

T. C.  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAKIM TEZGÂHLARINDA KESME  
DEĞİŞKENLİKLERİNİN ENİYİ  
DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ**

Y Ü K S E K L İ S A N S T E Z İ

**DANIŞMAN : DOÇ. DR. İMDAT KARA**

**DOĞAN EROL**

ESKİŞEHİR 1985

## Ö Z E T

Bu çalışmada, talaşlı üretim sürecinde kesme değişkenlerinin belirlenmesi problemi ele alınarak, bu problem için dört ekonomik ölçütü (üretim düzeyi veya talaş debisi, kâr düzeyi, üretim süresi ve üretim maliyeti) birlikte gözönüne alan bilgisayar destekli bir sayımlama yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem paso değeri, ilerleme hızı ve kesme hızı olarak ele alınan kesme değişkenlerinin birlikte alabilecekleri değerler içinden eniyisini seçme esasına dayanmaktadır. Önerilen yöntemin algoritması ve buna karşı gelen BASIC programlama diliyle bilgisayar programı yazılmıştır. Çalıştırılan programla herhangi bir takım tezgâhı üzerindeki dönel ve dönel olmayan düzlemsel yüzeyli iş parçalarının kesme değişkenleri, dört ekonomik ölçüt birlikte değerlendirilerek bulunabilmektedir. Geliştirilen yöntemin, bir torna tezgâhında ayna-punta arasına bağlanmış dişli kutusu mili için uygulaması yapılmıştır.

## A B S T R A C T

In this study a computer aided enumeration technique based on four economic criteria (production rate or metal removal rate, profit rate, machining time and machining cost) is developed for the machine tools operations. This technique is based on selecting optimum values of the machining variables (depth of cut, feed rate, cutting speed) from set of feasible solutions. A BASIC computer program is written according to the proposed algorithm that is capable of determining optimum values of machining variables of rotational or flat surface machinary parts on any machine tool. Computer program is run for gear box shaft held in between chuck and tail stock on a workshop lathe.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET . . . . .	i
ABSTRACT . . . . .	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ . . . . .	vi
TABLOLAR LİSTESİ . . . . .	viii
GİRİŞ . . . . .	1

## B İ R İ N C İ B Ö L Ü M

### TAKIM TEZGAHLARINDA KESME DEĞİŞKENLERİ

I.1 KESME DEĞİŞKENLERİNİN TANITIMI . . . . .	5
I.1.1 Paso Değeri . . . . .	6
I.1.2 İlerleme Hızı . . . . .	7
I.1.3 Kesme Hızı . . . . .	8
I.2 KESME DEĞİŞKENLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER . . . . .	10
I.2.1 Kesme Hızı İle Takım Ömrü İlişkisi . . . . .	10
I.2.2 İşlem Görecek Malzeme . . . . .	14
I.2.3 Kesici Takım Malzemesi . . . . .	16
I.2.4 Kesme Değışkenleri Arasındaki İlişki . . . . .	16
I.2.5 Kesici Takım Geometrisi . . . . .	17
I.2.6 Soğutma Sıvıları . . . . .	19
I.2.7 İzin Verilebilecek Takım Aşınma Miktarı . . . . .	21
I.2.8 Uygulanan İşlem Tipi . . . . .	21
I.2.9 İşi ve Takım Bağlama Şekli . . . . .	21
I.2.10 Kullanılan Takım Tezgâhı . . . . .	21

I.3	KESME DEĞİŞKENLERİNİN BELİRLENMESİ . . . . .	23
I.3.1	Geleneksel Yaklaşım . . . . .	23
I.3.2	Matematiksel Modelleme Yaklaşımı . . . . .	29

## İ K İ N C İ B Ö L Ü M

### KESME DEĞİŞKENLERİNİN BELİRLENMESİNDE MATEMATİKSEL YAKLAŞIMLAR

II.1	KISITSIZ MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMLARI . .	31
II.2	KISITLI MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMLARI . . .	40
II.2.1	Süreç Kısıtları . . . . .	40
II.2.1.1	Kesme Kuvveti . . . . .	41
II.2.1.2	Motor Gücü . . . . .	45
II.2.1.3	Takım Ömrü . . . . .	47
II.2.1.4	Kesme Sıcaklığı . . . . .	47
II.2.1.5	Yüzey Pürüzlülük Düzeyi . . . . .	48
II.2.1.6	Süreçte Yapma Kesici Kenar Oluşumu . . . . .	49
II.2.2	Süreçte Benimsenebilecek Ölçütler . . . . .	50
II.2.3	Kesme Değişkenlerinin Eniyilenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar . . . . .	50

## Ü Ç Ü N C Ü B Ö L Ü M

### KESME DEĞİŞKENLERİNİN BELİRLENMESİNDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ BİR SAYIMLAMA YÖNTEMİ VE UYGULAMASI

III.1	BİLGİSAYAR DESTEKLİ SAYIMLAMA YÖNTEMİ . . . . .	66
III.1.1	Kesme Değişkenlerinin Eniyi Değerlerinin Belirlenmesiyle İlgili Genel Model . . . . .	67
III.1.2	Modelin Çözümü İçin Yeni Bir Yönteme Duyulan Gereksinim . . . . .	77
III.1.3	Önerilen Çözüm Yöntemi ve Algoritması .	78
III.1.4	Bilgisayar Programları . . . . .	79
III.1.5	Çözüm Yönteminin Diğer Üretim Süreçlerine Uygulanabilirliği . . . . .	80
III.2	GELİŞTİRİLEN YÖNTEMİN UYGULAMASI . . . . .	81
III.2.1	Ele Alınan İş, Tezgâh ve Diğer Parametrelerin Sayısal Değerleri . . .	81
III.2.2	Modelin Sayısal Çözümü ve Sonuçların Yorumu . . . . .	87
SONUÇ	. . . . .	90
KAYNAKLAR	. . . . .	93
EK-I	. . . . .	98
EK-II	. . . . .	100

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil-I.1	Tornalamada, Delik İşlemede, Çevre Frezelemede Kesme ve İlerleme Hareketleri	6
Şekil-I.2	Uzunlamasına Dış Yüzey Tornalamasında Kesme Değişkenleri . . . . .	7
Şekil-I.3	Alın Yüzey Tornalamasında Kesme Hızının Değişimi . . . . .	9
Şekil-I.4	Değişik Kesme Hızları İçin İşletim Süresi ve Aşınma Arasındaki İlişki . . . . .	10
Şekil-I.5	Kesme Hızı ile Takım Ömrü Arasındaki İlişki . . . . .	11
Şekil-I.6	Sertleştirilmiş Çelikler İçin Takım Ömrü - Kesme Hızı İlişkisi . . . . .	11
Şekil-I.7	Kesme Hızı ve Takım Ömrü Arasındaki İlişkinin İki Eksen Takımında Gösterilmesi	13
Şekil-I.8	Üç Mukavemet Değerli Malzeme İçin Talaş Açısı - Takım Ömrü İlişkisi . . . . .	17
Şekil-I.9	Değişik İlerleme Hızlarında Boşluk Açısı - Takım Ömrü İlişkisi . . . . .	17
Şekil-I.10	Ana Kenar Yanaşma Açısı - Kesme Hızı İlişkisi . . . . .	18
Şekil-I.11	Kesme Hızı İle Yardımcı Kenar Yanaşma Açısı Arasındaki İlişki . . . . .	18

Şekil-I.12	Kesici Takım Talaş Yüzü Tasarımları . . .	19
Şekil-I.13	Değişik Kesme Sıvısı Sıcaklıklarında Kesme Hızı - Takım Ömrü İlişkisi . . . . .	20
Şekil-I.14	Dökme Demirlerde İşlenen Parça Sayısı ile Aşınma İlişkisi . . . . .	20
Şekil-I.15	Tipik Kesme Hızı - Kesici Kenar Ömrü . . .	28
Şekil-II.1	Enküçük Maliyete Karşı Gelen İlerleme Hızı ve Kesme Hızının Eğrileri . . . . .	39
Şekil-II.2	Bileşke Kuvvetin Üç Bileşene Ayrıştırılması . . . . .	41
Şekil-II.3	Dökme Demirleri İşlemede $F_z$ Kuvvetinin Kesme Hızına Bağımlılığı . . . . .	45
Şekil-II.4	Tornalamada İş Parçasını Bağlama Şekilleri . . . . .	45
Şekil-II.5	Bir Torna Takımında Yapma Kenar Oluşumu .	49
Şekil-II.6	Satış Fiyatı ve Toplam Gelirin Üretim Miktarına Bağımlılığı . . . . .	52
Şekil-II.7	Toplam Maliyet ve Toplam Gelirin Üretim Miktarına Bağımlılığı . . . . .	53

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo-I.1	Kesici Kenarı İndeksleme Süresi (2 dakika için) . . . . .	24
Tablo-II.1	Kesme Değişkenleri Değerlerinin Belirlenmesinde Kullanılabilir Bilgisayar Programlarının Karşılaştırmalı Üstünlükleri . . . . .	64
Tablo-III.1	Enbüyük Talaş Debisi İçin Çözüm Değerleri	88
Tablo-III.2	Enküçük Üretim Süresi İçin Çözüm Değerleri	88
Tablo-III.3	Enküçük Üretim Maliyeti İçin Çözüm Değerleri . . . . .	88
Tablo-III.4	Enbüyük Kâr Düzeyi İçin Çözüm Değerleri .	88

## G İ R İ Ő

Torna, freze, matkap, planya ve benzeri takım tezgâhlarına ilişkin bir üretim plânlaması yapabilmek için, kısaca kesme değişkenleri olarak nitelendirilen paso değeri, ilerleme hızı ve kesme hızının bilinmesine gereksinim olduğu, konuya yakın kişilerce kabul edilmektedir. Herhangi bir takım tezgâhı üzerinde sürdürülen işlemin ekonomikliği de kesme değişkenlerinin değerlerinden doğrudan etkilenmektedir. Böylece kesme değişkenleri değerlerinin belirlenmesinde kullanılacak, yöntemin seğiminin önemi ortadadır.

Kesme değişkenlerinin değerlerini belirlemede sayısal veriler ve kişisel bilgi birikimlerinden yararlanılmaktadır. Çoğu takım tezgâhı atölyesinde, değişik malzemeler için değişik işleme koşullarına göre hazırlanmış tablolar vardır. Bu tablolarda, kesme değişkenleri için bazı değerler önerilmektedir. Önerilen bu değerlerin ele alınan işlem için kullanılması durumunda, işlemin ekonomik olduğunu ileri sürmek, çoğu kez, olanaklı değildir. Buna neden olarak

da, önerilen değerlerin süreç kısıtlarını gözönüne almaksızın salt genel durumu yansıtmaları gösterilebilir.

Kesme değişkenlerinin değerlerinin belirlenmesinde, ekonomikliği çoğu durumda kuşkulu olan tablolanmış değerlerle yetinmemek ve bu işin kişisel bilgi birikimine olan bağımlılığını azaltmak düşüncesiyle bilimsel yaklaşım ve matematiksel model kullanımı 1907 yılında F.W. Taylor ile başlayarak günümüze değin yoğun bir şekilde süregelmiştir. Bu tür çalışmalarda kesme değişkenleri değerlerinin belirlenmesinde ele alınan ölçüt, talaş debisi, üretim süresi, üretim maliyeti veya kâr düzeyi olmaktadır. Oysa iş hayatında bu ölçütlerin salt birine göre işlem yapmak oldukça zordur. Yanısıra, bugüne kadar yapılan çalışmalarda paso değeri biliniyor kabul edilmekte ve ilerleme hızı ile kesme hızı ise sürekli değişkenler olarak ele alınmaktadır. Gerçekte ilerleme hızı ve kesme hızı her değeri alamaz, paso değerini belirlemek de önemlidir.

Ülkemizde atölye tipi üretimde bulunan çoğu işletmeler, takım tezgâhı işlemlerini eniyi biçimde plânlamak ve müşterilere işleri zamanında teslim etmek durumundadırlar. Eniyi plânlama ise kesme değişkenleri değerlerini, mevcut kısıtlara göre eniyi belirlemekle olanaklıdır. Bugün atölyelerin çoğu, kesme değişkenleri değerlerini belirlemede kullanılabilen bilgisayar destekli çözüm tekniklerinden habersizdirler.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında bu çalışmada, kesme değişkenleri değerlerini belirlemede uygulanabilir ve pratik bir yöntem geliştirmek, yanısıra da bir dişli kutusu milinin tornalanması işlemi için kesme değişkenleri değerlerini belirlemek, yöntemin getirdiği kolaylıkları ve karar vericiye sağladığı esneklikleri sergilemek amaçlanmıştır. Çalışma, belirtilen amaçlara uygun olarak üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde kesme değişkenlerinin tanıtımı yapılmış ve etkilendikleri faktörler ayrı ayrı incelendikten sonra üç kesme değişkeni ile takım ömrü arasındaki ilişki, formüle edilmiştir.

İkinci bölümde kesme değişkenleri değerlerinin, benimsenen bir ölçüte göre eniyilerinin belirlenmesi problemi, kısıtsız ve kısıtlı matematiksel modelleme yaklaşımlarıyla ele alınmış; süreç kısıtları açıklanmış; problemin çözüm yaklaşımları konusunda yapılan çalışmalara değinilmiştir. Daha sonra bilgisayar destekli eniyileme tekniklerinin karşılaştırması bir tablo üzerinde yapılarak bilgisayar destekli sayımlama yöntemine duyulan gereksinimin nedenleri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde kesme değişkenleriyle ilgili genel model verildikten sonra Bilgisayar Destekli Sayımlama Yöntemi olarak isimlendirilen yöntem tanıtılmış; genel modelin bu yöntemle göre çözüm algoritması ve bu çözüm algoritmasının da bir dişli kutusu milinin tornalama işlemine uygulaması

üzerinde durulmuştur. Anılan yöntemin, bir dişli kutusu milinin tornalama işlemine uygulanabilmesi için gerekli bilgisayar programları ve bu programlarda tanımlanan parametreler açıklanmıştır. Bilgisayar programının sayısal verilerle çözümü sonucu elde edilen değerler tablolar halinde verilmiştir.

Çalışmanın sonunda, genel bir değerlendirmenin yanı sıra ileride yapılabilecek çalışmalara ışık tutması beklenen önerilere de yer verilmiştir.

## B İ R İ N C İ B Ö L Ü M

### TAKIM TEZGAHLARINDA KESME DEĞİŞKENLERİ

#### I.1 KESME DEĞİŞKENLERİNİN TANITIMI

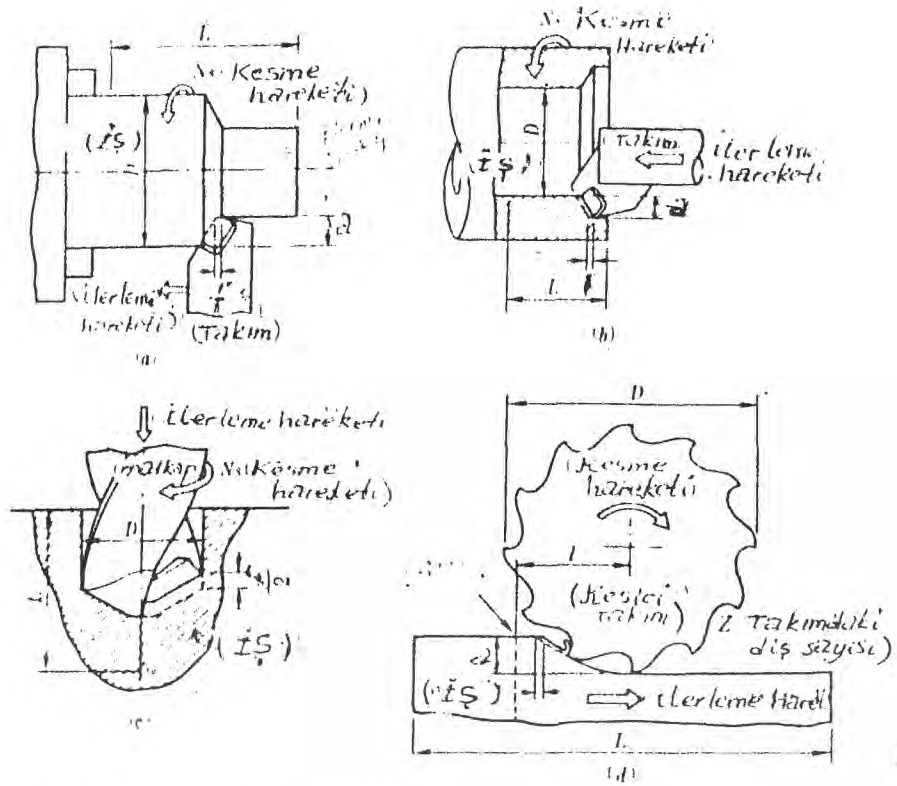
Bir malzeme üzerinden belirli kalınlıktaki bir tabakayı, takım tezgâhı ve kesici takım kullanımı ile sıyırarak istenilen şekilde iş parçası elde etmek için iki türlü zorunlu harekete gereksinim vardır:

i) Kesme işlemini gerçekleştiren kesme hareketi,

ii) Tezgâhı, malzemeyi, kesici takımını, kesme işlemine hazırlayan ve işlemin sürekliliğini sağlayan ilerleme hareketi. Bu hareketler tornalama, frezeleme ve matkap ile delme işlemleri için Şekil-I.1'de gösterilmiştir (1).

---

(1) K.HITOMİ., *Manufacturing Systems Engineering*, Taylor and Francis Ltd., London, 1978, s. 171.



ŞEKİL-I.1 Tornalamada (a), Delik İşlemede (b), Matkap ile Delmede (c), Çevre Frezelemede (d) Kesme ve İlerleme Hareketleri.

Bu çalışmada, diğer takım tezgâhları işlemlerinde benzer ilişkilerin geçerli ve aradaki farkın sadece iş parçası ile kesici takımın hareketlerinde olması; ayrıca uygulamasının yaygınlığı nedeniyle millerin dış yüzey uzunlamasına tornalama işlemi ele alınmıştır.

### I.1.1 Paso Değeri

Kesici takımın kesme kenarının, bir defada çıkaracağı malzeme tabakası kalınlığı, paso değeri olup kesme derinliği olarak da anılmaktadır. Paso değerinin işlenmiş yüzeye dik doğrultuda ölçülür. Paso değeri "a" ile göster-

rilecektir.

$D_0$  : İşlem öncesi çap [mm],

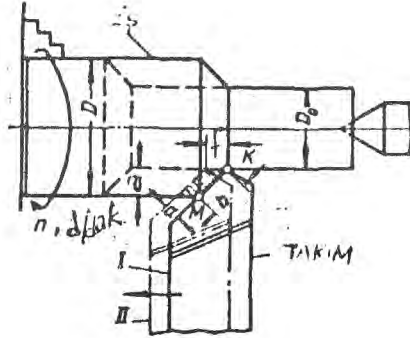
$D$  : İşlem sonrası çap [mm],

ise,

$$a = \frac{D_0 - D}{2}$$

dir.

Uzunlamasına dış yüzey tornalamasında kesme değişkenleri, Şekil-I.2'de gösterilmiştir (2).



ŞEKİL-I.2 Uzunlamasına Dış Yüzey Tornalamasında Kesme Değişkenleri.

### I.1.2 İlerleme Hızı

Kesici takımın kesme kenarının, işlenmiş yüzeye göre ve ilerleme hareketi doğrultusunda birim zamanda

(2) V.ARSHINOV, G.ALEKSEEV., *Metal Cutting Theory and Cutting Tool Design*, Mir Publishers, Moscow., 1976,s.37.

ki hareket miktarına ilerleme hızı denir. İlerleme hızının birimi, tornalama ve matkap ile delme işlemlerinde mm/devir; frezeleme ve planyalama işlemlerinde ise mm/dakika ile ifade edilir. İlerleme hızı "f" ile gösterilecektir.

n : İş parçasının (tornalamada) veya kesici takımın (matkap ile delmede, frezelemede) dönme hızı [dev/dak],

f : mm/dev. olarak ilerleme hızı,

$f_m$  : mm/dak. olarak ilerleme hızı,

ise,

$$f = \frac{f_m}{n} \quad \dots(I-1)$$

dir.

### I.1.3 Kesme Hızı

İşlem görmekte olan işparçası yüzeyinin, kesici takımın kesme kenarına göre zaman biriminde hareket ettiği uzunluğa kesme hızı denir. Kesme hızı "v" ile gösterilecektir. Kesme hızının birimi, m/dakika olarak alınacaktır. Şekil-I.2'de MK kesme kenarının her noktasında kesme hızının farklı değerlerde olacağı açıktır. Ancak yapılacak hesaplamalarda, bu hız değerlerinden enbüyüğü gözönüne alınacaktır.

