

**BESLEYİCİ TASARIMINDA MATEMATİKSEL
MODEL KULLANIMI**

Suat Canarslan

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

Danışman: Doç. Dr. Macit Yaman

**T. C.
YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
Dokümantasyon Merkezi**

Haziran-1988

N. Suat Canarslan'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı " Besleyici Tasarımında Matematiksel Model Kullanımı " başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

6../7./1988

Üye : Macit Yaman
Doç. Dr. Macit Yaman

Üye : Nihat Yüzügüllü
Yrd. Doç. Dr. Nihat Yüzügüllü

Üye : A. Ekrem Özkul
Yrd. Doç. Dr. A. Ekrem Özkul

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun 29.7.1988.gün ve 122/2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Rüstem Kaya

Prof. Dr. Rüstem Kaya

Enstitü Müdürü

Tez çalışmamın şekillenmesinde, yönlendirilmesinde ve gerçekleşmesinde yakın desteklerinden dolayı, hocam, Doç. Dr. Macit Yaman'a,

ayrıca, tez süresince gösterdiği kolaylıklar için, hocam Doç. Dr. Nihat Kınıkoğlu'na ve tezin yazım aşamasında ki değerli yardımları için Neriman Karahan'a,

teşekkür ederim.

Son olarak, Endüstri Mühendisliği formasyonumu kazanmamda emeği geçen hocalarımı saygıyla hatırlayacağım. Hepsine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	1
1.1. Giriş	1
1.2. Önceki Çalışmalar	3
1.2.1. Geleneksel yaklaşımlar	4
1.2.1.1. Chvorinov katılaşma yaklaşımı	6
1.2.1.2. Adams and Taylor yaklaşımı	8
1.2.1.3. Caine yaklaşımı	8
1.2.1.4. Bishop şekil faktörü	9
1.2.1.5. Merchant yaklaşımı	9
1.2.1.6. Çekinti yaklaşımı	9
1.2.1.7. Ruddle'un modülüs yaklaşımı	11
1.2.1.8. Creese'in hacim enküçüklemesi	12
1.2.1.8. Gandhi'nin maliyet enküçüklemesi	13
1.2.2. Yeni yaklaşımlar	14
2. KATILAŞMA MEKANİZMASI	19
2.1. Katılaşma faktörleri	21
2.1.1. Katılaşmanın sıcaklık düzeyi	21
2.1.2. Katılaşma sıcaklığı aralığı	21
2.1.3. Kalıbın ısı iletkenliği	23
2.1.4. Çeliğin ısı iletkenliği	23
2.1.5. Gravite ve konveksiyon etkisi	23
2.1.6. Şekil faktörü	25
2.1.7. Akıcılık	25
2.1.8. Aşılama	25

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2. Çekme	27
3. YÖNLÜ KATILAŞMA VE DÖKÜM TASARIMI	31
3.1. Yönlü Katılma	31
3.2. Döküm Tasarımı	33
3.2.1. Besleyici tasarımı	35
3.2.2. Soğutucu kullanımı	37
3.2.3. Döküm Dolgusu	40
4. RİNG ŞEKLİNDEKİ ÇELİK DÖKÜMLERDE BESLEYİCİ UYGULAMASI	41
4.1. Araştırma Hedefi	41
4.2. Problem Formülasyon	43
4.2.1. Kısıt-1: Hacimsel yeterlik kısıtı	45
4.2.2. Kısıt-2: Katılma zamanı kısıtı	47
4.2.3. Kısıt-3: Besleme bölgesi kısıtı	47
4.2.4. Kısıt-4: Besleyici yüksekliği ve çapına ilişkin kısıtlamalar	48
4.2.5. Amaç fonksiyonu	50
4.2.6. Optimizasyon modeli	52
4.3. Çözüm	56
4.4. Çözümün irdelenmesi	57
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	61
KAYNAKLAR DİZİNİ	70
EKLER	
A. Bilgisayar Program Listesi	73
B. Program Çıktısı Örneği	78

ÖZET

Katılma sürecinin simülasyonuna yönelik pek çok bilgisayar programı geliştirilmiş olmakla birlikte, Chvorinov'un modülüs metodu, henüz, pratik ve başarılı bir yöntem olarak yerini korumaktadır.

Bu çalışmada, araştırma konusu, "Besleyici Tasarımında Matematiksel Model Kullanımı" olarak belirlenmiştir. Çalışmada, ring şeklindeki çelik dökümlerde, optimal besleyici tasarımı üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda, problem tam sayılı doğrusal olmayan programlama, biçiminde formüle edilmiştir. Amaç fonksiyonu, sağlam döküm elde etmenin yanı sıra, maliyet enküçüklemesini hedeflemiştir. Karar değişkenlerinin, besleyici türü, boyutları ve sayısı olduğu modelde, katılma zamanı, hacimsel yeterlilik ve besleme aralığı geleneksel kısıtları yer almıştır.

Ardından, model, döküm boyutlarının ve çekme oranını değiştirilmesiyle, sayımlama tekniği kullanılarak, basic programlamayla, yaklaşık 200 farklı durum için çözülmüştür.

Model çıktıları, minitab2 paket programı kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Benzer fakat geliştirilmiş bir model kullanımıyla, deneme yanılma yönlü yaklaşımların ortadan kaldırılacağı ve görece ekonomik tasarımlara varılabileceği değerlendirilmiştir.

ABSTRACTS

Although many computer programmes have been developed to simulate the solidification process, Chvorinov's modulus method seems to be still the most practical and relatively successful one.

The study topics is addressed by this research is " The Mathematical Model Using In Riser Design ". In the study, optimum riser design has been studied for ring type steel casting. To this end, the problem was mathematically formulated as the integer non-linear programming. The objective was to minimize cost and yet produce a shrinkage defect-free casting. Decision variables were the geometry, size and number of risers. Constraints which were solidification time, volumetric adequacy and feeding range have been involved by the model.

And then, the model was solved with basic language used enumeration techniques by altering the size of casting and shrinkage factor for nearly 200 runs. The results were good enough, comparing with available techniques.

Similar but more general model with more variables could decreasing the cost substantially in the foundries, eliminating trial and error method in many cases.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Çelik döküm levhalarda katılan tabakanın ilerlemesi (Wlodawer'dan, 1985)	5
1.2. Chvorinov'a göre çelik döküm parçaların katılma zamanı ile modülleri arasındaki ilişki (Wlodawer'dan, 1985)	5
1.3. Caine'ye göre VR/VC, katılma oranı ilişkisi (Beeley'den, 1972) ...	7
1.4. Adams ve Taylor'a göre VR/VC, AC/AR ilişkisi (Adams ve Taylor'dan,1953)	7
1.5. Bishop'a göre VR/VC, şekil faktörü ilişkisi (Bishop'dan, 1955)	10
1.6. Ruddle'a göre kum besleyi boyutlarının belirlenmesine yönelik nomogram (Minkof'dan, 1986)	10
1.7. Besleyici üzerindeki çekinti boşluğu (Heine et al., 1967)	11
1.8. Döküm geometrisi için oluşturulmuş besleyici ve soğutucu seti (Ronald'dan, 1983)	16
2.1. Isıl gradyan ve büyüme yönü	20
2.2. Çelik dökümlerin katılma süreci (Minkof'dan, 1986)	22
2.3. Katılma faktörleri etkisi (Wlodawer'den, 1985)	24
2.4. Katılma aralığının katılma bandı üzerindeki etkisi (Wlodawer'den,1985)	26

2.5. Katılma aralıının çekinti tipi üzerindeki etkisi (Yaman'dan, 1986)	28
2.6. Çelik dökümlerde çekme oranına alaşım elementlerinin etkisi (Wlodawer'dan, 1966)	29
3.1. Katılmanın besleyiciye doğru ilerlemesi	31
3.2. Katılma üzerinde besleyici etkisi	32
3.3. Pellin'ye göre levha ve çubuklarda termal gradyanlar Wlodawer'dan,1985)	36
3.4. Katılma üzerinde besleyici ve soğutucu etkisi	38
4.1. Yönlü katılmaya iki seçenek yaklaşım	42
4.2. Dökümhane süreç akışı şeması (Ronald'dan, 1983)	44
4.3. Besleyicide boşluk derinliğinin fonksiyonu olarak çekinti boşluğu hacmi (Wlodawer'dan, 1966)	46
4.4. Hacim oranı - şekil faktörü - çekinti oranı ilişkisi	59
5.1.a. Verim histogramı	
b. Etkin kullanım oranı histogramı	63
5.2. Verim - etkin kullanım oranı - çekinti oranı ilişkisi	64
5.3. Verim - modül oranı ilişkisi	65
5.4. Verim - çekinti oranı ilişkisi	66
5.5. Verim besleyici türü ilişkisi	67
5.6. Besleyici türü - plakalık oranı - çekinti oranı ilişkisi	68

SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
AC	Döküm alanı, cm ²
AR	Besleyici soğuma yüzeyi alanı, cm ²
ARF	Besleyici son alanı
AT	Besleyici taban alanı, cm ²
BS	Besleyici sayısı
EM	Ergitme maliyeti, TL/kg.
L	Döküm ortalama uzunluğu, cm.
MC	Döküm modülüsü, cm.
MR	Besleyici modülüsü, cm.
MRF	Besleyici son modülüsü, cm.
S	Çekme oranı, %
T	Döküm kalınlığı, cm.
t	Katılma zamanı, sn.
TM	Temizleme maliyeti, TL/cm ²
VC	Döküm Hacmi, cm ³
VR	Besleyici hacmi, cm ³
VRF	Besleyici son hacmi, cm ³
X1	Besleyici sayısı
X2	Besleyici çapı
X3	Besleyici yüksekliği
X4	Besleyici genişliği
W	Döküm genişliği, cm.
Y	Yoğunluk gr/cm ³

1. GİRİŞ. VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1.1. Giriş

Günümüzde, üretimin niteliği hızla değişmekte ve giderek mal pazarında var olabilmenin koşulları daha bir zorlaşmaktadır. Rekabet görece fiyat oynamalarından çok, en ekonomik üretimi gerçekleştirebilmek alanında sergilenmekte. Diğer bir deyişle, pazar karlarının azalmaya başladığı çağımızda, maliyet minimizasyonu başarının önde gelen şartı durumundadır. Sorun, üretilen malları nicelik ve nitelik yönünden arttırmak ve kaynaklardan en verimli biçimde yararlanabilmekten geçiyor. Bu durum, sürecin görece çok karmaşık olduğu, üretim yöntemleri içerisinde önemli bir yer tutan ve niceliksel artış boyutunda belli bir düzeye gelmiş bulunan, döküm yoluyla şekil verme olayında da açık olarak kendini hissettirmektedir.

Dökümhaneler, döküm kalitelerinin iyileştirilmesi ve maliyetlerinin düşürülmesi gerektiği konusunda artan bir baskıyı yaşamaktalar. Dökümhanelerde reddedilen sakat parça oranlarının yüksek oluşu ve bunların önemlice bir bölümünün tasarım problemlerine bağlı olduğu dikkat çekicidir. Döküm tasarımında da, temel yük besleyiciler üzerindedir (Trinkl, 1984).

Bu çalışmada, dökümhane ürünleri içerisinde, sahip olduğu üstünlüklere bağlı olarak önemli bir kullanım oranına sahip, kum kalıplama yoluyla üretilen çelik dökümlerde besleyici tasarımından söz edilecektir.

Ticari alaşımların pek çoğu gibi, bir demir-karbon alaşımı olan çelik dökümlerde, katılma sürecinde hacimsel çekerler. Çekme oranı, pek çok değişkene bağlı olmakla birlikte, öncelikle kompozisyonun belirleyiciliğindedir. Çekme olayı kaçınılmaz olup, önlem alınmadığı sürece, döküm parçada boşluklara neden olurlar. Bu istenmeyen durumun önüne geçebilmek için, çekmeyi karşılayabilecek ek sıvı metal kaynaklarına gereksinim duyulur. Besleyici olarak bilinen söz konusu kaynakların optimum kullanımı, dökümhanelerde yıllardır önemli bir sorun olarak süre gelmiştir.

Bilindiği gibi, çelik dökümler katılaşma boyunca oluşacak, oldukça büyük çekme boşluklarının karşılanması için hacimli besleyiciler gerektirirler. Öncelikle sağlam döküm elde etmek esas olduğundan, pratikte çoğu kere gereğinden çok büyük besleyici uygulamalarına rastlanır. Bu dökümhanenin, maliyetlerini artırdığı gibi, döküm kapasitesinin önemli bir bölümünün atıl kalması demektir. Döküm sonrası varolan çok büyük besleyici ve yolluk sisteminin temizlenmesi için kesicilere gereksinim duyulur ki buda temizleme maliyetlerini çok yüksek bir düzeye çekecektir (Heine et al 1967).

Besleyici boyutlandırma konusunda bu güne kadar pek çok deneysel ve ampirik bağıntılar ortaya atılmış, ancak, bu metodlardan çoğu pratikte uygulanamamış ve kağıt üzerinde kalmaktan ileri gidememiştir. Bunda sürecin karmaşıklığı ve zaman alan hesaplamalar önemli bir rol oynamaktadır. Bu arada bilgisayar teknolojisindeki son yıllardaki gelişmelere bağlı olarak, döküm teknolojisinde de uygulamaları ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu anlamda, gelişmelerin bir uzantısı olarak, mevcut deneysel bağıntılara çok fazla bir yenilik getirmemekle birlikte, en azından metodu bilgisayar diline aktararak, sonuçlara en kısa zamanda ve daha hassas olarak varabilme yönlü çalışmalara kaydığı gözleniyor (Manfred vd.,1987).

Ayrıca, son yıllarda, yönlü katılaşmanın simülasyonuna yönelik çalışmalar, literatürde yoğun bir biçimde yer almakla birlikte, uygulama olanaklarından uzak görünmektedirler. Dolayısıyla, Chvorinov'un geleneksel yaklaşımı henüz pratik önemini korumaktadır.

Bununla birlikte, pek çok çelik dökümhanesi, besleyici boyutları tasarımında, önceki deneylere ve sezgisellikte kalan uygunsuz ve hatta mevcut teknolojinin çok uzağında ki yaklaşımların içerisinde yer almaktadır. Dolayısıyla, besleme pratiğinde optimum şartların uzağında kalınmakta ve kullanılan besleyiciler çoğu kere gereğinden büyük ve ekonomik olmayan sonuçlar sergilemektedir.

Besleme teknolojisinin önemi, enerji tüketimi ve dökümhane kazançlarının bir arada kavranması durumunda anlam kazanacaktır. Çünkü besleme pratiği, döküm verimi bağlı olarak kazanç ve enerji

tüketimine yönelik etkileriyle birbirine çok yakından bağlıdır. Daha açık bir deyişle, döküm tasarımında amaç nitelikli üretimi hedeflerken, görece en ekonomik tasarımda gözetilen çok yönlülüğü de taşınmalıdır.

Bu çalışmada, öncelikle katılaşma mekanizmasından söz edilecek, ardından, geleneksel zeminlerde kalarak, belli bir formdaki (ring) döküm parçaları da silindirik ve oval besleyici uygulaması üzerinde durulacaktır. Çalışmada, verimlilik ve maliyet ölçütleri temelinde hareket ederek, optimum besleyici boyutları tartışılacaktır. Problem formülasyonunda, sürece ilişkin karar değişkenleri, besleyici türü, boyutları ve sayısı olarak ele alınmıştır. Doğrusal olmayan karar modeli, besleme aralığı (Feeding range), hacimsel yeterlilik (Volumetric adequacy), katılaşma zamanı (Solidification time) ve karar değişkenlerine ilişkin sınırlamalarla birlikte, dört ana grup kısıttan oluşmaktadır.

Son olarak, modelde içerilen kısıtlar altında, en küçük maliyetin gözetildiği, sürecin, ergitme ve temizleme maliyet bileşenlerinin veri alındığı amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Ardından, doğrusal olmayan karar modeli, sayımlama yöntemi kullanılarak, döküm boyutları ve çekme oranı parametrelerinin değiştirilmesi ile yaklaşık 200 farklı durum için, basic ortamında çözülmüştür. Son olarak, sonuçlar minitab2 paket programı kullanılarak değerlendirilmiş, çeşitli parametreler ve karar değişkenleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

1.2. Önceki Çalışmalar

İçinde bulunduğumuz yüzyılın ilk çeyreğinde, kullanılan besleyicilerin boyutlarının en küçüklenmesi amacıyla çelik dökümlerin beslenmesini etkileyen temel ilkeler doğrultusunda dikkatlerin yoğunlaştırıldığı dikkat çekiyor.

Olaya yönelik ilk çalışmalara Fahrquar'da rastlıyoruz. Fahrquar ileriye yönelik, niteliğe ait ilişkileri içeren pek çok temel ilkeyi yerleştirmiş, ardından Chovorinov çok bilinen yaklaşımını deneysel doğruluğu içerisinde formüle etmiştir. Yakın zamanlarda da Wlodawer çelik dökümlerin beslenmesi için söz konusu başlangıç çalışmaları, uygulamalı planlar çerçevesinde yaymış ve sistematize etmiş bulunuyor (Ruddle, 1978). Daha sonraları, bu temeller üzerinde, konuyla ilgili pek çok ad, konunun değişik boyutlarında soruna

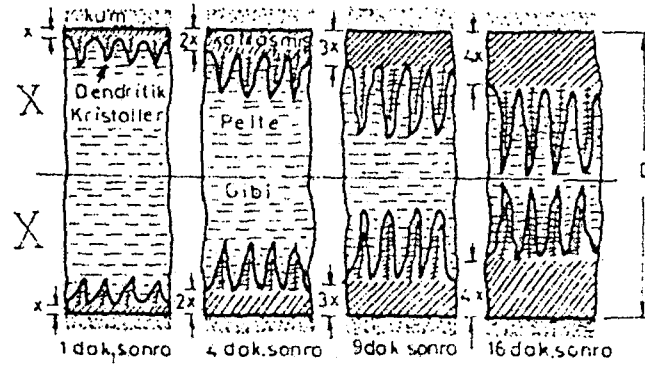
çözüm aramışlardır. 80'li yıllarla birlikte, soruna yönelik çalışmalar, araştırma kurumları ve akademik çevrelerde, geleneksel yaklaşımdan farklıca gelişmiş ve iki boyutlu eksenlerde, sıcaklık dağılımı ve ısı akışına ilişkin simulasyon çalışmalarına dayandırılmıştır. Ancak, bu yöndeki çalışmalar henüz dökümhane pratiği uygulamalarından uzak görünmektedir. Böyle olmakla birlikte, büyük oranda deneyselliğe dayanan geleneksel yaklaşımların yerini almaya aday olan yeni teknikler, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, döküm tasarımındaki sorunları kısa bir süre içinde tümüyle yenebilecek dinamiklere sahip görünüyorlar.

Bu bölümde besleyici tasarımına ilişkin kullanılan güncel tekniklerin kısa bir tekrarı yapılacaktır. Bunlara ve döküm tasarımına yönelik çalışmalar, geleneksel ve modern yaklaşımlar alt bölümleri altında verilmeye çalışılacaktır.

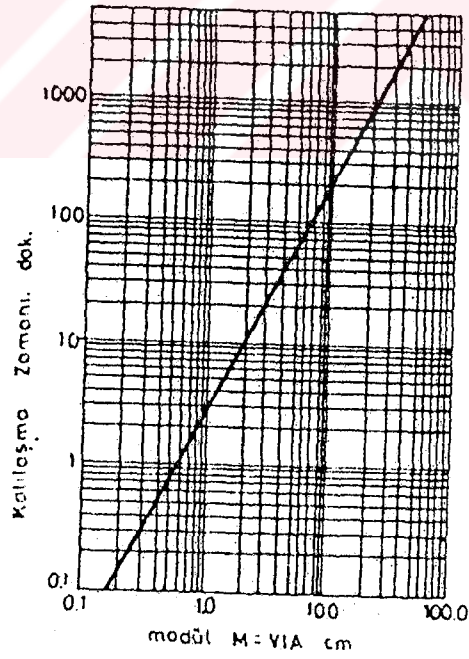
1.2.1. Geleneksel yaklaşımlar

Yeterli metal beslemesi sağlama yönlü, uygun besleyici boyutlarının saptanması uğraşına pek çok araştırma yöneltmiş bulunuyor. Dökümhanelerin büyük bir bölümü, özellikle küçük olanlar, deneyimli personel kullanarak, geçmiş temeller üzerinde ve ayrıca deneysellik sınırlarında kalarak soruna çözüm arıyorlar (Ronald, 1983). Bu alt bölümde, besleyici boyutlarının belirlenmesi için kabul gören mevcut yaklaşımlar ve soruna yönelik, çeşitli optimizasyon denemeleri özetlenecektir.

1. Chvorinov'un katılma zamanı yaklaşımı
2. Adams ve Taylor yaklaşımı
3. Caine yaklaşımı
4. Bishop şekil faktörü
5. Merchant yaklaşımı
6. Çekinti yaklaşımı
7. Ruddle modülüs faktörü



Şekil 1.1. Çelik döküm levhalarda katılaşılan tabakanın ilerlemesi
(Wlodawer'dan, 1985).



Şekil 1.2. Chvorinov'a göre çelik döküm parçaların katılma zamanı ile modülleri arasındaki ilişki (Wlodawer'dan, 1985).

8. Creese'in hacim enküçüklemesi
9. Gandhi'nin maliyet enküçüklemsi

Geleneksel yaklaşım içerisinde sözü edilen yaklaşımların tümü, özünde, besleyici hacminin dökümdeki hacimsel çekmeden büyük olması gerektiği ($VR \geq S*VC$), ilişkisine dayanmaktadır. Bu durum geleneksel yaklaşımın ayırt edici bir yanıdır.

