

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METALLERİN KESİCİ AĞZI YUVARLATILMIŞ
TAKIMLARLA TALAŞ KALDIRILMASININ
İNCELENMESİ**

Makine Müh. Volkan APAYDIN

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan ALTAN

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GELENEKSEL TALAŞ KALDIRMA	7
2.1 Tek Kesen Ağızlı Takımlarda Kesici Takım Geometrisi	8
2.2 Talaş Oluşumu	11
2.3 Talaş Kaldırma Kuvvetleri	14
2.4 Ortogonal Talaş Kaldırma Modeli	16
3. KESİCİ AĞIZ YUVARLAKLIĞI İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	20
3.1 Kesici Ağız Yuvarlaklığı ile İlgili İlk Çalışmalar	20
3.2 Kesici Ağız Yuvarlaklığı ile İlgili Son On Yıllık Dönemde Yapılan Bazı Çalışmalar	21
4. KESİCİ AĞZI YUVARLATILMIŞ TAKIMLAR İLE METALLERDE TALAŞ KALDIRMANIN İNCELENMESİ	34
4.1 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Önemi	34
4.2 Kesici Ağız Hazırlığı ve Ağız Yuvarlatma Yöntemleri	35
4.2.1 Kesici Ağız Hazırlıkları	35
4.2.2 Kesici Ağız Yuvarlatma İşlemleri	37
4.3 Geleneksel Talaş Kaldırma Modeli ve Yuvarlatılmış Ağızlı Takımlar İçin Önerilen Talaş Kaldırma Modelleri	40
4.4 Yuvarlatılmış Kesici Ağız Etrafındaki Malzeme Akışına ait Davranışın İncelenmesi	44
4.4.1 Ayrılma Noktası	44
4.4.2 Durgunluk Bölgesi	46
4.5 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Talaş Kuvvetleri, İşlenmiş Yüzey Pürüzlülüğü, Kesici Takım Aşınması ve Kesici Takım Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi	47
4.5.1 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Talaş Kaldırma Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi	47
4.5.2 Kesici Ağız Yuvarlaklığının İşlenmiş Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi	52
4.5.3 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Kesici Takım Aşınması Üzerindeki Etkisi	54
4.5.4 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Kesici Takım Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi	56

5.	KESİCİ AĞZI YUVARLATILMIŞ TAKIMLA TALAŞ KALDIRMAYA AİT BİR TALAŞ KALDIRMA MODELİNİN (MANJUNATHAIAH, 1998) İNCELENMESİ.....	58
5.1	Manjunathaiah’a (1998) Ait Ortalama Talaş Açısı Modeli.....	58
5.2	Manjunathaiah’a (1998) Ait Talaş Kaldırma Modeli	62
5.2.1	Geometrik Model	62
5.2.2	Kuvvet Modeli	66
5.3	Manjunathaiah’a (1998) Ait Talaş Kaldırma Modelinin Geçerliliğinin Literatürden Elde Edilen Deneysel Veriler (Schimmel, 1999) Kullanılarak İncelenmesi	71
5.3.1	İzlenen Yaklaşım ve Gerçekleştirilen Hesaplamalar	72
5.4	Normal Gerilme Faktörü k ’nın İncelenmesi	84
6.	SONUÇLAR.....	88
	KAYNAKLAR.....	91
	EKLER	95
Ek 1	Schimmel’e (1999) ait deneysel talaş kaldırma verileri	95
	ÖZGEÇMİŞ.....	103

SİMGE LİSTESİ

$\hat{F}_{AB}$	AB yüzeyi üzerindeki bileşke kuvvet
$\hat{F}_{BC}$	BC yüzeyi üzerindeki bileşke kuvvet
F_c/khw	Boyutsuz kesme kuvveti
F_t/khw	Boyutsuz dik kuvvet
F_c	Kesme kuvveti
F_t	Dik kuvvet
F_y	Radyal kuvvet
F_z	Teğetsel kuvvet
F_x	Eksenel kuvvet
h	Deforme olmamış talaş kalınlığı
h_c	Deforme olmuş talaş kalınlığı
k	Normal gerilme faktörü
p	Ayrılma noktası P'nin takım tabanından itibaren yüksekliği
P	Ayrılma noktası
P_1	AB boyunca etki eden normal gerilme
P_2	BC boyunca etki eden normal gerilme
θ	Ayrılma noktasını tanımlayan açı
θ_{PD}	PD çizgisinin yatay ile yaptığı eğim açısı
θ_{PB}	PB çizgisinin yatay ile yaptığı eğim açısı
r	Kesici ağız yarıçapı
r_h	Talaş oranı
R	Bileşke kuvvet
R_a	Yüzey pürüzlülüğü değeri
R_u	Talaş yukarı kıvrılma yarıçapı
S_1	AB boyunca etki eden kayma gerilmesi
S_2	BC boyunca etki eden kayma gerilmesi
S	Kayma gerilmesi
V_1	1. Deformasyon bölgesindeki akış hızı
V_2	2. Deformasyon bölgesindeki akış hızı
V_3	3. Deformasyon bölgesindeki akış hızı
$V_{talaş}$	Talaş hızı
γ	Ortogonal talaş açısı
γ_{ort}	Ortalama talaş açısı
ψ	BC sınırının yatay ile yaptığı açı
ϕ	Kayma açısı
δ	Takım altındaki deformasyon derinliği
τ_3	Takım-talaş sürtünmesel kayma gerilmesi
τ_4	Takım-talaş sürtünmesel kayma gerilmesi
ΔS	Kayma bölgesine ait kalınlık

KISALTMA LİSTESİ

ANOVA	Analysis of Variance
ALE	Arbitrary Lagrangian Eulerian
AISI	American Iron and Steel Institute
CNC	Computer Numerical Control
CVD	Chemical Vapor Deposition
ÇKBN	Çok Kristalli Kübik Bor Nitrür
HRC	Hardness of Rockwell C
KBN	Kübik Bor Nitrür
NC	Numerical Control
PM-HSS	Powder Metallurgy – High Speed Steel
PVD	Physical Vapor Deposition
SiC	Silicon Carbide

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Tek kesen ağızlı bir takım (Akkurt, 1991)	8
Şekil 2.2 Tek kesen ağızlı kesici takımlarda yüzeyler, açılar ve uç yarıçapının ifade edildiği gösterim (Takım referans sistemine göre).....	9
Şekil 2.3 Pozitif ve negatif talaş açıları	10
Şekil 2.4 Talaş oluşum çeşitleri (a) süreksiz (b) sürekli (c) yığma ağız oluşumuna sahip sürekli (Schneider, G).....	12
Şekil 2.5 Ortogonal (a) ve Eğik (b) talaş kaldırma işlemlerinde talaş oluşumu (Schneider, G).....	13
Şekil 2.6 İşlenen parçadaki deformasyonu gösteren talaş oluşumu. (Schneider, G).....	13
Şekil 2.7 Kesici kenar üzerinde basma gerilmesi ve kuvvetler (Çakır, 2006).....	14
Şekil 2.8 Tornalama işleminde ortaya çıkan kesme kuvvetleri	15
Şekil 2.9 Ortogonal talaş kaldırma işlemi (Manjunathaiah, 1998).....	16
Şekil 2.10 Merchant'a ait kuvvet çemberi diyagramı	17
Şekil 3.1 Theile ve Melkote'ye ait çalışmada kullanılan kesici ağız geometrileri (Thiele ve Melkote, 1999)	22
Şekil 3.2 (a) Yuvarlatılmış kesici ağızlı takım ile yapılan talaş kaldırma için yeni önerilen kayma-hattı modeli (b) Modele ait hız diyagramı (Fang, 2003a)	23
Şekil 3.3 Kesici ağız yuvarlatılmış KBN takımlar için noktasal gerilmeler ($V=300$ m/dak, $f=0.01$ mm/dev) (Özel 2003).....	25
Şekil 3.4 Simüle edilmiş kesme kuvveti ve dik kuvvet değerlerinin, farklı ağız yarıçapları için deneylerden elde edilen değerler ile karşılaştırılması (Sartkulvanich vd., 2004).....	26
Şekil 3.5 Sert tornalama işlemindeki faktörler arasındaki ilişkiyi gösteren akış diyagramı (Özel vd., 2005).....	28
Şekil 3.6 (a) Yuvarlatılmış kesici ağızlı takım ile yapılan talaşlı imalat için geliştirilmiş olan yeni analitik model (b) Modele ait hız diyagramı (Fang ve Fang, 2007).....	31
Şekil 4.1 Ticari takımlarda sıklıkla kullanılan kesici ağız hazırlıkları (Fang ve Wu, 2005).....	35
Şekil 4.2 Keskin ve yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma (Ranganath vd., 2007).	36
Şekil 4.3 Köşe yarıçapı ile ağız yarıçapı arasındaki fark.....	37
Şekil 4.4 Düzgün ağız yarıçapına ve değişken ağız yarıçapına sahip takımlar. (Sartkulvanich vd. 2004)	38
Şekil 4.5 Düzgün ağız yarıçapına ve değişken ağız yarıçapına sahip takımlar (Benes, 2005).....	39
Şekil 4.6 Geleneksel Talaş Kaldırma Modeli (Endres, 2000)	41
Şekil 4.7 Yuvarlatılmış kesici ağız için geliştirilmiş olan daha gerçekçi bir talaş kaldırma modeli (Endres, 2000).	42
Şekil 4.8 Yuvarlatılmış kesici ağızlı takımlar için önerilen bir modele ait geometrik gösterim (Endres, 2000).	43
Şekil 4.9 Yuvarlatılmış kesici ağızlı takımlar için önerilen bir modelde yer alan kayma hattı alanına ait bölümler: ana kayma bölgeleri (Fang, 2003a)	43
Şekil 4.10 Yuvarlatılmış kesici ağız etrafındaki malzeme akışının gösterimi (Manjunathaiah,	

	1998).....	45
Şekil 4.11	Malzeme akışına ait durgunluk noktası ve minimum deforme olmamış talaş kalınlığı (Yen vd., 2004).....	45
Şekil 4.12	Abdelmoneim ve Scrutton tarafından önerilen durgunluk bölgesi geometrisi (Manjunathaiah, 1998)	46
Şekil 4.13	Sürme için kayma-hattı alanı (Waldorf, 2006).....	47
Şekil 4.14	Kesici ağız geometrisi ve ilerlemenin eşdeğer dik kuvvet üzerindeki etkisi: 47 HRC iş parçası sertliği (Thiele ve Melkote, 1999).....	48
Şekil 4.15	Kesici ağız geometrisi ve ilerlemenin teğetsel kuvvet üzerindeki etkisi: 47 HRC iş parçası sertliği (Thiele ve Melkote, 1999).....	48
Şekil 4.16	Tahmini Kesme kuvveti (a) ve İtme kuvveti (b) değerlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması (Yen vd., 2005)	50
Şekil 4.17	Kesme hızı ve kesici ağız geometrisinin teğetsel kuvvet (kesme kuvveti) üzerindeki etkisi (ilerleme hızı=0.2 mm/dev, uzunluk 203.2) (Özel vd., 2005) ..	51
Şekil 4.18	(a) 4340 çeliğinde kesici ağız yarıçapının teğetsel kuvvetlere etkisi (b) 4340 çeliğinde kesici ağız yarıçapının eksenel (boylamasına) kuvvetlere etkisi (Waldorf, 2006).	51
Şekil 4.19	(a) 6061-T6 alüminyum alaşımında kesici ağız yarıçapının teğetsel kuvvetlere etkisi (b) 6061-T6 alüminyum alaşımında kesici ağız yarıçapının eksenel (boylamasına) kuvvetlere etkisi (Waldorf, 2006).....	52
Şekil 4.20	İlerleme hızı ve ağız geometrisinin yüzey pürüzlülüğü R_a üzerindeki etkisi (Thiele ve Melkote, 1999).....	53
Şekil 4.21	Kesici ağız geometrisi ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (54.7 HRC, uzunluk=106.6mm) (Özel vd., 2005).	54
Şekil 4.22	Çeşitli ağız hazırlıkları ile elde edilen kesici takım ömürleri (Rech ve Schaff, 2006).....	55
Şekil 4.23	Kesici ağız yarıçapının takım-talaş ara yüzeyine ait maksimum ve ortalama sıcaklıklar üzerindeki etkisi (Yen vd., 2005)	57
Şekil 5.1	Ağız yarıçapının etkisini içeren ortalama talaş yüzeyi (Manjunathaiah, 1998)	59
Şekil 5.2	$h/r > 1 + \sin\gamma$ olduğu durumda ortalama talaş açısı (Manjunathaiah, 1998). ..	61
Şekil 5.3	$h/r \leq 1 + \sin\gamma$ olduğu durumda ortalama talaş açısı (Manjunathaiah, 1998) ...	61
Şekil 5.4	Ağız yarıçapına sahip bir takım ile yapılan talaş kaldırma işlemine ait geometrik model (Manjunathaiah, 1998)	63
Şekil 5.5	Her üç deformasyon bölgesinde farklı hızlardaki malzeme akışı (Manjunathaiah, 1998).....	65
Şekil 5.6	Ortogonal talaş kaldırma için önerilen yeni modele ait hız diyagramı (Manjunathaiah, 1998).	65
Şekil 5.7	Deformasyon bölgesinin alt sınırındaki kayma gerilmesi ve normal gerilmenin tipik dağılımı (Manjunathaiah, 1998).....	67
Şekil 5.8	Kayma bölgesinin alt sınırı üzerindeki kuvvet dengesi (Manjunathaiah, 1998) ...	67
Şekil 5.9	AB yüzeyindeki gerilme dağılımı (Manjunathaiah, 1998).	68
Şekil 5.10	BC yüzeyindeki gerilme dağılımı (Manjunathaiah, 1998).	68
Şekil 5.11	Farklı kesici ağız yarıçapları ile, -16° 'lik nominal ortogonal talaş açısı değeri için ortalama talaş açısı modeli ile hesaplanan talaş açısı değerlerine karşılık eşitlik	

(5.47)'den hesaplanan kayma açıları ($V = 0.647 \text{ m/s}$).....	74
Şekil 5.12 Farklı kesici ağız yarıçapları ile, 0° 'lik nominal ortogonal talaş açısı değeri için ortalama talaş açısı modeli ile hesaplanan talaş açısı değerlerine karşılık eşitlik (5.47)'den hesaplanan kayma açıları ($V = 0.647 \text{ m/s}$).....	74
Şekil 5.13 Farklı kesici ağız yarıçapları ile, 5° 'lik nominal ortogonal talaş açısı değeri için ortalama talaş açısı modeli ile hesaplanan talaş açısı değerlerine karşılık eşitlik (5.47)'den hesaplanan kayma açıları ($V = 0.647 \text{ m/s}$).....	75
Şekil 5.14 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 28 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	76
Şekil 5.15 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 28 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	77
Şekil 5.16 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 33 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	78
Şekil 5.17 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 33 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	78
Şekil 5.18 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 80 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	79
Şekil 5.19 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 80 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	79
Şekil 5.20 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 140 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	80
Şekil 5. 21 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 140 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	80
Şekil 5.22 Farklı kesici ağız yarıçaplarına sahip takımlar için hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($\gamma = 5^\circ$, $v = 0,647 \text{ m/s}$).....	81
Şekil 5.23 Farklı kesici ağız yarıçaplarına sahip takımlar için hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($\gamma = 5^\circ$, $v = 0,647 \text{ m/s}$).....	81
Şekil 5.24 Farklı kesme hızları için, hesaplanan kuvvet oranı ve deneysel kuvvet oranı değerlerinin ortalama talaş açısı ile değişimi ($r = 28 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	82
Şekil 5.25 Farklı kesme hızları için, hesaplanan kuvvet oranı ve deneysel kuvvet oranı değerlerinin ortalama talaş açısı ile değişimi ($r = 33 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)	82
Şekil 5.26 Farklı kesme hızları için, hesaplanan kuvvet oranı ve deneysel kuvvet oranı değerlerinin ortalama talaş açısı ile değişimi ($r = 80 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$).....	83
Şekil 5.27 Farklı kesme hızları için, hesaplanan kuvvet oranı ve deneysel kuvvet oranı değerlerinin ortalama talaş açısı ile değişimi ($r = 140 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$).....	83
Şekil 5.28 Farklı k değerleri için deforme olmamış talaş kalınlığı ile kesme kuvvetlerinin değişimi ($r = 28 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$).....	85
Şekil 5.29 Farklı k değerleri için deforme olmamış talaş kalınlığı ile dik kuvvetlerin değişimi ($r = 28 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$).....	85
Şekil 5.30 Farklı k değerleri için ortalama talaş açısı ile kesme kuvvetinin dik kuvvete olan oranının değişimi ($r = 28 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$).....	86

Şekil 5.31 Farklı k değerleri için ortalama talaş açısı ile dik kuvvetlerin değişimi ($r = 28 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$).....	87
---	----

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Merchant modelinden elde edilen, ortogonal talaş kaldırma parametreleri arasındaki çeşitli ilişkiler.	18
Çizelge 4.2 Yen vd.'ne ait çalışmada kullanılan ağız yarıçapları ve bunlara karşılık gelen talaş kalınlığı ve kayma açısı değerleri (Yen vd., 2004)	49
Çizelge 5.1 Schimmel'e ait Test Koşulları (Schimmel, 1999)	72

ÖNSÖZ

Hepsinin ortak amacı insan ihtiyaçlarını karşılayıp hayatımızı kolaylaştırmak olan insan yapımı tüm ürünlerin tabii olduğu bir imalat süreci bulunmaktadır. Talaşlı imalat ise bu sürecin en önemli halkalarındandır ve başlangıçta belirtilen açıdan bakıldığında, hammaddeyi işleyerek bir yerde hayatımızı da şekillendirmektedir. Günümüzde, yaşanan teknolojik gelişmelere paralel olarak talaşlı imalat işlemi de büyük aşamalar kaydetmiş ve artık çok kısa sürede çok hassas bir biçimde talaş kaldırma yapılabilir hale gelmiştir. Mikro ölçekte gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemlerinde kaldırılan talaş miktarı çok küçük olduğundan kesici takımın mikro geometrisi de önem kazanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında kaldırılan talaş miktarının fazla, kesme hızının ise düşük olduğu kaba işlem koşullarına sahip talaş kaldırma işlemlerinde ihmal edilebilen kesici ağza ait yuvarlaklık, bu tip hassas işlemlerde ihmal edilemeyecek düzeyde bir öneme haizdir ve talaş kaldırma işlemini pek çok açıdan etkilemektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada kesici ağız yarıçapının talaş kaldırma işlemi üzerindeki etkisi yapılan detaylı literatür araştırması ile incelenmiş ve bu konuda önerilmiş olan bir talaş kaldırma modelinin geçerliliği yine literatürden sağlanan deneysel veriler kullanılarak incelenmeye çalışılmıştır.

Bu tezin yazılması sırasında, yoğun çalışma temposuna karşın güler yüzünü benden eksik etmeyip, konu ile ilgili bilgilerini benimle paylaşarak bana sürekli yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Erhan Altan'a ve bana ellerinden gelen her türlü desteği veren sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

METALLERİN KESİCİ AĞZI YUVARLATILMIŞ TAKIMLARLA TALAŞ KALDIRILMASININ İNCELENMESİ

ÖZET

Deforme olmamış talaş kalınlığı ile kesici ağız yarıçapının aynı büyüklük düzeyinde olduğu hassas talaş kaldırma operasyonları ve mikro ölçekli talaş kaldırma gibi talaş kaldırma yöntemlerinin modern talaş kaldırma işlemlerinde kullanımı, giderek artmaktadır. Bu da kesici ağız yarıçapının kesici takım geometrisinin önemli bir parçası haline geldiği ve işlem üzerindeki etkilerinin daha detaylı olarak incelenmesi gerektiği anlamına gelmektedir.

Bu tezde metallerin kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, kesici ağız yarıçapının talaş kaldırma işlemi üzerindeki etkilerini inceleyen teorik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kapsamlı bir literatür taraması yapılmış, daha sonra ise çeşitli araştırmacıların bu konuda yaptığı çalışmalara dayanarak kesici ağız yarıçapının talaş kaldırma kuvvetleri, işlenmiş yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve kesici takım ağız etrafındaki sıcaklık üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Son kısımda ise literatürde yer alan ve yuvarlatılmış kesici ağızlar ile yapılan talaş kaldırma için önerilmiş olan bir talaş kaldırma modeli (Manjunathaiah, 1998) irdelenmiştir. Literatürden elde edilen deneysel talaş kaldırma verileri (Schimmel, 1999) bu modelde kullanılarak, talaş kaldırma kuvvetleri hesaplanmış ve bu değerler deneysel kuvvet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Modelin küçük deforme olmamış talaş kalınlığı değerleri için başarılı olduğu, ancak deforme olmamış talaş kalınlığı arttıkça hatalı sonuçlar vermeye başladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yuvarlatılmış kesici ağız, kesici ağız yarıçapı, kesici ağız hazırlığı, kuvvet modellemesi

INVESTIGATION OF METAL MACHINING WITH ROUNDED EDGE TOOLS

ABSTRACT

The usage of new machining techniques, such as high-precision machining and micro-machining, in which the uncut chip thickness is often on the same order of magnitude as the tool edge dimension, has been increased in modern machining process. And this means that, the cutting edge roundness has become an important part of the cutting tool geometry and it's effects on metal machining must be studied much more comprehensively.

In this research, a theoretical study, which investigates the effects of edge radius in metal machining was made. First a detailed literature review was conducted and then the effects of the cutting edge radius on cutting forces, machined surface roughness, cutting tool wear and temperature around the cutting edge was investigated based on the studies made by different researchers who worked on this subject.

In the last section, a metal cutting model which explicitly contains the effects of cutting edge radius in metal cutting was studied to assess its validity. By using the experimental data obtained from the metal cutting literature, cutting forces were calculated and the results were compared with the experimental force data. It was seen that aforementioned model is successful at low values of undeformed chip thickness whereas it begins to give erroneous results as the undeformed chip thickness increases.

Keywords: Rounded cutting edge, tool edge radius, cutting edge preparation, force modelling

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca insanlar, hayatlarını kolaylaştırmak adına pek çok alet, araç ve ürün kullanmışlardır. Doğada el değmemiş şekilde bulunan hammadde ve kaynakların belirli işlemlerden geçirilerek kullanışlı hale getirilmesi süreci dünden bugüne gelişerek devam etmektedir. Oldukça geniş bir alanı kapsayan üretim sürecinin en temel halkalarından biri de işlenmemiş malzemelerden, kendilerinden daha sert ve dayanıklı bir malzemeden üretilmiş kesici bir takımla, istenilen şekilde malzeme uzaklaştırmak olarak tanımlanabilen talaş kaldırma işlemidir.

Talaş kaldırma işlemine ait temel prensipler, işlemin ortaya çıktığı 18. yüzyıldan beri pek fazla değişmemiştir. İlk ortaya çıktığı dönemde iş parçası malzemesi olarak yalnızca ağaç kullanabilen bu yöntem, ilerleyen yıllarda metallerin şekillendirilmesinde de kullanılmış, önce buhar makinesinin bulunması ardından da elektrik gücünün tezgâhlarda kullanılabilir olmasıyla giderek artan kullanım alanı bulmuştur. 20. yüzyılda ise, üretkenlik ve kalitede çok önemli artışlar sağlayan, esnek ve çevik imalat sistemleri olan nümerik kontrollü (NC) ve bilgisayarlı nümerik kontrol (CNC) tezgâhlarının ortaya çıkışı ile birlikte talaşlı imalat işlemi bambaşka bir boyut kazanmıştır.

Hızla küreselleşen günümüz dünyasının ekonomik pazarlarında yaşanan kıyasıya rekabet, üreticileri mümkün olan en kısa sürede kaliteli ve hassas parçalar üretmeye zorlamaktadır. Talaş kaldırma işleminin tüm yönlerinin tam olarak anlaşılması, deneme yanılma yönteminin en aza indirilmesi ve böylece maliyetlerin azaltılması açısından oldukça önemlidir. Başarılı bir talaşlı imalat işlemi, en az maliyet ile istenilen kalitede ve belirlenen toleranslar içinde gerçekleştirilebilen işlemdir. Maliyet ile talaş kaldırma performansının ters orantılı olması bu iki faktör arasında bir denge kurmayı zorunlu kılar ve bu da ancak kesici takım ve iş parçası arasındaki ilişkinin doğru olarak anlaşılması ve modellenmesi ile mümkün olabilir. İşte bu sebeple talaş kaldırma işlemlerinin modellenmeye çalışılmasındaki yegâne amaç, işlem performansının doğru şekilde tahmin edilebilmesidir.

20. yüzyılın başlarından itibaren günümüze kadar, talaş kaldırma işlemlerini anlamaya ve modellemeye çalışan pek çok araştırma yapılmıştır. Bu konuyu bilimsel bir temele oturtan ciddi ve sistematik çalışmalar ise ilk olarak 1940’larda ortaya çıkmış ve öncelikli olarak talaş oluşum mekanizmasını anlamak üzerine yoğunlaşmışlardır. Yıllar boyunca işlemin, mekanik yapısı incelenmiş ve işlem değişkenlerinin tahminine dönük çeşitli modeller geliştirilmiştir.

Bununla birlikte metallerde talaş kaldırma işleminin temellerinin anlaşılmasında yaşanan ilerleme, işlemin son derece karmaşık doğasından ötürü, takım tezgâhlarında yaşanan hızlı teknolojik ilerlemelere kıyasla daha yavaş olmuştur. İş parçası malzemesinin sınırlanamayan akışı, yüksek gerinmeler, çok yüksek gerinme hızları oldukça küçük bir bölgede görülen yüksek gerinmeler ve yüksek sıcaklıklar bu işlemi çözülmesi oldukça zor bir problem haline sokmaktadır (Schimmel, 1999). Biraz önce belirtilen koşullar altında, modellemede kullanılacak malzeme özelliklerinin belirlenmesindeki imkânsızlıklar da metallerde talaş kaldırma işlemlerinin modellemesini oldukça zor bir konu haline getirmektedir.

Yukarıda sayılan zorluklardan ötürü, talaş kaldırma işlemine ait bugüne kadar geliştirilen modellerin çoğunda, hesaplamaları kolay ve anlaşılır hale getirmek adına çeşitli kabuller yapılmıştır. Yapılan kabuller her ne kadar modellemeyi kolaylaştırsa da gerçek talaş kaldırma koşullarından, yapılan kabul ölçüsünde uzaklaşmakta ve model gerçek talaş kaldırma işlemini tam olarak yansıtamamaktadır. Bu kabullerin en sık karşılaşılanı ise kesici ağzın sonsuz bir keskinliğe sahip olduğu ya da bir başka deyişle mükemmel olarak keskin olduğuna dair yapılan kabuldür. Bu kabul ancak kesici ağız yarıçapının, kaldırılan malzeme miktarına ya da bir başka deyişle deforme olmamış talaş kalınlığına kıyasla çok küçük olduğu kaba talaş kaldırma gibi işlemler için uygulanabilir bir kabuldür. Pek çok deneysel kanıt, ilerleme hızının küçük ve takım ile aynı büyüklük düzeninde olduğu durumlarda, takım ağız geometrisinin hassas ve bitirme talaşlı imalat işlemlerinde kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Kesme kuvvetleri, kesme sıcaklıkları, takım aşınması, takım ömrü ve işlenmiş yüzey tamlığı gibi talaşlı imalat performans özelliklerini doğru şekilde tahmin edebilmek ve talaş deformasyon mekanizmasını daha iyi anlayabilmek için takım kesici ağzının etkisini göz önünde bulundurmak önemlidir (Fang ve Fang 2007).

Talaş kaldırma mekaniğinin anlaşılması ile ilgili ilk önemli adımlar Merchant'ın 1944 yılında gerçekleştirdiği araştırma ile atılmıştır. Merchant'ın önermiş olduğu model talaş kaldırma işleminin modellenmesi ve özellikle de talaş kaldırma kuvvetlerinin tahmin edilmesi açısından oldukça önemli bir başlangıç çalışması olmasına karşın uygulanabilirlik ve doğruluk bakımından bazı sınırlamalara sahiptir. Bu sınırlamaların en önemlisi modelin yapmış olduğu mükemmel keskinliğe sahip kesici takım kabuldür.

Talaş kaldırma operasyonlarında takıma ait kesici ağzın önemi pek çok araştırmacı tarafından fark edilmiştir ancak ilk önemli çalışma Backer ve arkadaşları tarafından 1952'de gerçekleştirilmiştir. 200 μm 'ye kadar küçük deforme olmamış talaş kalınlıklarında, nominal olarak keskin ağızlara sahip takımlarla mikro frezeleme testleri gerçekleştiren Backer, küçük

deforme olmamış talaş kalınlıklarında büyük deforme olmamış talaş kalınlıklarına kıyasla daha büyük özgül enerjiler ortaya çıktığını bulmuştur. Ayrıca hesaplanan kayma gerilmelerinin de küçük deforme olmamış talaş kalınlıklarında daha büyük olduğunu gözlemleyen Backer bu olayı “*boyut etkisi*” olarak adlandırmıştır (Schimmel, 1999).

Thomsen ve arkadaşları 1953’te yaptıkları çalışmada, ideal olarak keskin olmayan bir takımda, kesici takım ağzının talaş oluşumuna katkı yapmadığı bu sebeple de talaş oluşum mekanizmasından ayrılabilceğini öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar, sürme kuvvetinin miktarını ölçmek için talaş kaldırma kuvvetlerinin, sıfır veya sonlu küçük bir talaş kalınlığı için tahmin edilmesi düşüncesini kullanmışlardır ancak bu modeller sürme kuvvetlerini olduğundan fazla veriyor olarak bilinir.

1960’da Albrecht, yukarıda bahsedilen ayrılabilen kuvvet kavramını bir adım öteye taşıyarak, kesici ağız yarıçapının artması ile özgül enerji ve kesme kuvvetlerinde görülen artışın sebebini “*sürme mekanizması*” olarak isimlendirmiş olduğu bir mekanizmanın varlığına bağlamıştır. Albrecht, gerçekleştirdiği talaş kaldırma testlerinde yapay olarak yuvarlatılmış kesici ağza sahip takımlar kullanmıştır. 1965 yılında yaptıkları çalışmada Bitans ve Brown balmumu iş parçası malzemesiyle gerçekleştirdikleri talaş kaldırma testlerinde daha büyük kesici ağız yuvarlaklığının daha geniş bir kayma bölgesine sebep olduğunu gözlemlemişlerdir (Manjunathaiah, 1998).

Sürme mekanizması ile ilgili olarak diğer araştırmacılar da farklı modeller geliştirmişlerdir. Connolly ve Rubenstein 1968’de, ağız yarıçapı altındaki malzeme akışının ekstrüzyon işlemine benzediği, sürme mekanizması tabanlı bir model geliştirmişlerdir.

1968 yılındaki çalışmalarında Nakayama ve Tamura talaş kaldırma kuvvetlerine etkiyen talaş kalınlığına ait boyut etkisini açıklamaya çalışmışlar (Waldorf, 2006) ve aynı deforme olmamış talaş kalınlığı altında daha büyük ağız yarıçapı kullanıldığında, daha küçük bir kayma açısı elde edildiğini belirtmişlerdir (Schimmel, 1999) .

1988’de Wu, sürme kuvveti bileşeni için bir model önermiştir. Araştırmacı bu kuvveti takım altındaki aşınmış ucun etrafında bulunan malzeme hacmi ile orantılı olacak şekilde modellemiştir. 1995’te Endres vd. bu konuyla ilgili bir çalışma yapmış ve modeli, parametre hesaplaması yardımı ile orantılı olarak sürme kuvveti bileşeni için sadeleştirmişlerdir.

Manjunathaiah (1998), yapmış olduğu çalışmada, yuvarlatılmış ağızla ilgili o güne kadar yapılan çalışmaları özetlemiş, daha sonra ağız yarıçapının etkilerini içeren yeni bir kuvvet

modeli sunmuştur. Schimmel (1999), keskin olmayan takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerindeki keskin olmayan ağzın etkilerini daha iyi anlamak adına çalışmalar yürütmüştür.

Son yıllarda ise yuvarlatılmış ağızla ilgili yapılan araştırmalar oldukça hız kazanmış, pek çok araştırmacı bu konun üzerine yoğunlaşmıştır. Üçüncü bölümde bu çalışmalardan geniş olarak bahsedilecektir ancak yine de yapılan çalışmaları burada da kısaca özetlemekte fayda vardır. Yapılan çalışmalar temel olarak 3 gruba ayrılabilir, bunlar: (1) deneysel/amprik yöntemler (2) kayma-hattı metodunu içeren analitik yöntemler (3) sonlu elemanlar yöntemi ile ilgili çeşitli nümerik yöntemler. Bu yöntemler içinde, rijit plastik mekanikine dayanan kayma-hattı yöntemi, talaşlı imalat modellemesinde önemli ölçüde verimli olduğunu kanıtlamıştır ve pek çok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır.

Öncelikle yuvarlatılmış ağzın aşınma üzerine olan etkileri ile ilgili yapılan çalışmalara değinelim. Bouzakis vd. (2002) ve Rech ve Schaff (2006) honlama ya da mikro-kumlama yöntemlerinden birini kullanarak çeşitli ağız yarıçaplarına sahip sinterlenmiş karbür uçlar üretmişler ve bu takımların frezeleme işlemi esnasındaki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Endres ve Kountanya, (2002) köşe yarıçapının ve ağız yarıçapının serbest yüzey aşınması üzerindeki ana ve etkileşimli etkilerini araştırmışlar ve talaş kaldırma kuvvetlerini incelemişlerdir.

Ranganath vd. (2005) ve (2007) yapmış oldukları çalışmalarda yuvarlatılmış ağızlı takımlarla talaş kaldırma esnasındaki kuvvetleri belirleyen yeni mekanistik modeller ve talaşlı imalattaki kuvvet katsayıları için yeni deneysel bir ayarlama yöntemi önermişlerdir.

Son yıllarda, hem yazılım hem de donanım anlamında bilgisayar teknolojilerinde görülen gelişmelere paralel olarak, talaş kaldırma işlemlerinin modellenmesinde Sonlu Elemanlar Yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Yuvarlatılmış ağız yarıçapının kesme kuvvetleri, sıcaklık, gerilme, gerinme ve gerinme hızı gibi işlem değişkenleri üzerine etkilerini sonlu elemanlar metodu simülasyonları yardımıyla inceleyen çalışmalar olan Sartkulvanich vd. (2004) ve Yen vd. (2004), kesici ağız hazırlığının işlem parametrelerine ve kesici takım performansına olan etkilerini, pratik sonlu elemanlar simülasyonları ve yüksek hızda yapılan ortogonal talaş kaldırma testleri kullanarak inceleyen bir çalışma olan Özel (2003) ve talaş oluşumu için yeni geliştirdikleri analitik model ve ticari olarak bulunabilen bir sonlu elemanlar modeli için özet halinde bir açıklama yapan Fang ve Fang (2007), bu konudaki çalışmalara örneklerdir.

Bunun yanı sıra çeşitli araştırmacılar yuvarlatılmış ağız yarıçapının talaş kaldırma sonrasındaki işlenmiş yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisi ile ilgili olarak çalışmalar

gerçekleştirmişlerdir; bunlara örnek olarak Thiele ve Melkote (1999), Özel vd. (2005) Pawade vd., (2007) gibi araştırmacılara ait çalışmalar gösterilebilir.

Yapılan çalışmaların pek çoğunda ele alınan en önemli konu ağız yarıçapının talaş kaldırma kuvvetleri üzerindeki etkisidir. Thiele ve Melkote (1999) AISI 52100 çeliğinin bitirme sert tormalama işlemiyle ilgili olarak yapmış oldukları deneysel çalışmada daha büyük ağız yarıçapına sahip yuvarlatılmış ağızların daha küçük olanlara göre eksenel, radyal ve teğetsel yönlerde daha yüksek kuvvet değerlerine sebep olduğunu belirtmişlerdir. Manjunathaiah (1998), Fang (2003a; 2003b) ve Ranganath vd. (2005, 2007) gibi araştırmacılar ise yuvarlatılmış ağızlı takımlarla talaş kaldırma esnasındaki kuvvetleri belirleyen yeni mekanistik modeller önermişlerdir. Özel vd. (2005) ise çalışmalarında, ölçmüş oldukları kesme kuvvetleri verilerindeki önemli istatistiksel eğilimleri tanımlamak için varyans analizi (ANOVA) kullanmışlardır ve bu analizi kesme kuvvetinin her bileşeni için başka bir deyişle eksenel (ilerleme), radyal (itme) ve teğetsel (kesme) kuvvetleri için gerçekleştirmişlerdir.

Talaş kaldırma işlemlerinin analizinde kullanılan ortogonal talaş kaldırma modeli bilim dünyasında ve endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olmasına karşın, idealize edilmiş bir model olduğundan gerçeği tam olarak yansıtamamaktadır. Kullanım kolaylığı açısından yapılan kabuller, ortogonal modelin, ortaya çıkan yeni teknolojiler ile birlikte günümüzde giderek artan oranda kullanılan mikro ölçekli ve hassas talaş kaldırma gibi işlemleri açıklamasına izin vermemektedir. İşte bu noktada yuvarlatılmış kesici ağız da göz önünde bulunduran bir yaklaşım daha gerçekçi bir analize imkan tanıyacaktır. Yapılan çalışmanın amacı, sözü edilen yuvarlatılmış ağızın metallerde talaş kaldırmayı nasıl etkilediğini anlamak ve bu konuda önerilen modellerin ne ölçüde doğru sonuçlar verdiğini, yuvarlatılmış kesici ağız için önerilen bir kuvvet modelinden hesaplanan değerler ile önceden yapılmış deneylere ait verileri karşılaştırarak incelemektir.

Yapılan çalışmanın kısa bir özeti şu şekildedir. İkinci bölüm kısaca geleneksel talaş kaldırmayı ele almaktadır. Bu bölümde, öncelikle tek kesen ağızlı takımlara ait takım geometrisinden bahsedilmiş, daha sonra ise temel olarak talaş oluşumundan, talaş kaldırma kuvvetlerinden ve günümüzde pek çok araştırmacı tarafından benimsenmiş olan fakat yuvarlatılmış kesici ağız dikkate almayan keskin ağızlı takımlar için ortogonal talaş kaldırma modeli ele alınmıştır.

İkinci bölümün devamı olan üçüncü bölümde, konu ile ilgili kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırma sonucu elde edilen çalışmaların incelenmesi sonucunda

elde edilen bilgiler ışığında, öncelikle yuvarlatılmış ağzın fark edilmesi ve konuyla ilgili yapılan ilk çalışmalara ait bilgiler verilmiştir. Bu bölüme ait ikinci ve son kısımda ise yuvarlatılmış kesici ağızların anlaşılmasına dair olan ilginin giderek arttığı 1990'ların sonrasından günümüze kadar yapılmış olan bazı çalışmalar anlatılmıştır.

Dördüncü bölüm yuvarlatılmış kesici ağzı yuvarlatılmış takımlarla gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemini incelemektedir. Öncelikle kesici ağız yuvarlaklığının ne gibi bir önem arz ettiğinden söz edilmiştir, daha sonra ise kesici ağız hazırlama yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bölümün ilerleyen kısımlarında geleneksel talaş kaldırma modeli ile yuvarlatılmış kesici ağzı hesaba katan bir talaş kaldırma modeli karşılaştırılmış ve yuvarlatılmış kesici ağız etrafında görülen iş parçası malzemesi davranışından söz edilmiştir. Son olarak ise yuvarlatılmış kesici ağzın işlem değişkenleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Beşinci bölüm Manjunathaiah'a ait olan ve boyutlandırılabilir bir yuvarlatılmış kesici ağzın varlığında talaş kaldırma işlemini inceleyen nispeten basit bir talaş kaldırma modelini anlatmaktadır. Modelin geometrisi gösterilmiş ve yazarın kuvvet modellemesini nasıl gerçekleştirdiğinden bahsedilmiştir. Daha sonra bu modelin ne ölçüde geçerli olduğu, literatürden elde edilen talaş kaldırma verileri kullanılması ile incelenmeye çalışılmıştır. Kesici ağzı yuvarlatılmış takımlar için önerilen kuvvet modeli ile hesaplanan talaş kaldırma kuvvetleri, literatürden sağlanan deneysel kuvvet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu bölümün son kısmında ise kullanılan kuvvet modelinde yer alan bir değişken olan normal gerilme faktörünün hangi değeri alması gerektiğini araştıran bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Altıncı ve son bölümde yapılan çalışma ile ulaşılan sonuçlara değinilmiştir.

2. GELENEKSEL TALAŞ KALDIRMA

Talaşlı imalat işleminin incelenmesiyle ilgili olarak yapılan çalışmaların temelinde, kesici takım, talaş kaldırılan malzeme ve işlenmiş yüzey arasında bulunan kuvvetlere ait karmaşık ilişkinin anlaşılabilmesine dair olan istek yatmaktadır. Bunun sebebi ise bu kuvvetler ile doğrudan bir ilişki içinde bulunan, takım tezgâhına ait güç gereksinimlerinin ve iş parçası, kesici takım ve tezgah üzerinde meydana gelen sapmaların belirlenmek istenmesidir. Talaşlı imalat işlemi eski çağlardan beri kullanılmasına karşın bu alanda yapılanları bilimsel bir tabana oturtmak için gerçekleştirilen ciddi ve sistematik çalışmalar 20. yüzyılda özellikle de 1940'ların ortasından itibaren görülmektedir. Elde edilen pek çok teknolojik gelişmeye karşın talaşlı imalat işleminin temel prensiplerinin anlaşılması kısmen yavaş olmuştur. Bunun sebebi ise işlemin oldukça karmaşık ve çözümlemesi zor olan doğasıdır.

Manjunathaiah (1998) tarafından bildirildiğine göre Finnie isimli araştırmacı 1956 yılında yapmış olduğu çalışmada, talaş kaldırma işlemiyle ilgili olan en eski bilimsel araştırmanın Cocquilhat'ın 1851 yılındaki çalışması olduğunu rapor etmiştir. Bu çalışma, delme işlemi ile farklı metallere talaş kaldırmak için gerekli olan hacim başına işi tablo halinde sunmaktadır. Cocquilat, kendi zamanının dinamometre tekniklerindeki eksiklik sebebiyle torku ölçmek için yenilikçi bir yöntem uygulamıştır. Buna göre, matkap yatay pozisyonda sabit tutulurken iş parçası döndürülmüştür. İş parçası sabit hıza ulaştığında tork, ağırlık dengesi kullanılarak ölçülmüştür.

Talaş oluşum işlemini açıklamak için yapılan ilk denemelerden biri, kendisinden sonra akma kriterinin isimlendirildiği Fransız bilim adamı Tresca tarafından gerçekleştirilmiştir. Tresca'nın teorisinde yapmış olduğu hata 1881'de Mallock tarafından Cambridge'de yapılan talaş köklerinin incelenmesiyle ilgili olan araştırma ile tamamen açıklığa kavuşmuş ve düzeltilmiştir. Mallock'a ait el çizimleri talaş oluşumunu gösteren daha sonraki yıllara ait videolar ile şaşırtıcı derecede benzerlik göstermiştir.

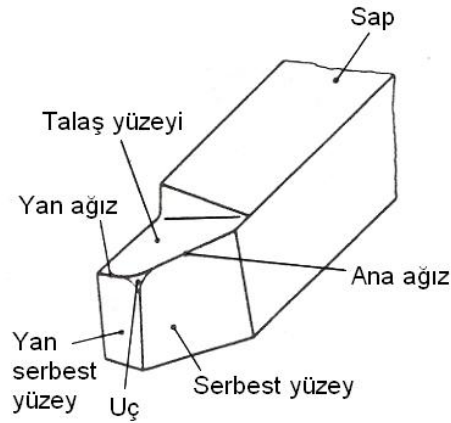
1900'de zamanının tanınmış bir Alman mühendisi olan Reuleaux takımın önünde bir çatlak gördüğünü rapor etmiştir; pek çok araştırmacı bu teoremin yanlış olduğunu kanıtlasa da tamamen ortadan kalkması zaman almıştır. Daha sonra 1938 yılında Ernst, kesici takımların hareketini incelemek için bir mikroskop ve kamera kullanmıştır. Elde ettiği fotoğraflar günümüzde de iyi bilinen süreksiz, sürekli ve sıvımalı gibi 3 farklı talaş oluşum mekanizmasının belirlenmesine imkan vermiştir. Bu çalışma sonrasında bu talaşların oluştuğu

koşulların incelenmesi ve talaş oluşum işleminin tanımlanması ve analiz edilmesiyle ilgili pek çok çalışma literatürde yer almıştır. Bunlar içinde en bilineni ise sürekli talaş oluşumunu açıklayan Merchant 1944 yılında yaptığı çalışmadır. Bunun dışında Finlandiyalı bir araştırmacı olan Piispanen benzer bir model içeren ve aynı zamanda kart destesi modeli olarak da bilinen bir çalışmayı 1937’de yayımlamıştır, ancak bu çalışma 1948’de İngilizceye çevrilene kadar fark edilmemiştir (Manjunathaiah, 1998).

Bu bölümde öncelikle tüm kesici takımların analizine bir temel teşkil eden tek kesen ağızlı takımlara ait takım geometrisinden bahsedilecek daha sonra ise talaş oluşumu ve talaş kaldırma kuvvetlerinden söz edilecektir. Son kısımda ise günümüzde büyük oranda kabul gören Merchant’a ait ortogonal talaş kaldırma modeli anlatılacaktır.

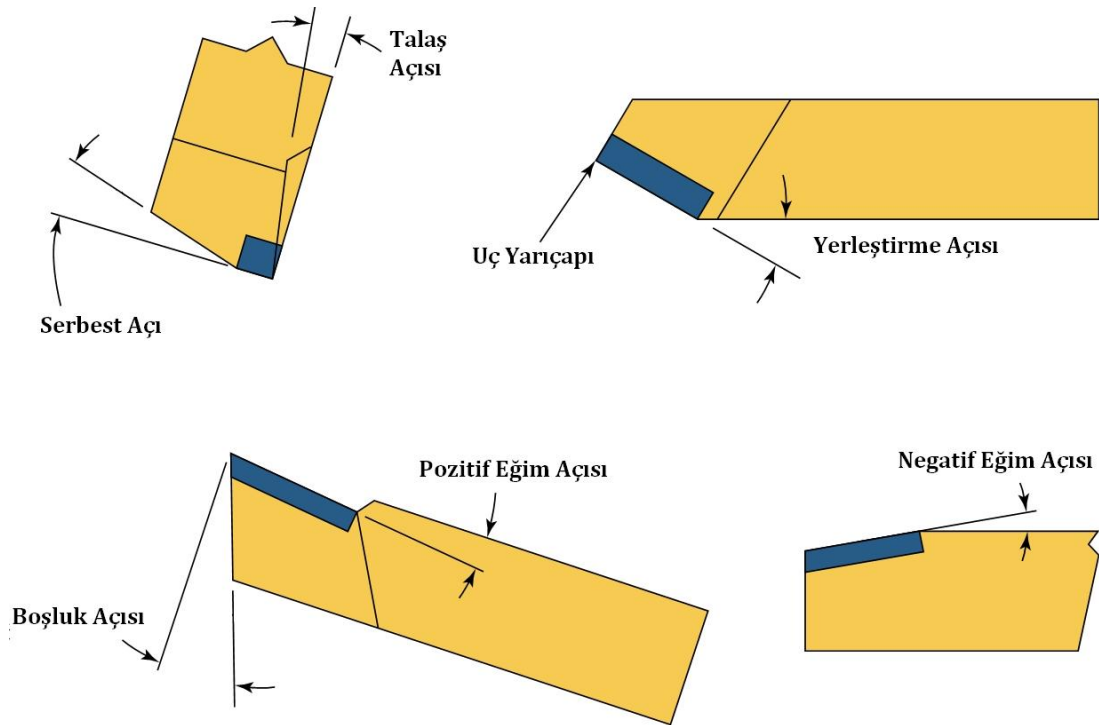
2.1 Tek Kesen Ağızlı Takımlarda Kesici Takım Geometrisi

Metal kesici takımlar, istenilen biçimde bir ürün elde etmek için iş parçasının üzerinden talaş kaldırır ve esas amaç bu işlemi kontrollü kesme şartları altında gerçekleştirmektir. Takım tezgâhlarında kullanılan ilk tek kesen ağızlı kesici takım 1770’lerin sonunda Wilkinson tarafından delik büyütme amacıyla geliştirilmiştir. 1800 yılında Mardslay torna tezgâhında vida çekme işleminde bu takımları kullanmış ve daha sonra bu takımlar planya, freze ve matkap tezgâhlarında kullanılmıştır. Tek kesen ağızlı takımlar tornalama veya planyalamadaki gibi basit bir kesici kenara sahip olacak şekilde yapılır. Bazı durumlarda kesici uçların bağlandığı kater adı verilen sap kısmına birden fazla tek kesen ağızlı takım bağlanabilir. Yine de tüm kesici takımların tasarımı tek kesen ağızlı kesme için geliştirilen kesme teorilerinden faydalanılarak ortaya çıkartılmıştır (Şahin, 2003).



Şekil 2.1 Tek kesen ağızlı bir takım (Akkurt, 1991)

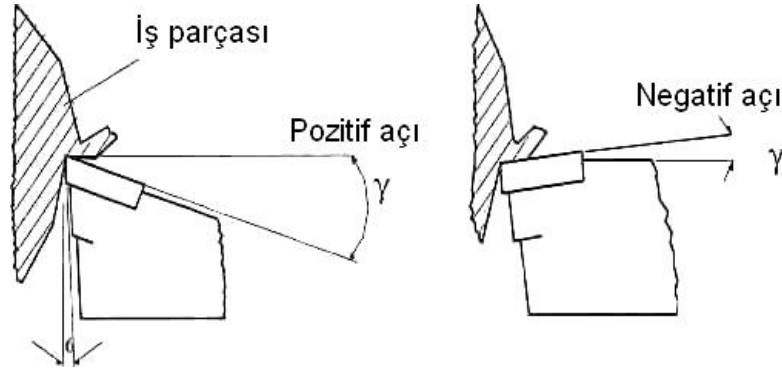
Şekil 2.1’de en genel hatları ile tek kesen ağızlı bir takım görülmektedir ve takımı oluşturan kısımlar şekilde belirtilmiştir. Kesici takım geometrisi amaca bağlıdır. Talaş kaldırma işleminde iyi bir takım tasarımı için kesici takım fonksiyonun ve geometrisinin tam anlaşılması gerekir. Serbest yüzeyler, takımın işlenen yüzeye doğru bakan yüzeyleridir. Bu yüzeylere ana serbest yüzeyi ve yan (veya yardımcı) serbest yüzeyi denilir. Ana kesen ağız, takımın talaş kaldıran kesme kenarıdır. Bu kenar, ana serbest ve talaş yüzeylerinin kesişmesinden meydana gelir. Yan ağız, yan serbest yüzey ile talaş yüzeyinin kesişmesinden oluşan ağızdır. Uç, ana ve yan ağzın birleştiği yerdir; uç belirli bir yarıçapa göre yuvarlatılır.



