dizinine göre yaptığı deneylerde, kesme parametreleri olarak kesme hızı (250, 150 ve 100 m/dak), ilerleme miktarı (0,10, 0,16 ve 0,25 mm/dev) ve kesme derinliğinin (0,5, 0,75 ve 1 mm) üçer seviyesini seçmiştir. Deneyler sonucunda kesme hızının, ilerleme miktarına göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha büyük etkiye sahip olduğunu bulmuştur.

Kopac ve ark. (2002), C15 E4 çeliğini işleyerek deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada elde ettikleri yüzey pürüzlülüğü değerlerini Taguchi Yöntemi ile analiz etmişlerdir. L16 dikey dizini ile yapılan çalışmada, değişkenler ve seviyelerini; kesme hızı 25 m/dak ve 400 m/dak, kesici takım Sermet ve Sermet-TiN, kesme derinliği 0,3 mm ve 0,5 mm olarak belirlemişlerdir. TiN kaplamalı uçların yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen faktörün kesme hızı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yüksek kesme hızında yüzey pürüzlülüğünün azaldığını bulmuşlardır. Kesme derinliğinin azalması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin bir miktar azaldığını vurgulamışlardır.

Miguel ve Bressan (2002)'deki araştırmalarında; sonlu elemanlar yöntemi kullanarak nümerik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada malzeme karakteristiğine de dikkat etmişlerdir. Kesme işleminin temas bölgesi, plastik deformasyon ve kopma bölgesi olarak üç aşamada oluştuğunu belirtmişlerdir. İlk iki bölgenin kesme boşluğundan üçüncü bölgenin ise malzeme karakteristiğinden etkilendiğini bildirmişlerdir. Çalışmada deformasyonun fazla olduğu 1. ve 2. bölgede sonlu elemanlar yöntemiyle tahmin etmiş ve deneysel çalışmalarıyla da karşılaştırmışlardır.

Hambli, Potiron ve Kobi (2003)'deki araştırmalarında; kesici uçlara dört farklı nitrasyon işlemi yaparak ve dört farklı kesme boşluğu kullanarak kesici ucun

aşınmasına ve saç kalınlığının kalıplama kuvveti üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kesme boşluğunun %5 ile %10 arasında alınması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Kasuga, Machida ve Kato (2003) çalışmalarında; kare kesite sahip bir borunun kesilmesinde zımba açısının, parça kalınlığının, kenar uzunluğunun, boru malzemesinin, kenarların çökmesi ve kesit şeklinin değişmesi gibi kesme parametrelerini araştırmış ve kesme kuvveti hesaplamışlardır. Kuvvetin hesaplanmasında bir model kullanılmış ve kullanılan bu modelde çıkarılan formülün deneysel çalışmalarla uyduğu görülmüştür.

Kahraman (2006)'da hazırladığı yüksek lisans tezinde; farklı kesme boşluklarının kesme düzlüğü, kopma düzlüğü, çapak miktarı ve yuvarlanma etkilerini araştırmıştır. Çalışmasında üç farklı kalınlıkta on bir farklı kesme boşluğu kullanarak farklı veriler elde etmiştir. Sonuç olarak; kesme boşluğu değerinin sac malzemenin kalınlığına ve özelliğine göre değiştiğini belirtmiştir.

Tosun (2006)'da yapmış olduğu çalışmada, gri ilişkiler analiz yöntemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve çapak yüksekliği çıktıları için delme işlem parametrelerinin optimizasyonu yapmışlardır. İşleme etki eden delici tipi, kesme hızı, besleme oranı, nokta açısı faktörlerinin 3'er seviyeleri kullanılarak oluşturulan L9 Taguchi tasarımına göre çalışma gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda delme işlemini etkileyen en etkili faktörün delme tipi olduğu belirlenmiştir.

Chen ve ark. (2007) çalışmalarında, bakır çubukların kesilmesinde, kesme yüzeyinin mikro yapılarındaki deformasyonunu, eşdeğer gerilmelerini ve mikro sertliklerini incelemişlerdir. Aynı zamanda, kesme yüzeylerinin ve özellikle kopma yüzeyini taramalı elektron mikroskopuyla gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak üç farklı özellikte mikro yapı gözlemlemişlerdir. Kopma yüzeyinin hilal şeklini aldığını ve kopma alanının düşüşüyle uygulanan kesme kuvvetinin arttığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında birçok elips şeklinde mikro boşlukların oluştuğunu da ifade etmişlerdir.

Göloğlu ve Sakarya (2008), DIN 1.2738 çeliğinin cep frezelenmesinde takım yolu belirlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisini Taguchi Yöntemi'nin L16 dikey dizinini kullanarak araştırmışlardır. Yapılan frezeleme deneylerinde, tek yönlü, ileri-geri ve spiral takım yollarını kullanmışlardır. Kesme parametrelerini kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve yanal ilerleme olarak belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi takım yolunu spiral olarak bulmuşlardır.

Gopalsamy ve ark. (2009), yüksek dayanımlı çeliklerin işlenmesinde işleme parametrelerini optimize etmek için Taguchi Yöntemini kullanarak, L18 dikey dizinine göre deney tasarımı yapmışlardır. Kesme hızını 100, 150 ve 204 m/dak, ilerleme miktarını 0,05, 0,1 ve 0,2 mm/dev, kesme derinliğini de 0,05, 0,1 ve 0,2 mm olarak belirlemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda sert malzemelerin işlenmesini optimize etmek için Taguchi Yöntemi ve ANOVA'nın kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. En iyi işleme parametrelerini; 204 m/dak kesme hızı, 0,2 mm/dev ilerleme miktarı ve 0,2 mm kesme derinliği olarak ortaya koymuşlardır.

Song ve ark. (2009)'da yaptıkları çalışmalarında, klasik çubuk kesme metotlarının yavaş kesme hızı, kopma bölgesi yüzey kalitesi ve yüksek işlem maliyeti gibi dezavantajlarını önlemek için yeni bir hassas çubuk kesme teknolojisi geliştirmişlerdir. DEFORM programını kullanarak farklı çalışma koşulları altında çubuk kesme prosesinin sonlu elemanlar yöntemiyle modellemişlerdir. Farklı kesme hızlarında gerinim-şekil değiştirme eğrileri, kesme kuvvetleri ve uygun kesme parametreleri elde etmişlerdir. Kesme yüzeyinden alınan taramalı elektron mikroskobu analizleri sonlu elemanlar yönteminden alınan sonuçların doğru olduğunu göstermiştir.

So, Fabmann, Hoffman, Golle, Schaper (2012) çalışmalarında; bor alaşımlı su alabilen 22MnB5 çeliği hafifliği ve mukavemetinin iyi olması nedeniyle otomobil sektöründe kullanıldığına ve bu çeliğin kesiminde zımba kullanıldığında zımba ömrünün kısa süreli olduğuna dikkat çekilmiştir. Bu çalışmada, zımba ömrünün arttırılması ve daha iyi kalitede ürün elde edebilmek ve bu yüksek mukavemetli çeliği kesebilmek için yeni bir ekonomik kesme modeli oluşturmuşlardır. Geliştirilen prosesle kesme yükünü azaltarak takım ömrü arttırdıklarını belirtmişlerdir.

Quazi ve Shaikh (2012)'de yaptıkları çalışmalarında, kesme işlemini etkileyen kesme boşluğu, takım geometrisi, sac levha kalınlığı gibi potansiyel parametrelerin etkilerini ve birbirleriyle olan ilişkisini tanımlamışlardır. İstenen modeli elde edebilmek için ANSYS, ABAQUS ve Yapay Sinir Ağları programlarıyla kesme optimizasyonu yapmışlardır. Çalışma sonucunda deneysel verilere yakın sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Zhong ve ark. (2013) çalışmalarında, metal çubukların talaşsız hassas kesilmesi sistemini; sünek hasar başlangıç kriteri, kırılmanın ilerleme yolunun analizini ve mikro yapılarının gözlemlenmesiyle birleştirerek kesme prosesine kesme boşluğu ve çentik

hassasiyetinin etkilerini araştırmışlardır. alışmalarında tek etken teorisi ve ortogonal test metodunun her ikisini de uygulamışlardır. Deneysel sonuçları nümerik sonuçlarla karşılaştırıldıklarında sünek hasar başlangıç kriterinin hem kesme boşluğunu hem de çentik hassasiyetini etkilediğini ve deneysel sonuçların simülasyon sonuçlarıyla örtüştüğünü gözlemlemişlerdir.

Kseler (2014) yılında hazırladığı yüksek lisans tezinde sac şekillendirmede kullanılan ve hat başı presi olarak tanımlanan hidrolik presler incelemiştir. Tasarım ve boyutlandırması gerçekleştirilen hidrolik presin dinamik davranışı ve kontrolüne ışık tutmak amacıyla matematiksel denklemleri çıkarılmıştır. Bu denklemlerin MATLAB/Simscape ortamında bir modeli kurularak benzetimi elde edilmiştir. Benzetim sonuçları ile imalatı gerçekleştirilen sistemden elde edilen sonuçlarla uyum gösterdiği görülmüş olup tasarım ve imalat sonrası elde edilen sonuçlar dinamik analiz, performans analizi ve maliyet analizi yönünden irdelenmiş ve değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

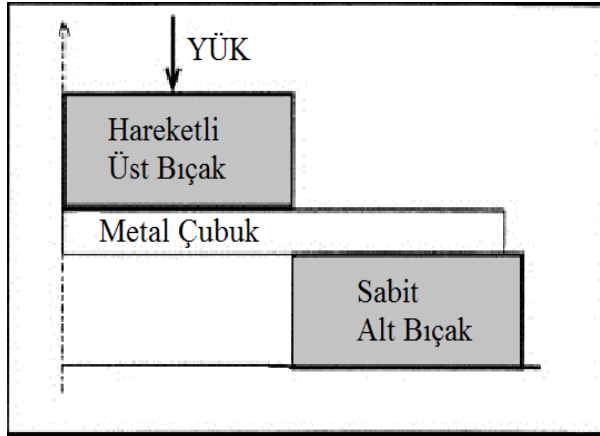
3.1. Materyal

3.1.1. Hurda Kırpma Makinesi

Presleri kullanarak elde edilecek olan ürünün istenilen ölçü ve toleranslarda çıkması için presin doğru yapısal özelliklere sahip olması gerekir. Eğer bu özellikler mevcutsa ve işlem sonucunda çıkacak malzemenin kendine has ön şartlarını sağlamışsa hedeflenen ürüne hassas bir şekilde ulaşılabilir. Buradaki en önemli nokta ise işlemin çok iyi şekilde analiz edilmesi ve gerekli olan presin istenilen özelliklere göre imal edilmesidir.

Kesme makinesi sabit ve hareketli bıçak, baskı düzeni ve hareket elemanlarından oluşur. Bıçaklar arasındaki malzemeye Şekil 3.1’de görüldüğü gibi hareketli bıçak vasıtasıyla kesme kuvveti uygulanır.

Bıçakların malzemenin direncini yenerek dalması ile meydana gelen kayma gerilmeleri bıçak uçlarındaki malzemede bir kesilme meydana getirir. Bundan sonra ezilme sınırını aşan basınç gerilmeleri etkisiyle malzeme kırılır (Güneş,2003).



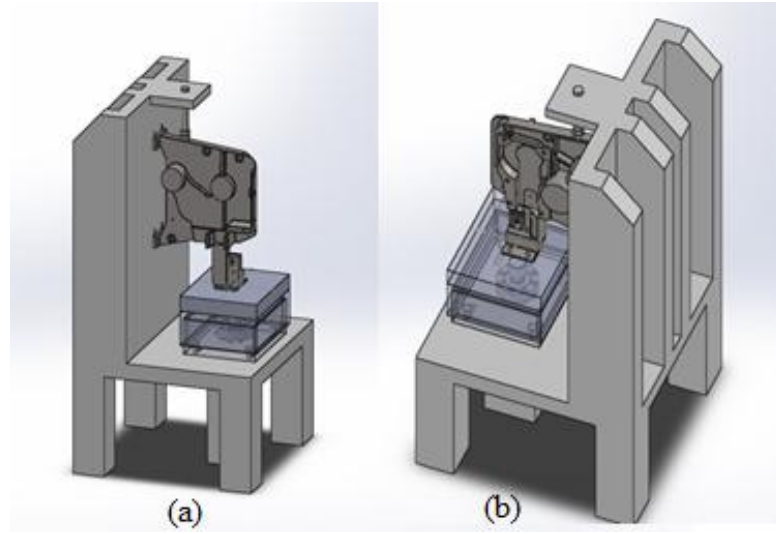
Şekil 3.1. Kesme prosesi şematik gösterimi (Güneş, 2003)

Bu amaçla hurda çubukların kesilmesi işlemi için maksimum 50 tonluk kuvvet uygulama kapasitesine sahip mekaniksel güç aktarma sistemiyle çalışan C tipi bir pres katı modellemesi yapılarak imal edilmiştir.

Bir presin mekanik tasarımında kullanılacak yere göre göz önünde bulundurulması gereken parametreler vardır. Bu yüzden imal edilen preste kesme

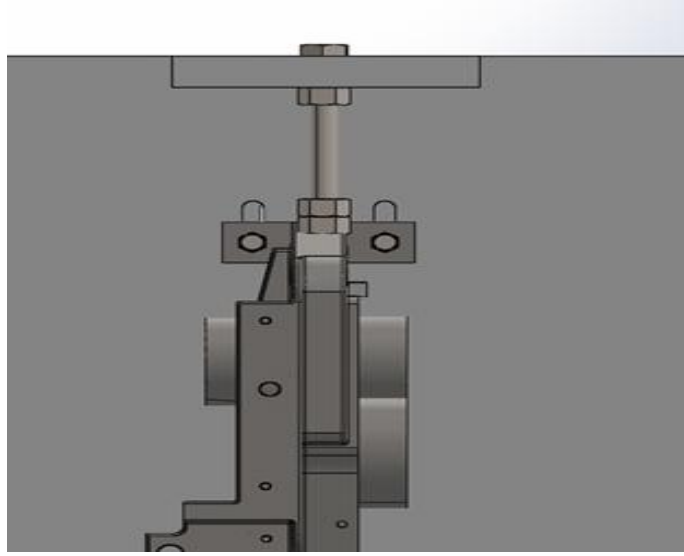
prosesi için farklı özelliklerin kullanılması amacıyla değişiklikler yapılmıştır. Bu değişkenleri dikkate alarak öncelikle Solidworks 2012 programında presin katı modellemesi yapılmıştır.

Prete güç mekanik aksam ile üretilerek volana verilir. Makine maksimum güç sağlayan monoblok çelik bir gövdeye ve pedal vasıtasıyla sürekli veya tekli kesim yapabilme özelliğine sahiptir. Motor gücü 4 kW ve yaklaşık ağırlığı 1000 kg'dır. Preslerde tasarıma başlarken incelenecek ilk ölçüt tabla ölçüleridir.



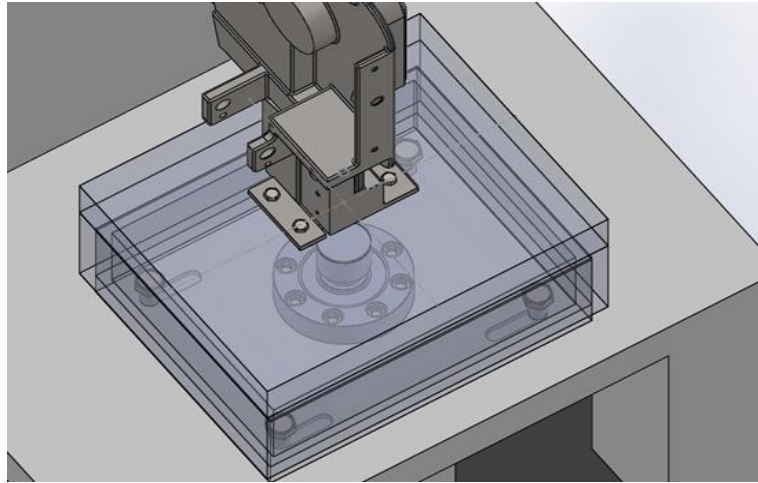
Şekil 3.2. Presin katı modeli

Tabla ölçüleri presle yapılacak işe göre belirlenmektedir ve aynı zamanda gövde tipini de belirlemektedir. Tabla ölçüleri küçük olduğundan pres gövdesi kaynaklı konstrüksiyona sahip monoblok gövde olarak tanımlanan tek parça gövdeden yapılmıştır. Malzeme olarak AISI 1020 çeliği kullanılmıştır. Gövde tipinin belirlenmesi aynı zamanda presin temel planını da belirlemektedir. Şekil 3.2 presin katı modeli gösterilmiştir. Bu modele göre; presin ayakları 4 tane ve tam kuvvetin indiği noktaya tablanın sehim vermemesi için kutu profilden bir ayak daha konulmuştur. Ayrıca presin sırt kısmı 50 mm kalınlığa sahip çeliklerle desteklenmiştir. Presin yukarı aşağı hareketini sağlamak için kriko mekanizması oluşturulmuştur (şekil 3.3). Bu mekanizma sayesinde farklı kalıplar bağlandığında güç makinesi yukarı doğru 20 cm daha çıkabilmektedir.



Şekil 3.3. Kriko mekanizması Solidworks çizimi

Yük hücresinin bağlanabilmesi için ise bir yük hücresi montaj kiti oluşturulmuştur. Bu kesme yükünün tamamının yük hücresine aktarılmasını sağlamak içindir. Bu hedef doğrultusunda bir kutu oluşturulmuştur. Kutunun alt kısmına yük hücresi sabitlenmiş, üst tarafına ise sabit bıçak kaynaklanmıştır.