$D$  : İşlenmekte olan çap [mm],

$n$  : Dönme hızı [d/dak.],

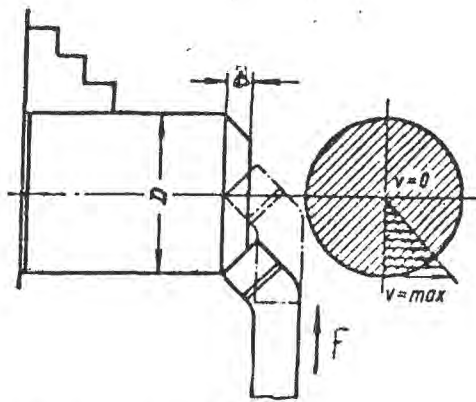
ise,

kesme hızı ifadesi,

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad \dots (I-2)$$

dir.

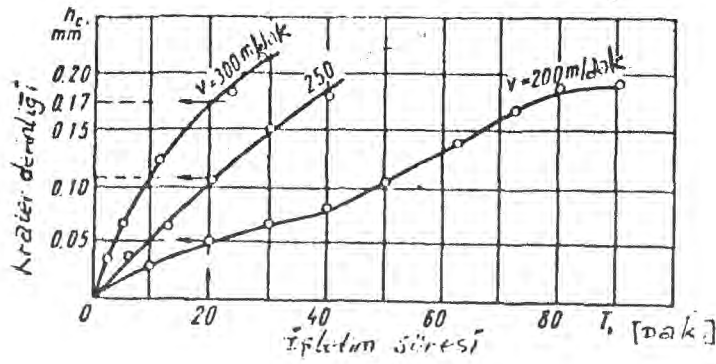
Uzunlamasına tornalama işleminde kesme hızı, bir pa-so değeri için sabit iken, alın yüzey tornalamasında kesme hızı çevrede enbüyük, merkezde sıfır değerini alır. Hesaplamalarda, başlangıç çapı dikkate alınır. Alın yüzey tornalamasında kesme hızının çevreden merkeze doğru değişimi Şekil-I.3'de gösterilmiştir.



ŞEKİL-I,3 Alın Yüzey Tornalamasında Kesme Hızının Değişimi.

## I.2 KESME DEĞİŞKENLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kesme değişkenlerini belirlerken, onlar arasında var olan ilişkilerin ve onların etkilendiği diğer faktörlerin gözönüne alınması gerekmektedir. Kesme hızı arttırıldığında, kesici takımın kesme kenarındaki aşınmanın ne denli yoğunluk kazanacağı Şekil-I.4'den izlenebilir.



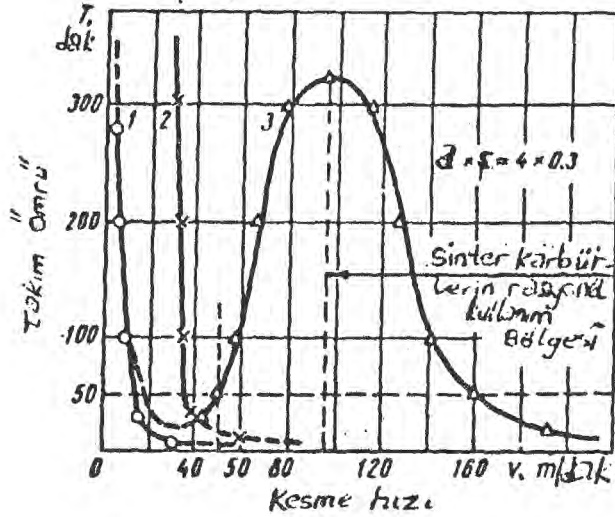
ŞEKİL-I.4 Değişik Kesme Hızları İçin İşletim Süresi ve Aşınma Arasındaki İlişki (Ç 3415 Cr-Ni'li çelik ve P.10 Sinter karbür torna kesici takımı).

### I.2.1 Kesme Hızı ile Takım Ömrü İlişkisi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda üç tür kesici takım malzemesinin ömrü ile kesme hızı arasındaki ilişki Şekil-I.5'de gösterilmiştir (3).

Şekil-I.5'deki 3 nolu eğri normal yapı çeliklerini sinter karbür kesici uçlar ile işlerken takım ömrü ile kes-

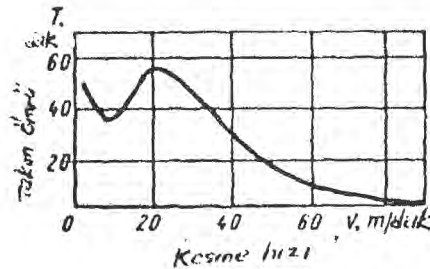
(3) V.ARSINOV, G.ALEKSEEV, A.g.k., s. 138.



ŞEKİL-I.5 Kesme Hızı ile Takım Ömrü Arasındaki İlişki

- 1- Yüksek karbonlu takım çeliği
- 2- Ç71875 yüksek hız çeliği
- 3- P10 Sinter karbürlü uç

me hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Görüldüğü gibi, kesme hızındaki artışa bağlı olarak takım ömrü, önce azalır, sonra artar ve daha sonra azalır. Sertleştirilmiş çelikleri işlerken takım ömrünün kesme hızına bağlı olarak değişimi ise, Şekil-I.6'da görülmektedir. Düşük değere sahip kesme hızları, eğrinin dönüm noktalarına karşı gelmektedir.



ŞEKİL-I.6 Sertleştirilmiş Çelikler İçin Takım Ömrü - Kesme Hızı İlişkisi.

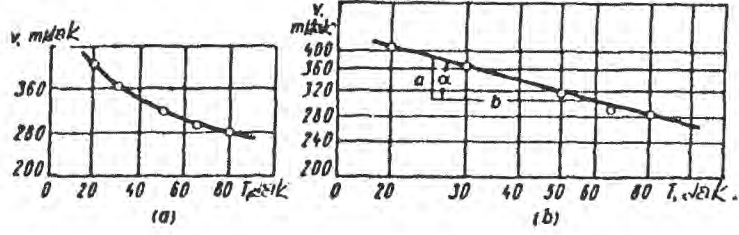
Kesme hızı ile takım ömrü arasındaki böylesi bir ilişki, şu şekilde açıklanabilir: Düşük kesme hızı değerlerinde kesme sıcaklığının düşük oluşu nedeniyle aşınma yavaştır.

Kesme hızı arttırıldığında sıcaklık da artacağından iş ile kesici takımın temas noktalarında iş malzemesinin kesici takıma kaynama yapması kolaylaşır ve böylece aşınma yoğunlaşarak takım ömrü azalır. Kesme hızı daha çok arttırılırsa bu kez yükselen sıcaklık, talaş ve iş yüzeylerinin yuvarlaşmasına ve dolayısıyla yüzeyler arası göreceli kaymanın kolaylaşmasına neden olacağından takım ömrü artar. Diğer bir neden ise yüksek sıcaklıkta sinter karbür uçların darbe dayanımındaki artışlar ve takım üzerine etkiyen kuvvetlerde azalma olmasıdır. Kesme hızı arttırılmaya devam edilirse bu kez de kesici ucun sertlik ve dayanımı azalacağından takım ömrü azalır.

Şekil-I.5'de görüldüğü gibi 50 dakikalık takım ömrüne 45 ve 160 m/dak.'lık kesme hızları karşı gelmektedir. Elbette 160 m/dak.'lık kesme hızı tercih edilecektir. Bu, sinter karbürden üretilmiş kesici takımların uygun çalışma bölgesinin, eğrinin sağ yanında olduğunu göstermektedir. Kesme hızı ile takım ömrü arasındaki ilişki, bu bölgede gözönüne alınmalıdır. Dik koordinat ve logaritmik eksen takımında kesme hızı ile takım ömrü arasındaki ilişki, Şekil-I.7'de gösterilmiştir (4).

---

(4) K. HITOMI, A.g.k., s. 171.



ŞEKİL-I.7 Kesme Hızı ve Takım Ömrü Arasındaki İlişki  
 a) Dik koordinat sisteminde  
 b) Logaritmik koordinatlarla (malzeme St 42, takım P10  $axf = 2 \times 0,4 \text{ mm}^2$ ).

Takım ömrü ile kesme hızı arasındaki ilişki, matematiksel olarak;

T : Takım ömrü [dakika],

m : Birden küçük pozitif bir sabit sayı,

c : Sabit bir sayı,

ise,

$$v \cdot T^m = C$$

şeklinde yazılır.

Bu eşitliğin her iki tarafının logaritması alınırsa,

$$\text{Log}v + m \text{log}T = \text{Log}C$$

elde edilir. Buradan da,

$$\operatorname{tg} \alpha = m = \frac{\log v}{\log T} \quad (\text{doğrunun eğimi})$$

olur. Çeliği, yüksek hız çeliği takımlar ile işlerken,  $m = 0,125$ ; sinter karbür uçlu takımlar ile işlerken  $m = 0,3$  alınabilir (5).

İşleme koşullarına, kullanılmakta olan kesici takım ve tezgâhın tasarımına, üretimin genel mühendislik düzeyine, teknik ve ekonomik koşullara bağlı olarak takım ömrü ve karşı gelen kesme hızı değişebilir. Birden fazla kesici takım kullanan yarıotomatik ve otomatik torna tezgâhlarında zaman ve işgücü kaybını enaz düzeyde tutacak bir takım ömrü kabul edilirken; daha basit işlerde ve tek kesici takım kullanım durumunda düşük takım ömrü benimsenir.

### I.2.2 İşlem Görecek Malzeme

İşlem görecek malzemenin fiziko-mekanik özellikleri, kesme değişkenlerinin değerlerini büyük oranda etkiler.

Kesme hızı, malzemenin kimyasal bileşiminden ve ısıl işlem sonrası ortaya çıkan iç yapıdan etkilenir. Çelikteki karbon, krom, mangan ve molibden içeriğinin artması halinde kesme değişkenlerinin azaltılması gerekir.

---

(5) FRANK W.WILSON, *Fundamentals of Tool Design*, Prentice - Hall. Inc., New Jersey, 1962, s. 35.

Kesme değişkenlerinin alabileceği değerleri saptamada, malzemenin dayanım ve sertlik değerinin de önemli olduğu, deneylerle gösterilmiştir.

$\sigma_t$  : Malzemenin çekme dayanım değeri  $[\text{kg/mm}^2]$ ,

$v_t$  : Çekme dayanımı  $\sigma_t$  olan malzemenin kesme hızı  $[\text{m/d}]$ ,

$x$  : Üstel bir sabit,

ise,

$$v_t \sigma_t^x = \text{sabit}$$

ilişkisi kurulabilir. Isıl işlem görmemiş karbon ve alaşım-  
lı çelikleri sinter karbür uçlar ile işlerken  $x = 1$  alınabi-  
lir (6).

BHN : Malzemenin sertlik derecesi,

$y$  : Üstel bir sabit,

ise, dökme demir gibi kırıntılı talaş veren malzemeler için,

$$v_t (\text{BHN})^y = \text{Sabit}$$

ilişkisi kurulabilir.

---

(6) V.ARSHINOV, G.ALEKSEEV, A.g.k., s. 143.

Malzemenin üretim yöntemi ve taşıdığı yüzey koşulları da kesme değişkenlerinin belirlenmesinde etken olmaktadır.

### I.2.3 Kesici Takım Malzemesi

Kesici takım malzemesinin yüksek hız çeliği, sinter karbür ve seramik oluşuna göre kesme değişkenleri değişik değerler alabileceklerdir.

### I.2.4 Kesme Değişkenleri Arasındaki İlişki

Kesici kenar ömrü sabit kalmak koşuluyla passo değeri ve ilerleme hızı arttırıldığında, kesme hızı azaltılmalıdır.

- $v_{60}$  : 60 dakikalık takım ömründeki kesme hızı,  
 $C_{v60}$  : İşleme koşulları ve malzemeye bağlı bir sabit,  
 $x_v$  : Üstel bir sabit,  
 $y_v$  : Üstel bir sabit,

ise,

$$v_{60} = \frac{C_{v60}}{a^{x_v} f^{y_v}} \quad \dots (I-3)$$

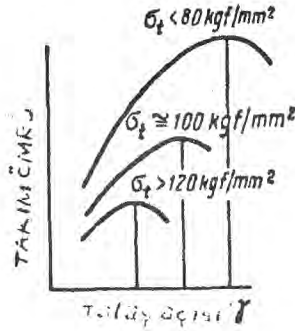
ilişkisi kurulabilir.

---

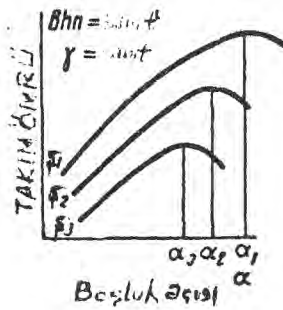
(7) M.KRONENBERG, *Machining Science and Application*, Pergamon Press, New York, 1966, s. 172.

### I.2.5 Kesici Takım Geometrisi

Kesici takımındaki talaş açısı ve boşluk açısının değişimi, kesici kenar ömründe değişmelere neden olacağından, takım geometrisi kesme değişkenlerini dolaylı yollardan etkilemektedir. Talaş açısı ve boşluk açısı ile takım ömrü arasındaki ilişkiler, Şekil-I.8 ve Şekil-I.9'da sırasıyla üç tür mukavemet değerli ve üç ilerleme hızı için gösterilmiştir.

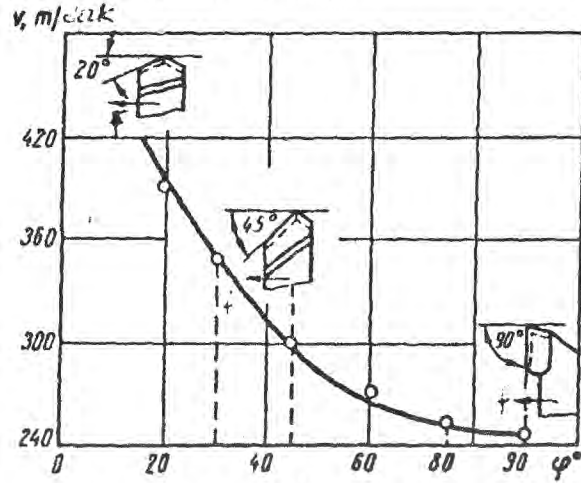


ŞEKİL-I.8 Üç Mukavemet Değerli Malzeme İçin Talaş Açısı - Takım Ömrü İlişkisi.

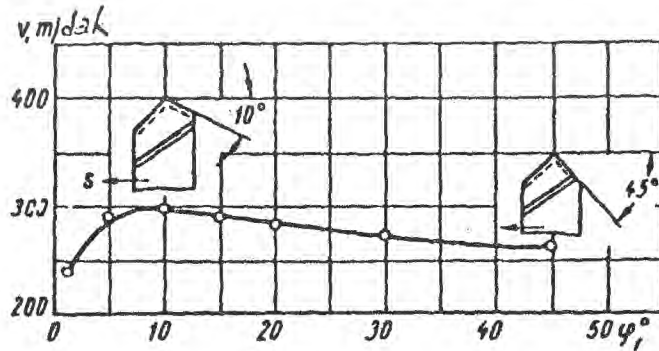


ŞEKİL-I.9 Değişik İlerleme Hızlarında Boşluk Açısı - Takım Ömrü İlişkisi ( $f_1 < f_2 < f_3$ ).

Kesici takım ana kesme kenarının ve yardımcı kesme kenarının iş parçasına yanaşma açıları da kesme hızını etkilemektedirler (8). Bu durum, Şekil-I.10'da ve Şekil-I.11'de görülmektedir.



ŞEKİL-I.10 a ve f Sabit İken Ana Kenar Yanaşma Açısı - Kesme Hızı İlişkisi.

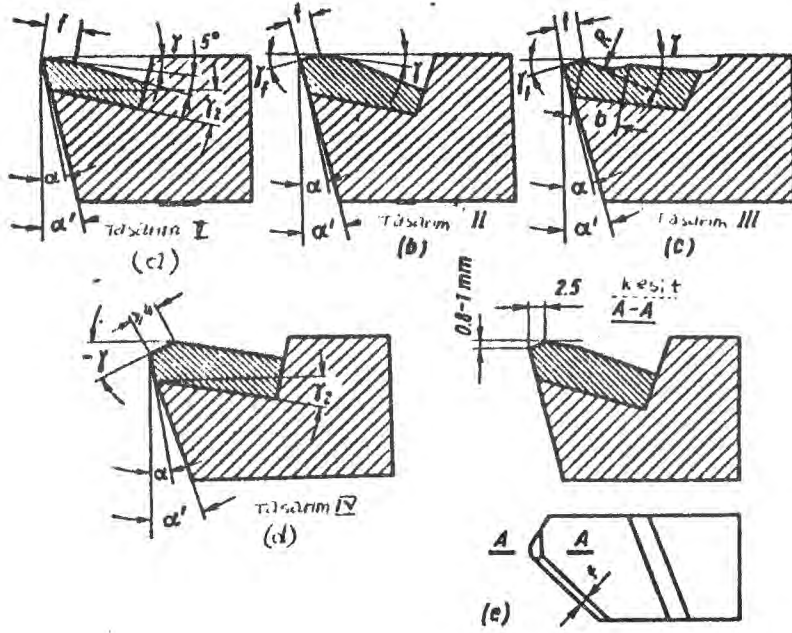


ŞEKİL-I.11 Kesme Hızı ile Yardımcı Kenar Yanaşma Açısı Arasındaki İlişki.

(8) V.ARSHINOV, G.ALEKSEEV, A.g.k., s. 147-148.

Kesici takım burun yarıçapı ve sap kesiti de, kesme değişkenlerinin değerlerini belirlerken dikkate alınacak faktörlerdir.

Kesici takım talaş yüzünün şekli takım ömrünü etkileyeceğinden kesme değişkenlerini de dolaylı olarak etkileyecektir. Talaş yüzü tasarımları, Şekil-I.12'de gösterilmiştir.



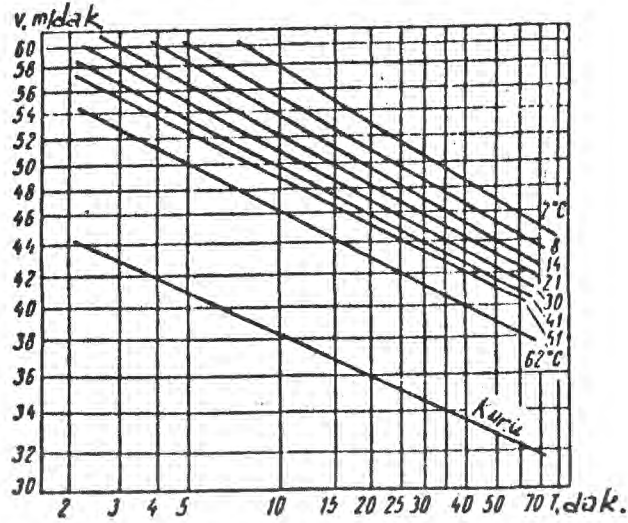
ŞEKİL-I.12 Kesici Takım Talaş Yüzü Tasarımları.

### I.2.6 Soğutma Sıvıları

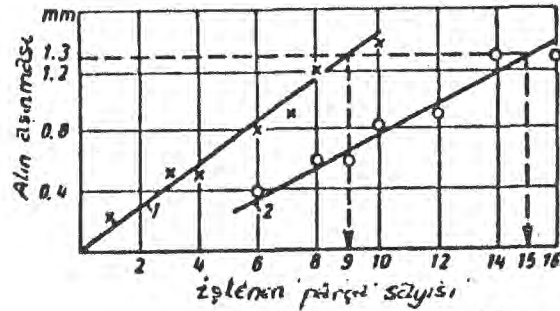
Soğutma sıvıları, sürtünmeyi azalttığı ve kesmeyi kolaylaştırması nedeniyle kesme değişkenleri değerlerinin % 40 - % 50 oranında arttırılabilmesine olanak sağlarlar (9). Kuru ve soğutma sıvıları duruma ait kesme hızı ile

(9) GEOFFREY G. THOMAS, *Production Technology*, Oxford University Press, 1972, s. 235.

takım ömrü arasındaki ilişki ve takım aşınma miktarı ile işlenen parça sayısı arasındaki ilişki sırasıyla Şekil-I.13 ve Şekil-I.14'de gösterilmiştir.



ŞEKİL-I.13 Değişik Kesme Sıvısı Sıcaklıklarında Kesme Hızı ve Takım Ömrü Arasındaki İlişki (iş malzemesi  $\sigma_t = 76 \text{ kg/mm}^2$  olan Cr-Ni'li çelik, takım malzemesi yüksek hız çeliği ve  $axf = 2 \times 0,5 \text{ mm}^2$ ).



ŞEKİL-I.14 Dökme Demirlerde İşlenen Parça Sayısı ile Aşınma İlişkisi.