Şekil 2.2 Tek kesen ağızlı kesici takımlarda yüzeyler, açılar ve uç yarıçapının ifade edildiği gösterim (Takım referans sistemine göre).

Yukarıda görülen Şekil 2.2, tek kesen ağızlı bir takımın yer alan açıları detaylı şekilde göstermektedir. Kesici takımlar, takım ve iş parçası arasında sürtünen temas alanını en aza indirmek için keskin uçlu olarak tasarlanırlar. Bununla beraber bu açıların; kesme kuvveti ve tezgâh gücü, aşınma, takım ömrü ve tezgâhın dinamik davranışlarına büyük etkisi vardır (Şahin, 2003). Bir takım üzerindeki değişik açılar, takım geometrisini oluşturur. Takım geometrisini oluşturan bu açıların değeri, kesici ucun dayanımı ve kesme yeteneğine göre belirlenir. Aynı durum kesici takım üzerindeki talaş açısı için de geçerlidir.

Genel kural olarak, talaş açısının artmasıyla kesme kuvvetleri azalır ve daha iyi bitirme yüzeyi elde edilir. Talaşların kontrolü, talaşların akmasına sebep olan doğru talaş açısının verilmesiyle sağlanır. Aşağıdaki yer alan Şekil 2.3’de pozitif ve negatif talaş açılı takımlar gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Pozitif ve negatif talaş açıları

Kullanılan talaş açısı, iş malzemesinin özelliğine ve yapılan kesme işlemine bağlı olarak değişir. Talaş açıları kesici takım üzerinde taşlanabilir veya plaketa uçlar halindeyse bunlar istenilen talaş açısını sağlayan uygun takım tutucu içine yerleştirilerek oluşturulur. Verimli talaş kaldırma işlemi için en iyi olan tasarım; pozitif talaş açılı takımın kullanılmasıdır. Bu açı kayma bölgesinde daha büyük kayma açısı yaratır. Bu da talaşın talaş/takım ara yüzeyi boyunca serbestçe akmasına müsaade eder.

Düşük çekme dayanımlı ve demir içerikli olmayan ve içerisinde aşındırıcı parçacıklar bulunmayan sünek malzemeler, küçük çaplı uzun miller veya işlenirken sertleşen malzemeler kesilirken pozitif talaş açılı takımlar kullanılır.

Yüksek çekme dayanımlı malzemeler ve aşındırıcı içerikli malzemeler, fazla ilerleme miktarlarında ve kesikli kesme işlemi yapıldığında negatif açılar tercih edilir. Bir takım üzerinde negatif talaş açısı kayma bölgesi boyunca daha küçük bir kayma açısı oluşturduğundan daha fazla sürtünme ve ısı meydana getir (Şahin, 2003)

Boşluk açısı artırıldığında düşük çekme dayanımlı malzemeler için kesme kenarında oluşan kesme kuvvetleri azalır. Yüksek çekme dayanımlı malzemelerde boşluk açısı 15°’den fazla verilirse kesici ucu zayıflatır (Şahin, 2003).

2.2 Talaş Oluşumu

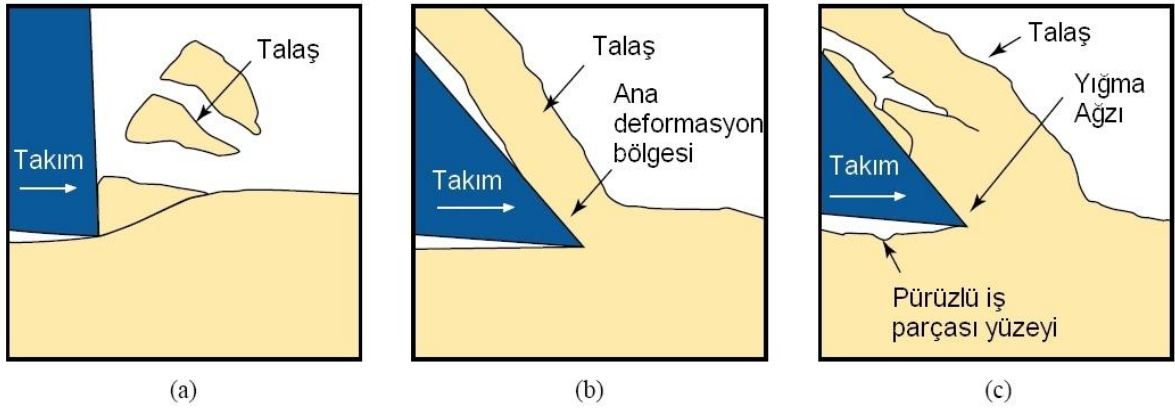
Talaş kaldırma işlemi iş parçası malzemesinden kesici takım yardımı ile talaş adı verilen küçük malzeme parçacıklarının uzaklaştırılmasıdır. İşlenecek malzemeden kesici takımın talaş yüzeyi aracılığıyla, talaş oluşturmak için malzemenin bir kısmı kaldırılmaktadır. Talaş kaldırmada gerekli olan esas mekanizma takıma ait kesici ağzın hemen önünde, iş malzemesi üzerinde, bölgesel kayma deformasyonunun oluşmasıdır. Kesme sırasında, iş parçası ve takım arasındaki bağıl hareket takım yakınındaki iş parçasını bastırarak ilk deformasyon olarak adlandırılan kayma deformasyonuna sebep olarak talaşı oluşturur. Talaş oluşumunun gerçekleşmesi için üç temel şart vardır bunlar:

- Talaş kaldırmak için kullanılan kesici takım malzemesinin, talaş kaldırılan iş parçası malzemesinden daha dayanıklı ve sert olması,
- Kesici takım ve iş parçası arasında, talaş kaldırma için gerekli olan kuvvetin oluşmasına sağlayacak göreceli bir hareketin varlığı,
- Kesici takımın talaş kaldırma için elverişli bir geometriye sahip olması.

Oluşan talaşın şekli önemli ölçüde talaş kaldırılan iş parçası malzemesine bağlıdır. Farklı mekanik özelliklere sahip bir orta karbonlu çelik ile bir alaşımlı çelik talaşı karşılaştırıldığında, orta karbonlu çeliğinin daha fazla deforme olduğu ve daha büyük bir kıvrıma sahip olduğu görülür (Çakır, 2006).

Daha önce de bahsedildiği gibi Ernst, 1938 yılında kesici takımların hareketini incelemek için bir çalışma gerçekleştirmiş ve yapmış olduğu çalışmada bir mikroskop ve bir kamera kullanmıştır. Elde ettiği fotoğraflar günümüzde de iyi bilinen (a) Süreksiz (b) Sürekli ve (c) Sıvımalı gibi 3 farklı talaş oluşum mekanizmasının belirlenmesine imkân vermiştir. Bu talaş tipleri Şekil 2.4’de görülmektedir.

Süreksiz Talaş: Süreksiz talaşlar (kopuk), dökme demir ve sert bronz gibi gevrek malzemeler ve bazı sünek malzemelerin kötü kesme şartlarında işlenmesi durumunda oluşur. Bu tür talaşlar elde ediliyorsa bitirme yüzeyi genellikle iyi değildir.

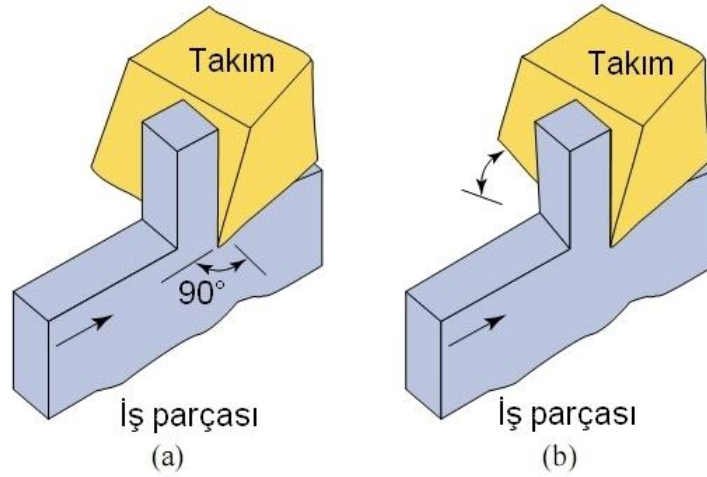


Şekil 2.4 Talaş oluşum çeşitleri (a) süreksiz (b) sürekli (c) sıvımalı (Schneider, G)

Sürekli Talaş: Sürekli talaş tipinde, kaldırılan metal takım yüzeyine yakın bir yerdedir ve takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmeden veya talaş sıvanmasından çok fazla etkilenmeyerek sürekli şekilde akmaktadır. Sürekli talaşla çok iyi yüzey kalitesi sağlandığından bu tip talaş oluşumu verimli kesme işlemi için idealdir.

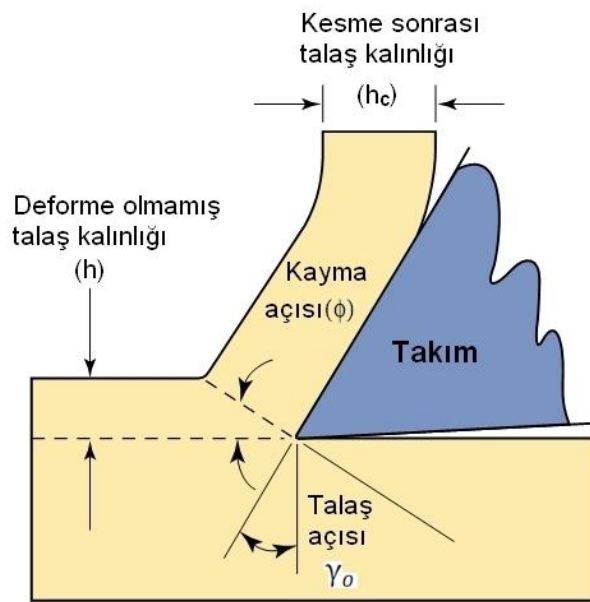
Sıvımalı Talaş: Kesici takım önündeki malzeme, basma gerilmesine maruz kalarak sıkıştırılır. Takım-talaş ara yüzeyi boyunca akmaya başlayan talaş tipi oluşur. Takım-talaş ara yüzeyi boyunca talaşın akmasına karşı yüksek sürtünme direnci, yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkların sonucu olarak talaş, kayma gerilmesine maruz kalarak ayrılırken küçük metal parçacıkları kesici takım ucuna yapışmaya başlar. Kesme işlemi devam ettiği sürece kesici takıma daha fazla parçacıklar yapışır. Daha büyük talaş sıvanmasının oluşması da kesme işlemini etkiler. Talaş yığılma boyutu büyür ve daha çok kararsız bir yapı ortaya çıkar. Daha sonra bu yığılmış parçalar belirli bir büyüklüğe ulaştığında kopar. Bu ufak parçacıkların yapışması ve işlenmiş yüzeye çentik etkisi yapması sonucunda kötü yüzey kalitesi elde edilir. Kötü yüzey kalitesine ilaveten sıvanmalı - sürekli talaş, kesici takım ömrünü de azaltır (Şahin, 2003).

Talaş oluşumu pek çok faktörden etkilenir ancak bunlardan en önemlisi iş parçası malzemesidir. Malzemenin tipi, mukavemeti, sertliği, yapısı, iş parçasının şekli ve boyutları talaş oluşumunu etkiler. Kesme koşullarının, özellikle ilerleme ve talaş derinliğinin talaşın boyutları ve şekli üzerine doğrudan etkisi vardır. Soğutma sıvısı ve takım geometrisi de talaş oluşumunu etkiler. Yerleştirme açısının talaşın uzunluğu, genişliği ve akış yönü üzerindeki etkisi büyüktür. Köşe (uç) yarıçapının talaş üzerindeki etkisi talaş derinliğine bağlıdır.



Şekil 2.5 Ortogonal (a) ve Eğik (b) talaş kaldırma işlemlerinde talaş oluşumu (Schneider, G)

Ortogonal ve eğik olarak iki tip kesme işlemi ve bunun sonucunda meydana gelen iki farklı talaş oluşum mekanizmasından bahsedilebilir. Eğik kesme pratikte sıklıkla karşılaşılan üç boyutlu gerçek talaş kaldırma işlemini anlatmaktadır. Gerçeğe yakın olmasına karşın talaş kaldırmayı bu şekilde ele almak işlemin analizini ve modellenmesini teorik açıdan zorlaştırır. Pek çok araştırmacı eğik talaş kaldırma yerine, bunun basitleştirilmiş bir hali olan iki boyutlu ortogonal kesmeyi göz önüne alıp modellerini bu temelde geliştirmektedirler. Ortogonal kesmede kesme hızı vektörü ve kesici ağız birbirine dik iken, eğik kesmede kesici ağız ve kesme hızı birbirine dik değildir. Şekil 2.5 ortogonal ve eğik talaş kaldırma işlemlerinde talaş oluşumunu göstermektedir.



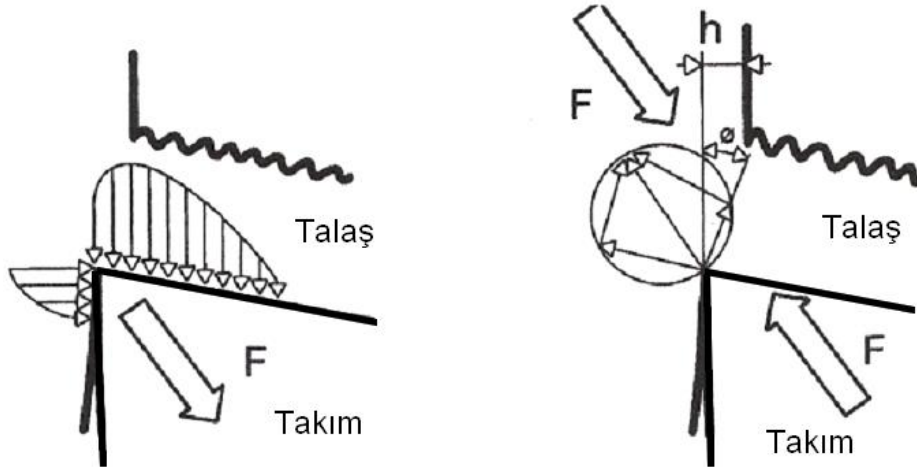
Şekil 2.6 İşlenen parçadaki deformasyonu gösteren talaş oluşumu. (Schneider, G)

Şekil 2.6 tipik bir ortogonal talaş kaldırma işlemindeki talaş oluşum mekanizmasını göstermektedir. Deforme olmamış talaş kalınlığı h ile kesilmeye başlanan talaş, takıma ait yüzeyini h_c kalınlığında ve dikey ile γ_o talaş açısı yaparak terk eder. Takımın kesici ağzı ilerleme yönüne dikken ölçülen kuvvet esas kesme kuvvetini, yatay kesme kuvveti ise kesme hızı yönündeki bileşen kuvveti oluşturur.

2.3 Talaş Kaldırma Kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminin gerçekleşmesi için büyük bir güce gereksinim duyulur. Güç ile kuvvetler arasında bir ilişki olduğundan, gereksinim duyulan güce ulaşmak için öncelikle işlemde ortaya çıkan kuvvetleri belirlemek gerekir. Talaş kaldırma işlemlerinde meydana gelen kuvvetler ile şu sebepler ile ilgilenilir:

- Herhangi bir talaş kaldırma işlemi için tezgâh gücünün belirlenmesi için
- Takım tezgâhına ait parçalar üzerine etkiyen yük ve momentlerin belirlenmesi için
- Talaş kaldırma esnasında kullanılan takım veya iş parçasına ait bağlama elemanlarının tasarımı için
- Kesici takım tasarımı için
- Yeni iş parçası malzemelerinin ve yeni kesici takım malzemelerinin geliştirilebilmesi için (Altan, 2006)



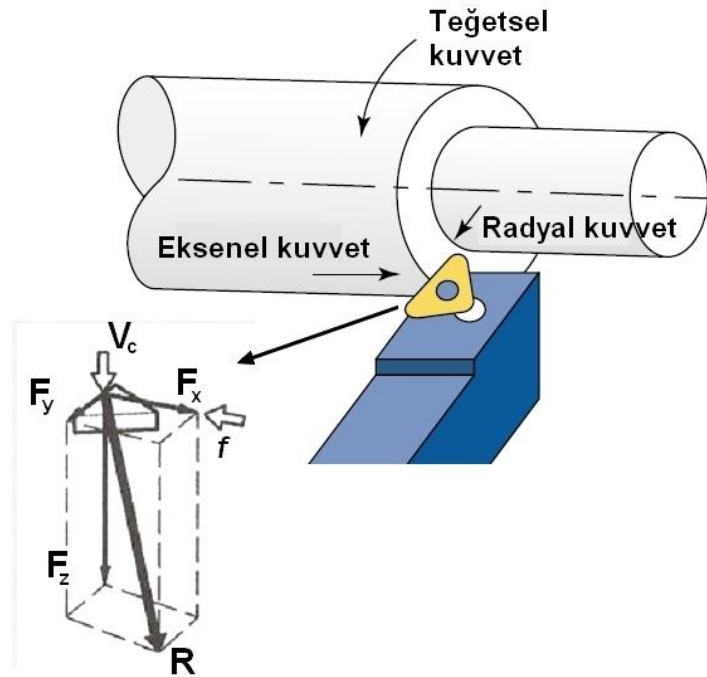
Şekil 2.7 Kesici kenar üzerinde basma gerilmesi ve kuvvetler (Çakır, 2006)

Şekil 2.7'deki ortogonal görünüşte gösterildiği gibi talaş kaldırma esnasında ortaya çıkan kuvvetler ve kayma düzlemi açısından bir denge mevcuttur. Merchant çemberi adı verilen bu denge diyagramından ileride detaylı olarak bahsedilecektir. Kayma düzlemi boyunca iş

parçası ve talaşa ait kuvvet, takım talaş yüzeyi ve talaş arasındaki kuvvete prensip olarak eşittir. Bir iş parçası malzemesi için kesme hızı artarsa kesme kuvvetleri düşer. Bunun nedeni akış bölgesindeki sıcaklık ve azalan temas yüzey alanıdır. Kesme kuvvetlerindeki azalma miktarı malzeme tipine, malzeme koşullarına ve çalışılan kesme hızı değerlerine göre farklılık gösterir (Çakır, 2006) .

Şekil 2.8'den de görülebileceği gibi kesme kuvvetinin 3 temel bileşeni vardır, bunlar: teğetsel kuvvet F_z , radyal kuvvet F_y ve eksenel kuvvet F_x olarak ifade edilebilir. Teğetsel kuvvet sadece iş parçası ve takım arasındaki temas ve sürtünmeye değil, aynı zamanda talaş ile talaş yüzeyi arasındaki temas koşullarına da bağlıdır. Talaş oluşumunun ve talaş kırmanın niteliği teğetsel kuvveti önemli ölçüde etkiler. Bunun yanı sıra, deforme olmamış talaş kalınlığı (h) ile bu kuvvetin büyüklüğü arasında bir bağıntı vardır (Çakır, 2006).

Kesici takım geometrisi, özellikle de yerleştirme açısı eksenel ve radyal kuvvet bileşenlerinin büyüklüklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu kuvvetler arasındaki ilişki özellikle narin bir iş parçası veya uzun bir takımda, hassasiyet gerektiren ve titreşimin istenmediği durumlarda son derece önemlidir. Talaş açısı da radyal kesme kuvvetini de etkilemektedir. Pozitif talaş açıları düşük kesme kuvvetlerine sebep olur.

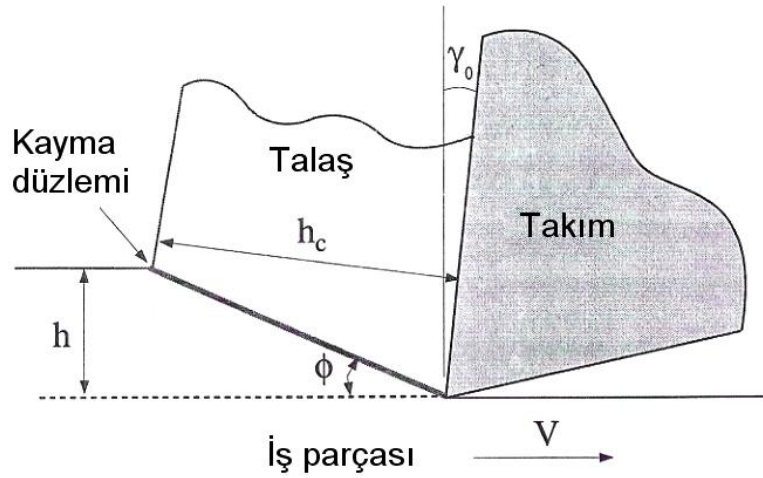


Şekil 2.8 Tornalama işleminde ortaya çıkan kesme kuvvetleri

2.4 Ortogonal Talaş Kaldırma Modeli

Merchant 1944 yılındaki çalışmasında, talaşlı imalat sürecinin kavranmasıyla ilgili olarak yapılan çalışmalar içinde bir dönüm noktası olarak da kabul edilen ve Şekil 2.9’da görülen ortogonal talaş kaldırma modelini önermiştir. Hesaplamaları basitleştirmek adına Merchant, modelinde bir takım kabullere yer vermiştir. Bu kabullerden bazıları şunlardır:

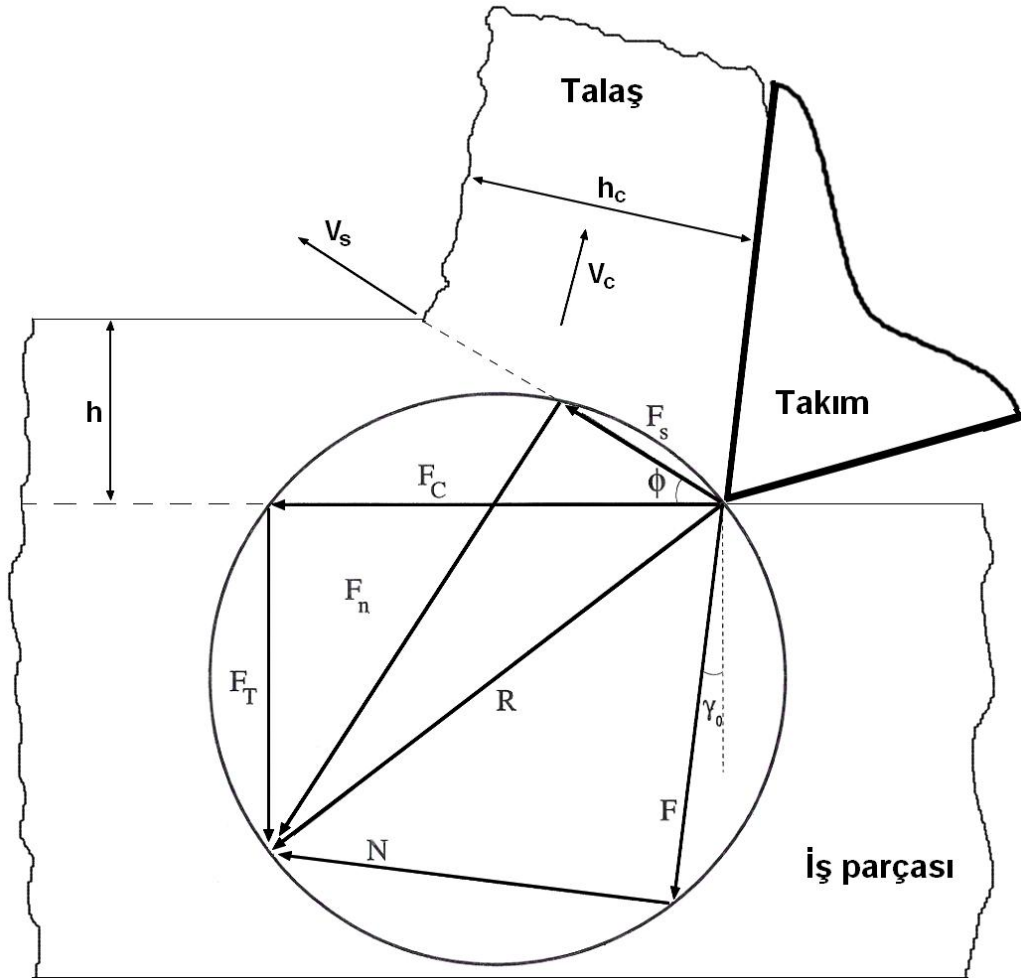
- Yapılan analizde kayma bölgesi, yaklaşık olarak düzlem olarak alınmıştır.
- Talaş oluşumu sürekli ve yığılma ağız oluşumu yoktur.
- Akış koşulları düzlem gerinme koşullarıdır ya da bir başka deyişle kesme genişliği w deforme olmamış talaş kalınlığı h' den çok daha büyüktür yani $w/h \geq 1$.
- Takım mükemmel şekilde keskindir ve γ_0 talaş açısına sahip düz bir kesici ağıza sahiptir.
- Kayma düzlemi üzerindeki, kayma ve normal gerilmelerin düzgün olarak dağıldığı varsayılmıştır.



Şekil 2.9 Ortogonal talaş kaldırma işlemi (Manjunathaiah, 1998)

Yukarıda geometrik olarak görülen bu modeli kısaca özetleyecek olursak, modelde iş parçası malzemesi V kesme hızı ile ilerlerken takımın sabit olduğu varsayılmıştır. Ayrıca talaş ile temas eden takıma ait talaş yüzeyi kesme hızının normaline γ_0 adı verilen talaş açısı ile eğimlidir. Uzaklaştırılmak istenen malzeme kalınlığı, deforme olmamış talaş kalınlığı h iken talaş malzemeyi talaş kalınlığı h_c ile terk eder. Malzemenin, kayma düzlemi adı verilen ince AB düzleminde kaydığı varsayılmıştır. Bu düzlem kesme hızı ile ϕ açısı yapmaktadır. Kesme

genişliği w kesici ağız boyunca kağıttan dışarı doğru olan yönde ölçülmüştür. Talaşın takım-talaş ara yüzeyi ve kayma düzlemine etkiyen bileşke kuvvetler tarafından dengede tutulduğu varsayılmıştır. Bu durum şekil 2.10'da Merchant tarafından geliştirilen kuvvet diyagramında görülebilir. Bu diyagram, bileşke talaş kaldırma kuvvet vektörü R ve onun kayma düzlemi, talaş yüzeyi ve dış koordinat sistemleri üzerindeki bileşenleri arasındaki ilişkileri göstermektedir.



şekil 2.10 Merchant'a ait kuvvet çemberi diyagramı

Merchant ayrıca kuvvetler, hızlar, gerilmeler, gerinmeler, gerinme hızları ve talaş kaldırma işlemine etki eden enerjiler arasında ilişkiler geliştirmeye çalışmıştır. Elde ettiği sonuçlar kendisinden sonra yapılan pek çok çalışmanın temelini oluşturmuştur.

Bu modele dayanarak ortogonal talaş kaldırmadaki çeşitli değişkenler arasındaki ilişkiler aşağıda görülen izelge 2.1'deki eşitlikler ile ifade edilebilir:

Çizelge 2.1 Merchant modelinden elde edilen, ortogonal talaş kaldırma parametreleri arasındaki çeşitli ilişkiler. Burada u toplam enerji, l kayma düzlemi uzunluğu, Δy kayma bölgesi genişliği ve V de kesme hızıdır

<i>Kuvvetler</i>	
Kayma düzlemi üzerindeki kayma kuvveti	$F_s = F_C \cos \phi - F_T \sin \phi$
Kayma düzlemi üzerindeki normal kuvvet	$F_n = F_C \sin \phi - F_T \cos \phi$
Talaş yüzeyi üzerindeki sürtünme kuvveti	$F = F_C \sin \gamma_o - F_T \cos \gamma_o$
Talaş yüzeyi üzerindeki normal kuvvet	$N = F_C \cos \gamma_o - F_T \sin \gamma_o$
<i>Gerinim ve Gerinim Hızı</i>	
Talaş oranı	$r = \frac{h}{r} = \frac{\sin \phi}{(\phi - \gamma_o)}$
Kayma Açısı	$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{r \cos \gamma_o}{1 - r \sin \gamma_o} \right)$
Kayma Gerinimi	$\gamma = \tan(\phi - \gamma_o) + \cot \phi$
Kayma Gerinimi Hızı	$\dot{\gamma} = \left(\frac{\cos \gamma_o}{\cos(\phi - \gamma_o)} \right) \frac{V}{\Delta y}$
<i>Gerilmeler</i>	
Kayma düzlemi üzerindeki kayma gerilmesi	$\tau_s = \frac{(F_C \cos \phi - F_T \sin \phi) \sin \phi}{wh}$
Kayma düzlemi üzerindeki normal gerilme	$\sigma_s = \frac{(F_C \cos \phi + F_T \sin \phi) \sin \phi}{wh}$
Talaş yüzeyi üzerindeki sürtünmesel gerilme	$\tau_f = \frac{F_C \sin \gamma_o + F_T \cos \gamma_o}{wl}$
Talaş yüzeyi üzerindeki normal gerilme	$N = \frac{F_C \sin \gamma_o - F_T \cos \gamma_o}{wl}$
<i>Hızlar</i>	
Kayma hızı	$V_s = V \left(\frac{\cos \gamma_o}{\cos(\phi - \gamma_o)} \right)$
Talaş hızı	$V_c = V \left(\frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \gamma_o)} \right)$
<i>Energiler</i>	
Özgül enerji	$u = u_s + u_f$
Özgül kayma enerjisi	$u_s = \tau \left(\frac{V_s}{V \sin \phi} \right)$
Özgül sürtünme enerjisi	$u_f = F_C \left(\frac{r}{wh} \right)$

Merchant'ın modelinin bugüne kadar pratik olarak en fazla kullanılan model olması ve oldukça geniş bir kitle tarafından benimsenmesinin ardındaki faktör, modelin oldukça basit ve düzenli bir matematiksel temele dayanıyor olmasıdır.

Metallerde talaş kaldırma analizlerinin tümünün ortak hedefi, talaş kaldırma ile ilgili olan tüm gerekli büyüklüklerin deneyler yapılmaksızın hesaplanabilmesinin sağlanmasıdır. Bu ise malzeme özellikleri ve takım-talaş ara yüzeyindeki sürtünme koşulları ile ilgili bilgi sahibi olmayı gerektirir. Örnek olarak, Merchant'ın modelini göz önüne alırsak malzemeye ait kayma akış gerilmesinin, kayma açısının ve sürtünme katsayısının bilinmesiyle, diğer ilgili büyüklüklerin tamamı herhangi bir talaş kaldırma koşulu için hesaplanabilir. Ancak bu değişkenlerin hesaplanmasıyla ilgili bir takım problemler mevcuttur (Manjunathaiah, 1998).

Kayma akış gerilmesinin talaş kaldırma operasyonları için hesaplanması problemi, mekanik testlerden bağımsız olarak bir hesaplama yapamadığımız için oldukça zor bir problemidir. Çok büyük gerilmeler (yaklaşık 3) ve yüksek gerilme hızı ($10^4 / 5$) kombinasyonlarını mekanik test ekipmanları ile tekrar üretmek aşırı derecede zordur. Yüksek normal gerilme ve sıcaklıklar kayma bölgesinde problem yaratırlar. Sürtünme ve kayma mekanizmalarının birbirine karışmış olması sürtünme koşullarının belirlenmesini oldukça zorlaştırır. Talaş yüzeyi ve talaş arasındaki sürtünme koşulları basit statik sürtünme durumunun çok ötesindedir. Kayma açısıyla ilgili modeller, bu modellerin kayma gerilmesini maksimum, toplam enerjiyi ise minimum yapabilecek bir kayma açısı değeri varsayabileceği mantığına dayanarak geliştirilmiştir. Kayma açısı modelleriyle ilgili pek çok analiz yapılmıştır ancak çeşitli iş parçası malzemeleri ve talaş kaldırma koşulları altında, deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içinde bulunan herhangi bir model bulunmamaktadır.

Yüksek hızlı çekim yapabilme gibi teknolojilerin gelişmesi araştırmacılara deformasyon sürecini yerinde izleyebilme imkanı sağlamıştır. Kesici ağız yakınındaki malzeme akışının karakterinin işlem mekaniği ve pratikte görülen değişkenlerden önemli ölçüde etkilendiği fark edilmiştir. İşlenmiş yüzey deformasyonu takımın altındaki kayma bölgesinin genişlemesi ile bağlantılıdır. Bunlar metallerde talaş kaldırma teorisi ile deneysel sonuçlar arasında görülen farklılıkların olası açıklamalarıdır. Bu yeni olayları açıklamak için Merchant modeliyle ilgili pek çok düzenleme önerilmiş ve yine pek çok yeni ortogonal talaş kaldırma modeli geliştirilmiştir (Manjunathaiah, 1998).

Günümüze kadar pek çok farklı araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda çeşitli kayma açısı ve kayma bölgesi modelleri önerilmiş, malzeme akışı ve takım-talaş sürtünmesi gibi konular üzerine yoğunlaşmış ve malzeme akışına ait kayma gerilmesinin belirlenmesi ile ilgili çeşitli yöntemlerden bahsedilmiştir.

3. KESİCİ AĞIZ YUVARLAKLIĞI İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3.1 Kesici Ağız Yuvarlaklığı ile İlgili İlk Çalışmalar

Daha önce de belirtildiği gibi, talaş kaldırma ile ilgili olarak yapılan çalışmaların pek çoğunda modellemeyi basitleştirmek ve hesaplamalarda kolaylık sağlamak adına yapılan çeşitli kabuller dahilinde kesici ağız yuvarlaklığına ait etkiler görmezden gelinmiş ya da etkisinin göreceli olarak az olduğu düşünülerek bu durumun varlığı ihmal edilmiştir. Bununla birlikte “keskin” olarak tanımlanan kesici ağızlar bile doğal bir yuvarlaklığa sahiptir. Genellikle ticari talaş kaldırma takımları 5 ile 250 μm arasında değişen takım ağız yarıçaplarına sahiptirler (Fang ve Fang, 2007). Önemli ölçüde deneysel kanıt, belirli kesme koşulları altında yapılan talaşlı imalatındaki takım ağız yuvarlaklığının önemini doğrulamıştır. Fang’a (2003a) göre yapılan çalışmalar 1950-1970 lerde başlamıştır ve konuyla ilgili ilk olarak Backer vd. 1952, Thomsen vd. 1953, Albrecht 1960, Abdelmonheim ve Scrutton ise 1974 yıllarında araştırmalar yapmışlardır. Teorik olarak takım ağız yuvarlaklığının anlaşılması, talaş deformasyon mekanizmasının anlaşılmasını geliştirmekte ve deforme olmamış talaş kalınlığının azalmasıyla özgül kesme kuvvetinin arttığı “boyut etkisi” gibi çeşitli talaş kaldırma olaylarının, daha rasyonel şekilde açıklanmasını sağlamaktadır.

Merchant’ın teorisini taşlama işlemini açıklayacak şekilde genişletmeye çalışan Backer ve arkadaşları 1952’de küçük deforme olmamış talaş kalınlıklarıyla mikro-frezeleme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Özgül enerji ve dik kuvvetin kesme kuvvetine olan oranının, talaş kaldırma testlerinden elde edilen sonuçlara kıyasla oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir ve bu koşullar altında talaş kaldırmak için gerekli olan enerjideki artışa “boyut etkisi” adını vermişlerdir.

Albrecht, 1960 yılında yapmış olduğu çalışmada kendi zamanının kesici ağızlarının doğal yarıçaplarını ölçerek çok önemli bir adım atmıştır ve bu yarıçapların 0.00254 mm ile 0.0254 mm arasında olduğunu bulmuştur. Bunu yanı sıra yuvarlatılmış kesici ağız üzerine etki eden bileşke kuvveti kullanan bir analiz geliştirmiş ve bu bileşke kuvveti de “sürme kuvveti” olarak isimlendirmiştir. Sürme kuvvetini toplam kuvvetten çıkararak, sürtünme katsayısının değişen talaş açılarıyla birlikte bir sabit olduğu ve kayma sürtünme kanunlarına uyduğunu göstermeyi denemiştir.

Nakayama ve Tamura 1968 yılında, ortogonal talaş kaldırma işlemindeki farklı enerji dağılım modları ile ilgili detaylı incelemeler gerçekleştirmişlerdir. Kayma bölgesinin bir kısmının

amaçlanan kesme derinliğinin altına genişlediğini gözlemlemişler ve bunu yüzey altı plastik akışın temel sebebi olarak nitelemişlerdir. Bu plastik akışa sebep olan enerjinin kısmen boyut etkisine sebep olduğu sonucuna varmışlardır.

Abdelmonheim (1980) çalışmasında orta ve yüksek kesme hızlarında, (16-200m/dak) çinko ve princi talaşlı imalatı ile ilgili çalışmalar yürütmüş ve keskin ağız yerine çok az yuvarlatılmış ağız kullanıldığında elde etmiş olduğu iş parçası örneklerinin çok kaliteli yüzey bitirmesine sebep olduklarını bulmuştur.

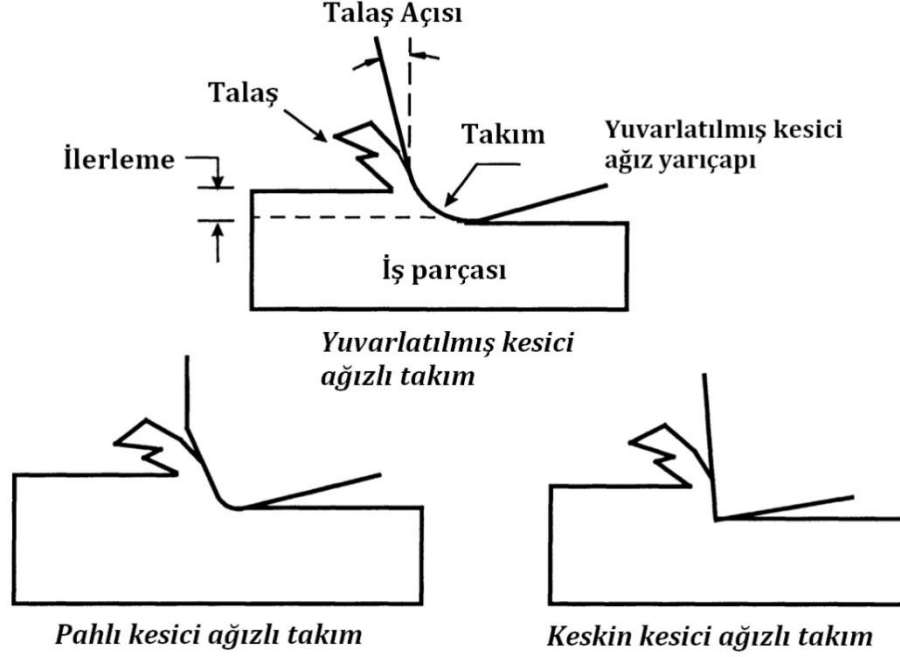
Schimmel'e (1999) göre 1988'de Wu, sürme kuvveti bileşeni için bir model önermiştir. Araştırmacı bu kuvveti körelmiş kesici ağız etrafındaki ve takımın altındaki malzeme hacmi ile orantılı olacak şekilde modellemiştir.

3.2 Kesici Ağız Yuvarlaklığı ile İlgili Son On Yıllık Dönemde Yapılan Bazı Çalışmalar

Thiele ve Melkote (1999) çalışmalarında AISI 52100 çeliğinin bitirme sert tornalama işleminde kesici ağız geometrisi ve iş parçası sertliğinin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine etkisini belirlemek için deneysel bir inceleme yürütmüşlerdir. Farklı kesici ağız geometrilerine sahip kübik bor nitrür kesici takımları, sertleştirilmiş AISI 52100 çelik çubuklardan talaş kaldırmak için kullanmışlar ve ağız geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermişlerdir. Araştırmacıların çalışmalarında kullandıkları farklı kesici ağız geometrileri Şekil 3.1'de görülmektedir. Ağız yuvarlaklık yarıçapının artmasıyla, deformasyona ait kayma bileşenine kıyasla deformasyona ait sürme bileşeninde görülen artışa bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünde bir artma eğilimi görülür. Ayrıca araştırmacıların yapmış olduğu çalışma, kesici ağız geometrisinin eksenel ve radyal kuvvet bileşenleri (ya da eşdeğer dik kuvvet) üzerinde çok önemli bir etkisi olduğunu ve iş parçası sertliğinin kuvvet bileşenleri üzerindeki etkisinin daha çok 93.98 ve 121,98 μm 'lik ağız yuvarlaklıkları için anlamlı olduğunu göstermiştir.

Bouzakis vd., (2002) yapmış oldukları çalışmada honlama ya da mikro-kumlama yöntemlerinden birini kullanarak çeşitli ağız yarıçaplarına sahip sinterlenmiş karbür uçlar üretmişlerdir. Daha sonra bu uçları ince bir PVD ($Ti_{46}Al_{54}$)N filmi ile kaplayan araştırmacılar, çalışmanın devamında ise frezeleme işlemi esnasındaki aşınma davranışları ile ilgili olarak detaylı bir inceleme yürütmüşlerdir. Araştırmacıların sunmuş oldukları sonuçlar, PVD kaplamalı takımların talaş kaldırma performanslarını, boyut optimizasyonu ve kesici ağız yuvarlaklığının uygun şekilde üretilmesi ile arttıracak yollar göstermektedir. Odaklanmış

mikro-kumlama süreksiz kesici ağız üzerinden karbür uzaklaştırmasına sebep olmakta ve aşınma davranışlarını kötüleştirmektedir. Diğer taraftan yuvarlatılmış kesici ağızların honlama ile üretimi, geniş kesici ağız yarıçapının takıma ait mekanik gerilmeleri azaltması ile birleşince kaplamalı takımların ömürlerinde oldukça önemli bir artışa katkı sağlamaktadır.

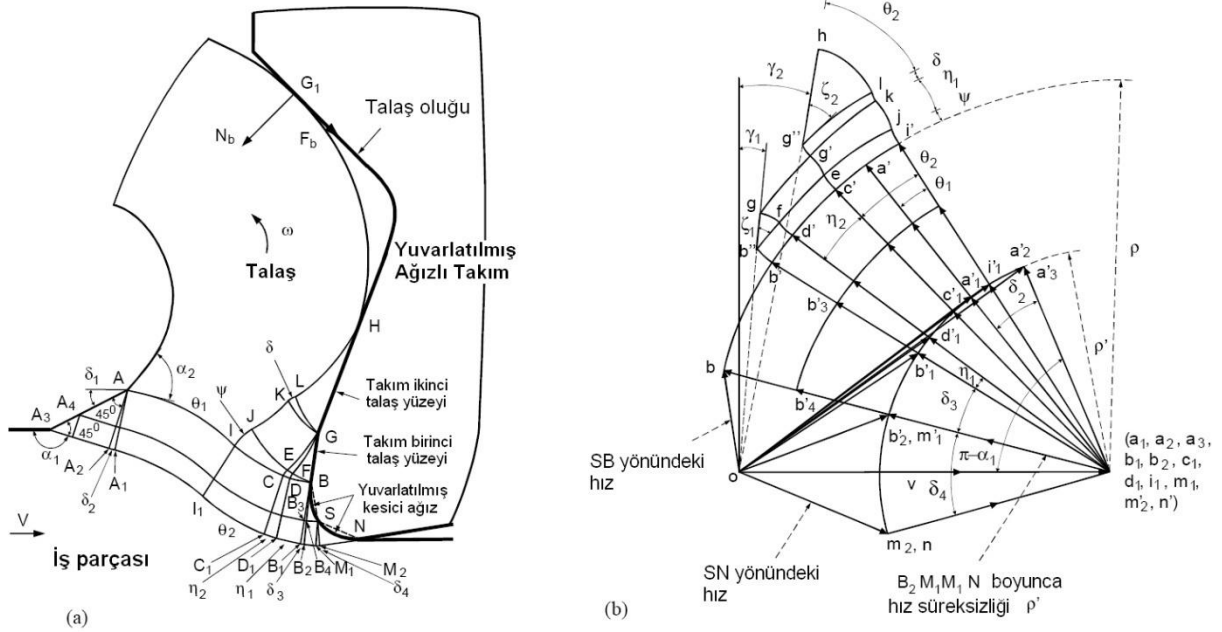


Şekil 3.1 Theile ve Melkote'ye ait çalışmada kullanılan kesici ağız geometrileri (Thiele ve Melkote, 1999)

Kesici ağızın yuvarlatılmasıyla ilgili kapsamlı çalışmalar yürüten Fang, 2003 yılında detaylı bir araştırma gerçekleştirmiş ve bunu iki farklı makale ile sunmuştur. Fang (2003a) talaşlı imalattaki takım ağız yarıçapının etkilerini sistematik ve nicel olarak incelemek için yapmış olduğu çalışmada yer alan yuvarlatılmış ağızlı takım ile yapılan talaşlı imalat için yeni bir kayma-hattı modeli ve bununla ilgili olan bir hız diyagramını sunmaktadır. Araştırmacının yapmış olduğu çalışmanın faaliyet alanı ortogonal talaş kaldırmada sürekli talaş oluşumu ile sınırlıdır. Oldukça detaylı olan yeni model açıklanırken öncelikle, tüm kayma-hattı alanının 27 alt bölge içerdiği gösterilmiş, daha sonra her kayma hattına ait alt bölgenin fiziksel anlamı açıklanmıştır. Şekil 3.2'de Fang'a ait (2003a) yeni kayma-hattı modelinin geometrik gösterimi görülmektedir.

Daha sonra bu çalışmanın devamı olan çalışmada Fang (2003b), I. Kısım'da önerilen yeni modele dayanarak, talaşlı imalat işlemini nicel olarak incelemektedir. (1) Kesme kuvveti, dik kuvvet, bileşke kuvvet ve kesme kuvvetinin dik kuvvete oranı (2) Sürme kuvveti (3) Talaş

yukarı kıvrılma yarıçapı (4) Talaş kalınlığı (5) Takım-talaş temas uzunluğu (6) 1. Kayma bölgesi kalınlığı (7) 1. Kayma bölgesindeki ortalama kayma gerilmesi (8) 1. Kayma bölgesindeki ortalama kayma gerilmesi hızı gibi 8 talaşlı imalat parametresi grubu yapılan çalışmada ele alınmıştır.



Şekil 3.2 (a) Yuvarlatılmış kesici ağzılı takım ile yapılan talaş kaldırma için yeni önerilen kayma-hattı modeli (b) Modele ait hız diyagramı (Fang, 2003a)

Yapılan çalışmanın sonucunda yazar, elde ettiği önemli miktardaki nicel analiz aracılığıyla, takım geometrisinin ufak bir özelliği olan takım ağzı yuvarlaklığının, talaşlı imalatın pek çok yönünde kritik bir rol oynadığını göstermiştir. Ayrıca yazara göre bu yeni araştırmaya ait bulgular, takım yarıçapının sadece mikro talaş kaldırmada önemli olduğu ve konvansiyonel talaş kaldırmada mantıklı bir şekilde ihmal edilebileceğini savunan geleneksel görüşün değişmesi gerektiğini göstermiştir.

Yaptığı detaylı incelemeler sonucunda Fang (2003b), takım ağzı yuvarlaklığının 4 değişken ile geniş bir şekilde tanımlanabileceği önermiştir. Bu değişkenler takım ağzı yarıçapı r^* , takım üzerindeki durgunluk noktası açısı θ^{**} , takım-talaş sürtünmesel kayma gerilmesi τ_3 (takım ağzı üzerindeki durgunluk noktası üstünde) ve takım-talaş sürtünmesel kayma gerilmesi τ_4 (takım ağzı üzerindeki durgunluk noktasının altında). Bu 4 değişken içinde takım

* Burada r kesici ağzı yarıçapıdır ve Fang'a (2003b) ait çalışmada r_e olarak geçmektedir

** Burada θ durgunluk noktası açısıdır ve Fang'a (2003b) ait çalışmada θ_s olarak geçmektedir

ağız yarıçapı r , talaşlı imalat prosesini etkileyen en önemli değişkendir.