Şekil 3.4. Yük hücresi montaj kiti Solidworks çizim

Şekil 3.5’de imal edilen presin resmi görülmektedir. Mekanik kısım 1 mm kalınlığındaki sac levha ile iş güvenliği açısından muhafaza altına alınmıştır. Kasnak değiştirme ve diğer işlemler için yan tarafına kapak yapılmıştır.



Şekil 3.5. 50 Tonluk C tipi pres

Şekil 3.6’da krika düzeni ve Şekil 3.7’de yük hücresi montaj kiti görülmektedir. Yük hücresi alt tablaya M12 civatalarla bağlanmıştır. Dişli sistemin çok oluşundan dolayı titreşimde çok fazladır. Presin strokunda herhangi bir değişiklik olmaması için krika sisteminin iki tarafına tamponlar konulmuştur.



Şekil 3.6. Kriko mekanizması



Şekil 3.7. Yük hücresi montaj kiti

Presten istenilen ve deneylerde değiştirilen parametreler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1.1.1. Kesme Hızı (KH)

Mekanik presler enerji makinalarıdır. Enerji volanda depolanır ve periyodun belli bir kısmında depolanan enerjinin bir kısmı kaybedilerek iş yapılmış olur. Daha sonra yapılan veya kaybedilen iş, elektrik motoru tarafından volana verilerek volan nominal devrine getirilir. Presin elektrik motoru çalıştırıldığında, volan bir kayış- kasnak mekanizmasıyla sürekli dönmeye başlar. Kesme işleminin yapılabilmesi için st kalıbın ve dolayısıyla bağlı olduğu pres kounun düşey olarak hareket etmesi gerekir. Bunu sağlamak için bir pedal kumanda ile kavramanın volanı kavraması sağlar. Kavrama hareketi bir mile aktararak hareketi iletir ve krank milinin dönmesi sağlanır. Bir vuruştan sonra ko st l noktaya çıktığında durdurulur. Bu ifadelerden de anlaşılacağı gibi kesme hızı presler de iki şeye bağlıdır. Bunlardan birincisi volan ikincisi ise kasnaktır. Volan ağır ve her deney için değiştirilmesi zor olduğundan kesme hızını değiştirmek için farklı kasnaklar ve kayışlar kullanılmıştır.



şekil 3.8. Kayış-kasnak ve Volan Mekanizması

Şekil 3.8’de imal edilen presin elektrik motoru, kayış-kasnak, volan ve kavrama mekanizması görülmektedir. Preste 3 farklı kasnak kullanılmıştır. Bunlar; küçük kasnaktan büyük kasnağa sırasıyla 120 mm/s, 270 mm/s, 325 mm/s olan doğrusal hızlar üretmektedir. Her bir kasnak 9 deneyde kullanılmıştır.

3.1.1.2. Kesilen Malzeme Çapı (KMÇ)

Deneylerde çapı 10, 12, 14 mm olan hurdalar arasında çok bulunan St37 düşük karbonlu çelik miller kullanılmıştır. Kimyasal kompozisyonları ve mekanik özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir. Her bir deneyin eşit şartlarda olmasının istenilmesinden dolayı çubuklar 10 mm arayla işaretlenmiştir ve her bir deneyde 10 mm’lik parçalar kesilmiştir.

Çizelge 3.1. St37 düşük karbonlu çeliğin kimyasal kompozisyonu

Çeliğin İsmi	Kimyasal Kompozisyon					
St37 düşük karbonlu çelik	C	Si	Mn	P	S	Diğer
	0,17	0,3	0,4	0,045	0,05	0,009

Çizelge 3.2. St37 düşük karbonlu çeliğin mekanik özellikleri

Çeliğin İsmi	Mekanik Özellikler			
St37 düşük karbonlu çelik	Sertlik (HVN)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Akma Dayanımı (MPa)
	150	360	24	240



Şekil 3.9. Kesilen St37 Çelik Çubuklar

3.1.1.3. Kesme Boşluğu (KB)

Deney esnasında farklı kesme boşlukları kullanılacaktır. Malzemenin kalitesi ve yapısına, kalınlığına, zımbanın boyutuna, şekline ve kalıbın hassasiyetine bağlı olarak belirlenmesi gereken kesme boşluğu üç değişik şekilde belirlenebilmektedir.

- Ampirik formüller yardımı ile kesme boşluğunun belirlenmesi
- Diyagramlar yardımı ile kesme boşluğunun belirlenmesi
- Hazır Çizelgeler yardımı ile kesme boşluğunun belirlenmesi

Kesme boşluğu (kalıp boşluğu); kesme kalıplarında kalıbın kesici elemanları (dişi kalıp-zımba) arasında ölçülen tek taraflı boşluk mesafesidir. Kesme kenarları arasındaki kesme boşluğunun amacı, kesme kenarlarında meydana gelen kırılmaların birbirlerini karşılamasını ve kesme kenarlarına temiz bir görünüş elde edilmesini sağlamaktır (Kahraman, 2006).

Kesme boşluğu, kesme ağızları boyunca her tarafta eşit olursa, kesim esnasında meydana gelen kuvvetler dengede kalmış olur. Eğer kuvvetler dengeli bir şekilde uygulanmaz ise kalıp ömrü kısalmır ve iş istenilen hassasiyette olmaz.

Kesme boşluğu;

- Malzemenin cinsine ve kimyasal bileşimine,
- Malzemenin kalınlığına,
- Zımbanın geometrisine ve ölçüsüne,
- Kalıbın hassasiyetine bağlı olarak belirlenerek istenilen kesme boşluğu elde edilmelidir (Güneş, 2003).

Kesme boşluğu preste slotlarla ayarlanabilmektedir. M18 civatalar alt tablayı montaj kitine bağlamıştır. Bu sayede hassas ayarlar yapılabilmektedir. Aynı zamanda kesme boşluğu bıçaklarla da verilebilmektedir. Deneylerin daha çok kıyas olmasından ötürü boşluk ilk olarak sıfır ayarlanmış daha sonra civatalar sıkılmış ve tüm boşluklar kesilen çubuğun çapına göre %5, %10 ve %15 olarak bıçaklarla verilmiştir.



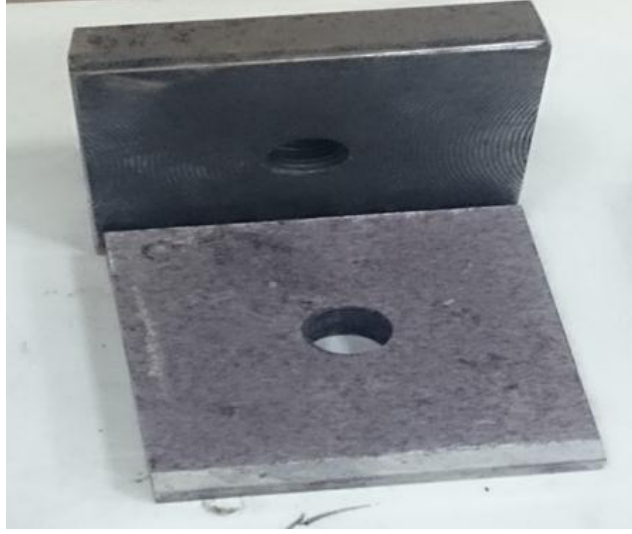
Şekil 3.10. Kesme boşluğu

3.1.1.4. Kesme Kenarı Yarıçapı (KKY)

Kesme kalıplarının ana elemanlarında biri, hiç kuşkusuz uygun alaşımlı takım çeliğinden yapılan bıçaklardır. Takım çeliğinden yapılan bıçaklar, kullanım amaçlarına göre ve kalıbın durumuna bağlı olarak çok çeşitli şekillerde tasarlanabilirler. Aynı zamanda bu bıçaklar binlerce kesme yapacağı için aşınmada görülmektedir. Çalışmamızda kesme kenarına verilen yarıçapın aşınmanın yanında kesme kuvvetine ve enerjisine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bıçak kenarlarına 0 mm, 0,5 mm ve 1 mm yarıçapında yuvarlama yapılmıştır.



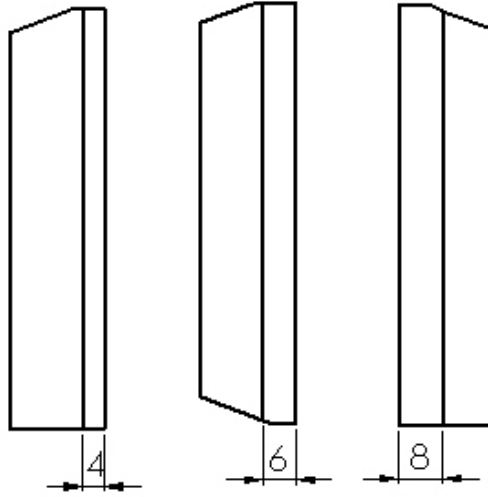
Şekil 3.11. Kesme kenarı yarıçapı katı model gösterimi



Şekil 3.12. Kesme kenarı yarıçapı

3.1.2.5. Kesme Kenarı Uzunluğu (KKU)

Bıçaklarda asıl kesici kesme kenarı diye adlandırılan kısımdır. Çalışmamızda kesme kenarı uzunluğu 4, 6 ve 8 mm olarak alınmıştır. Kesme kenarları her bıçağın 3 tarafına verilmiştir. Şekil 3.13’de kesme kenarı gösterilmiştir.

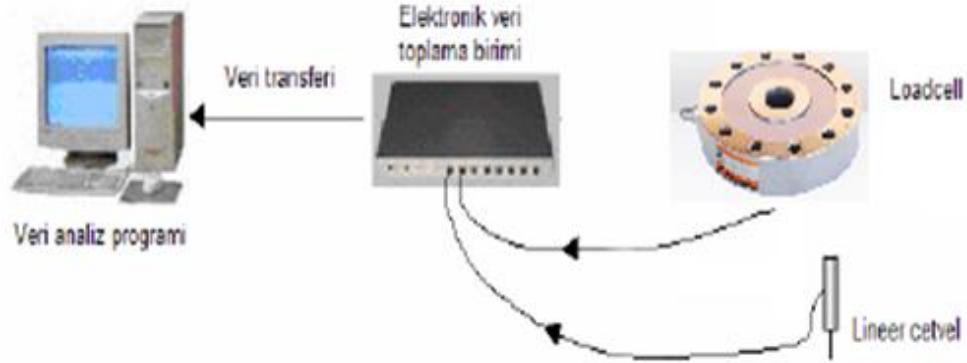


Şekil 3.13. Kesme kenarı iki boyut gösterimi

3.1.3. Veri Toplama Sistemleri (Data Acquisition – DAQ)

Ölçülen her türlü fiziksel büyüklüğe ilişkin verileri toplayan ve yararlı bilgiye dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemler gelen analog sinyalleri bilgisayarın

özümleyebileceği dijital sinyallere çevirirler, ayrıca ilerinde bulundurdıkları zamanlayıcı ve sayıcı gibi yapılarla işlemleri kolaylaştırırılar.



Şekil 3.14. Presin elektronik veri toplama sistemi

3.1.3.1. Duyar Elemanlar (Sensörler)

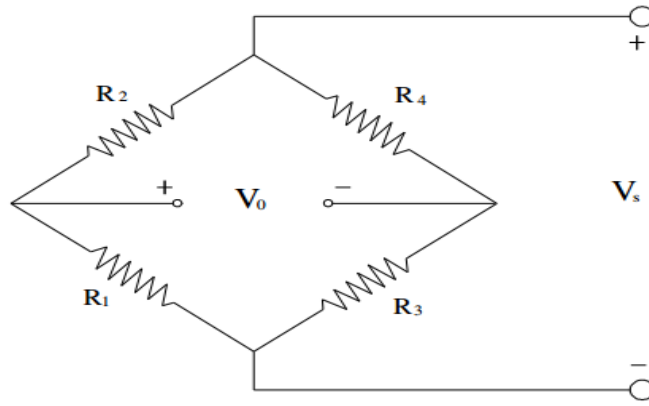
Sıcaklık, basınç, hız, deplasman gibi fiziksel büyüklükleri elektriksel işaretlere eviren sistemin uç elemanlarıdır. Tezde kullanılan sensörler ise yük hücresi ve lineer cetveldir.

Kesme deneyleri yapılırken yük hücresiyle kuvvet hesabı yapılmıştır. Yük hücreleri mantık olarak bir kuvveti elektrik sinyali haline çevirerek uygulanan kuvveti işleyiciye göstermeye yarayan cihazlar ve dönüştürücülerdir. Bu dönüşüm iki aşamalı ve dolaylıdır. Mekanik bir düzen içinde olan yük hücresi (loadcell) belirli bir düzenleme ile algılanan kuvvet sayesinde gerinim telin etkin elektriksel direncini eğiştirir. Bu sayede yük hücrelerine uygulanan ağırlık elektrik sinyaline dönüştürölmüş olur (Anonim, 2015).



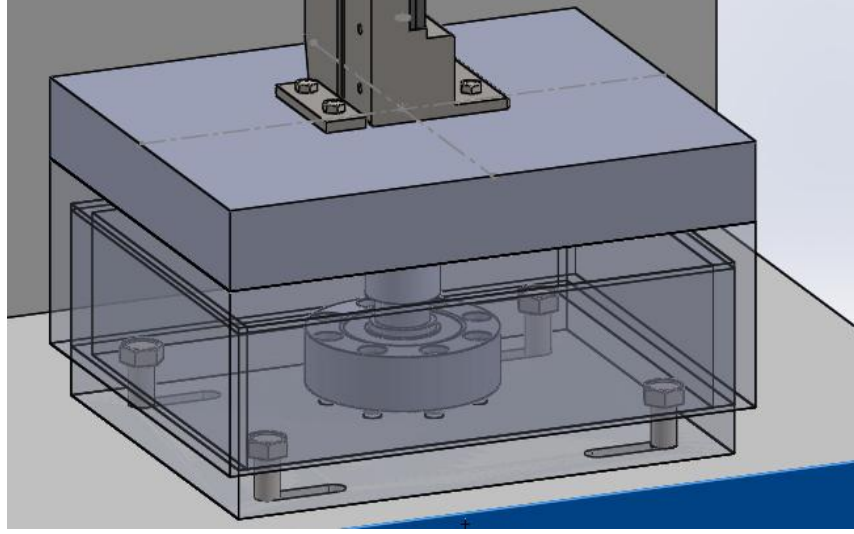
Şekil 3.15. Keli marka LFSCE yük hücresi

Yapı yay elemanı olarak adlandırılan, özel olarak seçilmiş ve şekil verilmiş metal şase ile uzama telleriyle kurulmuş bir Wheatstone köprüsünden oluşur. Yay elemanı üzerine bir fiziksel kuvvet uygulandığında bu bir deformasyona sebep olur, yay elemanında meydana gelen bu deformasyon wheatstone köprüsü üzerinden bir elektrik sinyali olarak çıkar. Elektriksel sinyal çıkışı genel olarak milivolt şeklinde çok ufak düzeylerde olup işlenmeden önce amplifikatör ile yükseltip daha sonra gerekli ölçüm sağlanmaktadır. Elde edilen bu sinyal mikroişlemci tabanlı bir göstergede işlenerek, kuvvet ya da ağırlık bilgisi olarak gösterilir. Yük hücrelerinin çalışma prensibi kabaca bu sistem ile oluşmaktadır (Yılmaz, 2010).



Şekil 3.16. Standart Wheatstone köprüsü konfigürasyonu (Yılmaz, 2010)

Bu çalışmada Şekil 3.15’de görülen Keli LFSCE marka çekme, basma tipi 60 tonluk bir yük hücresi kullanılmıştır. Çapı 182 mm olan bu yük hücresinin, kalibrasyonu için kullandığımız değeri 3,006’dır. Alt tablaya üzerinde bulunan 8 adet M17 civatayla bağlanmıştır. Kesme için gerekli yükü ölçecek olan bu yük hücresi bıçağa şekil 3.17’de görülen bir montaj kitiyle bağlanmıştır. Montaj kiti yük hücresine M50 bir civatayla bağlanmıştır.



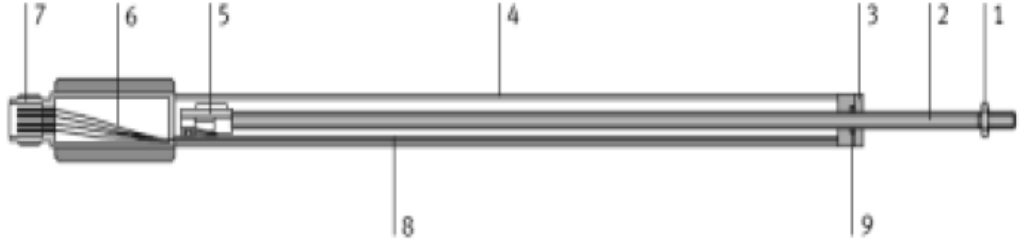
Şekil 3.17. Yük hücresi montaj kiti

Deneyler yapılırken üst bıçağın anlık hareketini izlemek için lineer potansiyometre kullanılmıştır. Şekil 3.18’de kullanılan ölçme boyu 50 mm olan Optron marka, lineer potansiyometre gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Lineer Potansiyometre

İki plastik film kontak kolu parçası, metal gövde içine boydan boya yerleştirilmiştir. Plastik parçalardan biri elektrik direnci gösterirken diğer iletken hat olarak hareket eder. Kontak kolu iki parça arasında köprü görevi görür. Son direnç hattı elektrik bağlantı soketi üzerinden bağlanmıştır. Bu bağlantılara uygulanan gerilim sonradan direnç hattı üzerinden düşer. Rot bağlantısının veya kontak kolunun pozisyonuna bağlı olarak bir gerilim yüklenir. Bu gerilim pozisyon ile orantılıdır (Yanmış, 2010).