1.2.1.1. Chvorinov'un katılama yaklaşımı :

Belirli bir hacimde daha fazla ısı yayan yüzey daha çabuk katılacaktır. Katılama zamanı ile ilgili hesaplarda kullanılan ve modül adı verilen hacim/yüzey oranını chvorinov bulmuştur. Şekil 1,2'de çelik döküm parçaların, katılama zamanı ile modülleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

$$M = V/A, \quad M : \text{modül}$$

$$V : \text{hacim}$$

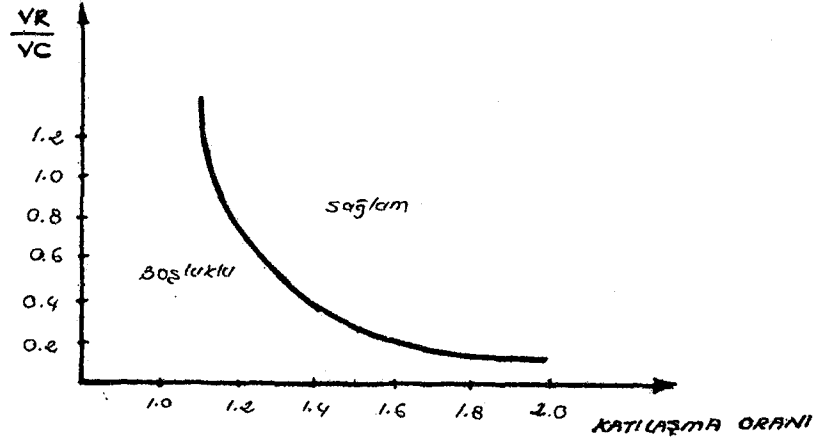
$$A : \text{Yüzey alanı}$$

Chvorinov besleyici tasarımını sanat olmaktan bilimselliğe dönüştürme çabalarında öncüdür. Kabaca besleyici katılama zamanının, döküm katılama zamanından büyük olması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu kabuller altında besleyici boyutları saptanabilecektir. (Ronald, 1983)

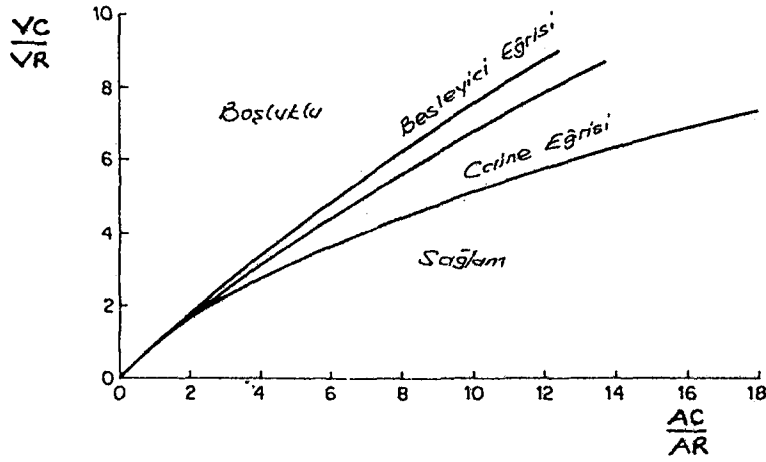
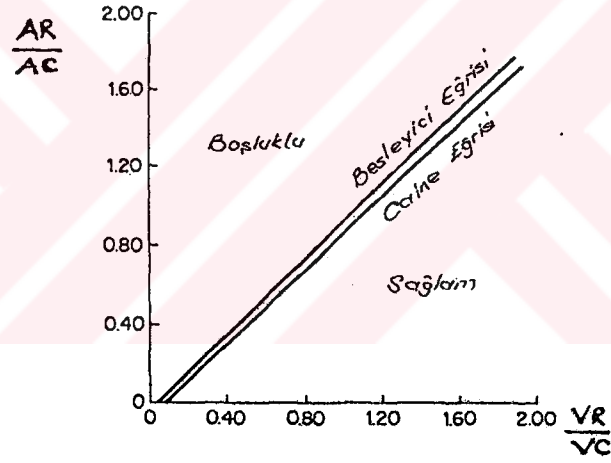
Chvorinov'a (1940) göre katılan tabakanın kalınlığı, X ile katılama zamanı, t , arasında aşağıdaki bağıntı vardır. (Wlodawer, 1966)

$$X = k\sqrt{t}$$

Burada k , dökülen metal ve kalıp malzemesine bağlı sabittir. Çelik dökümün kumda kalıplanması halinde, k katsayısı, X (mm) ve t (sn) için 0.885'dir.



Şekil 1.3. Caine'ye göre VR/VC, katılma oranı ilişkisi (Beeley'den, 1972).



Şekil 1.4. Adams ve Taylor'a göre VR/VC, AC/AR ilişkisi (Adams ve Taylor'dan, 1953).

Sekil 1,1'de görüldüğü gibi levhaların katılması, katılan uzantıların merkezde birleşmesi ile tamamlanır. Böylece katılan tabaka kalınlığı x levha kalınlığının yarısına veya levhanın modülüne eşittir. Levha tamamen katıldığında; $x + x = D$, levha kalınlığı olur. Levha da, $M = D / 2$ olduğundan, $M = X$ dir.

$t = x / k^2$ olduğundan

$t = (1/k)^2 * (M^2)$ den $t = K * M^2$ eşitliği bulunur."

(Wlodawer, 1966)

1.2.1.2. Adams and Taylor yaklaşımı

Adams ve Taylor besleyici tasarımına, en verimli besleyicinin, besleyici katılmasının, döküm katılmasıyla aynı anda tamamlandığı, durum olduğu, katılma zamanı espirisi kabulüyle Chvorinov yöntemi temelinde yaklaşmıştır. Çünkü besleyici katılma sürece boyunca sıvı metal beslemesi yapabilmelidir ve son hacim, başlangıç hacimden farklıdır. (Adams and Taylor, 1953)

(Besleyici son hacmi) $V_{RF} = S * (V_R + V_C)$

$S * (V_R + V_C)$, miktarı, besleyici ve döküm (V_R , V_C) için gereken toplam miktardır. Malzeme denge denklemi içerisinde Chvorinov ilişkisiyle bütünleştirildiğinde, besleyici tasarımında izleyen ilişki kullanılabilir. Şekil 1,4'de formülasyona ait grafik ilişki gösterilmiştir.

$SAR / SAC = (1-S)(V_R / V_C) - S$

SA : Yüzey alanı

S : Katılma Çekmesi

1.2.1.3. Caine yaklaşımı :

Caine yaklaşımı, katılma zamanının, hacim/yüzey oranıyla, Chvorinov yöntemini ilişkilendirmiştir. Deneysel veriler kullanarak, farklı döküm geometrileri ve besleyici boyutları için, kabul edilebilirlik temelinde sınır ilişkilerini (Şekil 1,3) türetmiştir (Beeley, 1972).

1.2.1.4. Bishop şekil faktörü

Bishop'un yaklaşımı, Caine yönteminin basite indirgenmiş halidir. Hacim yüzey oranı, şekil faktörüne dönüştürülmüştür. Yaklaşım Caine'de olduğu gibi küp, plaka, çubuk gibi farklı geometrilerin göz önüne alınıp devam ettirilerek, farklı besleyici boyutlarıyla üretilen dökümde, kabul edilebilir minimum besleyici boyutları (Şekil 1,5) aranmıştır. (Bishop, 1955)

1.2.1.5. Merchant yaklaşımı

Merchant probleme Chvorinov veya Caine'den farklıca yaklaşmıştır. $SAR / SAC = VR / VC$ ilişkisinden hareketle, uygun döküm besleyicisi boyutları için mevcut araştırma literatürü ile $SAR / SAC = (VR / VC) - C$, ilişkisini türetmiştir. (Merchant, 1959)

1.2.1.6. Çekinti yaklaşımı (pipe)

Adams ve Taylor metodlarında olduğu gibi, bu metotta da dökümdeki metal hacminin besleyiciyle karşılanacağı dikkate alınır. Katılma boyunca, besleyicideki hacimsel azalma çekinti yaklaşımının (Şekil 1,7) özünü oluşturur (Pipe discussion).

Aşağıdaki işlem adımları izlenir;

1. Döküm ağırlığının saptanması,

2. Döküm için gereksinilen, beslenecek metal hacminin hesaplanması,

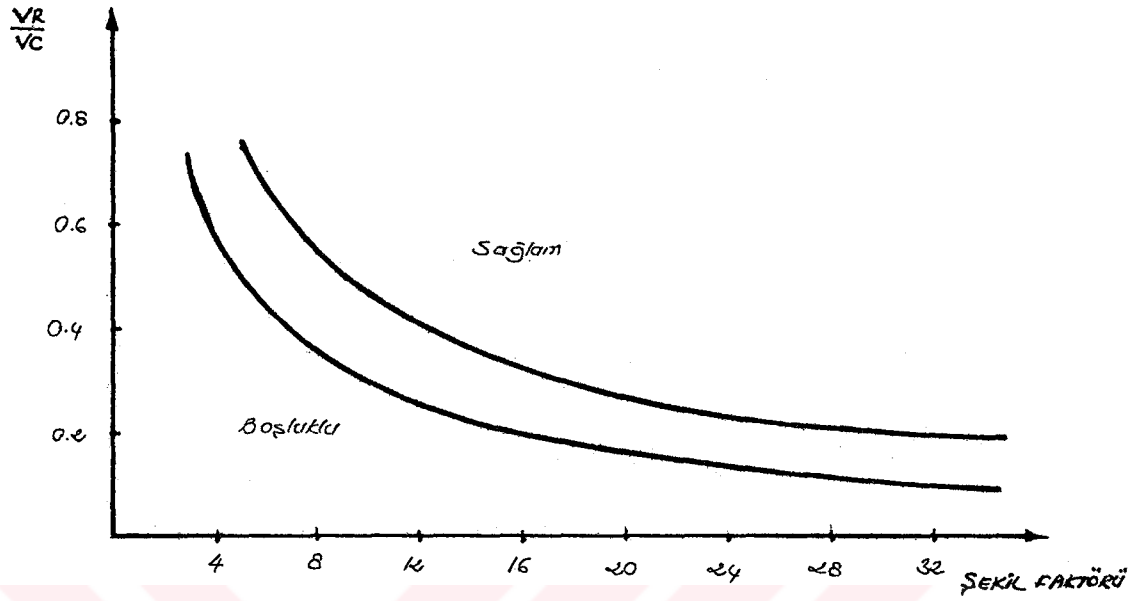
$$VR = (\text{Döküm Ağırlığı}) \times (\% \text{ Katılma Çekmesi}) / (\text{Ağırlık (inç küp)})$$

3. Çekinti (pipe) çapı, D_p ve çekinti yüksekliği, DH 'ın bulunması,

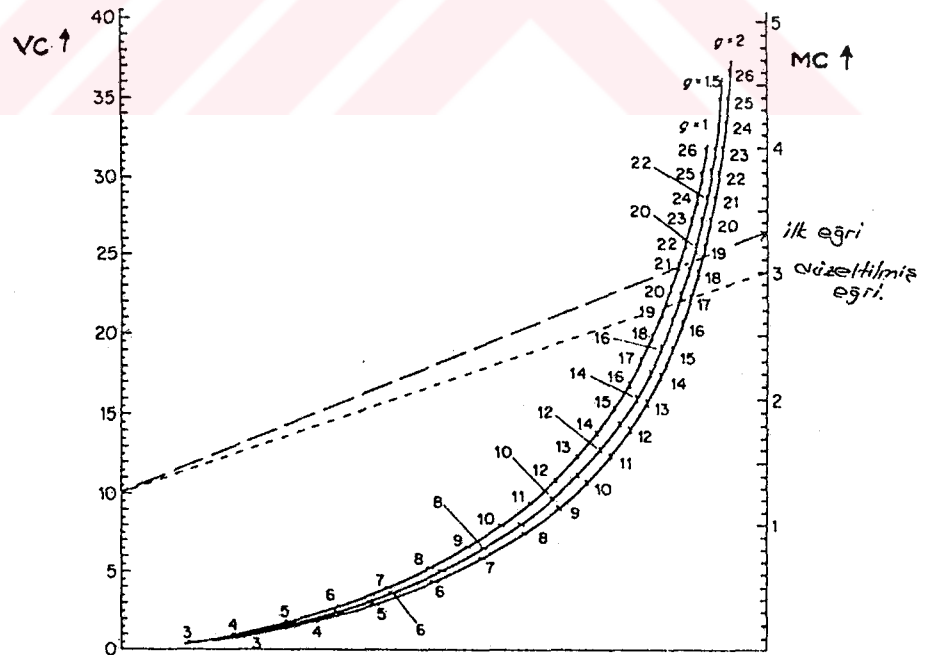
$$VR = \pi \cdot (D_p/2)^2 \cdot H_p, \quad H_p = 2.5 \cdot D_p$$

4. Besleyici Çapının, DR , bulunması,

$$DR = 2W + D_p, \quad W : \text{Döküm kalınlığı}$$



Şekil 1.5. Bishop'a göre VR/VC, şekil faktörü ilişkisi (Bishop'dan, 1955)



Şekil 1.6. Ruddle'a göre kum besleyi boyutlarının belirlenmesine yönelik nomogram (Minkof'dan, 1986).

5. Besleyici basınç bölümünün yüksekliğini, H_m , belirlenmesi bu dökümün beslenecek en yüksek noktasına bağlıdır. Basınç yüksekliği, dökümün beslenecek en yüksek noktasının en az bir inch üzerinde olmalıdır.

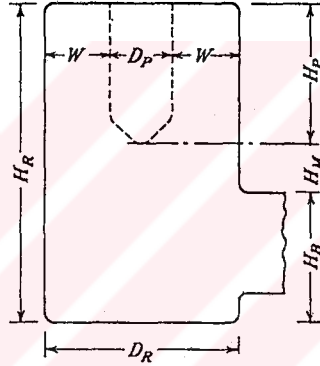
6. Besleyicinin alt kısmının tasarımı,

$$2W < HB < 2W + DP$$

$$HB \approx 3W$$

7. Son besleyici yüksekliğinin belirlenmesi,

$$HR = HP + HM + HB''$$



Şekil 1.7. Besleyici üzerindeki çekinti boşluğu (Heine et al., 1967).

Bu sistemin avantajı, döküm şekline bakmayarak, besleyici gereklerini değerlendiriyor olmasıdır. Kabaca beslenecek metal gereksinimlerine dayanır. (Heine et al, 1967)

1.2.1.7. Ruddle'un modülüs faktörü

Bu yaklaşım Chvorinovi'inkine benzer olarak hacim yüzey alanı oranını kullanır.

Ruddle yeterli metal beslemesinin gerçekleştirilmesi için besleyici modülüsünün döküm modülüsünden, % 20 daha büyük olması gerektiğini deneysel olarak iddia etmiştir (Ronald, 1983).

Ayrıca, çelik dökümler için, besleyici boyutlarının belirlenmesine yönelik;

K_1 ve K_2 metal yapısına bağlı sabitler olmak üzere,

$D^3 - K_1 * MC * D^2 - K_2 * VC = 0$ eşitliği oluşturulmuştur. Ayrıca, benzer işlevi yüklenebilecek nomogramı geliştirmiştir (Şekil 1,6).

Daha öncede belirtildiği gibi, besleyici boyutlarının hesaplanmasında pek çok yol vardır. Bu bölümde, geleneksel yaklaşım içerisinde yaygın olarak bilinenlerin sadece bir kısmına değinilmiş bulunuyor.

Öte yandan Chvorinov sonrasında Wlodawer tarafından (V^2 / A^2) yerine (V/A) oranının kullanılacağı gösterilerek hesaplamalar basitleştirilmiş ve matematiksel formülasyonlara dayandırılmıştır. (Söz konusu orana (V/A) katılma modülü yada kısaca modülüs denir ki, geleneksel uygulamalar bu yöntemeye dayanır (Wlodawer, 1966).

Bir kesitin, komşu kesitten daha uzun zaman sıvı kalabilmesi için daha fazla ısı ihtiva etmesi gereklidir. Daha uzun zamanda katılan kesitin modülünde daha büyüktür. Deneyler, bir kesitin komşu kesiti besleyebilmesi için modülünün 1.1 kat fazla olması gerektiğini göstermektedir. Besleyicilerin modülünde döküm parçanın en kalın kesitinin modülünün en az 1.2 katı olmalıdır.

Dikkat edilirse, pipe metodunun dışındakilerin tümü Chvorinov'un katılma zamanı, hacim-yüzey alanı oranıyla ilişkilidir biçimindeki temel teorisine dayanmaktadır.

1.2.1.8. Creese'in hacim enküçüklemesi

Besleyici tasarımının optimizasyon boyutunda, Creese, Chvorinov ilişkisi kısıtları altında, besleyici hacmini enküçükleyen besleyici tasarımı problemini formüle etmiştir.

Optimizasyon tekniği olarak, geometrik programlama ele alınmıştır.

Genel formülasyon;

$$\text{Min}VR = f(D, H)$$

$$t_R \geq t_C K.A.$$

$$K_R * \left(\frac{VR}{AR}\right)^{n_A} \geq K_C * \left(\frac{VC}{AC}\right)^{n_C}$$

$$f(D, H) = A * D^2 * H + B * D^3$$

Geometrik programlama programlama kullanarak;

$$H = \frac{3y}{2A} * \frac{(2CA - 3BK)}{A}, D = \frac{3y}{2A} K \text{ ve } V = \left(\frac{3y}{2A}\right)^3 2K^2(CA - BK)$$

sonuçlarına varılmıştır. Creese problemin uzantılarında, silindirik besleyici tasarımını izole malzemelerle birlikte ele almış ve vardığı sonuçlar itibariyle konuya yönelik mevcut yaklaşımlar içerisinde, görece daha sağlıklı sonuçları elde edebilmiştir. (Creese, 1979 a,b)

1.2.1.9. Gandhi'nin maliyet enküçüklemesi

Poirier ve Gandhi, besleyici tasarımının eniyilenmesini izole malzemelerle birlikte değerlendirmişlerdir. Creese yaklaşımından farklıca, model içerisinde maliyet faktörüne yer verilmiştir.

Besleyici maliyetine ilişkin oluşturulan amaç fonksiyonunda izleyenler yerleştirilmiştir.

- Besleyici boyutları değişkendir.
- Kısıt olarak Chvorinov ilişkisi temel alınmıştır.

Besleyici maliyeti;

- a) Metal ergitme maliyeti
- b) Metal kaybı maliyeti
- c) Egzotermik malzeme maliyeti
- d) Besleyici temizleme maliyeti (Gandhi et al., 1976)

1.2.2. Yeni yaklaşımlar

80'li yıllarla birlikte, çalışmalar genelde iki boyutlu eksenlerde, döküm parçalar üzerinde zamana bağlı sıcaklık dağılımlarının belirlenmesine yönelik katılma simülasyonlarına kaydırılmıştır. Bu yaklaşımla, katı bölgeler, bağlı olarak çekinti boşluklarının olabileceği bölgeler belirlenebilecektir. (Kearns, 1976; Lawrence, 1987; Bralower, 1987; Corbet, 1987). Bu yolda, beş temel boyutta çalışmalar yoğunlaşmış bulunmaktadır.

1. Döküm metodu: Bu yaklaşımda, belli sayıdaki benzer kalıplara, aynı alaşım dökülür. Ardından farklı zaman aralıklarında, zamana bağlı katılma kalınlığının belirlenebileceği deneysel ilişki aranır.

2. Sıcaklık ölçüm metodu: Döküm boşluğundaki stratejik pozisyonlara termokapıların yerleştirilmesiyle farklı noktalar için zaman-sıcaklık grafikleri kaydedilir. Bu yaklaşım katılma simülasyon sonuçlarının gerçekleşmesi açısından uygundur.

3. Analiz metodu: Bu metod, ısı akışının veya sıcaklık dağılımının, kolaylıkla ölçülebilen diğer bir aracın akış veya dağılımıyla simüle edilmesine dayanır.

4. Matematiksel analiz: Matematik karmaşasının yanı sıra, pek çok varsayıma yaslanması halinde bile, çok basit geometrilerde sonuca götürülebilir. Kısaca, temel ısı denkleminin çözümüyle, zamana bağlı sıcaklık dağılımı araştırılır.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{k}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right)$$

5. Tahmin metodu: Tam olarak analitik bir yaklaşım olmamakla birlikte, pratik problemler için sonuç alınabilecek bir metod olarak anlamlıdır. Bu alanda, simülasyon çalışmalarına temel olması açısından Schmith'in hareketli ortalamalar kestirim tekniklerinin bir benzeri olan grafiksel yaklaşımı başarılıdır. Sonsuz kütük için ısı denklemini;

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\delta \theta}{\delta t}$$

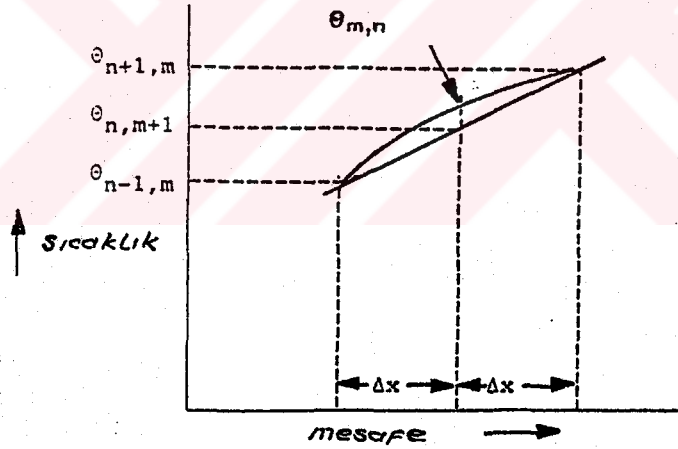
$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\delta x \theta}{\delta x}$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \alpha \frac{\delta(\delta x \theta)}{(\delta x)^2}$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \frac{\delta(\delta t \theta)}{(\delta t)^2}$$

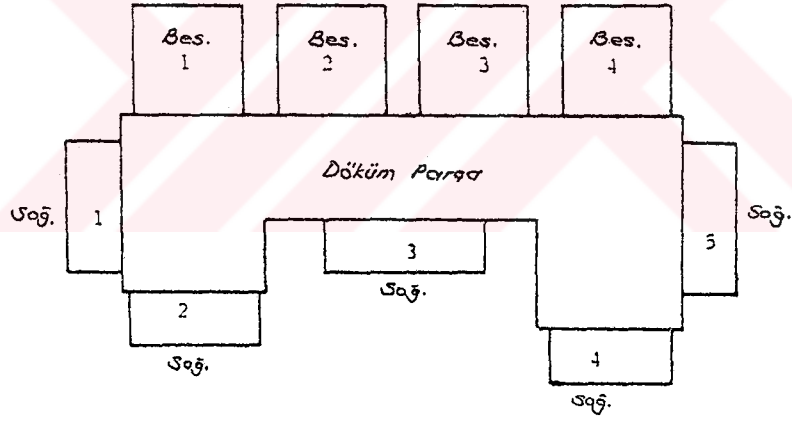
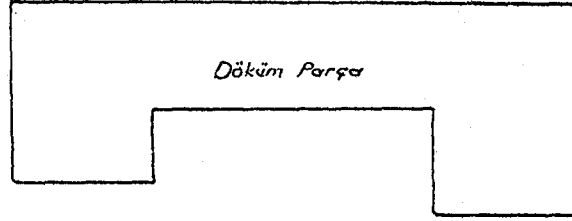
$$\delta t \theta = \alpha \frac{\delta t}{(\delta x)^2} - \delta x(\delta x \theta)$$

Bu durumun grafiksel gösterimi (Şekil 1,7); Bir sonraki birim sıcaklığı bir önceki ve daha sonraki birim sıcaklık ortalamasıdır (Ronald, 1983).



Şekil 1.7. Döküm parça üzerinde sıcaklık dağılımı Ronald'dan, 1983).

Bilgisayar katılma simülasyonları: Bilgisayar katılma simülasyonlarında genel olarak tahmin metoduna dayanmaktadırlar.