Fang (2003b) yapmış olduğu çalışmada, artan takım ağız yarıçapı (r/h^*) ile şunların olduğunu bulmuştur:

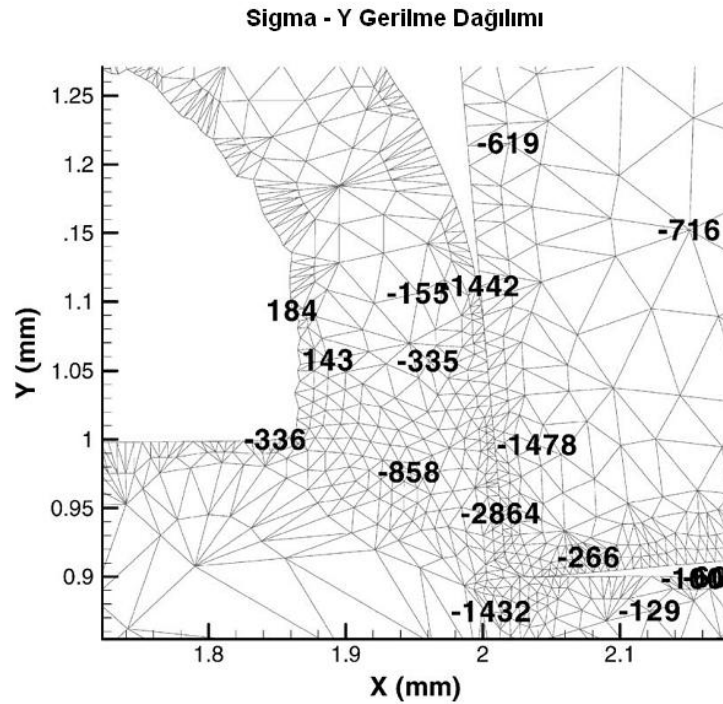
- Boyutsuz kesme kuvveti F_c/khw yaklaşık olarak sabit kalırken, boyutsuz dik kuvvet F_t/khw artar. Kuvvetlerin değişim eğilimleri belli bir aralıktaki iş parçası malzemeleri ile özellikle de çinko için deneysel gözlemlerle iyi bir uyum içindedir. Değişen r/h ile F_c/khw nin yaklaşık olarak sabit kaldığı bulgusu, dikkatlice tasarlanmış talaş kaldırma testleriyle malzeme kayma akış gerilmesini ölçmek için yenilikçi ve gelecek vadede bir yöntem sağlamaktadır.
 - Sürme kuvveti azalır ve eğer r/h yeterince büyükse bileşke kuvvet R 'nin %40 kadar bir değerine ulaşabilir. Bu takım ağız yarıçapının takım aşınması ve takım ömrü üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.
 - Talaş yukarı kıvrılma yarıçapı R_u/h az miktarda artar
 - Talaş kalınlığı h_c^{**}/h önemli ölçüde azalır
 - Takım talaş temas uzunluğu l_n/h önemli ölçüde azalır.
 - Kayma bölgesine ait kalınlık $\Delta S/h$ önemli ölçüde artar.
 - Kayma bölgesindeki ortalama kayma gerilmesi az miktarda artar.
 - Kayma bölgesindeki ortalama kayma gerilmesi hızı non-lineer olarak azalır.
- (Fang, 2003b)

Özel (2003), kübik bor nitrür (KBN) kesici takımlar ile yapılan talaş kaldırmada kesici ağız geometrisinin işlem parametrelerine ve kesici takım performansına olan etkilerini, pratik sonlu elemanlar simülasyonları ve yüksek hızda yapılan ortogonal talaş kaldırma testleri kullanarak inceleyen bir çalışma sunmuştur. Çalışmada yuvarlatılmış ağızlı ve pahlı KBN kesici takımların yer aldığı bir dizi ortogonal talaş kaldırma testi uygulayan araştırmacı, ana kesme kuvvetlerini ve dik kuvvetleri bilgisayar tabanlı bir veri toplama sistemine bağlı olan bir kuvvet dinamometresi kullanarak ölçmüştür. Deneylerde kullanılan kesme koşullarında yuvarlatılmış ağız ve pahlı KBN kesici takımlardaki kuvvet, gerilme ve sıcaklık değerlerinin tahmini için nümerik sonlu elemanlar simülasyonları kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları

* Burada h deforme olmamış talaş kalınlığıdır ve Fang'a (2003b) ait çalışmada t_1 olarak geçmektedir

** Burada h_c deforme olmuş talaş kalınlığıdır ve Fang'a (2003b) ait çalışmada t_2 olarak geçmektedir

kesme bölgesi, talaş-kesici takım ve iş parçası-kesici takım ara yüzeylerinde gerilme ve sıcaklığa ait dağılımların elde edilmesini sağlamıştır. Çalışmanın sonucunda yuvarlatılmış KBN takımların düşük kesme kuvvetleri verdiği ancak yüksek talaş yüzeyi sıcaklıklarına sebep oldukları gözlemlenmiştir. Şekil 3.3'de araştırmacıların simülasyon sonucunda yuvarlatılmış KBN takımlar için elde ettikleri noktasal gerilme değerleri görülmektedir. Şekilden, en yüksek gerilme değerinin, yuvarlatılmış kesici ağzın hemen yukarısında talaş yüzeyi üzerinde olduğu anlaşılmaktadır.

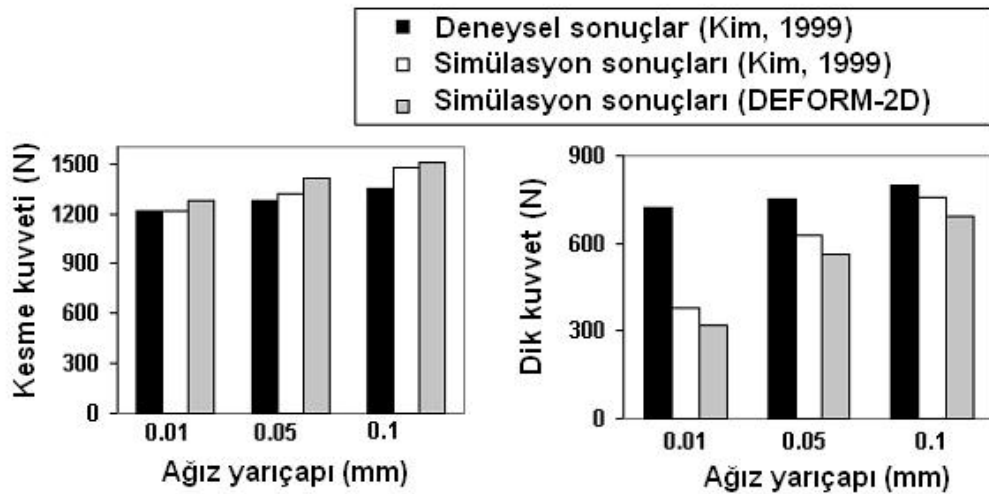


Şekil 3.3 Kesici ağzı yuvarlatılmış KBN takımlar için noktasal gerilmeler ($V=300$ m/dak, $f=0.01$ mm/dev) (Özel 2003).

Almeida vd. (2004) keskin, yuvarlatılmış ve pahlı kesici ağız olarak adlandırılan farklı kesici ağız geometrilerine sahip, basınçsız sinterleme yoluyla üretilmiş, $15\mu\text{m}$ kalınlığındaki CVD elmas kaplamalı yuvarlatılmış silikon nitrür kesici uçlar kullanarak, nümerik kontrollü torna tezgahında 25% Co içeren sert metallerin tornalama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte kesme derinliği (0.1 den 0.3 mm e kadar) ilerleme miktarı (0.03den 0.3 mm e kadar) ve aşınmanın kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini bir dinamometre yardımıyla görüntülemiş ve iş parçasının yüzey bitirmesi ile ilişkilendirmişlerdir. Sonuç olarak CVD elmas takımlarla yapılan sert metallerin tornalama işleminde oluşan kuvvetlerin kesici ağzın körelmesi ile artışının sırasının şöyle olduğunu bulmuşlardır: keskin<pahlı<yuvarlatılmış. Ayrıca

yuvarlatılmış ağızlı takımlar için her test koşulunda film bozulması ve ağız çatlamasına rastlamışlardır.

Sartkulvanich vd., (2004), metallerde talaş kaldırma işlemlerinin sonlu elemanlar metodu simülasyonlarında sağlanan bazı gelişmeleri özetleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, sundukları çalışmada farklı takım malzemeleri için, yuvarlatılmış ve pahlı gibi çeşitli kesici ağız parametrelerinin performansları üzerine odaklanmışlar ve özellikle 1) yuvarlatılmış ve pahlı kesici ağız geometrilerinin karbon çeliklerinin talaşlı imalat değişkenlerine olan etkilerini ve 2) ağız yuvarlaklığı boyutunun A356 T6 alüminyum alaşımının alın frezelenmesinde serbest yüzey aşınması ve çapak oluşum davranışı üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Şekil 3.4, araştırmacıların Deform 2D isimli ticari sonlu elemanlar programı paketi kullanarak, yuvarlatılmış ağızlı takımlarla gerçekleştirmiş oldukları simülasyonlardan elde edilen tahmini kesme kuvveti ve dik kuvvet değerlerini göstermektedir. Aynı zamanda yine Şekil 3.4’de sözü edilen bu tahmini kuvvetlerin talaş kaldırma deneylerinden elde edilen kuvvet değerleri ile de bir karşılaştırması verilmiştir. Artan ağız yarıçapı ile birlikte her iki kuvvetin de artış gösterdiği şekilde açıkça görülmektedir.



Şekil 3.4 Simüle edilmiş kesme kuvveti ve dik kuvvet değerlerinin, farklı ağız yarıçapları için deneylerden elde edilen değerler ile karşılaştırılması (Sartkulvanich vd., 2004)

Araştırmacılar çalışmada, sürekli talaş oluşumunun görüldüğü düzlem gerinmeli ortogonal metallerde talaş kaldırma işlemine ait termo-mekanik bağlı bir sonlu elemanlar modeli oluşturmak için ticari olarak piyasada bulunabilen kapalı bir sonlu elemanlar kodu kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlardan bazıları şunlardır:

- Kesme kuvvetleri ve dik kuvvetler kesici takımın ağız yarıçapının artması ile artar

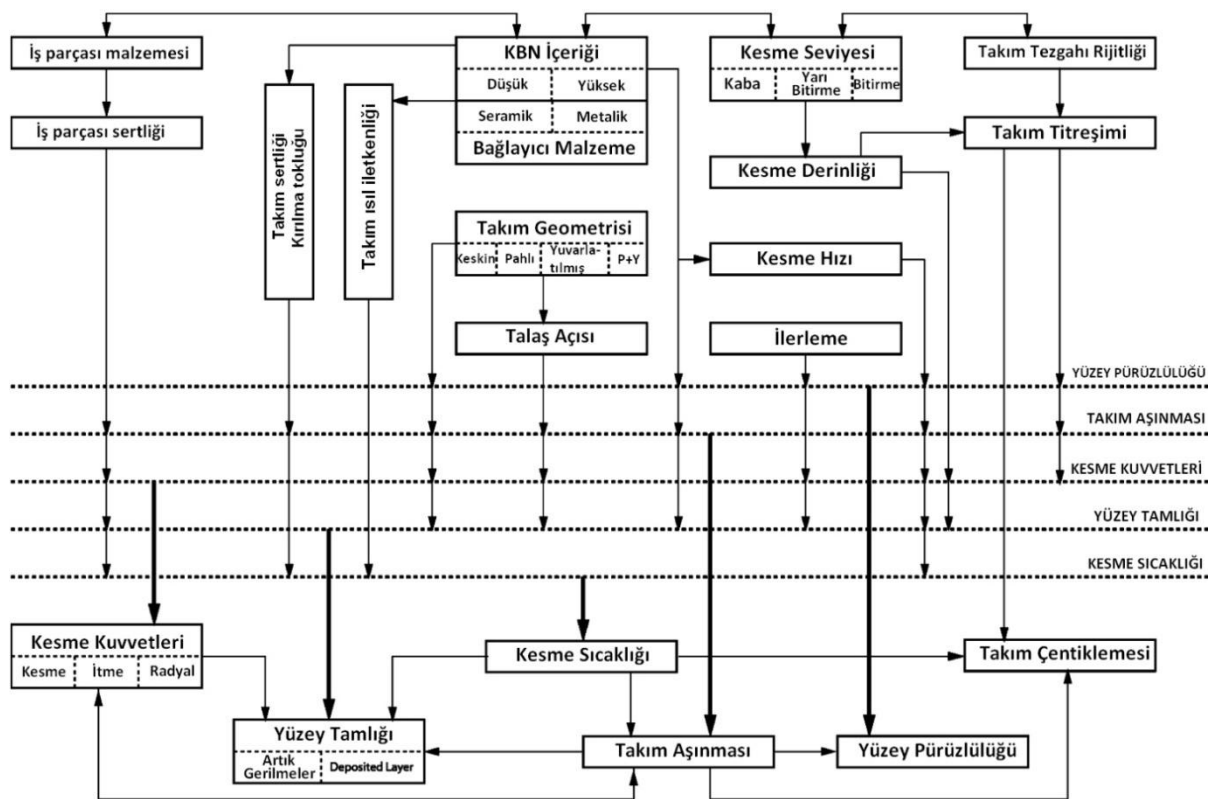
- Ağız yarıçapı büyüklüğü, normal gerilme, kayma gerilmesi ve maksimum sıcaklığı etkilemez. Bununla birlikte takım sıcaklık dağılımını etkiler.
- Kesici takım seçimi, pahlı takımdaki yüksek kesme kuvvetleri ve dik kuvvetler veya yuvarlatılmış takımdaki daha büyük takım aşınması (takım gerilmesi ve sıcaklık dağılımlarından göz önüne alınmıştır.) arasında yapılacak seçime göre gerçekleştirilir. (Sartkulvanich vd., 2004)

Yen vd. (2004), çalışmalarında ortogonal talaş kaldırma işleminde yuvarlatılmış ağızlı ve pahlı gibi kesici ağız hazırlıklarının talaş oluşumu, kesme kuvvetleri, sıcaklık, gerilme ve gerilme gibi işlem değişkenleri üzerine etkilerini sonlu elemanlar metodu simülasyonları kullanarak incelemişlerdir. Yazarlar, ağız tasarımının optimizasyonu için gerekli olan işlem değişkenleri ve işlem mekaniğine ait temel bir anlayış oluşturma amacıyla olmuşlardır. Sonlu elemanlar yöntemi talaş kaldırma simülasyonları kullanarak, çeşitli takım ağız geometrilerinin (yuvarlatılmış ağızlı ve pahlı ağızlı) işlem değişkenleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Talaş kaldırma simülasyon modelinden elde ettikleri sonuçlara dayanarak takım aşınmasının direkt olarak kesme sıcaklığı, takım gerilmeleri ve talaş kayma hızıyla ilişkili olduğu ve takım aşınmasına ait bir mühendislik analizinin çalışılan takım geometrileri için mümkün olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca takım ağız geometrisinin, verilen talaş kaldırma koşulları ile takım iş parçası malzemeleri için en uygun şekle getirilebileceğini de belirtmişlerdir.

Benes (2005), kesici ağızın yuvarlatılmasını ele aldığı makalesinde, konuyla ilgili olarak yaptığı çalışmalar ile tanınan Dr. Willam J. Endres'in görüşlerinden bahsetmiş ve ağız hazırlanmasında kullanılan yeni bir yöntem olan "mühendislik mikro-geometri" yöntemini tanıtmıştır. Uygulanan işlem, bilgisayarlı nümerik kontrollü yoğunlaştırılmış silikon karbür tel fırçaların kullanımı ile 0.00762 mm toleransında tutarlı ve hassas olarak şekillendirilmiş kesici ağızlar meydana getirebilmektedir. Böylece geleneksel honlama işlemlerine göre daha hassas sonuçlar elde edilebilmektedir. Ayrıca yazıda daha verimli talaş kaldırmaya imkan sağlayan değişken ağız hazırlığına da değinilmiştir.

Fang ve Wu (2005), çalışmalarında talaşlı imalattaki, kesici takım ağız geometrisinin etkileri üzerine yapılan deneysel ve teorik çalışmalar gerçekleştirmiş ve pahlı ile yuvarlatılmış kesici ağıza sahip takımları incelemişlerdir. Çalışmalarının faaliyet alanı metallerde ortogonal talaş kaldırma ile sınırlıdır. 70775-T6, 6061-T6, 2024-T351 gibi üç farklı alüminyum alaşımını araştırmanın amaçları doğrultusunda iş parçası olarak seçen araştırmacılar, kesme kuvveti, dik kuvvet, kesme kuvvetinin dik kuvvete oranı ve talaş kalınlığı değerlerini ölçmüşlerdir. Daha sonra pahlı ve yuvarlatılmış gibi farklı tipteki kesici takımlar ile yapılan talaşlı imalat

işlemlerinin benzerlikleri ve farklılıklarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak hem pahlı hem de yuvarlatılmış takımlar için deforme olmamış talaş kalınlığının kesme hızı ve takım geometrisi ile değişim gösteren kritik değerden düşük olması durumunda dik kuvvetin, kesme kuvvetinden büyük olabildiğini gözlemlemişlerdir. Araştırmacılara göre bu talaşlı imalat fenomeni, pahlı ağızlı takımlar ve yuvarlatılmış ağızlı takımların sahip olduğu negatif talaş açısı ile yakından ilgilidir. Bu çalışma için belirlenmiş kesme koşulları altında pahlı takımlar daha büyük kesme kuvvetlerine neden olmakta ancak daha küçük kesme kalınlıklarında çalışmaktadırlar. Ayrıca çalışmadan büyük kuvvetin büyük talaş kalınlığı ile ortaya çıktığına dair geçerli olan bakış açısının her zaman doğru olmadığı görülebilir (Fang ve Wu, 2005).



Şekil 3.5 Sert tornalama işlemindeki faktörler arasındaki ilişkiyi gösteren akış diyagramı
(Özel vd., 2005)

Özel vd., (2005), sert tornalama işlemindeki, kuvvetler, takım aşınması, işlenmiş yüzeylere ait tamlık ve pürüzlülük gibi özellikleri etkileyen faktörler üzerinde çalışmışlar ve bunların birbiri üzerine olan etkilerini oluşturdukları akış diyagramda göstermişlerdir. Bu diyagram Şekil 3.5’de yer almaktadır. Araştırmacılar ölçmüş oldukları yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri verilerindeki önemli istatistiksel eğilimleri tanımlamak için varyans analizi (ANOVA) kullanmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü değeri R_a ve kesme kuvvetinin her bileşeni için başka bir deyişle eksenel (ilerleme), radyal ve teğetsel (esas kesme) kuvvetler için ayrı bir

ANOVA analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yazarlar, AISI H13 çeliğinin bitirme sert tormalama işleminde kesici ağız geometrisi, iş parçası yüzey sertliği ve kesme koşullarının, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine olan etkileri ile ilgili detaylı bir deneysel inceleme sunmuşlardır.

Elde etmiş oldukları sonuçlar, kesici ağız geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin önemli ölçüde anlamlı olduğunu göstermektedir. Kesme kuvveti bileşenleri sadece kesme koşullarından değil, kesici ağız geometrisi ve iş parçası yüzey sertliğinden de büyük oranda etkilenmektedir. Kesici ağız geometrisi, iş parçası sertliği ve kesme hızı, kuvvet bileşenlerini etkilemektedir. Düşük iş parçası yüzey sertliği ve küçük ağız yarıçapı, küçük teğetsel ve radyal kuvvetlere sebep olmaktadır.

Ranganath vd. (2005), uygun hassaslık seviyeleri içinde tahmin yaparak, yuvarlatılmış ağızlı takımlarla talaş kaldırma esnasındaki kuvvetleri belirleyen mekanistik bir modeli tanımlamışlardır. Ayrıca çalışmada, ağız yarıçapının $(h/r)^*$ oranı ile temsil edildiği, yuvarlatılmış takımlarla talaşlı imalattaki kuvvet katsayıları için yeni, deneysel bir ayarlama yöntemi önerilmiştir. Önerdikleri modelin en önemli faydası, h/r oranının, talaş kalınlığı ile ilgili olarak, ağız yarıçapının mutlak değerinden çok yalnızca rölatif büyüklüğüne bağlı olan normalize edilmiş bir parametre olmasıdır.

Chen vd. (2006), ağız hazırlığı ile ilerlemenin kesici takım ömrüne ve artık gerilmelere olan etkisi incelemişlerdir. Çalışmada Keyfi Lagrange ve Euler (ALE) formülasyonuna dayalı 2 boyutlu bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve takım aşınması miktarı ile artık gerilme profilini açıklamak için kullanılmıştır. Araştırmacılar yaptıkları analizler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır:

- Kesici ağızda bulunan durgunlaşmış iş parçası malzemesinin boyutu, pahlı ağız için daha büyüktür. (ALE) formülasyonu ile takıma ait tahmin edilen hız alanı, ani durma testlerinden elde edilen sonuçlarla uyumludur.
- İş parçası sıcaklıkları ve plastik gerinme değerleri pahlı takım ile yapılan talaşlı imalatta daha büyüktür. Benzer şekilde kesici ağız yuvarlatılmış takım için batma derinliği de daha fazladır.

* Burada h/r deforme olmamış talaş kalınlığının kesici ağız yarıçapına oranıdır ve Ranganath vd.'ne (2005) ait çalışmada (t_c/r_e) olarak geçmektedir.

0.07 mm'lik ilerlemede pahlı ağız yüzeyde daha az basma artık gerilmesi üretmiştir. Bununla birlikte işlenen yüzeyin uzağında basma gerilmesi değeri ve iş parçası malzemesine doğru olan batma derinliği artmaktadır (Chen vd., 2006).

Özel ve Karpaz (2006), yapmış oldukları araştırmada pahlı ve yuvarlatılmış takımlarla yapılan ortogonal talaş kaldırmada ölü metal bölgesinin varlığında takım talaş sürtünme faktörlerini incelemek için kayma-hattı alan analizi ve sonlu elemanlar yöntemi simülasyonları kullanmışlardır. Bunun yanı sıra ölü metal bölgesi etkisi altındaki kesici ağız yuvarlatılmış takımlar için bir kayma-hattı modeli önermişler ve sürtünme faktörlerini deneysel ölçümler yardımıyla tanımlamışlardır. Araştırmacıların elde ettiği sonuçlar, önerilen kayma-hattı modellerinin, deneysel verileri temsil edebildiğini göstermektedir.

Toz metalürjisi ile üretilmiş yüksek hız çeliği freze uçları ile araştırmalar yapan Rech ve Schaff (2006), farklı kesici ağız yarıçaplarına sahip kesici takımların aşınma davranışlarını çeşitli ilerleme değerleri ve kesme hızlarında deneysel olarak incelemişlerdir. Kullanmış oldukları takımlara ait kesici ağız yarıçapları honlama ya da mikro-kumlama yöntemlerinden biriyle elde edilmiştir. Ayrıca ağız hazırlığı işleminin etkisi, yüzey dokuları ve daha sonradan PVD yöntemi ile TiN ve AlN ile kaplanan toz metalürjisi ile üretilmiş yüksek hız çeliği takımların (PM-HSS) yüzey performansları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde ettikleri sonuçlar, kesici ağızda bulunan yarıçapın, hızlı ve beklenmedik aşınmanın önüne geçerek daha uzun bir takım ömrü sağladığını göstermektedir.

Araştırmacılar kuru frezeleme işlemlerinde en iyi performansı 10 µm'lik ağız yarıçapına sahip yuvarlatılmış kesici takımlar ile elde etmişler ve bu tip takımların, genelde kullanılan standart takımlara göre kesici takım ömrünü 4-5 kat arttırabildiğini görmüşlerdir. Bu küçük kesici ağız yarıçapı, PM-HSS takımları, yüksek çekme gerilmesinin yerel artışının sebep olduğu küçük kopmalardan korumaktadır. Çok büyük yarıçaplar için kesici takım bozulması heterojen bir görünümde ki bu da frezelemedeki aşınma oranlarını arttırmaktadır. Bunun dışında Rech ve Schaff (2006), takım ömrü performansını ve uygun olarak tasarlanmış kesici ağız mikro-geometrilerini geliştirmek için güvenli ve tekrarlanabilir bir imalat işleminin gerekliliğini vurgulamışlar ve bu açıdan bakıldığında honlama işleminin, kumlama yöntemine göre daha güvenilir olduğunu tespit etmişlerdir.

Waldorf (2006), yapmış olduğu çalışmada kesici ağız geometrisinin talaş kaldırma kuvvetleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, değiştirilmiş teorik bir modele deneysel veri sağlamıştır. Bu çalışmadan önce yayınlamış olduğu kayma-hattı modelini basitleştirilmiş ve

Yazarların elde ettiği sonuçlar büyük bir gerinmenin temel olarak 2. deformasyon bölgesinde takım talaş ara yüzeyi ve işlenmiş yüzey boyunca meydana geldiğini göstermektedir. Büyük gerinme hızı değerleri ise 1. ve 3. deformasyon bölgelerinde bulunmaktadır. Büyük bir

gerilme, yuvarlatılmış takım ağzı üzerindeki 1. (ana) deformasyon bölgesinde görülmüştür. Yapılan çalışmadaki kesme koşullarında maksimum sıcaklık, yuvarlatılmış takım ağzı üzerinde meydana gelmektedir.

Pawade vd. (2007), takım ağız geometrisinin ve talaş kaldırma parametrelerinin talaşlı imalattaki kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları araştırma, farklı süreç ve takımlara bağlı değişkenlerin kesme kuvvetlerine etkilerini, işlenmiş yüzey tamlığının dolaylı bir ölçümünü, bunun yanında Inconel 718 in yüksek hızlı talaş kaldırma işlemlerinde işlenmiş yüzey hasarının detaylı bir mikro yapısal analizini araştıran deneysel bir inceleme içermektedir. Araştırmacılar çok kristalli kübik bor nitrür (ÇKBN) takımlar kullanarak gerçekleştirilen Inconel 718 in yüksek hızda tornalama işlemindeki kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesici ağız geometrisinin kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey hasarı üzerine etkilerini tartışmışlardır. Elde ettikleri bazı sonuçlar şunlardır:

- 1- Yuvarlatılmış + pahlı ağız geometrisi, kesme kuvvetlerini yalnızca hacimsel malzeme kaldırma oranı düşük olduğunda etkiler.
- 2- Minimum kuvveti veren en iyi koşul 30°'lik pahlı + yuvarlatılmış ucun kullanıldığı 475m/dak kesme hızı 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 0,50 mm kesme derinliğidir.

Son olarak Ranganath vd. (2007), talaş kaldırmada kullanılan kesici takım ve kesici takım uçlarındaki yuvarlatılmış ağızda meydana gelen talaş kaldırma kuvvetlerinin etkilerini modellemeye dönük bir mekanistik yaklaşımı tanımlamışlardır. Bu yaklaşım, farklı yuvarlatılmış ağız yarıçaplarına sahip yuvarlatılmış ağızlı takımlarla talaş kaldırma yaparken, söz konusu takımlar için talaş kalınlığının kesici ağız yarıçapına olan oranı ve talaş kaldırma yapılan kesme hızları aynı ise, bu farklı durumlar için kayma kuvvetlerinin sürme kuvvetlerine olan oranın da aynı kalacağını önermektedir. Bu konsept başka hiçbir ek parametreye ihtiyaç duymadan, talaşlı imalattaki kuvvet katsayılarını etkileyen kesici takım ve talaş kaldırma parametrelerini ayırmaya dönük, oldukça basit bir ayarlama tekniği sunmaktadır. Kayma gerilmesinin kayma gerinmesi ve gerinme oranına bağlı olduğunu belirten önceki temel malzeme davranış modellerini kullanarak, mevcut modelde özellikle ağız yuvarlaklığının altında kesme yaparken, kuvvetleri eş zamanlı olarak etkileyen aşırı negatif talaş açıları ve talaş kalınlıklarının etkilerini ayıran bir prosedür tanımlanmıştır.

Çalışmadan elde edilen bazı sonuçlar şunlardır:

1. Eğer kayma açısı yalnızca talaş açısının bir fonksiyonu ise, talaş kaldırma kuvvetleri /

sürme kuvvetleri oranının benzer hızlarda işlenen malzemeler için benzer olacağı hipotezini ortaya koyan, mekanistik bir model önerilmiştir.

2. Kayma açısının, talaş açısı ve talaş kalınlığının bağımsız fonksiyonu olduğu malzemelerde yukarıdaki hipotez, ağızdan gelen sürme etkisinin önemli ölçüde baskın olmaya başladığı talaş kalınlığının ağız yarıçapına oranın $(h/r)^*$ çok küçük olduğu değerlerinde (örnek olarak gri dökme demir için <0.1) yukarıdaki hipotez doğrudur.
3. Yukarıdaki hipotezi kullanarak toplam talaş kaldırma kuvvetlerini (sürme ve kayma) eş zamanlı olarak etkileyen talaş kalınlığı ve efektif talaş açısı gibi 2 bağımsız faktörü ayırmanın mümkün olduğu kanıtlanmıştır.
4. Modele ait deneysel doğrulama, sabit hız ancak değişen talaş kalınlıklarında gri dökme demir boruların talaşlı imalatında tamamen keskinden büyük yarıçaplıya kadar ($15-72 \mu\text{m}$) değişen boyutlarda kaplamalı karbür uçlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ranganath vd., 2007).

* Burada $(h/r)^*$ deforme olmamış talaş kalınlığının kesici ağız yarıçapına oranıdır ve Ranganath vd. (2007) ait çalışmada (t_c/r_e) olarak geçmektedir

4. KESİCİ AĞZI YUVARLATILMIŞ TAKIMLARLA METALLERDE TALAŞ KALDIRMANIN İNCELENMESİ

4.1 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Önemi

Talaşlı imalat işlemlerine ait modellerde genellikle, talaş kaldırmayı gerçekleştiren takımın sonsuz keskinlikte bir kesici ağza sahip olduğu varsayımı yapılır. Bununla birlikte “keskin” olarak tanımlanan kesici ağızlar bile doğal bir yuvarlaklığa sahiptir. Ağızlar mükemmel olarak keskin olamazlar ve genellikle tipik keskin takımlar bile 10-15 μm gibi küçük ağız yarıçaplarına sahiptir. Tahmin edilen ve ölçülen talaş kaldırma kuvvetleri arasında görülen hata kaynaklarının en büyüklerinden biri söz edilen bu ağız yarıçapına ait katkının göz önüne alınmamasıdır (Ranganath vd., 2005).

Yuvarlatılmış kesici ağızların etkisini anlama gereksinimi, daha hassas talaş kaldırma operasyonları ve mikro ölçekli talaş kaldırma gibi yeni teknolojilerin ortaya çıkmasıyla birlikte artmıştır. Bu işlemler, takım ağzındaki talaş kaldırma mekanizmasına önemli katkıda bulunan oldukça küçük kesme derinlikleri ile karakterize edilirler, bir başka deyişle bu talaş kaldırma operasyonlarında, deforme olmamış talaş kalınlığı genellikle takım ağız yarıçapından küçük ya da çok küçüktür (Fang, 2003a). Ayrıca kesici takımlarda kullanılan malzemeler ve kaplamalarda görülen teknolojik ilerlemeler, takım ağızlarında daha büyük ağız yarıçapı kullanılması gerekliliğini giderek arttırmaktadır. Çökertme yoluyla gerçekleştirilen kaplama işlemleri (özellikle CVD) sonrasındaki gerilme farklılıkları, yuvarlatılmış ağızın kullanılmaması durumunda çatlamalara öncülük edebilir.

Yuvarlatılmış kesici ağızın varlığı talaş kaldırma işlemini çeşitli şekillerde etkiler. Kesici ağız yarıçapının varlığında, ağız sadece daha güçlü ve küçük kopmalara karşı daha dayanıklı olmakla kalmaz aynı zamanda sözü edilen yarıçap, talaş kaldırma operasyonun performansını ve etkinliğini arttıran kaplama tekniklerinin özellikle de CVD gibi tekniklerin uygulanmasını kolaylaştırır. Özel talaş kaldırma koşulları için titreşim azaltan bir sönümleme etkisi talaş kaldırma işlemine dahil edilmiş olur. Ancak iş parçasında görülen aşırı plastik deformasyona bağlı olarak, yuvarlatılmış ağız aynı zamanda *sürme kuvvetinin* miktarını da artırır. Isı oluşumu ve ısı geçişi değişir, böylece kesici ağız yuvarlaklığı tarafından gerçekleştirilen sürme hareketi ve ovalama sebebiyle işlenmiş yüzeye ait artık gerilme davranışı ve buna ek olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri değişir.

Yukarıda anlatılanların ışığında anlaşılmaktadır ki kesici ağız yuvarlaklığı, modern metallerde talaş kaldırma takımlarının olmazsa olmaz bir geometrik parçası haline gelmiştir.

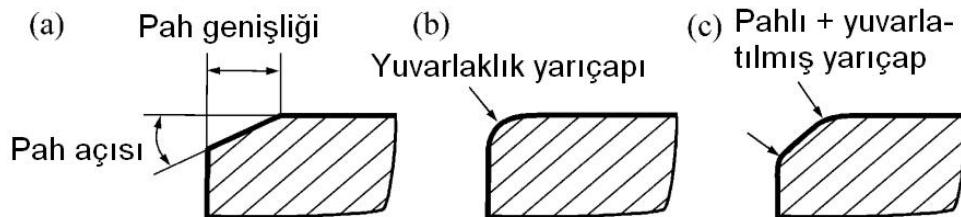
Boyutlandırılabilir bir ağzın varlığı, talaş kaldırma sırasındaki kuvvet ve sıcaklıkları özellikle de kesici ağız yarıçapına eşit ya da bunun altındaki deforme olmamış talaş kalınlıklarında önemli ölçüde etkileyebilir. Pratik bir bakış açısıyla bu tip bir kesici ağzın, işlenmiş yüzeyin kalitesi ve hassasiyeti, bununla birlikte takımın ömrü ve kendisi üzerinde etkisi mevcuttur. Kuvvetlerin, talaş kaldırma işlemine ait önemli işaretler olarak göz önüne alınmasından dolayı kuvvet modellerinin geliştirilmesi, yuvarlatılmış ağzların etkisinin anlaşılması bakımından iyi bir ilk adım olacaktır.

4.2 Kesici Ağız Hazırlığı ve Kesici Ağız Yuvarlatma Yöntemleri

4.2.1 Kesici Ağız Hazırlıkları

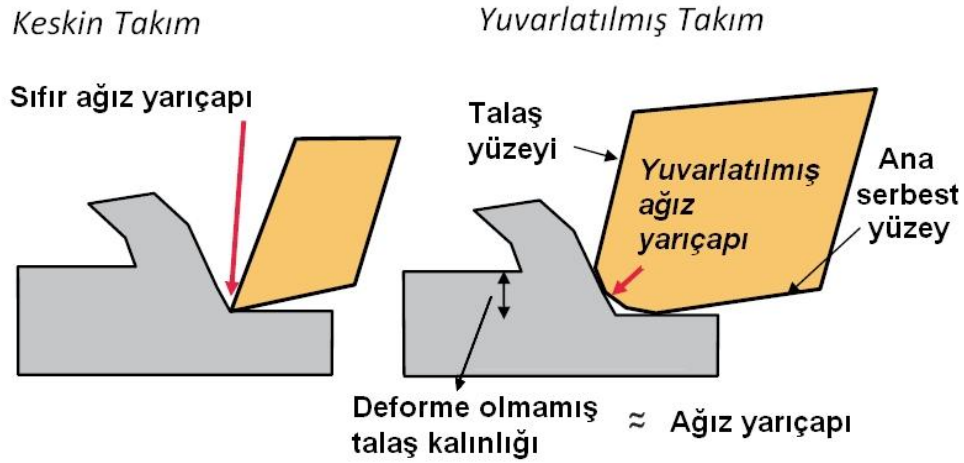
Bitirme sert tornalama ve mikro talaş kaldırma gibi çeşitli talaşlı imalat tekniklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte kesici ağız geometrisinin etkilerinin anlaşılması son yıllarda giderek artan bir önem kazanmıştır. Bu tip talaşlı imalat işlemlerinde, deforme olmamış talaş kalınlığı, genellikle kesici takım ağzının boyutları ile aynı büyüklük mertebesinde-dir. Önemli ölçüde deneysel kanıt ve teorik analiz, takıma ait kesici ağzın talaş oluşumu, kesme kuvvetleri ve sıcaklıklar, takım aşınması (takım ömrü), işlenmiş yüzey pürüzlülüğü ve artık gerilmeler gibi talaşlı imalata ait temel kavramlar üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Keskin ucu ortadan kaldırmak ve talaşlı imalat sırasında görülen ağızda karşılaşılan küçük kopmalar, çatlaklar ve kırılmalar gibi ağızla ilgili problemleri azaltmak için takım üreticileri pek çok farklı tipte kesici takım ağız geometrisi sunmaktadırlar ve bunlar genellikle “ağız hazırlığı” olarak adlandırılır (Fang ve Wu, 2005). Ağız hazırlığı tasarımına ait özellikler genellikle oldukça geniş deneysel çalışmalar sonrasında şekillendirilirler. Yapılan mevcut çalışmalara göre, ağız geometrisinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu açıkça görülmektedir. (Fang ve Fang, 2007). Aşağıda yer alan Şekil 4.1’de günümüzde sıklıkla kullanılan üç farklı kesici ağız hazırlığı tipi görülmektedir.



Şekil 4.1 Ticari takımlarda sıklıkla kullanılan kesici ağız hazırlıkları (Fang ve Wu, 2005).

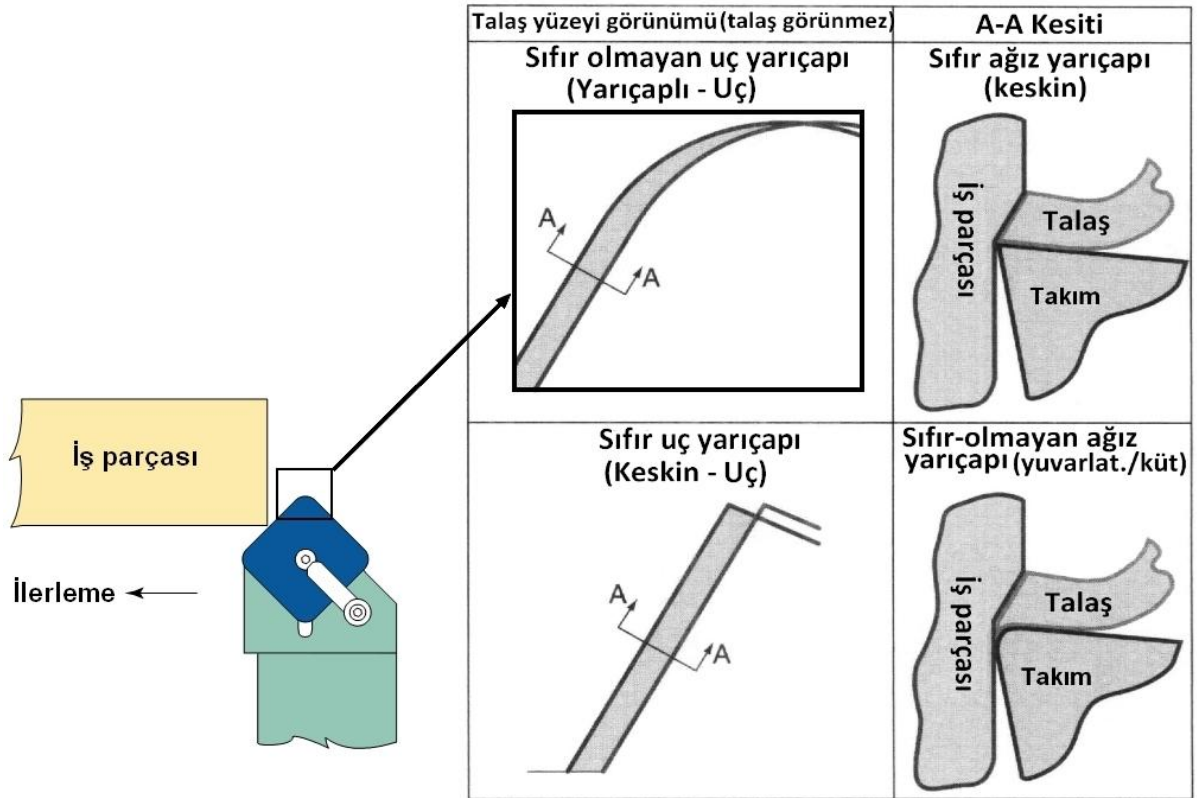
Boyutlandırılabilir bir kesici ağzın varlığı talaş kaldırma sırasındaki kuvvet ve sıcaklıkları, özellikle yuvarlaklık yarıçapına eşit veya bundan daha küçük talaş kalınlıklarında önemli ölçüde etkileyebilir (Ranganath vd., 2007). Ağız hazırlığı kullanmanın amaçları kesici ağzı güçlendirmek ve yüzeyi daha sonra yapılacak olan kaplama işlemi için uygun hale getirmektir çünkü bazı kaplama yöntemlerinin keskin köşeli takımlara uygulanması mümkün değildir. Buna ek olarak yuvarlatılmış kesici ağızlar çentik aşınmasının başlamasını geciktirebilirler ve genellikle bitirme talaş kaldırma işlemlerinde kullanılırlar. Pahlı ağızlar ise ağır yüklerin söz konusu olduğu, kaba talaş kaldırma gibi operasyonlarda tercih edilirler (Yen vd., 2004). Takım geometrisinin tasarımı, deformasyon bölgelerinin şekli, takım yüzeyindeki sıcaklık ve gerilme dağılımları ve kesme kuvvetleri gibi çeşitli işlem parametrelerini etkiler.



Şekil 4.2 Keskin ve yuvarlatılmış takımlarla talaş kaldırma (Ranganath vd., 2007).

Şekil 4.2’de keskin ve yuvarlatılmış takımlarla gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemlerine ait geometrik farklılıklar görülmektedir. Keskin takım ile yapılan talaş kaldırma işleminin ağız yarıçapının sıfır olduğu kabul edilirken, yuvarlatılmış kesici ağızlı takımlarla yapılan talaş kaldırma işleminde sıfırdan farklı olan, boyutlandırılabilir bir ağız yarıçapının varlığı söz konusudur.

Burada bahsedilen ağız yarıçapı ile uç yarıçapı birbirine karıştırılmamalıdır. Bu iki kavram arasındaki farkı belirtmek adına uç yarıçapı (yada burun yarıçapı) olarak bilinen kavrama da değinilecektir. Uç yarıçapı takıma ait ana kesen ağız ile yan kesen ağızı birleştirirken ağız yarıçapı ise talaş yüzeyi ve ana serbest yüzeyi birleştirir ve iş parçası malzemesinin talaş ve



Şekil 4.3 Uç yarıçapı ile ağız yarıçapı arasındaki fark

işlenmiş yüzeyi oluşturmak için ayrıldığı bölgede yer alır. Şekil 4.3’de, bahsedilenler detaylı olarak görülmektedir. Uç yarıçapının en önemli katkısı kesici ucun yapısının bozulmasını engellemek ve takım ömrünü arttırmaktır.

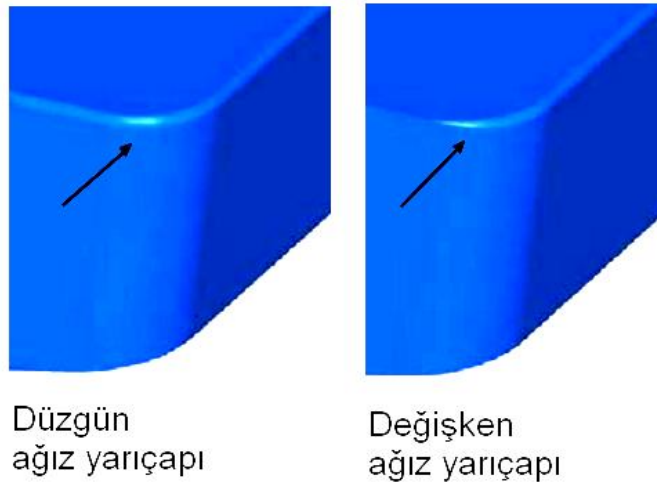
4.2.2 Kesici Ağız Yuvarlatma İşlemleri

Verilen bir işlem için uygun ağız hazırlığının uygulanması kolay bir iş değildir. Son zamanlarda kesici takımlardan beklenen yüksek kaliteler ve aşınma ile sertliğe karşı yeterli dayanım isteği bu takımların işlenmesini zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte uygun kesici ağız hazırlığının takımın performansı ve hizmet ömrü üzerinde büyük etkisi vardır. Uygun ağız hazırlığı, çentiklenme, ısı kaynaklı hatalar ve yığılma ağız oluşumu gibi sık görülen olumsuzlukları azaltarak takım ömrünü artırır. Uygun olarak yuvarlatılmış takımlar ayrıca talaşlı imalatın tekrarlanabilirliğini artırırlar (Benes, 2005). Çeşitli ağız yarıçaplarına sahip kesici takımlar, mekanik işlemler kullanılarak imal edilebilir. Piyasadaki mevcut işlemler içinde *mikro-kumlama* işlemi kaplama üreticileri tarafından en çok kullanılan işlemlerdendir. Ayrıca kesici ağız yarıçapı oluşturmak için *honlama* işlemi de ortaya çıkmıştır. Bu işlemin

avantajı, geniş bir aralıktaki yarıçap değerlerini oldukça yüksek bir güvenilirlik ve tekrar edilebilirlik ile esnek bir şekilde oluşturabilmesidir (Rech ve Schaff, 2006).

Kesici takımlardaki ağız honlama işlemi mikroskobik ölçüde gerçekleştirilen ve sıkı toleranslar ile birbirine bağlı komple bir proses kontrolü gerektiren aşındırıcı bir süreçtir.

Rech ve Schaff (2006) yapmış oldukları araştırmada hem mikro kumlama hem de honlama yöntemleriyle üretilmiş kesici takımlar kullanarak takım aşınmasını incelemişlerdir. Mikro-kumlama işlemini incelemek için ticari bir kumlama aparatı kullanılmışlar ve uygulama sonucunda $10\text{ }\mu\text{m}$ 'lik bir kesici ağız yarıçapı elde edildiğini kabul etmişlerdir. Honlama işlemi içinse, genellikle parlatılan parçaların veya kalıpların çapak alma işleminde kullanılan ticari bir honlama sistemini, kesici ağız hazırlığı oluşturmak için adapte etmişlerdir. Söz konusu işlem, kesici ağız civarına ($30\text{ }\mu\text{m}$ 'lik yarıçapa sahip) SiC parçacıklar içeren aşındırıcı bir macunun ekztürüzyonunu içermektedir. Macun hacmindeki bir değişiklik kesici ağzın son yarıçapında görülen değişime öncülük etmektedir. Araştırmacılar, çalışmanın sonunda kumlama işlemi uygulanmış uçların aşınma davranışlarının, honlama uygulananlar kadar güvenilir olmadığı sonucuna varmışlardır.

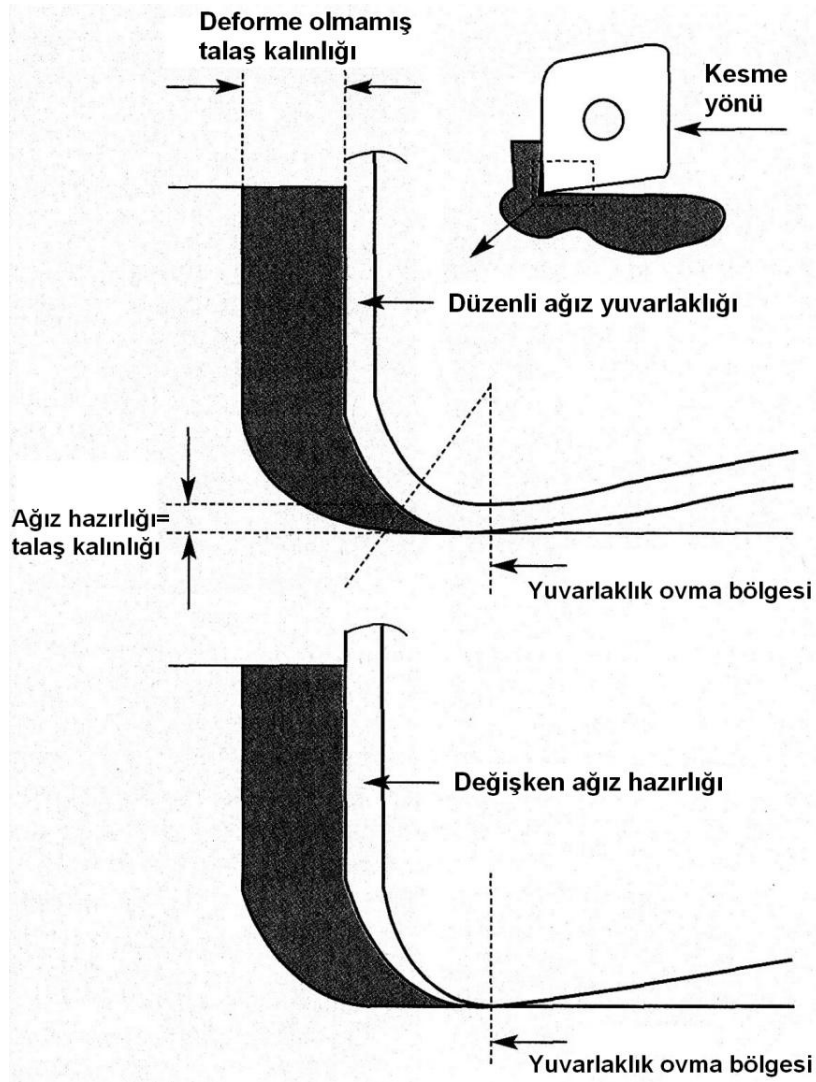


Şekil 4.4 Düzgün ağız yarıçapına ve değişken ağız yarıçapına sahip takımlar. (Sartkulvanich vd. 2004)

Kesici takıma ait ağzın ön kısmında, deforme olmamış talaş kalınlığı en büyük değerdedir ve bu sebeple kesici ağız için maksimum koruma gereklidir. Bununla beraber takımın arka kenarında deforme olmamış talaş kalınlığı sıfıra yaklaşmaktadır ve yuvarlaklık da bu sebeple azalmaktadır. Ön kesici kenarı korumak için sabit yuvarlaklığa sahip olarak boyutlandırılmış bir kesici takımda, arka kenardaki yuvarlaklık, deforme olmamış talaş kalınlığından daha büyüktür, böylece kesici ağız malzemeyi yetersiz olarak uzaklaştırır ve sürtünme, kesme

kuvveti, sıcaklık ve aşınma artar. Yukarıda sayılan olumsuz etkilerden korunmak adına değişken kesici ağız yarıçapı kavramı ortaya çıkmıştır. Tipik düzgün yuvarlatılmış ağızlı takımdan farklı olarak değişken kesici ağız hazırlıklarına sahip olan takımlarda, takımın kesici ağız yarıçapı takıma ait uç yarıçapı etrafında yavaş yavaş azalır ve düz arka kenar üzerinde keskin bir hal alır. Bu durum Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

Son zamanlara kadar kesici ağız hazırlığı ile ilgili yöntemlerin gelişimi kesici takımlara ait malzeme, geometri ve kaplamalar gibi bileşenlerinde görülen ilerlemeler kadar hızlı olmamıştır. Ancak son dönemde bulunan “*mühendislik mikro-geometri*” yöntemi ile aynı takıma ait ayrı yüzeyler üzerinde değişen boyutlarda ağız yuvarlaklıkları üretilebilmektedir.



Şekil 4.5 Düzgün ağız yarıçapına ve değişken ağız yarıçapına sahip takımlar (Benes, 2005)

Uygulanan işlem, bilgisayarlı nümerik kontrollü yoğunlaştırılmış silikon karbür tel fırçaların kullanımı ile 0.00762 mm toleransında tutarlı ve hassas olarak şekillendirilmiş kesici ağızlar meydana getirebilmektedir. Böylece geleneksel honlama işlemlerine göre daha hassas sonuçlar elde edilebilmektedir (Benes, 2005). Şekil 4.5 düzgün ağız yarıçapı ve değişken ağız yarıçapına sahip takımları karşılaştırmaktadır. Malzemenin yalnızca çok az bir kısmının kesildiği ve deforme olmamış talaş kalınlığının sıfıra yakın olduğu, takımın arka kenarında yuvarlaklık boyutunun azaltılması, yuvarlaklık ovma bölgesini küçültmekte, böylece takımlar daha verimli kesim yapabilmektedirler.

Değişken kesici ağız hazırlıklarına sahip olan takımlar, değişken kesici ağız boyutlarının, takım ile iş parçası arasına kesilen malzeme sıkıştırmaması sebebiyle daha verimli kesim yaparlar. Değişken ağız hazırlıkları ayrıca, takım ovalaması ve takım basınçlarını minimize ederken, takım kuvvetleri, takım sıcaklıkları ve malzeme sıcaklıklarını düşürürler. Sonuçta uzun takım ömrü, parçalar üzerinde iyi yüzey bitirmeleri, düzlük ve minimum çapak oluşumu elde edilir.