Şekil 3.19. Lineer Potansiyometre iç Yapısı

Şekil 3.19’da gösterilen potansiyometre iç yapısında 1. Kilitleme somunu 2. Piston Kolu 3. Yataklı Kapak Başlığı 4. Hafif Metal Gövde 5. Kontak Kolu Yuvası 6. Elektrik Bağlantısı 7. Kablolama Kutusu 8. Plastik Film Kontak Hattı 9. Kazıyıcıdır. Halka Lineer Potansiyometre hidrolik silindir üzerine montaj kiti ile birlikte monte edilir (Anonymous, 2010).

3.1.2.1. DAQ Kartları

Düzenlenmiş işaretleri alan ve PC veriyoluna aktarılacak biçimde dijital bilgiye çeviren kartlardır. Çeşitli konfigürasyonlarda analog ve dijital giriş/çıkışlar içeren bu kartlar, test düzeneğinin amacına uygun olarak, farklı hassasiyet ve hızlarda seçilebilir.

DAQ kart gelen analog sinyalleri dijital sinyallere çevirip bilgisayara aktarma işlemini 3 kısımda gerçekleştirmektedir.

1. Gerilim, akım gibi fiziksel özellikleri elektriksel hale getirir.
2. Sensörlerden gelen analog sinyalleri yükselterek veya alçaltarak bilgisayara gönderir.
3. Toplanan verinin içinden istenilen özelliklerin çıkarılmasıdır. Burada daq kartın programlanması devreye girecektir.

Bu çalışmada kullanılan veri toplayıcı şekil 3.20’te görülen Testbox 2010’dur. 8 kanalı aktif olarak çalışan bu veri toplayıcıda her bir kanaldan saniyede maksimum 500 veri alınabilmektedir. Cihaz bilgisayara verileri ethernet girişi vasıtasıyla aktarır.



Şekil 3.20. Veri toplayıcı

3.1.2.2. Bilgisayar ve Yazılım

DAQ kartlarının topladığı verileri görselleştirir, işler, analiz eder ve depolar. Veri Toplama Sistemleri yazılımları büyük miktarda veriyi işleyebilecek ve analiz edebilecek yetenektedir. Çalışmada Labview tabanlı kullanan veri toplayıcıyla uyumlu olan Testlab yazılımı kullanılmıştır. İki sensörün kalibrasyonları bu program üzerinden yapılmış ve veri toplayıcı içerisindeki çeviriciler vasıtasıyla bilgisayara yük hücresinden gelen sinyaller kilogram, lineer potansiyometre üzerinden gelen sinyaller ise millimetre cinsinden .txt dosyası içine otomatik olarak kaydedilmiştir aynı zamanda da program üzerinden veriler anlık olarak takip edilmişlerdir.



Şekil 3.21. Yazılım, Bilgisayar ve Veri Toplayıcı

3.2. Yöntem

3.2.1. Taguchi Metodu ile Optimizasyon

Düşük maliyetli, yüksek kalitede ve güvenilir ürünler üretmek veya bunlara paralel hizmet sunmanın bugünün küresel ekonomisinde hayatta kalabilmenin anahtarı olarak bilinmektedir. Çoğu kalite uzmanı bunu sağlamanın en iyi yolunun ürünün tasarım aşamasının iyi değerlendirilmesinden geçeceğini düşünmektedir. Bu amaçla yeni felsefe düşük maliyetli, yüksek kaliteli ürünleri üretebilmek için teknolojiyi ve istatistiki metotları tasarım aşamasında etkin bir şekilde kullanmak olmalıdır. Klasik deney tasarım yöntemleri kullanımları endüstriyel şartlar altında çok da verimli ve sağlıklı olmamaktaydılar. Sistemi etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli olan deney sayısı da çok hızlı şekilde artmaktaydı.

Endüstriyel ürün ve süreç geliştirilmesinde 1940 sonlarından beri aktif olarak yer alan bir Japon makine mühendisi olan Dr. Genichi Taguchi, temeli istatistiksel deney tasarımına dayanan Taguchi yöntemi olarak bilinen kalite geliştirme için deney tasarım metodunu geliştirmiştir. Bu yöntem ile daha az deney ile daha geniş kapsamlı sonuçlara ulaşmak mümkün olmuştur. Bu durumda zaman ve maliyetten kazanım sağlanmıştır (Roy, 1990; Danacıoğlu, 1999).

Taguchi Metodu bir deney tasarım tekniği olmanın ötesinde yüksek kalitede sistem tasarımı için son derece faydalı bir tekniktir. Diğer taraftan deney sayısında elde edilen azalma, faktörler arasındaki etkileşimlerin belirli ölçüde göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır (Savaşkan ve ark.,2004; Aytaç ve ark., 2008). Endüstriyel şartlar göz önüne alındığında hem bu deneyleri ekonomik şartlar ve zamansal kısıntıları gözetenek en verimli şekilde gerçekleştirebilmek, hem de sonuçları doğru yorumlayabilmek için (kontrol edilebilen ve edilemeyen faktörler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek ve optimizasyonu gerçekleştirebilmek için) deney tasarımı yöntemlerinin uygulaması son derece verimli bir yaklaşımdır. Ayrıca kalite ve verimliliği artırmak amacıyla uygulanan tüm diğer yöntem ve metotları destekleyici, yönlendirici rolü vardır. Bu modern yaklaşım çerçevesinde Taguchi Deney Tasarımı Metodu optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı bir metot olarak ortaya çıkmaktadır. Taguchi Metodu, çözümün sadece en az sayıda deneyle elde edilmesini sağlamakla kalmaz, yüksek kalitede proses ve ürün geliştirilmesini her açıdan destekler. Buna, prosesin veya ürünün üretim şartlarına ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı

minimum hassasiyeti göstermesi, gerekli toleransların en düşük maliyetle sağlanması ve Taguchi kayıp fonksiyonu sayesinde ürünün toplumda yol açtığı kaybı minimize ederek yeni bir kalite maliyeti anlayışı çerçevesinde değerlendirilmesi de dahildir.

Taguchi deneysel tasarım metodunda geliştirilen metodoloji üç temel kavramdan oluşur. Bunlar; sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır (Güral, 2003).

Sistem tasarımı bu metodun ilk adımıdır. Bilimsel ve mühendislik prensipleri kullanılarak temel konfigürasyonları belirlenir. Bu adımda amaç en az maliyetle en iyi ürün tasarımı ve maksimum müşteri memnuniyetidir.

Parametre Tasarımı, süreç yenilemesi ve iyileştirmesinin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Kullanılan parametrelerin en iyi hale getirilmesi sağlanır. Sistem parametrelerinin spesifik değerleri belirlenir. Parametre tasarımında ortogonal dizinler ve sinyal/gürültü (S/N) oranı olmak üzere 2 önemli araç vardır.

Parametre tasarımı aşağıda yer alan adımları içerir.

- Faktör ve bunlara ait etkileşimlerin belirlenmesi
- Her bir faktöre ait seviyelerin belirlenmesi
- Uygun ortogonal dizinin seçilmesi
- Seçilen ortogonal matrise faktör ve etkileşimlerin atanması
- Deneylerin yapılması
- Verilerin analizi
- Faktörlerin optimal seviyelerinin belirlenmesi
- Doğrulama deneylerinin yapılmasıdır.

Tolerans tasarımı, parametre belirleme çalışmaları sonucu istenilen hedefe ulaşamadığı durumda yapılan ilave çalışmalardan ibarettir. Bu aşamada gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma göstermesinin getirdiği kayıplar bulunur ve bu sapmalar azaltılır.

Taguchi yöntemi deneylerin tüm kombinasyonlarının denenmesi yerine ortogonal dizinleri kullanarak sadece bir bölümünün yapılması ile en iyi performans karakteristiğini veren faktör seviyelerinin bulunabileceğini belirtmektedir. Ortogonal dizinler bir sayı matrisi olarak ifade edilir. Her satır seçilen faktörlerin seviyelerini, her sütun ise dikkate alınan faktörleri ifade eder. Ortogonal dizinlerin temel özelliği, deneye tüm faktörlerin eşit deneme sayıları ile katılmalarıdır. Ortogonal dizinler $L_a(bc)$ şeklinde gösterilir. L Latin kare tasarımını temsil etmektedir (a: deney sayısı, b: her

kolondaki seviye sayısı, c: faktör sayısı). Yapılan deney tasarımına ve amaca göre genellikle 2 ve 3 seviyeli ortogonal dizinler kullanılmaktadır.

Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. Sinyal/gürültü oranı değeri küçük değer iyi, büyük değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. Hangi S/N oranı değerlendirilmede kullanılırsa kullanılsın, sonuç olarak karşımıza çıkan değerlerde daha büyük olan S/N oranı daha iyi deney sonucunu ifade eder. Böylelikle deneylerde ele alınan faktörlerin seviyeleri içerisinde en yüksek S/N oranına sahip olan değerler en iyi performansı verecektir. Taguchi, uygulamadaki problemleri, hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü oranı tanımlamıştır (Şirvancı, 1997).

“En küçük en iyi” durumunda, y’nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10.\log\left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_i^2\right) \quad (3.1)$$

Bu formülasyonda En Küçük-En İyi: yi: deneysel veriler, n: deney sayısını ifade etmektedir.

“En büyük en iyi” durumda y’nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/ gürültü oranı aşağıdaki tanımlanmaktadır:

$$S/N = -10.\log\left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (3.2)$$

“Hedef değer en iyi” durumunda, y için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S/N = 10.\log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \quad (3.3)$$

Yukarıda S/N oranları için belirtilen eşitliklerde “y” performans karakteristiği değerini, “s2” ise varyansı ifade etmektedir (Taylan, 2009).

Deney tasarımımda kalite karakteristiğini belirlerken, ölçülecek kesme kuvveti ve enerjisi değerlerinin en az olması istendiğinden dolayı “en küçük en iyi” prensibi uygulanmıştır.

Deneyler sırasında incelenecek faktörlerin ve seviyelerinin belirlenmesinden sonra yapılacak deneylerin belirlenmesi aşaması gelmektedir. Taguchi deney tasarımı metoduna göre seçilecek dik düzenin belirlenmesi için tespit edilecek ilk veri, toplam serbestlik derecesidir. Serbestlik derecesi kısa tanımı ile hangi seviyenin optimum

sonucu vereceğini belirlemek için tasarım parametreleri arasında yapılması gereken karşılaştırma sayısını gösterir.

Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesini sağlaması ve bunun için de tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur. Taguchi deney tasarım aşamaları aşağıda verilmiştir.

Problemin tanımlanması; metal bir çubuk kesme işleminde minimum kuvvet ve enerjiyi verecek optimum faktör-seviye kombinasyonunun belirlenmelidir. Çizelge II.3'te faktör belirlenmesi gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Kesme kuvveti ve enerjisine etki eden faktörler

	Faktörler	Birim	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
1	Kesme Hızı	mm/s	325	270	120
2	Kesme Kenarı Uzunluğu	mm	4	6	8
3	Kesme Kenarı Yarıçapı	mm	0	0,5	1
4	Kesme Boşluğu	%	5	10	15
5	Kesilecek Malzeme Çapı	mm	10	12	14

Faktör ve seviyelerinin belirlenmesi; çizelge II.4'te faktör seviye tespiti örneği gösterilmiştir. Sistemde yapılan ön çalışmalardan yararlanılarak sisteme etki eden önemli 5 faktör kesme hızı, kesme kenarı uzunluğu, kesme kenarı yarıçapı, kesme boşluğu ve kesilecek malzeme çapıdır. 5 faktörlü ve 3 seviyeli olan L₂₇ deney tipi belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Faktör seviyelerin tespiti

DENEY NO	DEĞİŞKENLER	KMÇ (mm)	KH (mm/s)	KB (%)	KKY (mm)	KKU (mm)
1	A1B1C1D1E1	1	1	1	1	1
2	A1B1C1D1E2	1	1	1	1	2
3	A1B1C1D1E3	1	1	1	1	3
4	A1B2C2D2E1	1	2	2	2	1
5	A1B2C2D2E2	1	2	2	2	2
6	A1B2C2D2E3	1	2	2	2	3
7	A1B3C3D3E1	1	3	3	3	1

Çizelge 3.4. (Devam) Faktör seviyelerin tespiti

DENEY NO	DEĞİŞKENLER	KMÇ (mm)	KH (mm/s)	KB (%)	KKY (mm)	KKU (mm)
8	A1B3C3D3E2	1	3	3	3	2
9	A1B3C3D3E3	1	3	3	3	3
10	A2B1C2D3E1	2	1	2	3	1
11	A2B1C2D3E2	2	1	2	3	2
12	A2B1C2D3E3	2	1	2	3	3
13	A2B2C3D1E1	2	2	3	1	1
14	A2B2C3D1E2	2	2	3	1	2
15	A2B2C3D1E3	2	2	3	1	3
16	A2B3C1D2E1	2	3	1	2	1
17	A2B3C1D2E2	2	3	1	2	2
18	A2B3C1D2E3	2	3	1	2	3
19	A3B1C3D2E1	3	1	3	2	1
20	A3B1C3D2E2	3	1	3	2	2
21	A3B1C3D2E3	3	1	3	2	3
22	A3B2C1D3E1	3	2	1	3	1
23	A3B2C1D3E2	3	2	1	3	2
24	A3B2C1D3E3	3	2	1	3	3
25	A3B3C2D1E1	3	3	2	1	1
26	A3B3C2D1E2	3	3	2	1	2
27	A3B3C2D1E3	3	3	2	1	3

Faktörlerin kolonlara atanması; seçilen L_{27} ortagonal dizilime göre seviye değerleri yerlerine yazılır. Çizelge 3.5'te görülmektedir.

Çizelge 3.5. Seviye ve faktör değerlerin ataması

DENEY NO	DEĞİŞKENLER	KMÇ (mm)	KH (mm/s)	KB (%)	KKY (mm)	KKU (mm)
1	A1B1C1D1E1	10	270	10	0,5	8
3	A1B1C1D1E3	10	325	5	0	8
4	A1B2C2D2E1	10	270	10	0,5	4
5	A1B2C2D2E2	10	270	10	0,5	6
6	A1B2C2D2E3	10	270	10	0,5	8
7	A1B3C3D3E1	10	120	15	1	4

Çizelge 3.5. (Devam) Seviye ve faktör değerlerin ataması

DENEY NO	DEĞİŞKENLER	KMÇ (mm)	KH (mm/s)	KB (%)	KKY (mm)	KKU (mm)
8	A1B3C3D3E2	10	120	15	1	6
9	A1B3C3D3E3	10	120	15	1	8
10	A2B1C2D3E1	12	325	10	1	4
11	A2B1C2D3E2	12	325	10	1	6
12	A2B1C2D3E3	12	325	10	1	8
13	A2B2C3D1E1	12	270	15	0	4
14	A2B2C3D1E2	12	270	15	0	6
15	A2B2C3D1E3	12	270	15	0	8
16	A2B3C1D2E1	12	120	5	0,5	4
17	A2B3C1D2E2	12	120	5	0,5	6
18	A2B3C1D2E3	12	120	5	0,5	8
19	A3B1C3D2E1	14	325	15	0,5	4
20	A3B1C3D2E2	14	325	15	0,5	6
21	A3B1C3D2E3	14	325	15	0,5	8
22	A3B2C1D3E1	14	270	5	1	4
23	A3B2C1D3E2	14	270	5	1	6
24	A3B2C1D3E3	14	270	5	1	8
25	A3B3C2D1E1	14	120	10	0	4
26	A3B3C2D1E2	14	120	10	0	6
27	A3B3C2D1E3	14	120	10	0	8

Deneylerin gerçekleştirilmesi ve verilerin toplanması; seçilen L_{27} ortogonal dizisine uygun olarak gerçekleştirilen yirmiyedi deney sonucu kesme kuvveti ve enerjisi değerleri elde edilmiştir.

Verilerin varyans analizi; varyans analizi için her bir deneyden elde edilen verilerin ortalaması, standart sapması ve S/N oranı hesaplanır. Sadece kritik olan faktör ve/veya etkileşimleri yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve analizi yapılır. Elde edilen gözlem değerlerinin analizinde, varyans analizi, faktör etkilerinin grafiksel gösterimi metodu, hesap çizelgesi metodu gibi yöntemler kullanılmaktadır (Taylan, 2009).

Optimum faktör seviyelerinin seçimi; optimum faktör seviyelerini belirlemek için önce kontrol faktörleri ve işaret faktörü tespit edilir. S/N oranı üzerinde önemli

etkiye sahip faktörler, kontrol faktörleridir. S/N oranı açısından en büyük değere sahip olan daha iyidir.

Sonuç deneylerinin yapılması; elde edilen değerlere göre sonuç deneyleri yapılır Burada bulunan değer mevcut deneyler arasındaki en küçük değeri veriyorsa problem doğru olarak analiz edilmiş ve çözülmüştür. Bu mevcut deney düzeneği ile yapılamıyorsa Minitab-17 programı ile sonuç değerlerinin tahmin edilmesi mümkündür.

3.2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bir mühendislik probleminin çözülmesi süreci ancak bir akış şemasına oturtulması ile mümkündür. Bu şemaya göre önce çizim daha sonra analizlerin yapılması gerekir. Çizim ile fonksiyonellik, maliyet ve estetik göz önünde bulundurulurken, analiz ile tasarımın planlanan koşullarda çalışıp çalışmayacağı belirlenir. Mühendislikte kullanılan 3 çeşit analiz vardır. Bunlar analitik hesaplama, nümerik hesaplama (Sonlu elemanlar yöntemi), deneysel çalışmalardır (Topçu, 1998).