### I.2.7 İzin Verilebilecek Takım Aşınma Miktarı

Verilen koşullar içinde kesici kenarın alın aşınma miktarı, özellikle kesme hızından büyük oranda etkilendir. Yani daha büyük miktarda aşınma miktarına izin verilebilecek ise, kesme hızı değeri de arttırılabilecek demektir.

### I.2.8 Uygulanan İşlem Tipi

Uygulanan işlem tipine bağlı olarak, talaş çıkarmaya çalışan kesici kenarın karşı karşıya kaldığı zorluklar değişik olmaktadır. Sözelimi, iç silindirik yüzey işlerken belirlenmiş kesme değişkenleri değerleri, dış yüzey işlemlerinde arttırılabilir.

### I.2.9 İş ve Takımı Bağlama Şekli

Kesme değişkenlerinin değerlerini belirlerken iş ve takımı bağlama şekli de dikkate alınmalıdır. Çünkü, zayıf ve düşük güvenlikle bağlanmış bir iş-takım ikilisinde kesme değişkenleri değerleri, düşük olmak zorundadır. Aksi durumda parça istenen hassasiyette işlenebiyeceği gibi iş-güvenliğine de uyulmamış olunur.

### I.2.10 Kullanılan Takım Tezgâhı

Motor gücü ve çalışma hassasiyeti, tezgâhta belirlenebilecek kesme değişkenlerinin değerlerini etkile-

mektedir. Motor gücü yüksek, elemanları arasındaki uyum normal ve öngörülen standartlara uygun çalışan bir takım tezgâhında kesme değişkenlerinin daha büyük değerleriyle çalışılmasına izin verilebilir.

C : İşlenecek malzeme ve işleme koşullarına ait bir sabit,

T : Kesici kenarın ömrü [dakika],

$\alpha$  : Paso üsteli,

$\alpha_1$  : İlerleme hızı üsteli,

$\alpha_2$  : Kesme hızı üsteli,

olmak üzere, kesme değişkenleri ile kesici kenar ömrü arasındaki ilişki,

$$T = \left( \frac{C}{v} \right)^{\alpha_2} \frac{1}{a \cdot f^{\alpha_1}} \quad \dots (I-4)$$

şeklinde ifade edilebilir ve bu ifadeye genelleştirilmiş Taylor ifadesi adı verilir (10).

Taylor'un genelleştirilmiş takım ömrü ifadesi bu çalışmada geliştirilecek modelde takım ömrü kısıtı olarak kullanılacaktır.

---

(10) SEROPE KALPAKJIAN, *Mechanical Processing of Materials*, D.Van Nostrand Company, New York, 1967; s. 265.

### I.3 KESME DEĞİŞKENLERİNİN BELİRLENMESİ

Atölye tipi üretimde çoğu kez, tezgâhı işleten çalışanın bilgi ve deneyim düzeyine göre belirlenen kesme değişkenleri değerlerinin; belirli bir ölçüte göre eniyi oldukları savunulamaz. O halde, belirlenen bir ölçüte göre kesme değişkenlerinin eniyi değerlerini belirleyebilen yaklaşımların geliştirilmesi zorunluluğu vardır. Pratikte iki yaklaşım benimsenmiştir: Geleneksel yaklaşım ve matematiksel modelleme yaklaşımı.

#### I.3.1 Geleneksel Yaklaşım

Halihazırda seri tip üretimde uygulanmakta olan iki yöntem, geleneksel yaklaşım hakkında fikir verebilir. Örnek. tornalama işleminden seçilmiştir (11).

a) *Basitleştirilmiş Yöntem* : Bu yöntem için iş sırası şöyledir:

1- Paso ve ilerleme hızı deneyime ve geçmişte erişilmiş değerlere göre seçilir.

2- Kesici ucun bir kesme kenarından diğer kesme kenarına geçiş süresi (indeksleme süresi) deneme ile saptanarak bu konuda bulundurulmuş hazır tablolardan uygun olan biri seçilir. (bu tür tablonun 2 dakikalık kenar indeksleme süresine ait olanı Tablo-I.1'de verilmiştir.)

---

(11) GENERAL ELECTRIC, *Turning Handbook*, 1980, s. 7-9.

TABLO-I.1 Kesici Kenarı İndeksleme Süresi (2 dak.)  
Tablosu.

Enbüyük üretim düzeyi için takım ömrü = 4,67 dak.

Kesici Kenar Maliyeti [TL/kenar]	İşletim maliyeti [TL/saat]								
	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000
$u_k$	Enküçük maliyet için takım ömrü [dak.]								
100	7,46	6,06	5,59	5,36	5,22	5,13	5,06	5,01	4,97
200	10,2	7,46	6,53	6,06	5,78	5,59	5,46	5,36	5,28

3- Tabloya bakılarak enbüyük üretim düzeyine karşı gelen takım ömrü okunur.

4- İşyerinin saatlik işletim maliyeti belirlener ve

$u_k$  : Kesici kenar maliyeti [TL/kenar],

$u_u$  : Kesici ucun maliyeti [TL],

$e$  : Kesici ucun kesici kenar sayısı,

$u_s$  : Kesici ucun monte edildiği sap kısmın maliyeti [TL],

$L_b$  : Kesici ucun monte edildiği sap kısmın ömrü [indeks sayısı],

olmak üzere,

$$u_k = \frac{u_u}{e} + \frac{u_s}{L_b} \quad \dots (I-5)$$

ilişkinine göre  $u_k$  hesaplanır.

5- İşletim maliyeti ile kesici kenar maliyetinin keşim kutusu bulunarak bu kutudan, endüyük maliyete karşı gelen takım ömrü okunur.

6- İşlem görecek malzeme ve kesici takım malzemesini esas alarak hazırlanmış tablolara bakarak; izin verilebilir enbüyük takım aşınma miktarı ve başlangıç kesme hızı okunur.

7- Bu başlangıç kesme hızı ile parçalar, kesici kenarda izin verilebilen aşınma ortaya çıkıncaya kadar işlemez. Eğer izin verilebilen aşınma ortaya çıkmadan takım işgörmez duruma geliyor ise bunun nedeni de ayrıca araştırılır. Bu deneme sırasında elde edilen kesici kenar ömrü, tablodan bulunan, enküçük maliyete karşı gelen ömürden büyük ise kesme hızı arttırılır; enbüyük üretim düzeyine karşı gelen ömürden küçük ise kesme hızı azaltılır. Sonuçta kesme hızı için öyle bir değer belirlenmelidir ki, ele alınan üretim koşullarında takımın kesici kenar ömrü, enbüyük üretim düzeyine karşı gelen kesici kenar ömründen büyük veya ona eşit veya enküçük maliyete karşı gelen kesici kenar ömründen küçük veya ona eşit olsun. Yani,

$T_p$  : Enbüyük üretim düzeyine karşı gelen kesici kenar ömrü,

$T_c$  : Enküçük maliyete karşı gelen kesici kenar ömrü,

$T$  : Gerçek üretim koşullarındaki kesici kenar ömrü,

ise, matematiksel olarak,

$$T_p \leq T \leq T_c$$

koşulu gerçekleşinceye kadar kesme hızı değiştirilir.

b) *Geliştirilmiş Yöntem* : Bu yöntemde iş sırası şöyledir:

1- Paso değeri ve ilerleme hızı deneyime ve geçmiş dönem verilerine göre seçilir.

2- Kesici kenarın indeksleme süresi deneme ile belirlenir.

3- Talep mevcut iş kapasitesinin üstünde ise enbüyük üretim düzeyine karşı gelen kesici kenar ömrü,

$L_{mp}$  : Enbüyük üretim düzeyine karşı gelen kesici kenar ömrü [dak.] ,

$n$  : Kesici ucun kalitesine bağlı bir katsayı [kaplanmamış uçlar için 0,25; titanyum kaplı uçlar için 0,3; seramik kaplı uçlar için 0,4 alınabilir].

$T_d$  : Kesici kenarı indeksleme süresi,

olmak üzere,

$$L_{mp} = T_d \left( \frac{1}{n} - 1 \right) \quad \dots (I-6)$$

formülüne göre hesaplanır.

Talep mevcut iş kapasitesinden daha düşük düzeyde ise izleyen adıma geçilir.

4- Talep, mevcut iş kapasitesinin altında ise enküçük maliyeti oluşturacak kesici kenar ömrü seçilir. İlgili tablodan, işletim maliyeti belirlendikten sonra formül(I-5) den kesici kenarın maliyeti hesaplanır. Daha sonra enküçük maliyeti oluşturacak kesici kenar ömrü,

$L_{mc}$  : Enküçük maliyeti oluşturacak kesici kenar ömrü,

$n$  : Uç kalitesine bağlı bir katsayı (bir önceki adımda verilen değerleri alabilir).

$U_k$  : Kesici kenarın maliyeti,

$U_o$  : İşletim maliyeti,

$T_d$  : Kesici kenar indeksleme süresi,

olmak üzere,

$$L_{mc} = \frac{U_k + U_o T_d}{U_o} \left( \frac{1}{n} - 1 \right) \quad \dots (I-7)$$

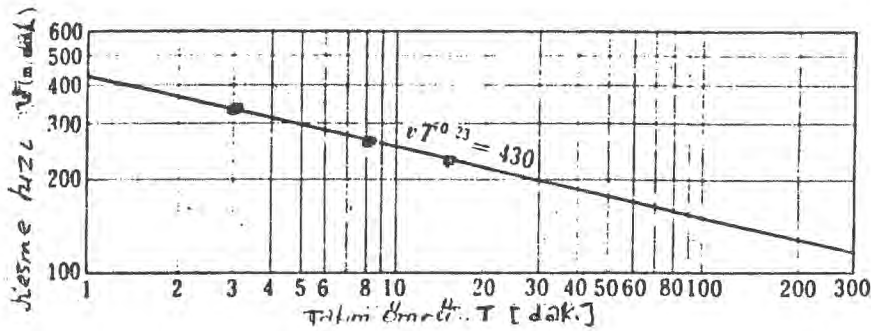
formülüne göre hesaplanır.

5- İşparçası ve kesici takım malzemesini esas alarak hazırlanmış tablolardan, başlangıç kesme hızı ve izin verilebilir kesici uç aşama miktarı seçilir.

6- Parçalar, tablodan seçilen kesme hızı ile kesici kenarda izin verilen aşınma gözleninceye kadar işlenir. Eğer izin verilen aşınma miktarı gözlenmeden takım işgörmez duruma gelirse, bunun nedenleri de ayrıca araştırılır.

İzin verilen aşınma ortaya çıkıncaya kadar geçen süre, kesici kenar ömrüdür. Parçalar önce başlangıç kesme hızının % 25 ve sonra da % 50 fazlasıyla işlenecek her iki kesme hızı için kesici kenar ömrü belirlenir. Kesici kenarın ömrünü belirlemede ölçüt yine takımın izin verilen aşınma miktarıdır.

7- Elde edilen kesici kenar ömürleri ve karşı gelen kesme hızları logaritmik eksen takımında gösterilir. Bu ilişki, Şekil-I.15'de görülebilir.



ŞEKİL-I.15 Tipik Kesme Hızı - Kesici Kenar Ömrü

8- Enküçük maliyet veya enbüyük üretim düzeyine karşı gelen kesici kenar ömürleri hesaplanırsa elde edilen bu diyagram yardımı ile kesme hızı belirlenebilir.

Geleneksel yaklaşımın iki yönteminde de paso değeri ve ilerleme hızının geçmiş dönem verilerine bakılıp, sezgisel olarak belirlendikleri görülmektedir. Yöntem, kesme hızı belirlemesine ağırlık vermekte ve buna gerekçe olarak da kesici kenar ömrünü en çok etkileyen kesme değişkeninin kesme hızı olduğunu kabul etmesidir. Çünkü yapılan deneyler-

de sırası ile paso, ilerleme, hızı ve kesme hızı değerleri, bir başlangıç duruma göre % 50 oranında arttırıldığında kenar ömründe gözlenen azalmalar, sırası ile % 15, % 60 ve % 90 oranında olmuştur (12).

Paso değerini, ilerleme hızını geçmiş dönem verilerine ve deneyime dayalı olarak belirleyip kesme hızı için de işletme ortamlarında denemeler yapmak zaman alıcı olmakta, işletmeye ek maliyet yüklemekte, işlerin insanlara bağımlılığını arttırmakta, sonuçları da fazla güvenli olmamaktadır. Bundan sakınmak için süreci etkileyen tüm faktörleri gözönüne alan Bir Matematiksel Model ve modeli belirli bir ölçüte göre çözecek teknikleri arama çalışmaları başlatılmıştır.

### I.3.2 Matematiksel Modelleme Yaklaşımı

Bu yaklaşımda, sürecin tüm kısıtları gözönüne alınarak benimsenen bir veya birkaç ölçüte göre amaç fonksiyonunu eniyileyen kesme değişkenlerinin belirlenmesine yardımcı olabilecek bir matematiksel model kurulur.

Matematiksel modellerde benimsenebilecek ölçüt, aşağıdakilerden biri veya birkaçının bileşimi olabilir.

- i) Talaş debisi,
- ii) Üretim süresi,

---

(12) GENERAL ELECTRIC, A.g.k., s. 3-4.

iii) Üretim maliyeti,

iv) Kâr düzeyi (oranı).

Bu açıklamanın girişinde belirtilen amaçlar doğrultusunda, izleyen bölümde matematiksel yaklaşımlar üzerinde durulacaktır.

## İ K İ N C İ B Ö L Ü M

### KESME DEĞİŞKENLERİNİN BELİRLENMESİNDE MATEMATİKSEL YAKLAŞIMLAR

Kesme değişkenlerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemin pratikle uyarlılığı ve duyarlılığı; şüphe yok ki, metal işleme ekonomisi ile çok sıkı ilişkilidir. Konuyu matematiksel yaklaşımlarla ele almak istemek, konunun pratikteki yaygınlığından ötürü zaman ve malzeme kullanımında ekonomi sağlamak içindir.

Bu bölümde kesme değişkenleriyle ilgili matematiksel yaklaşımlar, kısıtsız ve kısıtlı modeller gözönüne alınarak incelenecektir.

#### II.1 KISITSIZ MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMLARI

Benimsenen bir ölçüte göre, amaç fonksiyonunun kesme değişkenleri cinsinden yazılarak oluşturulacak mode-

lin analitik veya sayısal yöntemlerle çözümüne ilişkin çalışmalar, kısıtsız modelleme yaklaşımları başlığı altında toplanabilir.

Aşağıda, tek pasolu tornalamada maliyet enküçüklemesi, kısıtsız modelleme yaklaşımına örnek olarak ele alınacaktır. Bu tür tornalamada üretim maliyeti, beş bileşene ayrılarak incelenebilir.

i) *Yardımcı Hareketler Maliyeti* : Parçanın tezgâha yüklenmesi, pozisyon ayarının yapılması, ölçü denetimi yapılması, temizlik ve yağlama yapılması ile parçanın tezgâhtan indirilmesi gibi hareketlerin maliyetidir.

$U_o$  : İşçilik maliyet oranı [TL/dak.] ,

$T_y$  : Yardımcı hareketler süresi [dakika] ,

$U_y$  : Yardımcı hareketler maliyeti [TL] ,

ise,

$$U_y = U_o \cdot T_y \quad \dots (II-1)$$

dir.

ii) *Fiili İşleme Maliyeti* : İş parçasının, kesici takım ile fiilen temasta olduğu sürenin maliyetidir.

$T_m$  : Fiili işleme süresi [dakika] ,

$U_m$  : Fiili işleme maliyeti [TL] ,

ise,

$$U_m = U_o T_m \quad \dots (II-2)$$

yazılabilir.

*iii) Kesici Kenarı Değişirme Maliyeti :*

$T$  : Kesici kenarın ömrü [dakika],

$T_c$  : Kesici kenarın değiştirilme süresi [dakika],

$U_c$  : Kesici kenar değiştirme maliyeti [TL],

ise,

$$U_c = U_o T_c \cdot \left( \frac{T_m}{T} \right) \quad \dots (II-3)$$

yazılabilir.

*iv) Kesici Takım Maliyeti :*

$U_{tc}$  : Kesici kenarın maliyeti [TL/kenar],

$U_t$  : Kesici takım maliyeti [TL],

ise,

$$U_t = U_{tc} \cdot \left( \frac{T_m}{T} \right) \quad \dots (II-4)$$

yazılabilir.

v) İş Bağlama Kolaylıklarının Maliyeti :

$U_b$  : Kolaylıkların maliyeti [TL],

$T_a$  : Kolaylıkların ayarlanma süresi [dakika],

$N$  : Üretilen parça sayısı,

$U_{bk}$  : Birim parça başına kolaylık maliyeti [TL],

ise,

$$U_{bk} = \frac{U_b + U_o T_a}{N} \quad \dots (II-5)$$

yazılabilir.

Yukarıdaki ifadelere göre, birim parça için toplam maliyet,

$$U = U_y + U_m + U_c + U_t + U_{bk}$$

veya

$$U = U_o T_y + U_o T_m + U_o T_c \left( \frac{T_m}{T} \right) + U_t \left( \frac{T_m}{T} \right) + \frac{U_b + U_o T_a}{N}$$

... (II-6)

şeklinde yazılır.

Tornalama işlemi,  $N_p$  kadar paso ile yapılıyor ve;

$D_i$  : i. işlemin tornalama çapını [mm],

$L_i$  : i. işlemin tornalama boyunu [mm],

$f_i$  : i. işlemin ilerleme hızını [mm/dev.],

$v_i$  : i. işlemin kesme hızını [m/dak.],

$T_{mi}$  : i. işlemin işleme süresini [dak.],

$T_i$  : i. işlemde takım ömrünü [dak.],

gösteriyor ise,

$$T_{mi} = \frac{\pi D_i L_i}{1000 f_i v_i} \quad \dots (II-7)$$

ve

$$U_i = U_o T_{mi} + \left( \frac{T_{mi}}{T_i} \right) \cdot (U_o T_c + U_t) \quad \dots (II-8)$$

olmak üzere,

$$U = \sum_{i=1}^{N_p} U_i + U_o T_y + \frac{U_b + U_o T_a}{N} \quad \dots (II-9)$$

olur.

(II-7) eşitliğinde  $T_m$ , kesme değişkenleri cinsinden ifade edildiğine göre T takım ömrünün de aynı değişkenler cinsinden ifade edilmesi halinde, (II-9) eşitliğinde enküçkleme işlemleri yapılabilir. O halde, Taylor'un genelleştirilmiş takım ömrü bağıntısı,

$$B = C \cdot f^{\alpha_2} \cdot a^{-\alpha}$$

$$E = C \cdot f^{\alpha_2} \cdot v^{-\alpha_1} \cdot a^{-\alpha}$$

$\alpha, \alpha_1, \alpha_2$  : Sabit üsteller,

$C$  : Süreç sabiti,

olmak üzere,

$$T = \frac{C^{\alpha_2}}{a \cdot f^{\alpha_1} \cdot v^{\alpha_2}}$$

veya ,

$$T = \frac{B}{f^{\alpha_1} \cdot v^{\alpha_2}}$$

veya ,

$$T = \frac{E}{v^{\alpha_2}}$$

ve

$$T_m = \frac{\pi DL}{1000 \cdot f \cdot v}$$

yazılabileceğinden, bu bağıntılar (II-6) eşitliğinde yerlerine konulursa,

$$U = U_o T_y + U_o \frac{\pi DL}{1000 \cdot f \cdot v} + U_o T_c \frac{\pi DL}{1000 \cdot B} f^{(\alpha_1-1)} v^{(\alpha_2-1)} + U_t \frac{\pi DL}{1000 \cdot B} f^{(\alpha_1-1)} v^{(\alpha_2-1)} + \frac{U_b + U_o T_a}{N}$$

...(II-10)

ifadesi elde edilir.

Enküçük maliyete karşı gelen  $f$  ve  $v$ 'yi belirlemek için de,

$$\frac{\partial U}{\partial f} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial v} = 0$$

sistemleri oluşturulmalıdır.

$$\frac{\partial U}{\partial v} = 0$$

dan,

$$(\alpha_2 - 1) \frac{f^{\alpha_1} v^{\alpha_2}}{B} \left[ \frac{U_o^T c + U_t}{U_o} \right] = 1 \quad \dots(\text{II-11})$$

ve

$$\frac{\partial U}{\partial f} = 0$$

dan,

$$(\alpha_1 - 1) \frac{f^{\alpha_1} v^{\alpha_2}}{B} \left[ \frac{U_o^T c + U_t}{U_o} \right] = 1 \quad \dots(\text{II-12})$$

elde edilir.