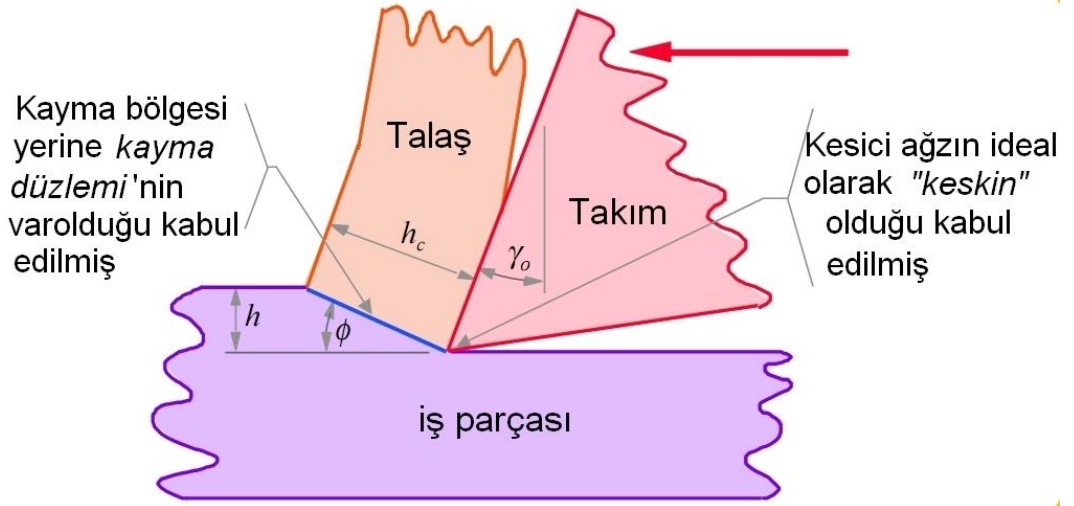
Uygun ağız hazırlığının en açık ve doğrudan yararı, takım ömrünü arttırmasıdır. Benes (2005) uygulanan yeni yöntemin hizmet maliyetinin, takım değişim maliyetinin %10-20 si arasında olduğunu ve takım ömrünü %300 ile 800 arasında arttırabildiğini belirtmektedir. Daha uzun takım ömrü, takım değişimlerini ve yeniden taşlama ihtiyacını azalttığı ve bu yolla maliyet kazanımları sağladığı için önemlidir. Ayrıca yine aynı makalede arttırılmış takım ömrünün yararının Inconel ve Titanyum gibi pahalı ve sert malzemelerin kullanıldığı havacılık sektörü ve medikal uygulamalarda dramatik şekilde kendini gösterdiği ifade edilmiştir. Havacılık endüstrisindeki 718 Inconel in delik delme işlemlerinde, bahsedilen yeni yöntemin kullanılmasının ardından, helikopter rotorlarında açılan delikler incelendiğinde, herhangi bir ilerleme/hız değişimi olmadan tek seferde açılabilen delik sayısı 30'dan 60'a çıkmıştır (Benes, 2005).

4.3 Geleneksel Talaş Kaldırma Modeli ve Yuvarlatılmış Kesici Ağızlı Takımlar İçin Önerilen Talaş Kaldırma Modelleri

Talaşlı imalat işlemlerinin analizinde sıklıkla kullanılan, temelleri 1940'lı yıllarda Merchant tarafından atılan talaş kaldırma modelinin geometrisi Şekil 4.5'de görülmektedir. Ortogonal talaş kaldırmaya uygun olarak geliştirilmiş bu model gerçekte üç boyutlu olarak gerçekleşen talaş kaldırma işlemini iki boyutta incelemekte ve yapılacak hesaplamaları kolaylaştırmak adına bir takım kabuller içermektedir. Gerçekte böyle olmamasına karşın kullanım kolaylığı açısından yapılan bu kabullerle idealize edilen model, önerildiği tarihten bu yana büyük bir

kullanım alanı bulmuştur. Bu modele ait en temel kabul, Şekil 4.6'dan da görülebileceği gibi kesici ağzın tamamen keskin olduğuna dayanan kabuldür. Ve yine buna bağlı olarak kayma işleminin yatay ile ϕ açısı yapan bir hat üzerinde gerçekleştiği, yani bir kayma bölgesi yerine bir kayma düzleminin var olduğu kabul edilmiştir.

Modele göre, kesici takım ile iş parçası arasındaki göreceli hareket sonucunda takım, kesici ağzın iş parçası ile temas etmesiyle talaş kaldırmaktadır. Takımın talaş yüzeyinin dikey ile yaptığı açı talaş açısıdır ve γ_o ile gösterilmiştir. İş parçası yüzeyinden h ile gösterilen deforme olmamış talaş kalınlığı kadar derine batan kesici ağızdan itibaren talaş, iş parçası malzemesinden talaş yüzeyi üzerinde kayarak h_c kalınlığında ayrılır.

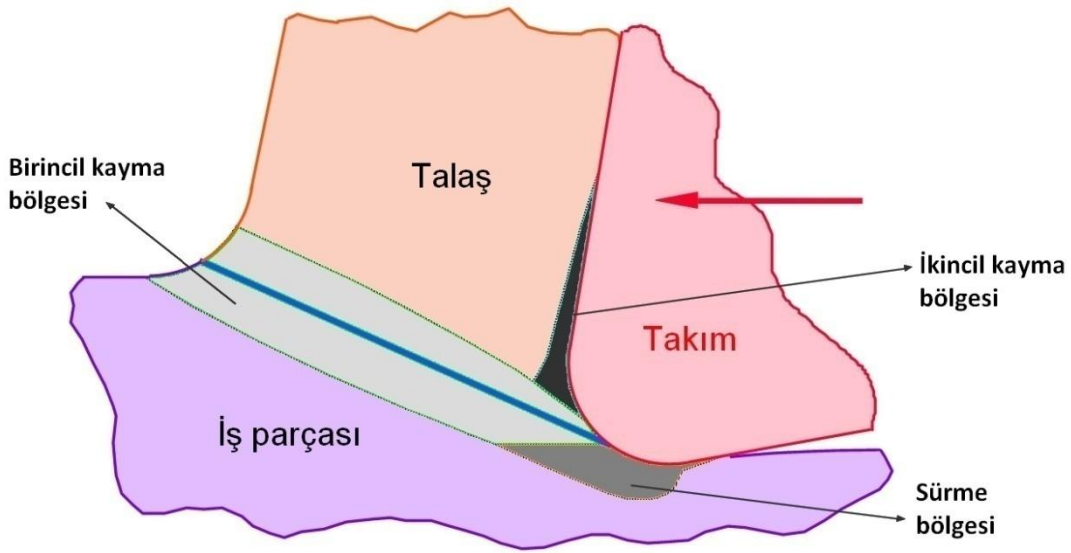


Şekil 4.6 Geleneksel Talaş Kaldırma Modeli (Endres, 2000)

Yukarıda anlatılan geleneksel model, hesaplarda kolaylık sağlamasına karşın kesici ağız etrafındaki malzeme davranışının daha farklı olacağını düşünen araştırmacılar bu konuyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Manjunathaiah'ın (1998) bildirdiğine göre Bitans ve Brown 1965; Black ve Huang 1995; Enaharo ve Oxley, 1966; Makino ve Usui 1973; Okushima vd.,1971; Palmer ve Oxley 1959 ve Zorev 1966 yıllarında bu konuyla ilgili olarak çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalardan elde edilen ortak sonuç, takım etrafındaki plastik bölgenin Şekil 4.7'deki gibi olacağına işaret etmektedir. Küçük negatif talaş açılı takımlar ve sert malzemeler kullanıldığında özellikle düşük hızlarda talaş kaldırma yaparken bir kayma düzlemi yerine bir kayma bölgesi gözlemlenir. Yine Manjunathaiah'ın (1998) bildirdiğine göre Zorev 1966 yılındaki çalışmasında, keskin bir takımla talaş kaldırma yapıldığında bile, plastik deformasyon bölgesinin işlenmiş yüzey seviyesinin altına doğru genişleyeceğinden

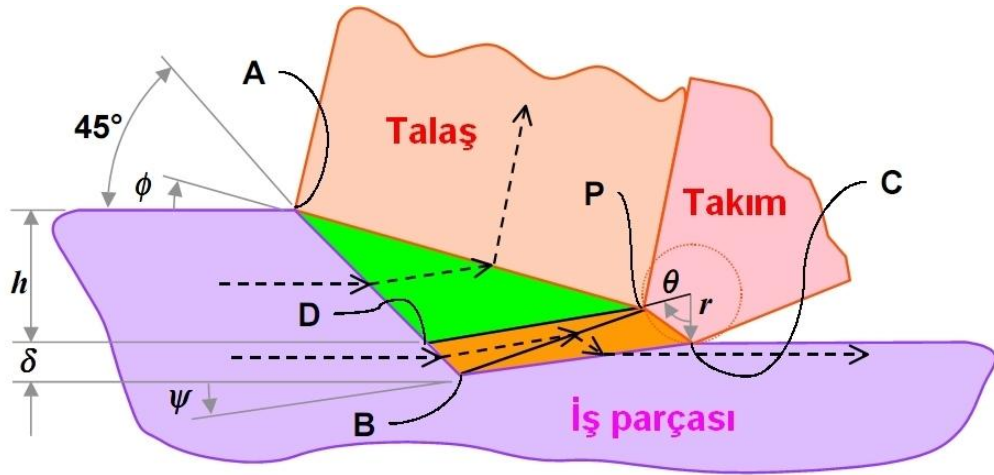
bahsetmiştir. Ayrıca büyük negatif talaş açısında daha geniş plastik deformasyon bölgesi gözlemlenmiştir.

Geleneksel modelin aksine burada Şekil 4.7’de açıkça görülebileceği gibi kesici ağız yarıçapının varlığı söz konusudur ve bu yarıçap şekilde abartılı olarak gösterilmiştir. Bu durumda kesici ağız etrafındaki iş parçası üzerinde görülen deformasyon tamamen değişmekte ve artık kayma işlemi, bir düzlem yerine bir bölge içinde gerçekleşmektedir. Deformasyonun üç farklı bölgede gerçekleştiği söylenebilir. Birincil kayma bölgesi, kayma düzleminin her iki yana genişlemesi sonucu oluşan bölgedir. İkincil kayma bölgesi kesici takımın ağzından talaş yüzeyine doğru uzayan ve talaş ile sınırlanmış olan bölgedir. Son bölge ise 1960 yılında Albrecht tarafında ortaya atılan sürme mekanizmasının sebep olduğu sürme bölgesi adı verilen bölgedir.



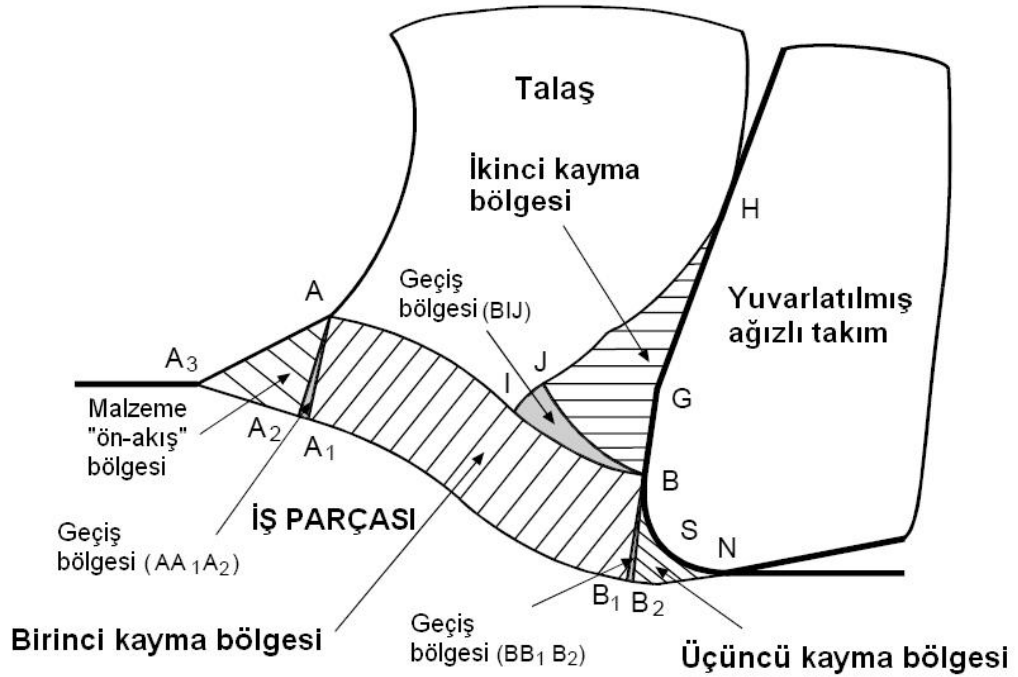
Şekil 4.7 Yuvarlatılmış kesici ağız için geliştirilmiş olan daha gerçekçi bir talaş kaldırma modelindeki kayma bölgeleri (Endres, 2000).

Geleneksel talaş kaldırma ile kıyaslandığında oldukça farklı bir malzeme davranışı gösteren bu durum için daha farklı talaş kaldırma modellerinin önerilmesi gerekliliği kaçınılmazdır. Bu konuda çalışan araştırmacılar, yukarıda gösterilen deformasyon bölgelerini geleneksel modelden daha iyi şekilde yansıtan bazı modeller sunmuşlardır. Bu modellerden biri, yuvarlatılmış kesici ağzı da hesaba katan ancak nispeten basit sayılabilecek bir model olan, Manjunathaiah’a (1998) ait modeldir. Bu modelin geometrisi Endres’e (2000) ait bir sunumdan alınmıştır ve Şekil 4.8’de görülmektedir. Ayrıca yuvarlatılmış kesici ağzın varlığında, kuvvet modellemesi ile ilgili yapmış olduğu yoğun çalışmalar sonrasında oluştur-



Şekil 4.8 Yuvarlatılmış kesici ağızlı takım için önerilen bir modele ait geometrik gösterim (Endres, 2000).

duğu, oldukça karmaşık ve detaylı bir matematiksel alt yapıya sahip olan, Fang'a (2003a, 2003b) ait model de bu konudaki örneklerdendir. Söz konusu modelde malzemeye ait deformasyon 3 ana kayma bölgesi ve 3 geçiş bölgesi ile ele alınmıştır. Bu bölgeler de kendi içinde alt bölgelere sahiptir ve model toplamda 27 deformasyon bölgesi içermektedir. Modelde yer alan ana deformasyon bölgeleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Yuvarlatılmış kesici ağızlı takım için önerilen bir modelde yer alan kayma hattı alanına ait bölümler: ana kayma bölgeleri (Fang, 2003a)

4.4 Yuvarlatılmış Kesici Ağız Etrafındaki Malzeme Akışına ait Davranışın İncelenmesi

Ağız hazırlığı kullanmanın amacı, kesici ağız takımının performansını arttıracak bir şekle sokmaktır. Yuvarlaklık boyutunun, doğru şekilde seçilmesi, yapılacak uygulamaya bağlı olarak doğru sonuçlar alınması açısından oldukça önemlidir. Ağız hazırlığının performansı büyük ölçüde talaş ve takım arasındaki etkileşim ve kesici ağız etrafındaki ölü metal bölgesinin oluşumu tarafından belirlenir. Takım-talaş sürtünmesinin, ölü metal bölgesi olayının ve ilgili konuların anlaşılması takım ağız geometrisinin tasarımı açısından oldukça önemlidir.

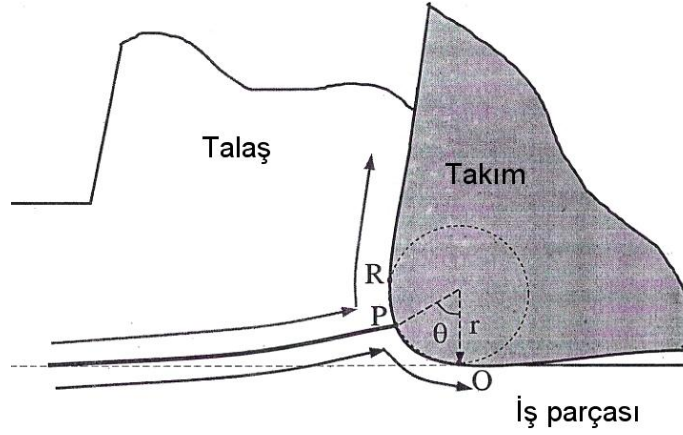
Son zamanlarda önerilen modeller arasındaki en büyük farklılık, bazı araştırmacıların modellerini takım ağızındaki bir durgunluk noktasının varlığına dayandırırken diğerlerinin malzeme akışını saptıran, takım ağız önünde kararlı bir yığılmış malzemenin varlığını önermesidir (Özel ve Karpaz, 2006) .

4.4.1 Ayrılma Noktası

Ranganath'a (2007) göre literatürde yer alan bazı kayma-hattı alan teorileri, üzerinde malzemenin talaşa dönüştüğü ve altında ise iş parçası olmaya devam ettiği P noktası gibi bir "ayrılma noktası"nın varlığını göstermektedirler (Şekil 4.10). Bazı çalışmalarda "nötral nokta" veya "durgunluk noktası" olarak da geçen bu ayrılma noktası, üzerinde malzeme akışının sıfır olduğu bir noktadır. Böyle bir noktanın varlığından bahseden bazı çalışmalar şunlardır: (Fang, 2003a; Özel ve Karpaz, 2006; Fang ve Fang, 2007; Ranganath, 2007). Önemli oranda deneysel kanıt, takımın yuvarlatılmış ağız civarında, malzeme akışının ters yönlerde olduğunu göstermektedir (Fang ve Fang, 2007). Eğer malzeme sıkıştırılmaz kabul edilir ve yan akışlar da ihmal edilirse, ayrılma noktasının üzerinde bulunan tüm malzeme talaşı oluşturmak üzere ayrılır ve altında kalan malzeme ise iş parçasına katılır. Bu Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Şekilde r kesici ağız yarıçapı, θ ise ayrılma noktası P 'nin konumunu belirleyen açıdır. Söz konusu noktayı analitik olarak modellemek için yapılan çeşitli çalışmalardan Manjunathaiah (1998) bahsetmiştir. Yazarın bahsettiğine göre, Venkatesh ve Ramaswami 1971 yılındaki çalışmalarında bir eşdeğer kritik talaş açısı γ_c 'nin, ayrılma noktasındaki takıma ait silindirik yüzeye teğet olan düzlemin açısal pozisyonu ile belirlendiğini varsaymışlardır.

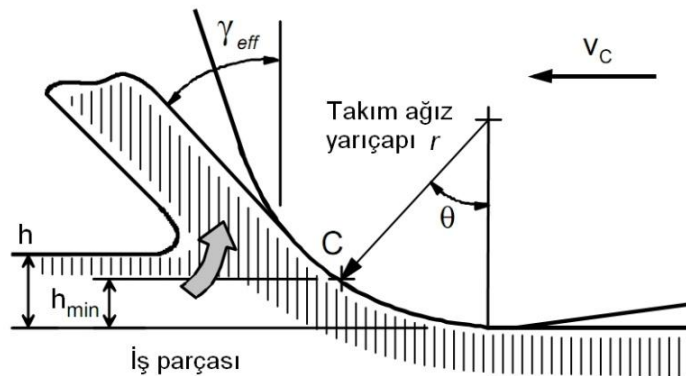
$$\gamma_c = -\sin^{-1} \left(1 - \frac{h_{cr}}{r} \right) \quad (4.1)$$

Burada h_{cr} ayrılma noktasına uygun olarak kritik deforme olmamış talaş kalınlığı, r kesici ağız yarıçapıdır.



Şekil 4.10 Yuvarlatılmış kesici ağız etrafındaki malzeme akışının gösterimi (Manjunathaiah, 1998)

Manjunathaiah'a (1998) göre kesme ve tam sürme arasındaki geçiş noktasındaki deforme olmamış talaş kalınlığını belirlemek bir problem teşkil etmektedir. Komanduri 1971 yılında düzlem gerilme koşulları altında deneyler gerçekleştirmiş ve -75° kadar negatif talaş açısına sahip takımlar ile talaş elde edilebileceğini bulmuştur Rubenstein ve arkadaşları 1966'da -60° ve -80° 'lik değerlerin kesme ve tam sürme arasındaki geçiş noktası olduklarını bulmuşlardır. Buna ek olarak kritik talaş açıları ile ilgili olan gözlemlere dayanarak Connolly ve Rubenstein 1968'deki çalışmalarında tipik değer olarak -75° 'yi benimsemişlerdir.

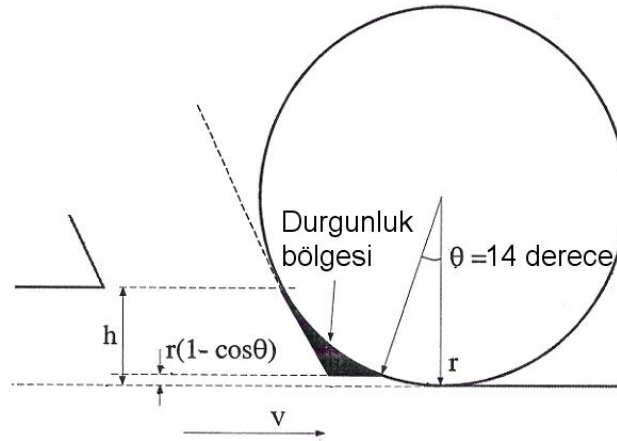


Şekil 4.11 Malzeme akışına ait durgunluk noktası ve minimum deforme olmamış talaş kalınlığı (Yen vd., 2004)

Yukarıda sözü geçen araştırmacıların dışında Yen vd. (2004) sonlu elemanlar yöntemi talaş kaldırma simülasyonları kullanarak, yuvarlatılmış ağızlı ve pahlı ağızlı gibi çeşitli takım ağız geometrilerinin işlem değişkenleri üzerindeki etkileri incelemişler ve çalışmalarında bir durgunluk noktasının varlığından söz etmişlerdir. Bir önceki sayfada görülen Şekil 4.11’de C noktası olarak belirtilen bu durgunluk noktasının yerini θ açısı ile belirten araştırmacılar, bu açının 57° ile 65° arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca h_{min} gibi bir minimum deforme olmamış talaş kalınlığının varlığından da bahsetmişler ve bunun durgunluk noktasının işlenmiş yüzeyden itibaren ölçülen yüksekliği olduğunu belirtmişlerdir.

4.4.2 Durgunluk Bölgesi

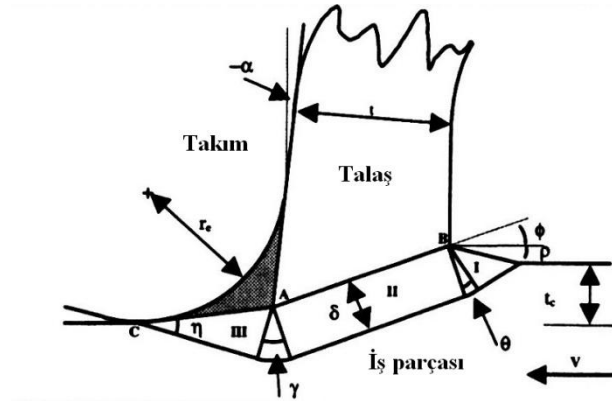
Abdelmonheim (1980), Özel ve Karpaz (2006), Waldorf, (2006), Fang ve Fang (2007) gibi araştırmacılar çalışmalarında yuvarlatılmış kesici ağzın hemen önünde görülen bu bölgeden bahsetmişlerdir. Abdelmonheim (1980) pirincin yuvarlatılmış ağızlı takımlarla kuru kesme koşullarında gerçekleştirilen talaşlı imalatında küçük bir yığılma ağzının varlığını bulan Piquet’in araştırmasından bahsetmiştir. Manjunathaih’in (1998) bildirdiğine göre, Abdelmonheim ve Scrutton, durgunluk bölgesinin Şekil 4.12’deki gibi modellenebileceğini varsaymışlardır.



Şekil 4.12 Abdelmoneim ve Scrutton tarafından önerilen durgunluk bölgesi geometrisi (Manjunathaih, 1998)

Waldorf (2006) yaptığı çalışmada daha önceki çalışmalarından birinde ortogonal talaşlı imalat için sunmuş olduğu, yuvarlatılmış kesici ağzın altındaki deformasyonu temsil eden bir kayma hattı alan modelinden bahsetmiştir. Yazarın bahsetmiş olduğu bu model, kesmenin önünde yükselen bir bölgeye, ölü metal bölgesi altında buradaki sürtünme gerilmelerine bağlı bir

deformasyon kamasına ve yuvarlatılmış ağız civarında oluşan ölü metal bölgesine dayanmaktadır. Durgunluk bölgesi olarak da tanımlanan bu ölü metal bölgesi Şekil 4.13’de taralı alan içinde yer alan kısımdır.



Şekil 4.13 Sürme için kayma-hattı alanı (Waldorf, 2006)

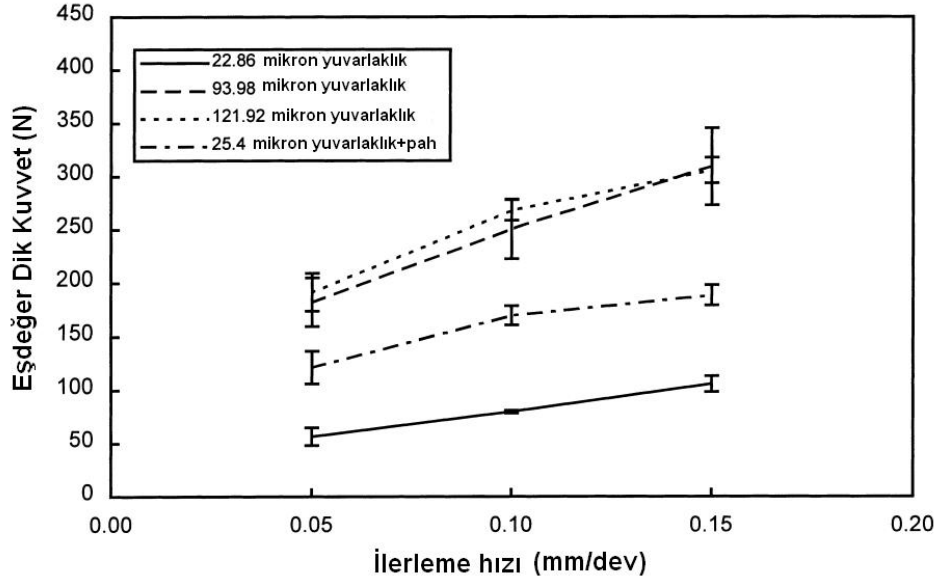
4.5 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Talaş Kuvvetleri, İşlenmiş Yüzey Pürüzlülüğü, Kesici Takım Aşınması ve Kesici Takım Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

Talaş kaldırma işlemi üzerinde kesici takım geometrisinin büyük bir etkisi söz konusudur. Kesici ağız yarıçapı ise özellikle hassas talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım geometrisinin en önemli unsurlarından biri haine gelerek, işleme ait pek çok özellik üzerinde etkili olmaktadır. Bunlar, talaş kaldırma kuvvetleri, işlenmiş yüzey pürüzlülüğü, kesici takımın aşınması veya başka bir deyişle takım ömrü ve kesici takımın talaş kaldırma sırasında göstermiş olduğu sıcaklık davranışı olarak sıralanabilir.

Bu kısımda, yukarıda sözü geçen farklı işlem özelliklerine, kesici ağız yarıçapının nasıl bir etkiye bulunduğu, bugüne kadar yapılmış olan çeşitli araştırmalara ait sonuçlar sunularak anlatılmaya çalışılacaktır.

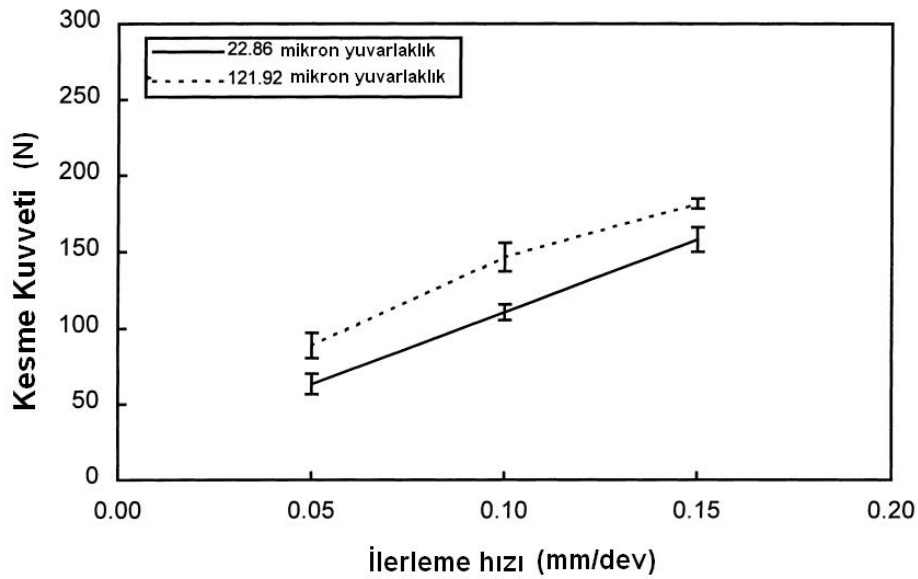
4.5.1 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Talaş Kaldırma Kuvvetleri Üzerindeki Etkisi

Thiele ve Melkote (1999) sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin bitirme sert tornalama işleminde kesici ağız geometrisi ve iş parçası sertliğinin, kesme kuvvetleri ve yüzey bitirmesi üzerindeki etkileri ile ilgili detaylı bir inceleme yapmışlardır. 22.86, 25.4, 93.98 ve 121.92 μm gibi 4 farklı kesici ağız yarıçapına sahip takımlar kullanan araştırmacılar ağız yarıçapının eşdeğer dik kuvvet ve kesme kuvveti üzerinde önemli etkileri olduğunu belirlemişleridir.



Şekil 4.14 Kesici ağız geometrisi ve ilerlemenin eşdeğer dik kuvvet üzerindeki etkisi: 47 HRC iş parçası sertliği (Thiele ve Melkote, 1999)

Şekil 4.14, 47 HRC sertlik seviyesinde ağız geometrisinin eşdeğer dik kuvvet üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Bu şekil ayrıca ağız yuvarlaklığının büyüklüğü arttıkça eşdeğer dik kuvvetin de arttığını gösterir. Örnek olarak 121.92 μm 'lik yuvarlaklık, 22.86 μm 'lik yuvarlaklığa göre istatistiksel olarak daha büyük kuvvet değerleri sağlar. Bu, ağız yuvarlaklığındaki bir artışın toplam talaş kaldırma kuvvetlerinde (eksenel, radyal ve teğetsel) büyük bir artışa yol açtığı hesaba katılarak açıklanabilir (Thiele ve Melkote, 1999).



Şekil 4.15 Kesici ağız geometrisi ve ilerlemenin kesme kuvveti üzerindeki etkisi: 47 HRC iş parçası sertliği (Thiele ve Melkote, 1999)

Şekil 4.15, ağız yarıçapı arttıkça kesme kuvveti bileşenlerinin de arttığını göstermektedir. Bu etki, daha önce de bahsedildiği gibi ağız yarıçapındaki bir artışın toplam talaş kaldırma kuvvetlerinde önemli bir artışa sebep olacağı göz önüne alınarak açıklanabilir. Toplam kuvvetin büyük bir kısmının eksenel ve radyal yönlerde ayrışmasına karşın, bir kısmı ise kesme yönüne ayrılarak söz edilen eğilime bir katkı sağlar. Son olarak değişen ilerlemeler için kesme kuvvetindeki farklılıkların sabit ilerleme durumunda, farklı ağız hazırlıkları için kesme kuvvetinde görülen farklılıklara göre daha büyük olduğu görülebilir. Bu, ilerleme hızının kesme kuvvetine ana katkıyı sağladığına işaret eder.

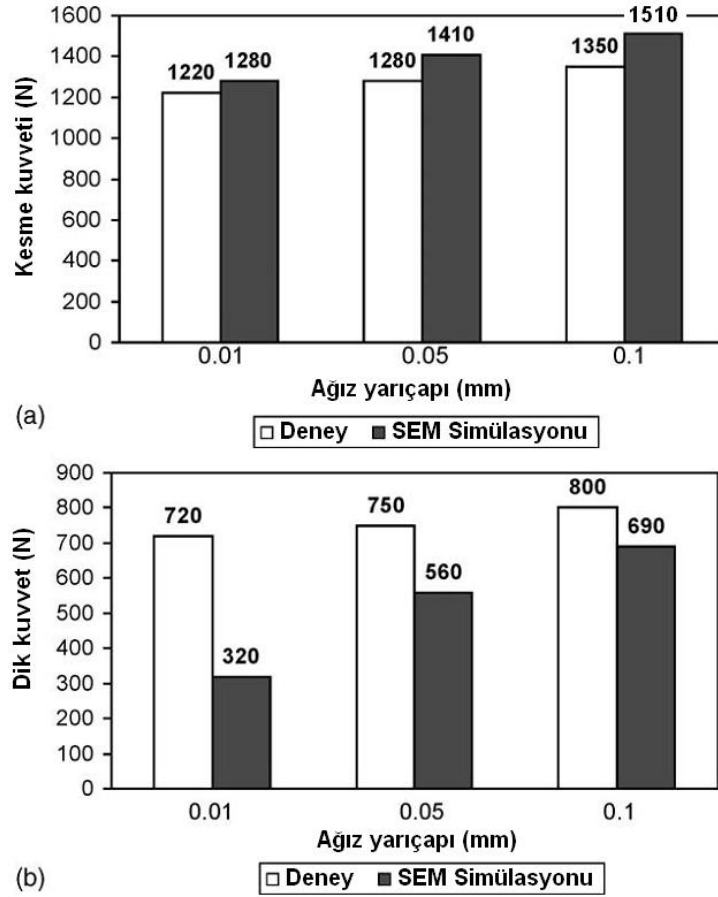
Yen vd. (2004) sonlu elemanlar yöntemi talaş kaldırma simülasyonları kullanarak, yuvarlatılmış ağızlı ve pahlı ağızlı gibi çeşitli takım ağız geometrilerinin işlem değişkenleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve çalışmalarında sunmuşlardır. Araştırmacıların yuvarlatılmış ağızlı takımlar için kullandığı simülasyon koşulları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Yen vd.’ne ait çalışmada kullanılan ağız yarıçapları ve bunlara karşılık gelen talaş kalınlığı ve kayma açısı değerleri (Yen vd., 2004)

Ağız Yarıçapı (mm)	Talaş Kalınlığı (mm)	Kayma Açısı (derece)
0.01	0.6	25.2
0.05	0.67	21.0
0.1	0.7	19.8

Şekil 4.16 (a) ve (b), tahmini sonuçların literatürde yer alan bir çalışmada verilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasını gösterir. Kesme kuvvetleri arasındaki farklılıklar %5-12 arasındadır. Bununla birlikte tahmini dik kuvvetler deneysel kuvvetlerden %13-15 oranında azdır.

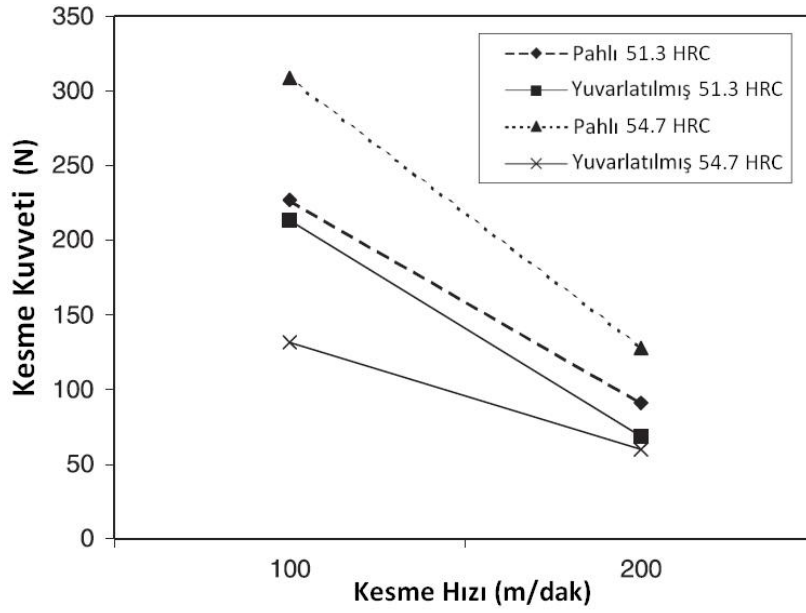
Ayrıca Şekil 4.16 (a) ve (b) her iki kuvvet bileşenin de ağız yarıçapı arttıkça arttığını gösterir. Görünüşe göre bu, malzeme kayması için daha büyük kuvvetlere ihtiyaç duyulmasına sebep olan kesici ağız kütlüğünün artmasına bağlıdır. Ek olarak azalan kayma açısı ve artan talaş kalınlığı, talaş kaldırma kuvvetlerinin artmasına sebep olan, deformasyon bölgesindeki daha büyük bir kayma düzlemine önderlik eder. Diğer taraftan daha büyük ağız yarıçapına bağlı olarak takım ucu etrafındaki temas alanının ve sürme kuvvetinin artması, özgül talaş kaldırma enerjisi ile birlikte kesme kuvvetini de artırır. Şekil 4.16’dan, ağız yarıçapının 10 kat artması ile (0.01-0.1 mm) kesme kuvveti ve dik kuvvetin %10-15 oranında (deneysel verilere dayanarak) arttığı görülebilir (Yen vd., 2005).



Şekil 4.16 Tahmini Kesme kuvveti (a) ve Dik kuvvet (b) değerlerinin deneysel veriler ile karşılaştırılması (Yen vd., 2005)

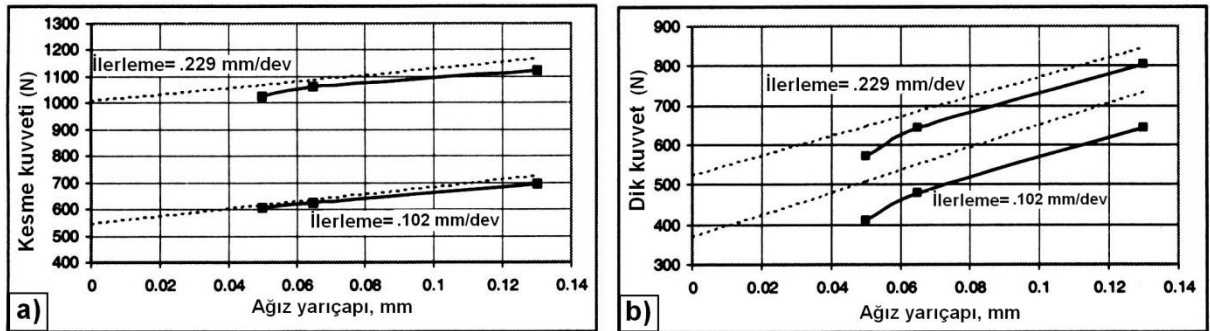
Özel vd., (2005) sert tornalama işlemindeki, işlenmiş yüzeylere ait tamlık ve pürüzlülük, kuvvetler ve takım aşınması gibi özellikleri etkileyen faktörler üzerinde araştırma yapmışlar ve bunların birbiri üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Kuvvet bileşenlerinin ağız geometrisi ve iş parçası yüzey sertliğinin bir fonksiyonu olduğunu grafikler ile gösteren araştırmacılar, pahlı ağız geometrisi ve daha yüksek iş parçası yüzey sertliğinin, daha yüksek teğetsel ve radyal kuvvetler ile sonuçlandığını ancak eksenel (ilerleme yönündeki) kuvvet için bunun geçerliği olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmaya göre, yuvarlatılmış ağız geometrisi eksenel (ilerleme) yönde daha büyük kuvvetlere sebep olmaktadır.

Şekil 4.17, ağız geometrisi ve kesme hızı parametrelerinin kesme kuvveti üzerindeki ana etkilerini göstermek için oluşturulmuştur. Şekle göre ağız geometrisi ve kesme hızının ana etkilerinin kesme kuvveti için anlamlı olduğu söylenebilir. Ayrıca bu şekil yüksek kesme hızı ve yuvarlatılmış ağız geometrisinin pahlı takımlara göre düşük kesme kuvvetlerine yol açacağını göstermektedir.



Şekil 4.17 Kesme hızı ve kesici ağız geometrisinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi (ilerleme = 0.2 mm/dev, uzunluk 203.2). (Özel vd., 2005)

Waldorf (2006) yapmış olduğu çalışmada ortogonal talaşlı imalatla kesici ağız altındaki deformasyon için iki boyutlu bir kayma hattı alanı oluşturmuş ve basitleştirmiştir. Ayrıca yazar önermiş olduğu modelin doğruluğunu sağlamak adına 4340 çeliği ve 6061-T6 alüminyum alaşımı gibi iki farklı malzeme ile talaş kaldırma deneyleri gerçekleştirmiştir. Araştırmacıya ait deneylerde farklı kesici ağız yarıçaplarına sahip takımlar kullanılmıştır.

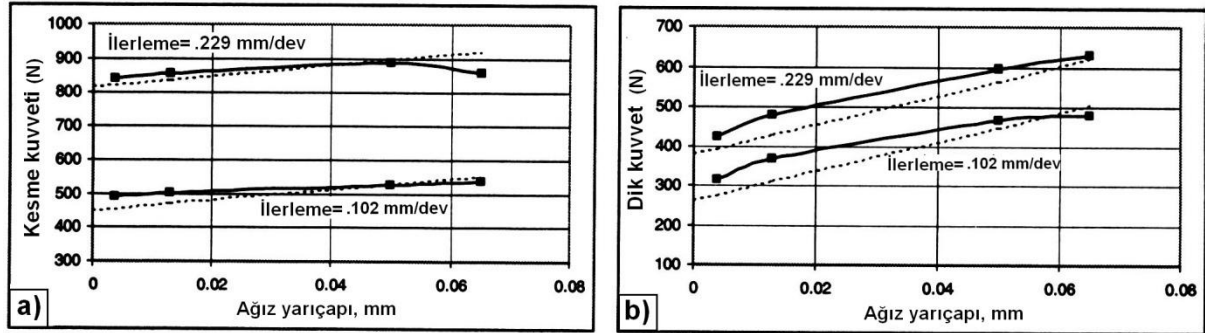


Şekil 4.18 (a) 4340 çeliğinde kesici ağız yarıçapının kesme kuvvetlerine etkisi (b) 4340 çeliğinde kesici ağız yarıçapının dik kuvvetlere etkisi (Waldorf, 2006).

Yazarın çalışmasına ait sonuçlar, yuvarlaklığın kesme kuvvetleri üzerindeki etkisini oldukça açık şekilde göstermektedir. Örnek olarak 4340 çeliğinin düşük kesme hızı ve düşük ilerleme koşullarında, kesici ağız yarıçapının 0.05 mm den 0.13 mm ye çıkması ile birlikte durgun hal için ortalama kesme kuvveti değeri de 625N dan 700N a çıkmaktadır. Dik kuvvet de öncekine

benzer bir artış oranıyla birlikte 190N dan 275N a çıkmaktadır. Dik kuvvet bileşeni, kesme bileşenine oranla ağız yuvarlaklığından daha fazla etkilenmektedir. Bunun sebebi dik kuvvetin sürme bileşenin takımın titreşim hareketine karşı gelmesi sebebiyle (titreşimin ilerleme yönünde olduğu varsayılmaktadır) ağız yarıçapının artmasıyla talaş kaldırma işlemi sönümlemesinin artmasıdır. Çelik iş parçası malzemelerinin genel eğilimleri 4.18 (a) ve (b) nolu şekillerde gösterilmiştir.

Çelik malzemede ağız yarıçapının 0.05 mm den (keskin) 0.13 mm ye (yuvarlatılmış) çıkması ile birlikte teğetsel kuvvetler 95N (%11) artmıştır. Ayrıca kuvvet eğrilerinin, düşük ve yüksek ilerleme miktarı testleri arasında gerekli bir şekilde paralellik göstermesi sebebiyle, artan ilerlemeye bağlı olarak kuvvetlerde görülen artışın kesici ağız yarıçapından bağımsız olduğu ve sürme kuvveti bileşenlerinin ilerlemeye bağlı olmadığı önerilir.



Şekil 4.19 (a) 6061-T6 alüminyum alaşımında kesici ağız yarıçapının teğetsel kuvvetlere etkisi (b) 6061-T6 alüminyum alaşımında kesici ağız yarıçapının dik kuvvetlere etkisi (Waldorf, 2006).

Şekil 4.19 (a) ve (b) den de görüldüğü gibi alüminyum için (kayma gerilmesi 316 N/mm^2) kesici ağız yarıçapının 0.003 mm den (keskin) 0.5 mm ye (büyük ağız yarıçapı) artması ile kesme kuvvetleri 38N (%6) lık bir artış gösterirken eksenel (boylamasına) 199N ile (%55) artmaktadır.

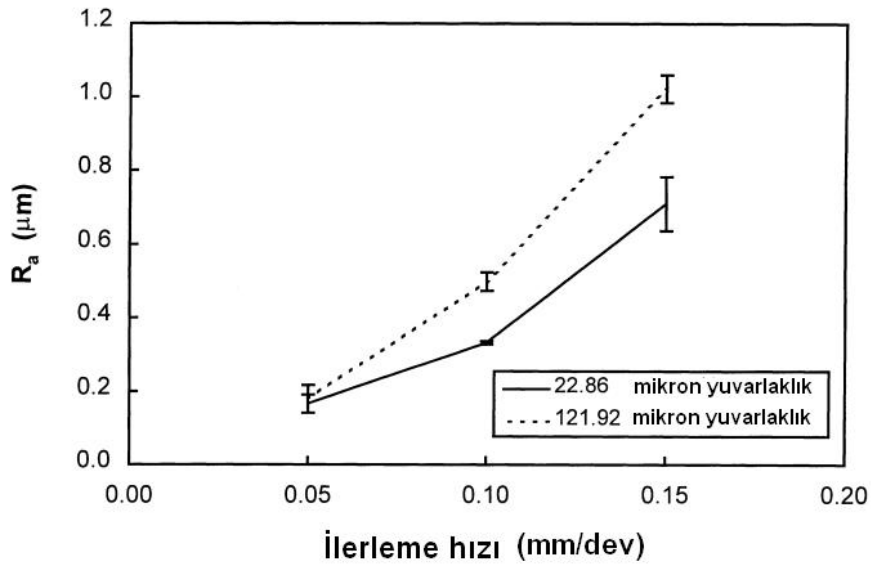
4.5.2 Kesici Ağız Yuvarlaklığının İşlenmiş Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi

Thiele ve Melkote (1999) AISI 52100 çeliğinin bitirme sert tornalama işleminde kesici ağız geometrisi ve sertliğin, yüzey bitirmesi ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin detaylı deneysel incelemelerine ait sonuçları sunan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada, keskin ve orta büyüklükte ağız yarıçapına sahip ($76,2\text{-}127 \mu\text{m}$) ve büyük ağız yarıçapına sahip ($101,6\text{-}152,4 \mu\text{m}$) kesici takımlar kullanmışlardır.

22,86 μm ve 121,92 μm 'lik kesici ağız yarıçapları tarafından üretilen pürüzlülük değerleri düşük ilerlemede birbirlerine yakındır. Bununla birlikte yüksek ilerleme değerlerinde 121,92 μm 'lik kesici ağız yarıçapı tarafından üretilen pürüzlülük değerleri 22,86 μm 'dekine göre daha büyüktür. Bu durum Şekil 4.20'de görülebilir.

Kesici ağza ait yarıçapın artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü, artma eğilimi gösterir. Bunun sebebi deformasyonun kayma bileşene göre sürme bileşeninde görülen artıştır.

Kesici ağız yarıçapının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi iş parçası sertliğinin artmasıyla azalır.

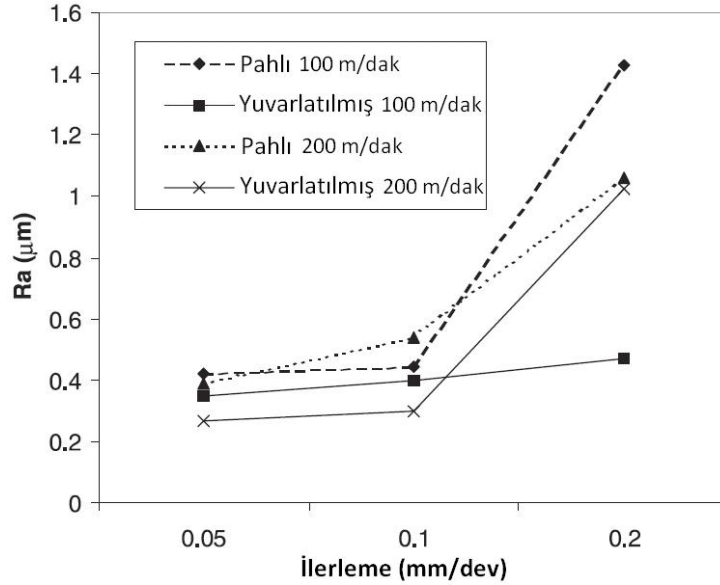


Şekil 4.20 İlerleme hızı ve ağız geometrisinin yüzey pürüzlülüğü R_a üzerindeki etkisi (Thiele ve Melkote, 1999)

Özel vd., (2005) çalışmalarında pahlı ve yuvarlatılmış 2 farklı ağız hazırlığına sahip KBN takımlar kullanarak deneyler gerçekleştirmişler ve AISI H13 çeliğinin sert tornalama işleminde kesici ağız geometrisi, iş parçası sertliği, ilerleme miktarı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü ve bileşke kuvvetlere olan etkilerini incelemişlerdir.

Yapılan mevcut çalışmalara göre, ağız geometrisinin yüzey kalitesi üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu açıkça görülmektedir. R_a yüzey pürüzlülük parametreleri ile ilgili grafik Şekil 4.21'de görülmektedir. Bu şekil, ağız geometrisi ve ilerleme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki ana etkilerini göstermek amacıyla oluşturulmuştur. Ağız geometrisi ile ilerleme arasındaki etkileşimin ana etkileri R_a yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlıdır (Özel vd., 2005).