Şekil 1.8. Döküm geometrisi için oluşturulmuş besleyici ve soğutucu seti (Ronald'dan, 1983).

Kısaca,

1. Isı denklemin oluşturulması
2. Başlangıç şartların belirlenmesi
3. Sınır şartlarının oluşturulması
4. İlgili geometrinin ağ yapısının oluşturulması
5. Her bir ağ noktası için (i,j) başlangıç sıcaklığı, $t=0$ alınır.
6. Son olarak, farklı zaman aralıkları için nümerik integrasyonla, her bir nokta için ısı denklemi çözülür.

Pehlke, ilgili teknikleri kullanarak, çeşitli basit geometriler üzerindeki çalışmalarında, deneysel verilerle karşılaştırıldığında, yakın sonuçlar elde etmiştir (Pehlke, 1975, 1976, 1978).

Öte yandan bu çalışmalarla elde edilen önemli bir kazanım, iki boyutlu geometri üzerinde katılma simülasyonunun ilerletilmesiyle, çekme boşluklarının, boyut ve konum olarak saptamanın mümkün kılınmasıdır (Kearns, 1976; Lawrence, 1987; Corbet, 1987).

Bu kazanım, deneme yanılma yönlü yaklaşımların azaltılması açısından önemlidir. Çünkü, çekmeye dair, yer, konum ve büyüklük yönlü bilgiler, görece daha etkin tasarımların oluşturulmasında kullanılabilir.

Bu ekseninde Ronald, istenen döküm geometrisi için oluşturulabilecek, besleyici ve soğutucu setinden (Şekil 1,8) en iyi olan kombinasyonun seçileceği algoritmayı oluşturmuştur.

Sağlam döküm üretme hedefiyle, problemi 0-1 tamsayılı doğrusal olmayan programlama problemi biçiminde formüle ederek, amaç fonksiyonunda maliyet minimizasyonunu aramıştır. Her farklı durum için, katılma simülasyonuna bağlı olarak, katılma gradyanının belirlendiği çalışmada, en uygun kombinasyonun seçiminin ardından, karar değişkenleri için minimum maliyeti verecek boyutları aramıştır.

Katılma modelinin, bu haliyle çok fazla bilgisayar zamanı işgal ediyor olması ve bunun bir döküm için 1000-5000 \$ maliyet yüküne işaret etmiştir (Ronald, 1983).

Ancak, yaptığı yöneylem araştırması uygulamasıyla tasarım problemlerinde yeni bir boyut açmıştır. Henüz pratik uygulamasından uzak görülmekle birlikte, gelecekte bu boyutta sürdürülecek çalışmalarla tasarım problemlerinin aşılabilir olduğunun zeminlerini hazırlamıştır.



2. KATILAŞMA MEKANİZMASI

Katılma, kristallerin çekirdeklenmesi ve mevcut kristallografik ve ısı şartlarının etkisi altında büyümesi ile meydana gelir. Tanelerin hacim ve karakterleri alaşım kompozisyonu ve soğuma hızıyla kontrol edilir. Büyüme süreci mevcut sıvı metalin tümü katılaştığında sona erer.

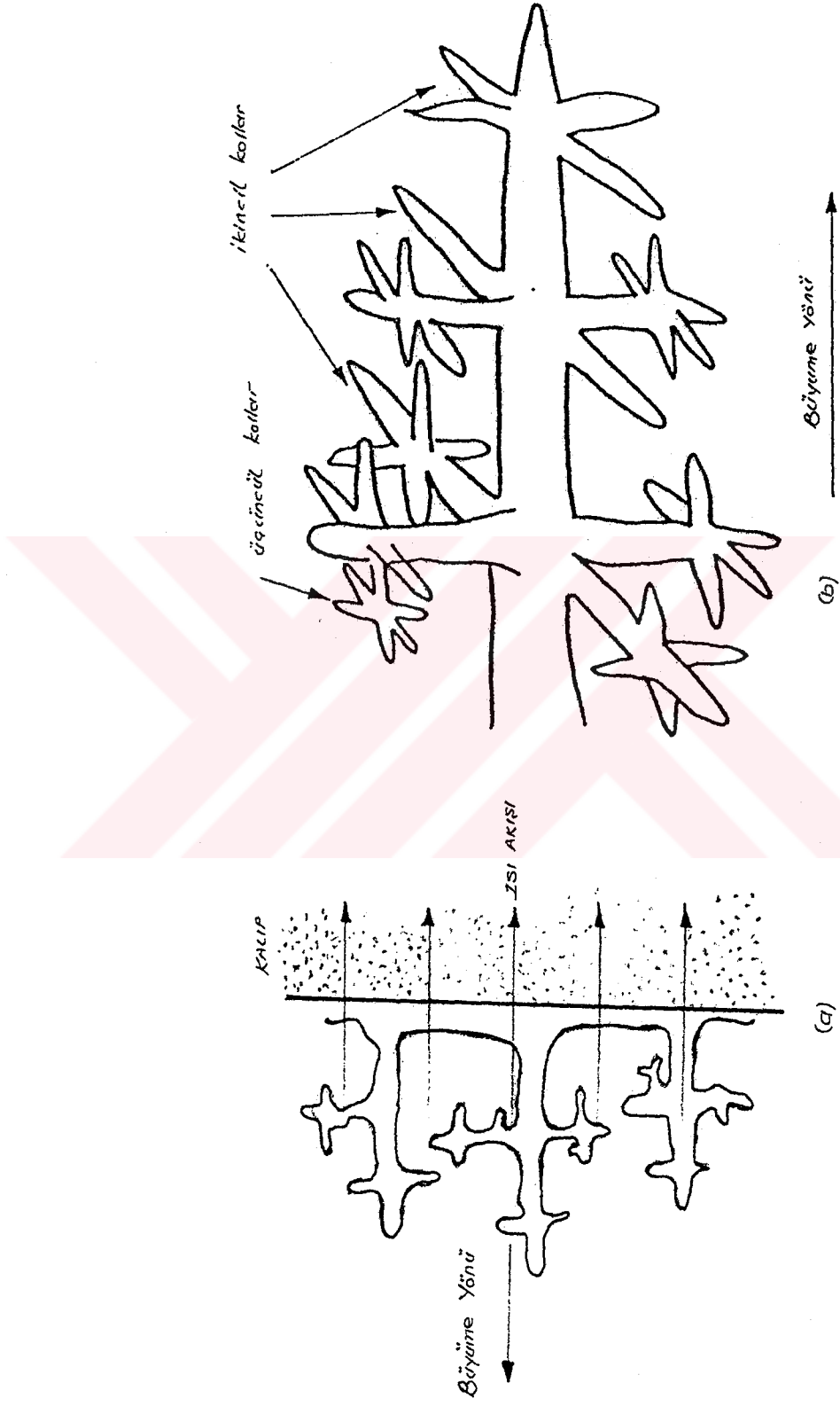
Ergimiş metal kalıba girdiğinde, sahip olduğu ısı, en kısa zamanda sıvı alaşımdan çıkarılır. Isıl gradyan ve kalıp duvarlarından döküm merkezine ilerleyen olan dalsı yapı şekil 2,1'de gösterilmiştir. Söz konusu ısının kalıp dışına atılmasının yolu ve soğuma adımları, katılma süreciyle yakından ilgilidir.

Katılmanın başlaması için atılması gereken ısı, ergitme fırınındaki üst sıcaklık ve alaşımın erime noktası arasındaki farktır ve fazla ısı biçiminde ifade olunur. Fazla ısı, sıvı alaşımın fırından döküm noktasına taşınması, döküm potasının kalıptan kalıba taşınması ve sıvı alaşımın döküm boşluğunun tümüyle dolması öncesinde, katılmadan döküm boşluğuna girmesi süresindeki ısı kaybını karşılar.

Fazla ısının dışarı verilmesi ve katılmanın başlamasıyla gizli ergime ısısı artar. Gizli ergime ısısı, bir kristalin ergitilmesi için gerekli enerjidir. Sıvı kristalize olduğunda bu enerjiyi serbest bırakır. Katılmanın sürebilmesi için gizli ergime ısısının o ana kadar dökümün katılmış kısmına, ardından kalıba ve kalıp dışına transfer olması gerekir. Açıkça görüneceği üzere ısının döküm parçadan hızlı bir biçimde yayınması, katılmanın daha hızlı ilerlemesini beraberinde getirecektir (Heine, et al., 1967).

Katılmayı üç adımda değerlendirmek mümkündür. Üç adım boyunca, soğuma çekmesi pek çok aşamada oluşur. Bunlar;

1. Sıvı çekmesi: Döküm sıcaklığından liküüs sıcaklığına kadar olan çekmedir. Yükseklik kaybı şeklinde kendini gösterir. Bu sırada fazla ısı harcanır.



Şekil 2.1. Isıl gradyan ve büyüme yönü.

2. Sıvı-Katı çekmesi: Liküdüs-solidüs aralığında oluşur. Yüzey çöküntüsü şeklinde kendini gösterir. Bu sırada gizli ergime ısı harcanır.

3. Katı Çekmesi: Solidüs-oda sıcaklığı aralığında oluşur. Bütün boyutlarda küçülme olarak kendini gösterir (Yaman, 1986).

Bunlardan ilk ikisi besleyicilerle karşılanır. Sonuncusu ise modele çekme payı verilerek karşılanır.

Alaşım fazla ısını yitirdikçe, sıvı-katı dönüşümü gerçekleştikçe ve katı oda sıcaklığına soğudukça çeker. Açıkça görüleceği üzere, boyutsal uygunlukta ve boşluksuz üretim için, çekme dengelenmesi katılaşma adımları boyunca sağlanmalıdır. Sıvı-katı çekmesi, yönlü katılaşmanın (directional solidification) ilerletilmesiyle dengelenir. Ve bu arada, besleyiciler, sıvı-katı dönüşümü tamamlanana kadar sıvı metal beslemesi yapıyor olmalıdır. Şekil 2,2'de çelik dökümler için katılaşma süreci verilmiştir (Minkof, 1986).

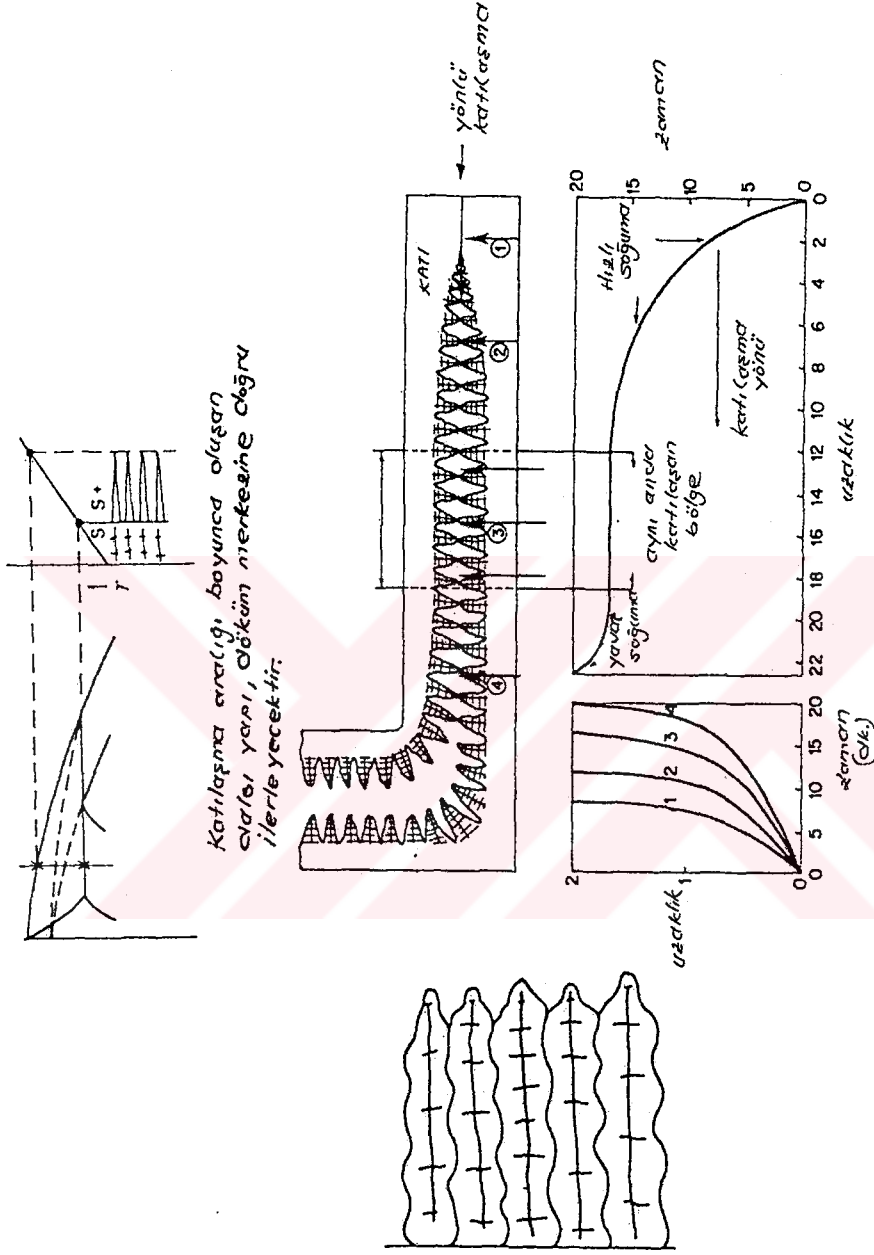
2.2.2. Katılaşma faktörleri

2.2.2.1. Katılaşmanın sıcaklık düzeyi

Yüksek katılaşma sıcaklığından dolayı, çelik döküm ve kalıp duvarları arasında geniş bir sıcaklık farklılığı söz konusudur. Bu durum, ilerleyen katılaşmayı geliştiren ısıl gradyanın büyümesine yol açar. Yani katılaşma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, düşmeside o derece hızlı olur. Yüksek katılaşma sıcaklıklarında, kristallerin boylarının uzaması için yeterli zaman olmadığından katılaşma bandı dar ve hatasız döküm imaline uygundur (Şekil 2,3).

2.2.2.2. Katılaşma sıcaklığı aralığı

Söz konusu aralık öncelikle karbon bileşimine bağlıdır ve ikinci olarak (düşük alaşımlı çeliklerde) diğer alaşım elemanlarına bağlıdır. Yüksek alaşımlı çeliklerde, elementlerin etkisi, karbona göre daha belirleyicidir. Karbon bileşiminin artmasıyla birlikte katılaşma aralığı artacaktır (Şekil 2,4). Buna karşılık ilerleyen katılaşma derecesi



Şekil 2.2. Çelik dökümlerin katılaşma süreci (Minkof'dan, 1986).

azalmaktadır. Yani aralık ne kadar geniş olursa, kristaller büyümek için o kadar uzun süreye sahip olurlar ve katılaşma bandında o derece genişler, uygun olmayan katılaşma durumu meydana gelir (Şekil 2,3).

2.2.2.3. Kalıbın ısı iletkenliği

Farklı kalıp malzemelerine göre değişebilen iletkenlik, hızlı ısı çıkarımına izin verdiği ölçüde ilerleyen katılaşmaya yol açar. Yani, kalıp malzemesinin ısı iletimi ne kadar yüksek ise, katılaşma o kadar hızlı olacaktır. Dolayısıyla katılaşma bandı dar ve beslenme özellikleri uygundur (Şekil 2,3).

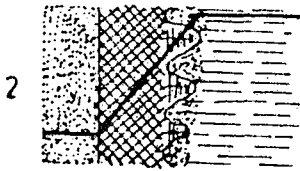
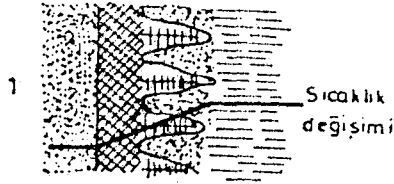
2.2.2.4. Çeliğin ısı iletkenliği

Görece zayıf ısı iletkenliği nedeniyle çelik, kalıbın ısı iletkenliği çok düşük olmadıkça, ilerleyen katılaşmaya yol açan, keskin sıcaklık gradyanının gelişmesine yatkındır. Yani metalin ısı iletimi düşük ise, kalıntı eriyikten ısının iletimi yavaşlayacağından, kristaller fazla büyüemez ve dolayısıyla katılaşma bandı dar ve beslenmesi uygundur (Şekil 2,3).

2.2.2.5. Gravite ve konveksiyon etkisi

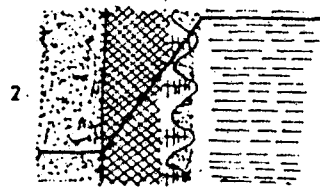
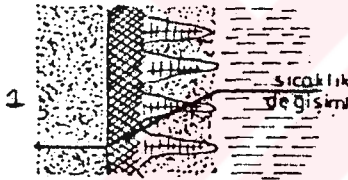
Bazı gözlemcilere göre gravite ve konveksiyonun katılaşmış döküm yapısını etkileyeceği söz konusudur. Buna göre, katılaşma boyunca oluşan havuçsu ve eşaneli yapılara ek olarak, çok sayıdaki çekirdekten gelişen kristal birimler mevcuttur. Bu birimler kalıp duvarı boyunca oluşmayarak, gravite ve konveksiyon etkisiyle, serbest hareket halindedirler.

Dökümün alt ve üst aralığında geniş sıcaklık gradyanının korunması, yüksek oranda, metalin çekirdek kristaller yönünde katılaşmasına, dolayısıyla ince taneli bir yapı oluşmasına yol açar. Çünkü, söz konusu etki döküm tabanına göre üstünde bir soğutma etkisi doğuracak, nükleer kristalizasyonu artıran bu süreçte ilerleyen katılaşma ilkelerine karşıt gelecektir (Heine, et al., 1967).



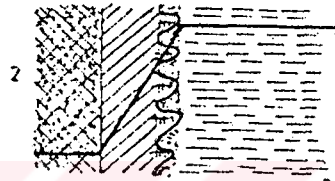
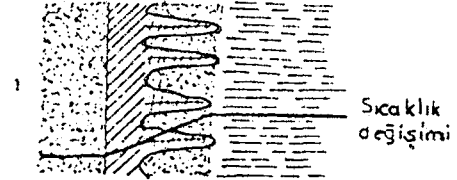
Döküm metalinin katılaşma sıcaklığının etkisi.

- 1- Katılaşma sıcaklığı düşük: Kristaller uzun, katılaşma bantı geniş beslenme uygunsuz.
- 2- Katılaşma sıcaklığı yüksek: Kristaller kısa, katılaşma bantı dar, uygun beslenme.



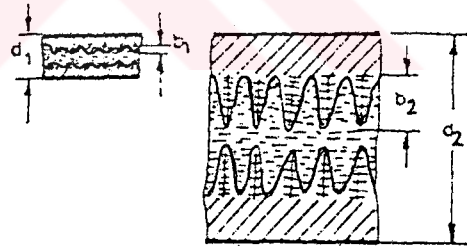
Döküm metalinin ısı iletiminin etkisi.

- 1- Metalin ısı iletimi yüksek: Depo edilmiş ısının kristallere hızlı iletimi, yavaş kristal büyümesi, uzun kristaller, geniş katılaşma bantı, uygun beslenme.
- 2- Metalin ısı iletimi düşük: Kristallere ısı iletimi yavaş, kristallerin soğuması hızlı, kristal büyümesi hızlı, kristaller kısa, katılaşma bantı dar, uygun beslenme.



Kalıp malzemesinin soğutucu etkisi.

- 1- Soğutucu etkisi az ise: Geniş katılaşma bantı, uygun beslenme.
- 2- Soğutucu etkisi şiddetli: Katılaşma bantı dar, uygun beslenme.



Döküm parçanın kalınlığının beslenmeye etkisi.

Kalınlık arttıkça, dendritlerin büyümesi için daha uzun zaman elde edilir. Dendritler daha fazla uzayabilir. Daha geniş katılaşma bantı meydana gelir ve beslenme güçleşir. Belli bir kalınlığın ötesinde, dendritler çok uzar ve kristaller arasındaki kısımlar, hatasız olarak beslenemezler. Kalınlığı fazla levhalarda beslenme azalması Şekil: 31-34'te gösterilmiştir. Genişliğin yüksekliğe oranı azaldıkça, besleme uzaklığı da azalmaktadır.

Şekil 2.3. Katılaşma faktörleri etkisi (Wlodawer'den, 1985).

2.2.2.6. Şekil faktörü

İç ve dış köşeler özel problemler çıkarabilirler. Söz konusu bölgelerde, ısının çıkarılabileceği görece daha büyük yada daha küçük soğuma yüzeyleri nedeniyle, sorun, erken veya geç katılaşma biçiminde kendini gösterir. İç köşelerdeki düşük katılaşma hızlarının karşı etkisi bu noktalarda soğutucu dilimler kullanarak giderilebilir.

2.2.2.7. Akıcılık

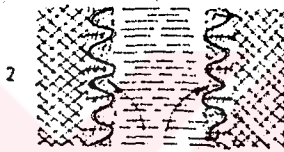
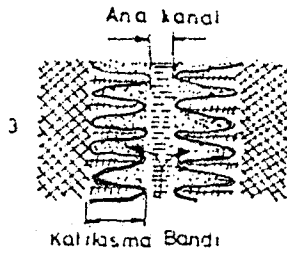
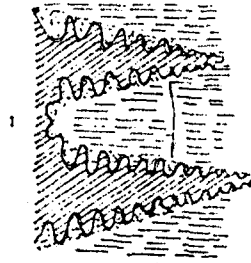
Döküm sonrası, metal ve alaşımların katılaşma mekanizmasına etki eden değişkenlerden biride ergimiş metalin akıcılığıdır. Akıcılık ergimiş metalin kalıp boşluğunu doldurabilme yeteneğidir. Akıcılık üzerine etki eden faktörler şunlardır.

1. Alaşım kompozisyonu
2. Malzemenin sıcaklığı
3. Sürtünme katsayısı
4. Yüzey gerilimi
5. Oksit tabakası
6. Yüzeyde dışarı gaz tabakası
7. Curuf parçaları

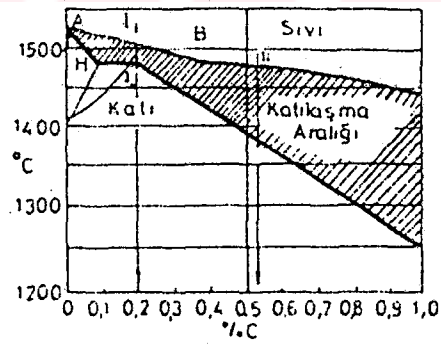
Çeliğin akıcılığı üzerine etki eden en önemli faktörler döküm sıcaklığı ve bileşimdeki elementlerdir. Bu elementlerin enbaşta gelenleri karbon ve silisyumdur. Akıcılık sözkonusu elementler ve döküm sıcaklıklarıyla doğru orantılı değişmektedir.