(II-11) ve (II-12) bağıntılarını aynı anda sağlayabilecek  $f$  ve  $v$  değerlerinin bulunamayacağı açıktır. O halde, enküçük maliyete karşı gelecek  $f$  ve  $v$  değerini belirlemede

başka bir yöntem araştırmak gerekir.

$$M = \frac{U_0 B}{U_0 (T_c + 1) (\alpha_2 - 1)}$$

olmak üzere, (II-11) bağıntısında v'yi f cinsinden ifade edersek,

$$v = M \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{1}{f^{\alpha_1}}$$

elde edilir.

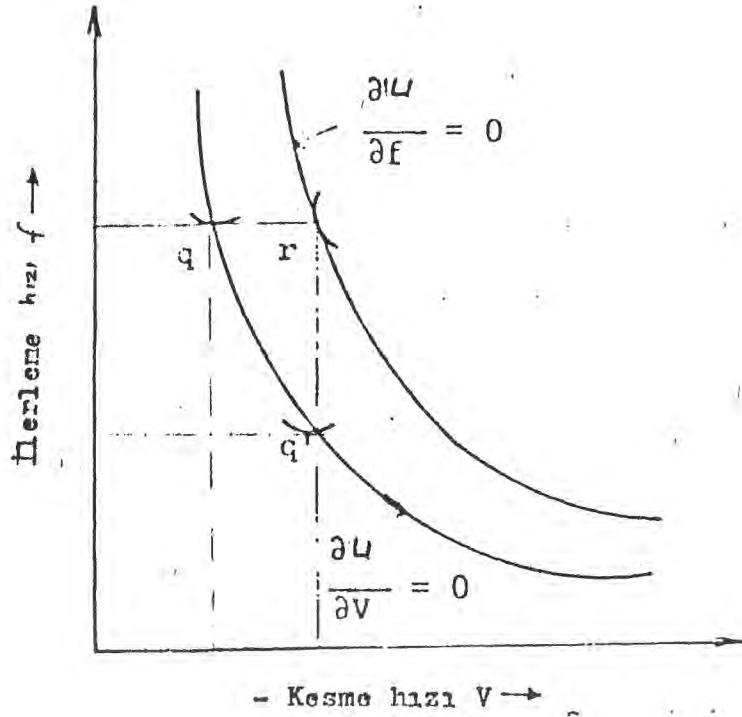
Bu eşitlik, (II-10) eşitliğinde yerine konulur ve sabitlenmiş diğer maliyet parametreleri de  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  ile simgelenirse (II-10) eşitliği,

$$U = U_0 T_Y + U_0 M_1 f^{\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1\right)} + U_0 M_2 f^{\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1\right)} + M_3 f^{\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1\right)}$$

olur. Burada uygun işlemler yapılırsa,

$$U = U_0 T_Y + (U_0 M_1 + U_0 M_2 + M_3) \cdot f^{\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1\right)} \dots (II-13)$$

elde edilir.  $\alpha_2 > \alpha_1$  oluşu nedeniyle, f'in üsteli negatif değer alacaktır. Bu ise, f arttırıldığında U'nun azalacağı anlamına gelir. Öyle ise ideal durumda, f sonsuz büyüdüğünde v'de sifıra doğru yaklaşır ve bu durumda da maliyet en-küçük olur. Bu sonuç, Şekil-II.1 'den de görülebilir.



ŞEKİL-II.1 Enküçük Maliyete Karşı gelen İlerleme Hızı ve Kesme Hızının Eğrileri.

Benzer değerler,  $f$ 'nin  $v$  cinsinden hesaplanarak maliyet denkleminde konulmasıyla da elde edilir.

Ölçüt, maliyet dışında kalan ölçütlerden herhangi biri de olsa tek pasolu tornalamada; kısıtsız matematiksel modelleme, değişkenlerin eniyi değeri olarak,  $\infty$  ve 0 gibi gerçekte çelişen değerleri vermektedir.

İşlem, çok takım ile gerçekleştirilirse ve çok pasolu da olsa, kısıtsız matematiksel modelleme yaklaşımı, kesme değişkenlerinin benimsenen ölçüte göre eniyi değerlerini belirleyememektedir.

## II.2 KISITLI MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMLARI

Gerçek üretim ortamlarında, benimsenen herhangi bir ölçüte göre kesme değişkenlerinin eniyi değerleri, süreci etkileyen tüm kısıtların aynı anda gözönüne alınması ve bunların modele yerleştirilip; modelin uygun bir yöntemle çözümü sonucu belirlenebilir.

Bir kesici takım aracılığı ile bir malzeme üzerinden talaş kaldırarak şekil verme süreci, özde rassal karakterdedir. Ancak kaynak ve veri bolluğu nedeniyle bu konudaki çalışmaların çoğunda geliştirilen modeller, belirgin karakterlidirler.

Talaş çıkarma ile gerçekleşen üretim sürecinde araştırmacıların genel eğilimi, tornalama frezeleme, delme, planyalama ve taşlama işlemleri için kullanıma uygun genel bir model geliştirmektedir.

Bu kesimde, silindirik bir yüzeyin uzunlamasına dış yüzey tornalaması işlemi için süreç kısıtları ve kesme değişkenlerinin eniyi değerlerinin belirlenmesine ilişkin yapılan çalışmalar incelenecektir.

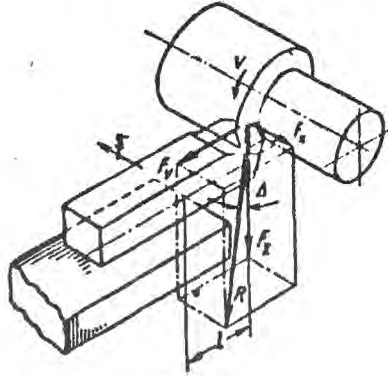
### II.2.1 Süreç Kısıtları

Süreç kısıtları, tornalama dışındaki delme, frezeleme, planyalama gibi takım tezgâhı işlemlerinde de benzer karaktere sahip olmakla beraber formülasyon farklılıkları gösterebilir.

### II.2.1.1 Kesme Kuvveti.

Süreçte beliren kesme kuvveti, üç bileşene ayrılarak analiz edilir. Herbir kuvvet bileşeninin işparçası ve kesici takım üzerindeki etkilerine göre bunların sınır değerleri kesme kuvveti kısıtını oluşturur.

Kuvvet bileşenleri, Şekil-II.2'de gösterilmiştir.



ŞEKİL-II.2 Bileşke Kuvvetin Üç Bileşene Ayrıştırılması

Bu üç kuvvet bileşeninin eksenlere göre etkileri ve kesme değişkenleri cinsinden ifadeleri aşağıda verilmiştir.

a) Z eksenine doğrultusundaki kuvvet bileşeni :

$C_{fz}$  : Koşulların bağımlısı bir sabit katsayı,

$z_1, z_2, z_3$  : Birer üstel sabit,

iseler, z eksenine doğrultusundaki kuvvet bileşeninin değeri,

$$F_z = C_{fz} \cdot a^{z_1} \cdot f^{z_2} \cdot v^{z_3} \quad \dots(\text{II-14})$$

şeklinde ifade edilir (13).

Bu kuvvet bileşeni, kesici takımı eğmeğe ve iş parçasını sıkma kuvvetinin yarattığı sıkma momentini çözmeye çalışır.

$S_1$  : Kesici takımın ucunun izin verilebilir eğilme miktarı [mm],

$E_1$  : Kesici uç sap malzemesinin elâstisite modülü [kg/mm<sup>2</sup>],

$I_1$  : Kesici uç sap kısmının kesitinin atalet momenti [mm<sup>4</sup>],

$L_1$  : Kesici takımın çıkıntı mesafesi [mm],

ise,  $F_2$  için sınır değer,

$$F_{zs} = \frac{3 \cdot s_1 \cdot E_1 \cdot I_1}{L_1^3} \quad \dots \text{(II-15)}$$

dir.

Kesici takımın sap kesiti dikdörtgen ise,

$B$  : genişlik [mm],

$H$  : Yükseklik [mm],

olmak üzere,

$$I_1 = \frac{BH^3}{12} \quad \dots \text{(II-16)}$$

- (13) V.ARSHINOV, G.ALEKSEEV, *Metal Cutting Theory and Cutting Tool Design*, Mir Publishers, Moscow., 1976, s. 113.

dir.

Kesici takım sapı,  $d$  çaplı bir daire ise,

$$I_1 = \frac{\pi d^4}{64} \quad \dots(11-17)$$

olur.

b)  $Y$  eksenini doğrultusundaki kuvvet bileşeni :

$C_{fy}$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  birer sabit iseler,

$$F_y = C_{fy} \cdot a \cdot \frac{Y_1}{f} \cdot \frac{Y_2}{v} \cdot Y_3 \quad \dots(11-18)$$

şeklinde ifade edilebilir.  $F_y$  bileşeni, iş parçasını eğmeğe ve onun tanımlanmış toleranslar dışında işlenmesine neden olabilir.

BK : İşin tornaya bağlanması şekline göre değişen bir katsayı (iş sadece aynaya bağlanmışsa 3, ayna puntaya bağlanmışsa 109,7 iki punta arasına bağlanmışsa 48) olur.

$S_2$  : İş parçası için izin verilebilir enbüyük eğilme miktarı [mm],

$E_2$  : İş parçası malzemesinin elâstisite modülü [kg/mm<sup>2</sup>],

$I_2$  : İş parçasının işlenmekte olan bölgesine ait eğilme atalet momenti [mm<sup>4</sup>],

$L_2$  : İş parçasının bağlanma mesafesi [mm],

ise,  $F_y$  için sınır değer,

$$F_{ys} = \frac{BK \cdot S_2 \cdot E_2 \cdot I_2}{L_2^3} \quad \dots (II-19)$$

dir.

iş parçasının işlenmekte olan bölgesine ait çap değeri  $D$  [mm] ise,

$$I_2 = \frac{\pi D^4}{64} \quad \dots (II-20)$$

dir.

c)  $X$  eksenini doğrultusundaki kuvvet bileşeni :

$C_{fx}$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  birer sabit olmak üzere,

$$F_x = C_{fx} \cdot a^{x_1} \cdot f^{x_2} \cdot v^{x_3} \quad \dots (II-21)$$

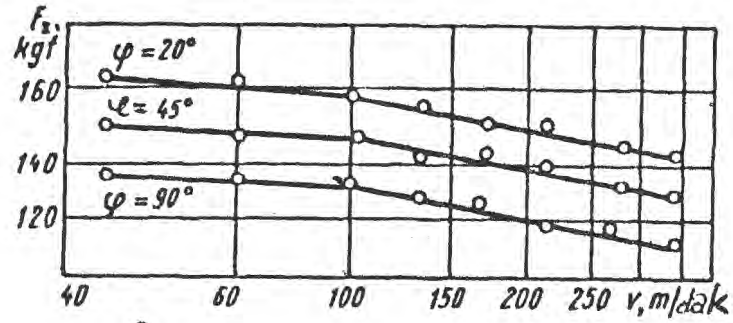
şeklinde ifade edilebilir.

$F_x$  bileşeni de iş mili yataklarını aksenal doğrultuda etkileyen bir bileşendir. Bu bileşen için sınır değer, çoğu kez  $F_{zs}$ 'in % 40'ı alınmaktadır (14).

Dökme demirleri işlerden  $F_z$  kuvvet bileşininin,  $v$ 'ye bağımlılığı Şekil-II.3'de gösterilmiştir.

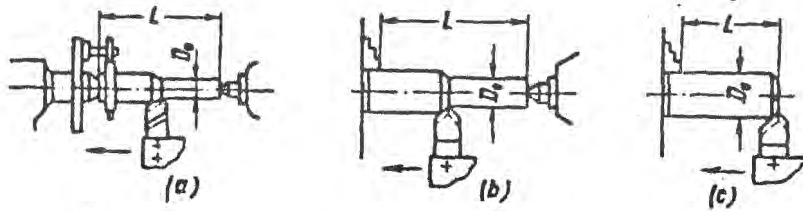
---

(14) YEHIA: EL KARAMANY., Turning, Long Workpieces By Changing The Machining Parameters, *Int. Jour. Mac. Tool. Des. Res.*, Vol. 24, No. 1, 1984, s. 2.



ŞEKİL-II.3 Dökme Demirleri İşletmede  $F_z$  Kuvvetinin Kesme Hızına Bağımlılığı.

Eşitlik III-19)'daki BK simgesinin daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil-II.4'e başvurulmalıdır.



ŞEKİL-II.4 Tornalamada İş Parçasını Bağlama Şekilleri

- İki punta arasında
- Ayna punta arasında
- Sadece aynada

#### II.2.1.2 Motor Gücü

Kesme değişkenlerinin değerlerinin, tezgâh-daki motor gücü ile yakından ilişkisi vardır.

$\eta$  : Tezgâhın mekanik verimi,

$N$  : Tezgâhtaki motorun gücü [kW],

ise,

$$N = \frac{F_z \cdot v}{102,60 \cdot \eta} \quad \dots (II-22)$$

dir (15).

$k_s$  : 0,4 mm ortalama talaş kalınlığı için kesme kuvveti [kg/mm<sup>2</sup>],

$r$  : Kesici ucun burun yarıçapı [mm],

$k_{sm}$  : Gerçek özgül kesme kuvveti [kg/mm<sup>2</sup>],

$h_m$  : Ortalama talaş kalınlığı [mm], ise,

$$h_m = f \sqrt{\frac{a}{2r}} \quad \dots (II-23)$$

ve ,

$$k_{sm} = k_s \left( \frac{0,4}{h_m} \right)^{0,29} \quad \dots (II-24)$$

şeklinde yazılabilir. (16).

Motor gücü ise,

$$N = \frac{a \cdot f \cdot v \cdot k_{sm}}{102,60 \cdot \eta} \quad \dots (II-25)$$

(15) K. HITOMI, A.g.k., s. 180.

(16) SANDVIK, COROMANT, *Choosing The Cutting Parameters*, s. 48.

olarak ifade edilir.  $k_s$ , malzemeye göre ilgili tablodan seçilir.

### II.2.1.3 Takım Ömrü

Burada takım ömrü olarak, kesici kenarın kesme yapamaz duruma gelinceye kadar geçen süre anlaşılmalıdır. Bu çalışmada, kesici kenar ömrü ve takım ömrü aynı anlamda kullanılmıştır.

$C$  : Malzemeye ve sürecin koşullarına bağlı bir katsayı,

$\alpha$  : Paso üsteli değeri,

$\alpha_1$  : İlerleme hızı üsteli değeri,

$\alpha_2$  : Kesme hızı üsteli değeri,

ise,

$$T = \frac{C^{\alpha_2}}{a \cdot f^{\alpha_1} \cdot v^{\alpha_2}}$$

ifadesi, "Genelleştirilmiş Taylor Formülü" ismiyle, bu konuda yaygın olarak kullanılmaktadır (17).

### II.2.1.4 Kesme Sıcaklığı

Süreçte beliren sıcaklık,

$C_t$  : Bir sabit katsayı,

(17) K. HITOMI, A.g.k., s. 183.

- $\theta_1$  : Sıcaklık ifadesindeki paso üstel değeri,  
 $\theta_2$  : Sıcaklık ifadesindeki ilerleme hızı üstel değeri,  
 $\theta_3$  : Sıcaklık ifadesindeki kesme hızı üstel değeri,

olmak üzere,

$$\theta = C_t \cdot a^{\theta_1} \cdot f^{\theta_2} \cdot v^{\theta_3} \quad \dots (II-26)$$

ifadesi ile hesaplanabilir (18).

Sıcaklığın sınır değeri olarak, kesici takımın kesme kenarının kesme özelliklerinin azaldığı sıcaklık düzeyi alınabilir.

#### II.2.1.5 Yüzey Pürüzlülük Düzeyi

İşlenmekte olan yüzeylerin pürüzlülük düzeyleri, büyük oranda kesici kenarın burun şekline, kullanılan ilerleme hızı değerine ve titreşimin şiddetine bağlıdır.

$r$  : Kesici kenarın burun yarıçapı [mm],

RIZ: İzin verilebilecek pürüz yüksekliği [mm],

ise,

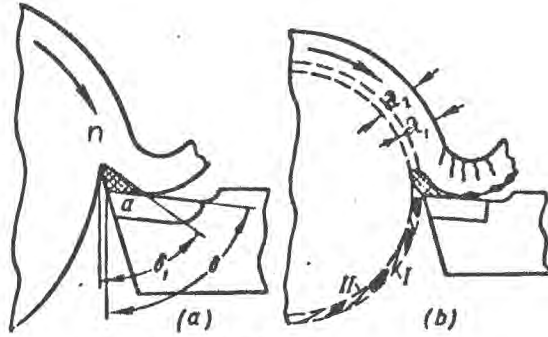
$$f^2 \leq 8 \cdot r \cdot RIZ \quad \dots (II-27)$$

- (18) M.A.EL HAKIM, A.M.EL AWAM, A.S. EL SABBACH, "A Computer Program for The Optimization of The Machining Variables, *Compt. and Indust. Eng.*, Vol. 7, No. 4, 1983, s. 319.

ifadesi yazılabilir (19).

### II.2.1.6 Süreçte Yapma Kesici Kenar Oluşumu

Kesme hızının düşük değerlerinde iş parçası üzerinden kopan malzeme parçacıkları, kesici kenar üzerine yapışarak işlenmiş yüzey üzerinde izler bırakmak suretiyle yüzey pürüzlülük derecesini arttıırırlar. Şekil-II.5' de tornalama işleminde yapma kesme kenar oluşumu gösterilmiştir.



ŞEKİL-II.5 Bir Torna Takımında Yapma Kenar Oluşumu (BUE)

a) Dengeli BUE

b) Kırık BUE

$\beta$  ve  $\delta$  bir süreç sabiti olmak üzere,

$$\beta \leq f \cdot v^\delta \quad \dots (II-28)$$

ifadesi yazılabilir (20).

(19) K.HITOMI A.g.k., s. 180.

(20) M.A.EL. HAKIM, A.M.EL AWAM, A.g.k., s. 319.

### II.2.2 Süreçte Benimsenebilecek Ölçütler.

Kesme sürecinde karar vericiler tarafından benimsenebilecek ölçütler aşağıda verilmiştir:

- i) *Talaş debisi (üretim düzeyi)*
- ii) *Üretim süresi*
- iii) *Üretim maliyeti*
- iv) *Kâr düzeyi (oranı)*

Bu çalışmanın üçüncü bölümünde belirtilen ölçütler üzerinde durulacaktır.

### II.2.3 Kesme Değişkenlerinin Eniyilenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Kesme hızı ile kesici kenar ömrü (takım ömrü) arasındaki ilişkiler incelenerek kesme süreci ekonomisi hakkında ilk çalışmalar F.W., Taylor tarafından 1907 yılında başlatılmıştır (21). Taylor'un başlattığı çalışmalar günümüzde de yoğun biçimde sürdürülmektedir.

Süreç kısıtları altında amaç fonksiyonunu eniyilecek kesme değişkenlerini belirleme probleminde kullanılabilecek yöntemlerin hangisinin daha etkin olacağına ilişkin karar,

---

(21) M.S. TÜZÜN, " Optimization Of Cutting Conditions For Turning Operations Using The Minimum Cost Criterion" M.Sc. Thesis, M.E.T.U., 1981, s. 4.

gerçek üretim ortamları gözönüne alınacak, elde edilen değerlerin, ekonomik olduğu ileri sürülebilir.

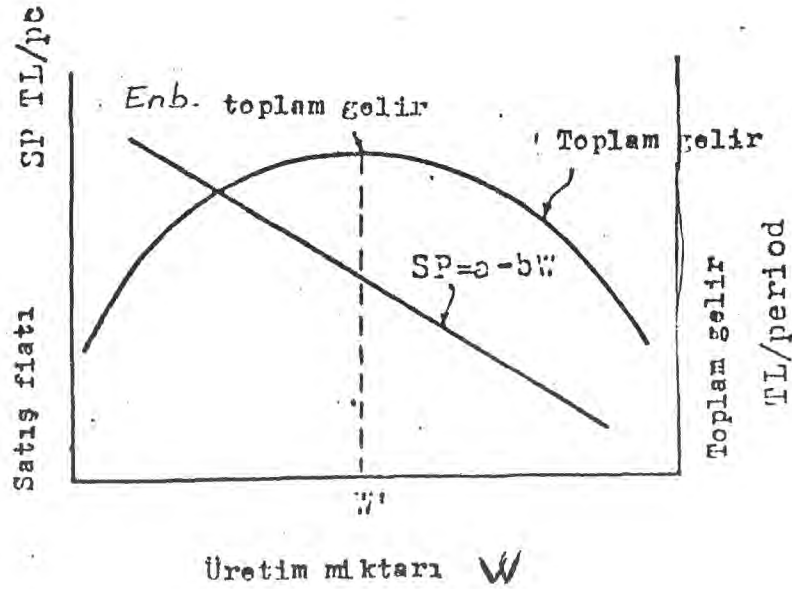
Bu kesimde, konu hakkında yapılan çalışmalar ve geliştirilen yaklaşımlar incelenecektir.

E.J.A. Armerego ve J.K.Russell 1960 yılında kesme değişkenlerinin, kârı enbüyükleyecek biçimde seçilmesine ilişkin bir yöntem önermişlerdir. Bu yönteme göre; pasoyu önceden seçerek ilerleme hızı ve kesme hızının eniyi değeri kâr enbüyüklemesi amacına göre saptanabilir; Taylor'un genişletilmiş kesme kenarı ömür denklemini ve maliyet denklemini kullanarak kâr düzeyini maliyet ve zaman parametreleri cinsinden yazılır; eğer zarar da (negatif kâr) gözönüne alınıyorsa enbüyük kâra karşı gelen kesme değişkenleri, her zaman enküçük maliyet ve enbüyük üretim düzeyine karşı gelen kesme değişkenleri arasında olamamaktadır (22).

S.M.Wu ve D.S.Ermer, 1966'da soruna bir başka noktadan yaklaşmışlardır. Bunlar, enbüyük kâra karşı gelen kesme hızını, aşağıdaki temel ekonomik ilkeyi izleyerek saptamışlardır. Enbüyük kâr, marjinal gelirin marjinal maliyete eşit olduğu üretim düzeyinde gerçekleşir (23). Bu marjinallik

- 
- (22) E.J.A., ARMAREGO, J.K. RUSSELL, "Maximum Profit Rate as a Criterion for the Selection of Machining Conditions" *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 6, 1960, s. 15-23.
- (23) S.M. WU, D.S. ERMER, "Maximum Profit as the Criterion in the Determination of the Optimum Cutting Conditions", *Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, Series B*, Vol. 88, No. 2, November 1966, s. 435-443.

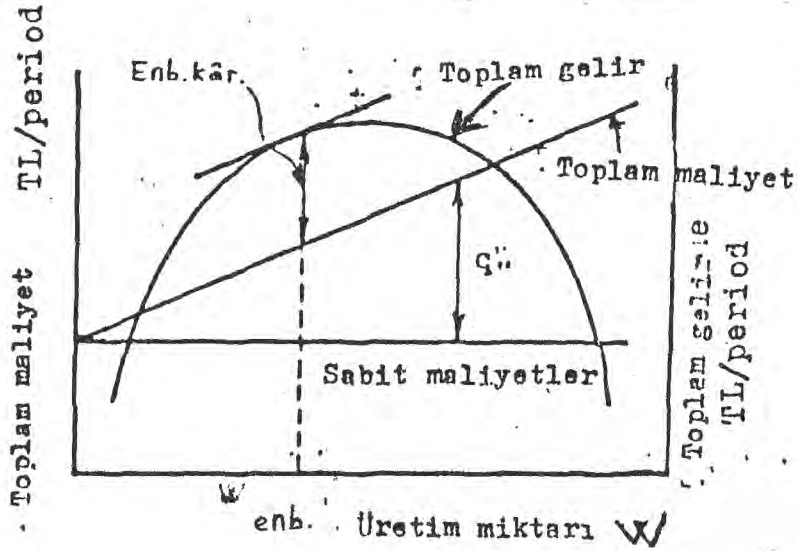
ilkesi ise firmanın üretim düzeyi maliyetleri, gelirleri, kârları arasındaki temel ekonomik ilişkilere dayandırılır. Çalışmada, satış fiati ile satılabilen mal miktarı arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu varsayılmıştır (Şekil-II.6).



ŞEKİL-II.6 Satış Fiati ve Toplam Gelirin Üretim Miktarına Bağlılığı.

Böylece kâr düzeyi enbüyüklenmek isteniyorsa; üretim, marjinal gelir marjinal maliyete eşit oluncaya dek arttırılabılır. Şekil-II.7'den durum izlenebilir.

Üretim düzeyindeki artıştan kaynaklanan gelirler bilinebiliyorsa; kesme hızı, bir  $v_{enk}$ 'den itibaren gelirdeki marjinal değişiklik, maliyetdekine eşit olana dek arttırılmak suretiyle üretim düzeyi arttırılmalıdır. Marjinallik ilkesinin gerçekleştiği kesme hızı  $v_p$  teorik olarak enbüyük kâra karşı geleceği gibi maliyet ve üretim düzeyi arasında da eniyi ekonomik dengeyi oluşturacaktır. Aslında eniyi kesme hızı



ŞEKİL-II.7 Toplam Maliyet ve Toplam Gelirin Üretim Miktarına Bağımlılığı.

zı yerine eniyi kesme hızı aralığını araştırmak daha gerçekçi olarak düşünülebilir.

D.S.Ermer, 1970 yılında Uyarlamalı Denetim (Adaptiv Control) esasına dayanan bir eniyileme yöntemi geliştirmiştir (24). Uyarlamalı Denetim Sistemleri, sürecin istenen eniyi değerlerini süreç esnasında anında bulurlar. Bayesian istatistik yöntemleri esasına dayanan kesme kenarı aşınma modeli, kesme değişkenlerinin belirlenmesinde önemli bir teknik olarak kullanılır. Bu yöntemde, kesme kenarında gözlenen aşınma miktarına göre, kesme değişkenleri anında değiştirilir.

(24) D.S., ERMER, "A Bayesian Model of Machining Economics for Optimization by Adaptive Control", *Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, Series B*, Vol. 92, No. 3, s. 628-632, 1970.

Kesici kenarın ömrü için ölçüt, sabit aşınma miktarı alınır ve aşınmanın kesme hızına karşı değişiminin doğrusal olduğu varsayılır.

Bu yaklaşımda, zaman ve maliyet verilerinin bilinebilen değerleri ile takım ömrü parametrelerinin kestirim değerleri birleştirilerek, enküçük maliyete karşı gelen bir ilk kesme hızı saptanabilir ve bu değerle üretime başlanabilir. Üretimin devamı esnasında takım ömrü hakkında gözlenen değerlere, Bayesian modelinin uygulanmasıyla, takım ömrü parametreleri güncelleşerek onlar aracılığı ile sonra gelen kesme hızı değerleri saptanır. Bu kez üretime, bu yeni kesme hızı değeri ile devam olunup, takım ömrü parametreleri yeniden güncelleştirilir. Bu işlem parametre değerleri arasında önceden karar verilen bir fark oluşuncaya dek sürdürülerek, eniyi kesme hızına erişilmeye çalışılır.

YU.M. Solomentsov 1971 yılında aynı problemi ele alıp bir başka öneri getirmiştir (25). Ona göre parçaları sadece gerekli duyarlılıkta değil, aynı zamanda enbüyük üretkenlikle ve enküçük maliyetle üretmek gerekir. Bu yöntemde izlenecek temel aşamalar, aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

a) İş parçalarının tezgâha bağlanma ve ayarlanma yöntemi seçilir ve kolaylıkların (fixtures), ekipmanların tipi tanımlanır.

---

(25) Yu.M., SOLOMENTSOV, "Optimizing the Machining of Component Using Adaptive Control Systems", *Russian Engineering Journal*, Vol. 51, No. 9, 1971, s. 73-77.

b) Kesici takım geometrisi seçilir.

c) İlerleme hızı, belirli bir yüzey kalitesini garantileyecek büyüklükte seçilir.

d) Kesme hızı, üretimde değişik faktörleri gözönüne alarak seçilir.

Seçilen kesme değişkenleri sürecin kısıtlarına göre kontrol edilir. Kısıtlardan birinin bile sağlanamaması durumunda kesme koşulları değiştirilir.

Rassal programlama kavramını uygulayan bir analitik yöntem, 1972'de K. Iwata, Y. Murotsu, T. Iwatsuba, S. Fujii tarafından önerilmiştir (26). Bu yöntem, amaç fonksiyonunun ve kısıtların rassal karakterini gözönüne alarak kesme değişkenlerinin eniyi değerlerinin saptanmasında kullanılır. Çalışmada amaç, birim takım aşınma miktarı için talaş debisini ve üretim maliyetini eniyileyecek kesme değişkenlerini saptamaktır.

D.S.Ermer ve B.V. Shah (27) 1973 yılında, kesme değişkenlerinin eniyi değerlerinin saptanmasında duyarlılık

---

(26) K. IWATA, Y. MUROTSU, T. IWATSUBO, S. FUJII, " A Probabilistic Approach to the Determination of the Optimum Cutting Conditions", *Journal of Engineering for Industry Trans., ASME, Series B, Vol. 94, No. 4, 1972, s. 1089-1107.*

(27) D.S. ERMER, B.V., "Analytical Sensitivity Studies of the Optimum Machining Conditions for Milling, Reaming, Drilling and Tapping", *Journal of Engineering for Industry, Trans, ASME, Series B, Vol. 95, No. 1, Feb. 1973, s. 312-316.*

analizleri için enküçük maliyet ve enbüyük üretim düzeyi ölçütüne göre bir analitik yöntem önermişlerdir. Bu öneride temel fikir, bir eniyi nokta yerine eniyi noktalardan oluşan eniyi kesme değişkenleri aralığını saptamaktır. Kesme değişkenlerinin eniyi değerlerinden oluşan aralık bir kez elde edildikten sonra, bu aralıkta eniyileme yapmanın daha kolay olacağı ileri sürülerek, duyarlılık açısından bu tür bir yaklaşımın faydalı olacağı savunulmuştur.

M.P. Groover tarafından 1975'de konuya bir başka açıdan yaklaşıldığı görülmektedir (28). Yaklaşım Monte Carlo Benzetim tekniği esasına dayanmaktadır. Kullanılar ölçüt, birim parça maliyeti enküçüklemesidir. Takım ömrü ve takım aşınması değişken varsayılarak; kısıt olarak yüzey pürüzlülüğünün belli bir düzeyi garantilemesi temel alınmıştır.

Yine aynı çalışmada sabit ilerleme hızı değerinde eniyi kesme hızını saptama problemi hem geleneksel ve hem de benzetim tekniği kullanılarak çözülmüştür. Geleneksel yöntemde Taylor eşitliğine gerekli verileri elde etmek için bir dizi test yapılmalıdır. Aynı problem, Monte Carlo Benzetim tekniği kullanılarak da çözülebilir. Burada izlenen yol, kesme hızları üzerine bir dizi benzetim deneyi uyguladıktan sonra hız ve maliyet arasındaki ilişkiyi gösteren bir fonksiyonu oluşturmaktır.

---

(28) M.P.GROOVER, "Monte Carlo Simulation of the Machining Economics Problem", *Journal of Engineering for Industry, Trans, ASME, Vol. 97, No. 3, August 1975, s. 931-938.*

S.K. Hati ve S.S. Rao 1976'da belirgin ve rassal yaklaşımların herikisini de kullanarak; kesme değişkenlerinin eniyi değerlerinin saptanması problemine matematiksel programlama tekniklerini uygulamışlardır (29). Yine aynı yılda Solomentsev YU.M.'ın çalışmaları görülmektedir (30). Araştırmacı kitle üretim teknolojisinde kesme değişkenleri eniyilemesi ile ilgilenmiştir.

M.Y.Friedman ve V.A.Tipnis 1976 yılındaki çalışmaları ile, Q - T karakteristik fonksiyonları olarak adlandırılan yeni bir kavram yardımıyla probleme yaklaşmışlardır(31). Bu yeni kavrama göre, tüm talaşlı üretim süreçlerinde iki temel parametre önemlidir: Talaş debisi (kesme düzeyi) ve kesici kenar ömrü:

Takımın kesici kenar ömrünün ekonomik değerleri içinde kesme hızları ve ilerleme hızlarının bölgesini saptamak için sabit takım ömrü ve sabit talaş debisine karşı ge-

- 
- (29) S.K. HATI, S.S. RAO "Determination of Optimum Machining Conditions-Deterministic and Probabilistic Approaches", *Journal of Engineering for Industry, Trans, ASME*, Vol. 98, No. 1, 1976, s. 354-359.
- (30) Yu.M. SOLOMENTSEV, "Optimization of Machining Technology in Batch Production", *Russian Engineering Journal*, Vol. 56, No. 2, 1976, s. 55-58.
- (31) V.A. TIPNIS, M.Y. FRIEDMAN, "Cutting Rate-Tool Life Characteristic Functions for Material Removal Processes, Part 2", *Journal of Engineering for Industry, Trans, ASME, Series B*, Vol. 98, No. 2, May 1976, s. 487-496.

len noktalar,  $f - v$  düzleminde ve kendi aralarında birleştirilmek suretiyle talaş debisi - takım ömrü ( $Q - T$ ) diyagramları elde edilir. Bu diyagramlarda, verilen herhangi bir takım ömrü değeri için enbüyük talaş debisi değeri, iki eğrinin teğet olduğu noktaya karşı gelir. Aynı şekilde verilen herhangi bir sabit talaş debisi değeri için de enbüyük takım ömrü değeri, iki eğrinin teğet olduğu noktaya karşı gelmektedir. Talaş debisi ve takım ömrünün değişik değerleri için teğet noktalar birleştirilirse  $f - v$  düzleminde elde edilen eğri, talaş debisi ve takım ömrü için mümkün eniyi ikilinin yörüngesi olur. Keza aynı eğri, mümkün eniyi debi ve takım ömrü elde etmek için gerekecek  $f, v$  ikilisinin de bulunabilmesine olanak hazırlar.

Talaş debisi ve takım ömrünün eğri dışında kalan ikililerinde maliyetin daha yüksek, üretim düzeyinin daha düşük olduğu, araştırmacılar tarafından kanıtlanmıştır. O halde herhangi bir işlemin karakteristik eğrisi hazırlanmış ise, eniyi  $f$  ve  $v$ 'nin belirlenebilmesi olanaklı olur.

G. Boothroyd ve P. Rusek tarafından 1976 yılında yapılan bir çalışmada da ölçüt olarak, kâr düzeyi (oranı) alınmıştır (32). Bu çalışmada amaç, eniyi  $f$  ve  $v$ 'yi belirlemek olmuştur.

---

(32) C., BOOTHROYD, P., RUSEK, "Maximum Rate of Profit Criteria in Machining", *Journal of Engineering for Industry, Trans, ASME, Series B, Vol. 98, No. 1, February 1976, s. 217-220.*

K.Iwata, Y. Murotsu ve F. Oba, 1977 yılındaki çalışmalarında çok pasolu işlemlerde kesme değişkenlerinin eniyilenmesi problemiyle ilgilenmişlerdir (33). Benimsedikleri ölçüt maliyet enküçüklemesi, izledikleri çözüm yöntemi dinamik programlama olmuştur.

B.K.Lambert ve A.G. Walvekar'ın 1978 yılında yaptığı çalışmada, kesme değişkenlerinin eniyi değerlerini saptamada, analitik ve bilgisayar destekli arama yöntemlerini kullanmıştır (34). A.M.EL. Awam'un 1979'da tornalamada kesme değişkenlerinin eniyilenmesi konulu bir çalışması ile konuya ilgi devam etmiştir (35).

Clarence L.Hough ile Ramon E. Goforth, problemi 1980 yılında geometrik programlama tekniği ile çözmeye girişiminde bulunmuşlardır(36). Aynı yılda yapılan çalışmalarda,

- 
- (33) K.,IWATA, Y.,MUROTSU, F., OBA "Optimization of Cutting Conditions for Multi-Pass Operations Considering Probabilistic Nature in Machining Processes", *Journal of Engineering for Industry Trans, ASME, Series B, Vol.99, No. 1, February 1977, s. 210-217*
- (34) B.K.LAMBERT, A.G. WALVEKAR, "Optimization of Multi-Pass Machining Operations", *Int.Jour. of Production Research, 1978, Vol. 16, No. 4, s. 259-265.*
- (35) A.M.EL, AWAM, A.g.k., s. 330.
- (36) HOUGH,L.CLARENCE, RAMON E.GOFORTH, "Optimization of the Second Order Logarithmic Machining Economics Problem By Extended Geometric Programming" *AIIE Transactions, Vol. 13, No. 3, 1981.*

D.S. Ermer ve S.Kromodihardjo, çok pasolu işlemlerin eniyilenmesiyle ilgilenmiştir (37).

M.S.Tüzün, 1981 yılında, enküçük maliyet ölçütüne göre tornalamada kesme değişkenleri eniyilemesi konulu bir çalışma yapmıştır.

Tüzün, çözüm tekniği olarak, bilgisayar destekli dinamik programlamayı kullanmıştır (38). Aynı yıl, M.A.EL Hakim, A.M.EL Awam ve A.S.EL Sabbagh, tornalamada kesme değişkenlerini eniyilemek amacıyla bir bilgisayar programı hazırlamışlardır (39). Program, FORTRAN IV dilinde paket program olarak hazırlanmıştır. İzlenen yöntemde, paso değeri, ilkin alabileceği enyüksek değeri (işleme payını) almakta, sonra kademeli olarak kısıtları sağlayacak değere indirgenmektedir.

S.E.Kılıç'ın 1982'de çok pasolu tornalama işlemlerinde kesme değişkenlerinin eniyi değerlerinin belirlenmesi amacıyla hazırladığı bir çalışmada aynı zamanda çok işlem de gözönüne alınmıştır (40). Bu çalışmada benimsenen ölçüt, ma-

(37) D.S.Ermer, S.Kromodihardjo, "Optimization of Multi-Pass Turning With Constraints" *ASME, Paper No. 80-WA/Prod-22*, 1980.

(38) M.S. TÜZÜN, A.g.k.,

(39) M.A.EL. HAKIM, A.M.EL. AWAM, A.S.EL. SABBAGH, A.g.k., s. 319.

(40) S.E. KILIÇ, "Optimization of Cutting Conditions for Multi-Pass Turning Operations", *Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol. 16, No. 1, s.21-39, M.E.T.U, April 1983.

liyet enküçüklemesi olup; amaca uygun kesme değişkenleri, bilgisayar destekli dinamik programlama ile belirlenmiştir. Bu çalışmada geliştirilen algoritma, K.Murotsu, Iwata tarafından 1977'de geliştirilen algoritmaya benzemektedir.

M.Sertaç Nişli'nin 1984 yılında, geometrik programlama tekniğini kullanarak, tek pasolu tornalama işleminde ilerleme hızı ve kesme hızının eniyi değerlerini, enküçük maliyet ölçütüne göre belirlediği bir çalışması görülmektedir (41). Bu çalışmada da eniyileme, bilgisayar desteğinde yapılmıştır.

Kesme değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen kısıtlı matematiksel modellerin en önemlileri yukarıda özetlenmiştir. Bu modellerin bir kısmında özel bilgisayar programları gerekli olurken, bir kısmında genel amaçlı bilgisayar programlarından yararlanılabilmektedir.

A.M.Abuelnaga ve M.A.EL.Dardiry,1983'de mevcut bilgisayar programlarından, takım tezgâhları işlemlerine uygun olanları araştırmışlardır (42). Bu araştırmada, kesme değişkenlerinin eniyi değerlerinin belirlenmesinde aşağıda kısaca

---

(41) M.SERTAÇ NIŞLİ, "Optimization of Single Pass Turning Operations By Geometric Programming", *M.Sc. Thesis, M.E.T.U.*, 1984.

(42) A.M.ABUELNAGA and M.A.EL DARDIRY, "Optimization Methods for Metal Cutting", *Int.Jour.Mach.Tool Des. Res.*, Vol. 24, No. 1, s. 11-18, 1984.

ca tanıtılan bilgisayar programlarının kullanılabilceği belirtilmektedir. Önerilen programlar:

a) *Blaw (GOMTRY Algoritması)* : Bu algoritma, geometrik programlama tekniğine dayalı olup kısıt ve amaç fonksiyonlarının doğrusal olmadığı durumlarda eniyileme yapabilmektedir.

b) *Sürekli Dinamik Programlama (DYNAM Algoritması)* : Dinamik programlama, biri diğerini izleyen ve karşılıklı etkileri olan bir dizi kararın bütünüyle ele alındığı problemler için geliştirilen bir eniyileme yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda problemin küçük bir bölümü ile başlar ve onun eniyi çözümünü bulur. Sonra, problem kademeli olarak büyür, bir öncekinden hareket ederek ve tüm problem çözülmünceye dek aynı şekilde hareket edilerek eniyeye erişilmeye çalışılır.