Sonuçlar, kesici ağız geometrisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin olağanüstü şekilde anlamlı olduğunu göstermektedir. Kesme kuvveti bileşenleri sadece kesme koşullarından değil, kesici ağız geometrisi ve iş parçası yüzey sertliğinden de büyük oranda etkilenmektedir.



Şekil 4.21 Kesici ağız geometrisi ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi (54.7 HRC, uzunluk=106.6 mm) (Özel vd., 2005).

Özellikle yuvarlatılmış ağız geometrisi ve düşük yüzey sertliği birlikteliği daha iyi yüzey pürüzlülüğü ile sonuçlanmaktadır. Kesici ağız geometrisi, iş parçası sertliği ve kesme hızı, kuvvet bileşenlerini etkilemektedir. Düşük iş parçası yüzey sertliği ve küçük ağız yarıçapı, düşük kesme kuvvetlerine ve düşük dik kuvvetlere sebep olmaktadır.

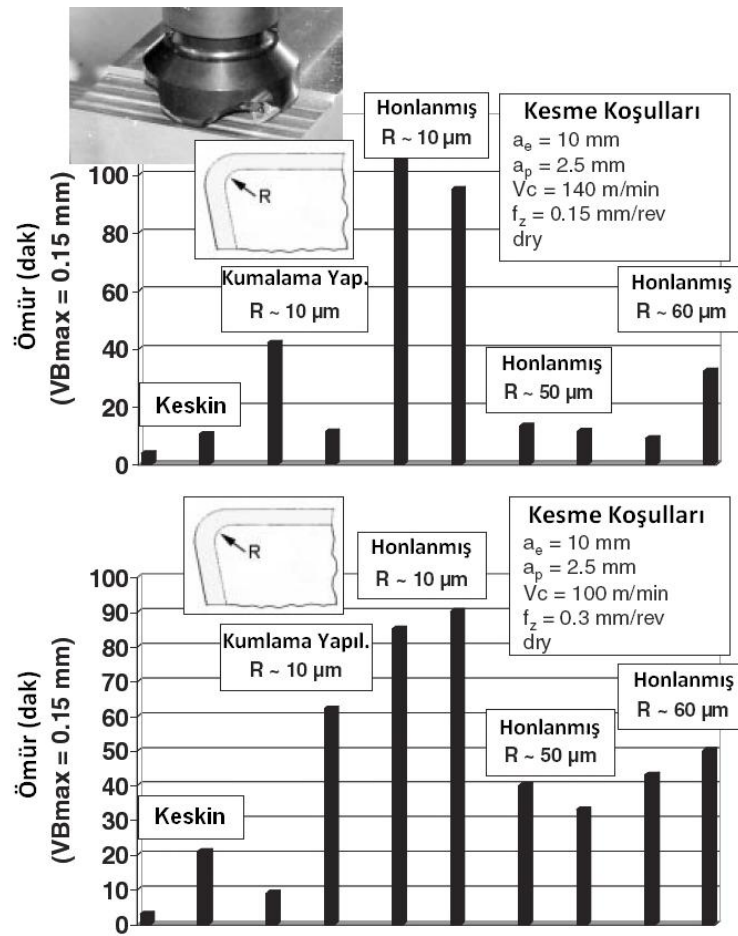
4.5.3 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Kesici Takım Aşınması Üzerindeki Etkisi

Bouzakis vd. (2002) yapmış oldukları çalışmada, 8, 13, 23, 28 ve 35 µm gibi farklı ağız yarıçaplarına sahip, honlama ya da mikro-kumlama yöntemlerinden biri ile üretilmiş, PVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların yorulma ve aşınma davranışlarını incelemişlerdir.

Çalışmada honlama ile üretilen 8 ve 35 µm'lik takımlar karşılaştırıldığında 35 µm'lik ağız yarıçapına sahip takımın 0,2 mm serbest yüzey aşınma izi genişliğinde 2×10^4 kesimlik bir takım ömrüne ulaşarak daha iyi bir talaş kaldırma performansı sergilediği görülmüştür. 8 µm'lik ağız yarıçapına sahip olan takımın ise aynı serbest yüzey aşınma izi genişliğinde %70 daha kısa bir takım ömrü sunduğu bulunmuştur.

Honlama ile kıyaslandığında, ağız yuvarlaklığı üretmek için kullanılan mikro-kumlamanın, büyük ağız yarıçapının ilk evrelerinde görülen tatmin edici performansa karşın, takım ömrünü düşürdüğü açıktır. 35 μm 'lik efektif kesici ağız yarıçapına sahip takım her iki yöntem için de iyi bir performans sergilemektedir.

Rech ve Schaff, (2006) toz metalürjisi ile üretilmiş yüksek hız çeliği freze uçlarının aşınma davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, kesici ağız yarıçapı honlama ya da mikro-kumlama yöntemlerinden biriyle elde edilmiş farklı kesici ağız yarıçaplarına sahip kesici takımları, çeşitli ilerleme değerleri ve kesme hızlarında ele almışlardır.



Şekil 4.22 Çeşitli ağız hazırlıkları ile elde edilen kesici takım ömürleri (Rech ve Schaff, 2006).

Şekil 4.22’de çalışmada seçilmiş olan kesme koşulları altında elde edilen aşınma sonuçları yer almaktadır. Öncelikle, 10 μm ’lik kesici ağız yarıçapına sahip kesici uçların daha iyi aşınma direnci sergiledikleri görülmektedir. Bununla birlikte, daha keskin ve daha fazla yuvarlatılmış uçlar daha kötü bir aşınma davranışı göstermektedir. Piyasada bulunan toz metalürjisi ile üretilmiş yüksek hız çeliği takımlarına benzer standart bir keskin uç ve 10 μm ’lik bir kesici

ağız yarıçapına sahip mekanik işlem görmüş bir uç karşılaştırıldığında, takım ömründe %400 ile %500 arasında bir gelişim gözlenebilir (Rech ve Schaff, 2006).

Kaba kesme koşullarında büyük bir yarıçapa sahip yuvarlatılmış uçlar, bitirme koşulları ile kıyaslandığında, daha uzun takım ömürleri sergilemektedirler. Bu, temelde deforme olmamış talaş kalınlığı ve kesici ağız yarıçapı arasındaki oranın değişimine bağlıdır.

Kuru frezeleme işlemlerinde en iyi performans 10 μm 'lik ağız yarıçapına sahip yuvarlatılmış kesici takımlar ile elde edilmiştir, ve görülmüştür ki bu tip takımlar, genelde kullanılan keskin takımlara göre kesici takım ömrünü 4-5 kat arttırabilmektedir. Bu küçük kesici ağız yarıçapı, toz metalürjisi ile üretilmiş yüksek hız çeliği takımları, yüksek çekme gerilmesinin yerel artışının sebep olduğu çentiklemeden korumaktadır.

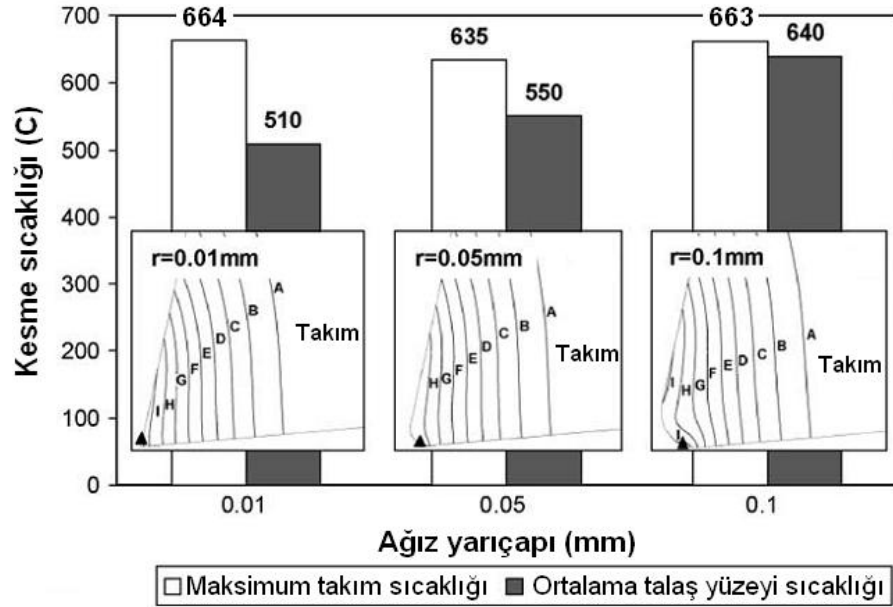
4.5.4 Kesici Ağız Yuvarlaklığının Kesici Takım Sıcaklığı Üzerindeki Etkisi

Sonlu elemanlar yöntemi talaş kaldırma simülasyonlarının yardımıyla, başka bir şekilde ölçülmesi mümkün olmayan veya takım-talaş ve takım serbest yüzeyleri üzerindeki gerilmeler, takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzeylerindeki sıcaklıklar, talaş sıcaklık alanı ve talaş ile takım arasındaki kayıcı hızlar gibi ölçülmesi çok zor olan işlem değişkenlerinin değerlerini tahmin etmek mümkündür. Yen vd., (2005) yaptıkları araştırmada yuvarlatılmış ve pahlı ağız gibi iki farklı kesici ağız hazırlığını göz önünde bulundurup, sonlu elemanlar simülasyonu kullanarak talaş kaldırma işlemini analiz etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmada 0.01, 0.05 ve 0.1 mm ağız yarıçaplarına sahip kesici takımlar kullanmışlardır.

Şekil 4.23 farklı ağız yarıçapına sahip yuvarlatılmış takımlar için elde edilen takım-talaş yüzeyine ait ortalama sıcaklıkları ve maksimum takım sıcaklıklarına ait sonuçları gösterir. Sıcaklıkların karşılaştırması her bir ağız yarıçapı için aynı tutulan 8.64 mm'lik kesme uzunluğu sonrasında yapılmıştır.

Takım ucu yanındaki maksimum sıcaklık büyüklüğünün (yaklaşık 650 C°) ağız yarıçapı boyutuna karşı duyarlı olmadığı gözlemlenebilir. Ortalama talaş yüzeyi sıcaklığı artan ağız yarıçapı ile monoton olarak artarken, $r = 0.05$ mm'lik makul bir ağız yarıçapında minimum bir değerin varlığı görülmektedir. Büyük kesici ağız yarıçapına sahip takımlar için takım ucunun yanındaki plastik işe bağlı olarak daha fazla ısı üretilir ve talaş veya takıma iletilir. Diğer bir taraftan kaybolan ısı büyük kesici ağız yarıçapına sahip takımın geniş bir yüzey alanına, azalmış geometrik sınırlama sebebi ile daha kolay şekilde yayılır. Bu iki karşıt etki ısı yükünün artması ve kesici ağzın daha büyük bir bölgesine dağıtılmasından dolayı bir denge

sağlar. Bu durum, minimum takım sıcaklığı veren uygun bir yuvarlaklık yarıçapının varlığını açıklayabilir. (Şekil 4.23). Artan ağız yarıçapı ile takım-talaş yüzeyi sıcaklığının artması takım talaş ara yüzeyi yanındaki artan plastik deformasyon ile direkt olarak ilişkilidir.



Şekil 4.23 Kesici ağız yarıçapının takım-talaş ara yüzeyine ait maksimum ve ortalama sıcaklıklar üzerindeki etkisi (Yen vd., 2005)

5. KESİCİ AĞZI YUVARLATILMIŞ TAKIMLA TALAŞ KALDIRMAYA AİT BİR TALAŞ KALDIRMA MODELİNİN (MANJUNATHAIAH, 1998) İNCELENMESİ

Bu bölümde, Manjunathaiah'ın (1998) yuvarlatılmış kesici ağızla yapılan talaş kaldırma için önermiş olduğu kuvvet modeli anlatılacak ve modelin literatürden elde edilen deneysel veriler (Schimmel, 1999) için, geçerliliği incelenmeye çalışılacaktır. Manjunathaiah'ın (1998) talaş kaldırma modeli, yuvarlatılmış kesici ağızlı takımlarla gerçekleştiren talaş kaldırmada keskin takım ile yapılan talaş kaldırmaya göre farklılık gösteren talaş açısını, ortalama talaş açısı olarak ele almaktadır. Bu sebeple söz konusu talaş kaldırma modeli anlatılmadan önce Manjunathaiah (1998) tarafından önerilen ortalama talaş açısı modelinden bahsedilecektir. Devamında Manjunathaiah'ın (1998) önerdiği yeni talaş kaldırma modelinin geometrisinden bahsedilecek daha sonra ise yazarın önermiş olduğu kuvvet modeli ele alınacaktır. Son kısımda ise Manjunathaiah'ın (1998) talaş kaldırma modelinde yer alan normal gerilme faktörü k 'nın talaş kaldırma kuvvetleri üzerindeki etkisi incelenecektir.

5.1 Manjunathaiah'a (1998) Ait Ortalama Talaş Açısı Modeli

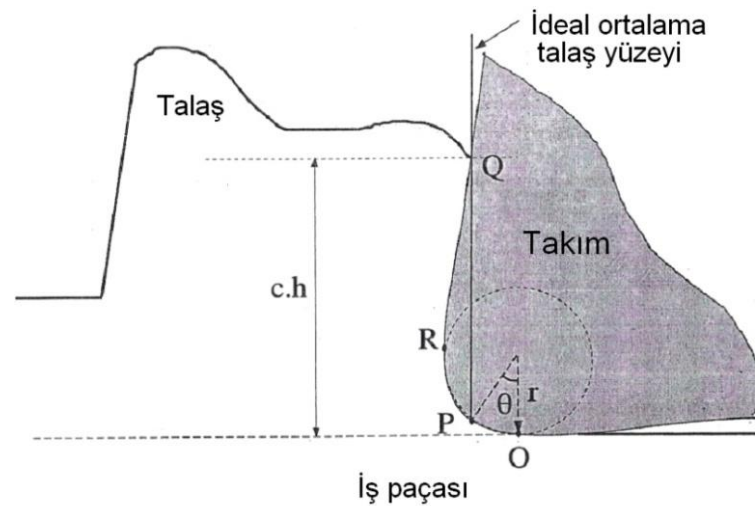
Ortogonal talaş kaldırma işleminde kayma açısı genellikle, aşağıda verilen eşitlik (5.1) yardımıyla talaş ölçümleri kullanılarak hesaplanır.

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{r_h \cos \gamma}{1 - r_h \sin \gamma} \right] \quad (5.1)$$

Bu eşitlikte ϕ kayma açısı, γ ortogonal talaş açısı ve r_h deforme olmamış talaş kalınlığının deforme olmuş talaş kalınlığına oranıdır. Ağız yarıçapının varlığında talaş açısının hesaplanması karmaşık bir hal almaktadır. Bu konuda çalışmalar yürütmüş olan Manjunathaiah (1998), bu durum için ortalama talaş açısını tanımlayan bir model önermiştir. Bu kısımda söz konusu ortalama talaş açısı modeli detaylı olarak anlatılacaktır.

γ nominal ortogonal talaş açısına sahip kesici ağız yuvarlatılmış bir takım ile gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemini, γ_{ort} gibi daha küçük bir talaş açısına sahip keskin bir takım ile yapılan talaş kaldırma işlemine benzetmek mümkündür. Bu eşitlik eğer, talaş yüzeyi ve üzerindeki gerilme dağılımı ve takım-talaş temas uzunlukları her durum için deneyden bağımsız olarak bilinebilirse kurulabilir. Bunlar önceden bilinmedikleri için, ideal ortalama talaş yüzeyi PQ 'nın Şekil 5.1'de de görüldüğü gibi ağız yarıçapı üzerindeki P ayrılma noktasını takım talaş yüzeyinin son noktası olan Q 'ya bağlayan bir yüzey olduğu önerilmiştir. Takım ağız

yarıçapı üzerindeki ayrılma noktası P 'nin konumu, ayrılma noktası açısı θ ile tanımlıdır. Ancak takım talaş temas yüzeyinin son noktası olan Q 'nun tanımlanması zor bir konudur ve bununla ilgili iyi modeller mevcut olmadığından Manjunathaiah (1998), Q noktasının işlenmiş yüzeyden itibaren olan mesafesini $c.h$ olarak tanımlamıştır. (Şekil 5.1). Burada h deforme olmamış talaş kalınlığı, c ise 1'den büyük bir sabittir. Manjunathaiah'ın (1998) bildirdiğine göre c değeri ile ilgili olarak iki özel durum söz konusudur. Bunlardan ilkinde Q noktası, deforme olmamış talaş kalınlığı ile aynı seviyede kabul edilmiştir, böylece maksimum gerilme kesici ağzın yanındaki yapışma bölgesinde oluşur. İkinci durumda Manjunathaiah (1998) Q noktasının yüksekliğini yaklaşık olarak $2h$ kabul etmiştir böylece bu durumda $c = 2$ 'dir. Yazara göre takım-talaş temas uzunluğunun bu iki değerin arasında olacağını varsaymak mantıklıdır ve ortalama talaş açısı γ_{ort} yaklaşımı birinci durumda ($c = 1$), ikinci duruma ($c = 2$) kıyasla daha negatif değerler verecektir.



Şekil 5.1 Ağız yarıçapının etkisini içeren ortalama talaş yüzeyi (Manjunathaiah, 1998)

Ortalama talaş açısı, deforme olmamış talaş kalınlığı h , ağız yarıçapı r , ayrılma noktasının konumunu belirleyen açı θ ve takıma ait nominal talaş açısına bağlıdır. Ortalama talaş açısına ait her iki eşitlik de takım-talaş temas yüzeyinin son noktasının takıma ait kesici ağız üzerinde mi ya da takım talaş yüzeyi üzerinde mi olduğuna bağlı olarak yazılmak zorundadır. Bu durum Q ve R noktalarının rölatif pozisyonlarına dayanarak yazılabilir. Koordinat sisteminin orijini O noktası olmak üzere, R noktası aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$R\{-r\cos\gamma, r(1 + \sin\gamma)\} \quad (5.2)$$

Sonuç olarak eğer, takım talaş teması (Q noktası) talaş yüzeyi üzerinde son bulursa bu $c.h > r(1 + \sin\gamma)$ olduğu anlamına gelir; eğer, takım-talaş teması ağız yarıçapı üzerinde son bulursa bu $c.h \leq r(1 + \sin\gamma)$ olduğu anlamına gelir. Artık her iki durum için de ortalama talaş açısı türetilir. $h/r \leq 1 + \sin\gamma$ olduğunda γ_{ort} 'nın takımın nominal talaş açısına bağlı olmadığına dikkat edilmelidir.

$h/r > 1 + \sin\gamma$ olduğu durumda ortalama talaş yüzeyi Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Ayrılma noktası P 'nin koordinatları aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$P\{-r\sin\theta, r(1 - \cos\theta)\} \quad (5.3)$$

Eğer AR uzunluğu bilinirse Q noktasının X -koordinatı hesaplanabilir. AR uzunluğu şöyle yazılabilir $AR = AQtan\gamma = (ch - r(1 + \sin\gamma))tan\gamma$. Böylece Q noktasının koordinatları aşağıdaki gibi olur:

$$Q\{(ch - r(1 + \sin\gamma))tan\gamma - r\cos\gamma, h\} \quad (5.4)$$

Ortalama talaş açısı γ_{ort} artık şu şekilde yazılabilir:

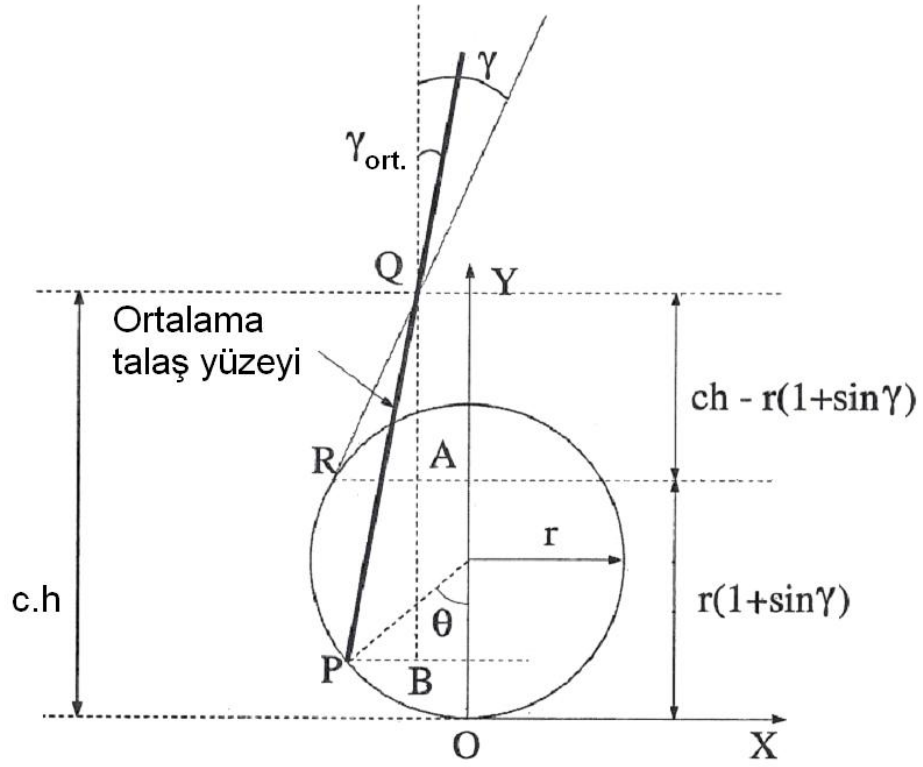
$$tan\gamma_{ort.} = \frac{Q_x - P_x}{Q_y - P_y} \quad (5.5)$$

Denklem basitleştirilirse:

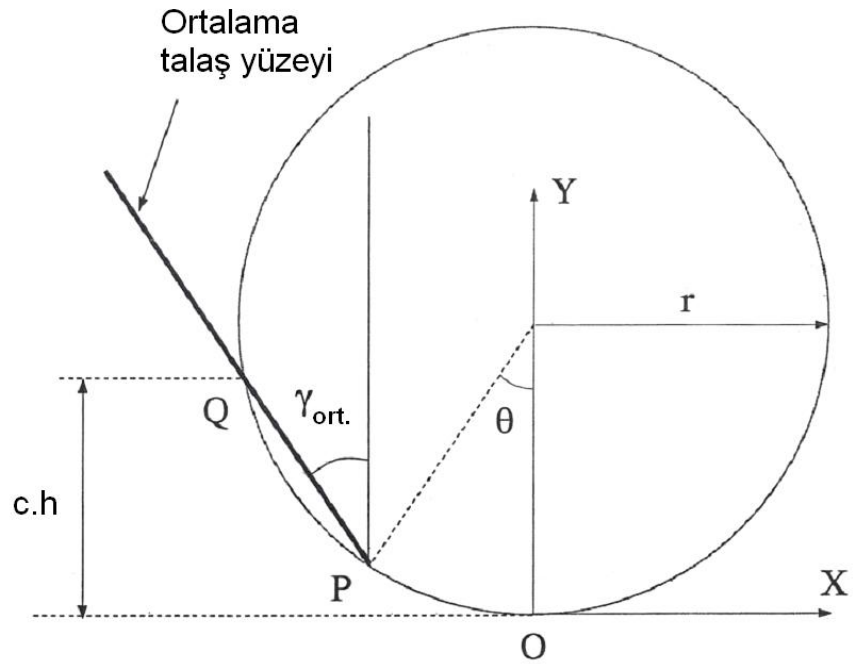
$$\gamma_{ort.} = \tan^{-1} \left(\frac{(ch/r - 1)tan\gamma - sec\gamma + \sin\theta}{ch/r - 1 + \cos\theta} \right) \quad (5.6)$$

$h/r \leq 1 + \sin\gamma$ olan ikinci durum için ortalama talaş yüzeyi Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Ortalama talaş açısı $\gamma_{ort.}$ 'nin yalnızca deforme olmamış talaş kalınlığı h , ağız yarıçapı r , ve ayrılma noktasının konumunu belirleyen θ açısına bağlı olduğu açıktır. Ayrılma noktası P 'nin koordinatları eşitlik (5.3)'te verilmiştir. Kesici ağız yarıçapını tanımlayan çember yayı $X^2 + (Y - r)^2 = r^2$ olarak ifade edilebilir. Bu durumda Q noktasının X -koordinatının ifadesi $Q_x = -\sqrt{r^2 - (ch - r)^2} = -\sqrt{(2r - ch)ch}$ olur ve buradan hareketle Q noktasının koordinatları aşağıdaki şekli alır.

$$Q\{-\sqrt{(2r - ch)ch}, ch\} \quad (5.7)$$



Şekil 5.2 $h/r > 1 + \sin \gamma$ olduğu durumda ortalama talaş açısı (Manjunathaiah, 1998)



Şekil 5.3 $h/r \leq 1 + \sin \gamma$ olduğu durumda ortalama talaş açısı (Manjunathaiah, 1998)

Her zaman negatif olan ortalama talaş açısı γ_{ort} artık şöyle yazılabilir:

$$\tan \gamma_{ort} = \frac{Q_x - P_x}{Q_y - P_y} = \frac{\sqrt{(2r-h)h} - r \sin \theta}{h - r(1 - \cos \theta)} \quad (5.8)$$

Bu ifade h/r 'nin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\gamma_{ort} = \tan^{-1} \left(-\frac{\sqrt{(2 - ch/r)ch/r} - \sin \theta}{ch/r - 1 + \cos \theta} \right) \quad (5.9)$$

Şimdi $c = 1$ olan, takım-talaş temas uzunluğunun deforme olmamış talaş kalınlığına eşit olduğu durum için ortalama talaş açısı aşağıdaki halini alır:

$$\gamma_{ort-h} = \begin{cases} \tan^{-1} \left(-\frac{\sqrt{(2-h/r)h/r} - \sin \theta}{h/r - 1 + \cos \theta} \right) & \text{eğer } \frac{h}{r} \leq 1 + \sin \gamma \\ \tan^{-1} \left(\frac{(h/r-1) \tan \gamma - \sec \gamma + \sin \theta}{h/r - 1 + \cos \theta} \right) & \text{eğer } \frac{h}{r} > 1 + \sin \gamma \end{cases} \quad (5.10)$$

Benzer bir biçimde takım talaş temas uzunluğunun yüksekliği $2h$ olduğunda ($c = 2$) ortalama talaş açısı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\gamma_{ort-2h} = \begin{cases} \tan^{-1} \left(-\frac{2\sqrt{(1-h/r)h/r} - \sin \theta}{2h/r - 1 + \cos \theta} \right) & \text{eğer } \frac{h}{r} \leq \frac{1+\sin \gamma}{2} \\ \tan^{-1} \left(\frac{(2h/r-1) \tan \gamma - \sec \gamma + \sin \theta}{2h/r - 1 + \cos \theta} \right) & \text{eğer } \frac{h}{r} > \frac{1+\sin \gamma}{2} \end{cases} \quad (5.11)$$

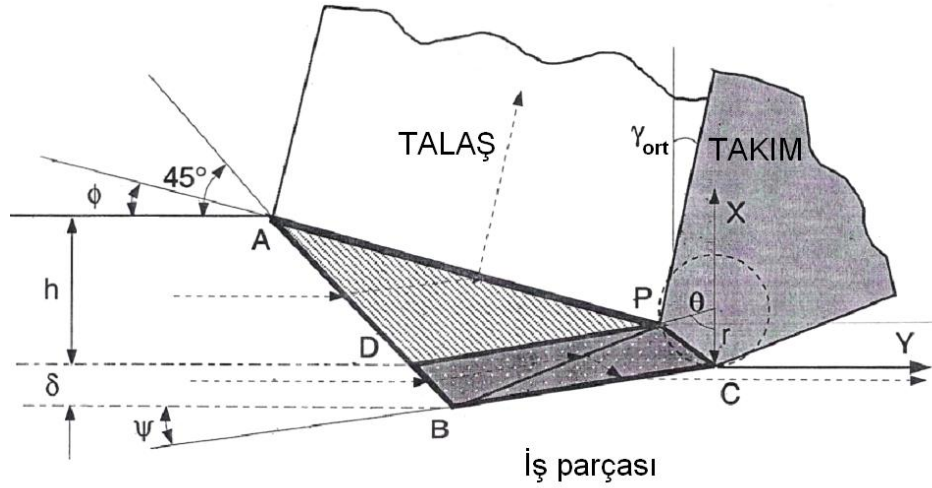
Ortalama talaş açısını (5.10) ve (5.11) numaralı eşitlikler ile ortaya koyan Manjunathaiah, (1998) yapmış olduğu deneysel incelemeler sonucunda düşük h/r oranlarında γ_{ort-h} yaklaşımının biraz daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuştur. Bununla birlikte yine Manjunathaiah'ın (1998) bildirdiğine göre her iki yaklaşım da kayma açısının doğru yönde hesaplanmasına imkan verdiğinden ortalama talaş açısı hesaplamalarında her ikisi de kullanılabilir.

5.2 Manjunathaiah'a (1998) Ait Talaş Kaldırma Modeli

5.2.1 Geometrik Model

Manjunathaiah'ın (1998) önermiş olduğu, modelin idealize edilmiş bir geometrisi Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Modelde takım ağız yarıçapı r 'nin takım tabanı C 'den itibaren ölçülen

deforme olmamış talaş kalınlığı h değerinde malzeme kaldırması görülmektedir. Manjunathaiah (1998) malzeme akışının, yığma ağız oluşumu ve kararlı bir durgunluk noktası meydana gelmeden oluştuğunu kabul etmektedir. Yarıçap üzerinde, akışı iki parçaya bölen bir ayrılma noktası P'nin varlığı söz konusudur ve bu nokta, ayrılma açısı θ ile tanımlanmıştır. Bu durum Şekil 5.4'de abartılı olarak gösterilmiştir. P noktasının dikey yüksekliği p olarak alınmıştır ve batma derinliği olarak isimlendirilmiştir. p 'nin hem θ hem de r 'nin bir fonksiyonu olduğu oldukça açıktır. Önceki çalışmalarda θ değeri 60 derecenin altında gözlemlendiğinden, yazar takıma ait CP yayını yaklaşık olarak düz bir CP çizgisi olarak kabul etmiştir. Takımın talaş yüzeyi, nominal talaş açısı γ yerine ortalama talaş açısı γ_{ort} ile tanımlıdır. Ortalama talaş açısı Bölüm 5.1'de detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 5.4 Ağız yarıçapına sahip bir takım ile yapılan talaş kaldırma işlemine ait geometrik model (Manjunathaiah, 1998).

Modelde plastik deformasyonun, kayma düzlemi yerine ABCP düzleminde olduğu kabul edilmiştir. Buna göre malzeme, birinci deformasyon hattı AB'ye ulaştığında plastik halledir. Talaş oluşturan malzeme, plastik bölgeyi, tıpkı geleneksel kayma düzlemine benzeyen AP hattında terk eder. İşlenmiş yüzeyi oluşturan iş parçası malzemesi ise, deformasyon bölgesini BC hattında terk eder. Plastik deformasyonun ve aynı zamanda kayma hatlarının ilki olan AB hattı maksimum kayma gerilmesi düzlemidir. Manjunathaiah'ın (1998) Hill'in 1950'de yaptığı çalışmaya atıfta bulunarak belirttiğine göre kayma hattı her zaman, AB hattının yerleşimini belirleyen serbest, gerilmesiz bir yüzey ile 45 derecede karşılaşmaktadır. Yatay ile ψ açısı yapan BC sınırı, takımın altındaki deformasyonu karakterize etmektedir. Manjunathaiah (1998) çalışmasında bu açıyı, işlenmiş yüzeyin plastik deformasyon derinliği için yapılan deneysel gözlem ile belirlemiştir. Deformasyon bölgesinin üst sınırı, yatay ile ϕ açısı yapan geleneksel AP kayma düzlemi ile sınırlandırılmıştır. Bu ϕ açısı hem görsel olarak

gözlemlenebilir hem de yazarın çalışmasının diğer kısımlarında tanımlamış olduğu ortalama talaş açısı modeli yardımıyla, talaş oranları kullanılarak hesaplanabilmektedir. Takımın altındaki deformasyon derinliği δ , ψ olarak tanımlanmış olan BC sınırının eğim açısı ile ilişkilidir ve ileride verilen eşitlikler içinde gösterilmiştir. Modeli kullanarak bizim için gerekli olan noktaları tanımlamak için öncelikle, model üzerinde XY koordinat sisteminde bir başlangıç noktası seçmek gerekir. Eğer bu başlangıç noktası modele ait C noktası olarak seçilirse, diğer noktaların koordinatları da aşağıdaki gibi olacaktır:

$$A \text{ noktası} - (h - p) \cot \phi + r \sin \theta, h \quad (5.12)$$

$$B \text{ noktası} - (h - p) \cot \phi + r \sin \theta + h + \delta, -\delta \quad (5.13)$$

$$D \text{ noktası} - \delta(1 + \cot \psi), 0 \quad (5.14)$$

$$P \text{ noktası} - r \sin \theta, p \quad (5.15)$$

Daha önce bahsedilen ayrılma noktası P 'nin yüksekliği, yarıçap r ve θ açısına bağlı olarak şöyle yazılabilir:

$$p = r(1 - \cos \theta) \quad (5.16)$$

Deformasyon derinliği δ , geometrik formülasyondan da görüldüğü gibi sadece ψ açısına bağlı değil aynı zamanda kayma açısı ϕ 'ya bağlıdır ve şöyle türetilmiştir.

$$\delta = \frac{(h - p) \cot \phi + r \sin \theta - h}{1 + \cot \psi} \quad (5.17)$$

İlk deformasyon hattı AB, BC sınırı, kayma düzlemi AP ve PB düzlemi gibi kaymaya ait farklı hatların uzunlukları aşağıda verilmiştir.

$$\overline{AB} = \sqrt{2}(h + \delta) \quad (5.18)$$

$$\overline{BC} = \frac{\delta}{\sin \psi} \quad (5.19)$$

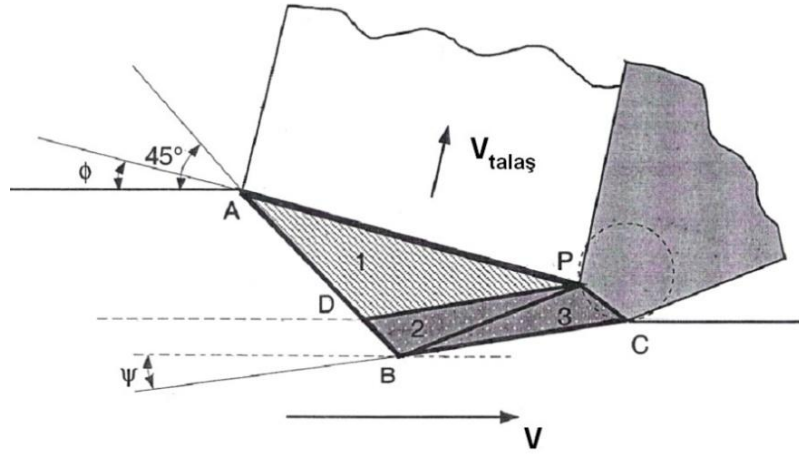
$$\overline{AP} = \frac{h - p}{\sin \phi} \quad (5.20)$$

$$\overline{PB} = \sqrt{((h - p) \cot \phi - h - \delta)^2 + (\delta + p)^2} \quad (5.21)$$

Takım tabanı hizasında, plastik deformasyon bölgesi içinde bir malzeme elemanı olarak yol alan PD uzunluğu ise aşağıdaki gibidir.

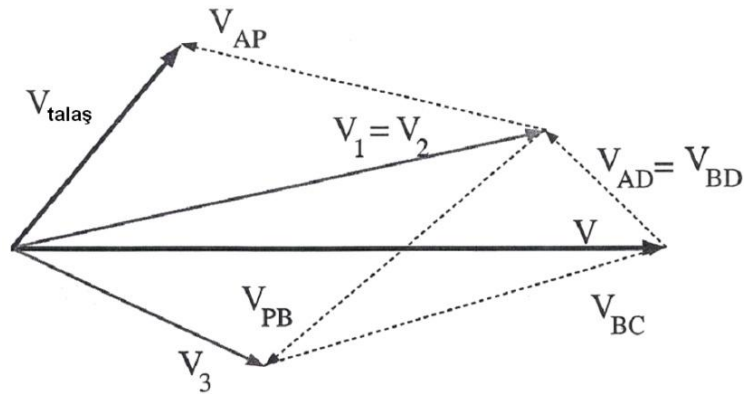
$$\overline{PD} = \sqrt{((h - p) \cot \phi - h)^2 + p^2} \quad (5.22)$$

AB, BC, DP ve AP çizgilerinin hepsi, malzemenin üzerlerinde anlık olarak kaydığı kabul edildiği hız süreksizliği hatlarıdır.



Şekil 5.5 Her üç deformasyon bölgesinde farklı hızlardaki malzeme akışı (Manjunathaiah, 1998).

Yukarıda bahsedilen AB, BC, DP ve AP çizgileri tüm deformasyon bölgesini Şekil 5.5’de görüldüğü gibi ADP, BDP ve BCP şeklinde 3 alt bölgeye böler. h seviyesi üzerinde malzeme akışının, AB sınırında deformasyona uğradığı görülebilir öyle ki 1. bölge içinde V_1 hızıyla DP’ye paralel bir yönde akar. Malzeme $V_{talaş}$ hızında talaşa dönüştüğünde üst sınır AP’de geniş bir deformasyona uğrar.



Şekil 5.6 Ortogonal talaş kaldırma için önerilen yeni modele ait hız diyagramı (Manjunathaiah, 1998).

1. ve 2. bölgelerdeki akış hızlarının aynı olduğu Şekil 5.6'da verilen hız diyagramından görülebilir ve bu hız şu şekilde verilmiştir:

$$V_1 = \frac{1}{\sqrt{2} \sin(45 + \theta_{PD})} V = V_2 \quad (5.23)$$

Burada θ_{PD} , PD çizgisinin yatay ile yaptığı eğim açısıdır. Talaş hızı şöyle verilmiştir:

$$V_{talaş} = \frac{\sin(\phi + \theta_{PD})}{\sqrt{2} \cos(\gamma_{ort} - \phi) \sin(45 + \theta_{PD})} V \quad (5.24)$$

3. bölgedeki hız ise şöyle gösterilebilir:

$$V_3 = \frac{\sin \psi}{\sin(\psi + \theta/2)} V \quad (5.25)$$

Her deformasyon çizgisindeki teğetsel kayma süreksizlikleri şöyle gösterilebilir:

$$V_{AD}^* = V_{BD}^* = \frac{\sin \theta_{PD}}{\sin(45 + \theta_{PD})} V \quad (5.26)$$

$$V_{BC}^* = \frac{\sin \theta/2}{\sin(\theta/2 + \psi)} V \quad (5.27)$$

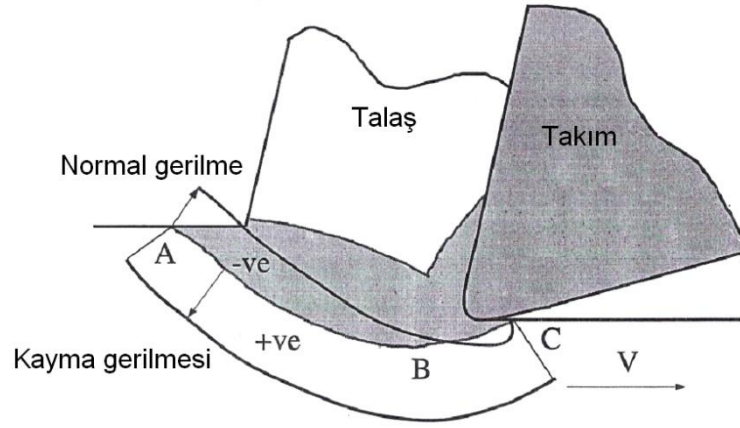
$$V_{BP}^* = \frac{\sin(\theta/2 + \theta_{PD})}{\sqrt{2} \sin(\theta/2 + \theta_{PB}) \sin(45 + \theta_{PD})} V \quad (5.28)$$

$$V_{AP}^* = \frac{\cos(\gamma_{ort} + \theta_{PD})}{\sqrt{2} \cos(\gamma_{ort} - \phi) \sin(45 + \theta_{PD})} V \quad (5.29)$$

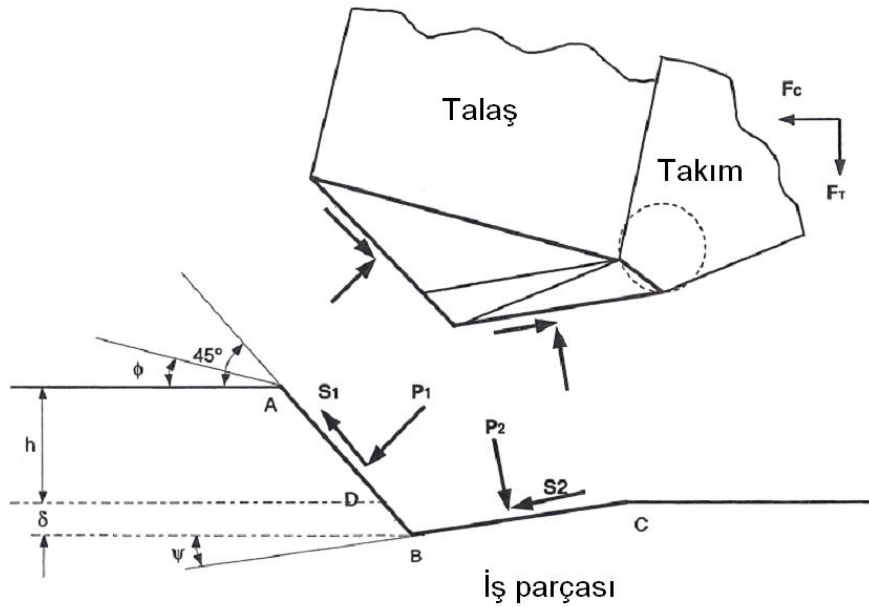
Burada θ_{PB} , PB çizgisi tarafından yatay ile yapılan dar açıdır.

5.2.2 Kuvvet Modeli

Manjunathaiah'ın (1998) ortogonal talaş kaldırma modelinde ABC plastik deformasyon bölgesinin alt sınırı üzerinde, bir kuvvet dengesi ele alınsın. Bu durumda iş parçası tarafından hissedilen kuvvetler, takıma etkiyen kuvvetler ile bir denge içinde olmak zorundadırlar. Plastik deformasyon bölgesinin alt sınırına ait geometrinin ve yüzeydeki gerilme dağılımının bilinmesiyle, iş parçası üzerine etkiyen kuvvet bileşenleri hesaplanabilir ve takıma etkiyen kuvvetlere eşitlenebilir. Başarılı olabilmenin temelinde, alt deformasyon sınırındaki geometrinin ve gerilme dağılımının iyi hesaplanması yatmaktadır.



Şekil 5.7 Deformasyon bölgesinin alt sınırındaki kayma gerilmesi ve normal gerilmenin tipik dağılımı (Manjunathaiah, 1998).



Şekil 5.8 Kayma bölgesinin alt sınırı üzerindeki kuvvet dengesi (Manjunathaiah, 1998).

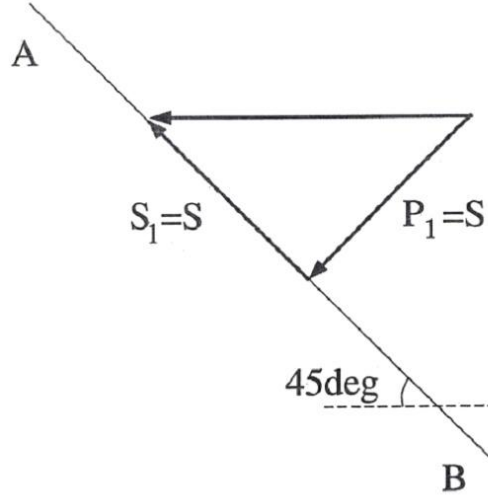
Bunun için ABC yüzeyindeki gerilme dağılımını göz önüne almak gereklidir. (Kıta vd., 1982; Makino ve Usui, 1973; Oxley, 1989; Roth ve Oxley, 1972) gibi araştırmacılara ait önceki çalışmalardan elde edilen, kayma bölgesinin alt sınırındaki deneysel gerilme dağılımının bir gözden geçirmesine dayalı tipik bir gerilme dağılımı Şekil 5.7’de sunulmuştur. Şekil, kayma gerilmesinin ABC yüzeyi boyunca düzgün şekilde dağıldığını göstermektedir. Serbest yüzeyin uzağında, deformasyon bölgesinin alt sınırı üzerindeki normal gerilmenin basma etkisi azalır. Takıma yakın bir noktada, bu tam terstir ve takıma yaklaşıldığında çekmeye döner. Bu gözlemlerin ışığında düzgün şekilde dağılmış kayma gerilmeleri S_1 ve S_2 ’nin AB ve BC boyunca etki ettiği kabul edilecektir. Ayrıca Şekil 5.8’de görüldüğü gibi ortalama

normal gerilmeler P_1 ve P_2 'nin de sırasıyla AB ve BC boyunca etkidiği kabul edilmiştir. Şekil 5.9'dan söz etmek gerekirse AB yüzeyindeki kuvvetler şöyle yazılabilir:

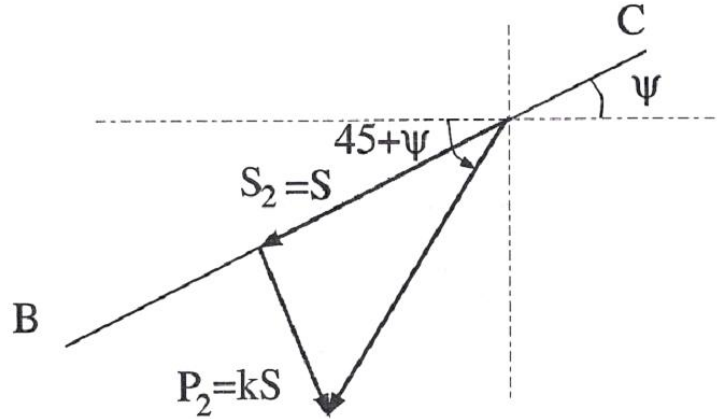
$$\hat{F}_{AB} = \frac{1}{\sqrt{2}}(-(S_1 + P_1)i + (S_1 - P_1)j)\overline{AB} \quad (5.30)$$

Benzer şekilde Şekil 5.10'den söz edilirse BC yüzeyi üzerindeki bileşke kuvvet şöyle yazılabilir:

$$\hat{F}_{BC} = ((-S_2 \cos \psi + P_2 \sin \psi)i - (S_2 \sin \psi + P_2 \cos \psi)j)\overline{BC} \quad (5.31)$$



Şekil 5.9 AB yüzeyindeki gerilme dağılımı (Manjunathaiah, 1998).



Şekil 5.10 BC yüzeyindeki gerilme dağılımı (Manjunathaiah, 1998).

Talaş üzerinde dengenin uygulanması aşağıdaki eşitliği ortaya çıkarır:

$$\hat{F}_{AB} + \hat{F}_{BC} = -F_C i - F_T j \quad (5.32)$$

Manjunathaiah (1998) daha önceden de bahsedildiği gibi Hill'in 1950'deki çalışmasına dayanarak AB'nin serbest yüzey ile 45 derecede kesişen bir kayma-hattı olmasından ötürü, tüm AB yüzeyi üzerinde $S_1 = P_1$ olan kayma-hattı alan teorisinin geçerli olduğunu belirtmektedir. B'de kayma gerilmesi süreksizliğinden kaçınmak için, BC yüzeyi boyunca ve B'de $S_1 = S_2$ 'dir. $S_1 = S_2 = P_1 = S$ 'e izin vererek ve eşitlik (5.32)'deki ortogonal bileşenleri ayırarak kesme ve dik kuvvet bileşenleri şöyle yazılabilir:

$$F_C = \sqrt{2}S\overline{AB} - (-S \cos \psi + P_2 \sin \psi)\overline{BC} \quad (5.33)$$

$$F_T = (S \sin \psi + P_2 \cos \psi)\overline{BC} \quad (5.34)$$

Daha sonra BC üzerindeki ortalama normal gerilme, kayma gerilmesinin bir parçası olarak göz önüne alınmıştır, öyle ki $P_2 = kS_2 = kS$ 'dir. Burada k normal gerilme faktörü olarak tanımlanmıştır ve talaş kaldırma koşulları ile değişmektedir. $P_2 = kS$ 'i ve $\overline{AB}$ ve $\overline{BC}$ uzunluklarına ait geometrik eşitlikleri yerine koyarak kesme kuvveti ve dik kuvvete ait eşitlikler şöyle yazılabilir:

$$F_C = 2hS + ((1 + \cot \psi) - (k - 1)\delta)S \quad (5.35)$$

$$F_T = (1 + k \cot \psi)\delta S \quad (5.36)$$

δ 'nın eşitlik (5.17)'den alınarak yerine koyulması ve terimlerin tekrar ayarlanması ile talaş kaldırma kuvvet modeli aşağıdaki halini alır:

$$F_C = \{(h - p) \cot \phi + h + r \sin \theta - (k - 1)\delta\}S \quad (5.37)$$

$$F_T = \{(h - p) \cot \phi - h + r \sin \theta + (k - 1)\delta \cot \psi\}S \quad (5.38)$$

Burada δ işlenmiş yüzeyin plastik deformasyon derinliğidir ve şöyle yazılabilir:

$$\delta = \frac{(h - p) \cot \phi - h + r \sin \theta}{1 + \cot \psi} \quad (5.39)$$

Kuvvet dengesi ABC yüzeyine uygulandığından (5.37) ve (5.38) eşitliklerindeki talaş yapıcı kuvvetler ve sürme kuvvetlerini tamamen ayırmak mümkün değildir. Eğer böyle bir tamamen ayırma işlemi gerekiyorsa, kuvvet dengesi APC yüzeyine uygulanmalıdır.