2.2.2.8. Aşılama

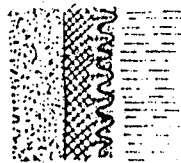
Yapısal fazla soğumayı sağlamak amacıyla alaşım elementlerinin uygun bir kontrolü ve heterojen çekirdeklenmeyi hızlandırmak için ilave edilen aşılama elemanlarının kullanımıyla heterojen çekirdeklenme ilerletilirken görece daha iyi taneli bir yapı elde edilebiliriz. Aşılama malzemesi kullanımıyla çekirdeklenme için gereken fazla büyüme oranını sınırlayacak konsantrasyon gradyantını sağlayan elementler ilave



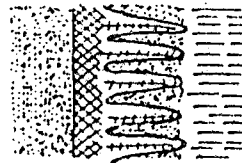
Kristaller arası kama açısının artmasıyla, katılma bandı artmaktadır.



Demir karbon diyagramının demir köşesi



I-I Hatında
katılma bandı
(çelik 0,2 %C)



II-II Hatında
katılma bandı
(çelik 0,52 %C)

Şekil 2.4. Katılma aralığının katılma bandı üzerindeki etkisi
(Wlodawer'den, 1985).

edilmişse çok küçük eş eksenli taneler oluşabilir. Böylece daha fazla tanelerin çekirdeklenmesine gidilmiş olur (Heine et al., 1967; Flemings, 1974; Wlodawer, 1985; Kınikoğlu, 1981)

2.2.3. Çekme

Alaşımın çekme özellikleri, donma boyunca dendritik bir yapı oluşturduklarından karmaşıktır. Sadece son sıvının katılaştığı yerde bölgesel çekmelerin oluşacağı beklenemez. Yanısıra, daisy yapının kolları arasında hapsolan sıvı nedeniyle, mikro gözeneklere yol açan çekmeler oluşur. Katılma sırasında metal çekmesi, metalin katı halde soğuma sırasındaki büzülmesinden farklıdır. Çekinti boşlukları, metalin sıvı halden katı hale geçerken hacimini küçültmesinden ileri gelir. Çekinti miktarı, metalin bileşimine, uygulanan işleme ve döküm sıcaklığına bağlıdır (Şekil 2,6).

Çelik dökümler daima çekinti gösterirler ve çekinti miktarları karbon ve alaşım elementi içeriklerine göre değişir. Bir döküm parçada katılma çekintisi tipi, çekinti miktarı kadar önemlidir. Esas olarak üç tip katılma çekintisinden söz edilebilir. Bunlar akışın türüne bağlı olarak, yani katılma aralığına bağlı olarak değişirler. Dar katılma aralığına sahip çelik dökümlerde genel olarak büyük hacimli çekinti boşlukları oluşur. Dolayısıyla büyük besleyici tasarımı gerektirir.

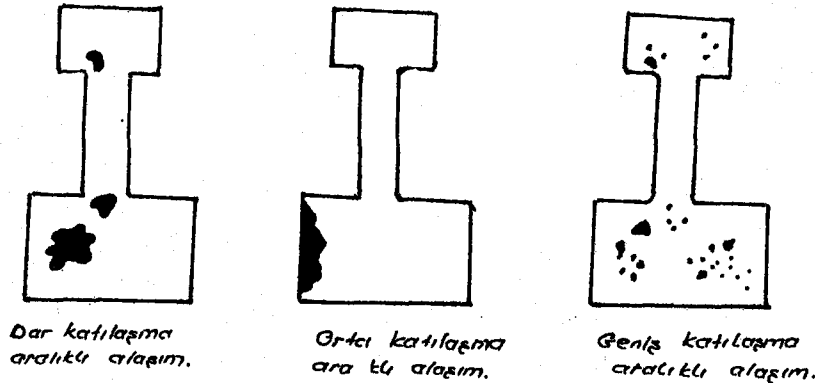
Bu tür alaşımlar iki yolla katılırlar. Birincisi, kalıp duvarlarından içeriye doğru gelişen ilerleyen katılma ve dökümün metalurjisine bağlı olmayıp, geometrisine bağlıdır. İkincisi, döküm parçanın son kesitinden başlayıp besleyiciye doğru gelişen yönlü katılma ve ilerleyen katılma, yönlü katılma için besleme yolunu kapatırsa, besleme işlemi yerine getirilemeyeceği için parçada toplu çekintiler kaçınılmazdır. Eğer, ilerleyen ve yönlü katılma arasında uygun tasarımlarla eşgüdüm kurulabilirse, döküm hatasız olacaktır. Bu anlamda, tasarım yönlü katılmaya göre gerçekleştirilmelidir.

Dar katılma aralıklı alaşımlarda besleyici ölçüsü, orta ve geniş aralıklı olanlardan daha büyüktür. Bunun nedeni besleyicinin kendi kendine ve besleyici bağlantısının aynı zamanda ilerleyen katılma

göstermesidir. Buda onun daha büyük olmasını gerektirirki, döküm parçadaki çekintiyi besleyebilmesi için yeterince uzun süre sıvı kalabilsin.

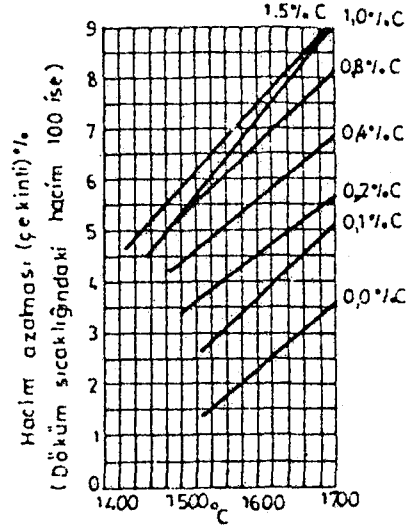
Öte yandan, geniş katılaşma aralıklı alaşımlarda katılaşma, kalıp duvarlarından itibaren sadece ilerleyen ve yönlü katılaşma olmayıp aynı zamanda kalıp duvarlarından uygunsuz türde bir katılaşma daha meydana gelir. Diğer bir deyişle, katılaşma taneleri, kalıp duvarlarının termal gradyanının yardımı olmadan kesitin orta kısımlarında da başlar. Ne kadar büyük besleyici veya ne kadar çok sayıda besleyici konulursa konulsun, besleme metalinin yolu, uygunsuz olan bu katılaşma tarafından kesilebilecektir.

Geniş katılaşma aralıklı alaşımlarda tasarım fikri esas olarak döküm parçadaki sıcak kütleleri yaymaktır. Böylece döküm kesitleri mümkün olduğu kadar ısı eşitliğe getirilir. Bu teknik çekintiyi mikroskobik olarak döküm parçanın bütün iç kısmına dağıtır. Bu mikroskobik boşluklar her ne kadar istenilmeyen bir durum ise de onların boyutlarının küçüklüğü ve dağılmış olmaları dolayısıyla mekanik özelliklere çok az bir etkileri olur.



Şekil 2,5 Katılaşma aralığı ölçüsünün çekinti boşluğu üzerindeki etkisi (Yaman, 1986).

Özet olarak, katılaşma aralığının ölçüsü, çekinti boşlukları üzerindeki etkileri aşağıdaki durumları sergiler. Bunlara ilişkin resimlemeler şekil 2,5'de verilmiştir.



Çekme oranı sıcaklık ve karbon bileşimiyle doğru orantılı olarak artmaktadır.

Alaşım elementlerine bağlı olarak çelgin çekmesi

1. 1600° C'da çekinti değişiklikleri (Benedicks ve Ericson'a göre)

Alaşım elementi	% 1 alaşım elementi için çekme değerinin yüzde olarak değişimi
W	- 0.53
Ni	- 0.0354
Mn	+ 0.0585
Cr	+ 0.12
Si	+ 1.03
Al	+ 1.70

Şekil 2.6. Çelik dökümlerde çekme oranına alaşım elementlerinin etkisi (Wlodawer'dan, 1966).

- a) Dar kat. aralıklı alarım büyük hacimli çekinti başluğu oluşturur.
- b) Ort.kat. aralıklı büyük hacimli fakat yüzey çekintisi şeklinde çekintiler oluştururlar.
- c) Geniş kat. aralıklı almarımlar büyük hacimli fakat kk boşluklar halinde dağınık çekintiler oluştururlar (Yaman, 1986).

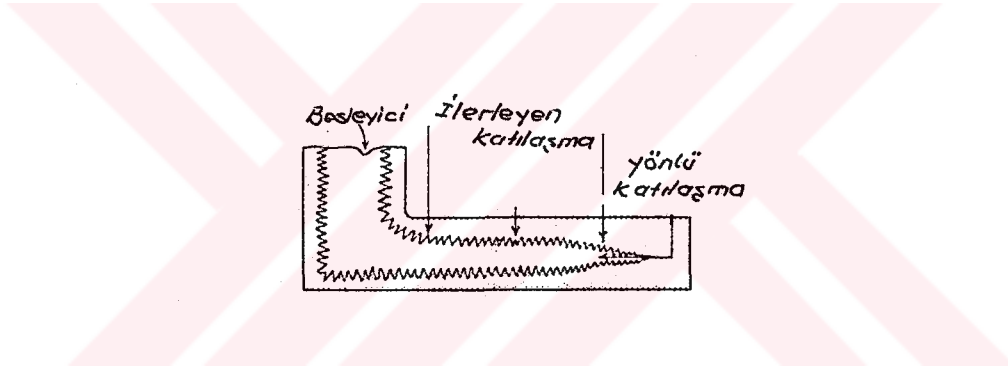


3. YÖNLÜ KATIŞMA VE DÖKÜM TASARIMI

3.1. Yönlü Katılma

Yönlü katılma, donmanın besleyiciden en uzak uç noktalardan başlayıp ardından besleyiciye doğru ilerleyeceği süreçte, uygun tasarımlarla soğuma hızını kontrol etme sürecidir (Şekil 3,1).

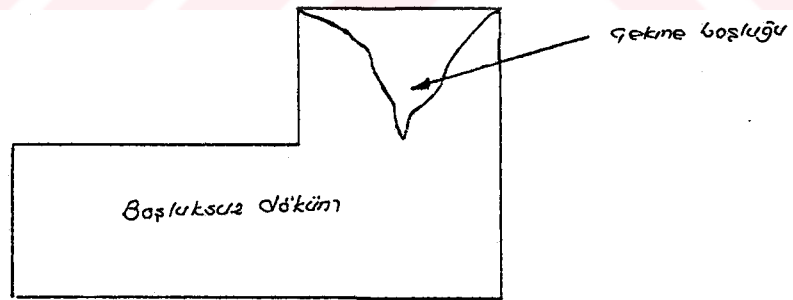
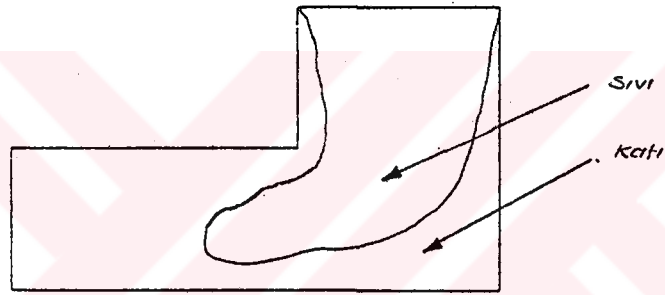
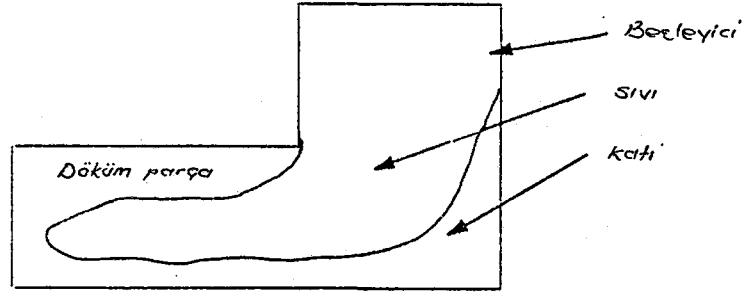
Öte yandan, katılma karakteristikleri gereği, dalsı büyümenin dökümün dış yüzeyinden içeriye doğru geliştiği bir gerçektir. Kısmi olarak katı ve sıvı bölgeleri barındıran dıştan içe doğru büyümenin şartları ilerleyen (progressive) katılma olarak kabul görür (Şekil 3,2).



Şekil 3,2 Katılma sürecinde yönlü ve ilerleyen katılmanın gelişimi

İlerleyen katılma donma mekanizmasının bir sonucudur ve önüne geçilemez. Buna rağmen oluşma ölçüsü kontrol edilebilir. Örneğin, dökümün hızlı soğutulması, donmanın başlama ve bitiş arasında dar bir aralığa izin verir ki buda yüksek dereceden ilerleyen katılma yolu açar tersi halde, yavaş soğuma düşük dereceden ilerleyen katılma yolu açar.

Açıkça görüleceği üzere, boyutsal uygunlukta ve boşluksuz üretim için çekme dengelenmesi katılma adımları boyunca sağlanmalıdır. Yani, sıvı-katı çekmesi yönlü katılmanın ilerletilmesiyle dengelenebilecektir. Söz konusu süreçte donma besleyiciden en uzak uç noktalardan başlar



Şekil 3.1. Katılaşmanın besleyiciye doğru ilerlemesi.

ve ardından besleyiciye doğru ilerler. Besleyici, katılma boyunca döküm boşluklarına sıvı metal beslemesi uygulamak için en son katılacak biçimde tasarlanmalıdır. Bu süreç çekme boşluklarının besleyicide toplanmasını beraberinde getirir. Yönlü katılmanın ilerletilmesinde aşağıdakiler birer yol olabilir;

1. Uygun yerleştirilmiş besleyici ve yolluklar.
2. Stratejik noktalardaki soğutucular.
3. Diğer yönlü katılma araçları ve iyi bir döküm pratiği.

Bu çalışmada, besleyici tasarımıyla ilgilenilecek ve salt sıvı-katı çekmesi adımı dikkate alınacaktır.

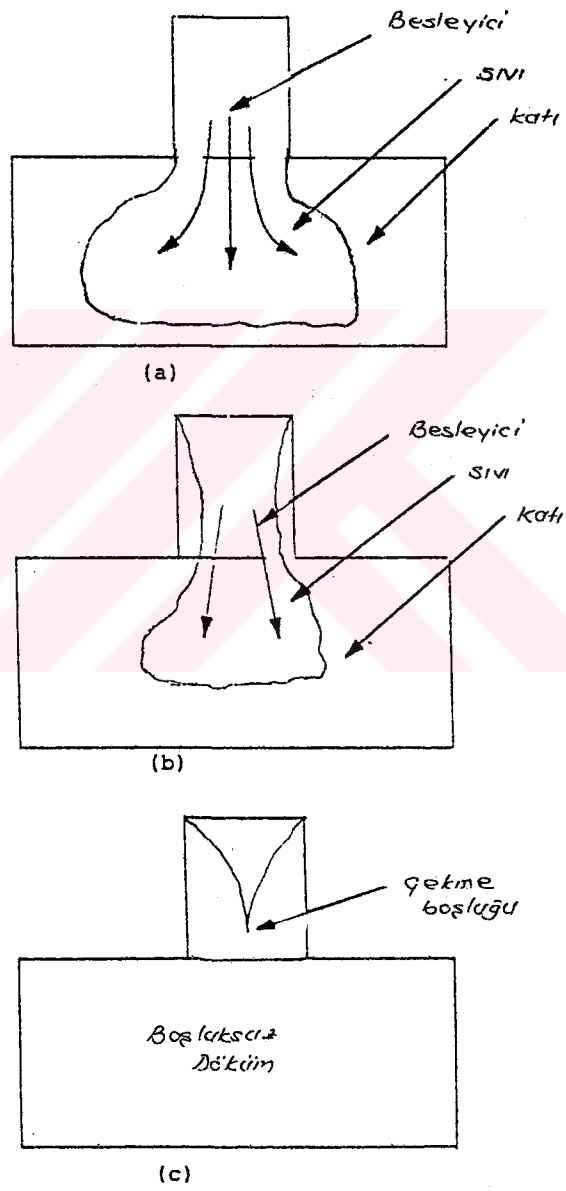
3.2. Döküm Tasarımı

Döküm tasarımı, besleyici-yolluk sisteminin tüm karakteristiklerinin belirlenmesidir. Bu besleyici hacmi ve döküm parçaya göre pozisyonu, soğutucu hacmi ve konumları yolluk boyutları ve pozisyonu ve dolgu, egzotermik malzeme gibi, kullanılan diğer tüm yönlü katılma tekniklerinin belirlenmesini içerir.

İyi bir tasarım sistemi;

1. Metalin, kalıp duvarlarının erozyonunu önlemek için, kalıp boşluğuna minimum miktarda çalkantıyla dolmasını,
2. İstenmeyen çekinti boşluklarının önlenmesi için yönlü katılmayı,
3. En az çaba ve maliyet için, tasarım, kalıplama, döküm ve temizleme işlemleriyle uyum sağlamalıdır.

Dökümhanelerin, çekme boşluksuz döküm üretmede ayrı ayrı yada bütünleşik olarak yararlanabilecekleri temel olarak üç farklı araç vardır. Bunlar besleyiciler, soğutucular ve dolgu kullanımıdır. Daha öncede belirtildiği gibi söz konusu araçlar kullanılmadığında, hemen hemen bütün dökümler çekme boşlukları taşıyacaklardır. İzleyen paragraflarda bu araçlar tartışılacaktır.



Şekil 3.3. Katılaşma üzerinde besleyici etkisi.

3.2.1. Besleyici tasarımı

Yönlü katılaşmayı sağlamada en yaygın yaklaşım besleyici kullanımındır. Bilindiği gibi, besleyicilere, sıvı ve sıvı-katı çekmelerini dengelemede ihtiyaç duyulur. Gereken metal beslemesi miktarı, alaşım yapısı ve katılaşma mekanizmasına bağlıdır. Çelik alaşımlarda çekme oranları, oldukça yüksek değerler sergilerler ve bu yapı besleyici kullanılmadığı durumda bir veya daha fazla çekme boşluğu gösterebilecektir. Bunlara ilişkin bilgiler, bölüm 2'de verilmiştir. Bu boşluklar dolayısıyla ilgili döküm hatalı olarak değerlendirilecektir. Şekil 3,3' de sağlam döküm koşullarının sağlandığı bir besleyici uygulaması görülmektedir.

Çekme hatalarına ilişkin daha ciddi problemlerde X-ışınlarıyla yapılacak testlerle daha sağlıklı sonuçlar elde etmek mümkündür.

İzleyen faktörler besleyici etkinliğini belirlerler.

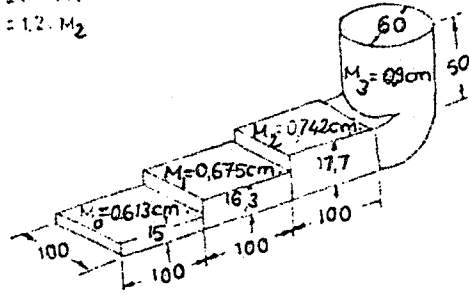
1. Besleyici biçimi
2. Besleyici hacmi
3. Besleyici konumu
4. Besleyicinin döküm parçayla bağlantı yerleri
5. Egzotermik malzeme kullanımı.

Besleyicilerin birincil fonksiyonları, katılaşma boyunca dökümü beslemesidir. Besleyicide aranan özellikler genellikle dökülen metalin türüne bağlıdır. Çelik dökümler, sağlam bir döküm elde edebilmek için büyük bir özenle hazırlanmış besleme sistemlerine ihtiyaç gösterirler. Diğer detaylara ne kadar dikkat edilirse edilsin, yeterli bir besleme şekli olmaksızın sağlam bir döküm yapılamayacağı için, besleyici ve beslediği döküm parçası bütünleşik bir sistem olarak düşünülmelidir. Çelik için geçerli çekme oranlarına bakılarak, besleyicilerin oldukça basit olabileceği ve çekmeyi karşılayabilmek için sadece küçük hacimlere ihtiyaç olduğu düşünülemez. Aksine, besleyicideki metal, kalıp boşluğundaki döküm metali ile aynı katılaşma yasalarına bağlı olduğundan, etkili olabilmesi için bir besleyicinin en azından döküm parçası kadar sıvı kalabilmesi ve dökümü bu süre içerisinde beslemesi gerekmektedir.

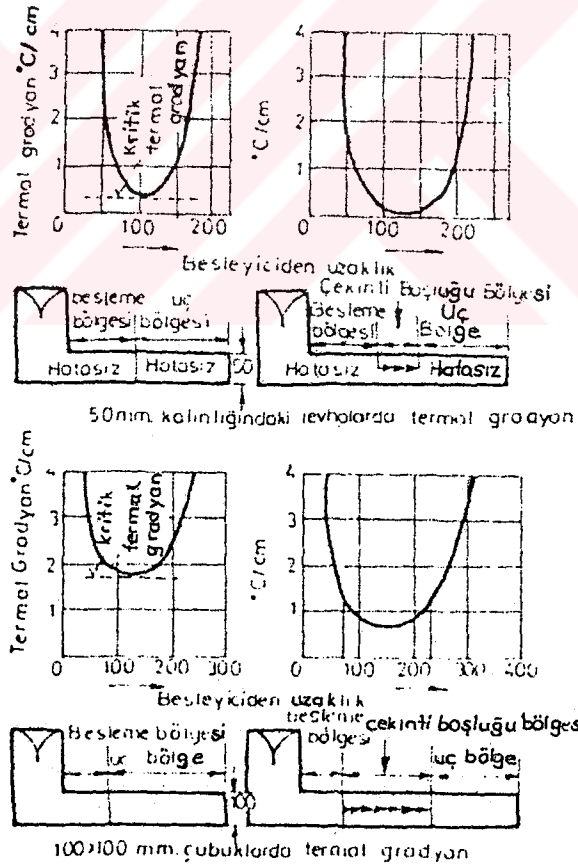
$$M_1 = 1.1 \cdot M_0$$

$$M_2 = 1.1 \cdot M_1$$

$$M_3 = 1.2 \cdot M_2$$



Yeterli bir besleme için,
basamaklı ölçüme gerekli
sartlar sağlanmıştır.



Şekil 3.4. Pellin'ye göre levha ve çubuklarda termal gradyanlar
(Wlodawer'dan, 1985).

Verilen döküm şeklinde, yüzey alanı/hacim oranı ilişkisiyle uygun besleyici boyutlarının sağlanması biçiminde özetlenebilecek geleneksel yaklaşım, döküme karşılık gelen besleyici konumuna ilişkin çok fazla bir derinliğe sahip değildir. Ortada varolan en önemli inceleme besleyicinin besleme aralığıdır. Wlodawer ve Ruddle gibi farklı kaynaklar bu konudaki deneysel verileri aramış bulunuyorlar (Wlodawer, 1966; Ruddle, 1978).

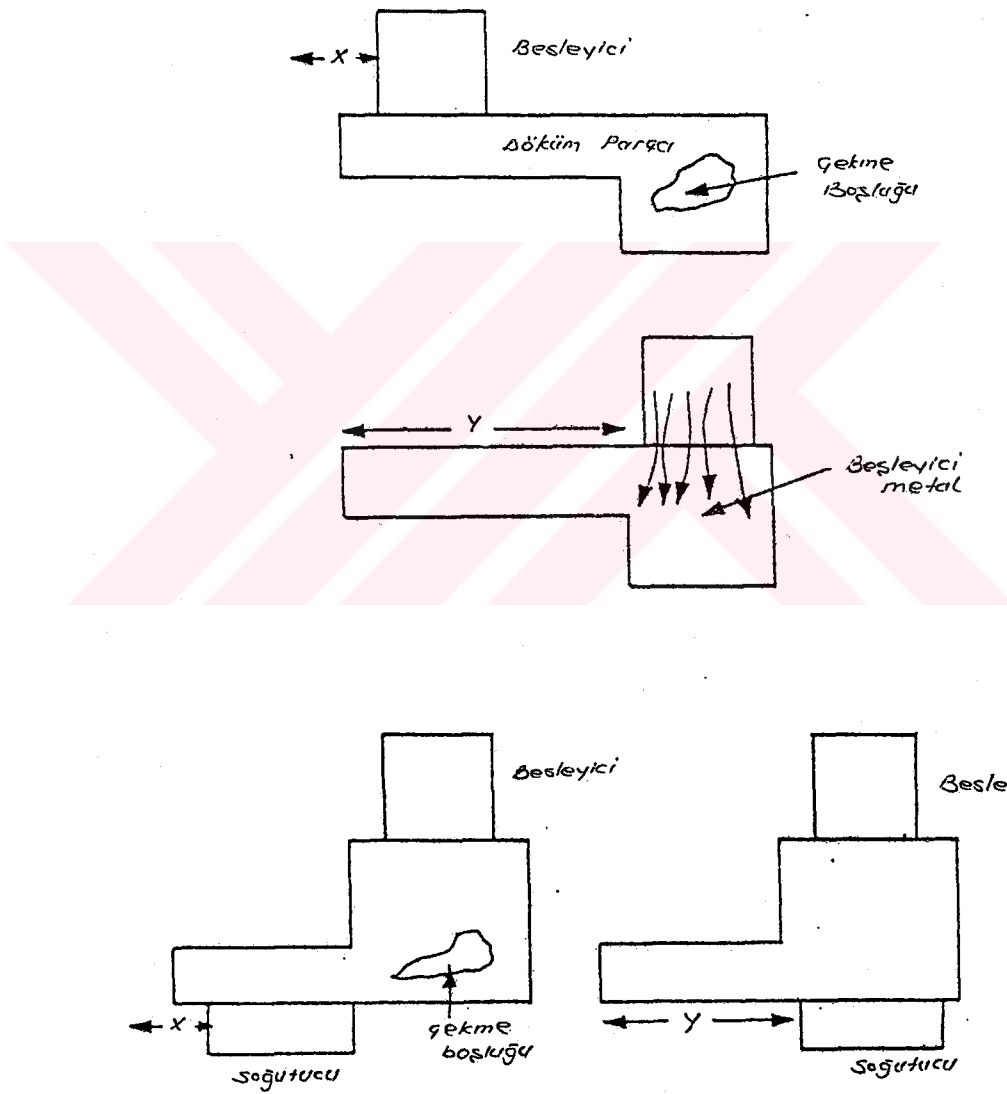
Besleyici yerleşimine ilişkin diğer bir inceleme uç bölge etkisi yönlüdür. Bu yaklaşımın ortaya koyduğu gerçek, özellikle çubuk ve plakalarda, dökümün her bir uç noktasından belli uzaklıklarda besleyici kullanılmadığında da sağlamlık koşulları sağlanabilecektir. Söz konusu uç noktalardan ısı çıkarma büyük olacağından, yönlü katılma bu noktalardan gelişecektir. Pellini uç bölge, ısı gradyan ilişkisini araştırmıştır (Şekil 3,4).

Bir besleyici tarafından beslenebilmekte olan bölgeye, besleme bölgesi denir. Bir besleme bölgesine tek besleyici gereklidir. Aynı besleme bölgesine ikinci bir besleyici koyulduğunda, ekonomik olmadığı gibi zararlı sonuçları da beraberinde getirebilir. Öte yandan, bu besleyicilerden biri diğerinden küçükse, küçük olan daha önce katılacak, beslenmesi büyük olandan karşılanacaktır. Böylelikle, büyük besleyici içinde oluşan çekinti boşluğu, döküm parçası içine kadar uzayabilecektir. Uç bölge etkisi olan beslenme aralığı, olmayanlara göre daha geniştir.

Özet olarak, söz konusu yaklaşım içerisinde, döküm parça, şekline göre bir veya daha fazla besleme bölgesine ayrılarak, her sahaya uygun ölçülerde besleyiciler yerleştirilir.

3.2.2 Soğutucu Kullanımı

Daha önceki bölümlerde, katılma sürecinin yönlülüğünü besleyiciye doğru yayarak, yönlü katılmanın ilerletilmesi göz önünde bulunduruldu. Ardından besleyicilerinde, bu yolda araçlandırılabilmesinin ve sıvı-katı çekmesini karşılayacağına değinildi. Benzer bir sonuca, karşı bir yolla, yani sıvı-metal kaynağından uzak uç noktalara



Şekil 3.5. Katılaşma üzerinde besleyici ve soğutucu etkisi.

soğutucu koyarak varılabilir. İç ve dış olmak üzere iki tür soğutucudan söz etmek mümkündür. Dış soğutucular, kalıplanırlar ve döküm boşluğu duvarlarında yer alırlar. Değişik tür (demir, prınç vs.) malzemelerden olabilen soğutucular, döküm boşluğundaki, stratejik noktalara yerleştirilerek ilgili yerlerdeki soğuma hızını artırırırlar. Ancak, soğutucu konulmuş bölgenin, soğutucusuz noktalardan ısıyı daha hızlı bir biçimde alması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 3,5'de yönlü katılma üzerindeki besleyici ve soğutucu etkisi gösterilmiştir.

Soğutucular, döküm veya dökümün bir kısmının katılma için gereken zamanı azaltırırlar. Bu olanak, daha küçük besleyicilerin uygulamasına izin verir. Bu anlamda, soğutucu kullanımı, gereken besleyici boyutlarını düşürerek verimliliği artırır.

Soğutucu konulan yüzeyde katılma, komşu kesite göre daha erken başlar, dolayısıyla katılma ilerlemesinde bu yüzeylerde daha hızlı gelişir.

Wlodawer, konuya ilişkin çalışmalarında uygun soğutucu boyutlarının hesaplanmasına değinmiştir. Buna göre, V hacime sahip döküm soğutucu kullanıldığında azaltılmış katılma zamanı nedeniyle V^1 hacimli döküme eşit bir durum sergileyecektir ($V > V^1$). Böylece soğutucu uygulanan, döküm hacminde açık bir azalma sağlanabilecektir. Benzer olarak, ısı çıkarımı bakış açısından hareketle, ağırlığa karşı gelen ısı miktarı, soğutucusuz gerçek döküm hacmi ve soğutuculu döküm hacmi arasındaki farklılık, soğutucu uygulamasıyla gerçekleştirilebilecektir. Yani soğutucu uygulaması, görece hacim küçülmesi yaratırken yanı sıra, görece yüzey alanı büyümesini de beraberinde getirecektir. Buda, küçültülmüş döküm modülünün ($M = V / A$) üzerinde, yeni tasarımların zeminine yol açacaktır. Bu anlamda, değişiklik gerek döküm parça modülüsünü, gerek döküm hacmini azaltma yönlü uygulanabilir. Sağlanan azalmalarla, yeni, daha küçük besleyiciler kullanılabilir. (Wlodawer, 1985)

Bu bağlamda, kabaca, her bir soğutucunun, bir besleyici görevini yerine getirebileceği kuralından söz edilebilir. Açıkça görüleceği üzere,

soğutucu kullanımıyla, besleyicilerden tasarruf edebilme imkanı doğmaktadır. Öte yandan, dökümdeki besleyici uygulamasının güç olduğu bölgelerde, soğutucu kullanımı mümkün olabilecektir.

3.2.3 Döküm Dolgusu

Dolgu yönlü katılaşmaya olanak tanıyan bir metod olarak, orijinal döküm dizaynını bir miktar değiştirir. Yani, yönlü katılaşmayı ilerletmek için fazladan metal döküme ilave edilir. Açık olduğu üzere, bu gibi pay verme araçlarıyla, işleme maliyetleri artırılmış olacaktır.



4. RING ŞEKLİNDEKİ ÇELİK DÖKÜMLERDE BESLEYİCİ UYGULAMASI

Her farklı geometrinin özel problemler sunacağı açıktır. Dolayısıyla, varolan durum içerisinde, her tür döküm parçaya cevap verebilecek esnekliğe sahip bir çalışmadan söz etmek oldukça zordur. Bu nedenle, bu çalışmada belli bir formdaki parçalar üzerinde durulmuştur.

Ring şeklinde yada dişli, tekerlek ve makara gibi bunların modifikasyonu olan parçalar besleyici hesaplamalarında büyük çoğunluğu kapsarlar (Güçlü, 1984). Çok geniş bir uygulama yelpazesinde, temel bileşen durumundaki, ring yapı, hem bu özelliğinden dolayı, hemde, bu çalışmada söz konusu karmaşık yapılara geçişteki elverişliliğinden dolayı ele alınmıştır.

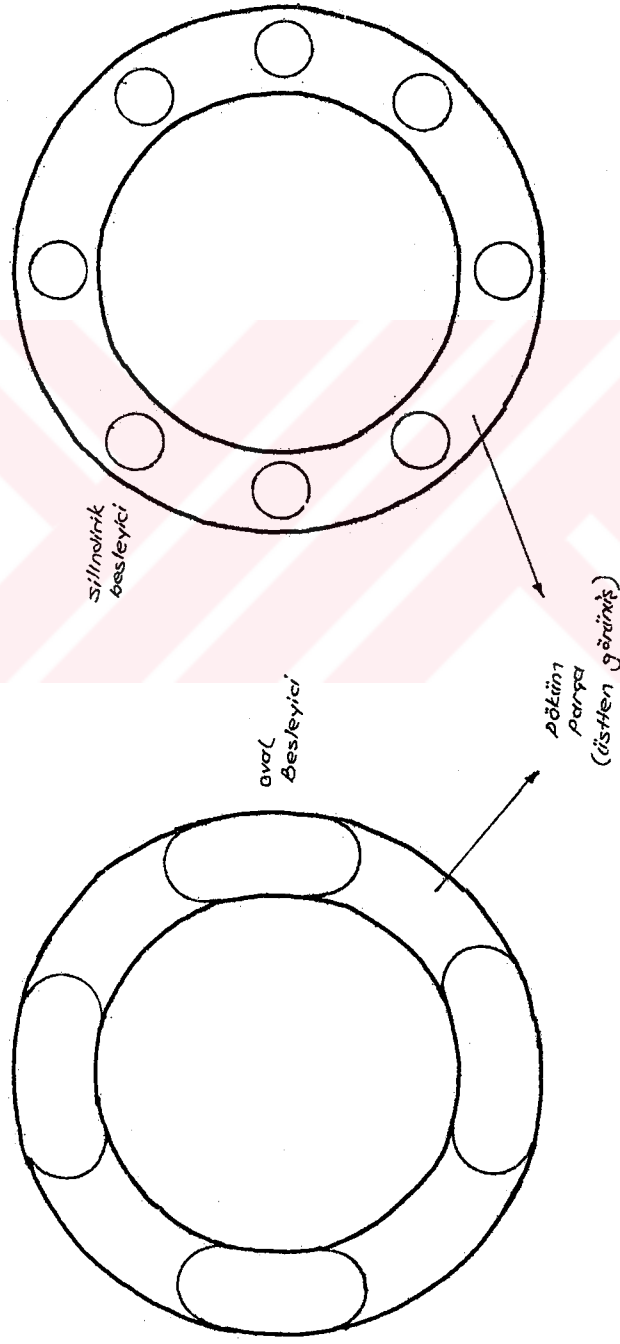
Böyle olmakla birlikte, çalışma kolaylıkla farklı tür malzemelere uyumlaştırılabilir. Aynı zamanda, daha öncede değinildiği gibi, ring, yapı modifikasyonlarına geçişte bir basamak olarak alınmıştır. Bekleneceği üzere, amaç, karmaşık döküm parçalarda tasarım optimizasyonudur.

Çalışmada, soğutucu, dolgu ve egzotermik malzeme kullanımı gibi beslemeye yardımcı, diğer yönlü katılma araçlarından yararlanılmayacaktır. Kullanılacak besleyiciler, üst besleyici olup, döküm parçanın üst bölümüne yerleştirilecektir.

4.1. Araştırma Hedefi

Bu çalışmada, yönlü katılma araçlarından besleyicilerin, farklı kombinasyonlarını kullanmanın maliyet etkilerinin, göz önüne alınması hedeflenmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi yönlü katılma araçlarının farklı kombinasyonları seçenек uygun döküm tasarımlarını verebilecektir.

Şekil 4.1'de, Ring Şeklindeki döküm parçada yönlü katılışmaya iki seçenек yaklaşım görülüyor. Her iki yaklaşımda, benzer olarak sağlam döküm sonuçlarını verecektir.



Şekil 4.1. Yönlü katılaşmaya iki seçenek yaklaşım.

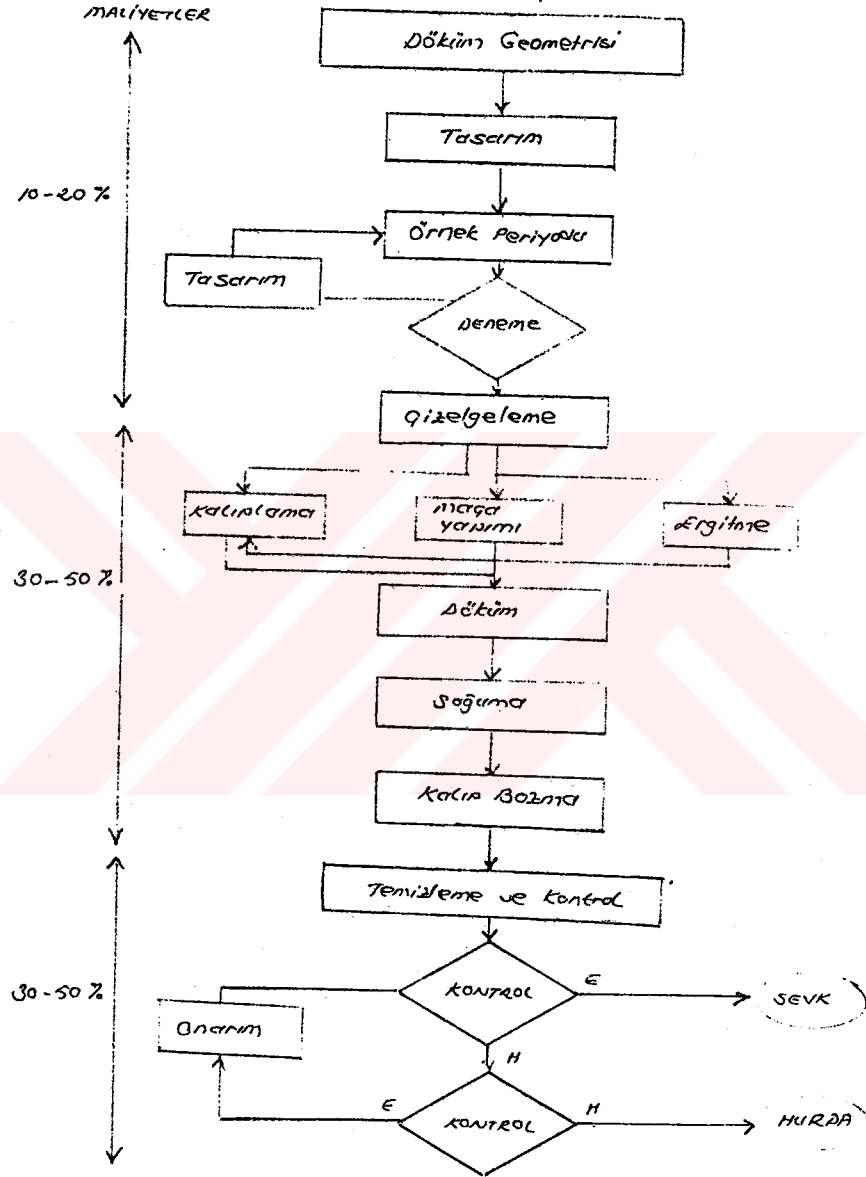
Net döküm parça ağırlığıyla, dökülen metal ağırlığı oranını verim olarak aldığınızda, ilgili oran dökümhanenin başarı ölçütüdür. Çelik dökümhanelerindeki gözlemler, verimliliğin % 30- % 70 aralığında değiştiğini göstermektedir. Doğal olarak bu durum, döküm geometrisine, alaşım türüne ve kullanılan yönlü katılma araçlarının etkinlik derecesine bağlıdır. Ancak, yinede şu gerçek görülmektedir ki, toplam döküm ağırlığının, büyük olasılıkla % 50'den çok fazlası döküm donanımı için kullanılmaktadır. Bu durum, daha yüksek maliyet ve kullanılabilir kapasitenin atıl kalması demektir. Şekil 4,2'de dökümhane süreç akış şemasında, maliyetlere ilişkin bilgiler verilmiştir. Şu da bir gerçektir ki rekoltenin maksimize edilmesi dökümhanede tasarrufu ve kazancı beraberinde getirebilecektir. Bununla beraber donanım tasarımında dikkatli olunmalıdır, yani, rekoltenin maksimizasyonu hedeflenirken nitelikli döküm üretiminin gereklerinden sapılmamalıdır.

Bu çalışmada, benimsenen maliyet ölçütüne göre besleyici tür, sayı ve boyutlarını belirlemede bilgisayar destekli sayımlama yöntemini kullanmak hedeflenmiştir. Ardından, besleyici tasarımındaki optimizasyon arayışında geliştirilecek matematiksel modelin, ring türü döküm parçaya yönelik sonuçları değerlendirilecektir. Bağlı olarak, yöntemin etkinliği, getirdiği esneklik ve kolaylıklar tartışılacaktır. Bekleneceği üzere, yapılan bu çalışmayla daha karmaşık döküm parçalar için geliştirilebilecek modelin olurluluğu araştırılacaktır.

Bu bağlamda formülasyon, silindirik ve oval besleyici ilişkisinde, mevcut kısıtlar altında, ergitme ve temizleme maliyet parametrelerinin içerildiği maliyet fonksiyonunda minimizasyonu arayacaktır.

4.2. Problem Formülasyon

Önceki bölümlerde de değinildiği gibi yönlü katılmanın ilerletilmesinde besleyici kullanımı önemli bir araç durumundadır. Öte yandan, hacimsel çekmenin karşılanmasına kaynaklık etmesinden dolayı ikili bir görev üstlenir. Bu anlamda, döküm tasarımında temel bir araçtır.



Şekil 4.2. Dökümhane süreç akışı şeması (Ronald'dan, 1983).

Tasarımda, sürecin kısıtlarını geleneksel yaklaşım şekillendirmiştir. Buna göre, etkili bir besleme için, besleyici tarafından üç şartın yerine getirilmesi gerekmektedir. Besleyiciler söz konusu ikili görevlerinden dolayı;

1. Besleyici hacimsel olarak yeterli olmalıdır.
2. Besleyici, döküm parçadan sonra katılmalıdır.
3. Beslenmek istenen alan, besleme bölgesi içerisinde olmalıdır.

Çalışmada, minimum maliyetli besleyici tasarımına yönelik besleyici türü, boyutları ve sayıları karar değişkenleri olarak alınmıştır. İlgili karar değişkenleri;

1. Besleyici türü
2. Besleyici boyutları
3. Besleyici sayısı, olarak alınmıştır.

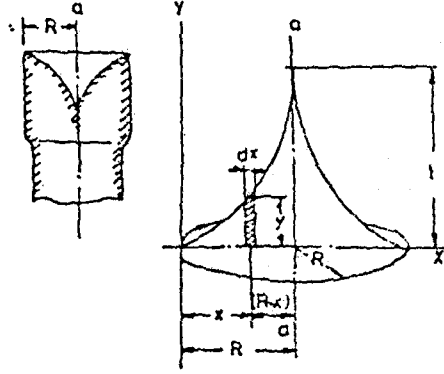
Modelin kurulması aşamasında şu varsayımlar yapılmıştır.

1. Hacimsel yeterlilik, katılma zamanı ve besleme bölgesine ilişkin kısıtlamalar, geleneksel yaklaşımlara dayanmaktadır.
2. Döküm parça üzerinde aynı tür besleyici uygulamasına gidilecektir ve besleyiciler eşit aralıklarla yerleştirileceklerdir.
3. Alaşım kompozisyonuna bağlı olarak, çekme oranı ve yoğunluk kullanıcı tarafından tanımlanmak durumundadır.
4. Yönlü katılma üzerinde, besleyici dışındaki diğer yönlü katılma araçlarının etkisi göz önüne alınmamıştır.

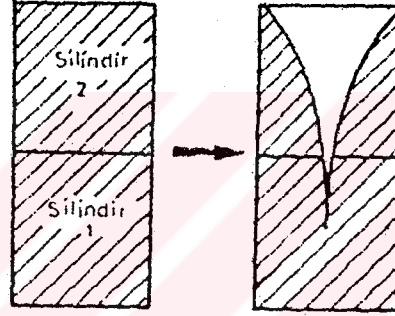
Bu bağlamda, tasarıma ilişkin süreç kısıtları, dört temel grupta ele alınmıştır.

4.2.1. Kısıt - 1 : Hacimsel yeterlilik kısıtı

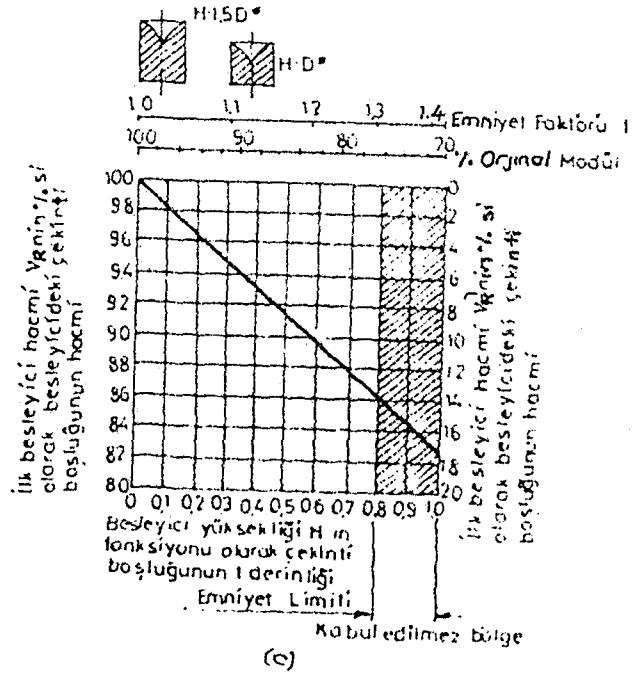
Silindirik oval besleyiciler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, ilgili besleyicilerde katılma sonrasında çekme boşluğunun, yaklaşık bir



$$\text{Çekinti konisinin hacmi} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot t}{6}$$



Aynı büyüklükte iki silindire katılma çekintisi 2. silindire uzanacaktır.



Şekil 4.3. Besleyicide boşluk derinliğinin fonksiyonu olarak çekinti boşluğu hacmi (Wlodawer'dan, 1966).

koni olduğu yönündedir. Ve koni derinliği, besleyici yüksekliğinin 0.8'i olduğu durumda, çekinti konisinin hacmi $0.14*VR$ olmaktadır (Wlodawer, 1966; Johns, 1980).

Söz konusu besleyici türlerinin en fazla $0.14*VR$ kadarının çekinti boşluklarını karşılamak üzere kullanılabileceği açıktır. Besleyicide, döküm parçayla aynı katılma yasalarının etkisi altında bulunduğundan, katılma sürecinde besleyicide çekecektir. Yani, besleyici ve döküm parçadaki hacimsel çekmeler en fazla $VSC = 0.14*VR$ hacmiyle karşılanmak zorundadır (Şekil 4,2). Dolayısıyla ilgili koşulu sağlamak üzere,

$$X1*((0.14*VR)-(S*VR))-(S*VC) \geq 0$$

$$X1*((0.14*VR)-(S*VR))-(S*VC)-(0.1*VR*X1) \leq 0$$

yukarıdaki kısıtlara modelde yer verilmiştir.

4.2.2. Kısıt - 2 : Katılma zamanı kısıtı

Besleyicilerin yönlü katılmanın ilerletilmesi ve hacimsel çekintileri karşılama sürecinde görevlerini sürdürüyor olmalarının şartı bu süre içerisinde sıvı kalmasına bağlıdır.

Chrovinov'un katılma zamanı ilişkisinden hareketle ve katılma boyunca besleyicideki modül değişiminin dikkate alınmasıyla, besleyici son modülüsünün, döküm modülüsünden büyük ve eşit olmasının, yeterli olacağı söylenebilir.

Bu nedenle, katılma zamanı kısıtı, $MRF \geq MC$ biçiminde oluşturulmuştur.

$$\frac{VRF}{ARF} - \left(\frac{VC}{AC - (X1*AT)} \right) \geq 0$$

4.2.3. Kısıt - 3 : Besleme bölgesi kısıtı

Tek bir tür ve döküm parça üzerinde eşit aralıklarla besleyici uygulamasına gidileceğinden, her bir besleyici, genişliği artı besleyeceği mesafe kadarlık bölgeyi besleyebilecektir. Dolayısıyla, her bir besleyici, ring şeklindeki parça için uç bölge etkisi söz konusu olmadığından, en fazla genişliği, artı, 7.2 T kadarlık bir bölgeyi besleyebilecektir.

$$7.2*\sqrt{T}-W+X2\geq 0$$

$$X1*X2-L\leq 0$$

$$X1*(7.2*\sqrt{T}+X2)-L\geq 0$$

Burada BEGEN ve BEÇAP silindirik besleyici için besleyici çapıdır. Oval besleyici için BEGEN besleyici genişliği iken $7.2 T + BEÇAP$ kısıtı oval besleyici için söz konusu değildir.

		Soğutucusuz	Soğutuculu
Plaka	Uç bölgesiz	$D = 3.6 T$	$11.6 T - 3.2$
Çubuk	" "	$D = 3.6 T$	$6 T + T$
Plaka	Uç bölgesi	$D = 11.6 T - 5.2$	$11.6 T - 3.2$
Çubuk	" "	$D = 6 T$	$6 T + T$

Wallace çubuk ve plakalar için besleme mesafelerini vermiştir (Heine, et al., 1967).

4.2.4. Kısıt - 4 : Besleyici yüksekliği ve çapına ilişkin kısıtlamalar

Bu çalışmada, besleyici uygulaması iki kademedede ele alınacaktır. Birinci aşamada, farklı H/D oranları için, silindirik besleyiciler değerlendirilecektir. Pratik olması açısından, besleyici çapı alt sınırı 5 cm. olarak, üst sınır için ise, çapın, döküm kalınlığına (W) eşit olması durumu alınmıştır. Bu arada, H/D oranının, söz konusu besleyiciler için, 0.01 - 10 aralığında, 0.01 lik artışlarla, modülüs üzerindeki etkisi araştırılmış ve 1 - 2 aralığı anlamlı bulunmuştur.

İkinci aşamada, Wlodawer tarafından, ring yapılara daha uygun tür olduğu belirtilmiş oval besleyiciler ele alınacaktır. Bunlar için çap sürekli sabit tutulmuş olup, ovallık ölçüsü, besleyici genişliğindeki artışlarla verilmeye çalışılacaktır.

Özet olarak, çapın, 5 cm. - döküm kalınlığı sınırları içerisinde alacağı değerler için, silindirik, bu nokta sonrasında, genişliğin, çapın iki katı kadar değerler alabileceği alanda, oval besleyici uygulamasına gidilecektir.

Besleyici türleri için ilgili kısıtlar şunlardır;

1. Silindirik besleyici için kısıtlar;

$$X1 > \left(\frac{L}{7.2 * \sqrt{T+W}} \right), \text{ ve TAMSAYI}$$

$$X1 < \left(\frac{L}{5} \right), \text{ ve TAMSAYI}$$

$$X2 \leq W$$

$$X2 \geq 5$$

$$X3 - 2 * X2 \leq 0$$

$$X3 - X2 \geq 0$$

2. Oval besleyici için, kısıtlar;

$$X1 > \frac{L}{(7.2 * \sqrt{T+2*W})}, \text{ ve tamsayı}$$

$$X1 < \left(\frac{L}{W1} \right), \text{ ve tamsayı}$$

$$X4 \geq W1$$

$$X4 \leq 2 * W$$

$$X3 - 0.5 * (W + X4) \geq 0$$

$$X3 - 0.75 * (W + X4) \leq 0$$

4.2.5. Amaç Fonksiyonu

Tasarımda, maliyet ölçütü benimsendiğinden, tasarım maliyetlerini enküçüklemede dikkate alınacak dökümhane maliyetleri;

1. Ergitme maliyetleri

2. Temizleme Maliyetleri

- Temizlemede kullanılan işçilik
- Temizlemede kullanılan malzeme, biçiminde ele alınmıştır.

Daha öncede değinildiği gibi, katılaşma mekanizmaları gereği çelik dökümler hacimli besleyiciler gerektirirler. Öte yandan, döküm sürecinde, etkin olarak besleyici hacminin en fazla %14'ü kullanılabilir. Bu durum, katılaşmanın tamamlanması sonrasında temizlenmesi gereken, besleyici metal kalıntısına yol açmaktadır. Söz konusu kalıntı hurda olarak yeniden kullanılabilir olmasına rağmen, ergitme sürecinde yer almış olması nedeniyle toplam tasarım maliyetleri içerisinde önemli bir yük oluşturmaktadır. Ayrıca, çelik dökümlerin mekanik özellikleri besleyici fazlalıklarının kesme yoluyla temizlenmesini gerektirmektedir. Dolayısıyla, temizlemede kullanılan işçilik zamanı ve temizlemede kullanılan malzeme maliyetleride, ergitme maliyetlerine benzer olarak önemli bir maliyet bileşeni durumundadır. Dökümhane şartlarına bağlı olarak değişkenlik göstereceği açık olmakla birlikte, bu konuda ilgili maliyet bileşenleri için, Ruddle, 1 kg. çeliğin ergitme maliyeti için 91 TL. ve 1 cm² alanın temizlenmesi için 19.5 TL. lik maliyet değerlerini vermiştir (Ruddle, 1978).

Bu anlamda, besleyici tasarımında amaç, enerji tüketimi ve dökümhane kazançlarının bir arada kavranması olmalıdır. Çünkü besleme pratiği, döküm verimi bağlı olarak kazanç ve enerji tüketimine yönelik etkileriyle birbirine çok yakından bağlıdır. Daha açık bir deyişle, döküm tasarımında amaç nitelikli üretimi hedeflerken, görece en ekonomik tasarımda gözetilen çok yönlülüğü de taşımalıdır. Diğer bir deyişle, tasarımda yer alan besleyiciler, sağlamlık koşullarını sağlamak kaydıyla, enküçük ergitme ve temizleme maliyetlerini verecek biçimde tasarlanmalıdırlar.

Bu ekseninde, besleyici tasarımına yönelik oluşturulan amaç fonksiyonu, sürece ilişkin var olan kısıtlar altında, tasarımda yer alan besleyicilerin katılaşma sonrasında ki kalıntısının, ergitmeden kaynaklanan maliyet bileşeni ve

ilgili besleyicilerin taban alanlarına bağlı olarak, temizleme maliyet bileşenlerini kapsayacaktır. Çözümün irdelenmesi başlığı altında, amaç fonksiyonu ve modelin yapısına ilişkin testlere yer verilecek ve amaç fonksiyonunda yer alan parametrelerin etkisi tartışılacaktır.

Bunlara göre amaç fonksiyonun genel hali,

$$\text{MIN. MALİYET}(TL) = \left\{ X1 * AT * TM + \frac{X1 * VRF * Y * EM}{1000} \right\}$$

biçimindedir ve amaç fonksiyonunda yer alan, AT ve VRF simgelerinin açık yazılımı aşağıda verilmiştir. Ayrıca, VR, VC simgeleri EK-A'da verilmiştir.

$$VRF = (0.86 * VR) + \frac{X1 * ((0.14 * VR)) - (S * VR) - (S * VC)}{X1} \text{ (Besleyici son hacmi)}$$

$$AT = \frac{\pi * (X2)^2}{4} + ((X4 - X2) * X2) \text{ (Oval besleyici taban alana)}$$

$$AT = \frac{\pi * (X2)^2}{4} \text{ (Silindirik besleyici taban alanı)}$$

Öte yandan, iki tür besleyici uygulamasına gidileceğinden, kısıtlar modelde iki grupta toplanmıştır. İki grup kısıttan birinin sağlanması istendiğinden, modele M çok büyük bir sayı olmak üzere, $y = 0$ veya 1, kısıtı ilave olunmuştur (Kara, 1986). Yukarıda belirtilen varsayımlar ve kısıtlar altında, karar değişkenlerinin belirleneceği, enküçük maliyetin araştırıldığı modelin son hali aşağıda gösterilmiştir. Ayrıca, modelde yer alan parametre ve karar değişkenlerine ilişkin toplu açıklamalar, simgeler dizininde verilmiştir.

4.2.6. Optimizasyon modeli

S = (%) çekme oranı
 Y = yoğunluk
 EM = Ergitme maliyeti
 TM = Temizleme maliyeti
 L = Döküm uzunluğu
 W = Döküm genişliği
 T = Döküm kalınlığı

$VC = L * W * T$, (dokum hacmi)

$AC = 2 * (L * W + L * T)$, (dokum alanı)

$MC = \frac{VC}{(AC - (AT * X1))}$, (Dokum modülüsü)

$MRF = \frac{VRF}{ARF}$, (Besleyici son modülüsü)

$VSC \leq 0.14 * VR$, (Çekme boşluğu hacmi)

$VRF = (0.86 * VR) + \frac{X1 * ((0.14 * VR) - (S * VR)) - (S * VC)}{X1}$ (Besleyici son hacmi)

$\frac{VRF}{VR}$ oranına bağlı olarak ----> ARF (besleyici son alanı)

Aşağıdaki, etkin kullanım oranı-ARF'ye ilişkin tablo (Wlodawer, 1966) kullanılarak, besleyici son yüzey alanı için, en küçük kareler yöntemiyle,

$$ARF = \left(2 - 1.012 * \left(\frac{VRF}{VR} \right) \right) * AR$$

denklemini oluşturulmuştur.

<u>Etkin kullanım oranı</u>	<u>ARF</u>
0.85	0.13 * AR
0.90	0.10 * AR
0.95	0.04 * AR

Silindirik besleyici için hacim, alan ilişkileri;

X1 = Besleyici sayısı
 X2 = Besleyici çapı (D)
 X3 = Besleyici yüksekliği (H)

$$VR = (\text{Besleyici hacmi}) = \frac{\pi \cdot (X2)^2}{4} \cdot X3$$

$$AR = \frac{\pi \cdot (X2)^2}{4} + \pi \cdot X2 \cdot X3 (\text{Besleyici alanı})$$

$$AT = \frac{\pi \cdot (X2)^2}{4} (\text{Besleyici taban alanı})$$

Oval besleyici için hacim, alan ilişkileri;

X1 - Besleyici Sayısı

X2 - Besleyici Eni -----> X2 = W

X3 - Besleyici Yüksekliği

X4 - Besleyici Genişliği

$$Q = X4 - X2$$

$$W1 = W + 0.5$$

$$AT = \frac{\pi \cdot (X2)^2}{4} + (Q \cdot X2)$$

$$VR = AT \cdot X3$$

$$AR = (\pi \cdot X2 + 2 \cdot Q) \cdot X3 + AT$$

I. Grup kısıtlar (Silindirik besleyici)**1. Besleme Aralığı**

$$7.2*\sqrt{T}-W+X2\geq 0-y*M$$

$$X1*X2-L\leq 0+y*M$$

$$X1*(7.2*\sqrt{T}+X2)-L\geq 0-y*M$$

2. Hacimsel Yeterlilik

$$X1*(0.14*VR)-(S*VR)-(S*VC)\geq 0-y*M$$

$$X1*((0.14*VR)-(S*VR)-(S*VC)-(0.1*VR*X1))\leq 0+y*M$$

3. Katılma zamanı

$$\frac{VRF}{ARF}-\left(\frac{VC}{AC-(X1*AT)}\right)\geq 0-y*M$$

4. Karar değişkenlerine ilişkin kısıtlamalar

$$X1 > \left(\frac{L}{7.2*\sqrt{T}+W}\right)-y*M, \text{ ve TAMSAYI}$$

$$X1 < \left(\frac{L}{5}\right)+y*M, \text{ ve TAMSAYI}$$

$$X2 \leq W+y*M$$

$$X2 \geq 5-y*M$$

$$X3-2*X2 \leq 0+y*M$$

$$X3-X2 \geq 0-y*M$$

II. Grup kısıtlar (Oval besleyici)**1. Besleme Aralığı**

$$X1*X4-L\leq 0+(1+y)*M$$

$$X1*(7.2*\sqrt{T}+X4)-L\geq 0-(1+y)*M$$

2. Hacimsel Yeterlilik

$$X1*(0.14*VR)-(S*VR)-(S*VC)\geq 0-(1+y)*M$$

$$X1 * ((0.14 * VR) - (S * VR)) - (S * VC) - (0.1 * VR * X1) \leq 0 + (1 + y) * M$$

3. Katılma Zamanı:

$$\frac{VRF}{ARF} - \left(\frac{VC}{AC - (X1 * AT)} \right) \geq 0 - (1 + y) * M$$

4. Karar değişkenlerine ilişkin kısıtlamalar

$$X1 > \frac{L}{(7.2 * \sqrt{T} + 2 * W)} - (1 + y) * M, \text{ ve tamsayı}$$

$$X1 < \left(\frac{L}{W1} \right) + (1 + y) * M, \text{ ve tamsayı}$$

$$X4 \geq W1 - (1 + y) * M$$

$$X4 \leq 2 * W + (1 + y) * M$$

$$X3 - 0.5 * (W + X4) \geq 0 - (1 + y) * M$$

$$X3 - 0.75 * (W + X4) \leq 0 + (1 + y) * M$$

M, çok büyük bir sayı olmak üzere,

y = 0 veya 1

K.A.

$$\begin{aligned} \text{MIN. MALİYET (TL)} = & \left\{ X1 * AT * TM + \frac{X1 * VRF * Y * EM}{1000} \right\} * y * M \\ & + \left\{ X1 * AT * TM + \frac{X1 * VRF * Y * EM}{1000} \right\} * (1 + y) * M \end{aligned}$$

4.3. Çözüm

Doğrusal olmayan programlama modelinin, açık yazılımlı genel gösterimi ve çözüm yöntemi yoktur. Bu nedenle doğrusal olmayan karar modelleri, modellerin özel yapılarına göre geliştirilecek çözüm tekniklerini gerektirirler (Kara, 1986).

Bu yüzden, tasarıma yönelik modelin çözülmesinde bilgisayar diline aktarma yatkınlığının yanısıra, kolay bir mantığa da sahip olan sayımlama yöntemi kullanılmıştır. Bu yaklaşım, özünde verilen modelin tam sayı tüm uygun çözümlerini gözönüne alarak, en iyi çözüm setini aramaktır (Kara, 1986). Dikkat edilirse, tasarıma yönelik modelde, besleyici sayısı dışındaki karar değişkenleri için tam sayılık koşulu aramamıştır. İlk anda, karar değişkenine ilişkin sonlu kümenin yöntem gereği 0.5'lik adımlarla taranılması düşünülmüştür. Ancak, daha sonra bilgisayar kapasitesinin yetmemesi nedeniyle 1 tam aralıklar seçilmiş ve model, bütünüyle tam sayılı doğrusal olmayan bir yapı kazanmıştır. Hemen belirtmelidir ki yöntemin en büyük dezavantajı karadeğişkenlerinin tamsayı dışında alabileceği ve belkide en iyi çözümleri dikkate almıyor olmasıdır.

Çözüm için öncelikle kullanıcı tarafından, döküm geometrisinin tanıtılması ardından, sürecin teknik (Çekme oranı ve yoğunluk) ve maliyet verileri (Ergitme ve temizleme maliyeti) girilmelidir. Sonrasında çözüm yöntemine bağlı olarak geliştirilmiş olan bilgisayar programı (Ek-A), aşağıdaki çözüm algoritması temelinde şekillenmiştir.

1. Her iki grup kısıt (oval ve silindirik besleyici) için, karar değişkenleri kümesinin sırasıyla tamsayı değerleri taranarak, kısıtları sağlamak kaydıyla, kısıtların ve amaç fonksiyonunun parametreleri belirlenir ve ilgili noktalar için amaç fonksiyonunun değeri hesaplanır.

2. Kısıtların sağlandığı, yani, amaç fonksiyonunun aldığı uygun çözüm değerleri arasından en küçüğü seçilerek, ilgili durum için karar değişkenleri saptanır.

3. Besleyici tasarımına ilişkin karar değişkenlerinin değerlerinin yanı sıra sürece dair çeşitli ilişkiler raporlanacaktır.

4.4. Çözümün irdelenmesi

Nitelikli döküm üretimi ve aynı zamanda en ekonomik besleyici tasarımının hedeflendiği bu çalışmada, geliştirilen matematiksel model, sayımlama tekniği kullanılarak bilgisayar ortamında çözülmüştür. Bilindiği gibi, amaç fonksiyonu, tasarımda yer alacak besleyici toplam taban alanının ve besleyici son hacminin getirdiği maliyet bileşenlerinden oluşmakta ve amaç fonksiyonu, mevcut kısıtlar altında, en küçük maliyetli besleyici tasarımını gerçekleştirmek hedefiyle hareket etmektedir.

Ergitme ve temizleme maliyet parametrelerinin sabit tutulduğu buna karşılık döküm geometrisinin ve çekme oranı, bağlı olarak yoğunluk parametrelerinin farklı değerlerinin kullanılmasıyla, 153 durum için çalıştırılan program sonrasında, model 51 durum için en iyilik koşullarına erişememiştir. En iyilik koşullarına erişildiği 102 durum için elde edilen sonuçların analiziyle birlikte, en küçük maliyet ile besleyici toplam son hacmi arasında, $R^2 = 98.9 \%$ ve besleyici toplam taban alanı ile arasında, $R^2 = 22.1 \%$, ilişkilerinin varlığı tespit edilmiştir (Tablo 4,1). Böyle olmakla birlikte, çekme oranının 0.03% , bağlı olarak yoğunluğun 7.3 gr/cm^3 alındığı durum için, ergitme ve temizleme maliyet parametrelerinden birinin sabit tutulup, diğerinin belli oranlarda artırıldığı şartlarda, en küçük maliyetin, temizleme maliyetindeki birim artışlara karşı daha bir duyarlı olduğu görülmüştür (Tablo 4,2). Buna göre, sırasıyla temizleme ve ergitme maliyetindeki 1 TL. lik artışlar, amaç fonksiyonunda 235 ve 22.5 TL. lik artışlara yol açmaktadır.

Ayrıca, bilgisayar çıktısı örneklerinde görüleceği üzere (EK-B), ergitme maliyetinin 10 TL/kg. ve temizleme maliyetinin 100 TL/cm² alındığı durumda, en küçük maliyet, 31832.9 TL. bir değer alırken, verim 47.6% düzeyinde kalmıştır. Ters durumda, (TM=10 TL/cm² ve EM=100 TL/kg.) en küçük maliyet için, 7447.7 TL. ve verim için, 51.9% değerleri elde edilmiştir. Açık olarak görüldüğü üzere, besleyici türü ilgili örnek için aynı kalmasına rağmen, temizleme maliyet parametresinin arttığı koşullarda, besleyici boyutlarına ilişkin karar değişkenleri farklı değerler almış ve besleyici toplam taban alanı 379.9 cm^2 den 314 cm^2 ye çekilirken, toplam besleyici son hacmi, 4997.7 cm^3 den 5929.7 cm^3 e yükselmiştir.

MTB > REGRES *MIN. MAL* ON 1 PREDICTORS *B. T. T. A.*

THE REGRESSION EQUATION IS
 MIN. MAL = 28326 + 12.4 (B. T. T. A.)

101 CASES USED 52 CASES CONTAIN MISSING VALUES

COLUMN	COEFFICIENT	ST. DEV. OF COEF.	T-RATIO = COEF/S.D.
	28326	4081	6.94
B. T. T. A.	12.424	2.346	5.30

S = 29204

R-SQUARED = 22.1 PERCENT

R-SQUARED = 21.3 PERCENT, ADJUSTED FOR D.F.

ANALYSIS OF VARIANCE

DUE TO	DF	SS	MS=SS/DF
REGRESSION	1	23917768704	23917768704
RESIDUAL	99	84435927040	852888064
TOTAL	100	108353683456	

MTB > REGRES *MIN. MAL* ON 1 PREDICTORS *B. T. S. H.*

THE REGRESSION EQUATION IS
 MIN. MAL = 8675 + 1.08 (B. T. S. H.)

101 CASES USED 52 CASES CONTAIN MISSING VALUES

COLUMN	COEFFICIENT	ST. DEV. OF COEF.	T-RATIO = COEF/S.D.
	8675.3	506.6	17.12
B. T. S. H.	1.08296	0.01151	94.12

S = 3478

R-SQUARED = 98.9 PERCENT

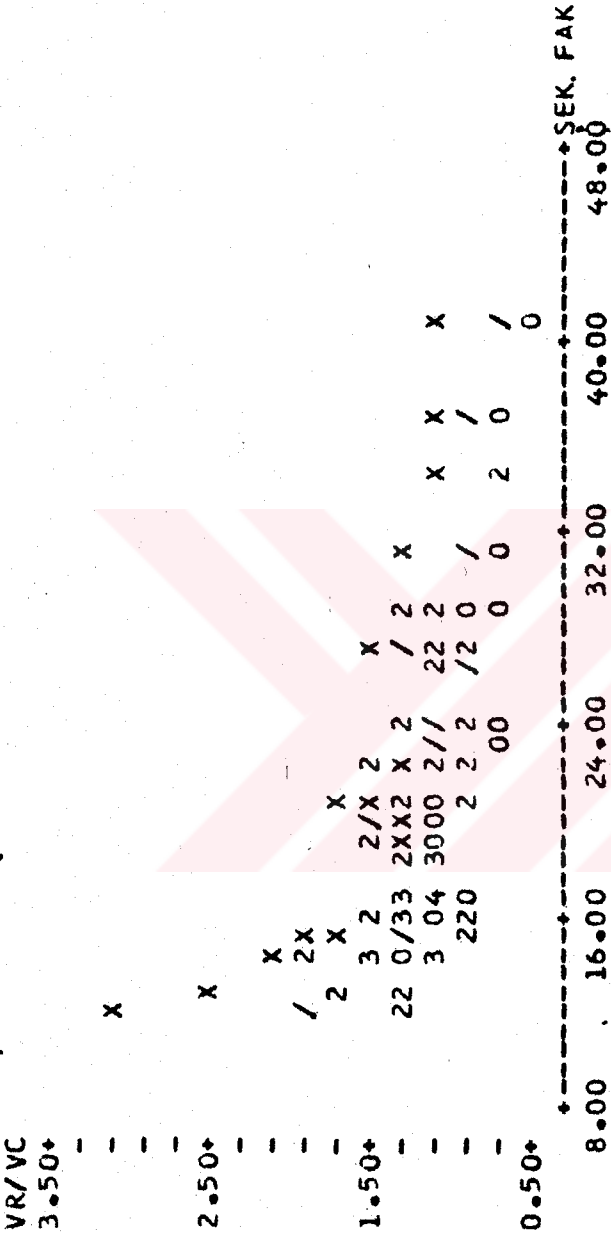
R-SQUARED = 98.9 PERCENT, ADJUSTED FOR D.F.

ANALYSIS OF VARIANCE

DUE TO	DF	SS	MS=SS/DF
REGRESSION	1	107156209664	107156209664
RESIDUAL	99	1197533440	12096297
TOTAL	100	108353683456	

Tablo 4.1. Maliyet değişkeniyle besleyici hacmi ve taban alanı arasındaki regrasyon ilişkileri

MTB > TPLOT • VR/VC • ŞEK. FAK • ÇEK. ORAN •



52 MISSING OBSERVATIONS

0	DENOTES VALUES L.T.	3.36164
.	DENOTES VALUES L.T.	5.00000
/	DENOTES VALUES L.T.	6.63836
X	DENOTES VALUES G.T.	6.63836

Şekil 4.4. Hacim oranı - şekil faktörü - çekinti oranı ilişkisi

Öte yandan, Bishop'un besleyici boyutlarının belirlenmesinde çok bilinen, hacim oranı - şekil faktörü grafik ilişkisi (Bishop, 1955), ile karşılaştırmak üzere, benzer fakat, çekinti oranı etkisinde ilave olunduğu üçlü bir grafik türetilmiştir (Şekil 4,4). Buna göre, belli bir şekil faktörü (Şek. Fak. = $L + W / T$) değeri için, çekinti oranındaki artışlara bağlı olarak, hacim oranında arttığı gösterilmiştir. Ayrıca, Bishop'un eğrisine göre gözlenen farklılıklarında muhtemelen, farklı çekinti oranlarının kullanılmış olması ve modelin besleyici tasarımında enküçük maliyet ekseninde hareket ediyor olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Son olarak, Ruddle'ın, ergitme ve temizleme maliyetleri için sırasıyla, 91 ve 19.5 TL. lik değerlerini (Ruddle, 1978) kullanarak, ilgili parametrelerin sabit alınmasıyla ve belli bir formdaki parça ($T=5$ ve $W=10$ cm.) için, çekme oranı bağı olarak yoğunluk parametrelerinin değiştirilmesiyle model çözülmüş ve sonuçlar tablo haline getirilmiştir (Tablo 4,2). Sonuçlara göre, çekme oranı ve yoğunluktaki artışlara bağlı olarak besleyici türü silindiriklikten ovalliğe çekilmiştir. Yani sıra, besleyici türü karar değişkeni silindiriken, ilgili parametrelerdeki artışlar sonucunda enküçük maliyet artmıştır. Tersini durumda, oval besleyici için söz konusu parametrelerin artışıyla birlikte enküçük maliyet azalan değerler almıştır.

Sonuç olarak, modelde yer alan parametrelerin, amaç fonksiyonuna ve bağı olarak karar değişkenlerinin alabileceği değerler üzerinde son derece duyarlı olduğu ve özellikle temizleme maliyet parametresindeki küçük değişmelerin amaç fonksiyonunun alabilceği değerlere büyük oranda yansıdığı görülmüştür.

Çek.Oranı	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	
Yoğunluk	7.3	7.35	7.4	7.45	7.5	
Enk.Mal.	6654	7078	7599	7568	7537	
Verim	50.3	45.8	49	49.6	50.1	
Bes.Tür.	Sil.	Sil.	Oval	Oval	Oval	
Tem.Mal.	10	30	50	70	90	110
Erg.Mal.	100	100	100	100	100	100
Enk.Mal.	4620	9330	14040	18750	23460	28117
Tem Mal	100	100	100	100	100	100
Erg.Mal	10	30	50	70	90	110
Enk.Mal	23776	24229	24682	25136	25586	26042

Tablo 4.2. Temizleme, ergitme maliyet parametreleri ve çekme oranı, yoğunluk parametrelerinin amaç fonksiyonu üzerindeki etkileri

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu bölümde, elde edilen sonuçlar tartışılacaktır. Öncelikle, belli bir geometriye ilişkin geliştirilen tasarım değerlendirilecek ardından sürecin bazı parametrelerinin değiştirilmesiyle elde edilecek sonuçlar üzerinde programın genel yapısı değerlendirilecektir. İlk olarak, geliştirilen modelin çözümü için oluşturulmuş bilgisayar programı, döküm geometrisinin $T=5$, $W=30$ durumu için Amstrad 1512-SD bilgisayarında çalıştırılmıştır. Elde edilen bilgisayar çıktısında (Ek-B), söz konusu döküm parçaya yönelik besleyici tasarımında, sürece ilişkin kısıtların sağlandığı koşullarda, 1878 uygun çözümün varlığı görülmüştür. Optimizasyon programı, ilgili küme içerisinde karar değişkenlerinin alabileceği değerleri belirlemiştir. Program bu haliyle;

1. Monoton olarak ve tekrar tekrar yapılması gereken hesaplamaları ortadan kaldırdığı gibi program kolay kullanabilir bir yapıdadır.

2. Program tarafından istenen parametrelerin verilmesi sonrasında, en iyi çözüme erişmek, yaklaşık 10 dk'lık bir bilgisayar çalışma süresi almaktadır.

3. Sınırlamaları içerisinde, karar değişkenlerinin alabileceği tam sayı değerlerin dikkate alınmasıyla, en küçük maliyet ölçütüne göre belirlenen amaç fonksiyonunun, süreç kısıtlarında, göz önüne alarak eniyileyen, karar değişkenlerini verebilmektedir.

4. Karar değişkenlerinin alacakları değerlerin yanı sıra, istendiğinde daha da geliştirilebilecek istatistik bilgileri raporlamaktadır.

5. Daha karmaşık döküm parçalarda uygulamaya geçişe elverişlidir.

İkinci olarak, döküm boyutları ve çekme oranı parametrelerinin değiştirilmesiyle, 153 farklı durum için geliştirilen bilgisayar programı çalıştırılmıştır¹. Bunlara göre, program mevcut kısıtlar altında 51 durum için eniyilik koşullarına erişememiş ve çözüm vermemiştir. Ardından, elde edilen sonuçlar minitab-2 paket programında değerlendirilmiş sürece ilişkin çeşitli ilişkiler araştırılmıştır. Bunlara göre;

¹ Döküm kalınlığı = 5-15 cm aralığında
 Döküm genişliği = 5-30 cm aralığında
 Çekme oranı = 3%-5%-7% için
 Ergitme maliyeti = 91 TL., Temizleme maliyeti = 19,5 TL., alınmıştır.

1. Verim için çizilen histogramda (Şekil 5,1.a) verimliliğin 50% civarında yoğunlaştığı görülmüştür. Ayrıca verime yönelik oluşturulan regrasyon benklemlerinde, verimliliğin kullanılabilir %14 potansiyel hacimden, etkin olarak kullanılmış hacime (E.K. ORAN) doğru orantılı olarak şiddetle bağlı olduğu (Şekil 5,2), ardından sırasıyla modül oranı (MR/MC) (Şekil 5,3) ve şekil faktörüyle doğru orantılı olarak arttığı ve çekme oranıyla (ÇEK ORAN) (Şekil 5,4) ters bir ilişkiye sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan oval besleyicilere göre silindirik besleyicilerde verimliliğin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5,5).

2. Etkin kullanım oranı için çizilen histogramda (Şekil 5,1.b) kullanım oranı % 6-% 10 aralığında yoğunlaşmıştır. Ayrıca, oluşturulan regrasyon benklemlerinden etkin kullanım oranının, R^2 testlerine bağlı olarak (VR/VC) hacim oranı ve çekme oranı, bağımsız değişkenleriyle daha bir açıklanabilir olduğu, (VR/VC)'le ters, çekme oranıyla, doğru olarak kuvvetli bir ilişkinin varlığı tesbit edilmiştir (Tablo, 5,1.b).

3. Besleyici türü, bağımlı değişkeniyle, çekme oranı, plakalık oranı (W/T) ve modül oranı bağımsız değişkenleri arasında anlamlı bir ilişkiye raslanmış ve modül oranındaki artışlar, besleyici türünü, ovalikten silindiriğe çekmiştir (Şekil 5, 6).

4. Maliyetin (MIN. MAL.), besleyici hacmine taban alanından daha bilgilendirici olduğu görülmüştür (Bkz., tablo 4,1). Önceki bölümlerde de değinildiği gibi, besleyici tasarımında amaç salt besleyici hacminin enküçüklenmesi olmamalıdır. Enküçük maliyet ile besleyici taban alanı arasında görece düşük R^2 ilişkisi olmasına rağmen, dökümhane şartlarına bağlı olarak, tasarım maliyetinde temizleme maliyeti önemli bir yer tutmaktadır. Diğer bir deyişle tasarım maliyet bileşenleri bir arada kavranmak durumundadır. Çalışmanın devamında yapılması gereken, tasarıma bağlı olarak kaynaklanan metal fiyatları ve farklı geometrilerin getireceği kalıplama maliyetlerinin, amaç fonksiyonuna olan etkilerini araştırmak olmalıdır.

5. Besleme bölgesinin, döküm kalınlığına bağlı olarak arttığı gözlenmiş olmak, yeterince açıklanabilmesi için, başkaca bağımsız değişkenlerin araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Öte yandan, besleyici boyut

VERİM
52 MISSING OBSERVATIONS

MIDDLE OF INTERVAL	NUMBER OF OBSERVATIONS	
25	1	*
30	1	*
35	2	**
40	13	*****
45	25	*****
50	30	*****
55	20	*****
60	7	*****
65	1	*
70	1	*

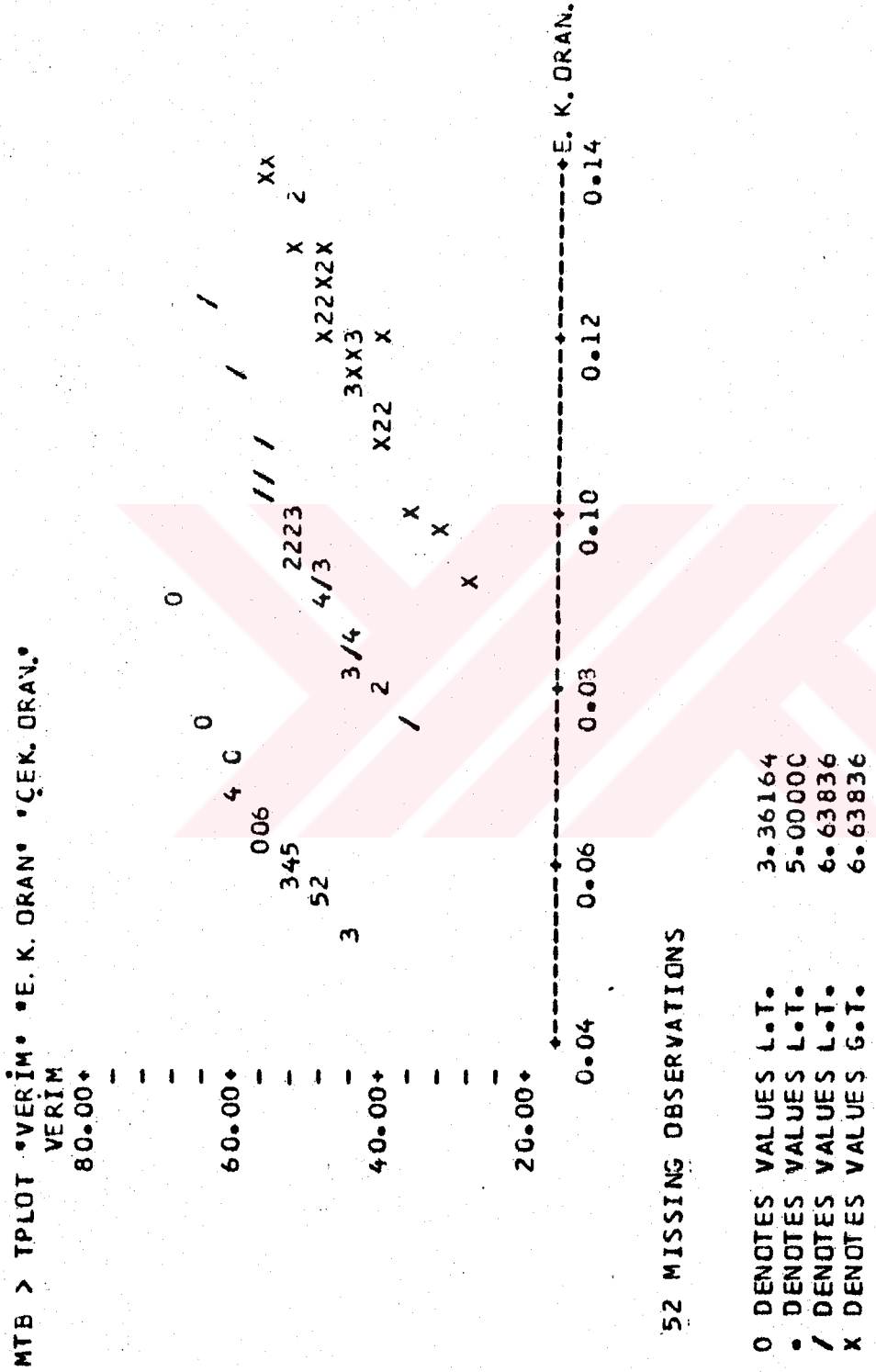
MTB > HISTOGRAM *E. K. ORAN*

E K ORAN
52 MISSING OBSERVATIONS

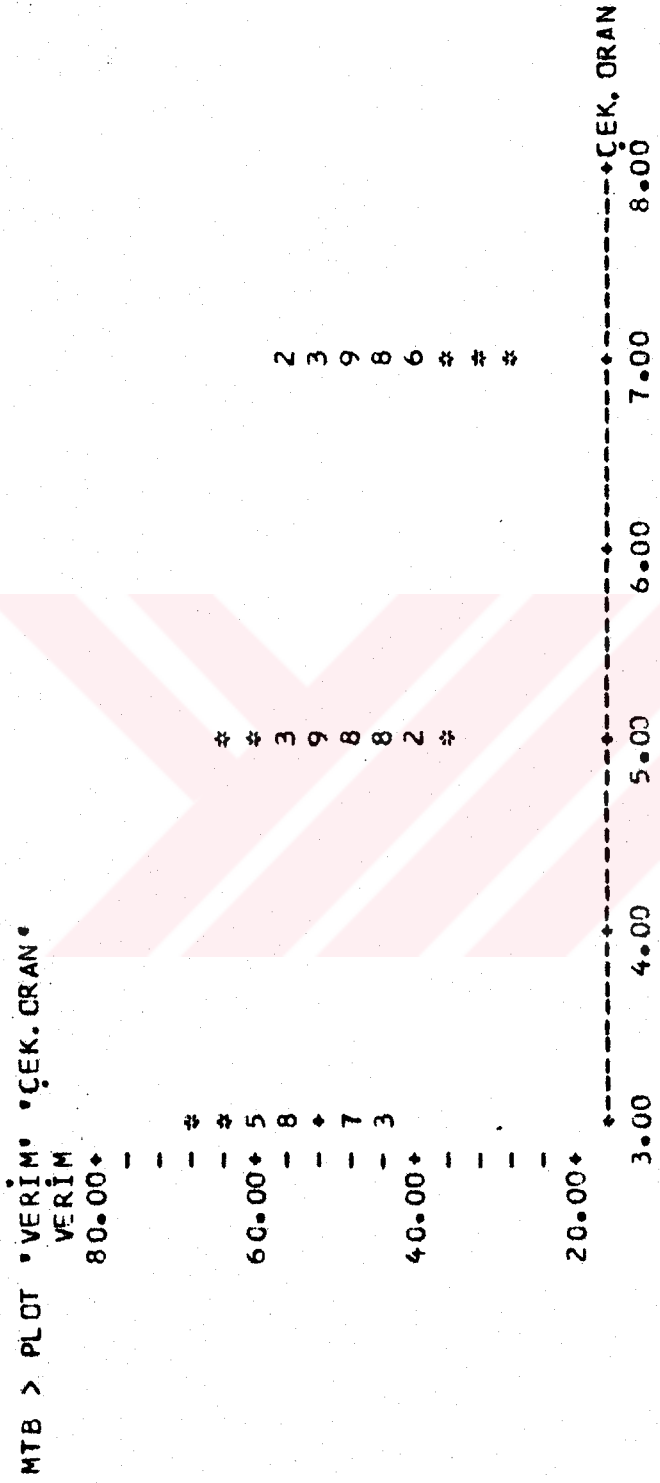
MIDDLE OF INTERVAL	NUMBER OF OBSERVATIONS	
0.05	3	***
0.06	21	*****
0.07	11	*****
0.08	8	*****
0.09	15	*****
0.10	12	*****
0.11	9	*****
0.12	13	*****
0.13	5	*****
0.14	4	****

Şekil 5.1.a. Verim histogramı

b. Etkin kullanım oranı histogramı

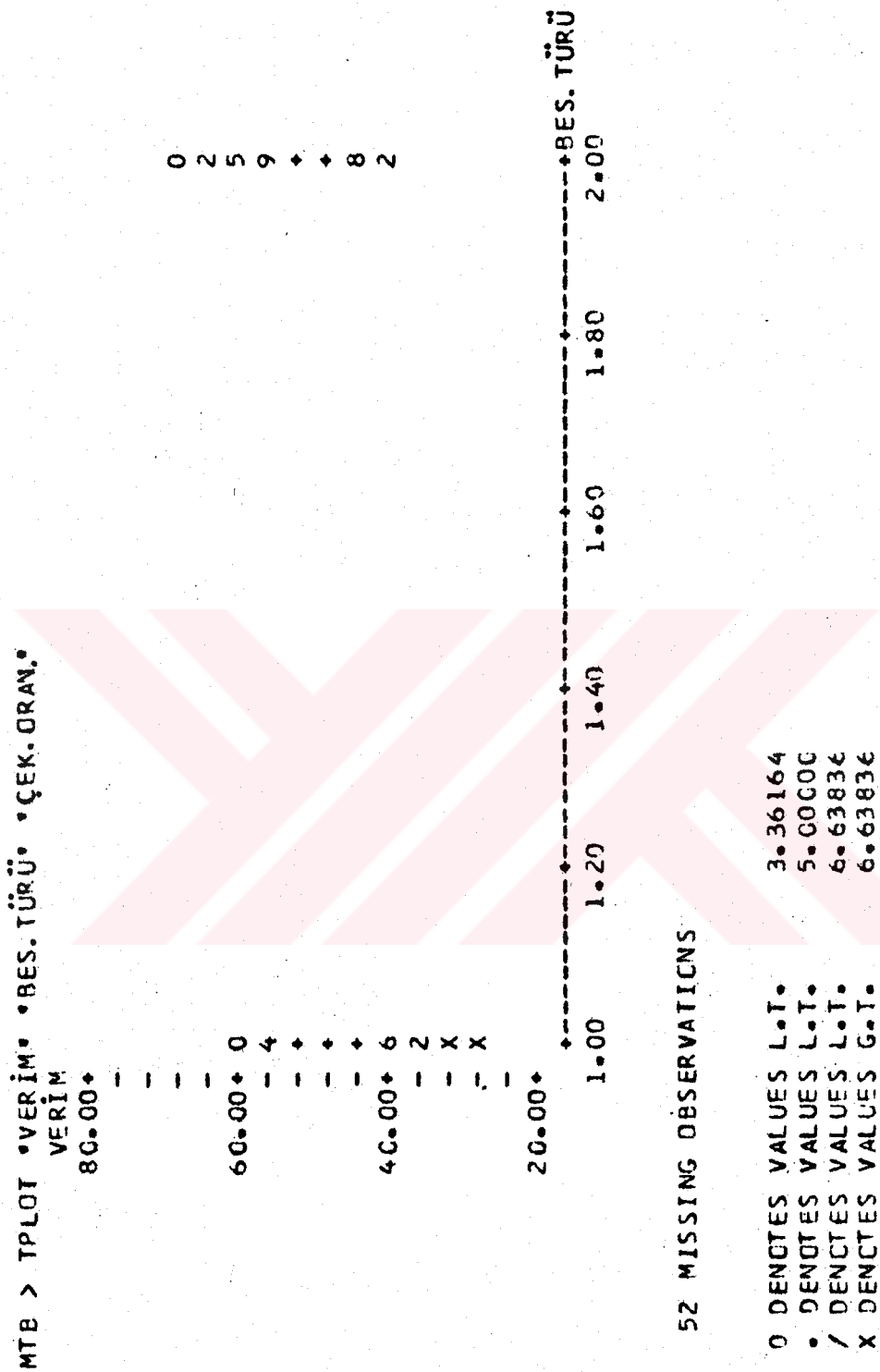


Şekil 5.2. Verim - etkin kullanım oranı - çekinti oranı ilişkisi



52 MISSING OBSERVATIONS

Şekil 5.4. Verim - çekinti oranı ilişkisi



Şekil 5.5. Verim besleyici türü ilişkisi

```

MTB > TPLOT *BES TÜRÜ* *PLA. ORAN* *ÇEK. ORAN*
BES. TÜRÜ
2.00+      3 43353 63 33      3 3      3
-
-
-
1.60+      2349+ * 53 X
-
-
1.20+
-
-
0.80+
-
-
-
0.50      1.90      3.30      4.70      6.10      7.50
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
PLA. ORAN

```

52 MISSING OBSERVATIONS

```

0 DENOTES VALUES L.O.T.      3.36164
. DENOTES VALUES L.O.T.      5.00000
/ DENOTES VALUES L.O.T.      6.63836
X DENOTES VALUES G.O.T.      6.63836

```

Şekil 5.6. Besleyici türü - plakalık oranı - çekinti oranı ilişkisi

oranlarına yönelik (Yükseklik/Çap, vb.) değerlerin, bunlar için getirilen sınırlamalar içerisinde belli bir aralıkta yoğunlaşmadığı görülmüş ve bu durumun açıklanabileceği anlamlı ilişkiler bulunamamıştır,


Bu bağlamda, geleneksel yaklaşım içerisinde değinilmiş bulunan çeşitli grafik, nomogram, formülasyon yönlü yöntemlerle karşılaştırmak üzere, bunlarla ilgili grafik ilişkiler çizdirilmiş ve deneyselliğe dayanan sonuçlarla, aralarında farklılıkların olduğu görülmüştür (Bkz.,Şekil 4,4). Bu farklılıklarında muhtemelen, modelin, tasarım sürecinin sağlamlık koşullarını göz önüne alıyor olmasının yanı sıra, en küçük maliyetli tasarımı gözetiyor olmasından, ayrıca çekme oranı gibi süreç parametrelerinin farklı değerlerinin kullanılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Ancak, görülen odur ki döküm süreciyle, görece ekonomik ve sağlıklı tasarımlara gidebilmenin yolu, tasarımda, diğer yönlü katılma araçlarına da yer verilerek, çok yönlü optimizasyon tekniklerinden geçecektir. Bu eksende, çalışmada kullanılan benzer bir model ile yukarıdaki hedefler, çok daha karmaşık parçalarda yaşanabilir kılınacaktır.