Bu çalışmada deneysel olarak sonuçları elde edilen kesme prosesinin doğrulanması için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) problemlerin çözümünde en yaygın kullanılan sayısal yöntemdir. Ele alınan mühendislik probleminin çözümü alt problemlere ayrıştırılır ve her alt problemde aranan fonksiyonun ifadesi polinom olacak şekilde seçilir. Belirli işlemler dahilinde her alt problemde polinom olarak kabul edilen çözümün katsayıları belirlenmeye çalışılır. Bu metoddaki ana fikir, karmaşık bir problemi daha basite indirgeyerek bir çözüm bulmaktır. Esas problemin daha basit bir probleme indirgenmiş olması ve bazı ihmaller nedeni ile kesin sonuç yerine yaklaşık bir sonuç elde edilmektedir. Ancak bu yaklaşım, sonuç hakkında fikir vermektedir ve eğer modelleme doğru şekilde yapılabilirse ve tanımlamalar gerçeğe uygun yapılabilirse sonuca tam olarak ulaşılabilir. Sonlu elemanlar metodunda, iş parçası, çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayrılmış olup alt bölgelerin toplamı iş parçası olarak ifade edilir. Elemanlar düğüm noktaları ile birbirine bağlanmıştır. Sonlu elemanlar metoduyla çözüm yapılırken izlenecek yol özetlenirse;

Yapıyı ya da sürekli elemanı birim elemanlara bölünmesi aşamasında birim elemanın boyutunu ve şeklini, malzemenin fiziki özelliklerine göre seçmek gerekir. Sonlu elemanlar birbirine düğüm noktalarından bağlanmış kabul edilirler. Bu düğüm

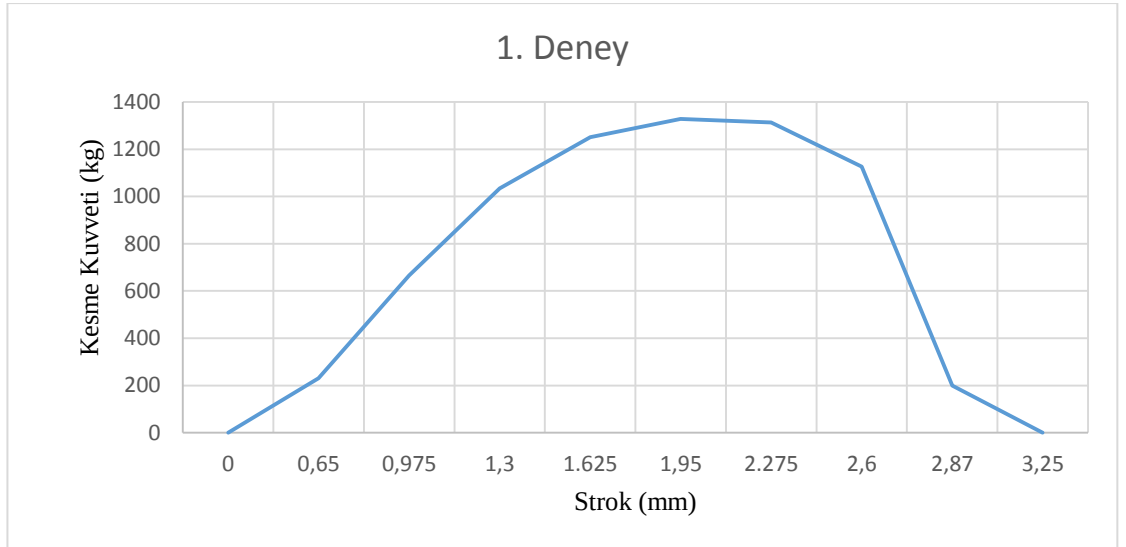
noktalarının yer değiştirmeleri, basit yapıların analizlerinde oluğu gibi, problemin bilinmeyen ana parametreleridir. Her bir sonlu elemanın yer değişimini tanımlamak için düğüm noktalarının yer değişimleri cinsinden fonksiyon seçilir. (Genelde bir polinomdur, polinomun derecesi birim elemanın düğüm sayısına bağlıdır). Elemanla yer değiştirme fonksiyonları seçildikten sonra her bir elemanın özelliklerini ifade eden matris denklemleri oluşturulur (Dixit ve ark., 2010).

Sonlu elemanlar yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları sıralanacak olursa;

- Verilen şekil çok karışık dahi olsa şekle ve boyutlarına göre istenilen esneklik kolaylıkla verilebilir.
- İlgili olduğu alanlar arttırılabilir.
- Malzeme veya geometri değişse dahi bir önceki problemde karşılaşılanından çok daha farklı güçlükler ortaya çıkmaz.
- Genel katılık maddesiyle ilişkili kuvvet ve yer değiştirmesi bakımından formüle edilmiş neden sonuç ilişkisi problemidir. Bu durum sonlu elemanlar metoduyla problemin çözümünü kolaylaştırır.
- Sınır şartları kolayca tespit edilir.
- Sonlu elemanlar metodunun esnekliği sayesinde çok yönlü karmaşık yapılarda diğer problemlerdeki sonuç ilişkisinden daha etkin olarak kullanılır. Sonuçları diğer analitik veya deneysel metotlarla daha iyi karşılaştırılabilir.
- En önemlisi ise zamandan ve paradan kazanç sağlamasıdır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafiklere bir örnek Şekil 4.1’ de verilmiştir. Bu örneğe göre 10 mm çapındaki bir çubuk kesilirken yaklaşık olarak 2,3 mm ‘de maksimum kuvvete ulaşıldığı görülmektedir. En yüksek kuvvetin elde edildiği bölge Şekil 4.2a’daki parlak alan olarak görülen kısımdır. Daha sonra kuvvette ani düşüş meydana gelmiştir. Bunun nedeni kesit daralmasından artık kesme işleminin kopmaya dönmesinden ötürüdür. Aynı şekle yan görünüşten bakarsak bir miktarda çapaklanma olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.2b). Çapağın sebebi kesme boşluğundan dolayıdır. İki bıçak arasına bir miktar malzeme dolar ve kesme işlemi sona erdiğinde bu malzemeler çapak oluştururlar (Hambli, 2001).

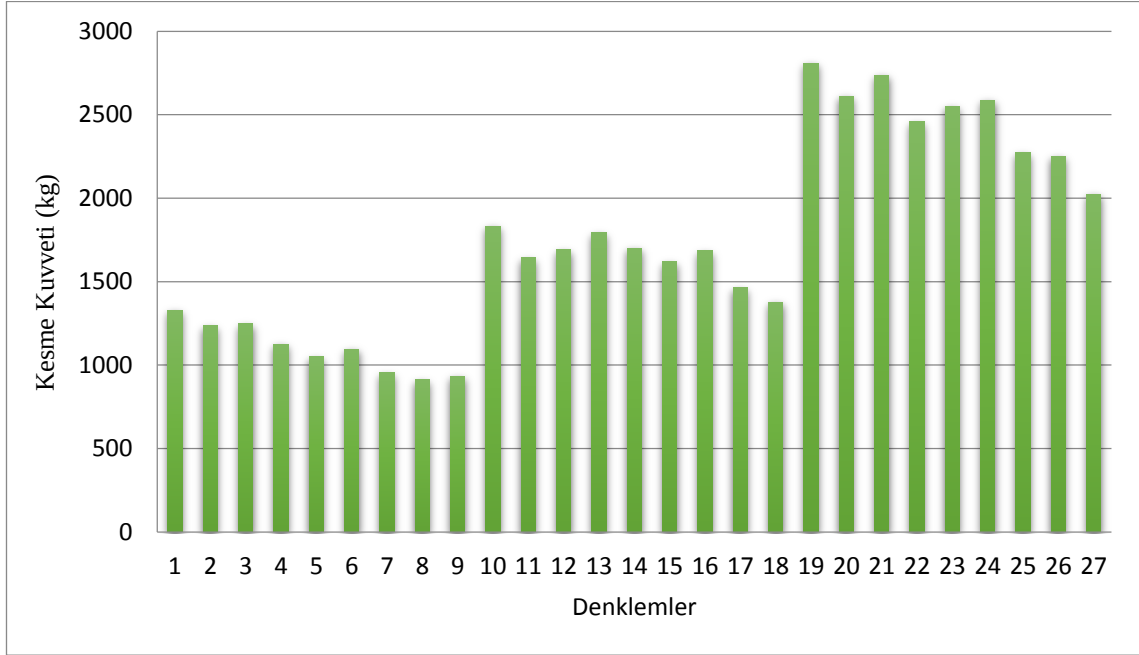


Şekil 4.1. Kesme kuvveti strok grafiği



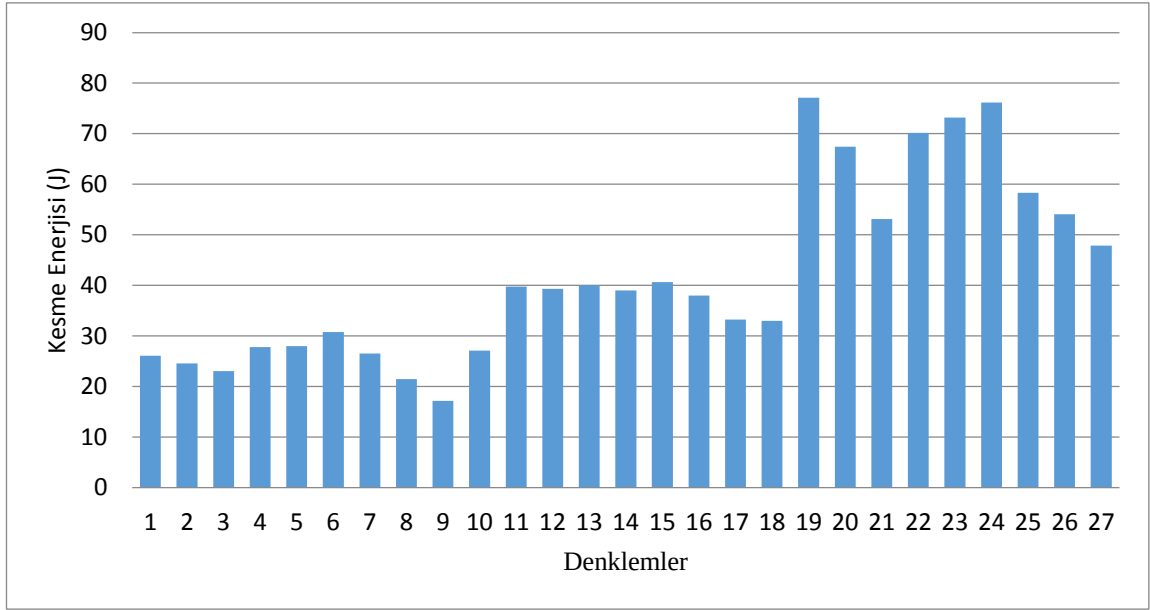
Şekil 4.2. Kesilen numuneler

Doğru sonuçlara ulaşabilmek için her bir deney 5 defa tekrarlanmış ve ortalaması alınmıştır. Şekil 4.1’ deki grafiklerin pik noktalarının ortalamaları alınarak Şekil 4.3’ deki sütunsal grafik elde edilmiştir. Bu grafiğe göre 27 deney arasında açıkça görülmektedir. Hız azaldıkça kesme kuvveti azalmıştır.



Şekil 4.3. Kesme kuvveti sütunsal grafiği

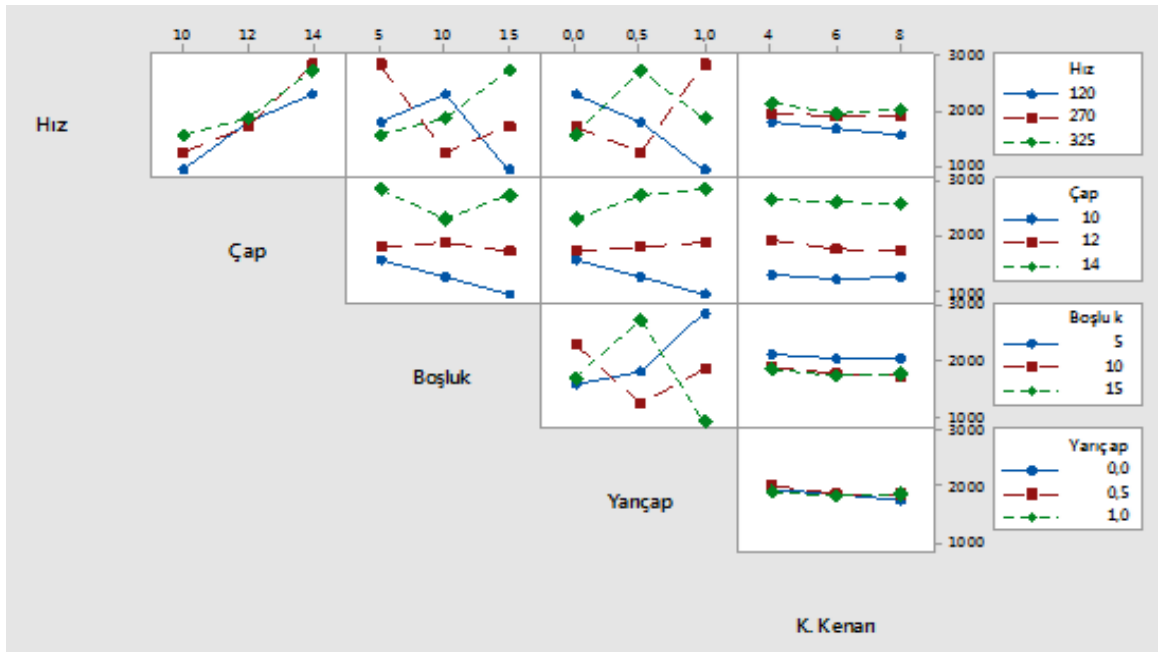
Şekil 4.1’ deki grafiğin altındaki alanın hesaplanmasıyla kesme işlemi esnasında harcanan enerjiler bulunmuştur. Şekil 4.4’ te bu enerjilerin sütunsal grafiği verilmiştir. Kıyas edilecek olursa hızın düşüşü enerjinin azalmasıyla paraleldir fakat beklendiği gibi kesilen malzeme çapı arttıkça harcanan enerjinde arttığı çok net olarak görülmektedir.



Şekil 4.4. Kesme enerjisi sütunsal grafiği

4.1. Kesme Kuvveti Sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerleri ve bunların “en küçük en iyi” yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 4.1’ de verilmiştir.



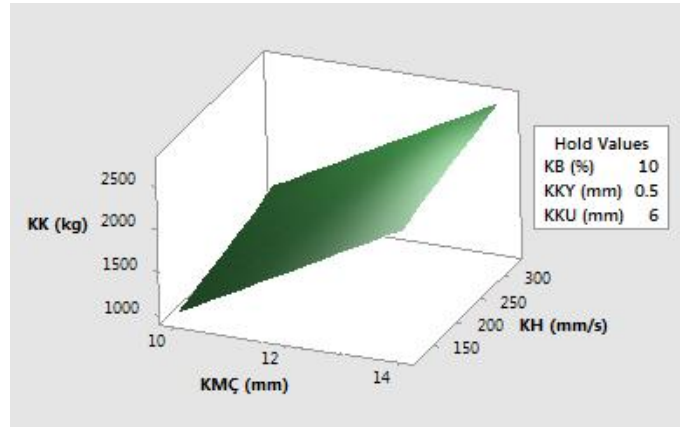
Şekil 4.5. Parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri

Çizelge 4.1. Kesme kuvveti değerleri ve S/N oranları

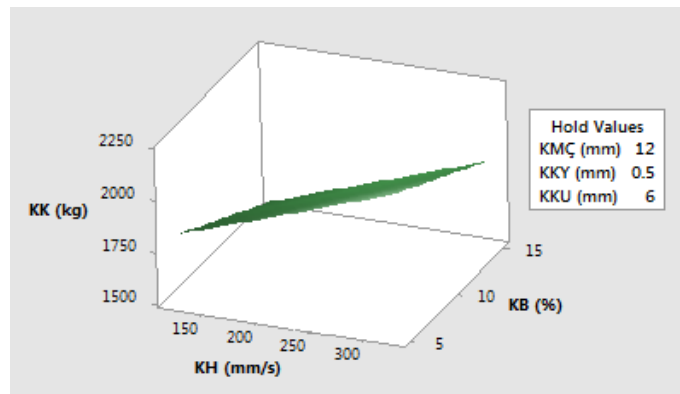
DENEY NO	KH (mm/s)	KMÇ (mm)	KB (%)	KKY (mm)	KKU (mm)	KK (kg)	S/N ORANI (dB)
1	325	10	5	0	4	1628	-64,2331
2	325	10	5	0	6	1535	-63,7222
3	325	10	5	0	8	1546	-63,7842
4	270	10	10	0,5	4	1274	-62,1034
5	270	10	10	0,5	6	1199	-61,5764
6	270	10	10	0,5	8	1245	-61,9034
7	120	10	15	1	4	954	-59,5910
8	120	10	15	1	6	913	-59,2094
9	120	10	15	1	8	933	-59,3976
10	325	12	10	1	4	1982	-65,9421
11	325	12	10	1	6	1751	-64,8657
12	325	12	10	1	8	1840	-65,2964
13	270	12	15	0	4	1793	-65,0716
14	270	12	15	0	6	1699	-64,6039
15	270	12	15	0	8	1619	-64,1849
16	120	12	5	0,5	4	1985	-65,9552
17	120	12	5	0,5	6	1763	-64,9250
18	120	12	5	0,5	8	1675	-64,4803
19	325	14	15	0,5	4	2808	-68,9679
20	325	14	15	0,5	6	2610	-68,3328
21	325	14	15	0,5	8	2735	-68,7391
22	270	14	5	1	4	2757	-68,8087
23	270	14	5	1	6	2850	-69,0969
24	270	14	5	1	8	2887	-69,2089
25	120	14	10	0	4	2423	-67,6871
26	120	14	10	0	6	2401	-67,6078
27	120	14	10	0	8	2073	-66,3320

Şekil 4.5’de beş parametrenin birbirleriyle olan ikili etkileşimleri gösterilmiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da hızın çap ile olan ilişkisi incelendiğinde; 10 mm çapındaki milin kesilmesi işleminde hıza paralel bir şekilde hızın artmasıyla beraber kuvvetinde arttığı görülmektedir. 12 mm çapındaki mil için ise hızın kuvvet değişimine etkisi sınırlıdır. Çapı 14 mm olan milin kesilmesi işleminde ise en düşük olan hızda (120 mm/s) en düşük kuvvetle kesildiği görülmektedir. Fakat çapın artması, 10 mm çaplı

milde olduğu gibi hızda paralellik göstermemektedir. Hız arttıkça kuvvette bir azalma oluşmuştur. Kesici takımın hızının artmasıyla malzemenin kesilmeye karşı direnci artacağından kesme kuvvetinde artışlar belli bir seviyeye kadar artışlar gözlenmektedir. Stegman (1999) çalışmasında bunun yüksek deformasyon hızının malzemede adyabatik davranış göstermesi ve bunun sonucunda da malzeme mukavemetinde düşmeler meydana gelmesi olarak açıklamıştır. Bu ifadeyi daha farklı şekilde izah edecek olursak, kesme prosesinde kesme bölgesi ısınır. Hızlı kesme yapılırsa ısı o bölgeden uzaklaşacak zamanı bulamaz ve kesilen malzemenin o bölgedeki mukavemetini düşürür. Malzemenin şekil değişimine karşı gösterdiği direncin artması gerekirken bu sıcaklık artışından dolayı kesme kuvvetinde bir düşüş meydana getirmiştir.



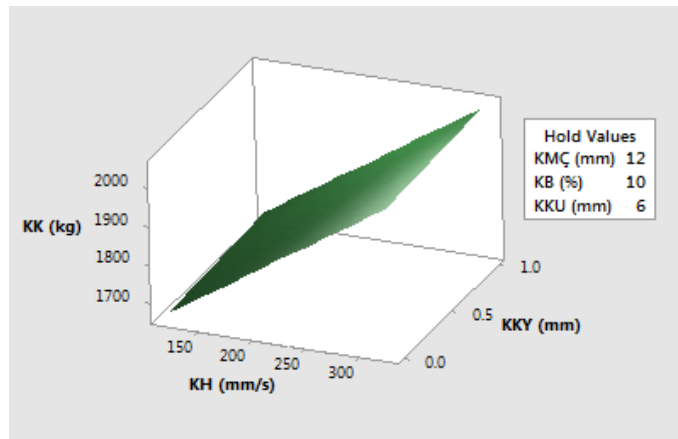
Şekil 4.6. Hız ve çapın kesme kuvvetine etkisi



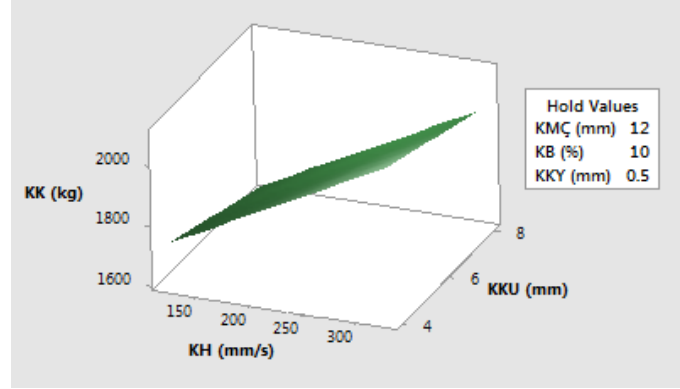
Şekil 4.7. Hız ve kesme boşluğunun kesme kuvvetine etkisi

Hızın kesme boşluğuyla olan ilişkisi Şekil 4.5 ve 4.8’de incelendiğinde her hızda farklı bir kesme boşluğunun minimum kuvvet için daha ideal olduğu görülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda incelendiğinde kesin bir boşluktan bahsedilmemekle birlikte malzeme özelinde çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar, malzemenin kalınlığına göre yada genellikle yüzey kalitesi üzerine etkilerine yönelik çalışmalardır. Şekil 1’deki grafik incelendiğinde; %5 boşluk için en düşük kuvvetin hızın 325 mm/s’de olduğu görülmektedir. %10 boşlukta ise 270 mm/s hızın diğer hızlar arasında en düşük kuvveti verdiği gözlenmiştir. En düşük kuvveti elde ettiğimiz kesme boşluğu ise beklendiği gibi gerçekleşmiş ve boşluğun en yüksek değeri olan %15’de gerçekleşmiştir. Ancak kesme boşluğunun gerekenden fazla verilmesi kuvveti düşürürken aynı şekilde yüzey kalitesini de düşürmektedir. Fakat yüzey kalitesinin hurda kesme işlemi için bir önemi yoktur.

Hızın kesme kenarı yarıçapıyla olan ilişkisi Şekil 4.5 ve 4.8’de incelendiğinde aynı kesme boşluğunda olduğu gibi karmaşık bir ilişki gözlenmiştir. Minimum kuvvet için ideal bir yarıçap mevcut değildir. Yarıçap arttıkça 120 mm/s hız için kuvvet git gide düşmüştür. Diğer iki hızda ise anı şeyi söylemek mümkün değildir. 270 mm/s hız için yarıçap arttıkça kuvvet artmış, 325 mm/s için ise kuvvet çok değişkenlik göstermiştir. Hızın kesme kenarıyla olan ilişkisinde (Şekil 4.5 ve 4.9) çapla benzer bir görüntü oluşmuştur. En düşük hızda en düşük kuvvetler gözlenmiştir. Kesme kenarı arttıkça kuvvetinde genel olarak azalmaya yönelik bir eğilim gösterdiği şekil 4.8’ de görülmektedir.

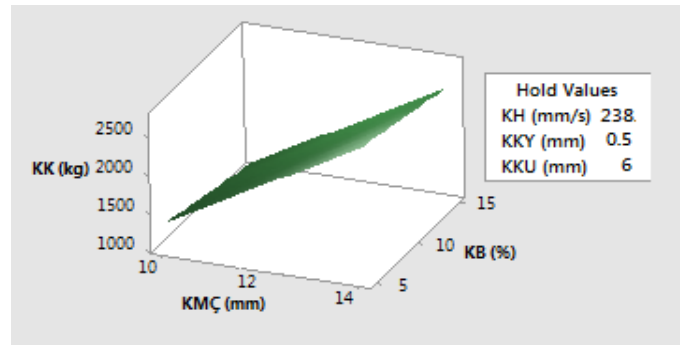


Şekil 4.7. Hız ve yarıçapın kesme kuvvetine etkisi

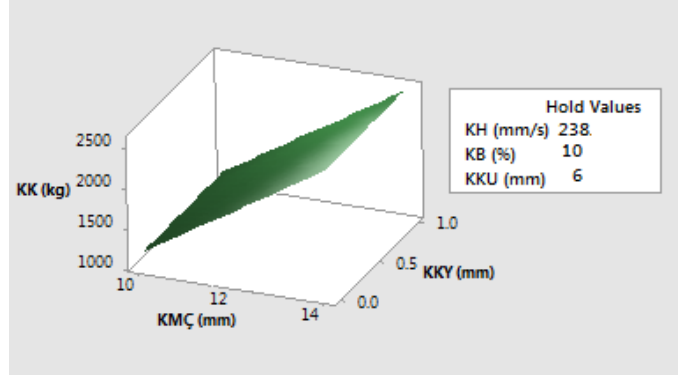


Şekil 4.8. Hız ve kesme kenarının kesme kuvvetine etkisi

Çapın diğer tüm parametrelerle olan ilişkisine bakıldığında malzeme çapının artmasıyla kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür. Şekil 4.10’da malzeme çapının, kesme boşluğuyla olan ilişkisi görülmektedir. Bu grafiğe ve Şekil 1’e göre en küçük kuvvet en büyük boşluk ve en küçük çapta gerçekleşmiştir. Çapın değişmesinin kuvvet üzerinde etkisi büyük olduğu göze çarpmaktadır. Şekil 4.11 incelendiğinde kesme boşluğuyla olan grafikte farklı ifadeler kullanmak mümkün değildir. Bunun sebebi yukarıda bahsedildiği gibi çapın baskın olmasından dolayıdır.

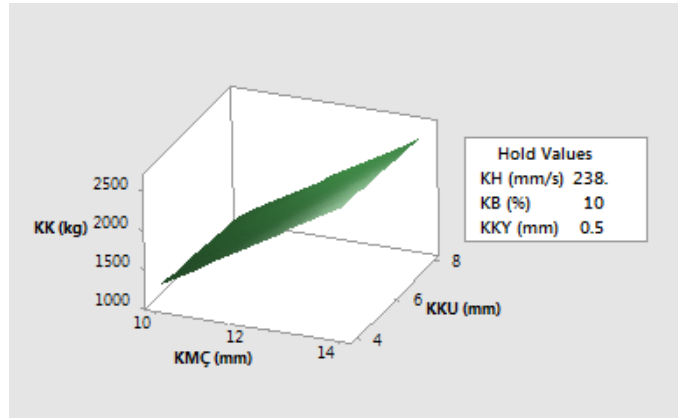


Şekil 4.9. Çap ve kesme boşluğunun kesme kuvvetine etkisi

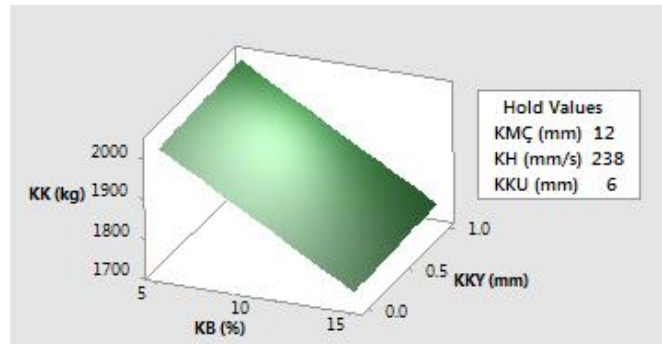


Şekil 4.10. Çap ve yarıçapın kesme kuvvetine etkisi

Kesilen malzeme çapının kesme kenarıyla olan ilişkisi Şekil 4.12’de görülmektedir. Kuvvet artışıyla paralel göstermiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde ise kesme kenarının kuvvete etkisinin çapın etkisinin yanında dikkate alınmayacak kadar az olduğu görülmektedir.

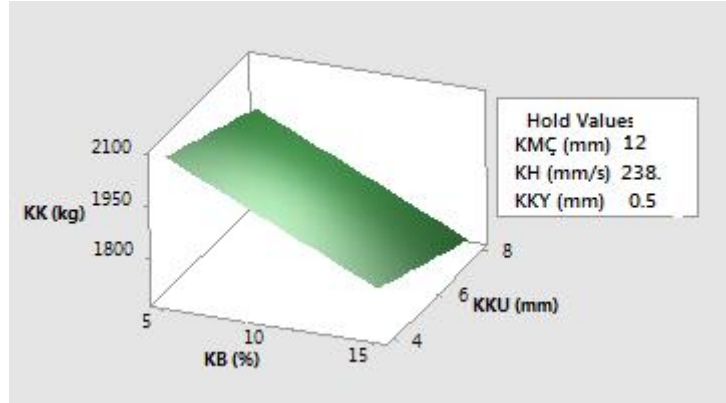


Şekil 4.11. Kesme kenarı ve çapın kesme kuvvetine etkisi

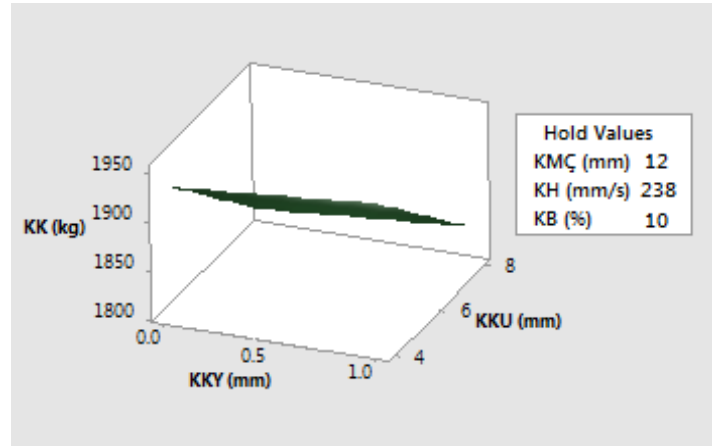


Şekil 4.12. Kesme boşluğu ve yarıçapın kesme kuvvetine etkisi

Şekil 4.14’de bıçaklar arasındaki kesme boşluğunun kesme kenarı ile olan ilişkisi grafik haline getirilmiştir. %10 ve %15 olan kesme boşluklarında kuvvetlerin birbiriyle çakıştığı gözlenmiştir. Şekil 4.15’de kesme kenarı uzunluğunun ve kesme kenarı yarıçapının kesme kuvvetine etkisinin oldukça az olmasından dolayı kuvvetler neredeyse birbiriyle aynı olmaktadır. Kesme kenarı üzerindeki yarıçapın etkisi daha çok malzemenin yüzey kalitesi ile ilintilidir, kuvvete etkisi ise oldukça azdır.



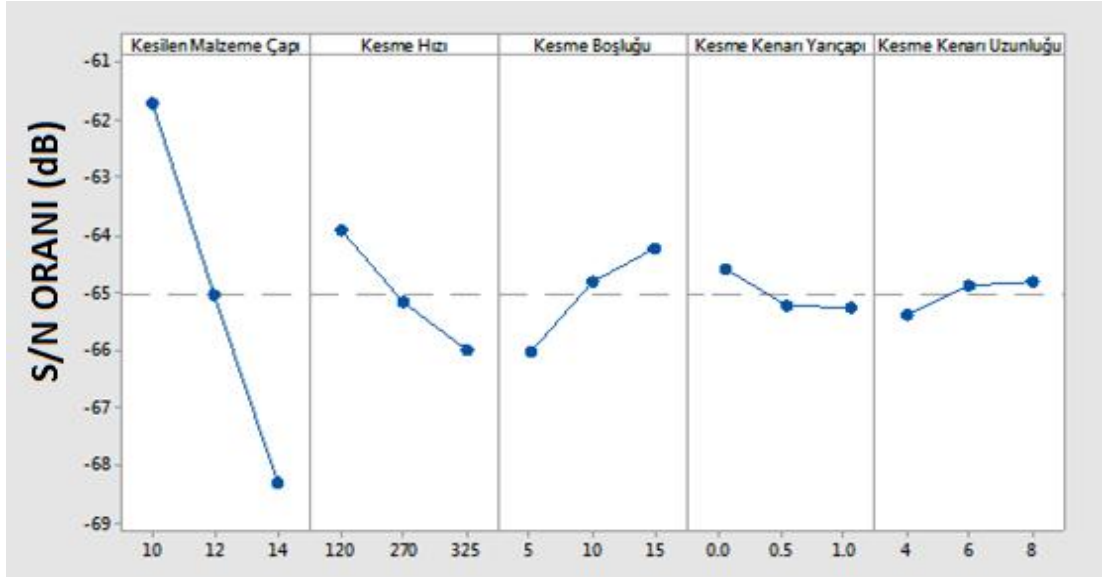
Şekil 4.13. Kesme boşluğu ve kesme kenarının kesme kuvvetine etkisi



Şekil 4.14. Kesme kenarı ve yarıçapın kesme kuvvetine etkisi

Oluşan kesme kuvvetlerinin optimal seviyesi için kesme şartlarının optimizasyonu Minitab-17 yazılımında Taguchi Yöntemi’ ne göre belirlenmiştir. Optimal kesme kuvvetini veren değişken seviyelerinin belirlenmesi için deneysel kesme kuvveti verilerinin S/N oranları hesaplanmıştır (Çizelge 4.1). Değişkenlerin S/N oranları Şekil 4.15’de grafik olarak verilmiştir. Performans karakteristiği adı verilen sonucun “En

küçük en iyi” olduğu duruma göre yapılan optimizasyona göre optimal kesme kuvvetini veren deney şartları tespit edilmiştir. Buna göre her bir parametre için optimum değerleri sinyal-gürültü oranlarına göre en büyük değerler verir. Buna istinaden Şekil 4.15 incelendiğinde kesme hızının minimum değerleri 120 mm/s, kesilen malzeme çapında 10 mm, kesme boşluğunda %15 değerinde, kesme kenarı yarıçapında radius olmayan ve kesme kenarı uzunluğunda ise 8 mm olan seçenekler gözlenmiştir.



Şekil 4.15. Kesme kuvvetleri için değişkenlerin S/N oranları

Çizelge 4.2 Kesme Prosesi için Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları

SEVİYE	HIZ	ÇAP	BOŞLUK	YARIÇAP	KESME KENARI
1	-63,91	-61,72	-66,02	-64,25	-65,37
2	-65,17	-65,04	-64,81	-65,22	-64,88
3	-65,99	-68,31	-64,23	-64,60	-64,81
Delta	2,08	6,58	1,79	0,65	0,56
	1	1	3	1	3

Yukarıdaki grafiğin (Şekil 4.15) çizelge hali Çizelge 4.2’de görülmektedir. Optimal kesme kuvveti değerine ulaşmak için kullanılacak kesme parametreleri seviyeleri Çizelge 4.2 yardımıyla A1, B1, C3, D1 ve E3 şeklinde belirlenmiştir. Bu seviyelere göre elde edilebilecek minimal kesme kuvveti Minitab-17 programı vasıtasıyla 871, 519 kg olurken, bu değerın S/N oranı ise -59, 83 dB olarak tahmin edilmiştir.

Çalışma sonuçlarının güvenilirliği için istatistiksel analizlerin yapılması gerekmektedir. Taguchi yöntemi tek cevap özelliklerini optimize etmek için tasarlanmıştır. Bir çıktı için en büyük en iyiye, diğer çıktı için en küçük en iyi olması istenebilir. Bu nedenle çoklu çıktıların optimizasyonu karışıktır. Bunun için çok değişkenli varyans analizi (ANOVA) kullanılarak parametrelerin sonuçlar üzerindeki etki yüzdeleri ve güven düzeyleri belirlenmektedir (Şirvancı, 1997). Varyans analiz yöntemi, Taguchi (L27) ortagonal dizisi için uygulanmıştır ve girdi parametrelerinin kesme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir.

Çizelge 4.3. Kesme kuvvetinin S/N oranlarının varyans analizi

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	PCR %
Hız	2	632555	316277	36,86	0,0	6,4
Çap	2	8549328	4274664	498,23	0,0	86,5
Boşluk	2	463817	231909	27,03	0,0	4,6
Yarıçap	2	19917	9958	1,16	0,338	0,2
K.Kenarı	2	70834	35417	4,13	0,036	0,7
Hata	16	137275	8580			1,3
TOPLAM	26	9873726				100

P değerinin sıfıra yakın olması demek parametrelerin etkinliğinin fazla olduğunu göstermektedir. P değerleri 0,05 ‘ten daha küçük olduğu işlemin güvenilirlik oranı %95’dir. Her bir parametrenin yüzde olarak katkısını bulmak için o parametrenin kareler toplamı, toplam kareler toplamına bölünür. Toplam kareler toplamı ise her parametrenin kareler toplamının ve hata değerinin toplanmasıyla elde edilir.

Anova Çizelgelerinde kesme kuvvetine etki eden parametrelerin oranları yüzde (%) olarak hesaplanmaktadır. Çizelge 4.3 incelendiğinde kesme kuvvetini en çok etkileyen parametrenin %86,5 luk oranla mil çapı, daha sonra %6,4’lük oranla kesme hızı, %4,6’lık oranla kesme boşluğu olduğu görülmektedir. Diğer iki parametrenin ise etkisi çok küçük miktardadır.

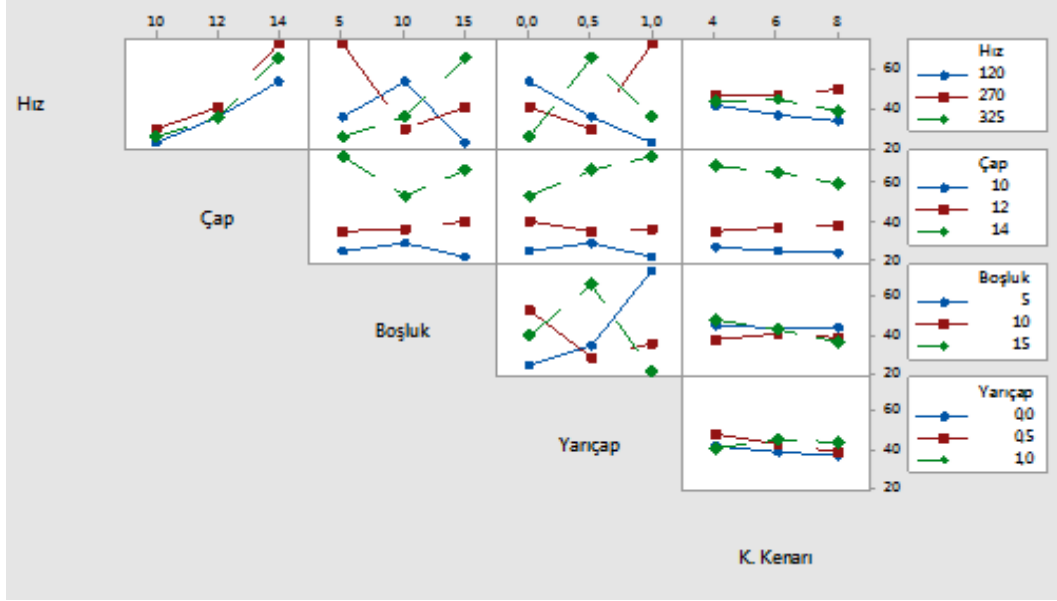
İstatistiksel olarak R^2 değerinin 1’e yaklaşması, tahmin modelinin gerçek ilişkiye yakınlığını ifade etmektedir. Bu çalışmada elde edilen tahminsel denklemde R^2 % 92,6 olduğu için kabul edilebilirliği yüksektir.

4.2. Kesme Enerjisi Ve Sonuçları

Çizelge 4.4. Kesme kuvveti değerleri ve S/N oranları

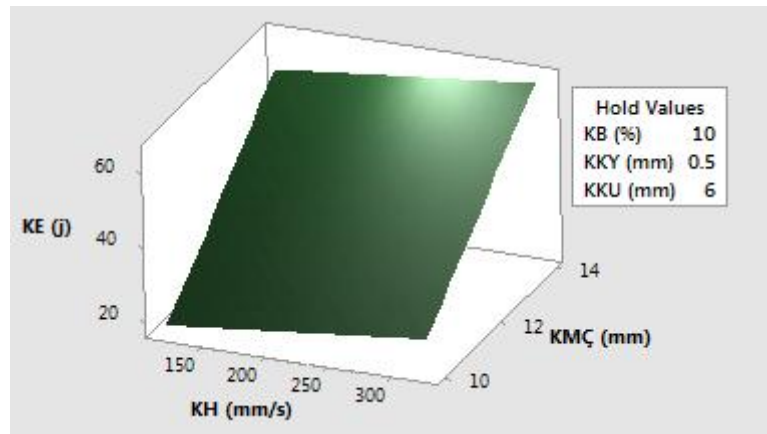
DENEY NO	KH (mm/s)	KMÇ (mm)	KB (%)	KKY (mm)	KKU (mm)	Enerji (J)	S/N ORANI (dB)
1	325	10	5	0	4	26,10873	-28,3357
2	325	10	5	0	6	24,55105	-27,8014
3	325	10	5	0	8	23,07112	-27,2614
4	270	10	10	0,5	4	27,77498	-28,8731
5	270	10	10	0,5	6	28,01565	-28,9480
6	270	10	10	0,5	8	30,74717	-29,7561
7	120	10	15	1	4	26,53987	-28,4780
8	120	10	15	1	6	21,4493	-26,6283
9	120	10	15	1	8	17,15256	-24,6866
10	325	12	10	1	4	27,12273	-28,6667
11	325	12	10	1	6	39,77121	-31,9914
12	325	12	10	1	8	39,31918	-31,8921
13	270	12	15	0	4	40,02202	-32,0460
14	270	12	15	0	6	38,97743	-31,8163
15	270	12	15	0	8	40,66649	-32,1847
16	120	12	5	0,5	4	38,00903	-31,5977
17	120	12	5	0,5	6	33,24561	-30,4347
18	120	12	5	0,5	8	32,98904	-30,3674
19	325	14	15	0,5	4	77,1253	-37,7439
20	325	14	15	0,5	6	67,40893	-36,5743
21	325	14	15	0,5	8	53,09784	-34,5015
22	270	14	5	1	4	70,16684	-36,9226
23	270	14	5	1	6	73,16853	-37,2865
24	270	14	5	1	8	76,17818	-37,6366
25	120	14	10	0	4	58,34474	-35,3200
26	120	14	10	0	6	54,0826	-34,6612
27	120	14	10	0	8	47,86665	-33,6007

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen kesme enerjisi değerleri ve bunların “en küçük en iyi” yaklaşımına göre hesaplanan S/N oranları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

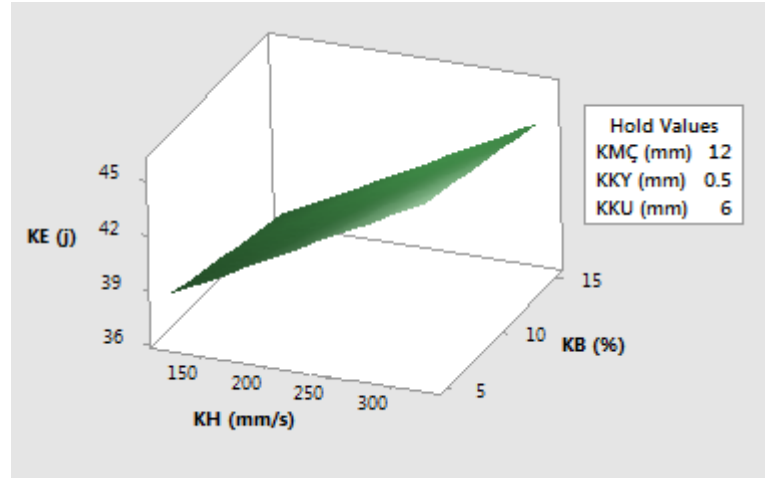


Şekil 4.17. Parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri

Şekil 4.17’da beş parametrenin birbirleriyle olan ikili etkileşimleri gösterilmiştir. Aşağıdaki diğer 10 resim incelenirken bu şekilden faydalanılmıştır. Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de hızın çap ile olan ilişkisi incelenirse; en düşük çap ve en düşük hızda enerjinin de aynı şekilde en düşük değeri aldığı açıkça görülmektedir. Kesilen malzemenin çapı arttıkça ise enerji miktarlarındaki değişim daha net olarak görülmektedir. Kesme hızının 120mm/s olduğu deneyde enerji yaklaşık olarak 40 j ölçülmüş ve bu değer diğer iki hız arasında en düşük enerji miktarı olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde ise; içi dolu mil kesiminde kesme hızının kesme boşluğuyla olan ilişkisi görülmektedir. Minimum enerji tıpkı kesme kuvvetinde olduğu gibi maksimum kesme boşluğunda ve minimum kesme hızında elde edilmiştir.

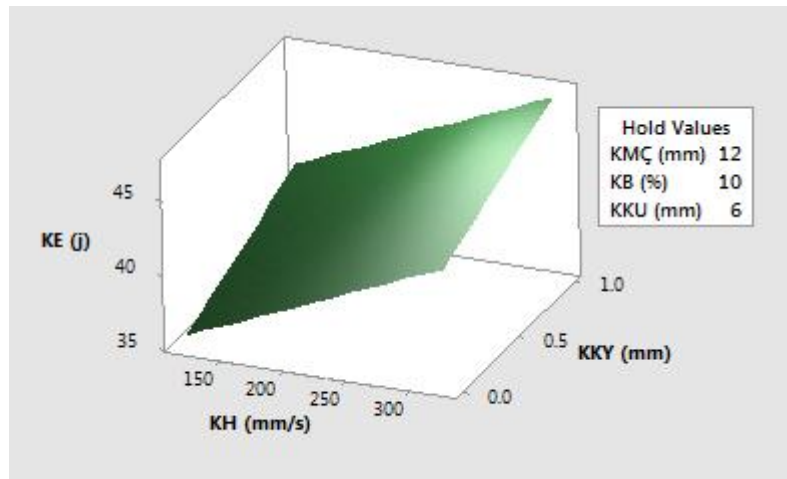


Şekil 4.18. Hız ve çapın kesme enerjisine etkisi

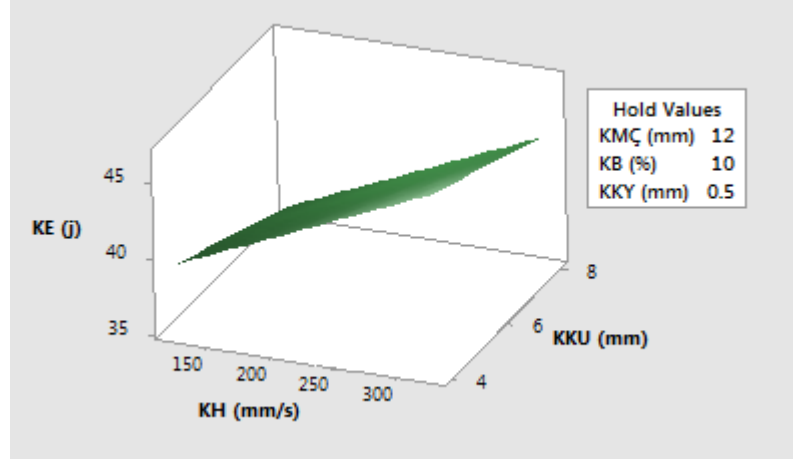


Şekil 4.19. Hız ve kesme boşluğunun kesme enerjisine etkisi

Kesme hızının, bıçak kenar yarıçapıyla olan ilişkisi şekil 4.20’te görülmektedir. Buna göre 20 j’ün altında bir minimum enerji görülmektedir. Bu değer en küçük hız ve en büyük kesme kenarı yarıçapında elde edilmiştir. Fakat ayrı ayrı gözlemlenirse her hızın daha düşük enerjiyi verdiği bir yarıçap mevcuttur. Şekil 4.21’te kesme hızının kesme kenarıyla olan ilişkisi verilmiştir. Buna göre en yüksek enerji 270 mm/s olan hızda gerçekleşmiştir. Kesme kenarının artışı bu hızda harcanan enerjiyi arttırırken, diğer hızlarda ise aksine azaltmıştır.

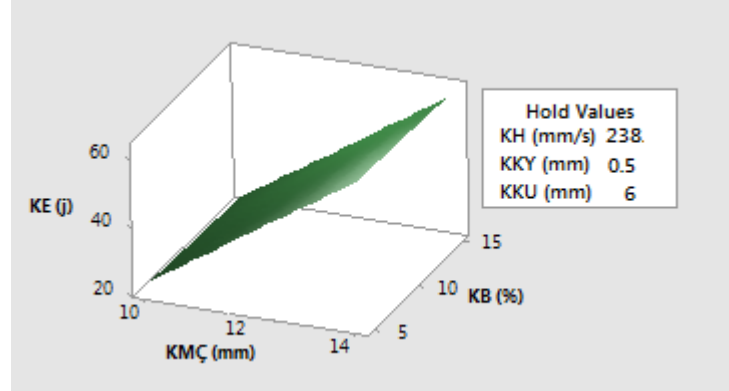


Şekil 4.20. Hız ve yarıçapın kesme enerjisine etkisi

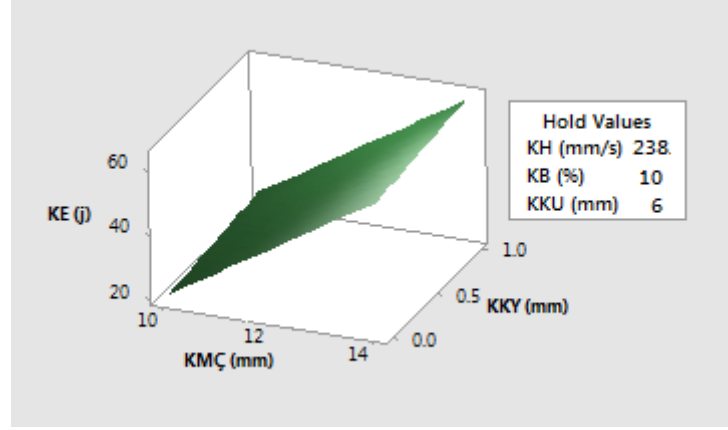


Şekil 4.21. Hız ve kesme kenarının kesme enerjisine etkisi

Çapın diğer tüm parametrelerle olan kıyaslamasına bakıldığında malzeme çapının artmasıyla kesme enerjisinin aynı kuvvette olduğu gibi arttığı görülmüştür. Şekil 4.22’de malzeme çapının, kesme boşluğuyla olan ilişkisi görülmektedir. Genel olarak kesme boşluğunun artmasıyla enerjinin azaldığı görülmektedir. Şekil 4.23’de malzeme çapının kesme kenarı yarıçapıyla olan ilişkisi görülmektedir. Milin çapı 14 mm iken kesme kenarı enerjiye en fazla etkiyi yapmıştır. Kesme kenarının artmasıyla enerjide de ciddi miktarda artış olmuştur.

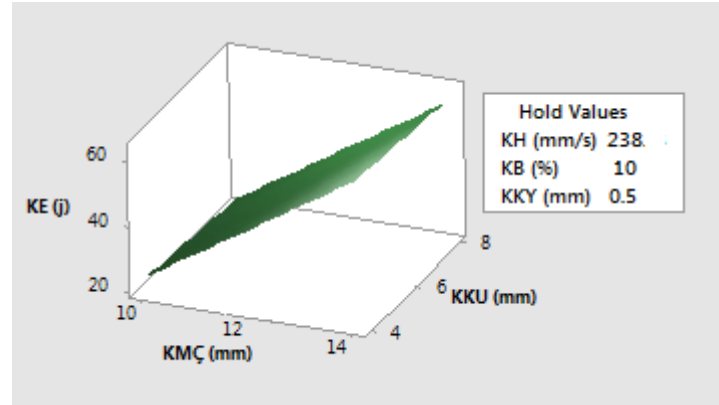


Şekil 4.22. Çap ve kesme boşluğunun kesme enerjisine etkisi

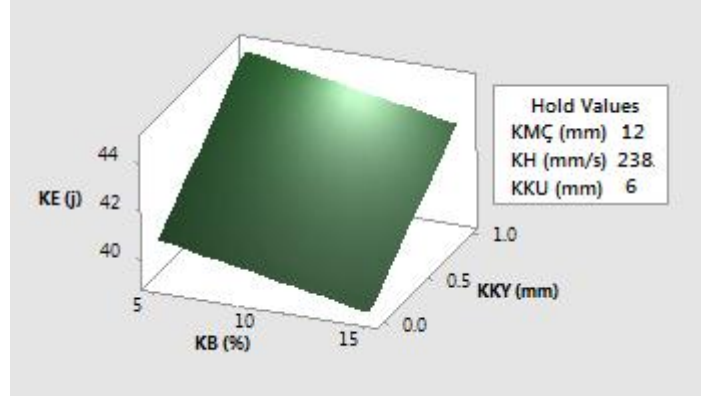


Şekil 4.23. Çap ve yarıçapın kesme enerjisine etkisi

Kesilen malzeme çapının kesme kenarıyla olan ilişkisi Şekil 4.24’de görülmektedir. Enerjinin artışı çapın artmasıyla paralel gitmektedir. Kesme kenarının büyüklüğü arttıkça her üç çap içinde enerjide bir miktar düşme meydana gelmiştir. Şekil 4.25’da hareketli ve sabit bıçak arasındaki kesme boşluğunun yine iki bıçağında kenarında bulunan kesme kenarı yarıçapıyla olan ilişkisi gösterilmektedir. Yarıçap ve boşluğun en yüksek olduğu değerlerde en düşük enerjinin elde edildiği belirlenmiştir.

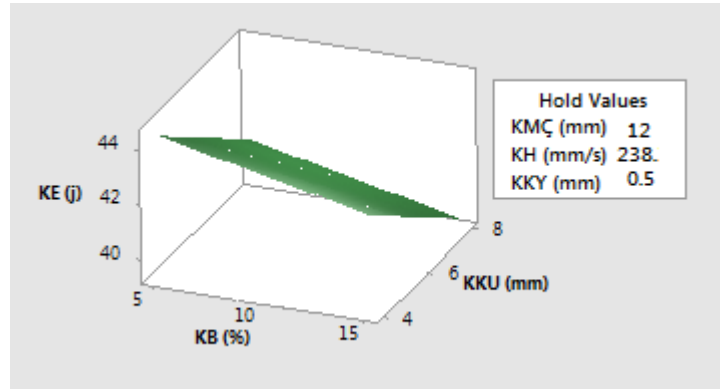


Şekil 4.24. Kesme kenarı ve çapın kesme enerjisine etkisi

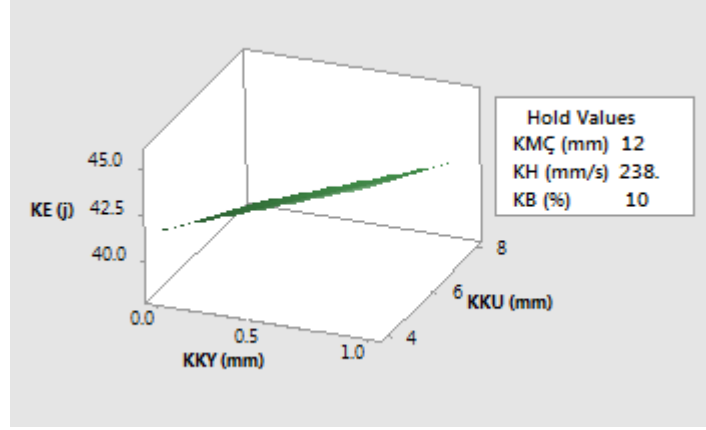


Şekil 4.25. Kesme boşluğu ve yarıçapın kesme enerjisine etkisi

Şekil 4.26’da kesme boşluğunun kesme kenarıyla olan ilişkisi görülmektedir. Kesme kenarının artışıyla her üç çapta da enerjide bir azalış gözlenmiştir. Şekil 4.27’da ise son olarak kesme kenarının, kesme kenarı yarıçapıyla olan ilişkisi gösterilmiştir. Bu grafiğe göre herhangi bir yarıçapta malzeme kenarında yuvarlanma yapılmadığında malzemeye bıçak ucunun daha rahat batmasından dolayı kesme enerjisinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Fakat bıçak kenarlarına yarıçap verilmediğinde bıçaklardaki aşınmanın fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

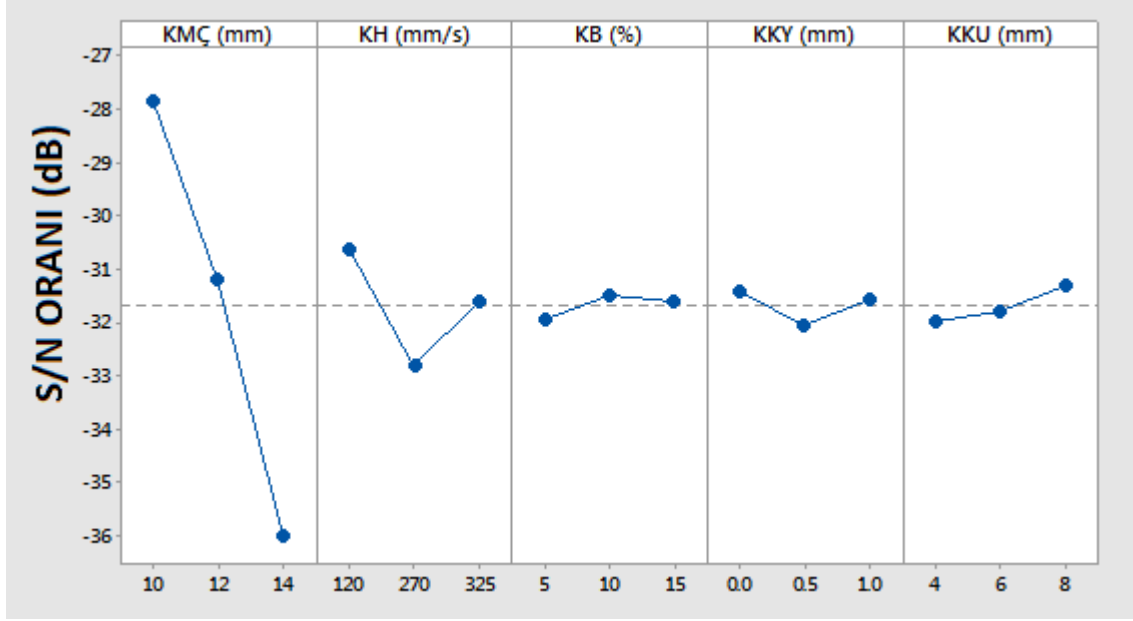


Şekil 4.26. Kesme boşluğu ve kesme kenarının kesme enerjisine etkisi



Şekil 4.27. Kesme kenarı ve yarıçapın kesme enerjisine etkisi

Oluşan kesme enerjisinin optimal seviyesi için kesme şartlarının optimizasyonu Minitab-17 yazılımında Taguchi Yöntemi 'ne göre belirlenmiştir. Optimal kesme kuvvetini veren değişken seviyelerinin belirlenmesi için deneysel enerji verilerinin S/N oranları hesaplanmıştır (Çizelge 4.4). Değişkenlerin S/N oranları Şekil 4.28'de grafik olarak verilmiştir. Performans karakteristiği adı verilen sonucun “En küçük en iyi” olduğu duruma göre yapılan optimizasyona göre optimal kesme kuvvetini veren deney şartları tespit edilmiştir. Buna göre her bir parametre için optimum değerleri sinyal-gürültü oranlarına göre en büyük değerler verir. Şekil 4.27 incelendiğinde kesme hızının minimum değerleri 120 mm/s, kesilen malzeme çapında 10 mm, kesme boşluğunda %10 değerinde, kesme kenarı yarıçapında radius olmayan ve kesme kenarı uzunluğunda ise 8 mm olan seçenekler gözlenmiştir.



Şekil 4.28. Kesme enerjisi için değişkenlerin S/N oranları

Yukarıdaki grafiğin (Şekil 4.28) çizelgeleştirilmiş hali Çizelge 4.5’de görülmektedir. Optimal kesme kuvveti değerine ulaşmak için kullanılacak kesme parametreleri seviyeleri Çizelge 4.2 yardımıyla A1, B1, C2, D1 ve E3 şeklinde belirlenmiştir. Bu seviyelere göre elde edilebilecek minimal kesme kuvveti Minitab 17 programı vasıtasıyla 12,48 j olurken, bu değerın S/N oranı ise -21,9243 dB olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 4.5. Kesme enerjisi için Kontrol Faktörlerinin S/N Oranları

SEVİYE	HIZ	ÇAP	BOŞLUK	YARIÇAP	KESME KENARI
1	-30,64	-27,86	-31,96	-31,45	-32
2	-32,83	-31,22	-31,52	-32,09	-31,79
3	-31,64	-36,03	-31,63	-31,58	-31,32
Delta	2,19	8,16	0,44	0,64	0,68
	1	1	2	1	3

Çalışma sonuçlarının güvenilirliği için istatistiksel analizlerin yapılması gerekmektedir. Bunun için çok değişkenli varyans analizi (ANOVA) kullanılarak

parametrelerin sonuçlar üzerindeki etki yüzdeleri ve güven düzeyleri belirlenmiştir. Varyans analiz yöntemi, Taguchi (L27) ortogonal dizisi için uygulanmıştır ve girdi parametrelerinin kesme enerjisi üzerine etkileri incelenmiştir.

Çizelge 4.6. Kesme enerjisi S/N oranlarının varyans analizi

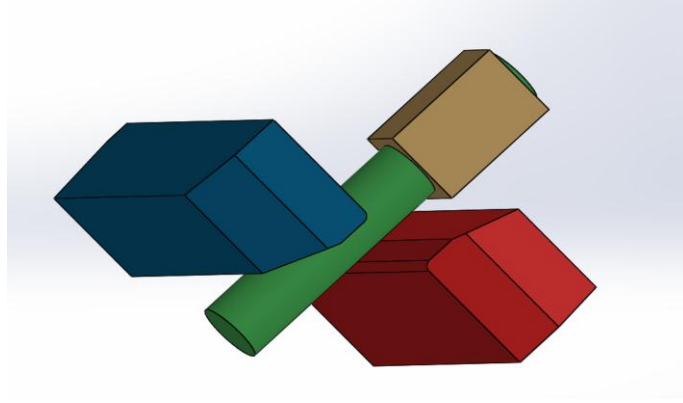
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P	PCR %
Hız	2	512,41	256,2	8,39	0,003	3
Çap	2	7261,29	3630,65	118,92	0,0	85
Boşluk	2	113,54	56,77	1,86	0,188	1,32
Yarıçap	2	96,07	48,03	1,57	0,238	1,11
K.Kenarı	2	51,93	25,97	0,85	0,446	0,6
Hata	16	488,49	30,53			5,7
TOPLAM	26	8523,74				100

Çizelge 4.6 incelendiğinde kesme kuvvetini en çok etkileyen parametrenin %85 lik oranla mil çapı, daha sonra %3'lük oranla kesme hızı, %1,32'lik oranla kesme boşluğu, %1,11'lik oranla kesme kenarı yarıçapı olduğu görülmektedir. Diğer parametrenin ise etkisi çok küçük miktardadır.

İstatistiksel olarak R^2 değerinin 1'e yaklaşması, tahmin modelinin gerçek ilişkiye yakınlığını ifade etmekte ve 0,80 ve üzeri olması durumunda kuvvetli ilişki olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen tahminsel denklemde R^2 % 85,4 olduğu için kabul edilebilirliği yüksektir.

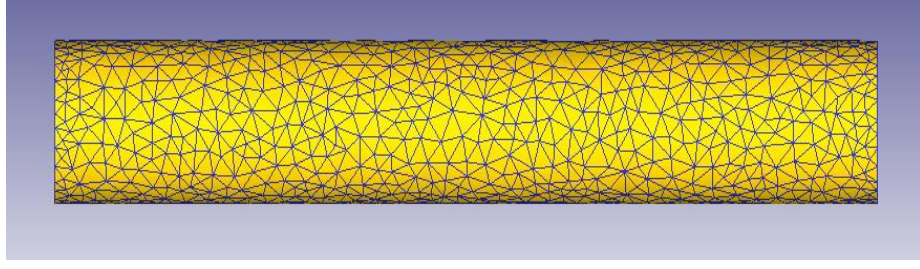
4.3. Sonlu elemanlar Yöntemiyle Kesme Kuvveti Sonuçları

Uzunluğu 100 mm olan 10, 12 ve 14 mm çapındaki bir hurda milden 10 mm' lik bir kısmını kesmek için şekil-4 teki katı model oluşturulmuştur. Prosesteki elemanlar biri sabit diğeri hareketli olan iki adet kesici bıçak, silindirik çubuk ve çubuğu stabil tutmak için gerekli olan tutucudur. 27 farklı deney düzeneği için farklı kesme boşluğuna ve kesme kenarına sahip 27 farklı katı model montajı Solidworks programında yapılmış ve Deform programında analizi yapılmaya hazır hale getirilmiştir.



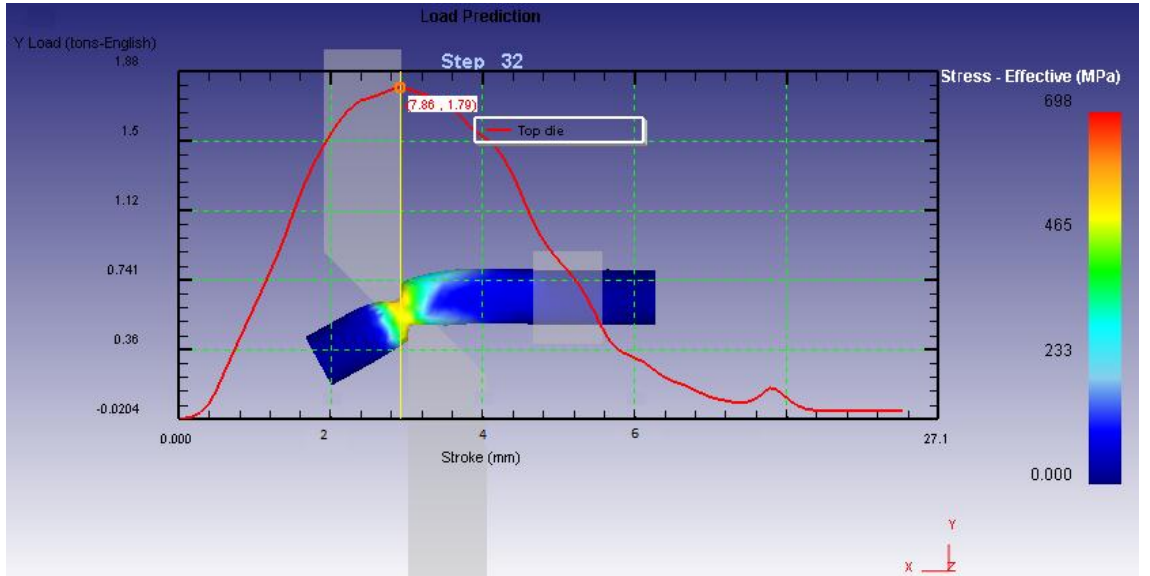
Şekil 4.29 Kesme prosesinin katı model çizimi

Malzeme tanımlaması Deform 2D/3D ön proses kısmından eklenmiştir. Kaynaklardan St37 kalite çelik için bulunan mekanik ve ısı özellikleri tanımlanmıştır. Daha sonra şekillendirmeye (forming) girerek proses adım adım tanımlanmıştır. Bu işlem adımları; milin kesilmesi esnasında sıcaklığının artmasıyla milde herhangi bir mukavemet değişiminin olup olmayacağını görebilmek için işlem ılık şekillendirme (warm forming) olarak seçilmiştir. Fakat sıcaklık değişimi sadece mil için hesaplanmıştır. Daha sonra iş parçası (workpiece) olarak mil tanımlanmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin en önemli aşamalarından ve gerçek değerlere daha çok yakınsanmasını sağlayan aşama iş parçası üzerine kaplanacak olan eleman ağının (mesh) oluşturulmasıdır. SEY yazılımlarında yapılacak analizin türüne, analiz yapılacak geometriye göre farklı eleman türleri vardır. Bu çalışmada, üç boyutlu analiz yapıldığından ve silindirik parça olmasından dolayı tetrahedral şeklinde elemanlar kullanılmıştır. İş parçası 20.000 parçaya bölünmüştür. Ağ oluşturulurken eleman tipinin yanı sıra sıklığı da önemlidir. Mesh aralığının seyrek olması analizi çözümsüzlüğe götürürken çok sık olması da bilgisayarlara aşırı yük binmesine veya çözüm süresinin ciddi manada artmasına sebep olmaktadır. Çalışmada Şekil 4.30 da görüldüğü gibi mesh atılmıştır.



Şekil 4.30 Sonlu elemanlar ağı (Mesh)

Üst bıçak, alt bıçak ve tutucu rijit seçilmiştir. Bu yüzden herhangi bir malzeme tanımlanması yapılmamış ve mesh atılmamıştır. Üst bıçağa hızlar tanımlanmıştır ve maksimum aşağı ineceği limit 20 mm olarak seçilmiştir. Proses 100 adımda incelenmiştir. Şekil 4.31’ de örnek olarak yapılan bir deneyin kuvvetin maksimum değere ulaştığı nokta seçilmiştir. Bu adımda milin ne kadarının kesildiği arka plandaki resimde ve o andaki kesme kuvveti grafikte görülmektedir. Aynı zamanda bu esnadaki maksimum gerilmenin değeri 698 MPa olarak ölçülmüştür.



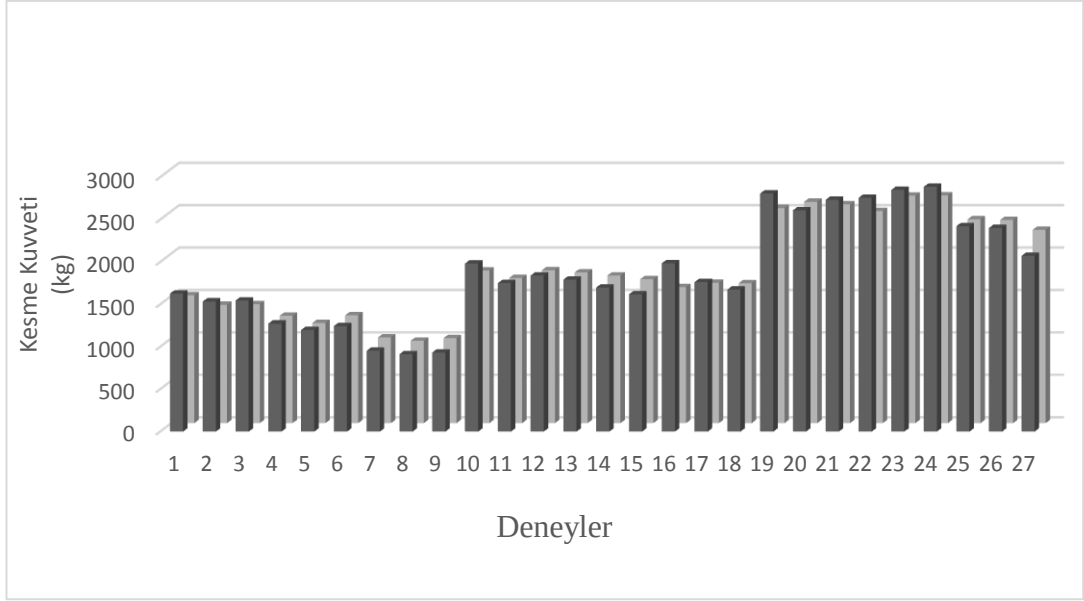
Şekil 4.31. Mildeki anlık kesme kuvvetlerinin gösterilmesi

Çizelge 4.7’ de deneysel çalışmanın Deform programına uygulanması sonucu elde edilen kesme kuvvetleri verilmiştir. Bu çizelge deneysel çalışmayla elde edilen KK sonuçlarıyla karşılaştırıldığında birbirine yakın değerler elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 4.7. Deform programıyla elde edilen kesme kuvvetleri

DENEY NO	KH (mm/s)	KMÇ (mm)	KB (%)	KKY (mm)	KKU (mm)	KK (kg)
1	325	10	5	0	4	1508
2	325	10	5	0	6	1395
3	325	10	5	0	8	1403
4	270	10	10	0,5	4	1265
5	270	10	10	0,5	6	1181
6	270	10	10	0,5	8	1272
7	120	10	15	1	4	1010
8	120	10	15	1	6	971
9	120	10	15	1	8	1002
10	325	12	10	1	4	1800
11	325	12	10	1	6	1711
12	325	12	10	1	8	1803
13	270	12	15	0	4	1777
14	270	12	15	0	6	1741
15	270	12	15	0	8	1697
16	120	12	5	0,5	4	1604
17	120	12	5	0,5	6	1654
18	120	12	5	0,5	8	1649
19	325	14	15	0,5	4	2536
20	325	14	15	0,5	6	2610
21	325	14	15	0,5	8	2579
22	270	14	5	1	4	2500
23	270	14	5	1	6	2681
24	270	14	5	1	8	2686
25	120	14	10	0	4	2403
26	120	14	10	0	6	2395
27	120	14	10	0	8	2279

Şekil 4.32’ de yukarıdaki çizelge sütun grafiğe dönüştürülmüştür. Sütun grafikte çizelge birlikte incelenirse; çapın artışına paralel olarak kesme kuvvetinin bariz bir şekilde arttığı görülmektedir. Kesme hızının düşmesiyle ise kuvvetin azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.32. SEY’de elde edilen kuvvet ile deneysel kuvvetlerin karşılaştırılması

Şekil 4.32’ de görüldüğü gibi en düşük kuvvet 8. deneyde elde edilmiştir. Deneysel kesme kuvveti sonuçlarını ile verilen bu grafikte deneysel veriler ile SEY’de elde edilen değerlerin %95 oranında benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu durum yapılan analizin güvenilirliğini ve aynı zamanda zaman ve para kaybı olan deneysel çalışmalar yerine paket programların kullanılabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, hurda silindir çubukların makasla kesilmesi işlemi deneysel olarak incelenmiştir. Beş farklı girdi: Kesme hızı, kesilen mil yarıçapı, kesme boşluğu, kesici takım yarıçapı ve kesme kenarı uzunluğu olarak belirlenmiştir. Bu girdilerin çıktısı olarak ise kesme kuvveti ve enerji alınmıştır. Beş değişkenden üç seviye alınarak Taguchi deney tasarım yöntemi uygulanmıştır. Bunlara ek olarak Varyans Analizi (ANOVA) kullanılarak girdi parametrelerinin kuvvet çıktısına olan ağırlıkları hesaplanmıştır. Kesme prosesinin minimum kuvvetlerle yapılarak enerji kayıplarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Yukarıdaki tüm çözümlemeler göstermektedir ki, deneysel tasarımın özel bir uygulaması olan Taguchi yaklaşımı kesme prosesi için tasarım modeli geliştirmede son derece yararlı bir araçtır. Özellikle alan çözümlemeleri amacına yönelik geliştirilmiş bulunan ve deneysel tasarımı bir arada kullanmak tasarım sürecini çok kısaltacak ve etkinliğini artıracaktır.

Deney tasarımı aşamasında belirlenen parametreler ile bu çalışma ile hedeflenen, kesme kuvvetinin ve enerjinin düşürülmesi için gerekli olan parametreler uyumu ve böylece çalışma başarıyla tamamlanmıştır. Kısaca, bağımlı değişkenler için tahmin edilen bağımsız değişkenler probleme çözüm getirmiştir.

Kesme kuvveti sonuçlarını etkileyen en büyük faktörün kesilen çubuk milin çapı olarak belirlenmiş ve bunu sırasıyla kesme hızı, kesme boşluğu, kesme kenarı uzunluğu ve yarıçapı parametreleri izlemiştir.

Minimum kesme kuvveti değerleri kesme hızının 120 mm/s, kesilen malzeme çapında 10 mm, kesme boşluğunda %15 değerinde, kesme kenarı yarıçapında yarıçap olmayan ve kesme kenarı uzunluğunda ise 8 mm olan seçeneklerde gözlenmiştir. Bu parametreler için minimum kuvvet olarak Minitab-17 programı vasıtasıyla 871,5 kg olarak bulunmuştur.

Minimum kesme enerjisi değeri kesme hızının minimum değerler olan 120 mm/s, kesilen malzeme çapında 10 mm, kesme boşluğunda %10 değerinde, kesme kenarı yarıçapında radius olmayan ve kesme kenarı uzunluğunda ise 8 mm olan seçenekler gözlenmiştir. Bu parametreler için minimum enerji değeri olarak Minitab-17 programı vasıtasıyla 12,48 j bulunmuştur.

Hızın artmasıyla uygulanan kuvvetin ve enerjinin arttığı belirlenmiştir. Kesici takımın hızının artmasıyla malzemenin kesilmeye karşı direnci arttığından kesme kuvvetinde artışlar belli bir seviyeye kadar artışlar gözlemlenmiştir. Stegman (1999) çalışmasında bunun yüksek deformasyon hızının malzemede adyabatik davranış göstermesi ve bunun sonucunda da malzeme mukavemetinde düşmeler meydana gelmesi olarak açıklamıştır.

Kesme kuvveti ve enerjisi üzerindeki en fazla etkiyi gösteren parametre beklendiği üzere kesilen malzeme çapı olmuştur. Fakat kuvvet artışı çapın artışıyla aynı oranda değildir. Bunun sebebi dik eksende bıçağın batma miktarı hemen hemen her çapta aynı seviyelerde olmasıdır.

Kesme boşluğunun artmasıyla birlikte kesme kuvveti ve enerjinin düştüğü belirlenmiştir. Ancak kesme boşluğunun artmasıyla kesme prosesin daha çok sıvanma şeklinde olduğu gözlenmiştir.

Kesme kenarı yarıçapının kesme kuvvetine etkisi çok fazla olmamıştır. Herhangi bir yarıçapta malzeme kenarında yuvarlanma yapılmadığında malzemeye bıçak ucunun daha rahat batmasından dolayı kesme enerjisinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Fakat bıçak kenarlarına yarıçap verilmediğinde bıçaklardaki aşınmanın fazla olduğu görülmüştür. Endüstriyel uygulamalarda bıçaklara verilen yarıçapın önemi kuvvetin düşürülmesinden çok kesici takımların ömrünün arttırılmasına yöneliktir.

Kesme kenarı uzunluğu arttıkça kuvvette bir miktar azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebini çubukta ezilme derinliğine bağlayabiliriz. Kenar uzunluğu arttıkça çubuğun ezilmesi de azalacağından kuvvet ve enerjide azalmaya sebebiyet vermektedir.

Deform programıyla yapılan analizlerin deneysel sonuçlarla büyük oranda örtüştüğü görülmüştür. Bu da zor ve zahmetli olan deneysel çalışmaların yerine paket programlar kullanılarak problemlerin çözümü ve iyileştirilmesi hakkında gerekli bilgilerin edinilmesine olanak sağlamaktadır.

Varyans Analizi (ANOVA) kullanılarak girdi parametrelerinin kuvvet çıktısına olan ağırlıkları hesaplanmış ve kesme prosesinin minimum kuvvetlerle yapılarak enerji kayıplarının önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Ağca, B., 2013. Mekanik ve hidrolik preslerin çalışma prensibi ve iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmesi. **Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı**. Ankara.
- Albayrak, B.A., 2011. Dünya hurda hareketleri ve 2020 Türkiye projeksiyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Amol, T., Rahul N., Sagar B., 2013. An overview of factors affecting in blanking processes. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**. 3: 2250-2459.
- Anonim, 2015. <http://www.yukhucreleri.com/yuk-hucreleri-tanimi-ve-calisma-prensibi> Erişim Tarihi: 06.08.2015
- Anonim, 2013. <http://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2014/Demir%20ve%20Demir%20Dışı%20Rapor%20web.pdf> Erişim Tarihi: 25.04.2015
(TOBB Demir ve Demir Dışı Metaller Meclisi Sektör Raporu 2013)
- Anonim, 2010. http://www.dogaka.org.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.org.tr_208_OF_5011NS_Osmaniye_-_Iskenderun_Demir_-_Celik_Sanayisindeki_Sektorel_Kumelenme_Raporu.pdf Erişim Tarihi: 20.07.2015
(T.C Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, 2010. Osmaniye - İskenderun Demir - Çelik sanayisindeki sektörel kümelenme raporu, Doğrudan Faaliyet Mali Destek Programı)
- Anonymous, 2010. <http://www.festo-didactic.com/inten/services/printedmedia/datasheets/hydraulics/linear-potentiometer> Erişim Tarihi: 14.08.2015
- Babacan, K., 2007. Mekanik preslerde şekillendirme hassasiyetini etkileyen faktörlerin incelenmesi ve pres elemanları üzerinde uygulanacak mukavemet analizleri ile konstrüktif iyileştirmelerin sağlanması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Chan, L.C., Lee, T.C., Wu, B.J., Cheung, W.M., 1998. Experimental study on the shearing behaviour of fine-blanking versus bar cropping. **Journal of Materials Processing Technology**, 80-81, 126-130.
- Chen, M., Li, H., Li, X., Liu, C., 2007. Characterization of deformation microstructure and fractured surface of plastic shearing of copper bar. **Materials Science and Engineering A**, 452-453, 454-461.
- Danacıoğlu, N. ve Muluk, Z., 1999. Taguchi teknikleri. **İstatistik Konferansı**, 261-272, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Davim J. P., 2001. A note on the determination of optimal cutting conditions for surface finish obtained in turning using design of experiments. **Journal of Materials Processing Technology**, 116 (2-3): 305-308.
- Dawim, J.P. and Figueira, L., 2007. Machinability evaluation in hard turning of cold work tool steel (D2) with ceramic tools using statistical techniques. **Science Direct Materials and Design**, 28: 1186-1191.
- Dixit P. M., Dixit U. S., 2010. Modeling of metal forming and machining processes by finite element and soft computing methods. **Springer-Verlag London Limited**, India.

- Gopalsamy, B. M., Mondal, B. and Ghosh, S., 2009. Taguchi method and ANOVA: An approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel. **Journal of Scientific & Industrial Research**, 68 (8): 686-695.
- Güneş, A.T., 2003. Pres işleri tekniği cilt-1. **Makine Mühendisleri Odası**, Ankara.
- Hambli, R., Potiron, A., 2000. Finite element modeling of sheet-metal blanking operations with experimental verification. *Journal of Materials Processing Technology*, 102, 257-265.
- Hambli, R., 2001. Blanking tool wear modeling using the finite element method. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 41: 1815-1829.
- Hambli, R., Potiron, A., Kobi, A., 2003. Application of design of experiment technique for metal blanking processes optimization. **Mécanique & Industries**, 4, 175-180.
- Husson, C., Correia, J., Daridon, L., Ahzi, S., 2008. Finite elements simulations of thin copper sheets blanking: Study of blanking parameters on sheared edge quality. **Journal of Materials Processing Technology**. 199: 74-83.
- Kahraman, E., 2006. Sac metal malzemelerin kalıpta kesilebilme özelliklerine kesme boşluğunun etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kartal, M. S., 2000. Alaşimsız çeliklerin CNC torna tezgâhında işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasının Taguchi yöntemiyle incelenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kasuga y., Machida t., Kato N., 2003. Effect of conditions on press cutting of a square pipe. **Journal of Materials Processing Technology**, 143-144: 716-722.
- Kopac, J., Bahor, M. and Sokovic, M., 2002. Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold pre-formed steel workpieces. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 42 (6): 707-716.
- Köseler, S., 2014. Üç etkili, yüksek hızlı bir hidrolik presin tasarımı ve analizi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Marouani, H., Ismail, A., Hug, A., Rachik, M., 2009. Numerical investigations on sheet metal blanking with high speed deformation. **Materials and Design**, 30: 3566-3571.
- Nalbant, M., Gökkaya,H., and Sur, G. 2007. Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. **Science Direct Materials and Design**, 28: 1379-1385.
- Quazi, T.Z., Shaikh, R., Totre, A., Nishad, R., Bodke, S., Chauhan, A., 2013. Blanking process optimization using Taguchi method. **International Journal of Engineering Research and Development**, 7: 45-51.
- Quazi, T.Z., Shaikh, R., 2012. An overview of clearance optimization in sheet metal blanking process. **International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)**, 2: 4547-4558.
- Roy, R. K., 1990. A primer on taguchi method. **Competitive Manufacturing Series**, 7-20, New York.

- So, H., Fabmann, D., Hoffman, H., Golle, R., Schaper, M., 2012. An investigation of the blanking process of the quenchable boron alloyed steel 22mnb5 before and after hot stamping process. *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 437-449.
- Song, j.l., Li, Y.T., Fu, J.H., Ting, K.L., 2009. Numerical simulation and experiments of precision bar cutting based on high speed and restrained state. **Materials Science and Engineering A**. 499, 225-229.
- Steageman, Y.W., Goijaerts, A.M., Brokken, D., 1999. An experimental and numerical study of a planar blanking process. **Journal of Materials Processing Technology**, 87, 266-276.
- Şeker, U., Delme ve kesmenin esasları ders notları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şirvancı, M., 1997. Kalite için deney tasarımı Taguchi yaklaşım. **Literatür Yayıncılık**, İstanbul.
- Taguchi, G., Elsayed, A. and Hsiang, T., 1989. Quality engineering in production system, **McGraw Hill**, New York.
- Taylan, D., 2009. Taguchi deney tasarımı uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Topcu, M., Taşgetiren, S., 1998. Mühendisler için sonlu elemanlar metodu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları
- Tzeng,C.J., Lin, Y.H. and Yang,Y.K., 2009. Optimization of turning operations with multiple performance characteristics using the Taguchi method and Grey relational analysis. **Journal of Materials Processing Technology**, 209: 2753- 2759.
- Vaz, M., Bressan, J., 2002. A computational approach to blanking process. **Journal of Materials Processing Technology**. 125-126, 206-212.
- Yang, W.H. and Tarng, Y.S., 1998. Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. **Journal of Materials Processing Technology**, 84: 122-129.
- Yanmış N., 2010, Bilgisayar destekli prototip hidrolik pres ile çökertme işleminde presin basınç, hız ve pozisyon kontrolünün incelenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Yılmaz, H. O., 2010. Yük hücresi köşe kalibrasyonu test robotu tasarımı ve uygulaması. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Zhong, B., Zhao, S., Zhao, R., Guo, T., 2013. Investigation on the influences of clearance and notch-sensitivity on a new type of metal-barnon-chip fine-cropping system. **International Journal of Mechanical Sciences**, 76, 144-151.

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1988 yılında Kastamonu’da doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi Kastamonu’da tamamladı. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nü 2007 yılında kazandı. 2012 yılında “Makine Mühendisi” unvanı ile mezun oldu. 2013 yılında Öğretim Görevlisi Yetiştirme Programı kapsamında Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak işe başladı. İstanbul Teknik Üniversitesi’nde aldığı dil eğitiminin akabinde yine aynı yıl Yüksek Lisans eğitimine de Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde devam etti. Halen Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.