Bu yaklaşım, talaşlı üretim sürecinde eniyileme problemine uygularken, paso sayısı kademelere, herbir pasodaki ilerleme ve kesme hızları da, durum değişkenlerine karşı gelir.

c) *BOX (COMPLEX Algoritması)* : Bu algoritma Box'ın amaç fonksiyonu uygunluk sınamalı ardışık arama tekniğine göre işlemleri yapmaktadır.

d) *Kısıtlı Rosenbrock (HILL Algoritması)* : Bu algoritma, Rosenbrock tarafından önerilen ve düzeltilmiş amaç fonksiyonlu bir ardışık arama tekniğidir.

e) *Rosen (PROJG Algoritması)* : Bu algoritma, Rosen tarafından önerilen ve amaç fonksiyonu uygunluk kontrollü gradyen projeksiyon yöntemine dayanır.

f) *Fiacco ve McCormick (SUMT Algoritması)* : Bu algoritma, ardışık kısıtsız enküçükleme tekniğidir. Burada kısıtlar ve başlangıç amaç fonksiyonu kullanılmak suretiyle, kısıtsız bir amaç fonksiyonu oluşturulur.

g) *Kısıtlı Fletcher-Powell (CONMIN Algoritması)* : Bu algoritma, Haarhoff ve Buys tarafından tanımlanmıştır. Teknik, kısıtları amaç fonksiyonu ile birleştirip düzeltilmiş bir kısıtsız amaç fonksiyonu oluşturduktan sonra Fletcher ve Powell kısıtsız enküçükleme tekniği ile eniyileme yapmaktadır.

Bu programların karşılaştırılmalı üstünlükleri Tablo-II.1'de verilmiştir.

Benimsenen bir ölçüte göre, kesme değişkenlerinin eniyi değerlerini belirleme problemi hakkında yapılan çalışmalardan, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1- Çözüm teknikleri, genelde analitik ve bilgisayar destekli olmak üzere iki ana grupta toplanabilir.

2- Problem, belirgin ve rassal olmak üzere iki türlü formüle edilebilir,

3- Eniyileme, tek pasolu, çok pasolu-çok işlemliler olarak yapılabilir. Ancak çalışmaların çoğu, tek pasolu temelle oturtulmuştur.

TABLO-II.1 Kesme Değişkenleri Değerlerinin Belirlenmesinde Kullanılabilir Bilgisayar Programlarının Karşılaştırmalı Üstünlükleri

NO T E K N İ K	Eşitlikli Kısıtlar	Eşitsizlikli Kısıtlar	Kısıtlar Doğrusal	Kısıtlar Geo. Prog.	Genel Doğrusal Olmayan Kısıtlar	Amaç Fonk. Geo. Prog.	Genel Doğrusal Olmayan Amaç Fonk.	Uygunluk Kontrolü	Prog. Listesi Sayfa Adedi	Görelİ Karlılık
1 Blaw (G.P.)		*		*			1		7 1/2	1
2 Cont.D.P.		*			*		*		10	3
3 Box (COMPLEX)		*			*		*	*	5	1
4 Kısıtlı Rosenbrock (HILL)		*			*		*		5	1
5 Rosen (PROJG)		*					*	*	4	2
6 Fiacco-McCormick (SUMT)	*	*	*		*		*		32	2
7 Fletcher-Powell	*	*			*		*		17	2

4- Maliyet enküçüklemesi, sıkça benimsenen ölçüt olmuştur. Talaş debisi ve kâr düzeyini ölçüt olarak benimseyen çalışmalar sınırlı sayıda yapılmıştır.

5- Birden çok ölçüte göre aynı anda çözüm değerleri veren çalışmaya rastlanamamıştır.

6- Tezgâhta mevcut ilerleme hızı ve kesme hızı kümeleri sınır değerleriyle verilmek suretiyle sonsuz elemanlı kümeler olarak varsayılmışlardır.

7- Paso değeri veri olarak ele alınmıştır.

8- Geliştirilen bilgisayar programları, küçük bir a-tölye için uygulanabilirlik şansına sahip değildir.

Yukarıdaki sonuçlar ışığında, ele alınan problemin çözümü için geliştirilen yeni bir yöntem izleyen bölümde verilecektir.

## Ü Ç Ü N C Ü B Ö L Ü M

### KESME DEĞİŞKENLERİNİN BELİRLENMESİNDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ BİR SAYIMLAMA YÖNTEMİ VE UYGULAMASI

#### III.1 BİLGİSAYAR DESTEKLİ SAYIMLAMA YÖNTEMİ

Takım tezgâhlarında ilerleme hızı ve dönme hızı (kesme hızının hesaplanabileceği değişken), sonlu elemanlı birer küme olarak her tezgâh için vardır. Mevcut işleme payı (yüzey üzerindeki paso değerleri toplamı) da kolaylıkla sonlu elemanlı küme şeklinde ifade edilebileceğine göre; kesme değişkenlerinin sonlu elemanlı kümeleri arasında süreç kısıtlarını sağlayanları, yanısıra da, eniyile-yeni bulmak, önerilen yöntemin özünü oluşturmaktadır.

### III.1.1 Kesme Değişkenlerinin Değerlerinin Belirlenmesiyle İlgili Genel Model

Süreç kısıtları, kesme değişkenleri cinsinden ikinci bölümde ifade edilmiştir. Bu kesimde atölye tipi üretimde dış silindirik yüzey tornalama işlemi için benimsenebilecek dört ölçüt, kesme değişkenleri cinsinden ifade edildikten sonra modelin genel ifadesine geçilmiştir.

#### a) Talaş Debisi

$Q$  : Talaş debisi [ $\text{cm}^3/\text{dak}$ ],

ise,

$$Q = a \cdot f \cdot v$$

bağıntısı ile ifade edilebilir.

#### b) Üretim Süresi

$t_p$  : İş parçasının işlenecek bölgesinin işleme hazırlık süresi [dak.] ,

$t_m$  : İşlenecek bölgenin fiili işlem süresi [dak],

$t_e$  : Kesici ucun değiştirilme süresi [dak],

$t_c$  : Kesici ucun bir kenasından diğerine geçiş süresi (indeksleme süresi) [dak],

$t$  : İşlenecek bölgenin üretim süresi [dak],

ise,

$$t = t_p + t_m + t_e$$

veya ,

$$t = t_p + t_m + t_c + \frac{t_m}{T} \dots (III-1)$$

ifadesi yazılabilir. Ayrıca,

D : İşlenecek bölgenin başlangıç çapı [mm] ,

L : İşlenecek bölgenin uzunluğu [mm] ,

A : İşlenecek bölge üzerindeki işleme payı [mm] ,

n : İş parçasının dönme hızı [dev/dak.] ,

olmak üzere,

$$t_m = \frac{\pi DLA}{1000 \cdot a \cdot f \cdot v} \dots (III-2)$$

olduğundan,

$$\frac{\pi DLA}{1000} = SC$$

denilirse,

$$t_m = \frac{SC}{a \cdot f \cdot v}$$

şeklinde ifade edilebilir.

T takım ömrünün de Taylor ifadesi,

$$T = \frac{C^{\alpha_2}}{a \cdot f^{\alpha_1} \cdot v^{\alpha_2}}$$

olduğu hatırlanırsa; üretim süresinin kesme değişkenleri cinsinden ifadesi,

$$t = t_p + \frac{SC}{a \cdot f \cdot v} + \frac{t_c \cdot SC}{C^{\alpha_2}} \cdot a^{\alpha_1-1} \cdot f^{\alpha_1-1} \cdot v^{\alpha_2-1}$$

veya,

$$a^{\alpha_1-1} \cdot f^{\alpha_1-1} \cdot v^{\alpha_2-1} = QY$$

denilerek,

$$t = t_p + SC \left( \frac{1}{a \cdot f \cdot v} + \frac{t_c \cdot QY}{C^{\alpha_2}} \right) \quad \dots \text{(III-3)}$$

şeklinde yazılabileceği gibi,

$$t = t_p + SC \left( \frac{1}{Q} + \frac{t_c \cdot QY}{C^{\alpha_2}} \right)$$

şeklinde veya,

$$\frac{t_c}{C^{\alpha_2}} = TD$$

denilerek,

$$t = t_p + SC \left( \frac{1}{Q} + TD \cdot QY \right) \quad \dots \text{(III-4)}$$

şeklinde de ifade edilebilir.

c) Üretim Maliyeti

$m_c$  : Malzeme maliyeti [TL],

$k_d$  : Direkt işçilik oranı [TL/dak],

$U_p$  : Üretime hazırlama maliyeti [TL],

ise,

$$U_p = k_d \cdot t_p \quad \dots(\text{III-5})$$

olur. Ayrıca,

$k_m$  : Kesme sıvılarının, kesme yağlarının ve elektrik enerjisinin maliyet oranı [TL/dak.],

$U_m$  : Fiili işleme maliyeti [TL],

$U_e$  : Kesici ucun değiştirilme maliyeti [TL],

ise,

$$U_m = (k_d + k_m) \cdot t_m \quad \dots(\text{III-6})$$

ve ,

$$U_e = k_d \cdot t_c \cdot \frac{t_m}{T} \quad \dots(\text{III-7})$$

olur. Ayrıca,

$U_t$  : Kesici takımın, kesici takımı bileme tezgâhının, bileme taşının ve bileyici işçinin maliyeti [TL],

$k_t$  : Kesici kenar maliyet oranı [TL/dak.],

ise,

$$U_t = k_t \cdot \frac{t_m}{T} \quad \dots \text{(III-8)}$$

olur. Sonra,

$k_i$  : İndirekt giderlerin oranı [TL/dak.],

$U_i$  : İndirekt malzeme, indirekt işçilik ve genel yönetim maliyeti [TL],

ise,

$$k_l = k_i + k_d$$

olmak üzere,

$$U_i = k_i (t_p + t_m + \frac{t_m}{T}) \quad \dots \text{(III-9)}$$

olur. Toplam üretim maliyeti ise,

$$U = m_c + U_p + U_m + U_e + U_t + U_i$$

şeklinde veya,

$$U = m_c + k_i t_p + (k_l + k_m) t_m + (k_l t_c + k_t) \cdot \frac{t_m}{T}$$

veya,  $t_m$  ve  $T$ 'nin değerleri yerlerine konulursa,

$$U = m_c + k_i t_p + (k_l + k_m) \cdot \frac{SC}{Q} + \frac{k_l \cdot t_c + k_t}{c^{\alpha_2}} \cdot SC \cdot QY$$

şeklinde yahut,

$$U = m_c + k_l t_p + SC \left[ \frac{k_l + k_m}{Q} + \frac{QY(k_l t_c + k_t)}{c^{\alpha_2}} \right] \dots(\text{III-10})$$

şeklinde de ifade edilebilir.

d) *Kâr Düzeyi (oranı)*

Birim üretim süresinde oluşan kâr, kâr düzeyi(oranı) olarak tanımlanmıştır.

$g$  : Bir birim üründen sağlanan brüt kâr [TL],

$r_u$  : Bir birim ürünün satış fiyatı [TL],

$r_n$  : Bir birim üründen sağlanan net kâr [TL],

ise,

$$g = r_u - u$$

ve ,

$$r_n = r_u - m_c$$

olur ve ayrıca,

$$g = r_n + m_c - u$$

şeklinde ifade edilebileceğinden,

$$g = r_n - \left[ k_1 \cdot t_p + (k_1 + k_m) \cdot t_m + (k_1 \cdot t_c + k_t) \cdot \frac{t_m}{T} \right]$$

eşitliği yazılabilir.

Tanıma göre kâr düzeyi (oranı) ise,

$$P = \frac{g}{t}$$

olacağından  $t_m$  ve  $T$ 'nin değerleri de yerlerine konulursa kâr oranı ifadesi,

$$P = \frac{r_n - SC \left( \frac{k_m}{Q} + \frac{k_t \cdot QY}{C^{\alpha_2}} \right)}{t_p + SC \left( \frac{1}{Q} + QY \cdot TD \right)} - k_1$$

şeklinde veya,

$$P = \frac{r_n - SC \left( \frac{k_m}{Q} + \frac{k_t \cdot QY}{C^{\alpha_2}} \right)}{t} - k_1 \quad \dots \text{(III-11)}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Benimsenebilecek ölçütlerin de, süreç kısıtlarında olduğu gibi kesme değişkenlerinin doğrusal olmayan birer fonksiyonu oldukları yukarıdaki eşitliklerden anlaşılmaktadır.

Model kurulurken aşağıdaki varsayımlar benimsenmiştir:

1- Kesici takım, her bakımdan işleme uygun olarak seçilmiştir.

2- Takım tezgâhı, belirlenen duyarlılık sınırları içinde çalışmaktadır.

3- Fiili işleme süresi dışında kalan tüm yardımcı süreler, eniyilenmiştir.

4- Sürecin kısıt ifadeleri doğru bir şekilde oluşturulmuştur.

5- Taylor'un takım ömrü ifadesinde sözü edilen  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  üstel sabitleri süreç boyunca mümkün tüm kesme değişkenleri için değişmemektedir.

6- Tezgâhın mekanik verimi, tezgâh milinin dönme sayısı ile değişmemektedir.

7- Verilen malzemenin sahip olduğu işleme payı, bir paso, iki paso ve benzeri şekilde n paso da işlenebilir.

8- Tezgâhın tasarımına bağlı olarak, ilerleme hızı ve kesme hızı, önceden belirlenmiş değerleri alabilirler.

Kesme değişkenlerine verilebilecek değerlerarası gerçekleşmesi zorunlu olan ilişkilerin ilk grubu, bu çalışmanın ikinci bölümünde belirtilen süreç kısıtlarından oluşur. İkinci grup kısıtlar ise, paso değeri, kesme hızı ve ilerleme hızının alabilecekleri değerlere ilişkindir.

Verilen malzemenin sahip olduğu işleme payı, mümkün paso sayılarına bölünerek, paso değerleri kümesi oluşturulur. Simgesel gösterimle, bu küme, p paso sayısını göster-

mek üzere,

$$A = \{a \mid a_1, a_2, a_3, \dots, a_p\}$$

şeklinde ele alınır.

İlerleme hızı, tezgâhın tasarımına bağlı olarak farklı değerler alabilir. Bu değerler ;

$$F = \{f \mid f_1, f_2, f_3, \dots, f_f\}$$

kümesiyle gösterilmiştir.

Tezgâhta var olan mümkün dönme hızlarından hareketle,

$$V = \frac{\pi D \cdot N}{1000}$$

dönüşümüyle, kesme hızının alabileceği değerler bulunur. Bu küme,

$$V = \{v \mid v_1, v_2, v_3, \dots, v_v\}$$

şeklinde gösterilmiştir.

Yukarıda belirtilen varsayımlar ve yapılan gösterimler ışığında, kesme değişkenlerinin belirlenmesiyle ilgili genel model;

Birinci grup kısıtlar,

$$C_{fz} \cdot a^{z_1} \cdot f^{z_2} \cdot v^{z_3} \leq 3 \cdot S_1 \cdot E_1 \cdot I_1 / L_1^3$$

$$C_{fy} \cdot a^y \cdot f^y \cdot v^y \leq BK \cdot S_2 \cdot E_2 \cdot I_2 / L_2^3 ,$$

$$C_{fx} \cdot a^x \cdot f^x \cdot v^x \leq F_{xs} ,$$

$$\frac{C_{fz} \cdot a^z \cdot f^z \cdot v^{(z+1)}}{102,60. \eta} \leq N ,$$

$$f \cdot v^\delta \geq \beta ,$$

$$\frac{C^{\alpha_2}}{a^{\alpha_1} \cdot f^{\alpha_1} \cdot v^{\alpha_2}} \geq T ,$$

$$C_\theta \cdot a^\theta \cdot f^\theta \cdot v^\theta \leq \theta$$

$$f^z \leq 8.r.RIZ$$

ikinci grup kısıtlar,

$$a \in A$$

$$v \in V$$

$$f \in F$$

kısıtları altında,

$$EnbQ$$

veya ,

$$Enkt$$

veya ,

EnkU

veya ,

EnbP

yi gerçekleştirecek a, f, v'nin değerlerinin bulunması olarak yazılır.

### III.1.2 Modelin Çözümü İçin Yeni Bir Yönteme Duyulan Gereksinim

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, ikinci bölümde değinildiği gibi, paso değeri biliniyor olarak kabûl edilmekte ve ilerleme hızı ile kesme hızı sürekli değişken olarak ele alınmaktadır. Yani, genel modelde verilen ikinci grup kısıtlar gözönüne alınmamaktadır. Yanısıra, geliştirilen algoritmalarda, bir ölçüte göre verilen amacı eniyileyecek kesme değişkenlerinin belirlemesi yapılmıştır. Oysa karar verici, benimsenebilir diğer ölçütlere göre de amacı eniyileyecek kesme değişkenleri değerlerini bilmek isteyebilir. Çünkü karar verici, mümkün tüm esneklikleri ve seçenekleri elinin altında bulundurmalıdır.

Genel modeli yukarıda verildiği şekliyle ele alan, ilerleme hızı ve kesme hızı kümelerini gerçekte olduğu gibi sonlu elemanlı kabûl eden, paso sayısını da aynı anda saptayabilen, birden fazla ölçüte göre amaçları eniyileyebilen ve de pratik, bir çözüm yöntemine olan gereksinim, yeni bir yöntem arayışına neden olmuştur. Bu arayış sonunda aşağıda verilen çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

### III.1.3 Önerilen Çözüm Yöntemi ve Algoritması

Önerilen yöntem, bir bilgisayar destekli sayımlama tekniği olup, aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

- 1- Malzeme ve sürecin teknik verileri belirlenir.
- 2- Tezgâhın ve takımın verileri derlenir.
- 3- Kısıtların parametreleri hesaplanır.
- 4- Amaç fonksiyonlarının parametreleri bulunur.
- 5- Kısıtların ve amaç fonksiyonlarının, kesme değişkenleri cinsinden ifadeleri belirlenir.
- 6- Tezgâhtaki ilerleme hızı ve kesme hızı kümeleri oluşturulur.
- 7- Mevcut işleme payı, uygun sayıda elemana ayrıştırılarak paso değerleri kümesi bulunur.
- 8- Modelin ikinci grubunu oluşturan kümelerin eksensel çarpımıyla, kesme değişkenlerinin alabilecekleri değerler bulunur. Bunların içinden modelin birinci grup kısıtlarını sağlayanlar ayıklanır. Böylece, karar probleminin seçenekler kümesi oluşturulur. Bu küme, genel modelin uygun çözüm alanıdır.
- 9- Uygun çözüm alanı içindeki her bir noktaya karşı gelen amaç fonksiyonlarının değerleri hesaplanarak, verilen amaç fonksiyonlarını eniyileyen nokta(lar) bulunup, sonuçlar karar vericiye sunulur.

### III.1.4 Bilgisayar Programları

İş parçasının herhangi bir işlem bölgesi için yukarıdaki algoritmanın gerektirdiği bilgisayar programları; ilgili parametreleri hesaplayıp, saklayan ve gerektiğinde güncelleştiren programlar ve parametrelerin sayısal değerleri verildiğinde dört ölçüte göre amaçları eniyilecek kesme değişkenlerini belirleyen programlar olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Birinci grup programlar için aşağıda tanımlanan sekiz kütüğe gerek vardır.

1- *Malzeme Parametreleri Kütüğü* : Bu kütükde her malzeme için takım ömrü üstel değerleri, malzeme sabitleri kesme kuvveti sabitleri, kesme kuvveti ifadesindeki kesme değişkenleri üstel değerleri saklanır.

2- *Kesici Takım Parametreleri Kütüğü* : Bu kütükde, her işlem için kullanılması zorunlu kesici takımın geometrisine, malzemesine ilişkin veriler saklanır.

3- *İşi ve Kesici Takımı Tezgâha Bağlama Parametreleri Kütüğü* : Bu kütükde işi ve takımı bağlamada kullanılan kodlar ve sayısal değerler vardır.

4- *Tezgâh Parametreleri Kütüğü* : Mevcut tezgâhların motor güçleri ve mekanik verimleri bu kütükde yer alır.

5- *İşlenecek Yüzey Parametreleri Kütüğü* : İş parçalarının işlenmesi gereken yüzeylerine ait çap, uzunluk ve

işleme payı bilgileri bu kütükde bulunur.

6- *Kontrol Parametreleri Kütüğü* : Her işlem türü, için süreç sıcaklıkları hesabına yarayacak veriler, bu kütükde saklanır.

7- *Tutum Parametreleri Kütüğü* : İzin verilebilir kesme kuvveti sınır değerleri, izin verilebilir yüzey pürüzlülük dereceleri ve parça duyarlık toleransları her durum ve malzeme için bu kütükde bulundurulur.

8- *Maliyet Parametreleri Kütüğü* : İşçilik, tezgâh ve takıma ilişkin tüm maliyet değerleri ile yardımcı süreler ve satış fiatları bu kütükde yer alır.

Çalışmada amaç yöntemi tanıtmak olduğu için, birinci grup bilgisayar programları yazılmamış, kesme değişkenlerinin değerlerini veren bilgisayar programı ile yetinilmiştir.

### III.1.5 Çözüm Yönteminin Diğer Üretim Süreçlerine Uygulanabilirliği

Bir sürecin ilgili kısıtları ve benimsenebilecek ölçütlere göre amaç fonksiyonları, karar değişkenleri cinsinden ifade edilebiliyorsa; ayrıca belirlenmesi istenen değişkenlerin alabileceği değerler sonlu elemanlı kümelerden seçilecekse, değişkenlerin eksensel çarpımları yapılarak önerilen yönteme göre çözümler elde edilebilir. Üstelik bu sayımlama programı, bir mikrobilgisayarda kolaylıkla çalıştırılabileceğinden, geliştirilen yöntem atölye dü-

zeylerinde bile doğrudan uygulanabilir,(43).

### III.2 GELİŞTİRİLEN YÖNTEMİN UYGULAMASI

Uygulama, T.Ş.F.A.Ş. Eskişehir Makina Fabrikasının Mekanik Atölyeler B holünde bulunan ve 4 no ile anılan torna tezgâhında işlenmekte olan bir dişli kutusu mili üzerinde gerçekleştirilmiştir.

#### III.2.1 Ele Alınan İş, Tezgâh ve Diğer Parametreler

a) *Ele Alınan İş* : İş, Şekil-III.1'de teknik resmi gösterilen bir dişli kutu milidir.

Bu iş parçası yedi işlemten sonra son şeklini alacak olup, aşağıda birinci işleme ilişkin sayısal değerlere yer verilecektir. Diğer işlemlere ilişkin sayısal değerler, modelin çözümü evresinde gözönüne alınmıştır.

b) *Ele Alınan Torna Tezgâhının Teknik Özellikleri* :

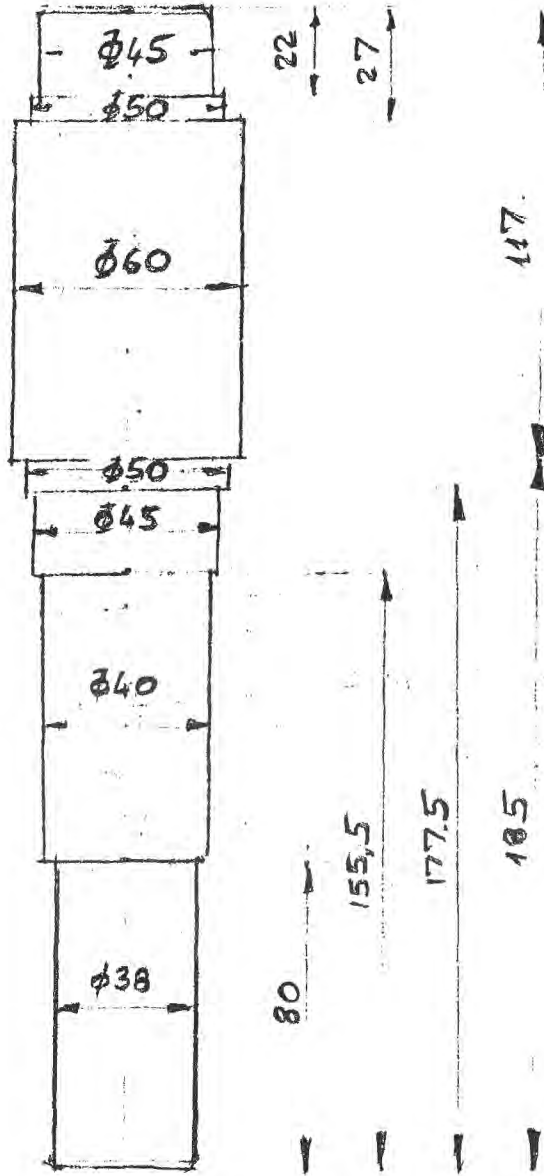
Aşağıdaki değerler, tezgâhın kataloğundan alınmıştır.

Puntalar arası mesafe ..... : 710 mm.

---

(43) Önerilen yönteme oldukça benzerlik gösteren alevle metal kesmeye ilişkin bir çalışma bkz.

SHARAT S. ISRANI and JERRY L. SANDERS, "A Manufacturing Decision Support System for Flamecutting", *Comp. and Ind.Eng.*, Vol. 8, No. 314, s. 207-214, 1984.



Makine: 78640  
 İmza: 070X310 mm.

ŞEKİL-III.1 Ele Alınan Dişli Kutusu Mili

Tornalama çapları :

Banko üstünde .....	: 320 mm.
Araba üstünde .....	: 180 mm.
Fenermili delik çapı .....	: 35 mm.
Fenermili mors konikliği .....	: No : 5
Fenermili hız sayısı .....	: 21

Fenermili hız sınırları ..... : 9 - 1800 d/dak.

İlerleme hızı sayısı ..... : 16

İlerleme hız sınırları ..... : 0,065 - 0,91 mm/dev.

Motor gücü ..... : 4 kW

İlerleme hızı kümesi |mm/dev.| : F {0,065, 0,08, 0,096, 0,114, 0,13, 0,16, 0,193, 0,228, 0,26, 0,32, 0,39, 0,455, 0,52, 0,64, 0,78, 0,91}

Dönme hızı kümesi |d/dak.| : N {9, 11,2, 18, 28, 45, 56, 71, 90, 112, 140, 180, 224, 280, 355, 450, 560, 710, 900, 1120, 1400, 1800}

Kesme hızı kümesi |m/dak.| : V { $\pi D/1000 \cdot 9$ ,  $\pi D/1000 \cdot 11,2$ ,  $\pi D/1000 \cdot 18$ ,  $\pi D/1000 \cdot 28$ ,  $\pi D/1000/45$ ,  $\pi D/1000 \cdot 56$ ,  $\pi D/1000 \cdot 71$ ,  $\pi D/1000 \cdot 90$ ,  $\pi D/1000 \cdot 112$ ,  $\pi D/1000 \cdot 140$ ,  $\pi D/1000 \cdot 180$ ,  $\pi D/1000 \cdot 224$ ,  $\pi D/1000 \cdot 280$ ,  $\pi D/1000 \cdot 355$ ,  $\pi D/1000 \cdot 450$ ,  $\pi D/1000 \cdot 560$ ,  $\pi D/1000 \cdot 710$ ,  $\pi D/1000 \cdot 900$ ,  $\pi D/1000 \cdot 1120$ ,  $\pi D/1000 \cdot 1400$ ,  $\pi D/1000 \cdot 1800$ }

c) Diğer Parametrelerin Sayısal Değerleri :

1) Malzeme Parametreleri : Malzemeye ilişkin parametreler aşağıda verilmiştir (44).

$$\alpha = 0,75$$

$$\alpha_1 = 1$$

$$\alpha_2 = 5$$

$$C = 273$$

$$C_{fx} = 339$$

$$C_{fy} = 243$$

$$C_{fz} = 300$$

$$\beta = 1300$$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 0,5$$

$$x_3 = -0,4$$

$$y_1 = 0,9$$

$$y_2 = 0,6$$

$$y_3 = -0,3$$

$$z_1 = 1$$

$$z_2 = 0,75$$

$$z_3 = -0,15$$

2) Kesici Takım Parametreleri : Tezgâhta kullanılan kesici takım ile ilgili olarak,

$$\beta = 25$$

$$E_1 = 20000$$

$$H = 25$$

$$T = 60$$

$$r = 0,6$$

şeklinde belirlenmiştir.

3) *İş ve Takımı, Tezgâha Bağlama Parametreleri :*

İşin ayna-punta arasına bağlı olmasına göre,

$$BK = 109,7$$

$$L_1 = 60$$

$$L_2 = 130$$

şeklinde belirlenmiştir.

4) *Tezgâh Parametreleri :* Kullanılan tezgâhın katalogundan,

$$\zeta = 0,8$$

$$N = 4$$

olarak alınmıştır.

5) *İşlenen Yüzey Parametreleri :* İş parçasının teknik resminden 1. işlem için,

$$A = 5$$

$$D = 70$$

$$L = 117$$

olarak alınmıştır.

6) *Kontrol Parametreleri :* Kesme sıcaklığının  $300^{\circ}\text{C}$  yi aşmaması istendiğinden,

$$C_t = 42$$

$$\theta = 300$$

$$\theta_1 = 0,1$$

$$\theta_2 = 0,2$$

$$\theta_3 = 0,4$$

olarak alınmıştır (45).

7) *Tutum Parametreleri* : İşin duyarlılık toleranslarına göre,

$$F_x = 250$$

$$RIZ = 0,05$$

$$S_1 = 0,05$$

$$S_2 = 0,05$$

şeklinde verilmiştir.

8) *Maliyet Parametreleri* : Ele alınan atölyenin maliyet yapısının incelenmesi sonucu,

$$k_1 = 250$$

$$k_m = 25$$

$$k_t = 1000$$

$$r_n = 1500$$

$$t_c = 2$$

$$t_p = 3$$

şeklinde alınmıştır.

Yukarıda verilen sayısal değerlerle, önerilen yöntemin algoritması gereği kesme değişkenlerinin belirlenebilmesi için yapılması gereken ön hazırlıklar tamamlanmıştır.

Böylece, ele alınan iş parçasının 1. işlemiyle ilgili olarak modelin çözümü için tüm parametrelerin sayısal değerler belirlenmiş olmaktadır.

### III.2.2 Modelin Sayısal Çözümü ve Sonuçların Yorumu

Önceki kesim III.1.4'de sözü edilen, modelin çözümüyle ilgili programların ikinci grubu için BASIC diliyle bir program yazılarak, MONROE 8800 bilgisayarında çalıştırılmıştır. Ek-I'de verilen bu program, önerilen yöntemin algoritması yedinci ve sekizince adımlarda belirtilen işlemleri yapmaktadır.

Modelin çözümü için yazılan program, ilkin, önceki sayfalarda verilen sayısal değerlerle çözülmüş, daha sonra, Ek-II'de verilen diğer işlemlerle ilgili sayısal değerler gözönüne alınarak, her işlem için kesme değişkenlerinin değerleri bulunmuştur. Program çıktıları Ek-II'de verilmiştir. Yazılan program, MONROE 8800 bilgisayarında, her bir işlem için en erken 12 dakikada, en geç 15 dakikada sonuç vermiştir.

Benimsenebilir dört ölçüte göre her bir işlem için belirlenen çözüm değerleri, Tablo-III.1,2,3 ve 4'de özetlenmiştir.

Tezgâhta, doğrudan dönme hızı kümesi bulunduğu, kesme hızı kümesi bulunmadığı için kesme hızına göre yürütülen hesaplardan dönme hızına,

TABLO-III.1 Enbüyük Talaş Debisi İçin Çözüm Değerleri

Kes. Değiş.	İşlem No →						
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Paso [mm]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1
İlerleme Hızı [mm/dev.]	0,32	0,39	0,455	0,32	0,455	0,39	0,455
Dönme hızı [d/dak.]	560	560	560	560	560	710	900

TABLO-III.2 Enküçük Üretim Süresi İçin Çözüm Değerleri

Kes. Değiş.	İşlem No →						
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Paso [mm]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1
İlerleme Hızı [mm/dev.]	0,32	0,39	0,455	0,32	0,455	0,39	0,455
Dönme Hızı [d/dak.]	560	560	560	560	560	710	900

TABLO-III.3 Enküçük Üretim Maliyeti İçin Çözüm Değerleri

Kes. Değiş.	İşlem No →						
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Paso [mm]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1
İlerleme Hızı [mm/dev.]	0,39	0,39	0,455	0,39	0,455	0,39	0,455
Dönme Hızı [d/dak.]	450	560	560	450	560	710	900

TABLO-III.4 Enbüyük Kâr Düzeyi İçin Çözüm Değerleri

Kes. Değiş.	İşlem No →						
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Paso [mm]	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1
İlerleme Hızı [mm/dev.]	0,39	0,39	0,455	0,39	0,455	0,39	0,455
Dönme Hızı [d/dak.]	450	560	560	450	560	710	900

$$n = \frac{1000}{HD} \cdot v$$

bağıntısı yardımıyla geçilmiş ve tablolarda kesme hızı yerine dönme hızı kullanılmıştır. Buna zorunluluk vardır. Çünkü tezgâhı çalıştıran, bir işlem bölgesi için doğrudan dönme hızına göre tezgâhı ayarlamak durumundadır.

Yapılan uygulama ve elde edilen sonuçlar ışığında:

Uç kesme değişkeninin alabilecekleri tüm değerler gözönüne alınarak; belirlenen amaç fonksiyonunu, süreç kısıtları içinde eniyileyen üçlünün, bulunabileceği örneklenmiştir.

Kesme değişkenlerine değer atarken tek bir ölçüt değil, dördü de birlikte ele alınmış karar vericinin gereksinim duyduğu esneklik sağlanmıştır.

Kesme sürecinde yapılacak üretim planlamalarına katkıda bulunulmuştur.

Uygulamada geleneksel biçimde belirlenmiş çözüm değerleriyle, önerilen yöntemin belirlediği çözüm değerleri karşılaştırıldığında; kesme değişkenleri değerlerinin, önerilen yöntemde % 30 - % 40 daha yüksek düzeyde olduğu gözlenmiştir.

## S O N U Ç

Takım tezgâlarında kesme değişkenlerinin benimsenen dört ölçüte göre eniyi değerlerinin; bilgisayar destekli sayımlama yöntemi ile belirlendiği bu çalışmada ulaşılan sonuçlar ve yapılabilir araştırmalara ilişkin öneriler şöyle özetlenebilir.

Kesme değişkenlerinin belirlenmesiyle ilgili olarak yapılan çalışmalar taranmış; bu çalışmalarda problemin, belirli varsayımlar altında indirgenerek ele alındığı tesbit edilmiştir.

Talaşlı üretim sürecindeki kısıtlar kavramı ve benimsenebilir ölçütler genişletilerek incelenmiş, paso sayısının da bir kesme değişkeni olarak işleme girmesi gerektiği, yanısıra da ilerleme hızı ve kesme hızının sürekli değişkenler olarak ele alınamıyacağı görülmüştür. Kesme değişkenlerinin değerlerini belirlemenin duyarlılığı oranında, üretim plânlamasının duyarlılığının artacağı ve uygulamada

getireceği kolaylığın önemi vurgulanmıştır. Kesme değişkenlerinin değerlerini, benimsenen ölçüt veya ölçütlere göre eniyileyecek, uygulaması kolay, duyarlılığı yüksek bir yöntem duyulan gereksinimin nedenleri açıklanmıştır.

Değınilen gerekçeler doğrultusunda kesme değişkenlerinin değerlerinin bulunması amacıyla genel bir model ve bu modelin çözümü için bir yöntem geliştirilmiş, yöntemin algoritması verilmiştir. Geliştirilen yöntem, sayımlama temelinde dayanan bilgisayar destekli bir yaklaşım olup, genel modelin çözümü için en etkin yol olarak görülmektedir.

Sözü edilen sayımlama yönteminin kullanılabilmesi için gerekli olan, parametreler verilmiş ve parametrelerin alacağı değerlere göre her işlem için kesme değişkenleri değerlerinin belirlenebileceği; ilgili bilgisayar programları da yazılmak suretiyle bir uygulama ile gösterilmiştir.

Sayımlama yönteminin, silindirik bir dışyüzey uzunlamasına tornalama işlemi için uygulamasından önce, ele alınan iş parçasının, geleneksel yaklaşımla belirlenen kesme değişkenleri değerleri derlenmiştir. Bu değerler, önerilen yöntemin bulduğu değerlerle karşılaştırıldığında, önerilen yöntemin bulduğu değerlerin, diğerinden yer yer % 30 - %40 oranında daha yüksek düzeyde oldukları gözlenmiştir.

Önerilen yöntem, dört ölçüte göre aynı anda değer belirlemesi yapabildiğinden diğer yöntemlerde olmayan esnekliğe sahiptir. Yanısıra, bir mikrobilgisayarda uygulamaya olanak tanınması da, yöntemin diğer bir üstünlüğünü oluşturmak-

tadır.

Yöntemin vereceği sonuçların güvenilirliği şüphesiz, kısıtların ve amaç fonksiyonlarının güvenilir, duyarlı biçimde oluşturulmasına sıkı sıkıya bağlıdır. Bir başka çalışmada, kısıtların ve amaç fonksiyonlarının güvenilir biçimde oluşturulması için gereken yöntem ve tekniklerin geliştirilmesi konusu işlenebilir. Önerilen yöntemde kullanılan sabitlerin saptanmasına ilişkin yöntem ve tekniklerin geliştirilmesi konusu da bir başka çalışmada işlenebilir.

## KAYNAKLAR

- ABUELNAGA, A.M./ : "Optimization Methods for Metal  
DARDIRY EL M.A. Cutting", *Int. Jou. Mach. Tool Des. Res.*,  
Vol. 24, No. 1, 1984.
- ARMERAGO, E.J.A./ : "Maximum Profit Rate As A Criterion  
RUSSEL, J.K. for The Selection of Machining  
Conditions", *Int. Jour. Mach. Tool Des.  
Res.* Vol. 6, 1960.
- ARSHINOV, V./ : *Metal Cutting Theory and Cutting  
ALEKSEEV, G. Tool Design*, Mir Publishers, Moscow,  
1976.
- BOOTHROYD, G./ : "Maximum Rate of Profit Criteria in  
RUSEK, P. Machining", *Journal of Engineering  
for Industry, Trans. ASME, Series B*,  
Vol. 98, No. 1, 1976.
- CLARENCE, L./ : "Optimization of The Second Order  
GOFORTH, E./ Logarithmic Machining Economics  
RAMON. Problem By Extended Geometric  
Programming", *AIIE TRANS*, Vol. 13,  
No. 3, 1981
- ERMER, D.S./ : "Analytical Sensitivity Studies of  
B.V. The Optimum Machining Conditions for  
Milling, Reaming and Tapping", *Jour.  
of Eng. for Ind. Trans. ASME, Series B*,  
Vol. 95, No. 1, 1973.

- ERMER, D.S./  
WU, S.M. : "Maximum Profit as the Criterion In  
The Determination of The Optimum  
Cutting Conditions", *Jou. Of Eng. for  
Ind. Trans, ASME, Series B, Vol. 88,  
No. 2, 1966.*
- ERMER D.S. : "A Bayesien Model of Machining  
Economics for Optimization By Adaptive  
Control", *Jou. of Eng. for Ind. Trans,  
ASME, Series B, Vol. 92, No. 3, 1970.*
- ERMER, D.S./  
KROMODIHARDJO, S. : "Optimization of Multi-Pass Turning  
with Constraints", *ASME, Paper No.80 -  
WA/Prod-22, 1980.*
- FRIEDMAN, M.Y./  
TIPNIS, V.A. : "Cutting Rate-Tool Life Characteristic  
Functions for Material Removal  
Processes, Part 2", *Jou. of Eng. for  
Ind., Trans. ASME, Series B, Vol. 98,  
No.2, 1976.*
- FRIEDMAN, M.Y./  
TIPNIS, V.A. : "Cutting Rate-Tool Life Characteristic  
Functions for Material Removal  
Processes, Part 1", *Jou. of Eng. for  
Ind., Trans. ASME, Series B, Vol. 98,  
No. 2, 1976.*
- GENERAL ELECTRIC CO. : *Turning Handbook, 1980.*

- GROOVER, M.P. : "Monte Carlo Simulation of The Machining Economics Problem", *Jou. of Eng. for Ind. Trans. ASME, Series B*, Vol. 97, No. 3, 1975.
- HAKIM EL, M.A./  
AWAM EL, A.M./  
SABBACH EL, A.S. : "A Computer Program for The Optimization of The Machining Variables", *Comp. and Ind. Eng.*, Vol. 7, No. 4, 1983.
- HATI, S.K./  
RAO, S.S. : "Determination of Optimum Machining Conditions-Deterministic and Probabilistic Approaches", *Jou. of Eng. for Ind. Trans, ASME*, Vol. 98, No. 1, 1976.
- HITOMI, K. : *Manufacturing Systems Engineering*, Taylor and Francis Ltd. London, 1978.
- IWATA, K./  
MUROTSU, Y./  
IWATSUBO, T./  
FUJII, S. : "A Probabilistic Approach to The Determination of The Optimum Cutting Conditions", *Jou. of Eng. for Ind. Trans. ASME, Series B*, Vol. 94, No. 4, 1972.
- ISRANTI S. SHARAT./  
SANDERS, L. JERRY. : "A Manufacturing Decision Support System for Flame Cutting", *Comp. and Ind. Eng.*, Vol. 8, No. 8, 1984.

- IWATA, K./  
MUROTSU, Y./  
OBA, F. : "Optimization of Cutting Conditions for Multi-Pass Operations Considering Probabilistic Nature in Machining Processes", *Jou. of Eng. for Ind., Trans. ASME, Series B*, Vol. 99, No. 1, 1977.
- KALPAKJIAN SEROPE. : *Mechanical Processing of Materials*, D.Van Nostrand Company, New York.
- KARAMANY EL YAHYA. : "Turning Long Work Pieces By Changing The Machining Parameters", *Int. Jour. Mach. Tool Des.Res.*, Vol. 24, No. 1, 1984.
- KILIÇ S.E. : "Optimization of Cutting Conditions for Multi-Pass Turning Operations", *Jour. of Pure and Applied Sciences*, Vol. 16, No. 1, 1983.
- KRONENBER, M. : *Machining Science and Application*, Pergamon Press, New York, 1966.
- NIŞLİ, M. SERTAÇ. : "Optimization of Single Pass Turning Operations By Geometric Programming", *M.Sc Thesis M.E.T.U.*, 1984.
- SANDVIK COROMANT : *Choosing The Cutting Parameters*.
- SOLOMENTSEV, Yu.M. : "Optimization of Machining Technology in Bath Production", *Russian Eng.Jou.*, Vol. 56, No. 2, 1976.

- SOLOMENTSOV, Yu.M. : "Optimizing The Machining of Component Using Adaptive Control Systems, *Russian Eng. Jour.*, Vol. 51, No. 9, 1971.
- TÜZÜN M.S. : "Optimization of Cutting Conditions for Turning Operations Using The Minimum Cost Criterion", *M.Sc.Thesis, M.E.T.U.*, 1981.
- THOMA, G.GEOFFREY : *Production Technology*, Oxford University Press, 1972.
- WALVEKAR, A.G./  
LAMBERT, B.K. : "An Application of Geometric Programming to Machining Variable Selection", *International Jour. of Production Research*, Vol. 8, No. 3, 1970.
- WILSON, W. FRANK : *Fundamentals of Tool Design*, Prentice - Hall Inc., New Jersey, 1962.

## EK - I

```

10 OPEN "Dr:" AS FILE 1
20 EXTEND
30 DIM A(5), F(16), N(21), V(21), Q(800), T(800), U(800), P(800)
40 DIM Enbq(4), Enkt(4), Enku(4), Enbp(4), A1(4), F1(4), N1(4), Gy(800)
50 REM MALZEME PARAMETRELERI
60 READ A1fa, A1fa1, A1fa2, C, Cfx, Cfy, Cfz
70 READ Ras, E2, X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3, Z1, Z2, Z3
80 DATA .75, 1, 5, 273, 339, 243, 300, 1300, 20000
90 DATA 1, .5, -.4, .9, .6, -.3, 1, .75, -.15
100 REM KESICI TAKIM PARAMETRELERI
110 READ B, H, E1, Om, R
120 DATA 25, 25, 20000, 60, 0.6
130 REM IS VE TAKIM BAGLAMA PARAMETRELERI
140 READ Isb, L1, L2
150 DATA 109, 7, 60, 130
160 REM TEZGAH PARAMETRELERI
170 READ Nu, Mg
180 DATA .8, 4
190 REM ISLENEDEK YUZEY PARAMETRELERI
200 READ A, D, L
210 DATA 5, 70, 117
220 REM KONTROL PARAMETRELERI
230 READ Ct, Sic, Tet1, Tet2, Tet3
240 DATA 42, 300, .1, .2, .4
250 REM TUTUM PARAMETRELERI
260 READ Fx, Riz, S1, S2
270 DATA 250, .05, .05, .05
280 REM MALİYET PARAMETRELERI
290 READ K1, Km, Kt, Rn, Tc, Tp
300 DATA 250, 25, 1000, 1500, 2, 3
310 Sc=PI*A*D*L/1000
320 Td=Tc/C^A1fa2
330 FOR I=1 TO 5
340   READ A(I)
350 NEXT I
350 NEXT I
360 DATA 5, 2.5, 1.66, 1.25, 1
370 FOR J=1 TO 16
380   READ F(J)
390 NEXT J
400 DATA .065, .00, .036, .114, .13, .16, .193
410 DATA .220, .26, .32, .39, .455, .52, .64, .70, .91
420 FOR K=1 TO 21
430   READ N(K)
440   V(K)=PI*D*N(K)/1000
450 NEXT K
460 DATA 9, 11, 2, 10, 20, 45, 56, 71, 90, 112, 140, 180
470 DATA 224, 280, 355, 450, 560, 710, 900, 1220, 1400, 1800
480 I1=B*H^3/12
490 I2=PI*D^4/64
500 : #1 " A F N ENBQ ENKT ENKU ENBP"

```

```

510 ; #1 "*****"
520 ; #1
530 Enbo(1)=-1 ; Enkt(2)=1000 ; Enku(3)=30000 ; Enbo(4)=0
540 G=0
550 FOR I=1 TO 5
560   FOR J=1 TO 16
570     FOR K=1 TO 21
580       K1=Cfz*A(I)^Z1*F(J)^Z2*V(K)^Z3
590       K2=Cfy*A(I)^Y1*F(J)^Y2*V(K)^Y3
600       K3=Cfx*A(I)^X1*F(J)^X2*V(K)^X3
610       K4=K1*V(K)/(6120*Nu)
620       K5=F(J)*V(K)^2
630       K6=C^A1fa2/(A(I)^A1fa*F(J)^A1fa1*V(K)^A1fa2)
640       K7=Ct*A(I)^Tet1*F(J)^Tet2*V(K)^Tet3
650       K8=F(J)^2
660       IF (K1)3*S1*E1*I1/(L1^3) GOTO 920
670       IF (K2)I5b*S2*E2*I2/(L2^3) GOTO 920
680       IF (K3)Fx GOTO 920
690       IF (K4)Mg GOTO 920
700       IF (K5)Ras GOTO 920
710       IF (K6)Dm GOTO 920
720       IF (K7)Sic GOTO 920
730       IF (K8)=8*R*Riz GOTO 920
740       G=G+1
750       Q(G)=A(I)*F(J)*V(K)
760       Qy(G)=(A(I)^(A1fa-1))*(F(J)^(A1fa1-1))*(V(K)^(A1fa2-1))
770       T(G)=Tp+Sc*((1/Q(G))+Td*Qy(G))
780       U(G)=Sc*((K1+Km)/Q(G))+((K1*Tc+Kt)*Qy(G))/C^A1fa2))
790       P(G)=((Rr-(Sc*(Km/Q(G))+Kt*Qy(G)/C^A1fa2)))/T(G))-K1
800       IF Q(G) (Enbo(1) THEN GOTO 830
810       Enbo(1)=Q(G) ; A1(1)=A(I) ; F1(1)=F(J) ; N1(1)=N(K)
820       Enkt(1)=T(G) ; Enku(1)=U(G) ; Enbp(1)=P(G)
830       IF T(G)>Enkt(2) THEN GOTO 860
840       Enbo(2)=Q(G) ; A1(2)=A(I) ; F1(2)=F(J) ; N1(2)=N(K)
850       Enkt(2)=T(G) ; Enku(2)=U(G) ; Enbp(2)=P(G)
860       IF U(G)>Enku(3) THEN GOTO 890
870       Enbo(3)=Q(G) ; A1(3)=A(I) ; F1(3)=F(J) ; N1(3)=N(K)
880       Enkt(3)=T(G) ; Enku(3)=U(G) ; Enbp(3)=P(G)
890       IF P(G) (Enbo(4) THEN GOTO 920
900       Enbo(4)=Q(G) ; A1(4)=A(I) ; F1(4)=F(J) ; N1(4)=N(K)
910       Enkt(4)=T(G) ; Enku(4)=U(G) ; Enbo(4)=P(G)
920     NEXT K
930   NEXT J
940 NEXT I
950 FOR I=1 TO 4
960   ; #1 USING " ##.### #.### ### " ;A1(I),F1(I),N1(I) ;
970   ; #1 USING "###.### #.### ###.### ###.###" ;Enbo(I),Enkt(I),Enku(I),Enbo(I)
980 NEXT I
990 END

```

## EK - II

```

50 REM MALZEME PARAMETRELERI
60 READ Alfa, Alfa1, Alfa2, C, Cfx, Cfy, Cfz
70 READ Ras, E2, X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3, Z1, Z2, Z3
80 DATA .75, 1, 5, 273, 339, 243, 300, 1300, 20000
90 DATA 1, .5, -.4, .9, .6, -.3, 1, .75, -.15
100 REM KESICI TAKIM PARAMETRELERI
110 READ B, H, E1, Om, R
120 DATA 25, 25, 20000, 60, 0.6
130 REM IS VE TAKIM BAGLAMA PARAMETRELERI
140 READ Isb, L1, L2
150 DATA 109.7, 60, 130
160 REM TEZGAH PARAMETRELERI
170 READ Nu, Mg
180 DATA .8, 4
190 REM ISLENECEK YUZEY PARAMETRELERI
200 READ A, D, L
210 DATA 5, 70, 117
220 REM KONTROL PARAMETRELERI
230 READ Ct, Sic, Tet1, Tet2, Tet3
240 DATA 42, 300, .1, .2, .4
250 REM TUTUM PARAMETRELERI
260 READ Fx, Riz, S1, S2
270 DATA 250, .05, .05, .05
280 REM MALİYET PARAMETRELERI
290 READ K1, Km, Kt, Rr, Tc, Tp
300 DATA 250, 25, 1000, 1500, 2, 3
310 Sc=PI*A*D*L/1000
320 Td=Tc/C^Alfa2
330 FOR I=1 TO 5
340   READ A(I)
350 NEXT I

```

A	F	N	ENBO	ENKT	ENKU	ENBP
2.500	0.320	560	98.520	4.337	382.374	84.768
2.500	0.320	560	98.520	4.337	382.374	84.768
2.500	0.390	450	96.486	4.346	376.373	85.965
2.500	0.390	450	96.486	4.346	376.373	85.965

```

50 REM MALZEME PARAMETRELERI
60 READ Alfa,Alfa1,Alfa2,C,Cfx,Cfy,Cfz
70 READ Ras,E2,X1,X2,X3,Y1,Y2,Y3,Z1,Z2,Z3
80 DATA .75,1,5,273,339,243,300,1300,20000
90 DATA 1,.5,-.4,.9,.6,-.3,1,.75,-.15
100 REM KESICI TAKIM PARAMETRELERI
110 READ B,H,E1,Om,R
120 DATA 25,25,20000,60,0.6
130 REM IS VE TAKIM BAGLAMA PARAMETRELERI
140 READ Isb,L1,L2
150 DATA 109.7,60,130
160 REM TEZGAH PARAMETRELERI
170 READ Nu,Mg
180 DATA .8,4
190 REM ISLENECEK YUZEY PARAMETRELERI
200 READ A,D,L
210 DATA 5,60,27
220 REM KONTROL PARAMETRELERI
230 READ Ct,Sic,Tet1,Tet2,Tet3
240 DATA 42,300,.1,.2,.4
250 REM TUTUM PARAMETRELERI
260 READ Fx,Riz,S1,S2
270 DATA 250,.05,.05,.05
280 REM MALİYET PARAMETRELERI
290 READ K1,Km,Kt,Rn,Tc,Tp
300 DATA 250,25,1000,250,2,0
310 Sc=PI*A*D*L/1000
320 Td=Tc/C^Alfa2
330 FOR I=1 TO 5
340   READ A(I)
350 NEXT I
360 DATA 5,2.5,1.66,1.25,1

```

A	F	N	ENBQ	ENKT	ENKU	ENBP
2.500	0.390	560	102.919	0.251	70.480	716.457
2.500	0.390	560	102.919	0.251	70.480	716.457
2.500	0.390	560	102.919	0.251	70.480	716.457
2.500	0.390	560	102.919	0.251	70.480	716.457

```

50 REM MALZEME PARAMETRELERI
60 READ Alfa, Alfa1, Alfa2, C, Cfx, Cfy, Cfz
70 READ Ras, E2, X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3, Z1, Z2, Z3
80 DATA .75, 1, 5, 273, 339, 243, 300, 1300, 20000
90 DATA 1, .5, -.4, .9, .6, -.3, 1, .75, -.15
100 REM KESICI TAKIM PARAMETRELERI
110 READ B, H, E1, Om, R
120 DATA 25, 25, 20000, 60, 0.6
130 REM IS VE TAKIM BAGLAMA PARAMETRELERI
140 READ Isb, L1, L2
150 DATA 109.7, 60, 130
160 REM TEZGAH PARAMETRELERI
170 READ Nu, Mg
180 DATA .8, 4
190 REM ISLENECEK YUZEY PARAMETRELERI
200 READ A, D, L
210 DATA 2.5, 50, 22
220 REM KONTROL PARAMETRELERI
230 READ Ct, Sic, Tet1, Tet2, Tet3
240 DATA 42, 300, .1, .2, .4
250 REM TUTUM PARAMETRELERI
260 READ Fx, Riz, S1, S2
270 DATA 250, .05, .05, .05
280 REM MALİYET PARAMETRELERI
290 READ K1, Km, Kt, Rn, Tc, Tp
300 DATA 250, 25, 1000, 170, 2, 0
310 Sc=PI*A*D*L/1000
320 Td=Tc/C^Alfa2
330 FOR I=1 TO 5
340   READ A(I)
350 NEXT I
360 DATA 2.5, 1.25, .8, .6, .5

```

A	F	N	ENBQ	ENKT	ENKU	ENBP
2.500	0.455	560	100.060	0.087	24.151	1678.648
2.500	0.455	560	100.060	0.087	24.151	1678.648
2.500	0.455	560	100.060	0.087	24.151	1678.648
2.500	0.455	560	100.060	0.087	24.151	1678.648

```

50 REM MALZEME PARAMETRELERI
60 READ Alfa,Alfa1,Alfa2,C,Cfx,Cfy,Cfz
70 READ Ras,E2,X1,X2,X3,Y1,Y2,Y3,Z1,Z2,Z3
80 DATA .75,1,5,273,339,243,300,1300,20000
90 DATA 1,.5,-.4,.9,.6,-.3,1,.75,-.15
100 REM KESICI TAKIM PARAMETRELERI
110 READ B,H,E1,Om,R
120 DATA 25,25,20000,60,0.6
130 REM IS VE TAKIM BAGLAMA PARAMETRELERI
140 READ Isb,L1,L2
150 DATA 109.7,60,190
160 REM TEZGAH PARAMETRELERI
170 READ Nu,Mg
180 DATA .8,4
190 REM ISLENECEK YUZEY PARAMETRELERI
200 READ A,D,L
210 DATA 10,70,185
220 REM KONTROL PARAMETRELERI
230 READ Ct,Sic,Tet1,Tet2,Tet3
240 DATA 42,300,.1,.2,.4
250 REM TUTUM PARAMETRELERI
260 READ Fx,Riz,S1,S2
270 DATA 250,.05,.05,.05
280 REM MALİYET PARAMETRELERI
290 READ K1,Km,Kt,Rn,Tc,Tp
300 DATA 250,25,1000,1700,2,2
310 Sc=PI*A*D*L/1000
320 Td=Tc/C^Alfa2
330 FOR I=1 TO 5
340   READ A(I)
350 NEXT I
360 DATA 10,5,3.3,2.5,2

```

A	F	N	ENBQ	ENKT	ENKU	ENBP
2.500	0.320	560	98.520	6.228	1209.216	-1.480
2.500	0.320	560	98.520	6.228	1209.216	-1.480
2.500	0.390	450	96.486	6.257	1190.238	1.560
2.500	0.390	450	96.486	6.257	1190.238	1.560

```

50 REM MALZEME PARAMETRELERI
60 READ Alfa,Alfa1,Alfa2,C,Cfx,Cfy,Cfz
70 READ Ras,E2,X1,X2,X3,Y1,Y2,Y3,Z1,Z2,Z3
80 DATA .75,1,5,273,339,243,300,1300,20000
90 DATA 1,.5,-.4,.9,.6,-.3,1,.75,-.15
100 REM KESICI TAKIM PARAMETRELERI
110 READ B,H,E1,Om,R
120 DATA 25,25,20000,60,0.6
130 REM IS VE TAKIM BAGLAMA PARAMETRELERI
140 READ Isb,L1,L2
150 DATA 109.7,60,190
160 REM TEZGAH PARAMETRELERI
170 READ Nu,Mg
180 DATA .8,4
190 REM ISLENECEK YUZEY PARAMETRELERI
200 READ A,D,L
210 DATA 2.5,50,177.5
220 REM KONTROL PARAMETRELERI
230 READ Ct,Sic,Tet1,Tet2,Tet3
240 DATA 42,300,.1,.2,.4
250 REM TUTUM PARAMETRELERI
260 READ Fx,Riz,S1,S2
270 DATA 250,.05,.05,.05
280 REM MALİYET PARAMETRELERI
290 READ K1,Km,Kt,Rn,Tc,Tp
300 DATA 250,25,1000,1300,2,0
310 Sc=PI*A*D*L/1000
320 Td=Tc/C^Alfa2
330 FOR I=1 TO 5
340   READ A(I)
350 NEXT I
360 DATA 2.5,1.25,.8,.6,.5

```

A	F	N	ENBO	ENKT	ENKU	ENBP
2.500	0.455	560	100.060	0.701	194.855	1576.521
2.500	0.455	560	100.060	0.701	194.855	1576.521
2.500	0.455	560	100.060	0.701	194.855	1576.521
2.500	0.455	560	100.060	0.701	194.855	1576.521

```

50 REM MALZEME PARAMETRELERI
60 READ Alfa,Alfa1,Alfa2,C,Cfx,Cfy,Cfz
70 READ Ras,E2,X1,X2,X3,Y1,Y2,Y3,Z1,Z2,Z3
80 DATA .75,1,5,273,339,243,300,1300,20000
90 DATA 1,.5,-.4,.9,.6,-.3,1,.75,-.15
100 REM KESICI TAKIM PARAMETRELERI
110 READ B,H,E1,Om,R
120 DATA 25,25,20000,60,0.6
130 REM IS VE TAKIM BAGLAMA PARAMETRELERI
140 READ Isb,L1,L2
150 DATA 109.7,60,190
160 REM TEZGAH PARAMETRELERI
170 READ Nu,Mg
180 DATA .8,4
190 REM ISLENECEK YUZEY PARAMETRELERI
200 READ A,D,L
210 DATA 2.5,45,155.5
220 REM KONTROL PARAMETRELERI
230 READ Ct,Sic,Tet1,Tet2,Tet3
240 DATA 42,300,.1,.2,.4
250 REM TUTUM PARAMETRELERI
260 READ Fx,Riz,S1,S2
270 DATA 250,.05,.05,.05
280 REM MALİYET PARAMETRELERI
290 READ Kl,Km,Kt,Rr,Tc,Tp
300 DATA 250,25,1000,1000,2,0
310 Sc=PI*A*D*L/1000
320 Td=Tc/C^Alfa2
330 FOR I=1 TO 5
340   READ A(I)
350 NEXT I
360 DATA 2.5,1.25,.8,.6,.5

```

A	F	N	ENBO	ENKT	ENKU	ENBP
2.500	0.390	710	97.865	0.567	158.821	1482.447
2.500	0.390	710	97.865	0.567	158.821	1482.447
2.500	0.390	710	97.865	0.567	158.821	1482.447
2.500	0.390	710	97.865	0.567	158.821	1482.447

```

50 REM MALZEME PARAMETRELERI
60 READ Alfa,Alfa1,Alfa2,C,Cfx,Cfy,Cfz
70 READ Ras,E2,X1,X2,X3,Y1,Y2,Y3,Z1,Z2,Z3
80 DATA .75,1,5,273,339,243,300,1300,20000
90 DATA 1,.5,-.4,.9,.6,-.3,1,.75,-.15
100 REM KESICI TAKIM PARAMETRELERI
110 READ B,H,E1,Om,R
120 DATA 25,25,20000,60,0.6
130 REM IS VE TAKIM BAGLAMA PARAMETRELERI
140 READ Isb,L1,L2
150 DATA 109.7,60,190
160 REM TEZGAH PARAMETRELERI
170 READ Nu,Mg
180 DATA .8,4
190 REM ISLENECEK YUZEY PARAMETRELERI
200 READ A,D,L
210 DATA 1,40,80
220 REM KONTROL PARAMETRELERI
230 READ Ct,Sic,Tet1,Tet2,Tet3
240 DATA 42,300,.1,.2,.4
250 REM TUTUM PARAMETRELERI
260 READ Fx,Riz,S1,S2
270 DATA 250,.05,.05,.05
280 REM MALİYET PARAMETRELERI
290 READ K1,Km,Kt,Rn,Tc,Tp
300 DATA 250,25,1000,450,2,0
310 Sc=PI*A*D*L/1000
320 Td=Tc/C^Alfa2
330 FOR I=1 TO 5
340   READ A(I)
350 NEXT I
360 DATA 1,.5,.33,.25,.2

```

A	F	N	ENBQ	ENKT	ENKU	ENBP
1.000	0.455	900	51.459	0.198	55.351	1997.924
1.000	0.455	900	51.459	0.198	55.351	1997.924
1.000	0.455	900	51.459	0.198	55.351	1997.924
1.000	0.455	900	51.459	0.198	55.351	1997.924