- Adams, C.M. and Taylor H.F., 1953, Riser Design for Steel Castings, AFS transactions, Vol.61, pp. 686-693.
- Beeley, P.R., 1972, Foundry technology, Butterworth Co. Ltd, London, 544 p.
- Bishop, H.F., 1955, A Simplified Method for Determining Riser Dimensions, AFS transactions, Vol.63.
- Bralower, P.M., 1987, Solidification Simulations Boost Design Confidence, Modern Casting.
- Corbett, C.F., 1987, Computer Aided Thermal Analysis and Solidification Simulation, British Foundryman.
- Creese, R.C., 1979, Generalized Riser Design by Geometric Programming, AFS transactions.
- Creese, R.C., 1979, An Evaluation of Cylindrical Riser Design with Insulating Materials, AFS transactions.
- Flemings, M.C., 1974, Solidification Processing, Mc. Graw-Hill Book Com., New York., 364 p.
- Gandhi, N.V. and Poirier D.R., 1976, Optimization of Riser Designs with Insulating Sleeves to Achieve Minimum Costs, AFS transactions.
- Güçlü, M., 1984, Bilgisayarla Ring Şeklindeki Çelik Dökümlerin Dizaynı, Metalurji.
- Heine, R.W., Loper C.R., Rosenthal P.C., 1967, Principles of Metal Casting McGraw-Hill Book Company,
- Johns, R.A., 1980, Riser Design for Steel Castings Easily and Efficiently, AFS transactions.
- Kara, İ., 1986, Yöneylem Araştırması, Doğrusal Olmayan Modeller, A.Ü., Eskişehir, 346 s.
- Kearns, K.J., 1986, Computer Simulation of The Permanent Mold Process, Modern Casting.
- Kevin, J.K., 1986, Computer Simulation of the Perm Mold Process, Modern Casting.
- Kınkoğlu, N.G., 1981, Solidification In Casting, Feeding and Gating Design, TÜBİTAK, Gebze, 83 s.
- Lawrence, E.S., 1987, Solidification Modeling on a PC:A Foundryman's Approach, Modern Casting.
- Manfred, J.S., Taş N., Söğüt A., Gülsöken O., Dökümhanelerde Bilgisayar Uygulamaları, Metalurji Kong Bild. 873-887.
- Minkof, I., 1986, Solidification and Cast Structure, John Wiley and Sons, New York, 227 p.
- Merchant, H.D., 1959, Dimensioning of Sand Casting Risers, AFS transactions, Vol.57.

- Pehlke, R.D., June 1978, Application of Computer Aided Design to a Steel Wheel Casting, AFS transactions.
- Pehlke, R.D., June 1976, Computer Simulation of Solidification of a Casting With a Chill, AFS transactions.
- Pehlke, R.D., June 1975, A Casting Design by Computer, AFS transactions.
- Ronald, L.L., 1983, Optimization of Casting Rering Design, B.S. thesis, The Ohio State University, p., (unpublished).
- Ruddle, R.W., September 1978, Influence of Feeding Practice on Energy Conservation on Production Economies in Steel Foundries, British Foundryman.
- Ruddle, R.W., 1979, Profit Through Steel Risering Technology, AFS transactions.
- Trinkl, G. and Simmons W., 1984, The Application of Feeding and Filtration Technology to Effect Scrap Reduction, yield and Quality. Improvement in Mechanised Iron Foundry, British Foundryman.
- Wlodawer, R., 1966, Directional Solidification of Steel Casting, Pergamon Press, New York, 242 p.
- Wlodawer, R., 1985, Çelik Dökümlerde Besleyici ve Soğutucu Hesapları, (Çev. M. Yaman), Metalurji Mühendisleri Odası, 165 s.
- Yaman, M., 1986, Seminer notları, SEGEM. 35 s.

EKLER

- . Bilgisayar Program Listesi
 - . Program Çıktısı Örneği
- 

BİLGİ SAYAR PROGRAMI LİSTESİ

```
10 CLS
20 DIM H(2550),D(2550),BS(2550),OP1(2550),D1(2550)
30 INPUT"kalınlık ....." ;T
40 INPUT"Dis Cap....." ;RD
50 INPUT"İc Cap....." ;RI
60 INPUT"Cek. Oran. (%)... " ;S
70 INPUT"yogunluk ....." ;Y
80 INPUT"tem. maliyeti ... " ;TM
90 INPUT"erg. maliyeti ... " ;EM
100 W=(RD-RI)/2
110 IF W > T THEN 150
120 X=W
130 LPRINT
140 GOTO 170
150 LPRINT
160 X=T
170 IF RI > .27*RD THEN 200
180 LPRINT"Dikkat!..(kalınlığa bağılı olarak) maca kullanmayın."
190 GOTO 1600
200 P=3.14
210 W2=2*W
220 L=P*(RI+W)
230 N=L/(7.2*(X^.5)+W)
240 NNN=INT(N)
250 NN=(L/5)
260 NNNN=INT(NN)
270 J=0
280 K=0
290 LPRINT
300 LPRINT
310 LPRINT"*** Sistem Parametreleri ***"
320 LPRINT" ===== "
330 LPRINT
340 LPRINT"Dok. Uzun. (cm).....=" ;USING"#####.#";L
350 LPRINT"Dok. Gen. (cm).....=" ;USING"#####.#";W
360 LPRINT"Dok. Kal. (cm).....=" ;USING"#####.#";T
370 LPRINT"Cek. Oran. (%).....=" ;USING"#####.#";S
380 LPRINT"Yogunluk.....=" ;USING"#####.#";Y
390 LPRINT"E. Mal..(TL/kg.).....=" ;USING"#####.#";EM
400 LPRINT"T. Mal..(TL/sq. cm.)...=" ;USING"#####.#";TM
410 REM silindirik besleyici kullanımı
420 FOR IBS=NNN TO NNNN
430 FOR ID=5 TO W
440 FOR IH=5 TO W2
450 IF IH > 2*ID THEN 880
460 IF IH < ID THEN 870
470 VC=L*W*T
480 AC=2*(L*W+L*T)
490 AT=P*(ID^2)/4
500 VR=AT*IH
510 AR=(AT)+(P*ID*IH)
520 REM
530 REM BESLEME ARALIGI (KISIT 1)
```

```
540 EN=7.2*(X^.5)+ID
550 IF W > EN THEN 880
560 BSD=IBS*ID
570 IF BSD > L THEN 890
580 BESARA=IBS*(7.2*(X^.5)+ID)
590 IF BESARA < L THEN 880
600 REM
610 REM HACIMSEL YETERLILIK (KISIT 3)
620 HYET=IBS*((.14*VR)-(S*VR))-(S*VC)
630 IF HYET < 0 THEN 870
640 VRU=9.000001E-02*VR*IBS
650 IF HYET > VRU THEN 870
660 VRF=.86*VR+(HYET/IBS)
670 REM
680 REM KATILASMA ZAMANI (KISIT 2)
690 VRR=VRF/VR
700 ARO=2-1.012*VRR
710 ARF=AR*ARO
720 MR=VRF/ARF
730 MC=VC/(AC-(IBS*AT))
740 KAT1=MR-MC
750 IF KAT1 < 0 THEN 870
760 REM
770 REM MALİYET FONKSİYONU
780 M1=IBS*AT*TM
790 M2=IBS*VRF*Y*EM/1000
800 J=J+1
810 K=K+1
820 OP1(J)=M1+M2
830 BS(J)=IBS
840 D1(J)=0
850 D(J)=ID
860 H(J)=IH
870 NEXT IH
880 NEXT ID
890 NEXT IBS
900 REM OVAL BESLEYİCİ KULLANIMI
910 W1=W+1
920 M=L/(W2+7.2*(X^.5))
930 MMM=INT(M)
940 MM=(L/W1)
950 MMMM=INT(MM)
960 W4=2.25*W
970 FOR JBS=MMM TO MMMM
980 FOR JD=W1 TO W2
990 FOR JH=W1 TO W4
1000 US=.75*(W+JD)
1010 AS=(W+JD)/2
1020 IF JH > US THEN 1440
1030 IF JH < AS THEN 1430
1040 Z=JD-W
1050 AC=2*(L*W+L*T)
1060 AT=P*(ID^2)/4
1070 AT=P*(W^2)/4+(Z*W)
1080 VR=AT*JH
1090 CR=P*W+2*Z
1100 AR=(CR*JH)+AT
1110 REM
1120 REM BESLEME ARALIGI (KISIT 2)
1130 BSD=JBS*JD
```

```

1140 IF BSD > L THEN 1450
1150 BESARA=JBS*(7.2*(X^.5)+JD)
1160 IF BESARA < L THEN 1440
1170 REM
1180 REM HACIMSEL YETERLILIK (KISIT 1)
1190 HYET=JBS*((.14*VR)-(S*VR))-(S*VC)
1200 IF HYET < 0 THEN 1430
1210 VRU=9.000001E-02*VR*JBS
1220 IF HYET > VRU THEN 1430
1230 VRF=.86*VR+(HYET/JBS)
1240 REM
1250 REM KATILASMA ZAMANI (KISIT 2)
1260 VRR=VRF/VR
1270 ARO=2-1.012*VRR
1280 ARF=AR*ARO
1290 MR=VRF/ARF
1300 MC=VC/(AC-(JBS*AT))
1310 KAT1=MR-MC
1320 IF KAT1 < 0 THEN 1430
1330 REM MALIYET FONKSIYONU
1340 M1=JBS*AT*TM
1350 M2=JBS*VRF*Y*EM/1000
1360 J=J+1
1370 K=K+1
1380 OP1(J)=M1+M2
1390 BS(J)=JBS
1400 D1(J)=JD
1410 D(J)=W
1420 H(J)=JH
1430 NEXT JH
1440 NEXT JD
1450 NEXT JBS
1460 LPRINT
1470 REM MIN. MALIYET
1480 ENK=1E+10
1490 FOR JJ=1 TO K
1500 IF OP1(JJ) > ENK THEN 1560
1510 ENK=OP1(JJ)
1520 BESAY=BS(JJ)
1530 BCAP=D(JJ)
1540 BGEN=D1(JJ)
1550 BYUK=H(JJ)
1560 NEXT JJ
1570 IF BYUK = 0 THEN 1600
1580 IF ENK = 1E+10 THEN 1600
1590 GOTO 1660
1600 LPRINT"Dikkat!.. Mevcut kisitlar altinda cozume ulasilamamistir."
1610 LPRINT"Sogutucu, dolgu ve egzotermik malzeme kullanimi gibi di- "
1620 LPRINT"ger yonlu katilasma araclarindan faydalanmalisiniz."
1630 LPRINT
1640 LPRINT"-----"
1650 END
1660 LPRINT"*** PROGRAM CIKTISI ***"
1670 LPRINT"      =====      "
1680 LPRINT
1690 LPRINT"uygun cozum sayisi.....=";USING"#####.#";K
1700 LPRINT
1710 BAC=AC/BESAY
1720 BVC=VC/BESAY

```

```

1730 LPRINT"dok. bes. bol. hac.....=";USING"#####.#";BVC
1740 LPRINT"dokum hacmi.....=";USING"#####.#";VC
1750 LPRINT"dok. bes. bol. ala.....=";USING"#####.#";BAC
1760 LPRINT"dokum alani.....=";USING"#####.#";AC
1770 SF=(L+W)/T
1780 LPRINT"sekil fak. [(L+W)/T]...=";USING"#####.#";SF
1790 Q=BGEN-W
1800 IF Q > 0 THEN 1850
1810 AT=P*(BCAP^2)/4
1820 CR=P*BCAP
1830 MC=VC/(AC-AT*BESAY)
1840 GOTO 1880
1850 AT=P*(W^2)/4+(Q*W)
1860 CR=P*W+2*Q
1870 MC=VC/(AC-AT*BESAY)
1880 LPRINT"dokum modulusu.....=";USING"#####.#";MC
1890 IF BGEN > W THEN 1940
1900 LPRINT
1910 LPRINT"besleyici turu.....= SILINDIRIK"
1920 LPRINT
1930 GOTO 1970
1940 LPRINT
1950 LPRINT"besleyici turu.....= OVAL"
1960 LPRINT
1970 VR=AT*BYUK
1980 AR=(CR*BYUK)+AT
1990 TVR=VR*BESAY
2000 LPRINT"besleyici hacmi.....=";USING"#####.#";VR
2010 LPRINT"top. bes. hacmi.....=";USING"#####.#";TVR
2020 LPRINT"besleyici alani.....=";USING"#####.#";AR
2030 MR=VR/AR
2040 LPRINT"besleyici modulusu.....=";USING"#####.#";MR
2050 HYET=BESAY*((.14*VR)-(S*VR))-(S*VC)
2060 VOBS=(.86*VR+(HYET/BESAY))*BESAY
2070 VER=(VC/(VC+VOBS))*100
2080 EKV=TVR-VOBS
2090 BEKV=EKV/BESAY
2100 LPRINT"bes. etk. kull. hac....=";USING"#####.#";BEKV
2110 LPRINT"etk. kull. hacim.....=";USING"#####.#";EKV
2120 EKO=EKV/TVR
2130 LPRINT"etk. kull. oran.....=";USING"#####.###";EKO
2140 LPRINT"toplam bes.son hacmi...=";USING"#####.#";VOBS
2150 LPRINT
2160 VO=BESAY*VR/VC
2170 MO=MR/MC
2180 LPRINT"hacim orani.....=";USING"#####.###";VO
2190 LPRINT"modul orani.....=";USING"#####.###";MO
2200 SO=BYUK/BCAP
2210 OYO=BYUK/BCAP
2220 OGO=BGEN/BCAP
2230 FRS=((L/BESAY)-BCAP)/2
2240 FRO=((L/BESAY)-BGEN)/2
2250 IF BGEN = 0 THEN 2330
2260 AT=P*(W^2)/4+(Q*W)
2270 TAT=AT*BESAY
2280 LPRINT"bes. orani. (yuk/cap)..=";USING"#####.#";OYO
2290 LPRINT"bes. orani. (gen/cap)..=";USING"#####.#";OGO
2300 LPRINT"top. bes. tab. alani...=";USING"#####.#";TAT

```

```
2310 LPRINT"besleme araligi.....=";USING"#####.#";FRO
2320 GOTO 2380
2330 AT=P*(BCAP^2)/4
2340 TAT=AT*BESAY
2350 LPRINT"bes. orani. (yuk/cap)..=";USING"#####.#";SO
2360 LPRINT"top. bes. tab. alani...=";USING"#####.#";TAT
2370 LPRINT"besleme araligi.....=";USING"#####.#";FRS
2380 LPRINT
2390 LPRINT"minimum maliyet.(TL)...=";USING"#####.#";ENK
2400 LPRINT"verimlilik (%). ....=";USING"#####.#";VER
2410 LPRINT"besleyici sayisi.....=";USING"#####.#";BESAY
2420 LPRINT"besleyici capi.....=";USING"#####.#";BCAP
2430 LPRINT"besleyici genisligi...=";USING"#####.#";BGEN
2440 LPRINT"besleyici yuksekligi...=";USING"#####.#";BYUK
2450 LPRINT
2460 LPRINT"-----"
2470 LPRINT
2480 LPRINT
2490 FOR JJJ=1 TO K
2500 OP1(JJJ)=0!
2510 H(JJJ)=0!
2520 D(JJJ)=0!
2530 D1(JJJ)=0!
2540 J=0
2550 K=0
2560 NEXT JJJ
2570 END
```

PROGRAM ÇIKTISI ÖRNEĞİ

*** Sistem Parametreleri ***

=====

Dok. Uzun. (cm).....=	172.7
Dok. Gen. (cm).....=	30.0
Dok. Kal. (cm).....=	5.0
Cek. Oran. (%).....=	0.05
Yogunluk.....=	7.4
E. Mal..(TL/kg.).....=	19.5
T. Mal..(TL/sq. cm.)...=	91.0

*** PROGRAM ÇIKTISI ***

=====

uygun cozum sayisi.....=	1878.0
dok. bes. bol. hac.....=	4317.5
dokum hacmi.....=	25905.0
dok. bes. bol. ala.....=	2014.8
dokumalani.....=	12089.0
sekil fak. [(L+W)/T]...=	40.5
dokum modulu.....=	2.3
besleyici turu.....=	SILINDIRIK
besleyici hacmi.....=	2923.3
top. bes. hacmi.....=	17540.0
besleyicialani.....=	989.1
besleyici modulu.....=	3.0
bes. etk. kull. hac.....=	362.0
etk. kull. hacim.....=	2172.3
etk. kull. oran.....=	0.124
toplam bes.son hacmi...=	15367.8
hacim orani.....=	0.677
modul orani.....=	1.274
bes. orani. (yuk/cap)..=	1.4
top. bes. tab.alani...=	923.2
besleme araligi.....=	7.4
minimum maliyet.(TL)...=	86225.1
verimlilik (%).....=	62.8
besleyici sayisi.....=	6.0
besleyici capi.....=	14.0
besleyici genisligi....=	0.0
besleyici yuksekligi...=	19.0

*** Sistem Parametreleri ***
=====

Dok. Uzun. (cm).....=	86.4
Dok. Gen. (cm).....=	12.5
Dok. Kal. (cm).....=	5.0
Cek. Oran. (%).....=	0.03
Yogunluk.....=	7.3
E. Mal..(TL/kg.).....=	10.0
T. Mal..(TL/sq. cm.)...=	100.0

*** PROGRAM CIKTISI ***
=====

uygun cozum sayisi.....=	39.0
dok. bes. bol. hac.....=	1349.2
dokum hacmi.....=	5396.9
dok. bes. bol. ala.....=	755.6
dokumalani.....=	3022.3
sekil fak. [(L+W)/T]...=	19.8
dokum modulu.....=	2.0
besleyici turu.....=	SILINDIRIK
besleyici hacmi.....=	1570.0
top. bes. hacmi.....=	6280.0
besleyicialani.....=	706.5
besleyici modulu.....=	2.2
bes. etk. kull. hac.....=	87.6
etk. kull. hacim.....=	350.3
etk. kull. oran.....=	0.056
toplam bes.son hacmi...=	5929.7
hacim orani.....=	1.164
modul orani.....=	1.115
bes. orani. (yuk/cap)..=	2.0
top. bes. tab.alani...=	314.0
besleme araligi.....=	5.8
minimum maliyet.(TL)...=	31832.9
verimlilik (%).....=	47.6
besleyici sayisi.....=	4.0
besleyici capi.....=	10.0
besleyici genisligi...=	0.0
besleyici yuksekligi...=	20.0

*** Sistem Parametreleri ***

=====

Dok. Uzun. (cm).....=	86.4
Dok. Gen. (cm).....=	12.5
Dok. Kal. (cm).....=	5.0
Cek. Oran. (%).....=	0.03
Yogunluk.....=	7.3
E. Mal..(TL/kg.).....=	100.0
T. Mal..(TL/sq. cm.)...=	10.0

*** PROGRAM CIKTISI ***

=====

uygun cozum sayisi.....=	39.0
dok. bes. bol. hac.....=	1349.2
dokum hacmi.....=	5396.9
dok. bes. bol. ala.....=	755.6
dokumalani.....=	3022.3
sekil fak. [(L+W)/T]...=	19.8
dokum modulu.....=	2.0
besleyici turu.....=	SILINDIRIK
besleyici hacmi.....=	1329.8
top. bes. hacmi.....=	5319.2
besleyicialani.....=	578.5
besleyici modulu.....=	2.3
bes. etk. kull. hac.....=	80.4
etk. kull. hacim.....=	321.5
etk. kull. oran.....=	0.060
toplam bes.son hacmi...=	4997.7
hacim orani.....=	0.986
modul orani.....=	1.125
bes. orani. (yuk/cap)...=	1.3
top. bes. tab.alani...=	379.9
besleme araligi.....=	5.3
minimum maliyet.(TL)...=	7447.7
verimlilik (%).....=	51.9
besleyici sayisi.....=	4.0
besleyici capi.....=	11.0
besleyici genisligi...=	0.0
besleyici yuksekligi...=	14.0