Manjunathaiah (1998) APC üzerindeki gerilme dağılımlarının idealize edilmesini çalışmasında denememiştir; bunun yerine eşitlik (5.37) ve (5.38)'i tekrar yazarak Connolly ve Rubenstein'in 1968 yılında yapmış oldukları çalışmalarında sundukları talaş kaldırma modeli ile bir karşılaştırma yapmıştır. Connolly ve Rubenstein'in modellerinde kullandıkları değişkenlere benzer bir şekilde $h' = h - p$ ve $L' = h'(\cot \phi - 1)$ gibi değişkenler tanımlayan Manjunathaiah (1998) talaş kaldırma kuvvetlerini bu değişkenlere bağlı olarak şöyle yazmıştır:

$$F_C = \{(2h' + L') + r \sin \theta + p - (k - 1)\delta\}S \quad (5.40)$$

$$F_T = \{L' + r \sin \theta - p + (k - 1)\delta \cot \psi\}S \quad (5.41)$$

Artık, sürme kuvvetini, ağız yarıçapı ve takımın altındaki deformasyona bağlı olarak kuvvet bileşenlerinin bir toplamı şeklinde ele almak mümkündür ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_C = (2h' + L')S + F_{CP} \quad (5.42)$$

$$F_T = L'S + F_{TP} \quad (5.43)$$

Burada, kesme kuvveti ve dik kuvvetin sürme bileşenleri F_{CP} ve F_{TP} aşağıda verilmiştir:

$$F_{CP} = \{r \sin \theta + p - (k - 1)\delta\}S \quad (5.44)$$

$$F_{TP} = \{r \sin \theta - p + (k - 1)\delta \cot \psi\}S \quad (5.45)$$

(5.42) ve (5.43) numaralı eşitlikleri Connolly ve Rubenstein'in kuvvet modeli ile karşılaştıran Manjunathaiah'a ait gözlemler şunlardır. Eşitliklerin genel doğası, hepsinin bir talaş oluşturma kuvveti bileşeni ve bir sürme kuvveti bileşeni içermesi bakımından benzerdir. Her iki durumda da kuvvetlere ait talaş oluşturu bileşenlerin benzer görünmesine karşın, yeni modele ait sürme ile ilgili terimler, sabit olarak varsayılmamıştır. Ağız yuvarlaklığı (sürme) etkilerini, talaş uzaklaştırmasından bağımsız olarak ele alan diğer modellerin aksine (5.42) ve (5.43) numaralı eşitlikler, iki mekanizmayı da δ 'nın eşitlik (5.39)'da gösterildiği gibi kendisine bağlı olduğu kayma açısı ϕ ile açıkça birbirine bağlamaktadır.

Sürme kuvveti bileşenleri açık bir şekilde ağız yarıçapının bir fonksiyonudur ve ϕ 'ya dolaylı olarak bağlılık gösterir. Verilen bir takım için h/r 'de görülen bir azalma, ağız yarıçapı tarafından ortaya çıkarılan negatif talaş açısına bağlı olarak düşük bir ortalama talaş açısına öncülük eder, bu da sonuç olarak bizi yalnızca kayma işlemini değil aynı zamanda sürme işlemini de etkileyen düşük bir kayma açısına götürür. Yeni formülasyona dayanarak sürme kuvvetlerini, sıfır ya da sonlu bir deforme olmamış talaş kalınlığında duran kuvvetler olarak hesaplayan önceki denemelerin neden hatalı sonuçlar verdiği görülebilir. Kuvvet engelleme yöntemlerinde, ağız yarıçapına bağlı olarak kuvvette görülen bir artış, tamamen sürme mekanizmasına bağlanır. Buna ters olarak yeni kuvvet modelinde kuvvetlerdeki artış, daha küçük bir kayma açısı ile ortaya çıkan, artan talaş oluşturma bileşenlerine kısmen bağlıdır (Manjunathaiah, 1998).

5.3 Manjunathaiah'a (1998) Ait Talaş Kaldırma Modelinin Geçerliliğinin Literatürden Elde Edilen Deneysel Veriler (Schimmel, 1999) Kullanılarak İncelenmesi

Bu kısımda, Manjunathaiah (1998) tarafından önerilen ve bir önceki kısım olan 5.2'de detaylı olarak açıklanan yuvarlatılmış kesici ağızlı takım ile yapılan talaş kaldırma işlemleri için geliştirilmiş talaş kaldırma modeli, Schimmel'in (1999) çalışmasında yer alan deneysel veriler ile incelenmeye çalışılacaktır.

Manjunathaiah'a (1998) ait modelde kullanılmak üzere Schimmel'in (1999) kesici ağız geometrisinin talaş kaldırma işlemi üzerindeki etkisini, çeşitli ağız yarıçaplarına sahip takımlar kullanarak incelediği çalışmada sunmuş olduğu deneysel veriler seçilmiştir. Araştırmacının gerçekleştirmiş olduğu çalışmaya değinecek olursak; Schimmel, (1999) yapmış olduğu çalışmanın talaş kaldırma testlerinde iş parçası olarak 101.6 mm'lik çapa sahip sürekli döküm yolu ile üretilmiş 99.99% saflıktaki çinko çubuk kullanmıştır. Bu çubuğu öncelikle tornalama ve delik delme işlemlerine tabii tutan araştırmacı böylece ortogonal talaş kaldırma testlerinde kullanılmak üzere 98.43 mm dış çapa ve 5.08 mm et kalınlığına sahip bir boru elde etmiştir. Daha sonra ise boruyu istenilen ölçülere getirmek için, keskin takımlarla küçük kesme derinliklerinde talaş kaldırma uygulanmıştır.

Çizelge 5.1, Schimmel'in (1999) testlerde kullandığı işlem değişkenlerini göstermektedir. Araştırmacı çeşitli talaş açısı değerleri ile sıfır arka talaş açısı ve sıfır yerleştirme açısına sahip takımlar kullanmıştır. Bunun yanı sıra araştırmacı testlerde kullanacağı yuvarlatılmış, T-G432, kaplamasız karbür takımları, tüm talaş açılarında altı derecelik boşluğu korumak adına, ticari bir takım üreticisine çeşitli ağız yarıçapları ve boşluk açılarında özel olarak ürettirmiştir.

Çalışmada belirlenmiş olan 6 derecelik boşluk açısını kontrol etmek ve gerçek ağız yarıçapı değerlerini kaydetmek için Schimmel (1999), her takımın kesici ağız yarıçapını beyaz ışık interferometre sistemi ile ölçmüştür.

Çizelge 5.1 Schimmel'e ait Test Koşulları (Schimmel, 1999)

Hız (V)	0.647 (133), 1.246 (256) m/s (d/d)
Ortogonal Talaş Açısı (γ)	+5, 0, -16 derece
Ağız yarıçapı (r)	0, 28, 33, 80, 140 μm
Deforme olmamış talaş kalınlığı (h)	2.9, 5.9, 11.8, 23.6, 47, 94, 186, 377 μm

Schimmel (1999), kesme kuvveti, dik kuvvet ve yanal kuvvet ölçümlerini piezoelektrik bir dinamometre ile gerçekleştirmiş ve PC tabanlı bir veri toplama sistemi kullanarak dijital olarak kaydetmiştir. Schimmel'e (1999) ait çalışmada talaş kalınlığı ölçümleri mikrometre ile gerçekleştirilmiştir. Her ilerleme için 6 talaş kalınlığı ölçümü yapılmış ve bu değerlerin ortalaması talaş kalınlığı olarak alınmıştır. Takım tutucusunun torna tezgâhının yatağına göre olan ilerlemesini belirlemek için lazer ölçüm sistemi kullanılmıştır. Schimmel'in (1999) sunmuş olduğu deneysel veriler detaylı bir şekilde Ek-1'de yer almaktadır.

5.3.1 İzlenen Yaklaşım ve Gerçekleştirilen Hesaplamalar

Bu çalışmada izlenen yaklaşımdan ve yapılanlardan şöyle bahsedebiliriz. Öncelikle, ortalama talaş açıları hesaplanmıştır. Bunun için Bölüm 5.2'de detaylı olarak anlatılan, Manjunathaiah'ın (1998) ortalama talaş açısı modelinden yararlanılmıştır. Manjunathaiah, (1998) ortalama talaş açısı için (5.10) ve (5.11) numaralı eşitliklerde yer alan iki farklı yaklaşım sunmuştur. Bunlar, takım-talaş temasının son bulunduğu Q noktasının konumuna göre farklılık gösteren γ_{ort-h} ve γ_{ort-2h} ortalama talaş açısı modelleridir. Daha önce de belirtildiği gibi Manjunathaiah (1998) düşük h/r oranlarında γ_{ort-h} 'ın az da olsa daha doğru sonuçlar verdiğini bununla birlikte ortalama talaş açısının hesaplanmasında her iki modelin de kullanılabileceğini söylemiştir. Buradan hareketle bu çalışmada ortalama talaş açısı değerlerinin hesaplanması için daha önce eşitlik (5.10)'da belirtilmiş olan γ_{ort-h} ortalama talaş açısı modeli kullanılmıştır. Aynı eşitlik, eşitlik (5.46)'da tekrar yazılmıştır ve bu ortalama talaş açısı modelinden artık γ_{ort} olarak bahsedilecektir. Eşitlik (5.46)'da yer alan ortalama talaş açısı modeli kullanılarak Schimmel'in (1999) kullanmış olduğu talaş kaldırma

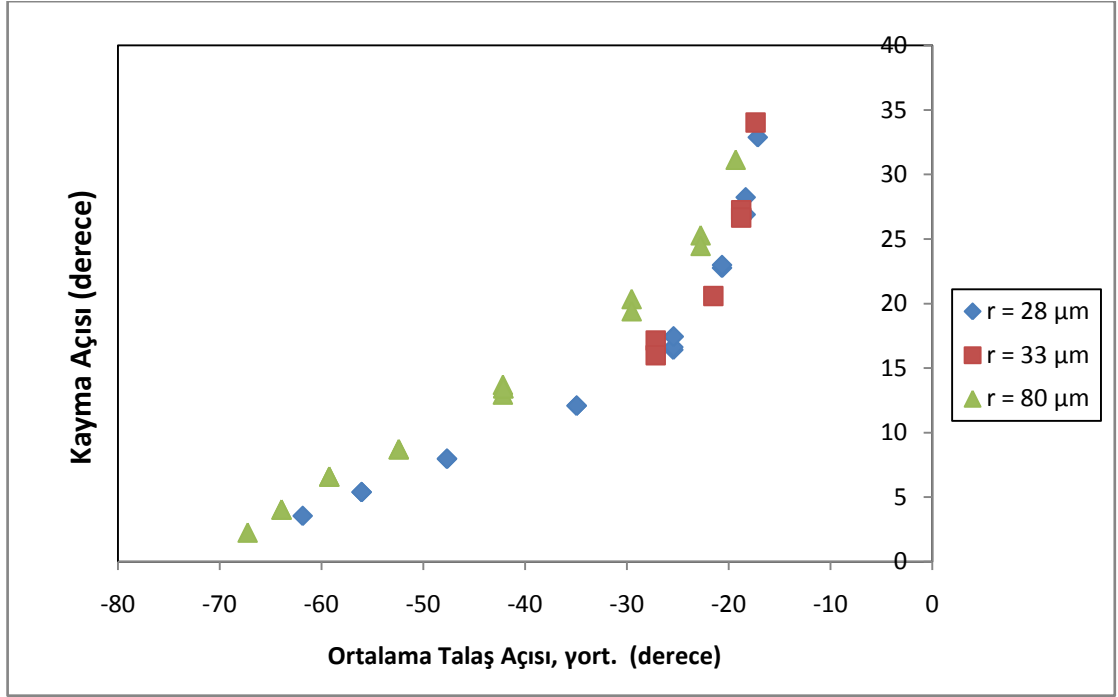
koşulları ve -16, 0, ve 5 derecelik nominal ortogonal talaş açısı değerleri için ortalama talaş açısı değerleri hesaplanmıştır.

$$\gamma_{ort} = \begin{cases} \tan^{-1} \left(-\frac{\sqrt{(2-h/r)h/r - \sin \theta}}{h/r - 1 + \cos \theta} \right) & \text{eğer } \frac{h}{r} \leq 1 + \sin \gamma \\ \tan^{-1} \left(\frac{(h/r - 1) \tan \gamma - \sec \gamma + \sin \theta}{h/r - 1 + \cos \theta} \right) & \text{eğer } \frac{h}{r} > 1 + \sin \gamma \end{cases} \quad (5.46)$$

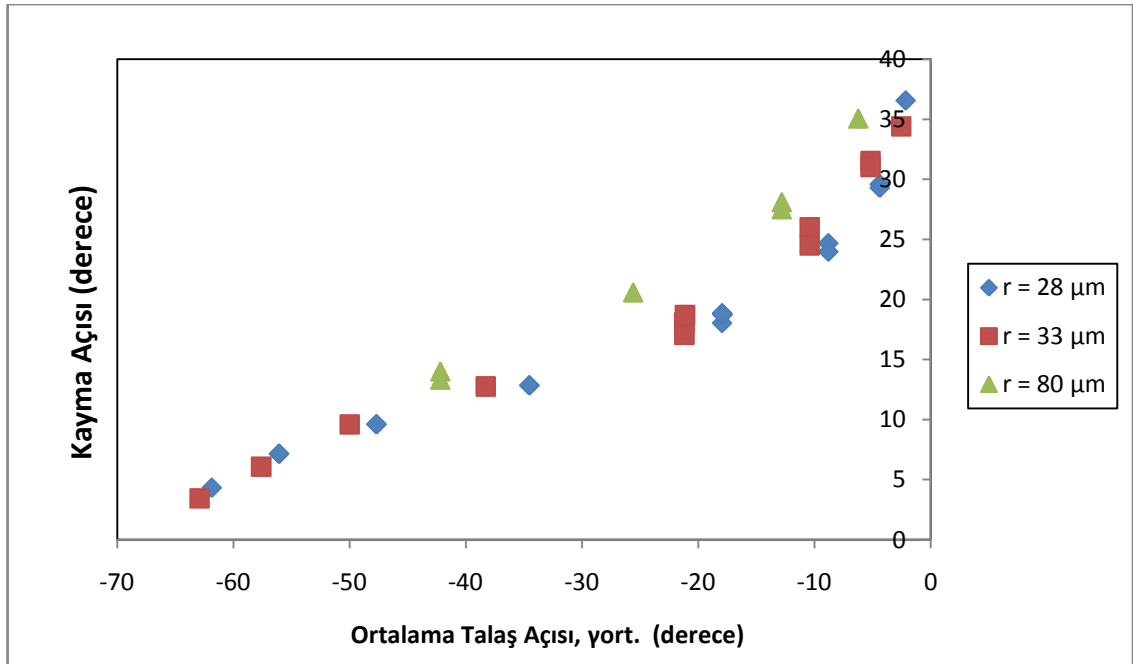
Burada θ , ayrılma noktasının yerini belirleyen açıdır ve 30-55° arası değerler alabilen bu açı Manjunathaiah'ın çalışmasına dayanarak burada 30° olarak kabul edilmiştir. Daha sonra, sık kullanılan bir yöntem ile kayma açıları hesaplanmıştır. Bunun için daha önce belirtilmiş olan (5.1) numaralı eşitlikten yararlanılmıştır. Talaş kalınlığı ölçümlerinden elde edilen talaş oranlarının kullanılmasına dayanan bu yöntem kayma açısının hesaplanması için sıklıkla başvurulmuş bir yöntemdir. Bu eşitlik, ortalama talaş açısı için düzenlenerek aşağıda (5.47) numaralı eşitlik olarak tekrar yazılmıştır.

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{r_h \cos \gamma_{ort}}{1 - r_h \sin \gamma_{ort}} \right] \quad (5.47)$$

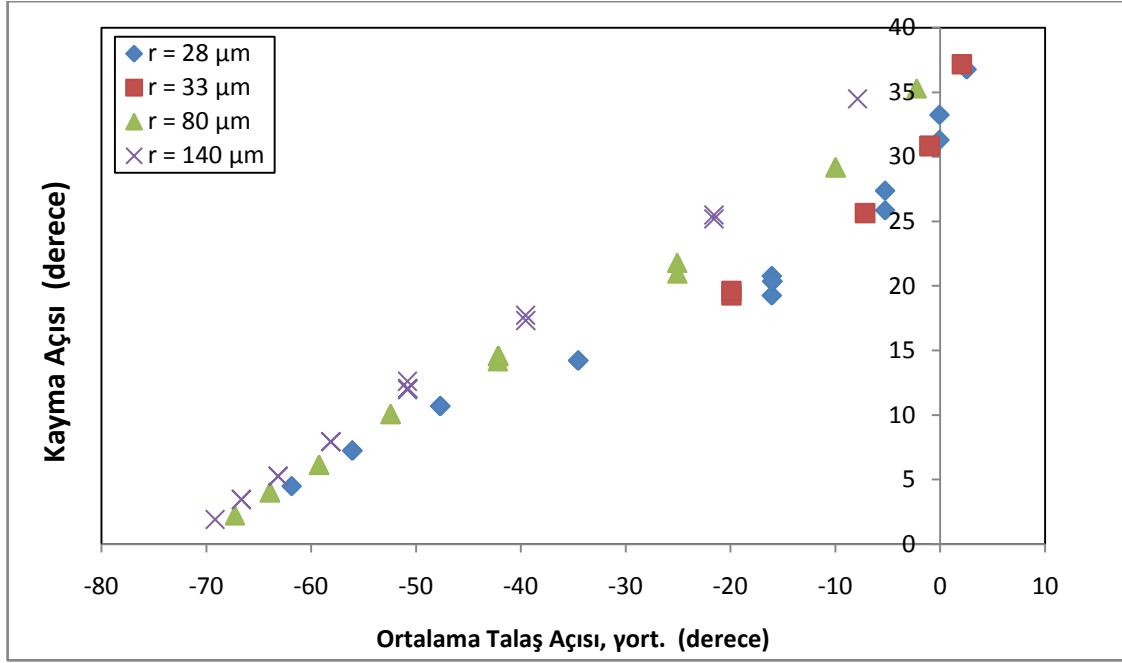
Yukarıdaki eşitlikte r_h , deforme olmamış kalınlığının deforme olmuş talaş kalınlığına olan oranı (h/h_c) ya da kısaca talaş oranıdır ve hesaplamalarda Schimmel'e (1999) ait deneysel verilerde yer alan talaş oranları kullanılmıştır. İlerleyen sayfalarda yer alan 5.11, 5.12 ve 5.13 numaralı Şekiller sırasıyla -16, 0 ve 5°'lik nominal ortogonal talaş açısı değerlerinde 28, 33, 80 ve 140 μm gibi çeşitli ağız yarıçapı değerleri için hesaplanan kayma açılarını göstermektedir. Kayma açıları eşitlik (5.46)'da yer alan ortalama talaş açısı modeli yardımıyla belirlenmiş talaş açısı değerlerinin eşitlik (5.47)'de kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Tüm şekillerde de ortalama talaş açısı negatif değerlerden sıfıra doğru yaklaştığında, kayma açısı değerlerinin artış gösterdiği görülmektedir. Ağız yarıçapları için bir kıyaslama yapılacak olunursa az bir fark olsa da 28 μm 'lik en küçük ağız yarıçapından 140 μm 'lik en büyük ağız yarıçapına doğru gidildiğinde kayma açısı artış göstermektedir.



Şekil 5.11 Farklı kesici ağız yarıçapları ile, -16° 'lik nominal ortogonal talaş açısı değeri için ortalama talaş açısı modeli ile hesaplanan talaş açısı değerlerine karşılık eşitlik (5.47)'den hesaplanan kayma açıları ($V = 0.647 \text{ m/s}$)



Şekil 5.12 Farklı kesici ağız yarıçapları ile, 0° 'lik nominal ortogonal talaş açısı değeri için ortalama talaş açısı modeli ile hesaplanan talaş açısı değerlerine karşılık eşitlik (5.47)'den hesaplanan kayma açıları ($V = 0.647 \text{ m/s}$)



Şekil 5.13 Farklı kesici ağız yarıçapları ile, 5°'lik nominal ortogonal talaş açısı değeri için ortalama talaş açısı modeli ile hesaplanan talaş açısı değerlerine karşılık eşitlik (5.47)'den hesaplanan kayma açıları ($V = 0.647 \text{ m/s}$)

Kayma açılarının ortalama talaş açıları için hesaplanmasından sonra (5.48) ve (5.49) numaralı eşitlikler kullanılarak kesme kuvvetleri ve dik kuvvetler hesaplanmıştır. Bu eşitliklerden elde edilen sonuç Newton / milimetre (N/mm) birimindedir. Manjunathaiah'ın (1998) modeli iki boyutludur. Kuvvetlerin gerçek değerlerini Newton (N) olarak bulabilmek için Manjunathaiah'ın (1998) modelinden elde edilen kuvvet değerlerinin Schimmel'in (1999) çalışmasında yer alan 5.08 mm'lik talaş genişliği değeri ile çarpılması gerekmiştir. Eşitlikler tekrar yazılırsa:

$$F_C = \{(h - p) \cot \phi + h + r \sin \theta - (k - 1)\delta\}S \quad (5.48)$$

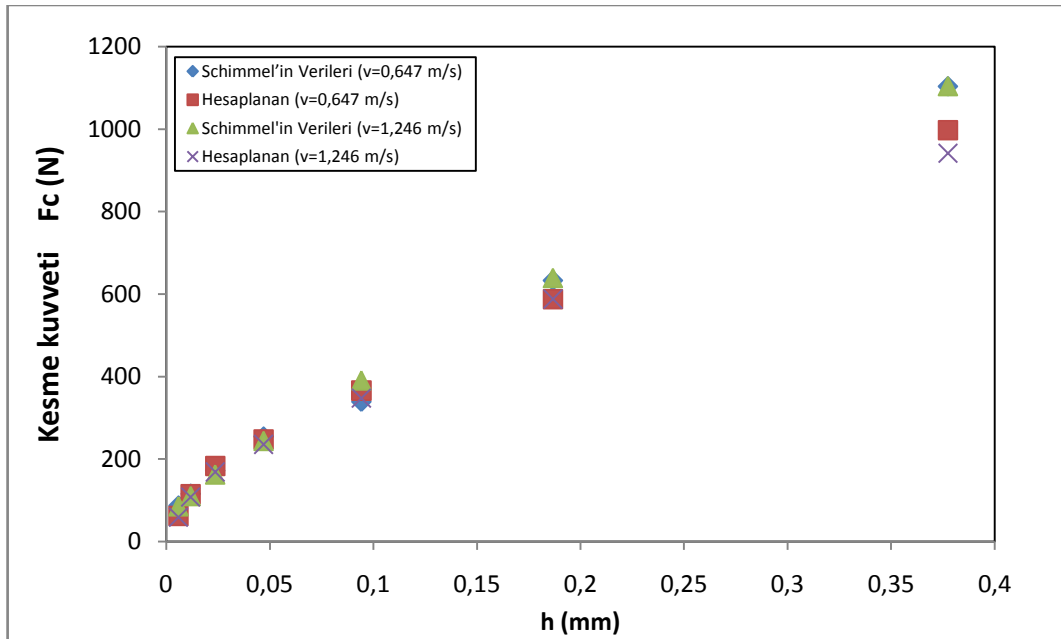
$$F_T = \{(h - p) \cot \phi - h + r \sin \theta + (k - 1)\delta \cot \psi\}S \quad (5.49)$$

Burada δ , daha önce (5.17) numaralı eşitlikte yer alan işlenmiş yüzeyin plastik deformasyon derinliğidir ve tekrar şöyle yazılabilir:

$$\delta = \frac{(h - p) \cot \phi - h + r \sin \theta}{1 + \cot \psi} \quad (5.50)$$

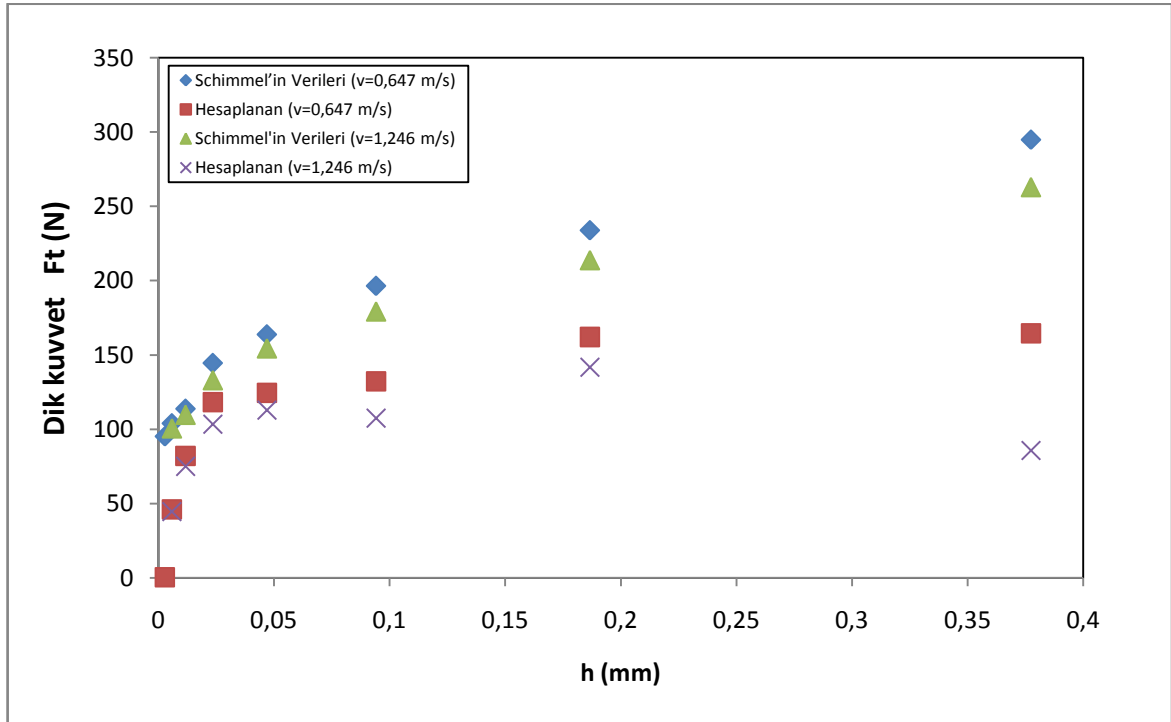
Yukarıdaki eşitliklerde yer alan deforme olmamış talaş kalınlığı h , kesici ağız yarıçapı r ve kayma gerilmesi S değerleri, Schimmel'in (1999) çalışmasında yer alan deneysel verilerden

(Ek-1) elde edilmiştir. Ayrılma noktası P 'nin yüksekliği p ve işlenmiş yüzeyin plastik deformasyon derinliği δ , sırasıyla (5.16) ve (5.50) numaralı eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır. Manjunathaiah'ın (1998) çalışmasına dayanarak, ayrılma noktasının pozisyonunu belirleyen açı olan θ , 30° ve geometrik modelde yer alan bir açı olan ψ ise 20° olarak kabul edilmiştir. Son olarak kayma gerilmesi ile normal gerilme arasındaki ilişkiyi tanımlayan normal gerilme faktörü k nın belirlenmesi gerekmektedir. Bu değer, Manjunathaih'ın (1998) çalışmasında yaklaşık bir sabit olarak kabul edilmiş ve 1.1 olarak varsayılmıştır. Buradan hareketle bu çalışmada da yapılan hesaplamalar sırasında k normal gerilme faktörü için 1.1 değeri kullanılmıştır. Elde edilen bulguların ışığında normal gerilme faktörü k 'nın detaylı bir incelemesinden ilerleyen bölümlerde bahsedilecektir. Hesaplanan talaş kaldırma kuvvetleri ile Schimmel'in (1999) verilerinde yer alan deneysel olarak belirlenmiş talaş kaldırma kuvvetleri, Excel programı kullanılarak oluşturulan çeşitli grafikler yardımı ile karşılaştırılmıştır. Ortalama talaş açısının -60 dereceden küçük olan az sayıda değeri için modelden hesaplanan talaş kaldırma kuvvetlerinin negatif işaretli olduğunu belirtmek gerekir. Pek çok araştırmacı tarafından -60 ile -80 derecelik negatif talaş açılarında talaş oluşumunun gerçekleşmediği belirtilmektedir. Bu durumda talaş kaldırma kuvvetlerinin varlığı da söz konusu olmamaktadır. Bu sebeple söz konusu modelin de -60 dereceden daha küçük negatif talaş açıları için uygun olmadığı kanısına varılmıştır. Negatif olarak bulunan çok az sayıdaki kuvvet değerleri grafiklerde gösterilmemiştir.

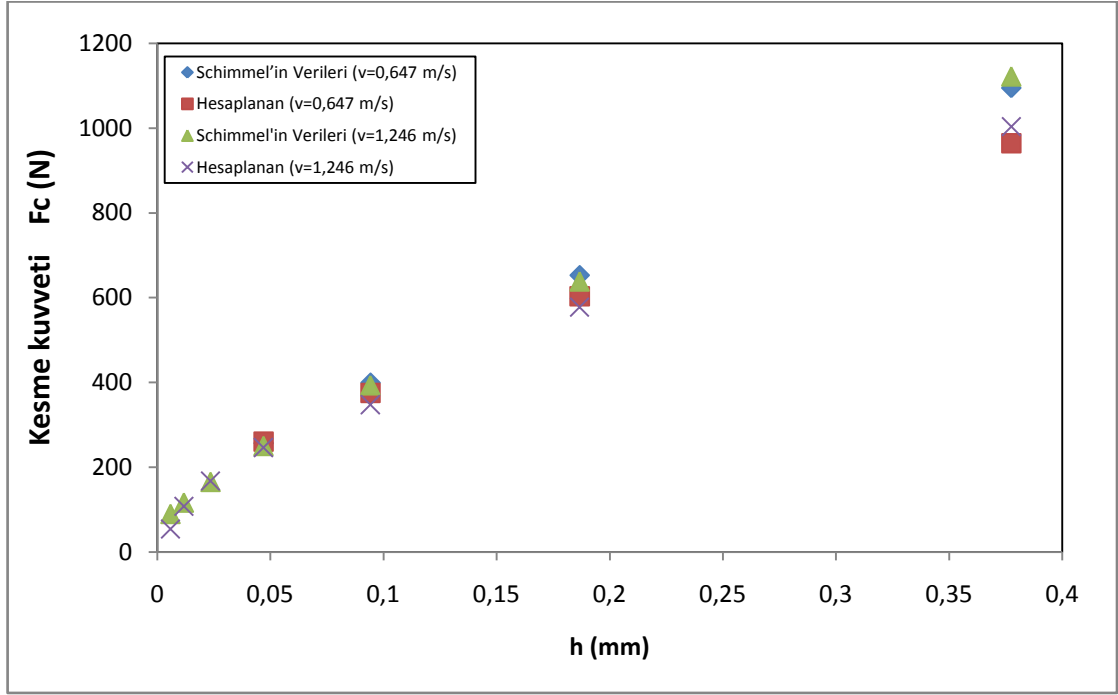


Şekil 5.14 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 28 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)

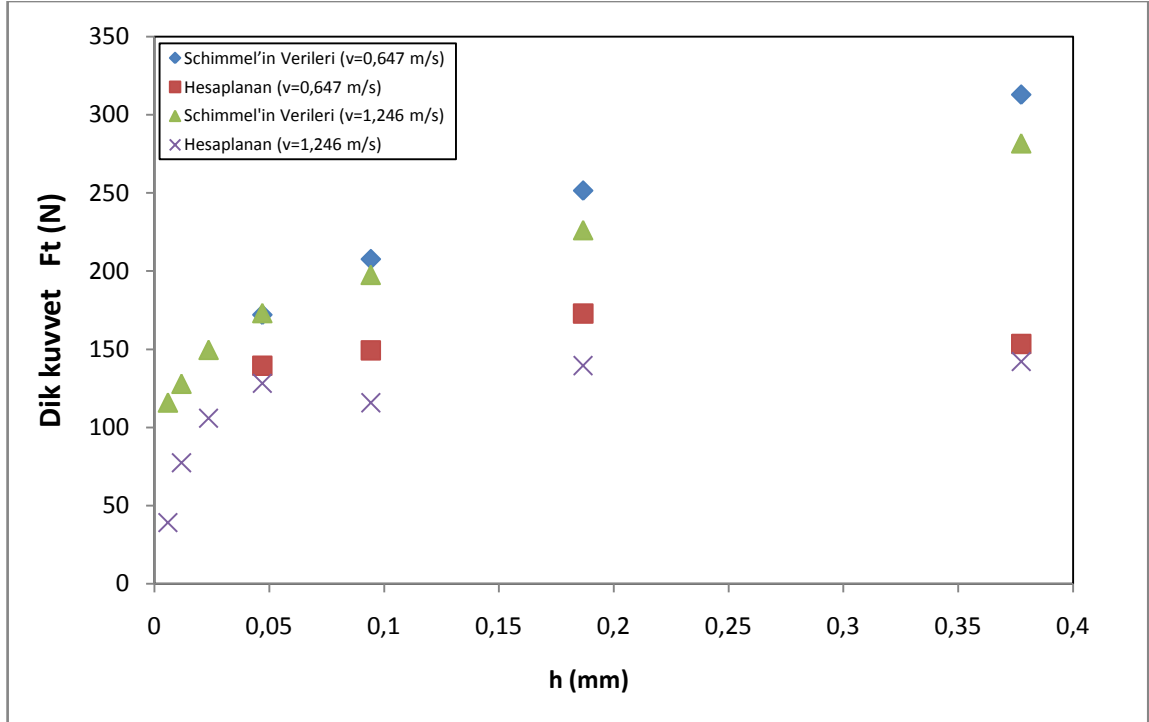
5.14 ile 5.21 arasında yer alan Şekiller, hesaplanmış olan kesme kuvvetleri ve dik kuvvetlere ait değerlerin, deforme olmamış talaş kalınlığı değerlerine karşı çizildiği grafikleri göstermektedir. Bu grafikler $\gamma = 5^\circ$ 'lik nominal ortogonal talaş açısına ve sırayla 28, 33, 80 ve $140 \mu\text{m}$ 'lik kesici ağız yarıçaplarına sahip takımlar içindir. Kuvvet hesaplamaları Schimmel'in (1999) verilerinde yer alan 0,647 m/s ve 1,247 m/s gibi iki farklı kesme hızı için gerçekleştirilmiştir. Tüm grafikler için, 1,247 m/s'lik kesme hızı daha küçük talaş kaldırma kuvvetlerine sebep olmaktadır. Bu durum hem hesaplanan kuvvet değerleri hem de deneysel kuvvet değerleri için geçerlidir. Kesme kuvvetleri söz konusu olduğunda modelden hesaplanan değerlerin deneysel veriler ile büyük bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Özellikle deforme olmamış talaş kalınlığının küçük değerlerinde daha iyi sonuçlar veren model, deforme olmamış talaş kalınlığı arttıkça hatalı sonuçlar vermeye başlamaktadır. Dik kuvvetleri gösteren grafikler incelendiğinde ise hesaplanan değerler ve deneysel veriler arasında kesme kuvvetlerinde görülen uyuma kıyasla daha az bir uyum olduğu görülmektedir. Yine burada da kesme kuvveti için çizilmiş olan grafiklerdekine benzer şekilde deforme olmamış talaş kalınlığının artması ile hata miktarı da artış göstermektedir. Talaş kaldırma kuvvetleri için elde edilen bu sonuçların ışığında modelin, deforme olmamış talaş kalınlığının oldukça küçük olduğu hassas ve mikro talaş kaldırma gibi işlemlere daha uygun olduğu söylenebilir.



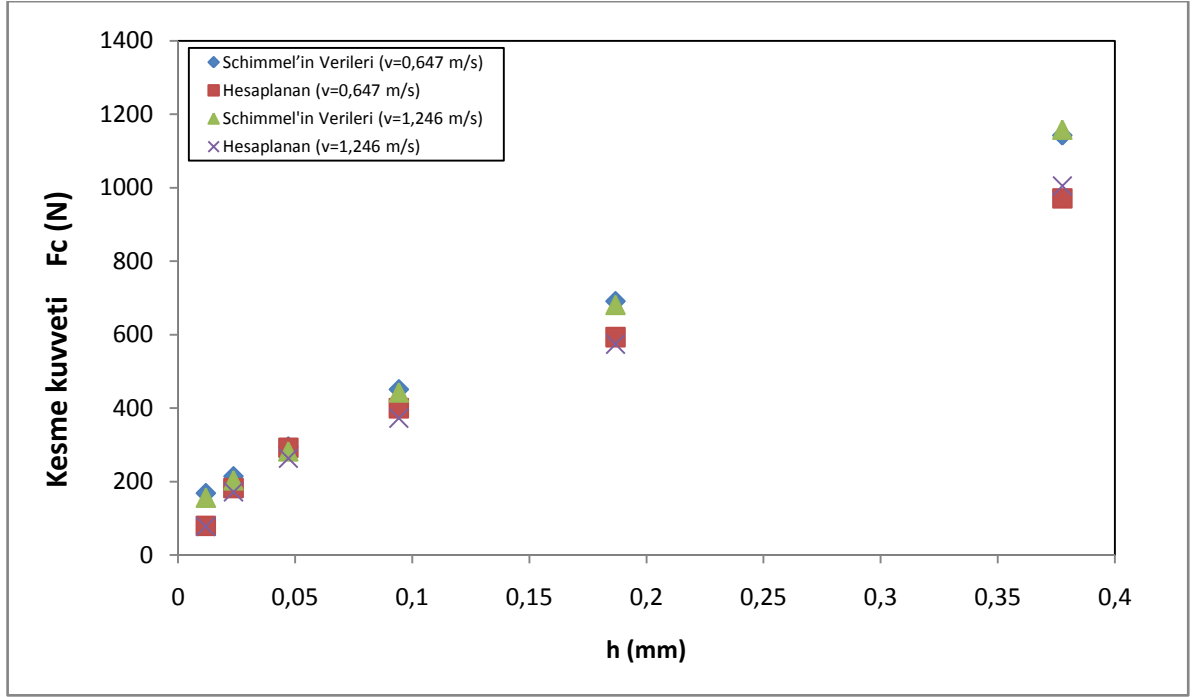
Şekil 5.15 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 28 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)



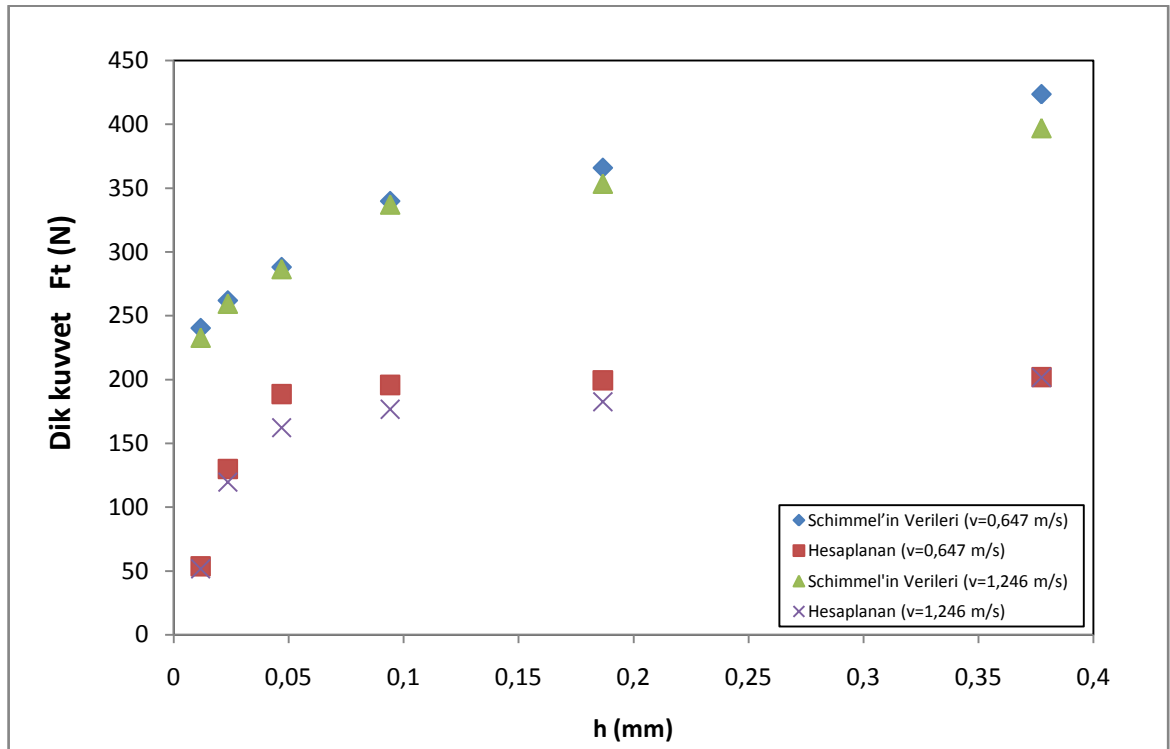
Şekil 5.16 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 33 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)



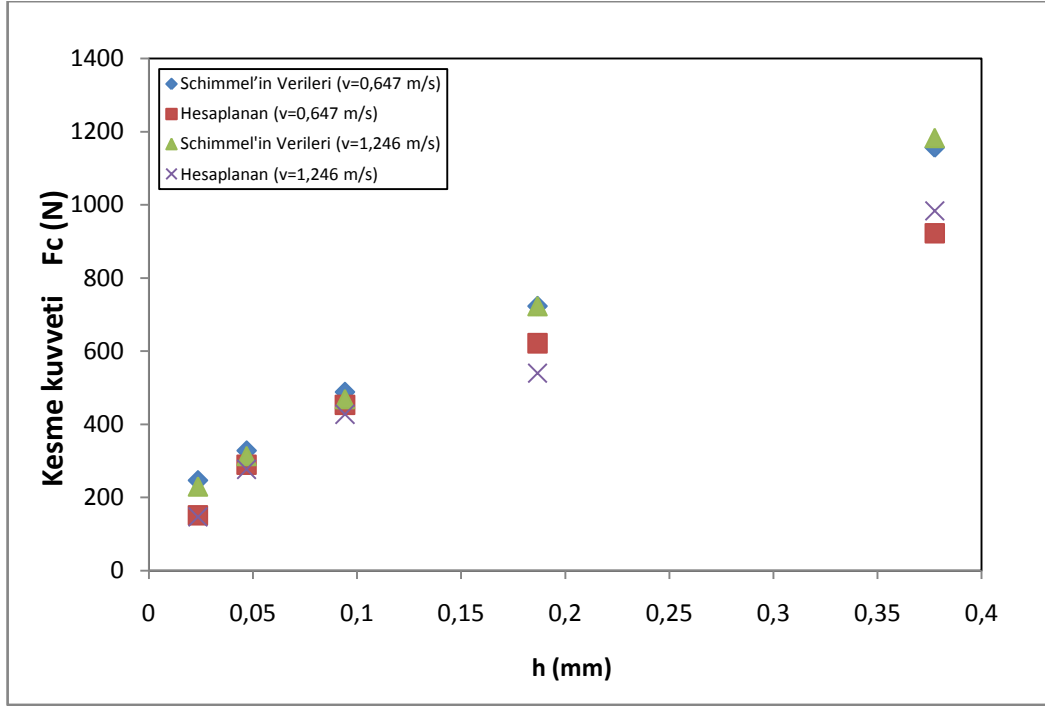
Şekil 5.17 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 33 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)



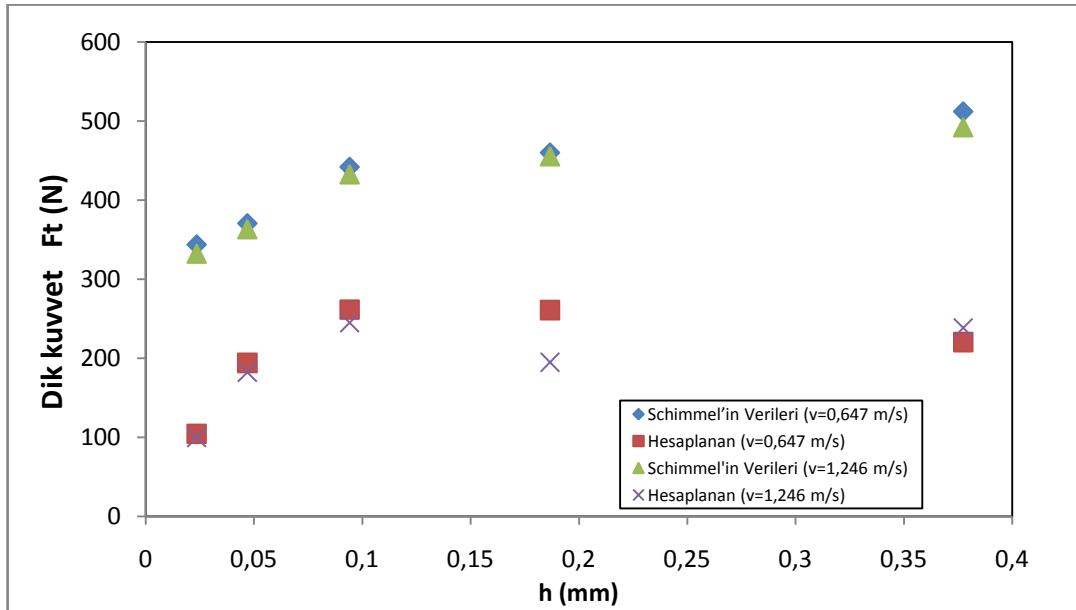
Şekil 5.18 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 80 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)



Şekil 5.19 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 80 \mu\text{m}$, $\gamma = 5^\circ$)



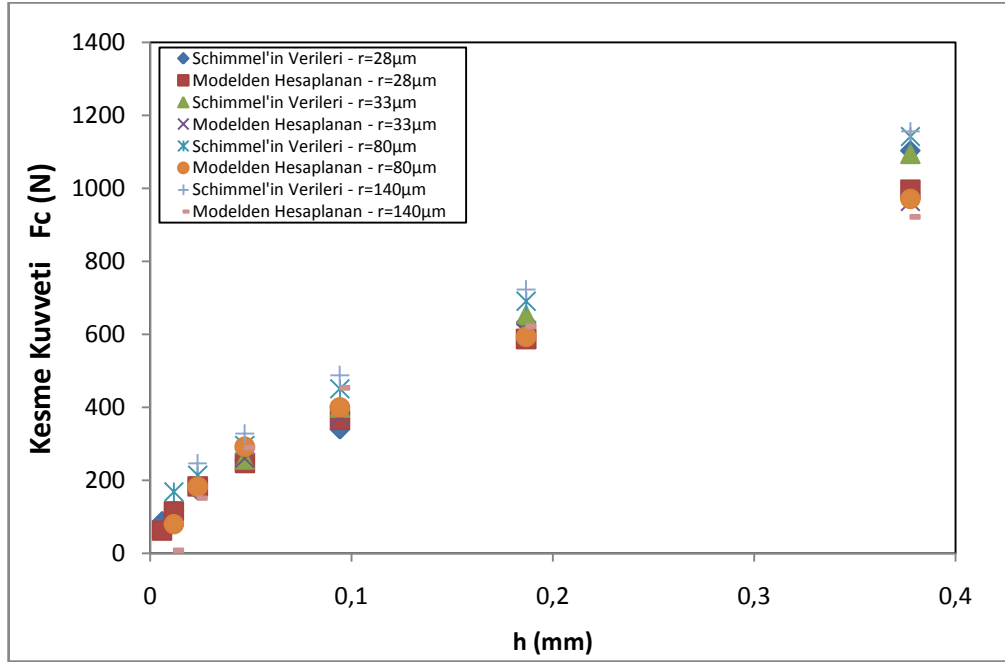
Şekil 5.20 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 140 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)



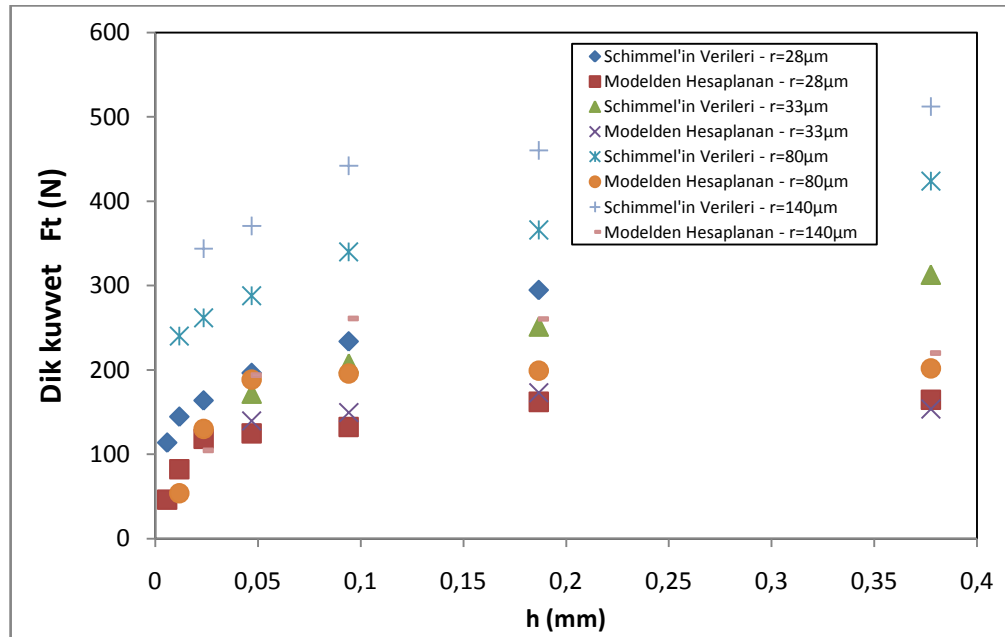
Şekil 5.21 Farklı kesme hızları için, hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($r = 140 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)

Şekil 5.22 ve 5.23'te ise kesme kuvvetleri ve dik kuvvetlerin 28, 33, 80 ve 140 μm 'lik kesici ağız yarıçaplarına sahip takımlar için deforme olmamış talaş kalınlığı ile olan ilişkisi gösterilmektedir. Daha önceden de söz edilen, modelin kesme kuvvetleri için daha tutarlı sonuçlar vermesi bu şekillerde de görülebilir. Kesme kuvvetlerini gösteren Şekil 5.22'de

modelden hesaplanan değerler ve Schimmel'in (1999) çalışmasından alınan değerlerin uyumlu olduğu görülürken, dik kuvvetleri gösteren Şekil 5.23'de aynı uyumdan söz etmek mümkün değildir. Bunun dışında her iki grafikten de artan kesici ağız yarıçapı ile talaş kaldırma kuvvetlerinin de arttığı görülebilir.

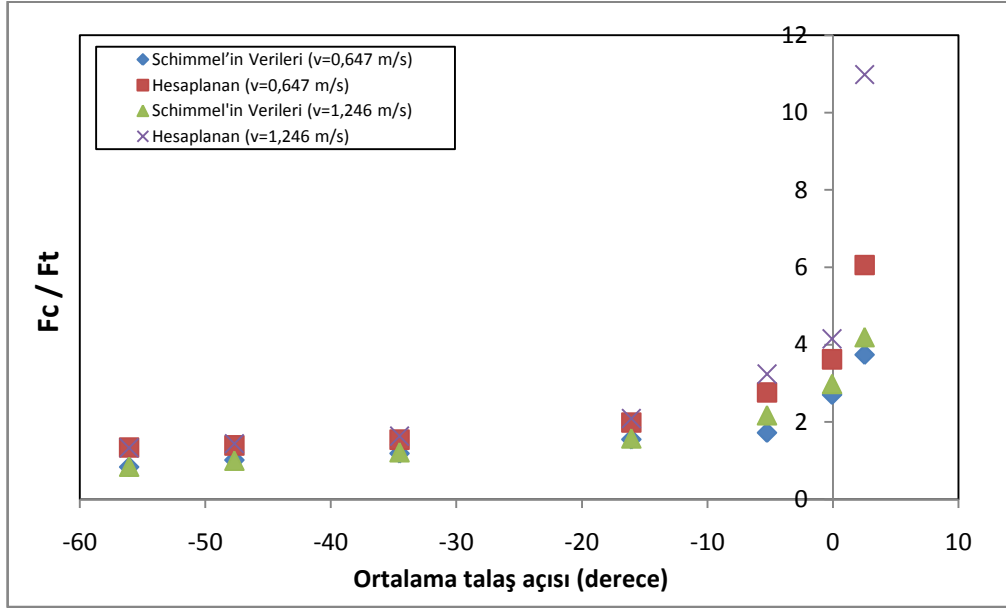


Şekil 5.22 Farklı kesici ağız yarıçaplarına sahip takımlar için hesaplanan ve deneysel kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($\gamma = 5^\circ$, $v = 0,647 \text{ m/s}$)

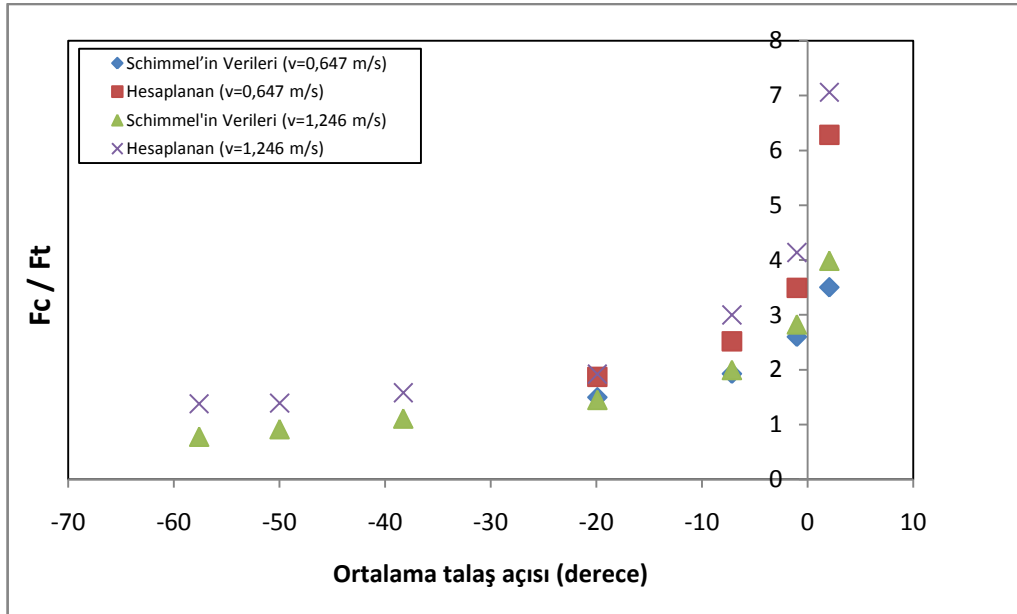


Şekil 5.23 Farklı kesici ağız yarıçaplarına sahip takımlar için hesaplanan ve deneysel dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimi ($\gamma = 5^\circ$, $v = 0,647 \text{ m/s}$)

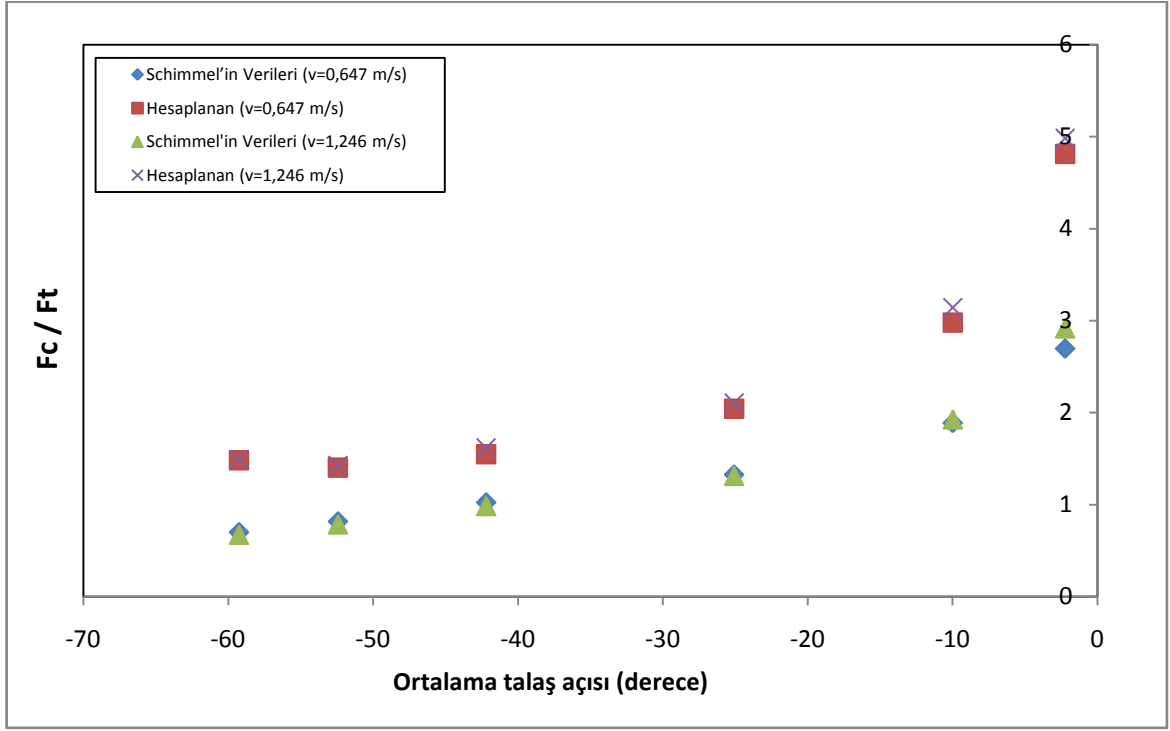
İlerleyen sayfalarda yer alan 5.24'den 5.27'ye kadar olan şekiller ise 4 farklı kesici ağız yarıçapı için kuvvet oranlarının ortalama talaş açısı ile nasıl değiştiğini göstermekte ve aynı zamanda hesaplanan kuvvet oranları ve deneysel kuvvet oranlarının karşılaştırılmasına imkan vermektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi hesaplanan kuvvet oranları ve deneysel verilerden elde edilen kuvvet oranları uyumludur ancak ortalama talaş açısı arttıkça bu uyum az da olsa bozulmaktadır.



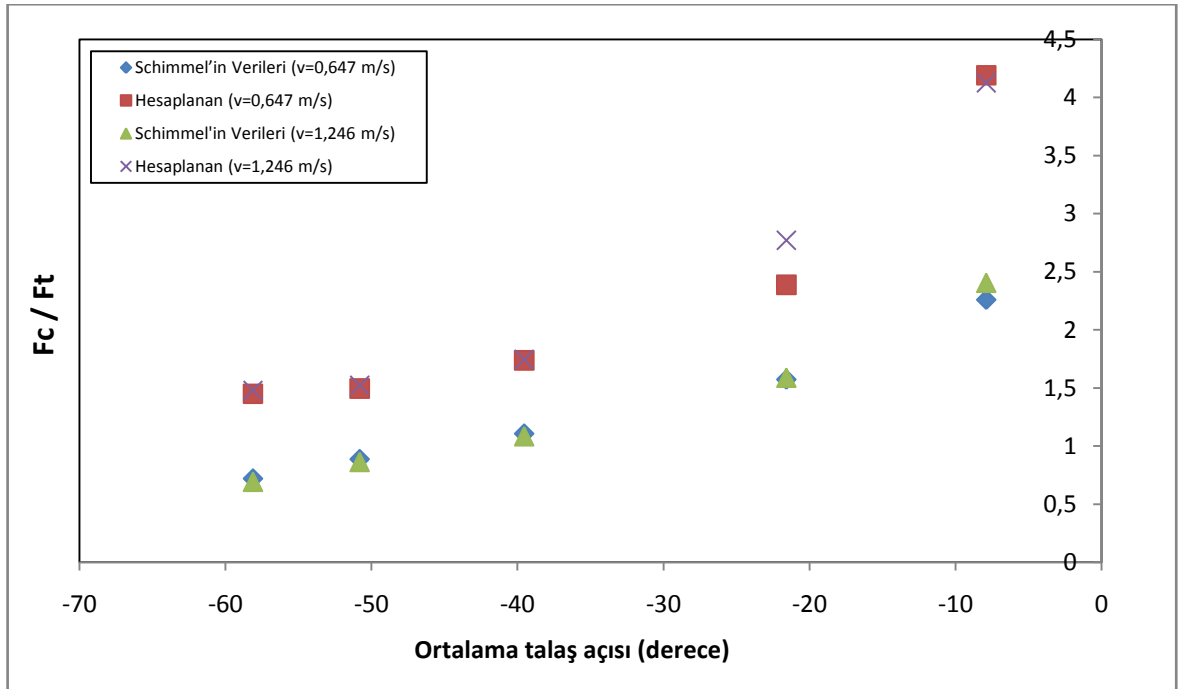
Şekil 5.24 Farklı kesme hızları için, hesaplanan kuvvet oranı ve deneysel kuvvet oranı değerlerinin ortalama talaş açısı ile değişimi ($r = 28 \mu m, \gamma = 5^\circ$)



Şekil 5.25 Farklı kesme hızları için, hesaplanan kuvvet oranı ve deneysel kuvvet oranı değerlerinin ortalama talaş açısı ile değişimi ($r = 33 \mu m, \gamma = 5^\circ$)



Şekil 5.26 Farklı kesme hızları için, hesaplanan kuvvet oranı ve deneysel kuvvet oranı değerlerinin ortalama talaş açısı ile değişimi ($r = 80 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)



Şekil 5.27 Farklı kesme hızları için, hesaplanan kuvvet oranı ve deneysel kuvvet oranı değerlerinin ortalama talaş açısı ile değişimi ($r = 140 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)

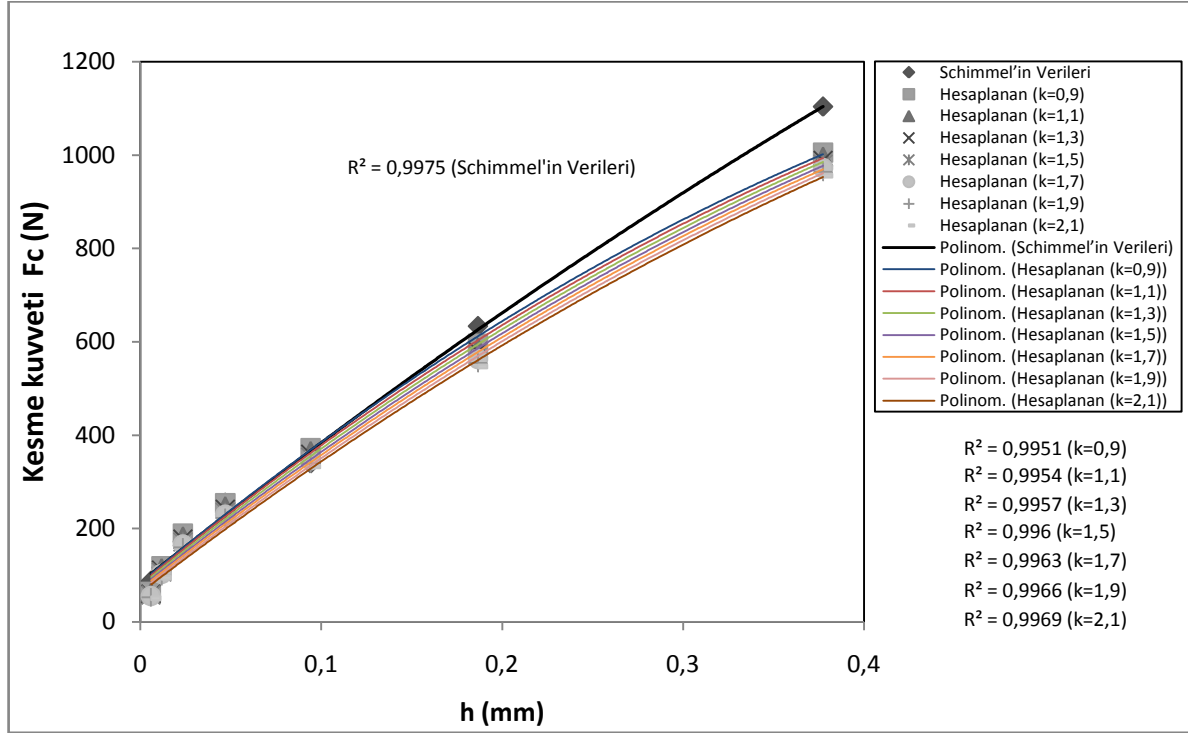
5.4 Normal Gerilme Faktörü k 'nın İncelenmesi

Bir önceki bölümde, yapılan hesaplamaların sonucunda, kullanılan modelin kesme kuvvetlerini tahmin etmekte daha başarılı olduğu, dik kuvvetlerin tahmininde ise aynı ölçüde başarılı olamadığı kanısına varılmıştı. Bu durumun muhtemel nedenlerinden biri modelin kısmen basit bir yapıda olmasıdır. Bunun dışında, kuvvet modelinde yer alan normal gerilme faktörü k nın talaş kaldırma kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu düşünülürse, bu faktörün doğru olarak belirlenmesi, kuvvetlerin doğru bir şekilde hesaplanması için oldukça önemlidir. Normal gerilme faktörü olarak adlandırılan k , normal gerilme ile kayma gerilmesi arasındaki ilişkiyi belirlemektedir ve talaş kaldırma koşulları ile değişmektedir.

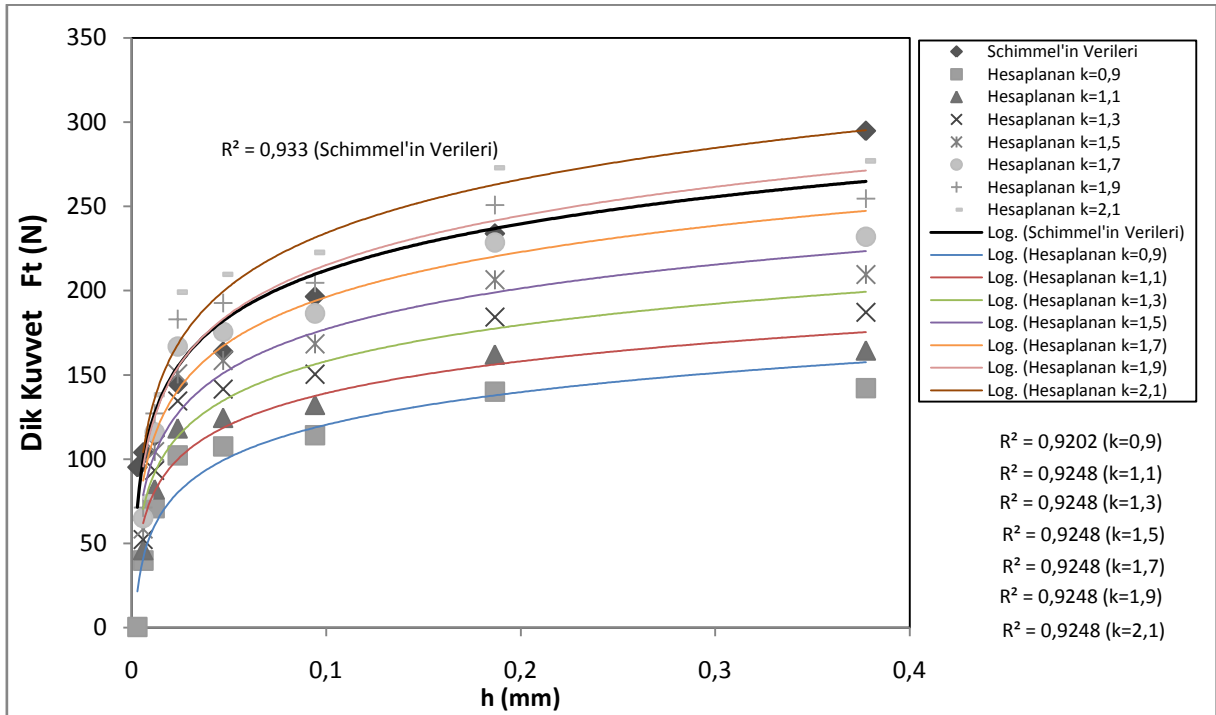
Manjunathaiah (1998) yapmış olduğu çalışmada, kullanmış olduğu deneysel şartlar altında normal gerilme faktörünün yaklaşık olarak 1.1 gibi bir değerde sabit olduğunu varsaymıştır. Buradan hareketle bir önceki bölümde k değeri 1.1 olarak kabul edilip talaş kaldırma kuvvetleri buna göre hesaplanmış idi. Ancak, $k = 1.1$ değerinin kullanılmasıyla elde edilen dik kuvvet değerleri, karşılaştırma yapılan deneysel veriler ile yeterli uyum sağlamamıştı. Bu sebeple bu bölümde normal gerilme faktörünün talaş kaldırma kuvvetleri üzerindeki etkisinin incelenmesine karar verilmiştir. Normal gerilme faktörü k 'ya çeşitli değerler verilerek, talaş kaldırma kuvvetleri yeniden hesaplanmıştır. Bu yolla deneysel kuvvet verileri ile hesaplanan kuvvet değerlerinin hangi k değeri için daha uyumlu olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Normal gerilme faktörü k değeri kesme koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Kullandığımız verilerin tümü için bir k analizi yapmak mümkün olmadığından bu bölümde gerçekleştirilen tüm hesaplamalarda kullanılmak üzere $r = 28 \mu m$ 'lik kesici ağız yarıçapı ve $\gamma = 5^\circ$ 'lik nominal ortogonal talaş açısına ait veriler seçilmiştir. k değeri ilk olarak 0,9 seçilmiş daha sonra ise 0,2'lik artışlar yapılarak k değeri adım adım arttırılmıştır, hesaplama yapılan en son k değeri ise 2,1'dir. Elde edilen sonuçlar Şekiller 5.28, 5.29, 5.30 ve 5.31'de detaylı olarak sunulmuştur. Daha iyi bir değerlendirme yapabilmek için her veri grubuna ait eğilim çizgileri grafikler üzerinde gösterilmiştir. Grafiklerde yer alan veriler için en uygun eğilim çizgilerini belirlemek adına logaritmik, üstel ve polinom tipi eğilim çizgilerinin R^2 değerleri incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda her grafik için en uygun eğilim çizgisi seçilmiştir. Şekil 5.28 farklı k değerleri için kesme kuvvetlerinin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimini göstermektedir. Siyah eğilim çizgisi, Schimmel'e (1999) ait verilerden alınan deneysel değerleri temsil etmektedir. Şekilden görüldüğü gibi k , kesme kuvvetleri üzerinde çok büyük bir etkiye sahip değildir. Bununla beraber artan k ile birlikte, hesaplanan

değerler deneysel verilerden az da olsa uzaklaşmaktadır. Ayrıca küçük deforme olmamış talaş kalınlıklarında tüm k değerleri için hesaplanan kuvvet değerleri deneysel veriler ile daha uyumludur.

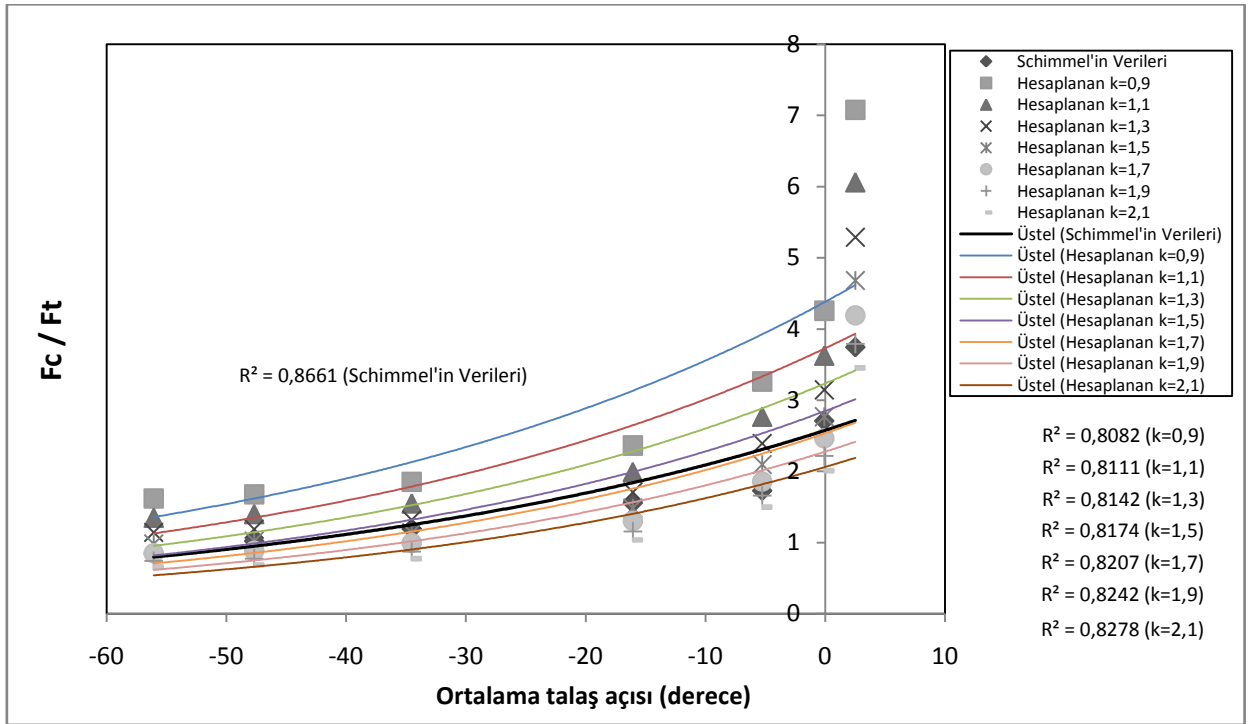


Şekil 5.28 Farklı k değerleri için deforme olmamış talaş kalınlığı ile kesme kuvvetlerinin değişimi ($r = 28 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)



Şekil 5.29 Farklı k değerleri için deforme olmamış talaş kalınlığı ile dik kuvvetlerin değişimi ($r = 28 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)

Şekil 5.29 farklı k değerleri için dik kuvvetlerin deforme olmamış talaş kalınlığı ile değişimini göstermektedir. Kesme kuvvetlerinden farklı olarak k değeri, dik kuvvetler üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir ve bu eğilim çizgilerinin değişen k ile göstermiş olduğu değişimden açıkça görülebilir. Bu durumu örneklemek gerekirse, $r = 28 \mu m$ ve $\gamma = 5^\circ$ için deneysel veriler ile hesaplanan değerler arasındaki farklılığın en fazla olduğu $h = 0,377 mm$ sabit deforme olmamış talaş kalınlığında, k 'nın 0,9'dan 2,1'e çıkması ile kesme kuvveti yaklaşık %5'lik bir azalma ile 1005 N'dan 956 N'a düşmektedir. Dik kuvvetlere bakacak olursak, aynı deforme olmamış talaş kalınlığında k 'nın 0,9'dan 2,1'e çıkması ile dik kuvvet yaklaşık %94'lük bir artışla 142 N'dan 276 N'a yükselmektedir. Yani k 'nın artması ile kesme kuvvetleri az miktarda azalırken, dik kuvvetler büyük ölçüde artmaktadır. Şekil 5.29'daki grafikte siyah eğilim çizgisi Schimmel'e (1999) ait verilerden alınan deneysel değerleri temsil ederken diğer renkler farklı k değerleri için hesaplanan dik kuvvet değerlerine ait eğilim çizgilerini temsil etmektedir. $k = 0,9$ için hesaplanan dik kuvvetlerin deneysel verilerden düşük kaldığı, grafikte yer alan mavi renkli eğilim çizgisinden görülmektedir.

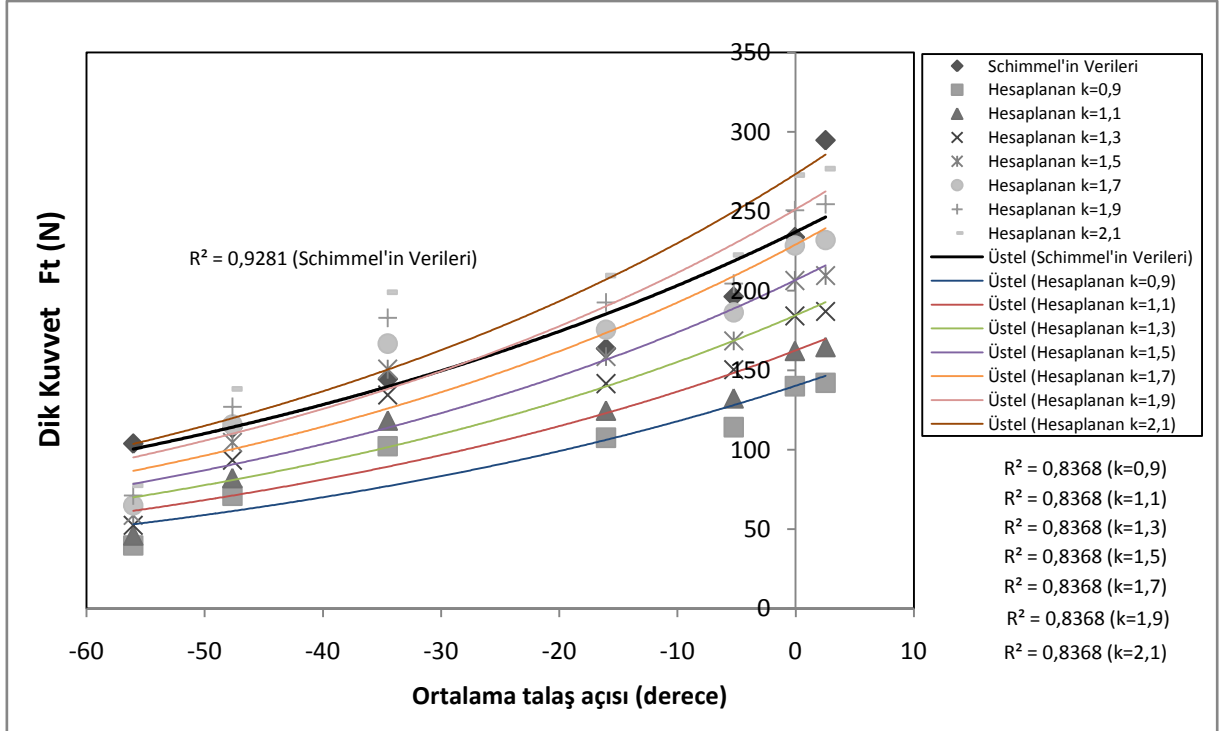


Şekil 5.30 Farklı k değerleri için ortalama talaş açısı ile kesme kuvvetinin dik kuvvete olan oranının değişimi ($r = 28 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)

Artan k ile, hesaplanan dik kuvvet değerleri deneysel verilere giderek yaklaşmakta kesme kuvveti değerleri ise deneysel kesme kuvvetlerinden uzaklaşmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi kesme kuvvetinde görülen bu azalma, dik kuvvetteki artışa göre azdır. $k = 1,7$ için deneysel verilere oldukça yaklaşan hesaplanan dik kuvvet değerleri, $k = 1,9$ için

deneysel verileri çok az aşmakla birlikte bu noktada, veriler ile büyük ölçüde örtüşmektedir. $k = 2,1$ için ise hesaplanan dik kuvvet değerlerinin deneysel dik kuvvet değerlerinden uzaklaşmaya başladığı görülmektedir.

Şekil 5.30, farklı k değerleri için kesme kuvvetinin dik kuvvete olan oranının ortalama talaş açısı ile değişimini göstermektedir. Bu grafikte de k 'nın küçük değerleri için deneysel verilerden uzak olan hesaplanan kuvvet oranı değerleri k 'nın artmasıyla deneysel verilere yaklaşmakta ve Şekil 5.29'a benzer olarak $k = 1,7$ değerinden büyük değerlerde bu uyum yeniden bozulmaya başlamaktadır. Son olarak Şekil 5.31, farklı k değerleri için dik kuvvetin ortalama talaş açısı ile değişimini göstermektedir. Diğer grafiklerde gözlemlenen durum burada da gözlemlenmektedir. Normal gerilme faktörü k 'nın belirli değerlerinde görülen deneysel veriler ile hesaplanan talaş kaldırma kuvvetleri arasındaki uyum, bu değerlerin dışında bozulmaya başlamaktadır. Söz edilen uygun k değerinin 1,7 ile 1,9 arasında olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, bir önceki bölümde yapmış olduğumuz talaş kaldırma kuvveti hesaplamalarında kullandığımız Schimmel'e ait deneysel veriler için uygun olan k değeri bu aralıkta yer almaktadır. Talaş kaldırma kuvveti hesaplamalarında bu değer kullanılırsa özellikle dik kuvvetler için, önceden kabul edilen 1,1 değerine göre daha iyi sonuçlar elde edilecektir.



Şekil 5.31 Farklı k değerleri için ortalama talaş açısı ile dik kuvvetlerin değişimi ($r = 28 \mu m$, $\gamma = 5^\circ$)

6. SONUÇLAR

Deforme olmamış talaş kalınlığı ile kesici ağız yarıçapının aynı büyüklük düzeninde olduğu hassas talaş kaldırma operasyonları ve mikro ölçekli talaş kaldırma gibi yeni teknolojiler modern talaş kaldırma işlemlerinde, giderek artan oranda kullanılmaktadır. Bu da kesici ağız yarıçapının kesici takım geometrisinin önemli bir parçası haline geldiği ve işlem üzerindeki etkilerinin daha detaylı olarak incelenmesi gerektiği anlamına gelmektedir. İşte bu saptama, yapılan tez çalışmasının temel hedefini yansıtmaktadır. Bu hedef doğrultusunda, kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve çeşitli araştırmacıların bu konudaki çalışmalarından elde ettikleri sonuçların ışığında, kesici ağız yarıçapının talaş kaldırma işlemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Son kısımda ise daha önceden önerilmiş olan ve yuvarlatılmış ağız yarıçapının etkisini de içinde barındıran bir talaş kaldırma modelinin geçerliliğini, yine literatürden elde edilen deneysel verilerin kullanılması ile incelenmeyi amaçlayan teorik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Yuvarlatılmış kesici ağızın talaş kaldırma işlemini nasıl etkilediğini araştıran bugüne kadar yapılmış olan birçok çalışma mevcut olmakla birlikte, bunların büyük bir bölümü 1990'lar sonrasında günümüze kadar gerçekleştirilmiş olan çalışmalardır. Bu çalışmaların detaylı olarak incelenmesi sonucunda ağız yarıçapının talaş kaldırma kuvvetleri, işlenmiş yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ya da ömrü ve son olarak kesici takım etrafındaki sıcaklık dağılımına ait davranışı etkilediği belirlenmiştir.

Talaş kaldırma kuvvetleri ağız yarıçapının varlığından önemli ölçüde etkilenmektedir. Genel eğilim, kesme kuvveti ve dik kuvvetin artan kesici ağız yarıçapı ile artması yönündedir. Örnek vermek gerekirse Waldorf'un (2006) yapmış olduğu çalışmada 4340 çeliğinin düşük kesme hızı ve düşük ilerleme koşullarındaki talaş kaldırma işleminde, kesici ağız yarıçapının 0.05 mm en 0.13 mm ye çıkması ile birlikte durgun hal için ortalama kesme kuvveti değeri de 625N dan 700N a çıkmaktadır. Dik kuvvet de öncekine benzer bir artış oranıyla birlikte 190N dan 275N a çıkmaktadır. Kuvvetin dik bileşeni, kesme bileşenine oranla ağız yuvarlaklığından daha fazla etkilenmektedir. Söz konusu durum benzer şekilde hesaplanan kuvvet değerleri için de geçerlidir. Eğer Şekil 5.22 ve 5.23'de yer alan grafikler incelenirse dik kuvvetin kesici ağız yarıçapından daha fazla etkilendiği görülebilir. Waldorf'un çalışması için yazarın yaptığı açıklamaya göre bunun sebebi dik kuvvetin sürme bileşenin takımın titreşim hareketine karşı gelmesi sebebiyle (titreşimin ilerleme yönünde olduğu varsayılmaktadır) ağız yarıçapının artmasıyla talaş kaldırma işlemi sönümlemesinin artmasıdır.

Kesici ağız yarıçapı işlenmiş yüzey pürüzlülüğü üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Thiele ve Melkote (1999) AISI 52100 çeliğinin bitirme sert tornalama işleminde kesici ağız geometrisi ve sertliğin, yüzey bitirmesi ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin detaylı deneysel incelemelerine ait sonuçları sunan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 22,86 μm ve 121,92 μm 'lik kesici ağız yarıçapı değerlerine sahip takımlar kullanan araştırmacılar, 22,86 μm ve 121,92 μm 'lik kesici ağız yarıçapları tarafından üretilen pürüzlülük değerlerinin düşük ilerleme hızlarında birbirlerine yaklaştığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte yüksek ilerleme hızlarında 121,92 μm 'lik kesici ağız yarıçapı tarafından üretilen pürüzlülük değerlerinin 22,86 μm 'dekine göre daha büyük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Takım aşınması da kesici ağız yarıçapının değişiminden etkilenmektedir. Keskin bir takıma kıyasla yuvarlatılmış kesici ağızlı bir takım, ağız kısmında daha az aşınarak daha iyi takım ömrü sunmaktadır. Rech ve Schaff'a (2006) ait çalışmaya dayanarak 10 μm 'lik kesici ağız yarıçapına sahip kesici uçların keskin olanlara göre daha iyi aşınma direnci sergilediklerinden bahsedilebilir. Standart bir keskin ağızlı takım ve 10 μm 'lik bir kesici ağız yarıçapına sahip mekanik işlem görmüş bir kesici takım karşılaştırıldığında, takım ömründe %400 ila %500 arasında bir gelişim gözlenebilir. Bununla birlikte, daha keskin ve daha fazla yuvarlatılmış uçlar daha kötü bir aşınma davranışı göstermektedir.

Yuvarlatılmış kesici ağız etrafındaki sıcaklık davranışını incelemek için sonlu elemanlar yöntemini kullanan çeşitli çalışmalara dayanarak takım ağzının yanındaki maksimum sıcaklık büyüklüğünün ağız yarıçapı boyutuna karşı duyarlı olmadığı söylenebilir. Ortalama talaş yüzeyi sıcaklığı artan ağız yarıçapı ile monoton olarak artarken, makul bir ağız yarıçapında minimum bir sıcaklık değerinin varlığı görülmektedir. Büyük kesici ağız yarıçapına sahip takımlarda takım ucunun yanındaki plastik işe bağlı olarak daha fazla ısı üretilir ve talaş veya takıma iletilir. Diğer bir taraftan kaybolan ısı büyük kesici ağız yarıçapına sahip takımın geniş bir yüzey alanına, azalmış geometrik sınırlama sebebi ile daha kolay şekilde yayılır. Bu iki karşıt etki ısı yükünün artması ve kesici ağzın daha büyük bir bölgesine dağıtılmasından dolayı bir denge sağlar. Bu durum, minimum takım sıcaklığı veren uygun bir yuvarlaklık yarıçapının varlığıyla açıklanabilir.

Yukarıda bahsedilenlerden çıkarılabilecek sonuç, deforme olmamış talaş kalınlığının kesici takım ağız yarıçapı ile benzer büyüklük düzeninde olduğu talaş kaldırma işlemlerinde kesici ağız yarıçapının talaş kaldırma işlemini pek çok farklı yönden etkilediği ve bu etkilerin dikkate değer olduğudur.

Yapılan çalışmanın son kısmında ise talaş kaldırma kuvvetleri ile ilgili teorik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Manjunathaiah'a (1998) ait talaş kaldırma modeli Schimmel'in (1999) deneysel verileri ile kullanılmış, hesaplanan talaş kaldırma kuvvetleri Schimmel'in (1999) verilerindeki deneysel kuvvet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede modelin ne ölçüde geçerli olduğu incelenmeye çalışılmıştır.

Hesaplanan talaş kaldırma kuvveti değerleri ile deneysel talaş kaldırma kuvveti değerleri özellikle küçük deforme olmamış talaş kalınlıkları için birbirlerine yakinken, deforme olmamış talaş kalınlığı arttıkça değerler birbirinden uzaklaşmaktadır. Bu durum modelin küçük deforme olmamış talaş kalınlıklarının görüldüğü talaş kaldırma operasyonları için daha uygun bir model olduğu, kaba kesme koşullarının hakim olduğu operasyonlar için ise uygun olmadığı anlamına gelmektedir.

Çalışmanın son kısmında Manjunathaiah'a (1998) ait modelde yer alan nominal gerilme faktörü k , seçilen kesme koşulları altında incelenmiştir ve k 'nın dik kuvvetler üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Artan k değeri ile kesme kuvvetleri azalırken dik kuvvetler artmaktadır. İnceleme yapılan koşullarda, dik kuvvetler için daha doğru sonuçlar k 'nın belirli bir aralıkta yer alan değerleri için elde edilmektedir.

Elde edilen sonuçların ışığında modelin başarılı olduğu söylenebilir. Özellikle kesme kuvveti için deneysel kuvvet değerleri ile hesaplanan kuvvet değerleri büyük bir uyum içindedir. Bununla birlikte dik kuvvetler için aynı durum söz konusu değildir ve bu durumun muhtemel nedenlerinden biri modelin nispeten basit olan yapısıdır. Daha önce de bahsedilen ve oldukça detaylı yapısı ile daha karmaşık ve gerçeğe oldukça yakın bir model olan Fang'a (2003a, 2003b) ait talaş kaldırma modeli hatırlanırsa Manjunathaiah'ın (1998) modelinin oldukça basit bir model olduğu ortadadır. Ayrıca k değerinin doğru şekilde belirlenmesi, kuvvetlerin tahmini açısından oldukça önemlidir. Hesaplamalarda, gerçekte kesme koşullarıyla değişim gösteren k 'nın sabit olduğu varsayılmıştır. Daha sonra yapılan inceleme sonucu k 'nın kesme kuvvetleri ve dik kuvvetleri farklı şekilde etkilediği ve sabit k varsayımının bazı hatalara yol açabileceği görülmüştür. Bunlar göz önüne alındığında modelde gözlemlenen hatalar kabul edilebilir hatalar olarak düşünülebilir.

KAYNAKLAR

Abdel Moneim, M.E., (1980), "Tool Edge Roundness in Finish Machining at High Cutting Speeds" *Wear*, 58(1):173-192

Almeida, F.A., Oliveira, F.J., Sousa, M., Fernandes, A.J.S., Sacramento, J. ve Silva, R.F., (2004) "Machining hardmetal with CVD diamond direct coated ceramic tools: Effect of tool edge geometry", *Diamond and Related Materials*, 15(3-7): 651-656 , Proceedings of Diamond 2004, the 15th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Nitrides and Silicon.

Altan, E., (2006), *Metallerde Talaş Kaldırma Mekanığı, Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 2006

ASM Handbook Volume 16: Machining, Third printing, March 1997

Benes, J.J., (2005), "Get an edge on tool performance", *American Machinist*, 149(12):42-44

Bouzakis, K.D., Michailidis, N., Skordaris, G., Kombogiannis, S., Hadjiyiannis, S., Efstathiou, K., Erkens, G., Rambadt, S. ve Wirth, I., (2002) "Effect of the cutting edge radius and its manufacturing procedure, on the milling performance of PVD coated cemented carbide inserts" *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 51(1):61-64

Chen, L., El-Wardany, T.I., Nasr, M. ve Elbestawi, M.A., (2006), "Effects of edge preparation and feed when hard turning a hot work die steel with polycrystalline cubic boron nitride tools", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 55(1):89-92

Childs, T., Maekawa, K., Obikawa, T. ve Yamane, Y., (2000), *Metal Machining: Theory and Applications*, Y. John Wiley & Sons, New York.

Çakır, M. C., (2006), *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Endres, W.J. ve Kountanya, R.K., (2002), "Effects of Corner Radius and Edge Radius on Tool Flank Wear", *Journal of Manufacturing Processes*, 4(2): 89 ProQuest Science Journals

Endres, W.J., (2000), *The Effects of Edge Hone and Other Tools Geometry*, Department of Mechanical Engineering, The University of Michigan

Fang, N., (2003), "Slip-line modeling of machining with a rounded-edge tool - Part I: New model and theory", *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 51(4):715-742

Fang, N., (2003), "Slip-line modeling of machining with a rounded-edge tool - Part II: Analysis of the size effect and the shear strain-rate", *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 51(4):743-762

Fang, N. Ve Wu, Q. (2005), "The effects of chamfered and honed tool edge geometry in machining of three aluminum alloys" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(10):1178-1187

Fang, N. ve Fang, G., (2007), "Theoretical and experimental investigations of finish machining with a rounded edge tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 191(1-3):331-334

Manjunathaiah, J., (1998), *Analysis and a New Model for the Orthogonal Machining Process in the Presence of Edge-Radiused (Non-Sharp) Tools*, Doktora Tezi, University of Michigan

Ozel, T., (2003), "Modeling of hard part machining: Effect of insert edge preparation in CBN cutting tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 141(2): 284-293

Ozel, T. ve Karpaz, Y., (2006), "Identification of friction factors for chamfered and honed tools through slip-line field analysis", *Proceedings of the International Conference on Manufacturing Science and Engineering*, 2006

Ozel, T., Hsu, T.-K. ve Zeren, E., (2005) "Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(3-4):262-269

Pawade, R.S., Joshi, Suhas S., Brahmanekar, P.K. ve Rahman, M., (2007), "An investigation of cutting forces and surface damage in high-speed turning of Inconel 718" *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193:139-146

Ranganath, S., Campbell, A.B. ve Hwang, J., (2005), "Experimental investigation and mechanistic modeling of the effects of tool edge hone effects in turning operations", *American Society of Mechanical Engineers, Manufacturing Engineering Division, MED*, 16(1):833-842

Ranganath, S., Campbell, A.B. ve Gorkiewicz, D.W., (2007) "A model to calibrate and predict forces in machining with honed cutting tools or inserts", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47(5):820-840

Rech, J., ve Schaff, M.J., (2006), "Influence of cutting edge radius on the wear resistance of powder metallurgy high-speed steel milling inserts", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220(3):383-387

Rech, J., Yen, Y.-C., Schaff, M.J., Hamdi, H., Altan, T. ve Bouzakis, K.D., (2005) "Influence of cutting edge radius on the wear resistance of PM-HSS milling inserts", *Wear*, 259(7-12):1168-1176, 15th International Conference on Wear of Materials, August, 2005

Schimmel, R. J., (1999), *Analyzing and Modeling the Effects of Tool Edge Geometry in Machining*, Doktora Tezi, University of Michigan

Şahin, Y., (2003), *Talaş Kaldırma Prensipleri Cilt-I*, Gazi Kitabevi, Ankara

Sartkulvanich, P., Al-Zkeri, İ., Yen, Y.C. ve Altan, T., (2004), "Investigation of the Effect of Tool Edge Geometry upon Cutting Variables, Tool Wear and Burr Formation Using Finite Element Simulation – A Progress Report", *Materials Processing and Design: Modeling, Simulation and Applications - Numiform 2004, Proceedings of the 8th International Conference on Numerical Methods in Industrial Forming Processes AIP Conference Proceedings*, 712:1347-1352

Schneider, G., Cutting Tool Applications, GMRS Associates
http://www.manufacturingcenter.com/online_book/default.asp

Thiele, Jeffrey D. ve Melkote, S.N., (1999), "Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 94(2): 216-226

Waldorf, D. J., (2006), "A simplified model for ploughing forces in turning", *Journal of Manufacturing Processes*, 8(2):76-82

Yen, Y.-C., Jain, A. ve Altan, T., (2004) "A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries", *Journal of Materials Processing Technology*, 146(1):72-81

EKLER

Ek-1 Schimmel'e (1999) ait deneysel talaş kaldırma verileri.

Deforme Olmamış Talaş Kalınlığı h (mm)	Kesme Kuvveti Fc _{ss} (N)	İtme Kuvveti Ft _{ss} (N)	Eşdeğer Talaş Açısı	Ağız Yarıçapı (μm)	Kesme Hızı dev/dak	Kesme Hızı (m/s)	Talaş Oranı	Kayma Açısı	Gerinim Hızı	Kayma Gerilmesi	Gerinim Hızı	Kayma Gerilmesi	Düzeltilme
0,0029	51,825	54,998	-16	0	133	0,650042	0,1705882	8,9011165	367564,9	448,3824	5,565334	2,651649	0
0,0059	78,956	77,48	-16	0	133	0,650042	0,2022857	10,435789	214237,8	384,4568	5,330896	2,584848	0
0,0059	80,099	80,132	-16	0	133	0,650042	0,2022857	10,435789	214237,8	388,3471	5,330896	2,58922	0
0,0118	118,35	107,142	-16	0	133	0,650042	0,2519573	12,760464	133422,1	338,1259	5,125228	2,529078	0
0,0118	121,04	111,379	-16	0	133	0,650042	0,2519573	12,760464	133422,1	344,3266	5,125228	2,536971	0
0,0236	179,89	146,921	-16	0	133	0,650042	0,3196388	15,768503	84631,2	301,9107	4,927531	2,479878	0
0,0236	181,35	149,549	-16	0	133	0,650042	0,3196388	15,768503	84631,2	303,4833	4,927531	2,482135	0
0,04699	283,7	213,893	-16	0	133	0,467389	0,3718593	17,96383	49247,01	263,449	4,69238	2,42069	0
0,04699	281,07	210,316	-16	0	133	0,467389	0,3894737	18,679927	51579,77	266,8707	4,712479	2,426301	0
0,0471	282,68	206,599	-16	0	133	0,650042	0,4155882	19,719217	55134,74	276,9551	4,741425	2,442409	0
0,0471	278,68	204,445	-16	0	133	0,650042	0,4155882	19,719217	55134,74	272,6071	4,741425	2,435637	0
0,0942	461,23	296,396	-16	0	133	0,650042	0,5302064	23,973736	35170,38	255,5812	4,546177	2,407529	0
0,09423	452,39	305,076	-16	0	133	0,647389	0,5059091	23,112571	33409,62	242,9873	4,523872	2,385584	0
0,18669	748,21	446,277	-16	0	133	0,647389	0,6485294	27,872878	21617,99	223,1941	4,334815	2,348683	0
0,18669	764,07	452,623	-16	0	133	0,647389	0,657228	28,141009	21907,95	228,8998	4,340602	2,359645	0
0,37744	1332	711,689	-16	0	133	0,647389	0,7838242	31,782179	12923,28	208,0535	4,111373	2,318175	0
0,0029	81,571	113,439	-63,7	28	133	0,650042	0,1487179	3,3283357	141058,4	294,9682	5,149399	2,469775	0,45202
0,0059	106,67	137,8	-52,1	28	133	0,650042	0,1966667	5,9675602	127033	318,3185	5,103917	2,502862	0,45202
0,0059	108,48	141,079	-52,1	28	133	0,650042	0,1966667	5,9675602	127033	323,3848	5,103917	2,50972	0,45202
0,0118	143,47	168,447	-35,4	28	133	0,650042	0,2458333	9,9563812	105464,5	323,5705	5,023106	2,509969	0,45202
0,0118	145,41	171,673	-35,4	28	133	0,650042	0,2458333	9,9563812	105464,5	327,4872	5,023106	2,5151994	0,45202
0,0236	203,5	209,983	-16	28	133	0,650042	0,3071584	15,277681	77650,6	309,3549	4,890145	2,490457	0,45202
0,0236	204,8	212,801	-16	28	133	0,650042	0,3071584	15,277681	77650,6	310,4814	4,890145	2,492036	0,45202
0,04699	312,65	273,341	-16	28	133	0,647389	0,3794872	18,275435	47985,48	277,3941	4,68111	2,443097	0,45202
0,04699	307,52	270,223	-16	28	133	0,647389	0,3854167	18,516075	48735,26	273,7685	4,687843	2,437384	0,45202
0,0471	305,59	271,011	-16	28	133	0,650042	0,4089725	19,458441	51804,53	275,4717	4,714368	2,440077	0,45202
0,0471	302,15	269,737	-16	28	133	0,650042	0,4089725	19,458441	51804,53	271,5428	4,714368	2,433838	0,45202
0,0942	483,18	362,406	-16	28	133	0,650042	0,532705	24,061087	33738,86	250,0083	4,52813	2,397954	0,45202
0,09423	471,12	360,739	-16	28	133	0,647389	0,5396364	24,302237	34026,07	241,5036	4,531812	2,382924	0,45202
0,18669	770,79	500,44	-16	28	133	0,647389	0,6879875	29,070342	21896,65	220,5752	4,340378	2,343557	0,45202
0,18669	779,67	507,889	-16	28	133	0,647389	0,6423889	27,68207	20445,38	222,6276	4,310595	2,347579	0,45202
0,37744	1341,2	755,236	-16	28	133	0,647389	0,8451185	33,38062	13304,03	202,1279	4,123983	2,305626	0,894962
0,04699	313,99	283,251	-16	33	133	0,647389	0,4111111	19,542926	49572,66	279,0649	4,695242	2,445705	0,894962
0,04699	319,41	300,533	-16	33	133	0,647389	0,377551	18,196559	45525,91	274,1786	4,658259	2,438034	0,894962
0,09423	476,38	381,572	-16	33	133	0,647389	0,473617	21,934594	28477,91	233,5999	4,454508	2,368473	0,894962
0,18669	790,76	532,943	-16	33	133	0,647389	0,658209	28,171194	19977,04	221,7611	4,300531	2,345885	0,894962
0,18669	792,87	536,38	-16	33	133	0,647389	0,6391304	27,580321	19398	221,8484	4,287757	2,346056	0,894962
0,37744	1354,7	786,207	-16	33	133	0,647389	0,8960804	34,635001	13451,88	197,9429	4,128783	2,29654	2,468497
0,0029	151,8	274,313	-74,5	80	133	0,650042	0,112987	1,5571941	50891,02	266,1526	4,706641	2,425131	2,468497
0,0059	169,5	294,77	-67,9	80	133	0,650042	0,1882979	3,4581988	58890,66	304,7145	4,770046	2,483893	2,468497
0,0059	171,8	298,186	-67,9	80	133	0,650042	0,1882979	3,4581988	58890,66	308,9323	4,770046	2,489863	2,468497

0,0118	199,33	322,584	-58,5	80	133	0,650042	0,2809524	6,7570161	60931,84	314,03	4,784844	2,496971	2,468497
0,0118	203,97	331,613	-58,5	80	133	0,650042	0,2809524	6,7570161	60931,84	320,9851	4,784844	2,506485	2,468497
0,0236	258,77	380,013	-44,8	80	133	0,650042	0,313969	10,332259	46192,08	278,8873	4,664568	2,445429	2,468497
0,0236	264,76	393,43	-44,8	80	133	0,650042	0,313969	10,332259	46192,08	284,0987	4,664568	2,453469	2,468497
0,04699	353,8	420,705	-24,3	80	133	0,647389	0,4228571	18,157299	39967,37	267,7268	4,601706	2,427692	2,468497
0,04699	355,2	427,265	-24,3	80	133	0,647389	0,3922261	17,0932	37072,21	263,4102	4,569048	2,420633	2,468497
0,0471	356,04	449,07	-24,3	80	133	0,650042	0,4113537	17,781382	38975,01	257,6802	4,590786	2,411081	2,468497
0,0471	356,22	451,942	-24,3	80	133	0,650042	0,4113537	17,781382	38975,01	256,7771	4,590786	2,409556	2,468497
0,0942	534,7	548,933	-16	80	133	0,650042	0,5398281	24,308882	26969,27	224,7994	4,430869	2,351795	2,468497
0,09423	532,4	523,495	-16	80	133	0,647389	0,5059091	23,112571	25162,47	225,2651	4,400753	2,352694	2,468497
0,18669	839,21	680,845	-16	80	133	0,647389	0,6391304	27,580321	16045,63	209,2459	4,205357	2,320657	2,468497
0,18669	844,81	689,83	-16	80	133	0,647389	0,6099585	26,653902	15313,26	210,7625	4,185068	2,323793	2,468497
0,37744	1447,1	943,3384	-16	80	133	0,647389	0,8123918	32,53976	10087,91	199,872	4,003801	2,300752	2,468497
0,0029	38,5	31,117	0	0	133	0,650042	0,2636364	14,769199	590947,2	506,9353	5,771549	2,704953	0
0,0059	60,833	43,065	0	0	133	0,650042	0,3025641	16,833931	333354,8	442,0953	5,522907	2,645516	0
0,0059	61,828	44,175	0	0	133	0,650042	0,3025641	16,833931	333354,8	448,1913	5,522907	2,651463	0
0,0118	96,51	60,247	0	0	133	0,650042	0,3339623	18,467374	183974,1	382,8824	5,264757	2,583065	0
0,0118	97,822	61,762	0	0	133	0,650042	0,3339623	18,467374	183974,1	387,2232	5,264757	2,587961	0
0,0236	152,08	83,029	0	0	133	0,650042	0,3933333	21,471368	108340,3	339,2979	5,03479	2,530581	0
0,0236	151,56	83,145	0	0	133	0,650042	0,3933333	21,471368	108340,3	337,688	5,03479	2,528516	0
0,04699	240,04	118,345	0	0	133	0,647389	0,400722	21,837063	55208,1	278,6049	4,742003	2,444989	0
0,04699	247,35	121,108	0	0	133	0,647389	0,4212524	22,843374	58036,6	294,3602	4,763702	2,468731	0
0,0471	242,22	113,713	0	0	133	0,650042	0,4558065	24,503805	62907,28	300,3043	4,798701	2,477562	0
0,0471	238,87	111,649	0	0	133	0,650042	0,4558065	24,503805	62907,28	296,5058	4,798701	2,472033	0
0,0942	400,18	157,694	0	0	133	0,650042	0,570333	29,697539	39356,72	279,0017	4,595019	2,445607	0
0,09423	385,64	163,689	0	0	133	0,647389	0,4696203	25,155701	32262,96	248,1733	4,508704	2,394755	0
0,18669	645,15	234,443	0	0	133	0,647389	0,6327116	32,322013	21940,67	236,6945	4,34125	2,374188	0
0,18669	644,36	231,24	0	0	133	0,647389	0,6213893	31,856376	21548,04	236,6604	4,333408	2,374126	0
0,37744	1132,8	337,712	0	0	133	0,647389	0,7368595	36,384998	12638,55	220,1625	4,101697	2,342743	0
0,0029	77,522	107,073	-63,7	28	133	0,650042	0,1870968	4,0616536	160184	335,3184	5,204619	2,525457	1,381559
0,0059	94,565	114,081	-52,1	28	133	0,650042	0,2765625	7,9352733	161248,7	358,8626	5,207496	2,554928	1,381559
0,0059	94,783	114,081	-52,1	28	133	0,650042	0,2765625	7,9352733	161248,7	359,7433	5,207496	2,555993	1,381559
0,0118	127,98	135,709	-35,4	28	133	0,650042	0,3091703	12,073989	119723,8	337,6613	5,078181	2,528481	1,381559
0,0118	129,05	136,541	-35,4	28	133	0,650042	0,3091703	12,073989	119723,8	340,7086	5,078181	2,532383	1,381559
0,0236	188,98	176,849	-9	28	133	0,650042	0,3285383	17,146471	77021,97	315,8408	4,886615	2,499468	1,381559
0,0236	187,35	174,468	-9	28	133	0,650042	0,3285383	17,146471	77021,97	313,7391	4,886615	2,496569	1,381559
0,04699	274,2	206,617	0	28	133	0,647389	0,3827586	20,944778	45447,85	272,883	4,657513	2,435977	1,381559
0,04699	280,27	202,798	0	28	133	0,647389	0,4036364	21,980795	47926,82	288,4999	4,680579	2,460146	1,381559
0,0471	277,42	206,68	0	28	133	0,650042	0,4008511	21,843434	47679,55	280,8445	4,678332	2,448466	1,381559
0,0471	271,86	201,409	0	28	133	0,650042	0,4008511	21,843434	47679,55	275,8704	4,678332	2,440705	1,381559
0,0942	430,8	245,123	0	28	133	0,650042	0,50062	26,593464	29773,33	257,7173	4,473827	2,411141	1,381559
0,09423	420,12	244,176	0	28	133	0,647389	0,4833876	25,798548	28620,79	247,261	4,456682	2,393156	1,381559
0,18669	672,22	300,481	0	28	133	0,647389	0,5955436	30,775641	17798,62	228,6521	4,250386	2,359175	1,381559
0,18669	687,8	326,666	0	28	133	0,647389	0,588	30,455528	17573,17	228,3865	4,24485	2,35867	1,381559
0,37744	1157,9	402,248	0	28	133	0,647389	0,7633562	37,3565273	11284,14	214,0103	4,052468	2,330435	1,381559
0,0029	81,447	115,357	-65,8	33	133	0,650042	0,15	3,0960095	109678,1	275,3174	5,04012	2,439834	2,042382
0,0059	97,889	123,507	-55,2	33	133	0,650042	0,2391892	6,5081603	119664,9	314,8606	5,077967	2,498118	2,042382
0,0059	99,421	124,751	-55,2	33	133	0,650042	0,2391892	6,5081603	119664,9	320,0836	5,077967	2,505263	2,042382
0,0118	127,02	137,609	-40	33	133	0,650042	0,3293023	11,766166	110627,4	327,5471	5,043863	2,515274	2,042382
0,0118	128,55	138,995	-40	33	133	0,650042	0,3293023	11,766166	110627,4	331,6777	5,043863	2,520716	2,042382

0,0236	187,34	177,62	-16,6	33	133	0,650042	0,3513648	17,022761	73823,59	310,4403	4,868195	2,491978	2,042382
0,0236	187,7	178,516	-16,6	33	133	0,650042	0,3513648	17,022761	73823,59	310,6334	4,868195	2,492248	2,042382
0,04699	273,81	208,583	0	33	133	0,647389	0,4014467	21,872828	44011,94	275,2881	4,643571	2,439787	2,042382
0,04699	271,54	205,933	0	33	133	0,647389	0,3737374	20,492595	40974,08	267,3018	4,612509	2,427002	2,042382
0,0471	278,48	212,526	0	33	133	0,650042	0,4180473	22,687236	45912,29	282,033	4,661929	2,4503	2,042382
0,0471	272,98	208,953	0	33	133	0,650042	0,4180473	22,687236	45912,29	276,0789	4,661929	2,441033	2,042382
0,0942	430,06	252,789	0	33	133	0,650042	0,5450338	28,591875	29929,33	256,653	4,476097	2,409346	2,042382
0,09423	421,52	252,269	0	33	133	0,647389	0,5059091	26,835263	27657,51	247,3018	4,441813	2,393227	2,042382
0,18669	678,4	312,242	0	33	133	0,647389	0,6523669	33,119098	18001,93	229,0552	4,255319	2,35994	2,042382
0,18669	661,35	310,111	0	33	133	0,647389	0,6391304	32,583884	17636,67	221,6002	4,246417	2,34557	2,042382
0,37744	1172,4	421,7625	0	33	133	0,647389	0,7070579	35,262522	9650,517	214,9071	3,984551	2,332251	2,042382
0,04699	310,88	310,643	-41,6	80	133	0,647389	0,4352941	14,163665	24392,94	231,0716	4,387264	2,363747	2,042382
0,04699	313,35	315,444	-41,6	80	133	0,647389	0,4073394	13,474556	22826,43	225,701	4,358438	2,353534	2,042382
0,09423	456,64	362,426	-19,1	80	133	0,647389	0,5082192	22,381496	17955,17	226,088	4,25419	2,354278	2,042382
0,18669	718,98	422,502	0	80	133	0,647389	0,6061856	31,223639	11439,56	216,3537	4,058409	2,335164	2,042382
0,18669	721,57	424,481	0	80	133	0,647389	0,6237624	31,954363	11771,26	216,285	4,070823	2,335026	2,042382
0,37744	1206,3	521,387	0	80	133	0,647389	0,7649936	37,415756	7140,523	203,2197	3,85373	2,307966	2,042382
0,0029	35,78	28,058	5	0	133	0,650042	0,2761905	15,744519	616731,7	494,0722	5,790096	2,69379	0
0,0059	57,865	39,082	5	0	133	0,650042	0,3105263	17,638047	340825,4	437,7708	5,532532	2,641247	0
0,0059	58,591	40,064	5	0	133	0,650042	0,3105263	17,638047	340825,4	441,7572	5,532532	2,645184	0
0,0118	90,829	52,888	5	0	133	0,650042	0,3522388	19,900867	193304	382,7455	5,286241	2,58291	0
0,0118	91,66	53,933	5	0	133	0,650042	0,3522388	19,900867	193304	385,1626	5,286241	2,585644	0
0,0236	143,06	69,658	5	0	133	0,650042	0,3868852	21,745197	106158,7	330,8672	5,025956	2,519654	0
0,0236	143,17	70,005	5	0	133	0,650042	0,3868852	21,745197	106158,7	330,8029	5,025956	2,519569	0
0,04699	225,59	95,93	5	0	133	0,647389	0,431068	24,046	59162,92	284,94	4,77205	2,454753	0
0,04699	224,11	95,487	5	0	133	0,647389	0,4172932	23,335122	57272,37	278,6967	4,757945	2,410532	0
0,0471	228,04	90,236	5	0	133	0,650042	0,45	25,013155	61869,58	297,7674	4,791477	2,473877	0
0,0471	224,2	88,555	5	0	133	0,650042	0,45	25,013155	61869,58	292,8724	4,791477	2,466678	0
0,0942	375,24	115,611	5	0	133	0,650042	0,5524924	30,037957	37980,55	279,2685	4,579561	2,446022	0
0,09423	367,26	128,862	5	0	133	0,647389	0,5146821	28,227046	35224,17	259,6739	4,546841	2,414428	0
0,18669	607,58	165,869	5	0	133	0,647389	0,6159218	32,95873	21277,17	240,6754	4,327914	2,381432	0
0,18669	594	164,649	5	0	133	0,647389	0,5995921	32,221009	20713,05	233,1668	4,316244	2,367667	0
0,37744	1078,8	293,163	5	0	133	0,647389	0,7393035	38,210316	12632,22	225,7254	4,10148	2,35358	0
0,0029	71,505	95,168	-63,7	28	133	0,650042	0,1955056	4,2164281	164889,3	320,9785	5,217192	2,506476	1,509976
0,0059	87,132	100,765	-52,1	28	133	0,650042	0,2809524	8,0370299	161367,5	336,7415	5,207816	2,527297	1,509976
0,0059	87,764	107,077	-52,1	28	133	0,650042	0,2809524	8,0370299	161367,5	339,4572	5,207816	2,530785	1,509976
0,0118	115,97	113,724	-35,4	28	133	0,650042	0,354	13,476793	135041,2	335,4258	5,130466	2,525596	1,509976
0,0118	116,39	113,735	-35,4	28	133	0,650042	0,354	13,476793	135041,2	336,9811	5,130466	2,527606	1,509976
0,0236	173,03	145,713	-9	28	133	0,650042	0,3726316	19,169773	86057,46	316,5932	4,934789	2,500502	1,509976
0,0236	171,58	143,29	-9	28	133	0,650042	0,3726316	19,169773	86057,46	315,0211	4,734789	2,49834	1,509976
0,04699	254,45	161,437	5	28	133	0,650042	0,4431138	24,66271	51633,08	286,4655	4,712928	2,457072	1,509976
0,04699	251,81	158,829	5	28	133	0,650042	0,4043716	22,662909	47118,71	276,2868	4,673193	2,40436	1,509976
0,0471	258,74	169,304	5	28	133	0,650042	0,4321101	24,099538	50439,18	285,0973	4,702768	2,454993	1,509976
0,0471	253,86	165,375	5	28	133	0,650042	0,4321101	24,099538	50439,18	280,2299	4,702768	2,447514	1,509976
0,0942	403,68	198,537	5	28	133	0,650042	0,546087	29,73478	31871,71	261,2447	4,503405	2,417047	1,509976
0,09423	394,9	194,28	5	28	133	0,647389	0,5093822	27,969137	29597,45	252,4297	4,471254	2,402141	1,509976
0,18669	634,49	236,853	5	28	133	0,647389	0,6086957	32,633501	17852,43	231,2005	4,251697	2,363989	1,509976
0,18669	631,99	230,78	5	28	133	0,647389	0,65625	34,73795	19247,15	233,0319	4,284366	2,367415	1,509976
0,37744	1103,6	294,777	5	28	133	0,647389	0,7242892	37,601648	10506,97	221,0127	4,021478	2,344417	1,509976
0,04699	247,92	163,901	5	33	133	0,647389	0,4261036	23,790493	49165,21	271,6299	4,691658	2,433978	1,593044

0,04699	265,64	180,092	5	33	133	0,647389	0,4352941	24,262897	50225,63	289,4964	4,700925	2,461643	1,593044
0,09423	399,26	207,595	5	33	133	0,647389	0,5152778	28255972	29647,08	250,5993	4,471982	2,398989	1,593044
0,18669	643,64	249,902	5	33	133	0,647389	0,6041096	32,426086	17544,57	231,4092	4,244143	2,364381	1,593044
0,18669	661,92	252,924	5	33	133	0,647389	0,6036961	32,407347	17532,56	239,1969	4,243845	2,378756	1,593044
0,37744	1094,6	312,793	5	33	133	0,647389	0,738691	38,185419	10611,05	215,0539	4,025758	2,332547	1,593044
0,0029	117,64	169,92	-74,5	80	133	0,650042	0,1115385	1,5391765	34812,05	204,7686	4,54173	2,311263	4,78116
0,0059	138,37	217,183	-67,9	80	133	0,650042	0,1873016	3,4426441	40591,47	250,6008	4,608435	2,398982	4,78116
0,0059	138,07	216,626	-67,9	80	133	0,650042	0,1873016	3,4426441	40591,47	250,0638	4,608435	2,398051	4,78116
0,0118	167,5	238,944	-58,5	80	133	0,650042	0,2574545	6,2974542	38690,51	256,7015	4,587604	2,209428	4,78116
0,0118	168,87	241,581	-58,5	80	133	0,650042	0,2574545	6,2974542	38690,51	258,6603	4,587604	2,41273	4,78116
0,0236	214,15	261,414	-44,8	80	133	0,650042	0,3796247	11,990736	38701,48	268,8881	4,587728	2,429572	4,78116
0,0236	213,86	262,426	-44,8	80	133	0,650042	0,3796247	11,990736	38701,48	268,0322	4,587728	2,428187	4,78116
0,04699	296,41	283,412	-24,4	80	133	0,647389	0,4422311	18,81217	28963,66	255,5632	4,461854	2,407498	4,78116
0,04699	295,56	277,796	-24,4	80	133	0,647389	0,4586777	19,35729	30040,83	259,3454	4,477712	2,413879	4,78116
0,0471	299,34	299,426	-24,3	80	133	0,650042	0,4602606	19,431189	30218,09	253,995	4,480267	2,404825	4,78116
0,0471	289,14	291,744	-24,3	80	133	0,650042	0,4602606	19,431189	30218,09	244,178	4,480267	2,387707	4,78116
0,0942	458,52	347,686	5	80	133	0,650042	0,5434615	29,610091	19497,44	234,2277	4,289977	2,369638	4,78116
0,09423	443,06	331,965	5	80	133	0,647389	0,5158749	28,284953	18425,53	230,4955	4,26542	2,362662	4,78116
0,18669	694,32	369,934	5	80	133	0,647389	0,63	33,586754	11358,02	218,0144	4,055303	2,338485	4,78116
0,18699	687,38	361,929	5	80	133	0,647389	0,6291013	33,546884	11341,82	217,271	4,054683	2,337002	4,78116
0,37744	1142,4	423,685	5	80	133	0,647389	0,7293252	37,806735	6503,572	205,5274	3,813152	2,31287	4,78116
0,0029	138,98	244,395	-78,3	140	133	0,650042	0,1023529	1,0791166	19148,47	171,7506	4,282134	2,234898	5,87799
0,0059	160,44	271,495	-73,3	140	133	0,650042	0,177	2,4831862	23089,89	215,1738	4,363422	2,332789	5,87799
0,0059	161,18	269,237	-73,3	140	133	0,650042	0,177	2,4891862	23089,89	216,3887	4,363422	2,335235	5,87799
0,0118	192,23	303,085	-66,3	140	133	0,650042	0,2484211	4,6493251	22667,6	225,8577	4,355406	2,353835	5,87799
0,0118	195,56	307,254	-66,3	140	133	0,650042	0,2484211	4,6493251	22667,6	229,8942	4,355406	2,361528	5,87799
0,0236	244,32	339,769	-56,2	140	133	0,650042	0,3395683	8,3700929	21421,5	233,4394	4,33085	2,368174	5,87799
0,0236	249,44	347,865	-56,2	140	133	0,650042	0,3395683	8,3700929	21421,5	238,1517	4,33085	2,376854	5,87799
0,04699	323,28	354,65	-41,6	140	133	0,647389	0,4879121	15,397669	20709,63	241,9409	4,316172	2,383709	5,87799
0,04699	333,59	366,679	-41,6	140	133	0,647389	0,4530612	14,589334	19230,37	243,1995	4,283988	2,385963	5,87799
0,0471	330,04	382,508	-41,6	140	133	0,650042	0,4572816	14,706013	19461,63	235,6689	4,289179	2,372302	5,87799
0,0471	325,7	378,918	-41,6	140	133	0,650042	0,4572816	14,706013	19461,63	232,1882	4,289179	2,36584	5,87799
0,0942	495,58	458,242	-19,1	140	133	0,650042	0,5635095	24,209598	15146,84	226,2976	4,180322	2,35468	5,87799
0,09423	481,07	425,735	-19,1	140	133	0,647389	0,5449204	23,61085	14583,37	226,1365	4,163858	2,354371	5,87799
0,18669	722,93	459,27	5	140	133	0,647389	0,6327116	33,706868	9009,55	202,7702	3,954703	2,307004	5,87799
0,18669	723,18	460,966	5	140	133	0,647389	0,6220028	33,230911	8857,061	203,5737	3,97729	2,308722	5,87799
0,37744	1156,5	512,142	5	140	133	0,647389	0,7672978	39,322919	5404,179	188,4054	3,73273	2,275093	5,87799
0,0029	49,538	50,463	-16	0	256	1,251208	0,1502279	7,8946558	623051,5	392,8623	5,794524	2,59424	0
0,0059	72,732	69,199	-16	0	256	1,251208	0,2037574	10,50608	415367,7	358,2977	5,618433	2,554244	0
0,0059	73,685	70,387	-16	0	256	1,251208	0,2037574	10,50608	415367,7	362,6804	5,618433	2,559524	0
0,0118	109,705	94,28	-16	0	256	1,251208	0,2903543	14,489612	295949,5	344,8799	5,471218	2,637668	0
0,0118	110,732	95,143	-16	0	256	1,251208	0,2903543	14,489612	295949,5	348,1289	5,471218	2,54174	0
0,0236	167,485	127,012	-16	0	256	1,251208	0,3716535	17,955393	189407,7	309,0097	5,277398	2,489972	0
0,0236	164,959	124,819	-16	0	256	1,251208	0,3716535	17,955393	189407,7	304,5691	5,277398	2,483686	0
0,04699	261,956	183,335	-16	0	256	1,246101	0,444	20,819934	113180,7	267,5505	5,053773	2,427406	0
0,04699	260,358	183,226	-16	0	256	1,246101	0,4422311	20,752307	112729,8	265,0223	5,052039	2,423282	0
0,0471	267,619	178,026	-16	0	256	1,251208	0,4694508	21,779793	119878,3	282,9474	5,07874	2,451706	0
0,0471	259,092	171,699	-16	0	256	1,251208	0,4694508	21,779793	119878,3	274,3087	5,07874	2,43824	0
0,0942	446,316	264,953	-16	0	256	1,251208	0,5776731	25,595413	73756,88	260,0503	4,867803	2,415057	0
0,094234	434,732	273,152	-16	0	256	1,246101	0,5565	24,881823	70737,97	245,6158	4,849653	2,390256	0

0,18669	752,993	419,364	-16	0	256	1,246101	0,7211774	30,040214	46271,77	233,2633	4,665316	2,367846	0
0,18669	732,078	407,787	-16	0	256	1,246101	0,6950355	29,279105	44594,46	226,4455	4,649281	2,354964	0
0,377444	1354,436	674,273	-16	0	256	1,246101	0,8511695	33,533011	27012,11	217,9614	4,431559	2,33838	0
0,0029	75,881	109,429	-63,7	28	256	1,251208	0,1870968	4,0616536	302855,3	326,6462	5,481235	2,514078	1,534427
0,0059	98,169	129,249	-52,1	28	256	1,251208	0,22125	6,5972747	243894,6	316,8923	5,387202	2,500912	1,534427
0,0059	97,711	130,23	-52,1	28	256	1,251208	0,22125	6,5972747	243894,6	314,7163	5,387202	2,497919	1,534427
0,0118	130,451	156,488	-35,4	28	256	1,251208	0,2901639	11,455682	212442,9	320,6311	5,327242	2,506006	1,534427
0,0118	129,962	157,817	-35,4	28	256	1,251208	0,2901639	11,455682	212442,9	318,1687	5,327242	2,502657	1,534427
0,0236	188,683	194,718	-16	28	256	1,251208	0,3677922	17,796746	158678,5	306,2838	5,200518	2,486124	1,534427
0,0236	184,522	192,391	-16	28	256	1,251208	0,3677922	17,796746	158678,5	297,9966	5,200518	2,474211	1,534427
0,04699	291,314	254,611	-16	28	256	1,246101	0,457732	21,340868	98777,31	272,4037	4,994657	2,435213	1,534427
0,04699	288,891	246,684	-16	28	256	1,246101	0,4503043	21,05998	97174,43	272,3959	4,987552	2,435201	1,534427
0,0471	288,104	252,552	-16	28	256	1,251208	0,4632787	21,549263	100149,6	268,9555	5,000649	2,42968	1,534427
0,0471	276,877	242,871	-16	28	256	1,251208	0,4632787	21,549263	100149,6	258,3841	5,000649	2,412266	1,534427
0,0942	466,417	339,65	-16	28	256	1,251208	0,6210989	27,011004	67133,22	247,9753	4,826938	2,394408	1,534427
0,094234	460,201	333,737	-16	28	256	1,246101	0,5678571	25,266526	61105,86	244,0612	4,786082	2,387499	1,534427
0,18669	759,173	470,186	-16	28	256	1,246101	0,7205882	30,023287	39139,7	222,6666	4,592618	2,347655	1,534427
0,18669	768,223	769,952	-16	28	256	1,246101	0,7386935	30,537731	40123,11	226,5615	4,603395	2,355186	1,534427
0,377444	1378,436	736,283	-16	28	256	1,246101	0,8947316	34,602636	24037,63	212,2011	4,380892	2,326748	1,534427
0,0029	84,907	132,533	-65,8	33	256	1,251208	0,1611111	3,2955329	218159,6	301,0407	5,338774	2,478625	2,343771
0,0059	102,117	145,73	-55,2	33	256	1,251208	0,2510638	6,7735914	232610,6	331,4078	5,366629	2,520363	2,343771
0,0059	103,375	148,325	-55,2	33	256	1,251208	0,2510638	6,7735914	232610,6	335,1193	5,366629	2,525199	2,343771
0,0118	136,09	176,452	-10	33	256	1,251208	0,3064935	11,102678	190681,9	319,8453	5,280309	2,50494	2,343771
0,0118	136,425	178,092	-10	33	256	1,251208	0,3064935	11,102678	190681,9	319,8868	5,280309	2,504996	2,343771
0,0236	193,421	217,903	-16,6	33	256	1,251208	0,3630769	17,506008	142271,9	298,3678	5,150056	2,474752	2,343771
0,0236	190,287	215,873	-16,6	33	256	1,251208	0,3630769	17,506008	141271,9	292,4007	5,150056	2,465978	2,343771
0,04699	294,03	271,151	-16,6	33	256	1,246101	0,4558522	21,269978	88966,91	266,9139	4,949228	2,426371	2,343771
0,04699	287,041	167,682	-16,6	33	256	1,246101	0,4422311	20,752307	86308,53	257,6401	4,936054	2,411013	2,343771
0,0471	293,061	277,758	-16,6	33	256	1,251208	0,4478605	20,967111	87560,47	260,619	4,942308	2,416006	2,343771
0,0471	280,925	268,25	-16,6	33	256	1,251208	0,4478605	20,967111	87560,47	248,7592	4,942308	2,395779	2,343771
0,0942	474,835	367,102	-16,6	33	256	1,251208	0,5987288	26,289738	58528,24	243,5385	4,767365	2,386568	2,343771
0,094234	463,72	367,931	-16,6	33	256	1,246101	0,5991925	26,304857	58313,44	237,9872	4,765769	2,376554	2,343771
0,18669	783,211	504,22	-16,6	33	256	1,246101	0,6485294	27,873878	31858	225,0931	4,503219	2,352362	2,343771
0,18669	779,347	498,09	-16,6	33	256	1,246101	0,7101449	29,721531	34884,77	224,7245	4,542636	2,35165	2,343771
0,377444	1365,96	752,46	-16,6	33	256	1,246101	0,8694295	33,987186	21124,76	207,5699	4,324792	2,317164	2,343771
0,0029	133,264	256,041	-74,5	80	256	1,251208	0,1254651	1,7105292	72491,11	254,4129	4,860285	2,405539	4,980706
0,0059	151,867	278,11	-67,9	80	256	1,251208	0,2037574	3,6964039	81745,47	287,4192	4,912464	2,458516	4,980706
0,0059	152,494	279,394	-67,9	80	256	1,251208	0,2037574	3,6964039	81745,47	288,587	4,912464	2,460277	4,980706
0,0118	181,327	308,4	-58,5	80	256	1,251208	0,3181965	7,4540638	88523,03	302,5249	4,947056	2,480761	4,980706
0,0118	182,635	310,93	-58,5	80	256	1,251208	0,3181965	7,4540638	88523,03	304,6214	4,947056	2,48376	4,980706
0,0236	240,058	362,896	-44,8	80	256	1,251208	0,3971658	12,40803	74936,34	280,4453	4,874692	2,447848	4,980706
0,0236	237,685	362,45	-44,8	80	256	1,251208	0,3970658	12,40803	74936,34	276,4633	4,874692	2,441637	4,980706
0,04699	337,517	421,882	-24,4	80	256	1,246101	0,4774194	19,966609	57884,36	247,7166	4,762561	2,393955	4,980706
0,04699	335,109	419,36	-24,4	80	256	1,246101	0,4605809	19,419739	55842,79	245,991	4,746967	2,390919	4,980706
0,0471	339,285	430,732	-24,3	80	256	1,251208	0,4854269	20,24632	58998,9	244,8091	4,770844	2,388828	4,980706
0,0471	322,516	4,16,241	-24,3	80	256	1,251208	0,4854269	20,24632	58998,9	229,3072	4,770844	2,360418	4,980706
0,0942	521,302	528,156	-16	80	256	1,251208	0,5518841	24,734178	35368,03	220,7896	4,548611	2,343979	4,980706
0,094234	513,262	511,393	-16	80	256	1,246101	0,5804433	25,687627	37033,08	218,101	4,56859	2,338658	4,980706
0,18669	832,717	653,889	-16	80	256	1,246101	0,7736842	31,507848	24916,11	202,9084	4,39648	2,3078	4,980706
0,18669	836,905	656,947	-16	80	256	1,246101	0,6863813	29,022551	22104,57	211,3212	4,344482	2,324943	4,980706

0,377444	1424,511	890,507	-16	80	256	1,246101	0,9042596	34,830304	14403,84	196,8036	4,158478	2,294033	4,980706
0,0029	36,548	30,248	0	0	256	1,251208	0,2852459	15,920582	1230697	499,9181	6,090151	2,698899	0
0,0059	56,786	39,898	0	0	256	1,251208	0,3160714	17,540257	670290,2	423,5417	5,826263	2,626896	0
0,0059	57,702	41,216	0	0	256	1,251208	0,3160714	17,540257	670290,2	428,33	5,826263	2,631778	0
0,0118	88,271	53,559	0	0	256	1,251208	0,3706806	20,338767	393049,8	371,97	5,594448	2,570508	0
0,0118	89,087	54,831	0	0	256	1,251208	0,3706806	20,3388767	393049,8	373,843	5,594448	2,572689	0
0,0236	138,077	72,121	0	0	256	1,251208	0,4140351	22,491271	219510,2	319,0362	5,341455	2,50384	0
0,0236	137,438	72,13	0	0	256	1,251208	0,4140351	22,491271	219510,2	317,1413	5,341455	2,501253	0
0,04699	225,16	104,176	0	0	256	1,246101	0,5022624	26,66866	133192,2	290,4019	5,124479	2,462999	0
0,04699	224,523	104,675	0	0	256	1,246101	0,4732747	25,425234	126062	283,8788	5,100584	2,453133	0
0,0471	225,828	97,91	0	0	256	1,251208	0,4949212	26,331783	131475,5	294,7009	5,118845	2,469381	0
0,0471	219,295	95,485	0	0	256	1,251208	0,4949212	26,331783	131475,5	285,8404	5,118845	2,456124	0
0,0942	381,53	135,66	0	0	256	1,251208	0,6019469	31,044417	79949,42	276,8769	4,902815	2,442287	0
0,094234	373,749	141,803	0	0	256	1,246101	0,5312649	27,980141	70251,71	258,2789	4,846657	2,412089	0
0,18669	635,7	205,058	0	0	256	1,246101	0,6869159	34,485791	45849,64	243,5124	4,661336	2,386521	0
0,18669	642,721	204,619	0	0	256	1,246101	0,6626597	33,53083	44230,6	246,2222	4,645723	2,391327	0
0,377444	1134,03	296,19	0	0	256	1,246101	0,7992828	38,634741	26387,69	228,2324	4,421401	2,358377	0
0,0029	73,05	104,792	-63,7	28	256	1,251208	0,1977273	4,256971	284155,4	329,1476	5,453556	2,517391	2,484171
0,0059	87,781	112,168	-52,1	28	256	1,251208	0,2809524	8,0370299	274961,7	332,3021	5,439272	2,521533	2,484171
0,0059	88,654	112,704	-52,1	28	256	1,251208	0,2809524	8,0370299	274961,7	335,9849	5,439272	2,52632	2,484171
0,0118	116,886	128,576	-35,4	28	256	1,251208	0,3522388	13,423115	228958,4	324,7009	5,359757	2,511983	2,484171
0,0118	115,911	127,464	-35,4	28	256	1,251208	0,3522388	13,423115	228958,4	322,0279	5,359757	2,507893	2,484171
0,0236	173,803	165,708	-9	28	256	1,251208	0,3755968	19,303196	147804,3	301,2477	5,169687	2,478924	2,484171
0,0236	170,816	162,016	-9	28	256	1,251208	0,3755968	19,303196	147804,3	296,8398	5,169687	2,472522	2,484171
0,04699	265,81	191,199	0	28	256	1,246101	0,4404762	23,772149	87790,45	280,632	4,943447	2,448137	2,484171
0,04699	259,862	187,526	0	28	256	1,246101	0,457732	24,595084	91229,66	275,8939	4,960136	2,440742	2,484171
0,0471	260,149	190,253	0	28	256	1,251208	0,4655684	24,965197	92954,22	274,3757	4,968269	2,438346	2,484171
0,0471	259,349	184,107	0	28	256	1,251208	0,4655684	24,965197	92954,22	263,2796	4,968269	2,420417	2,484171
0,0942	410,918	224,234	0	28	256	1,251208	0,5899791	30,539718	58896,88	254,8164	4,770092	2,406227	2,484171
0,094234	403,834	220,501	0	28	256	1,246101	0,5350962	28,151064	53180,75	248,3928	4,725754	2,395139	2,484171
0,18669	673,38	280,471	0	28	256	1,246101	0,6768995	34,09405	33957,32	236,6722	4,530933	2,374147	2,484171
0,18669	672,04	279,332	0	28	256	1,246101	0,6461538	32,868679	32414,94	236,2599	4,510745	2,37339	2,484171
0,377444	1161,355	372,444	0	28	256	1,246101	0,7858969	38,163694	19500,39	220,0975	4,290043	2,342615	2,484171
0,0029	74,909	111,254	-65,8	33	256	1,251208	0,1673077	3,4052477	211058,9	274,8479	5,324404	2,439092	2,867302
0,0059	90,939	121,365	-55,2	33	256	1,251208	0,2602941	6,9767709	224671,8	306,0738	5,351549	2,485826	2,867302
0,0059	91,314	121,985	-55,2	33	256	1,251208	0,2602941	6,9767709	224671,8	307,2771	5,351549	2,48753	2,867302
0,0118	117,474	134,29	-10	33	256	1,251208	0,3746032	13,028423	217119,3	216,5665	5,336699	2,500465	2,867302
0,0118	116,93	133,772	-10	33	256	1,251208	0,3746032	13,028423	217119,3	315,0125	5,336699	5,498328	2,867302
0,0236	173,397	169,118	-16,6	33	256	1,251208	0,394429	18,772865	142976,5	294,597	5,155265	2,469228	2,867302
0,0236	170,722	167,391	-16,6	33	256	1,251208	0,394429	18,772865	142976,5	289,2903	5,155265	2,461334	2,867302
0,04699	266,244	199,248	0	33	256	1,246101	0,4586777	24,639867	86757,97	277,5805	4,938309	2,443389	2,867302
0,04699	261,638	201,551	0	33	256	1,246101	0,4673684	25,049902	88401,81	273,8789	4,946461	2,437559	2,867302
0,0471	261,946	199,043	0	33	256	1,251208	0,4765599	25,480595	90298,39	271,2066	4,95568	2,4333	2,867302
0,0471	253,285	193,82	0	33	256	1,251208	0,4765599	25,480595	90298,39	261,1889	4,95568	2,416955	2,867302
0,0942	412,735	233,679	0	33	256	1,251208	0,5918325	30,618424	56070,1	251,3659	4,748731	2,400306	2,867302
0,094234	410,81	234,922	0	33	256	1,246101	0,5585947	29,187495	52686,14	248,6534	4,721696	2,395594	2,867302
0,18669	684,531	294,298	0	33	256	1,246101	0,6215645	31,863616	29591,87	237,1338	4,471172	2,374993	2,867302
0,18669	670,779	289,577	0	33	256	1,246101	0,6906813	34,632112	32882,43	232,12	4,516964	2,365713	2,867302
0,377444	1188,412	385,173	0	33	256	1,246101	0,8032432	38,772932	18914,8	223,8273	4,276802	2,349913	2,867302
0,0029	109,828	195,603	-74,5	80	256	1,251208	0,1141732	1,5719147	51344,81	194,4365	4,710497	2,288778	6,093273

0,0059	128,357	215,796	-67,9	80	256	1,251208	0,1935696	3,5400902	60444,63	236,4795	4,781358	2,373794	6,093273
0,0059	129,283	217,689	-67,9	80	256	1,251208	0,1935696	3,5400902	60444,63	238,1428	4,781358	2,376837	6,093273
0,0118	158,794	242,76	-58,5	80	256	1,251208	0,2867697	6,8683752	62096,13	256,6042	4,793065	2,409264	6,093273
0,0118	159,978	244,277	-58,5	80	256	1,251208	0,2867697	6,8683752	62096,13	258,5874	4,793065	2,412607	6,093273
0,0236	206,704	270,279	-44,8	80	256	1,251208	0,4129484	12,779994	60659,13	261,6298	4,782896	2,417687	6,093273
0,0236	205,253	268,756	-44,8	80	256	1,251208	0,4129484	12,779994	60659,13	259,6368	4,782896	2,414366	6,093273
0,04699	297,131	314,903	-24,4	80	256	1,246101	0,4673684	19,641396	44105,32	245,0042	4,644491	2,389174	6,093273
0,04699	297,548	312,478	-24,4	80	256	1,246101	0,4836601	20,16674	45642,76	247,8005	4,659372	2,394102	6,093273
0,0471	300,3	322,195	-24,3	80	256	1,251208	0,4742534	19,887187	44864,3	245,6577	4,651901	2,39033	6,093273
0,0471	286,109	310,825	-24,3	80	256	1,251208	0,4742534	19,887187	44864,3	232,1842	4,651901	2,365833	6,093273
0,0942	468,154	373,542	0	80	256	1,251208	0,5740962	29,859,969	29790,41	225,3101	4,474076	2,352781	6,093273
0,094234	462,146	365,781	0	80	256	1,246101	0,5331737	28,065364	27544,03	231,6584	4,440027	2,364848	6,093273
0,18669	712,775	409,876	0	80	256	1,246101	0,6928515	34,716212	18066,98	211,6545	4,256886	2,325627	6,093273
0,18669	708,487	411,353	0	80	256	1,246101	0,6911226	34,653103	18024,5	209,19	4,255863	2,320541	6,093273
0,377444	1214,817	497,693	0	80	256	1,246101	0,772617	37,690284	9965,019	209,5031	3,998478	2,321191	6,093273
0,0029	35,084	27,437	5	0	256	1,251208	0,29	16,509176	1246447	498,4509	6,095674	2,697622	0
0,0059	55,013	36,417	5	0	256	1,251208	0,3251969	18,438857	687018,1	429,1909	5,836968	2,632651	0
0,0059	54,972	37,182	5	0	256	1,251208	0,3251969	18,438857	687018,1	426,2271	5,836968	2,629641	0
0,0118	84,028	46,91	5	0	256	1,251208	0,384186	21,602734	405820	373,764	5,608333	2,572598	0
0,0118	84,826	47,998	5	0	256	1,251208	0,384186	21,602734	405820	375,8608	5,608333	2,575027	0
0,0236	132,274	60,039	5	0	256	1,251208	0,4464865	24,834543	235814,3	332,1989	5,37257	2,521398	0
0,0236	131,699	60,357	5	0	256	1,251208	0,4464865	24,834543	235814,3	329,9029	5,37257	2,518386	0
0,04699	210,186	83,554	5	0	256	1,246101	0,5045455	27,732908	133288,4	286,879	5,124792	2,457699	0
0,04699	208,526	83,158	5	0	256	1,246101	0,4774194	26,392979	126122,4	279,0043	5,100792	2,445611	0
0,0471	213,109	76,479	5	0	256	1,251208	0,5010638	27,562354	132600,8	296,9169	5,122546	2,472635	0
0,0471	209,168	74,431	5	0	256	1,251208	0,5010638	27,562354	132600,8	291,993	5,122546	2,465372	0
0,0942	359,581	96,623	5	0	256	1,251208	0,6027422	32,364093	79754,39	281,8942	4,901755	2,450086	0
0,094234	364,528	110,277	5	0	256	1,246101	0,5614124	30,457634	73955,75	273,5386	4,868972	2,437019	0
0,18669	597,692	139,419	5	0	256	1,246101	0,6795069	35,736304	45182,52	248,6317	4,65497	2,395556	0
0,18669	603,453	138,375	5	0	256	1,246101	0,6933962	36,322864	46106,06	252,4725	4,663758	2,402214	0
0,377444	1065,86	193,992	5	0	256	1,246101	0,8161098	41,194374	26840,69	231,6065	4,428794	2,364751	0
0,0029	68,83	93,163	-63,7	28	256	1,251208	0,1783957	3,8993181	256158,4	287,7417	5,408509	2,459003	2,490487
0,0059	85,555	100,897	-52,1	28	256	1,251208	0,2639585	7,6395883	258113,1	316,6169	5,41181	2,500534	2,490487
0,0059	85,146	100,403	-52,1	28	256	1,251208	0,2639585	7,6395883	258113,1	315,7702	5,41181	2,498462	2,490487
0,0118	109,865	109,753	-35,4	28	256	1,251208	0,3937008	14,656873	255694	331,437	5,407721	2,520401	2,490487
0,0118	110,456	109,812	-35,4	28	256	1,251208	0,3937008	14,656873	255694	333,7875	5,407721	2,52347	2,490487
0,0236	163,376	134,008	-9	28	256	1,251208	0,4262082	21,528837	167579,9	314,667	5,224222	2,497851	2,490487
0,0236	161,649	132,114	-9	28	256	1,251208	0,4262082	21,528837	167579,9	311,877	5,224222	2,493983	2,490487
0,04699	246,449	157,833	5	28	256	1,246101	0,4753747	26,290958	94306,16	280,2698	4,97454	2,447576	2,490487
0,04699	242,503	155,809	5	28	256	1,246101	0,4683544	25,93959	92913,45	274,7171	4,968079	2,438886	2,490487
0,0471	247,968	154,538	5	28	256	1,251208	0,5298088	28,957678	105289,2	287,6327	5,022384	2,458838	2,490487
0,0471	238,401	149,669	5	28	256	1,251208	0,5298088	28,957678	105289,2	275,4643	5,022384	2,440065	2,490487
0,0942	399,337	177,815	5	28	256	1,251208	0,6170818	33,010756	61316,52	271,3435	4,787577	2,43352	2,490487
0,094234	381,498	180,818	5	28	256	1,246101	0,6016216	32,313235	59514,82	252,0968	4,774625	2,401567	2,490487
0,18669	638,792	212,513	5	28	256	1,246101	0,6538176	34,632364	32647,13	242,5926	4,513845	2,384878	2,490487
0,18669	638,779	215,128	5	28	256	1,246101	0,6732824	35,471092	33619,07	241,9288	4,526586	2,383687	2,490487
0,377444	1103,915	262,959	5	28	256	1,246101	0,8317164	41,774614	20541,5	225,1755	4,312632	2,352521	2,490487
0,0029	74,108	107,194	-65,8	33	256	1,251208	0,177551	3,5842184	214467,8	285,4269	5,331362	2,455495	3,170248
0,0059	89,583	115,437	-55,2	33	256	1,251208	0,2681818	7,1482597	221648,4	309,3994	5,345665	2,49052	3,170248
0,0059	89,8442	116,504	-55,2	33	256	1,251208	0,2681818	7,1482597	221648,4	309,9151	5,345665	2,491243	3,170248

0,0118	116,899	127,922	-40	33	256	1,251208	0,3575758	12,562412	198447,8	313,0505	5,297646	2,495614	3,170248
0,0118	116,211	127,985	-40	33	256	1,251208	0,3575758	12,562412	198447,8	310,5642	5,297646	2,492151	3,170248
0,0236	166,987	150,252	-16,6	33	256	1,251208	0,426506	20,02919	148037,7	301,184	5,170372	2,478832	3,170248
0,0236	163,588	149,007	-16,6	33	256	1,251208	0,426506	20,02919	148037,7	293,2792	5,170372	2,467281	3,170248
0,04699	247,123	165,324	5	33	256	1,246101	0,4457831	24,798739	80430,49	272,3353	4,905421	2,435104	3,170248
0,04699	252,872	173,773	5	33	256	1,246101	0,4352941	24,262897	78538,01	273,93	4,89508	2,43764	3,170248
0,0471	254,873	179,754	5	33	256	1,251208	0,4872414	26,88108	88064,74	276,0052	4,944802	2,440917	3,170248
0,0471	245,88	173,781	5	33	256	1,251208	0,4872414	26,88108	88064,74	265,9509	4,944802	2,424801	3,170248
0,0942	400,905	202,323	5	33	256	1,251208	0,6019169	52,326642	54395,68	257,6628	4,735564	2,411052	3,170248
0,094234	385,578	192,833	5	33	256	1,246101	0,5781818	31,238767	52018,68	248,8115	4,716159	2,39587	3,170248
0,18669	639,058	226,298	5	33	256	1,246101	0,6636569	35,058107	30138,74	238,1043	4,479125	2,376767	3,170248
0,18669	637,386	226,054	5	33	256	1,246101	0,6847826	35,959952	31098,12	237,2534	4,492734	2,375212	3,170248
0,377444	1122,02	281,664	5	33	256	1,246101	0,7636831	39,18088	17153,91	227,9393	4,234363	2,357819	3,170248
0,0029	106,674	185,88	-74,5	80	256	1,251208	0,1189304	1,6306448	51452,9	195,7506	4,71141	2,291703	6,241647
0,0059	125,607	206,37	-67,9	80	256	1,251208	0,2002444	3,6427898	60154,14	237,9337	4,779266	2,376456	6,241647
0,0059	126,464	207,292	-67,9	80	256	1,251208	0,2002444	3,6427898	60154,14	239,6225	4,779266	2,379528	6,241647
0,0118	155,806	232,049	-58,5	80	256	1,251208	0,2850104	6,8347963	59371,3	252,2988	4,773577	2,401915	6,241647
0,0118	156,764	233,345	-58,5	80	256	1,251208	0,2850104	6,8347963	59371,3	253,881	4,773577	2,40463	6,241647
0,0236	204,673	260,781	-44,8	80	256	1,251208	0,4147919	12,822681	58615,88	262,2986	4,768015	2,418796	6,241647
0,0236	202,35	257,906	-44,8	80	256	1,251208	0,4147919	12,822681	58615,88	259,2867	4,768015	2,41378	6,241647
0,04699	284,763	281,536	-24,4	80	256	1,246101	0,5045455	20,826614	45805,38	251,5101	4,660916	2,400556	6,241647
0,04699	281,609	282,161	-24,4	80	256	1,246101	0,5127021	21,080243	46545,88	243,0038	4,667881	2,385613	6,241647
0,0471	288,205	298,07	-24,3	80	256	1,251208	0,5094315	21,003136	46361,87	243,007	4,666161	2,385619	6,241647
0,0471	274,2	284,142	-24,3	80	256	1,251208	0,5094315	21,003136	46361,87	230,8996	4,666161	2,363423	6,241647
0,0942	454,409	348,855	5	80	256	1,251208	0,5714424	30,926082	28417,97	226,0899	4,453593	2,354281	6,241647
0,094234	430,858	325,307	5	80	256	1,246101	0,5722365	30,963011	28331,08	217,1985	4,452263	2,336857	6,241647
0,18669	683,494	353,039	5	80	256	1,246101	0,6587005	34,8441	16461,23	216,4224	4,216462	2,335302	6,241647
0,18669	678,713	353,805	5	80	256	1,246101	0,6567386	34,759135	16412,2	213,9436	4,215167	2,330299	6,241647
0,377444	1158,092	396,988	5	80	256	1,246101	0,7404086	38,254785	9151,461	214,2888	3,961514	2,331	6,241647
0,0029	123,178	277,403	-78,3	140	256	1,251208	0,1165033	1,2129894	30187,87	170,0431	4,479832	2,230559	7,033931
0,0059	143,768	253,932	-73,3	140	256	1,251208	0,1951962	2,7044669	35267,96	207,2166	4,54738	2,316425	7,033931
0,0059	143,812	253,257	-73,3	140	256	1,251208	0,1951962	2,7044669	35267,96	207,3359	4,54738	2,316675	7,033931
0,0118	176,431	288,888	-66,3	140	256	1,251208	0,2815557	5,1398296	35582,95	223,9384	4,551242	2,350129	7,033931
0,0118	177,922	290,731	-66,3	140	256	1,251208	0,2815557	5,1398296	35582,95	225,911	4,551242	2,353937	7,033931
0,0236	230,548	333,539	-56,2	140	256	1,251208	0,4039712	9,5379284	35296,66	237,8549	4,547734	2,376312	7,033931
0,0236	229,142	331,22	-56,2	140	256	1,251208	0,4039712	9,5379284	30926,57	236,4696	4,547734	2,373775	7,033931
0,04699	316,183	363,171	-41,6	140	256	1,246101	0,5260664	16,244053	30926,57	236,6781	4,490332	2,374158	7,033931
0,04699	314,279	363,869	-41,6	140	256	1,246101	0,5454545	16,659429	32066,37	236,3177	4,50605	2,373496	7,033931
0,0471	319,163	382,209	-41,6	140	256	1,251208	0,5238222	16,214297	30877,34	232,7789	4,48964	2,366944	7,033931
0,0471	303,038	367,666	-41,6	140	256	1,251208	0,5238222	16,214297	30877,34	230,1574	4,48964	2,342733	7,033931
0,0942	479,724	451,726	-19,1	140	256	1,251208	0,5705633	24,435248	21241,5	216,0159	4,327185	2,334486	7,033931
0,094234	457,905	413,556	-19,1	140	256	1,246101	0,5551122	23,942874	20576,24	212,5064	4,313366	2,327372	7,033931
0,18669	719,834	452,449	5	140	256	1,246101	0,7623163	39,127042	15034,64	181,581	4,177093	2,25907	7,033931
0,18669	726,211	458,485	5	140	256	1,246101	0,6591928	34,865398	13000,81	201,1784	4,11397	2,303581	7,033931
0,377444	1182,928	492,131	5	140	256	1,246101	0,7604264	39,052498	7417,943	199,9654	3,870284	2,300955	7,033931

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.07.1983

Doğum yeri Ankara

Lise 1997-2001 Antalya Anadolu Lisesi

Lisans 2001-2006 İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makina Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı