

57434

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**1500 x 200 mm KESİTİNDE SLAB DÖKÜMÜ
İÇİN BİR SÜREKLİ DÖKÜM TESİSİNİN
PROJELENDİRİLMESİ**

Mak. Müh. İlker AYGEN

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilimdalı İmal Usulleri Programında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet Ulvi AVCI

İSTANBUL , 1996

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR

ÖZET

ABSTRACT

1. GİRİŞ.....	1
2. SÜREKLİ DÖKÜM TESİSİNİN ANA YAPI ELEMANLARI	3
2.1 Pota ve Taşıyıcı Sistemler	4
2.2 Ara Pota (Dağıtıcı Pota)	6
2.2.1 Ara Pota Refrakterleri	9
2.3 Kalıp	11
2.3.1 Kalıp Malzemeleri	12
2.3.2 Kalıp Yağlama	13
2.3.3 Kalıbın Soğutulması	13
2.3.4 Kalıp Salınımı	14
2.4 Karıştırıcılar	16
2.5 İlk Hareket Başlığı	19
2.6 Destek Elemanları	20
2.6.1 Makara Sistemleri	20
2.6.2 Makaralar	26
2.6.2.1 Makara Malzemeleri	27
2.7 Soğutma Sistemleri	28
2.7.1 Kalıbın Soğutulması	29
2.7.2 2. Bölgenin Soğutulması	29
2.7.2.1 Püskürtme Memeleri	30
2.7.3 Makaraların soğutulması	31
2.7.4 Makina ve Techizatın Soğutulması	32

2.8 Kesme Donatıları	33
2.8.1 Makaslar	33
2.8.2 Alevle Kesme	33
2.8.3 Yeni Kesme Sistemleri	35
2.9 Kontrol ve Ayar Sistemleri	35
3. 1500x200 mm KESİTİNDE SLAB ÜRETİMİ İÇİN HESAPLAMALAR ...	37
3.1 Pota kapasitesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi	37
3.2 Ara Pota Kapasitesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi	38
3.3 Kalıp Boyutlarının Belirlenmesi	39
3.3.1 Kalıp Boyunun Belirlenmesi	41
3.4 Soğutma Sistemi Hesaplamaları	43
3.4.1 Kalıp Soğutma Hesaplamaları	46
3.4.2 2.Bölge Soğutma Hesaplamaları	49
3.4.2.1 Teorik Yüzey Sıcaklığına Bağlı Soğutma Suyu Debisinin Belirlenmesi	52
3.4.2.2 Grafik Yüzey Sıcaklığına Bağlı Soğutma Suyu Debisinin Belirlenmesi	56
3.4.3 Toplam Soğutma Suyu Debisinin Belirlenmesi	66
3.5 Makara Sistemi Hesaplamaları	67
3.5.1 Makaralar Arası Mesafenin Hesaplanması	69
3.5.2 Makara Çapının Belirlenmesi	67
3.5.3 Hesaplanan Makaralar Arası Mesafenin Sehim Hesabı Yöntemi İle Karşılaştırılması	78
4. SONUÇ	83

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Ahmet Ulvi AVCI 'ya,
Ereğli Demir Çelik Fabrikaları A.Ş. 'de yaptığım incelemeler sırasında bana yardımcı olan değerli mühendis ağabeylerime, ayrıca yakın ilgi ve desteklerinden dolayı beraber çalıştığım araştırma görevlisi arkadaşlarıma, özellikle Araş. Gör. Erhan ÇUBUKÇUOĞLU 'na teşekkür ederim.



ÖZET

Sürekli döküm yöntemi , çok büyük malzeme, enerji ve zaman tasarrufu sağlayan, çok çeşitli malzeme ve kesitte son mamul mertebesinde üretim yapılan bir yöntemdir.

Yapılan çalışmada ilk olarak slab üretimi için bir sürekli çelik döküm tesisinin ana yapı elemanları dizayna yönelik tanıtılmıştır. Sonra 1500x200 kesitinde slab üretimi için tesisin ; Pota, Ara pota, Kalıp boyutları, Soğutma sistemi ve Makara sistemi hesaplamaları farklı yöntem ve yaklaşımlarla yapılmıştır.

Çeşitli kaynaklardan yararlanılarak yapılan hesaplama sonuçları Erdemir A.Ş.'de yaptığım incelemelerle karşılaştırıldığında sonuçların pratik uygulamalara uygun olduğu görülmüştür.

ABSTRACT

Continuous casting is a material, energy and time saving method compared with other casting methods. In this method , products in different material and section can be casted with end-product degree.

In this thesis , firstly the main equipment of continuous steel casting machine, namely landle, landle turret, tundish, tundish refractors, mould oscillation system, electromagnetic string, dummy bar and rolling material are described in order to manufacture of slabs. Afterwards, mould cooling , secondary cooling and machine cooling operations are examined.

In the second part of thesis, landle, tundish and mould dimensions (mould length, wall thickness and material) are determined. Then, cooling and rolling systems are calculated with different methods and approaches to produce 1500x200 mm section of slab. In these calculations, mould and secondary region flow of cooling water are defined and surface temperature and flow of cooling water graphics are drawn. After that the length between rollings and rolling diameters are calculated.

These calculated results which are determined from the literature are compared with the ERDEMİR continuous slab casting machines. Consequently, it has been seen that the results are suitable for slab caster.

1. GİRİŞ

Sürekli döküm yöntemi ; 19.yy başlarında düşünce olarak gelişmeye başlayan, günümüzde ileri seviyeye ulaşan ve çelik endüstrisinde seri olarak kütük, blum, platina ya da bu profillerin dışında mamül / yarımamül üretilmesinde kullanılan döküm yöntemidir.

Teknolojik gelişmeler ve geliştirilen yöntemler sonucu sıvı çeliğin üretim hızı ve kapasitesinin artmasına paralel olarak endüstride yarı mamül veya son mamül olarak kullanılan ürünlerin üretim hızının ve kapasitesinin artması gereksinimi sürekli döküm yönteminin gelişmesini sağlamıştır. Bunun sonucu klasik yöntem olan ; ingotların dökümü ve bu ingotlardan çeşitli haddeleme işlemlerinden sonra son mamül olan kütük, platina ve profillerin elde edilmesi yöntemi önemini yitirmiştir. Elektronik ve malzeme alanındaki gelişmelerin de desteğiyle, günümüzde sıvı çeliğin çok büyük bölümü sürekli döküm yöntemiyle şekillendirilmektedir.

Sıvı çelik ⇒ Sürekli döküm ⇒ ⇒ Kesme ⇒ Depolama

Sıvı Çelik ⇒ İngot dökümü ⇒ Temizleme ⇒ Depolama veya sıcak taşıma ⇒
Tavlama ⇒ Slab boyutlarına haddeleme ⇒ Kesme ⇒ Depolama

Şekil 1.1 : Sürekli döküm yöntemi ile klasik yöntemin karşılaştırılması

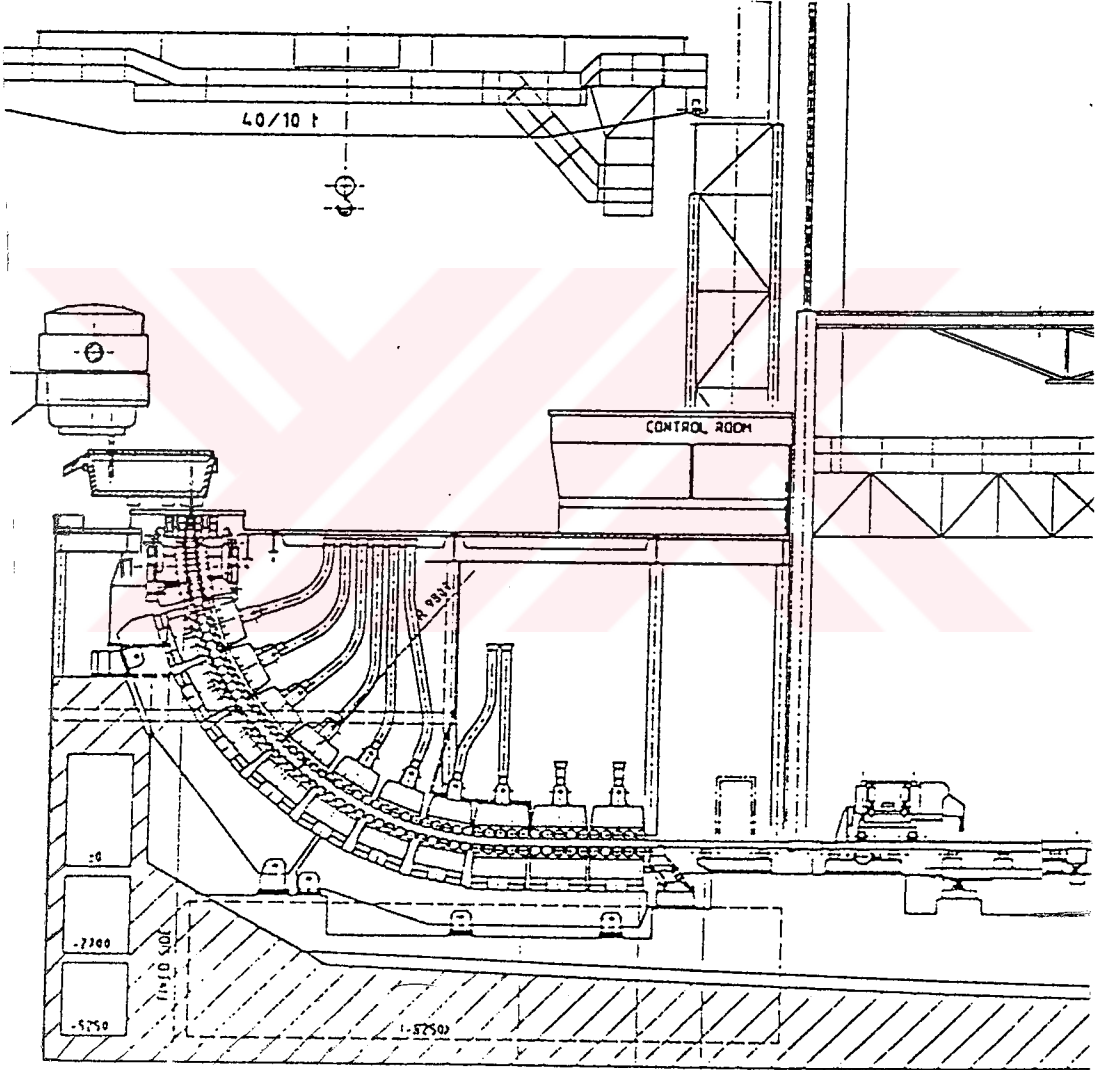
Yüksek teknoloji kullanılan sürekli döküm yöntemi ; klasik yöntemle göre (Şekil 1.1 de görüldüğü gibi) bir çok ara işlemin ortadan kaldığı, çok ince kesitlerin bile dökülebildiği, çok büyük malzeme, enerji ve zaman tasarrufu sağlayan, son mamül mertebesinde üretim yapılan bir yöntemdir.

Bu yöntemin esasını şekil 2.1’de görülen su soğutmalı altı ve üstü açık, negatif sıyırma hareketi yapabilen kalıp, ilk katılaşmayı sağlayan bir çekme başlığı ve başlığın arkasından gelen yarı katı haldeki metali çekme ve doğrultma işlemini gerçekleştiren makaralar oluşturur. Kalıbı sıvı metal ile besleyen bir ara pota, soğutma ve su püskürtme donanımı, karıştırıcılar, kontrol ve ayar sistemleri, kesme ve taşıma mekanizmaları sistemi tamamlayan diğer ana elemanlardır.



2. SÜREKLİ DÖKÜM TESİSİNİN ANA YAPI ELEMANLARI

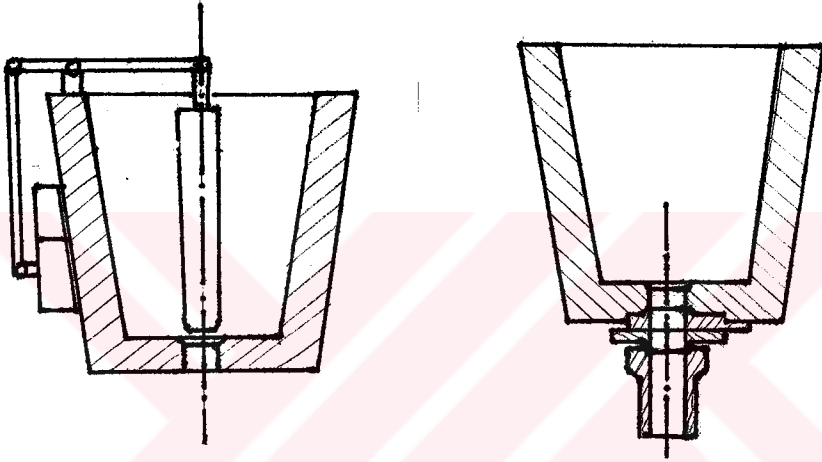
Bir sürekli çelik döküm tesisi oluşturan yapı elemanları şekil 2.1' de şematik olarak gösterilmiştir. Proje konusuna temel oluşturması açısından tesisin ana elemanlarını açıklamakta yarar vardır.



Şekil 2.1 : Sürekli döküm tesisi ana yapı elemanlarının görünümü (SMS kataloğu)

2.1. Pota ve Taşıyıcı Sistemler

Sürekli döküm yönteminde en çok kullanılan potalar alttan dökme stoperli ve ya sürgülü potalardır (şekil 2.2). Bu sayede metalin havadan gaz emişi ve oksidasyonu azaltılır ve curufun sıçrama yoluyla metale karışması önlenir. Bu da çelik kalitesini iyi yönde etkiler. Ayrıca stoperin ve ya sürgünün ayarlanabilme özelliği döküm hızının kontrolünü kolaylaştırır.



Şekil 2.2 : (a) Stoperli pota , (b) Sürgülü pota

Günümüz modern sürekli döküm tesislerinde sürgü plakaları; akış ayar kolaylığı, bakım ve değiştirme kolaylığı, üretim kolaylığı gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Sürgülü sistemler iki ve ya üç plakalı olabilir. İki plakalı olanların potalarda, üç plakalı olanların tandişlerde (ara potalarda) kullanımı yaygındır. Plakaların hareketli olanları hidrolik bir sistemle tahrik ettirilir.

Sürekli döküm potaları , sıvı metali ergitme ocağından veya konverterden ara potaya taşıma işlevinden başka içinde metalurjik işlemlerin de yapıldığı birer döküm vasıtalarıdır. Bu işlemler alaşımlama, dezoksidasyon ve gaz üfleme gibi işlemlerdir.

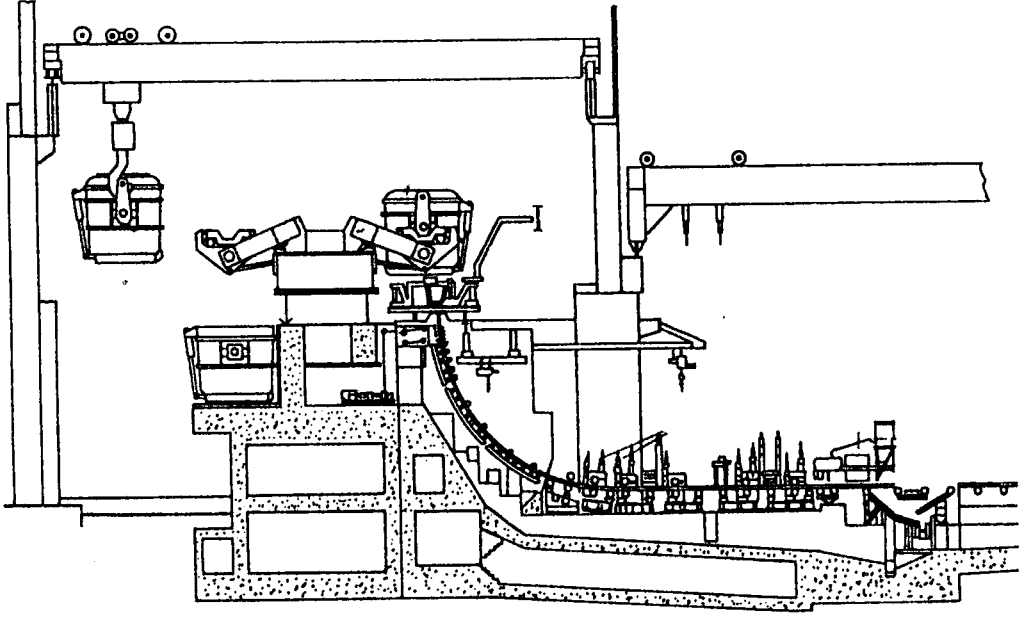
Pota sıcaklığının belirlenmesinde yapılan metalurjik işlemlerdeki (Alaşımlama, dezoksidasyon, gaz üfleme vb.) ve taşıma sırasındaki ısı kayıplarının dikkate alınması gerekir. Problemsiz bir akış, uygun bir katılaşma yapısı sağlayabilmek için önceden saptanan pota içindeki min. sıvı metal sıcaklığına yaklaşık 5 °C lik toleranslarla ulaşılabilmelidir.

Bu yönlerden bakıldığında, sürekli döküm tesislerinde kullanılan potaların diğer döküm yöntemlerinden farkı , uzun süre ve daha yüksek çelik sıcaklığı zorunlulğundan daha fazla refrakter malzeme gerektirmesidir.

Kullanılan örgü malzemesinden; sıvı çelik potaya ilk alındığındaki ısı etkilerden, sıvı çelik potada iken yapılan metalurjik işlem sırasındaki ısı etkilerden etkilenmemesi beklenir. Potaların sürekli döküm için çok önem taşıyan homojen döküm sıcaklığını sağlayan izolasyonu sağlayacak kapasitede olması beklenir.

Sürekli dökümde diğer önemli bir husus çelik potaları ile ara pota arasındaki sıvı çelik akışının döküm hızını değiştirmeyecek şekilde sağlamasıdır. Dolu pota ile boş potanın çok süratli ve dengeli şekilde, ara pota içindeki sıvı metali en az etkileyecek biçimde değiştirilmesi gerekir.

Potanın değiştirilmesinde en çok kullanılan iki sistem vardır. Birincisi kapasiteleri aynı iki vinç yükseklikleri farklı olarak yerleştirilir. Her ikiside ayrı ayrı kontrol edilir ve bir tanesi boş potayı kaldırırken diğeri boş potayı öncekini yerine koyar. İkinci sistem günümüz tesislerinde tercih edilen sistemdir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Pota arabalı 180 ° dönerli taşıyıcı sistemi

Bu sistemde potanın değiştirilmesini sağlayan konstrüksiyonu 180° dönebilen ve potanın üstüne konulduğu ve ya kenarlardan askıya alındığı bir taşıyıcı ile boş ve dolu potaların taşınmasında kullanılan raylı bir vinçten oluşur. Bu sayede potaların kısa sürede değiştirilmesi mümkün olmakta bu da sürekli dökümün devamlılığı, ara pota boyutlarının küçültülmesi ve döküm sıcaklığının homojenliği açısından önemlidir.

2.2. Ara Pota (Dağıtıcı Pota, Tandış)

Kalıba düzenli bir şekilde metal akışını sağlayan, kalıpta ferostatik basıncı aynı değerde tutmaya ve çok kanallı döküm makinalarında sıvı çeliğin tüm kanallara aktarılmasına yardımcı olan ara pota sürekli dökümün vazgeçilmez bir parçasıdır.

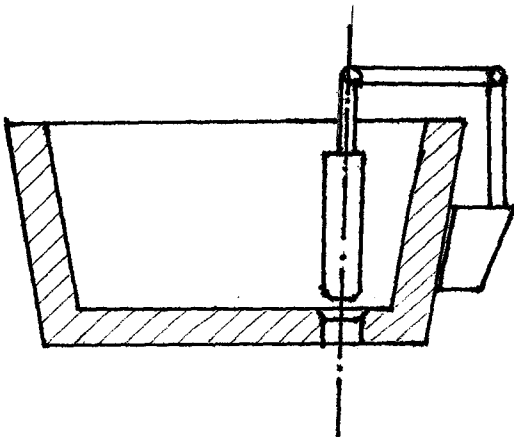
Ara potanın görevi yalnızca sıvı çeliğin düzenli olarak akışını sağlamak değildir. Aynı zamanda sıvı çelik rezervini gerçekleyerek, bir potadan metal akışı bittiğinde diğer

potadan metal akışı başlayana kadar kalıba sıvı çelik akışını sürdürerek kesintisiz döküm yapılabilme olanağı sağlar.

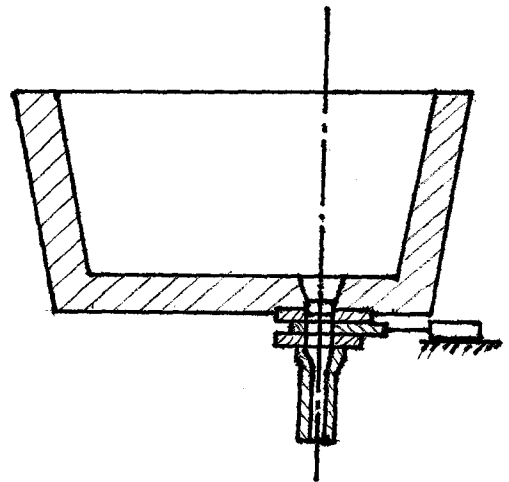
Şekil ve ya dizaynı ne olursa olsun, ara potanın şu işlevleri yerine getirmesi gerekir :

- a) Ara potadan kalıba kontrollü ve kararlı bir şekilde sıvı çelik akışını temin etmelidir.
- b) Sıvı çelik ısı kaybını en alt düzeyde tutmalıdır.
- c) Tandış içerisinde durgun, hareketsiz sıvı bölgesi olmamalıdır. Böyle bölgelerin skallama yaratacağı unutulmamalıdır.
- d) Nozül ve civarı, sıvı çelik katılaşma eğilimini en alt düzeyde tutacak şekilde dizayn edilmelidir.
- e) Ön ısıtma verimi yüksek olmalı, astarlam, skaldan arındırma ve temizleme işlemlerinin kolaylıkla yapılmasına olanak vermelidir.
- f) Potadan ara potaya geçen curufun kolayca ayrılmasını temin etmelidir.
- g) Potadan akışın ara pota nozulundan uzak olması gerekir. Böylece bu akışın yaratacağı çalkantının arapotayı etkilemesi önlenecektir.

En yaygın biçimde kullanılan ara pota , tekne veya kanal şeklinde olandır. Sıvı metalin akış sistemine göre stoperli (tıkacı) sistem (şekil 2.4), sürgülü sistem (şekil 2.5) olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.4 Tıkacı Sistem



Şekil 2.5 Sürgülü Sistem

Bazı ara potalarda uzun kenarların birinin eğiminde değişiklik yapılarak, çelik akışının ara pota nozuluna doğru yönelmesinin artırılması sağlanabilir. Ancak akış modeli çalışmalarında, ön ve arka kenarda eğim farkı bulunmasının, nozul üzerinde anaför yaratan bir etki yaptığında kullanımda tercih edilen arapota dizaynı simetrik kesitli olanlarıdır.

Potadan metal akışının düştüğü yer, ara pota nozullarından uzak tutularak veya ara duvarlarla, arapotadan kalıba akışta bir çalkantının oluşmamasına çalışılır. Ara pota içerisinde bir takım engellerin veya geçitlerin yerleştirilmesi sıvı metal dalgalanmasını önlediği gibi curuf kalıntıları, metal olmayan dezoksidasyon ürünlerinin çelik bünyesinden uzaklaştırılmasına da yardımcı olur.

Ara potanın büyüklüğü döküm tesisinin sıvı çelik gereksinimine bağlıdır. Pota değişimi sırasında arapota içinde en azından 2-3 dakikalık sıvı çelik kalmalıdır. Ayrıca ara pota büyüklüğü çelik içindeki katışkılarının (inklüzyon) yüzerek bünyeden ayrılmasına olanak verecek kadar olmalıdır.

Bilindiği gibi kalıptaki çalkantı, ara potadan metal akışının düzenine bağlıdır. Sabit ve düzenli çelik akışı kalıptaki çalkantının da az olmasını sağlayacaktır. Ancak kalıptaki sıvı çelik çalkalanması akış enerjisine ve dolyısıylaferrostatik basınca bağlıdır. Ara pota o şekilde dizayn edilmelidir ki , nozul çapı ve sıvı çelik yüksekliği, akış enerjisi ve kalıptaki çalkalanmayı en alt düzeyde tutsun. Çünkü, kalıptaki sıvı çelik çalkantısı yeni oluşan kabuk kalınlığını, yani katılaşılan bölge kalınlığını etkileyerek mamülde yüzey kusurlarının oluşmasında rol oynar.

Ara pota içerisindeki sıvı metalin, mümkün olduğunca homojen sıcaklıkta ve en az ısı kaybı ile tutulması gerekir. Bu nedenle refrakter malzemenin döküm işlemi boyunca ısı etkilere dayanması ve iyi bir izolasyon yapması önemlidir.

2.2.1. Ara Pota Refrakterleri

Sürekli döküm uygulamasında refrakter kullanımının kritik alanı ara potalardır. En alt düzeyde ısı kaybıyla, dezoksidasyon ürünlerinden ve katışkılardan mümkün olduğunca arındırılmış sıvı çeliğin, sabit ferrostatik basınç altında kalıba akması için, güvence altında vokesintisiz döküm yapılabilmesi için refrakter malzemelerden şu özellikler beklenir :

- a) Döküm sıcaklığına (yaklaşık 1600 °C) dayanabilecek refrakterlik,
- b) Özellikle potadan metal akışının çarptığı yer başta olmak üzere, yüksek aşınma direnci
- c) Skala temizlenmesinde zararlara karşı koyabilecek sağlamlık,
- d) Döküm başlangıcında aniden yüksek sıcaklığa maruz kalacağından, yeterli düzeyde termal şok direnci

Refrakter malzemeler alümina, slika, titan ve toprak alkali oksitler içerir. Aşınmaya dayanımda refrakter içerisindeki alümina önemli rol oynar. Ancak yüzde alümina beraberinde yoğunluk ve ısı iletkenliğinde artışı da getireceğinden ısı kaybının artmasına sebep olur.

Isı kaybını azaltmak için , aşınmaya dayanıklı ve yüksek yoğunlukta çalışma astarı ile yoğunluğu düşük ve çok gözenekli ısı izolasyon astarının kullanılması iyi sonuç verir. Ayrıca ara potaya 1100-1200 °C civarında bir ön ısıtma uygulayarak, sıvı çelik ve astar arasındaki ısı farkı azaltılarak termal şok azaltılmaya çalışılır. Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 de ara pota çalışma astarı için kullanılan refrakter malzemeler ve bunların özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.1 Refrakter malzemeler (Erdemir eğitim ,1994)

MALZEME	KOMPOZİSYON, %			Görünür Porozite, %	Hacim Yoğunluğu gr/cm ³
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Diğer		
% 70 Al ₂ O ₃ —Pişirilmiş Tuğla	69-72	21-23	—	18-21	2,5-2,6
% 75 " —Pişirilmemiş Tuğla	75-77	15-18	2-4 P ₂ O ₅	18-22	2,6-2,8
% 85 " —Pişirilmiş Tuğla	83-85	7-10	" "	10-13	2,8-2,9
% 85 " —Pişirilmemiş Tuğla	83-87	7-10	" "	18-22	2,9-3,0
% 85 Al ₂ O ₃ lü Plastik	83-86	8-11	" "	23-26	2,5-2,6
% 90 " "	89-92	6-8	1-3 P ₂ O ₅	23-26	2,6-2,7
Direk bağlı bazık tuğla (% 60 MgO, % 1 SiO ₂ ve % 3 CaO)	—	—	—	12-13	3,3-3,4

Tablo 2.2 Refrakter malzemelerin özellikleri (Erdemir eğitim ,1994)

Sınıf	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Alkali	Hacim Yoğunluk gr/cm ³	Görünür Porozite %	SKM (1480°C) Psi	(1600°C) Sic. Yük Altında De- yon	Özgül Isı Cal/gr/°C	Isı İletkenliği Cal/sn/cm ² / cm/°C
Pişirilmiş	27	64	2,0	1,0	0,8	1,2	4,0	2,30	12,3	—	—	0,24	0,00025
Pişirilmemiş	35	59	2,0	0,3	0,5	1,7	1,6	2,25	12,0	—	—	0,24	0,0025
%50 Al ₂ O ₃ (Pişirilmiş)	50	44	1,3	0,5	0,2	1,0	2,0	2,40	15,0	—	—	0,24	0,003
%50 Al ₂ O ₃ (Pişirilmemiş)	51	44	1,7	0,1	0,3	2,2	0,9	2,46	11,0	—	—	0,24	0,003
%60 Al ₂ O ₃ (Yüksek saflık)	60	35	1,2	0,1	0,1	2,2	0,2	2,55	14,2	60	-5,1	0,25	0,004
%70 Al ₂ O ₃ (Standard)	72	23	1,5	0,2	0,2	2,9	0,5	2,58	20,6	20	(1650) -12,5	0,25	0,004
%70 Al ₂ O ₃ (İyileştirilmiş)	70	25	1,0	0,05	0,07	3,1	0,1	2,6	17,0	50	(1650) -6,3	0,25	0,005

2.3 KALIP

Sürekli dökümde, sıvı çeliğin önceden belirlenen bir kesitte ilk katılaşmaya başladığı yer kalıptır. Kalıp, iyi bir ısı transferi ile, katılaşan kısımda herhangi bir bozulma olmaksızın

2. soğutma bölgesine kadar mamulün ulaşmasını sağlamalıdır. Bu nedenle kalıp bir kilit noktasıdır denilebilir, burada başlayacak bir hata döküm makinasının diğer kısımlarına doğru giderek artar.

Kalıp kesiti, kenarların konikliği, bu kenarların birleştiği köşe biçimi ve radüs çapı ıl kalıp boyu, kalıp boşluğunu biçimlendiren büyüklüklerdir.

Başlıca kalıp tipleri dövme blok kalıplar, ince cidarlı yekpere çekme kalıplar (tüp kalıplar) ve plaka kalıplardır.

Blok kalıplar tek parça katı bakır gövdeden dövülerek üretilen kalıplardır. Her türlü parça şekline uygun olmasına rağmen üretim maliyetinin pahalı olması ve kalıp iç duvarlarının onarılması sonucu kesit ölçüsünün değişmesi dezavantajıdır.

Dikişsiz bakır tüp şeklinde üretilen tüp kalıplar küçük kare ve dikdörtgen şeklindeki parçaların (yaklaşık ölçüsü 250 mm) ve dairesel parçaların (yaklaşık çap ölçüsü 450 mm) üretilmesinde tercih edilmektedir.

Geniş ve düz parçaların üretiminde , özellikle slab üretiminde, plaka kalıplar kullanılır. Bukalıplar iki geniş plaka (yan yüzeyler) ile iki dar plakadan (dar yüzeyler) oluşurlar. Plakaların bir tarafı sabit diğer tarafları hareket edebilir şekilde çelik gövdeye bağlanır. Böylece istenilen ölçüye ayar olananağı sağlanır.

İster tek, ister dört parçalı olsun , iki biçimde sürekli döküm kalıbı kullanılmaktadır. Bunlar kavisli kalıplar ve düz kalıplardır. Günümüz modern tesislerinde düz kalıplar tercih edilmektedir. Bunun sebepleri şunlardır :

- Kabuk ile temas yüzeyinin fazla olması ve ısı transferinin yüksek olması nedeniyle

- döküm kapasitesinin yüksek olması

- Sıvı çelik akışının yarattığı türbülansın kontrolünün yapılabilmesi ve daha iyi yüzey kalitesine sahip ürünlerin elde edilmesi
- Maliyetinin düşük ve bakım onarımının kolay olması

2.3.1 Kalıp Malzemeleri

Kalıp malzemesi iyi ısı iletkenliğine, dayanıklılığa, yüksek sıcaklıkta düşük genleşme oranına, düşük sürtünme katsayısına ve iyi aşınma direncine sahip olmalıdır.

Kalıbın çalışma bölgesinin yani sıvı metal ile temas eden bölgesinin ısı geçirgenliği mümkün olduğu kadar yüksek olmalı, aynı zamanda da yüksek mekanik özelliklere sahip olmalıdır.

Kalıp için bir çok malzeme denemiş olmakla birlikte, uygulamalarda bakır ve bakır alaşımları uygun sonuçlar vermiştir. Yüksek saflıkta bakırın ısı iletkenliği yüksek ancak mekanik özellikleri yetersiz olduğundan alaşımlama yada kaplama gibi uygulamalarla bu özellikler iyileştirilmeye çalışılmıştır. Genellikle %1 Ag içeren bakır alaşım kalıp malzemesi olarak kullanılır. Ag-Cu kalıbın avantajı, rekristalizasyon sıcaklığının 300 °C 'nin üstüne yükseltilebilmesi, kalıp iç duvarsıcaklığının 250 °C 'a çıkarılabilmesi mümkün olur. Soğuk haddeleme malzeme mukavemeti % 20 arttırılabilir.

Ayrıca tecrübelerle sabit olan 1 ton çelik için 0,05 kg bakır harcandığı düşünülürse Ni ve Cr kaplama uygulamalarda iyi sonuç vermektedir. Yüzey kaplama aynı zamanda sürtünmeyi de azlttığından kalıbın yağlanması kolaylaştırır.

2.3.2 Kalıp Yağlama

Sürekli dökümde, kabuğun kalıba yapışmasının önlenmesinde ve kabuk ile kalıp arasındaki sürtünme kuvvetinin azaltılmasında, salınım hareketi tek başına yeterli değildir. Sürtünmenin azaltılması ve yapışmanın önlenmesi için kalıp ile kabuk arasında yağlayıcı malzemeler kullanılır. Bu sayede kabuk üzerindeki boyuna çekme kuvveti azaltılarak, bir takım iç kusurların da oluşması önlenir. Belirtilen amaçlarla sürekli dökümde sıvı ve katı (döküm tozları) yağlayıcılar kullanılır.

Günümüz tesislerinde, sıvı yağların kullanımında metal yüzeyinin açık olması ve ısı kaybını artırması ve ayrıca yeniden oksitlenmesi gibi dezavantajları nedeniyle döküm tozları ağırlıklı olarak kullanılır. Yaygın olarak kullanılan döküm tozu $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-CaF}_2$ ' dir.

2.3.3 Kalıbın Soğutulması

Kalıbın, gerekli ısı çekimini sağlamak ve bozulmasını önlemek için soğutulması gerekir.

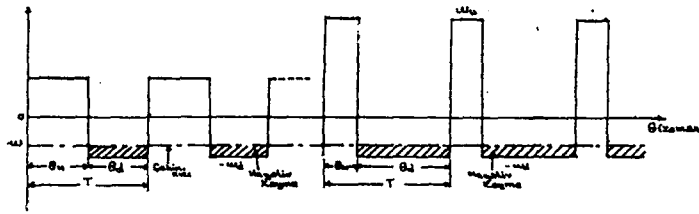
Kalıp dış yüzeyi üzerinde yer alan yarıklar ve kanallar içerisinde dolaşan su ile kalıp soğutulur. Kalıptan çekilen ısı, kullanılan soğutucunun hızına, karşı basınca, sıcaklığına ve soğutma sisteminin dizaynı ile akış şiddetine bağlıdır. Bu konuyla ilgili geniş bilgiler soğutma hesabı bölümünde yer almaktadır.

2.3.4 Kalıp Salınımı

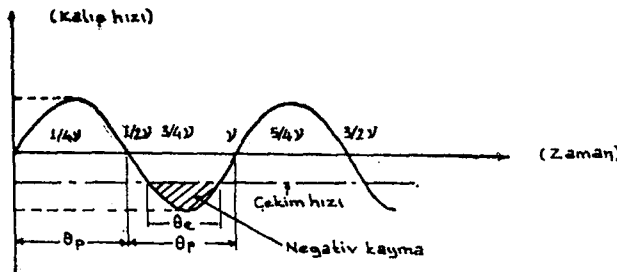
Sürekli dökümde, döküm kesintisiz devam ederken, bir yandan da katılaşma ve yarımamulün kalıptan çekilmesi söz konusudur. Kalıp içinde katılaşan kısım yani kabık iki kuvvetin etkisi altındadır. Aşağı doğru çekme kuvveti ve kabuk kalıp sürtünmesinden

doğan tutulma kuvveti. Dökümün sürekliliği için , kalıpta yeni oluşan kabuk daha önce oluşan ile birleşmelidir. Bunun için de, birleşme kuvvetinin sürtünmeden kaynaklanan kuvvetten büyük olması gerekir. Bu da sabit kalıpta gerçekleşmemektedir. Bu nedenle kopma ve yırtılmaları engellemek üzere hareketli kalıplar geliştirilmiştir. Günümüzde negatif sıyırma salınım hareketli kalıplar kullanılmaktadır. Bu kalıpların salınım aralığı 6-20 mm, frekans 6-120 dev/dk arasında değişir. Salınım hareketi, kalıp hızının zamanabağı olarak değişmesi ve ya sabit kalmasına göre dikdörtgendalga modellenir ve sinüsoidal (üçgen ve ya testere dişi biçimli dalga modeli (şekil 2.6) olarak iki tipte olabilir.

Dikdörtgen modelde kalıbın aşağı yukarı hızı, zamana bağı olarak değişim göstermez . Hız sabittir ve negatif sıyırma oranı zaman faktörü içermez.



Dikdörtgen dalga modeli.

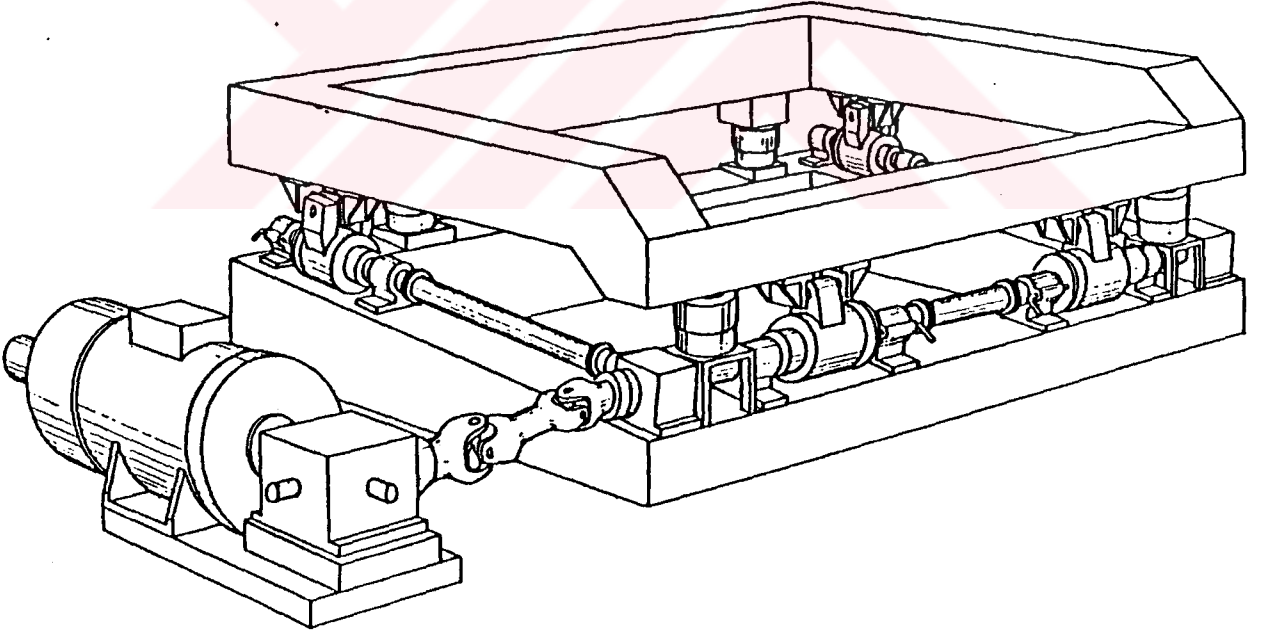


Sinüsoidal dalga modeli.

Şekil 2.6 Dalga modelleri (Sttomer, 1987)

Sinüsoidal kalıp salınım hareketinde ise kalıp hızı zaman bağılı olarak değişir. Hız sabit olmadığı için negatif sıyırma oranı zaman faktörüne göre ifade edilir. Değişen döküm hızı şartlarında optimum negatif sıyırma zamanı 0.2- 0.3 sn 'dir. Ancak döküm hızı ve kalıp hareketi senkronize edilmelidir.

Sinüzoidal dalga modeli özellikle slab dökümlerinde tercih edilir. Salınım aralığı 6-15 mm arasındadır. Küçük hız oranlarında rastlanan, salınım izleri boyunca curuf hapsedilmesi olayı bu modelde görülmez. Yalnız, geniş slabların sürekli dökümünde salınım aralığının 6 mm 'den küçük, frekansın 100 dev/dk 'dan fazla olması birbirine çok yakın salınım izlerini oluşmasına neden olur. Bu durumda kalıp döküm tozunun oluşturduğu ve yağlama görevi yapan sıvı curufun, bu işi yapamaması ve kopmaların oluşması gibi sorunlarla karşılaşılabilir.



Şekil 2.7 Kalıp salınım hareket mekanizması (Voest-Alpine katologu, 1993)

Kalıp salınım hareketini gerçekleştiren mekanizma döküm makinasının konstrüksiyonuna bağlı olarak değişmesine rağmen kalıbın sadece yukarı aşağı hareketini sağlamalıdır. Diğer eksenlerdeki hareketler slab kalitesinde bozulmaya , yüzey problemlerine hatta kopmalara sebep olabilir. Günümüz modern tesislerinde yaygın olarak kullanılan kalıp salınım mekanizması şekil 2.7 ' de şematik olarak gösterilmiştir.

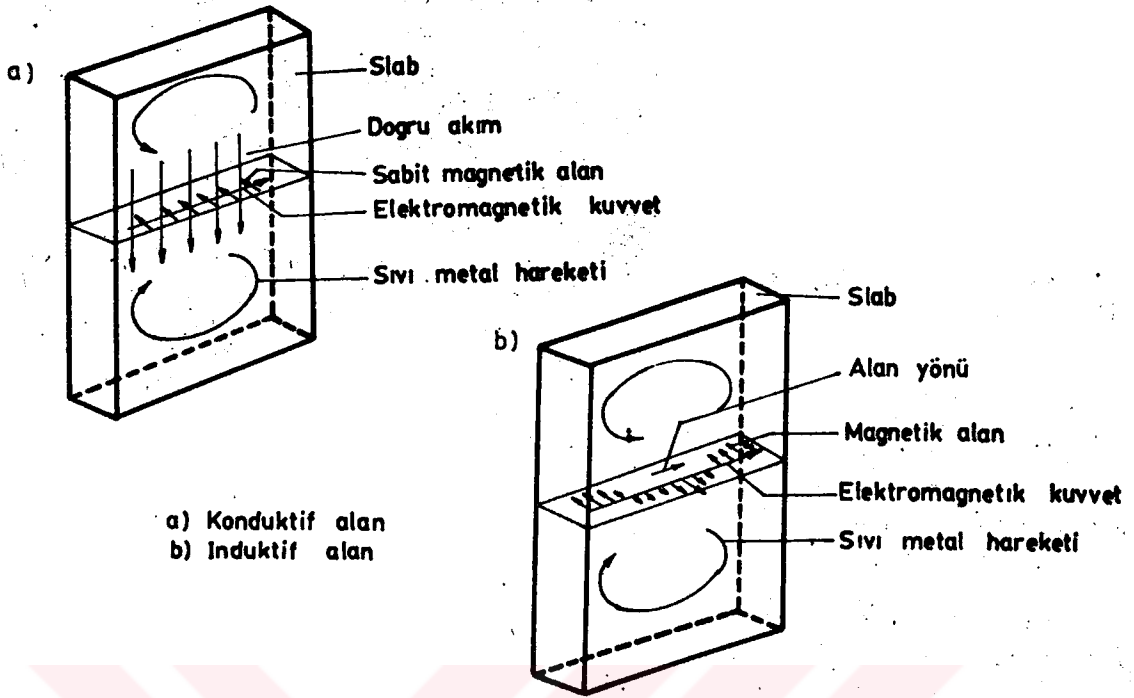
2.4 Karıştırıcılar

Katılaşmakta olan sıvı bir metal alaşımın karıştırılması ile daha iyi bir iç yapı elde edilebildiği bilinmektedir. Özellikle bazı metal alaşımlarında karıştırmanın olumlu yönleri

son senelerde çok daha iyi anlaşılmış ve çeşitli karıştırma yöntemleri geliştirilmiştir.

Çelik malzemeler bilindiği gibi dentridik yapıda katılaştıran malzemelerin başında gelir. Dayanım özelliklerini çok olumsuz yönde etkileyen böyle bir katılma önlem alınmadığı takdirde çeliğin sürekli dökümünde çok daha kolay meydana gelir. Dökümde aşırı ısıtma sıcaklığını düşük tutmak ve sıvı metalin katılma esnasında karıştırmak bu önlemlerin başında gelir.

Sıvı metali, Gaz akımı, vibrasyon, kısa ses dalgaları ve ya elektromagnetik alan etkisi altında karıştırmak mümkün olup bu prensiplere dayanan bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan sürekli dökümde kullanılmaya en uygun olanı elektromagnetik karıştırma yöntemidir.



Şekil 2.8 Elektromagnetik karıştırma (Avcı , 1993)

İç yapının iyileştirilmesi, bileşim ve mekanik özelliklerde homojenliğin sağlanması elektromagnetik karıştırma ile sağlanmaktadır. Bu sistemde düşük frekanslı alternatif akımla yaratılan elektromagnetik güç, karıştırma işlevini yerine getirmektedir. Çeşitli elektromagnetik karıştırma teknikleri şekil 2.8 ' de gösterilmiştir. Karıştırma, kalıpta, kalıptan hemen sonra veya doğrultma öncesi yapılabilmektedir.

Kalıpta yapılan karıştırma ile metalik olmayan karışımları ayırmak, parça yüzey kalitesini iyileştirmek amacı güdülmektedir. 2. soğutma bölgesindeki karıştırmanın amacı ise aşırı ısıtma sıcaklığının olumsuz etkisini, dentritik yapı oluşumunu ve orta bölgedeki toplanmaları azaltmaktır.

Karıştırıcının döküm sisteminde uygulanacağı bölge (kalıp, kalıp sonu, 2. bölge) saptandıktan sonra sıra karıştırmanın hangi doğrultuda ve genişlikte yapılması gerektiği sorusuna gelir. Bu konuda bir fikir vermesi açısından tablo 2.3' ün incelenmesinde yarar vardır.

Tablo 2.3 Karıştırma Biçimleri (Avcı,1993)

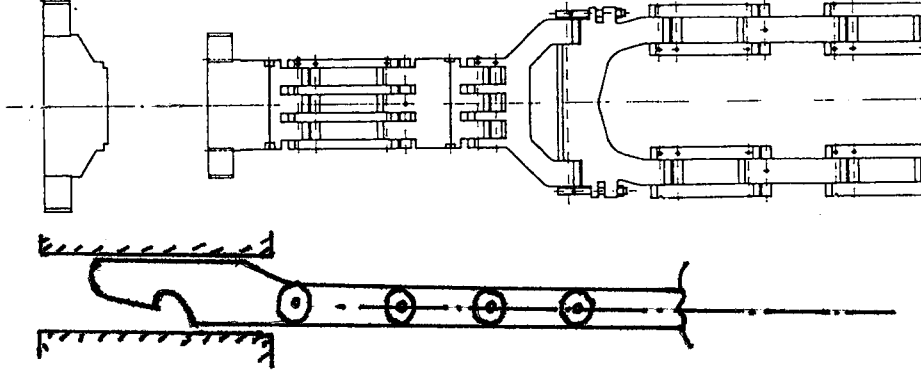
Amaç	İç yapı kalitesi Katılaşma yapısı Merkezde toplanmalar Merkezde boşluklar		Yüzey kalitesi Yüzey hataları Yüzey altında hatalar Speckschicht	
Etki Mekanizması	Ağır ısıtma sıcaklığının düşürülmesi, dendiritlerin parçalanması, taban bölgesinde sıvı akımı		Katılaşma bölgesinde sıvı akımı Sıvı yüzeyinde akım Yabancı karışımların ayrılması	
Karıştırıcının Yeri	İkinci soğutma bölgesi		Kalıp	
Parça Şekli Magnetik Alan	Kütük Döner Yürür (düşey) Spiral	Slab - Yürür (düşey) veya Yatay	Kütük Döner Yürür (düşey) Spiral	Slab Yürür (düşey)
Güç, kVA Frekans, Hz Karıştırma Gücü, N/m ³	30-750 50-60	50-1100 8-12 2000-5000	60 5-8 4000-(9000)	180 3-4 10000-15000
Aynı amaç için diğer önlemler	Düşük döküm sıcaklığı, aşılama, kalıptan sonra soğutma, yatay bölgede haddeleme		Potada metalurjik işlemler, atmosferden koruma, döküm tozları	

Tablo 2.3 ' te görüldüğü gibi kütük dökümlerinde döner yürür ve ya spral alanlarla karıştırılma yapıldığı halde slab dökümlerinde sadece döner yürür alanlar kullanılır. Bunun sebebi slab kesitlerinde döner sıvı hareketine karşı köşeler ve dar kenarların aşırı direnç göstermesidir.

Parça şekli , malzemesi, döküm hızı gibi faktörler bağlı olarak hangi indüktör tipi ve düzeninin, hangi frekans ve alan şiddeti ile nerede kullanılması gerektiği dizayn edilen sürekli döküm makinasına bağlı olarak değişmektedir.

2.5. İlk Hareket Başlığı

İlk hareket başlığı, döküme başlarken kalıbı alt tarafından kapatmak ve daha sonrada kısmen katılaşmış döküm parçasının uç kısmını sürükleyerek çekme makaralarına ulaştırır.



Şekil 2.9 İlk Hareket Başlığı (Voest-Alpine kataloğu ,1993)

İlk hareket başlığı şekildedeki görüldüğü gibi bir çekme koluna bağlanır. Belirli bir eğrilik yarıçapı olan sürekli döküm tesslerinde çekme kolu zincir baklaları şeklinde parçalıdır

Kalıp ağzına çekilen ilk hareket başlığının, döküm parçasını kavrayıp çekebilecek özel profili üzerine konulan ince ve iri parçalı hurdaların erimesi sonucu hızla çekimi ile sürekli döküm başlatılır.

2.6 Destek Elemanları

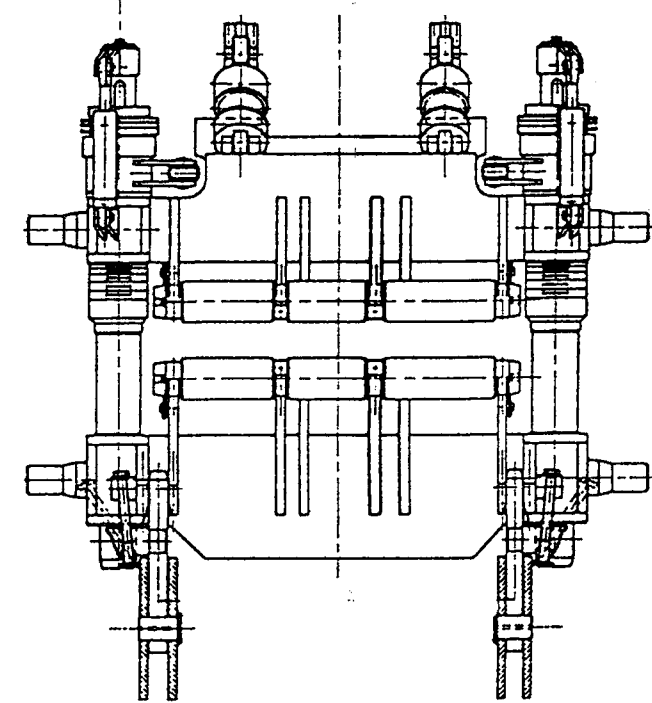
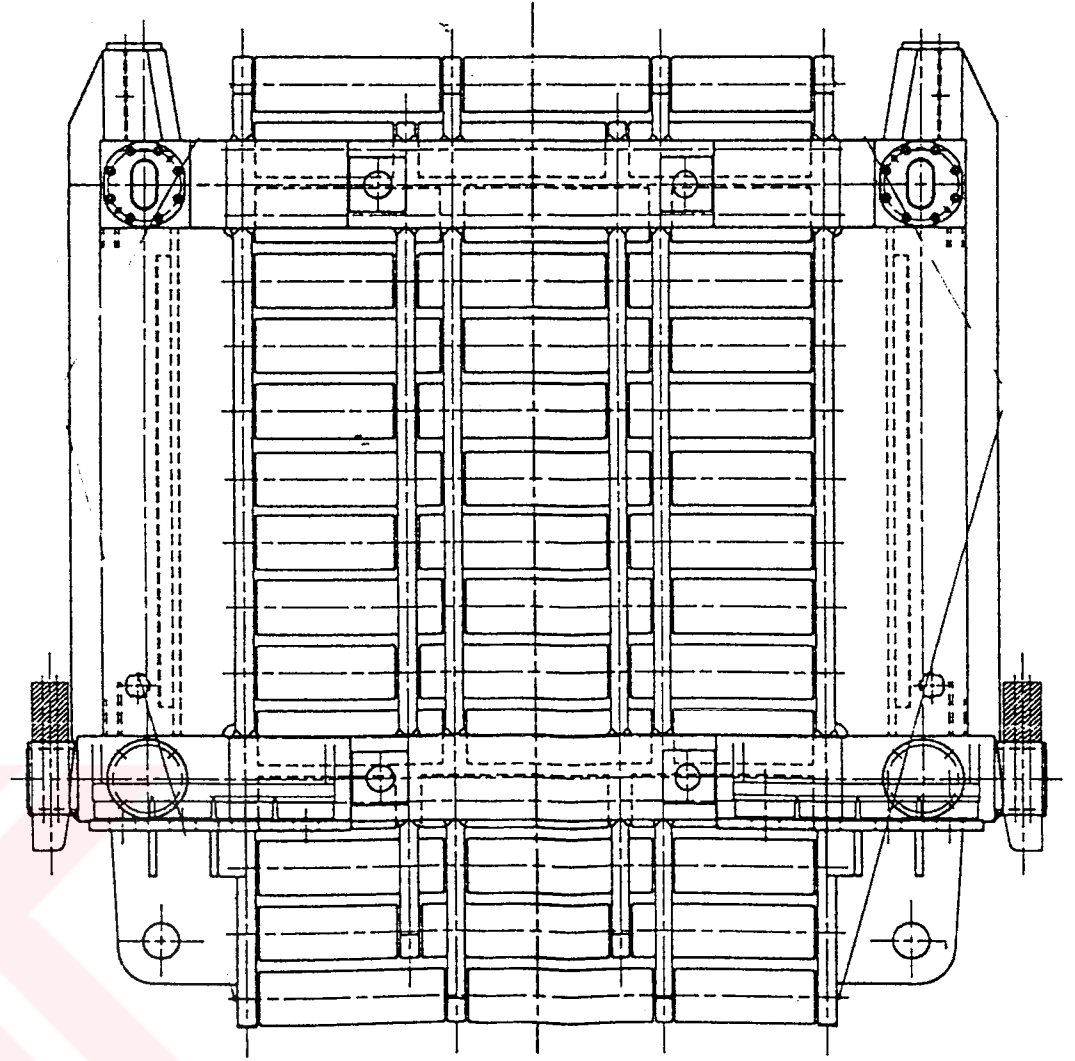
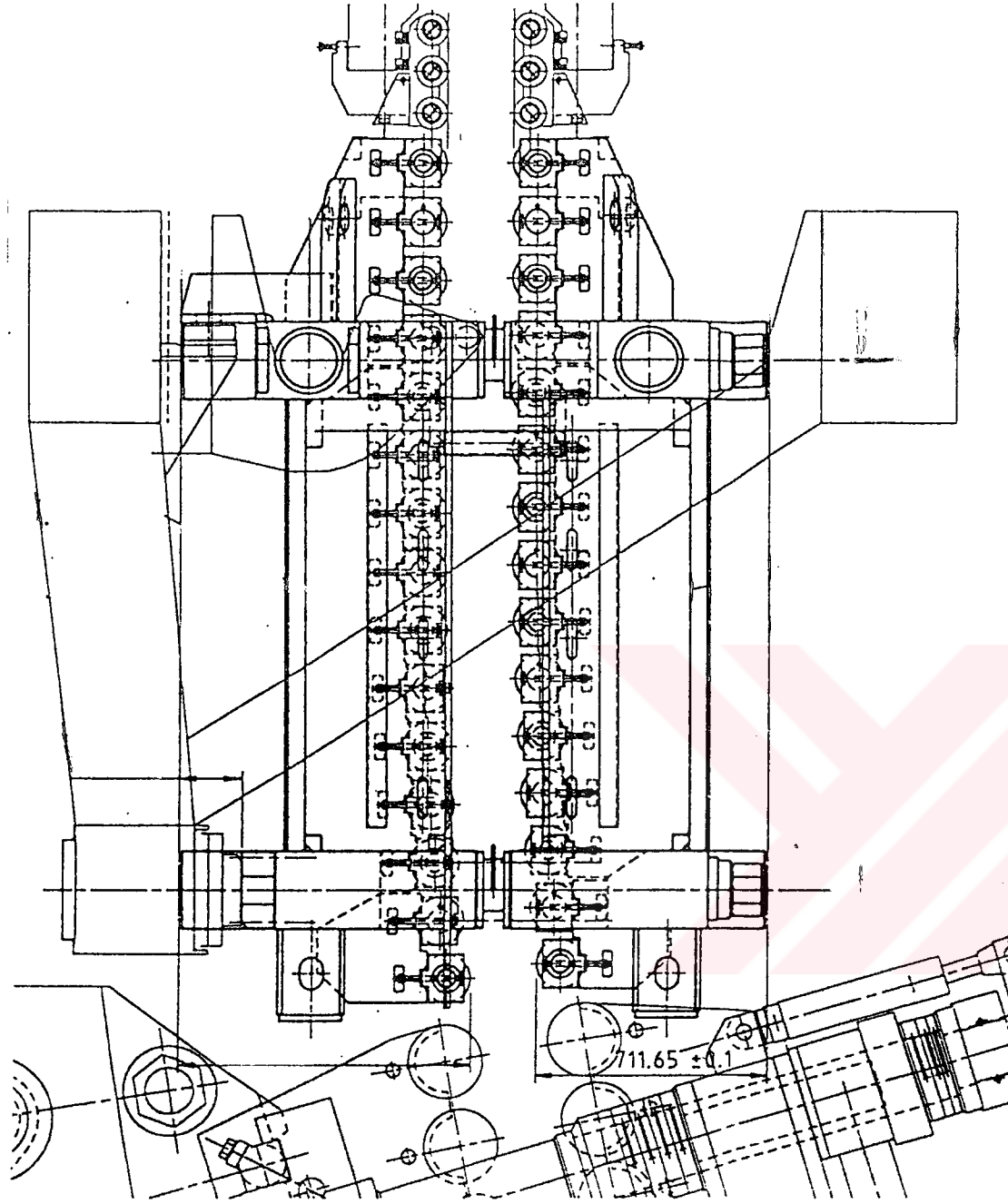
Kalıptan çıkan ince bir dış kabuğa sahip mamül , en az deformasyon en az hata, hızlı bir soğutma ve uygun bir destek, bükme ve doğrultma işlemleriyle kesme mekanizmasına ulaştırılmalıdır. Kalıp çıkışındaki bölge, parçanın katılaşmış cidar kalınlığı ince olduğundan , en kritik bölgedir. Bu bölgede parça yüzeyini desteklemek için hareketi kirişler, düz plakalar, ızgara şeklinde plakalar veya sık dizilmiş küçük çaplı makaralar kullanılır. Aşağılar doğru bükme çekme ve doğrultma makaraları yerleştirilerek destekleme işlemleri gerçekleştirilir.

Günümüz sürekli döküm tesislerinde, özellikle slab üretiminde çok düşük sürtünme kuvveti (çizgisel temas dolayısıyla), en az aşınma, düşük üretim ve bakım maliyeti nedeniyle makara sistemleri kullanılmaktadır.

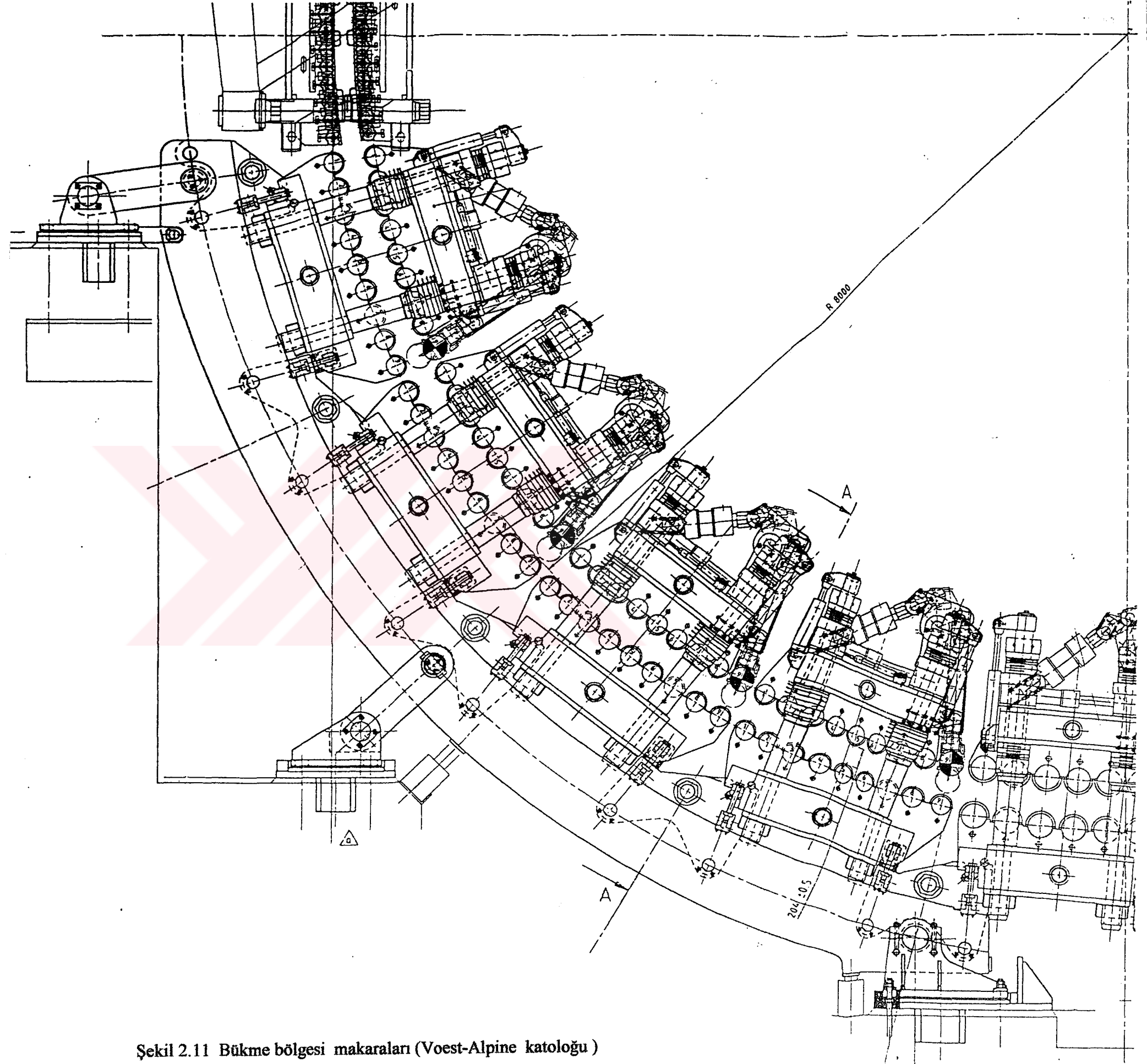
2.6.1 Makara Sistemleri

Slab döküm yapılan sürekli döküm tesislerinde 2. bölgede makaralar gruplar halinde yerleştirilir. Çeşitli bölümlere ayrılan bu bölgede gruplar halinde dizilmiş makara sistemleri yan yana gelerek slabı güvenli bir şekilde kesme donanımına ulaşmasını sağlar. Gruplar halinde dizilmiş makaraların segment olarak adlandırıldığı ve ekonomiklik , ürün kalitesi açısından en iyi sonuçları veren bu makar sistemlerini şu şekilde sınıflandırmak mümkün;

Eğme bölgesi ; Kalıp çıkışında oluşan kabuk kalınlığı parça içindeki sıvı metal hidrostatik basıncı dolayısıyla kırıktır durumdadır. Bu nedenle bu bölgede küçük çaplı ancak sık dizilmiş makaralar sistemi kullanılır. Şekil 2.10 ' da görülen bu bu sistem kalıp hemen sonunda yer alır, çok küçük bir eğimle aşağı doğru sıralanan makaralardan oluşur. Bu bölgedeki makaralar sıcaklığın yüksek olması , makara çaplarının küçük olması nedeniyle daha fazla deformasyona maruz kalırlar.



Şekil 2.10 Eğme bölgesi makaraları (Voest-Alpine kataloğu)



Şekil 2.11 Bükme bölgesi makaraları (Voest-Alpine kataloğu)

Bükme bölgesi ; Eğme bölgesi ile doğrultma bölgesi arasında kalan ve döküm makinasının konstrüksiyonuna göre değişiklik gösteren, belirli bir kabuk kalınlığına erişmiş parçanın eğilerek ilerlediği, belirli bir yarıçapta yerleştirilmiş segmentler gurubundan oluşan bölgedir. Şekil 2.11 ' de görüldüğü gibi belirli bir yarıçapa göre dizayn edilmiş segmentler parçanın bükülerek ilerlemesini sağlar.

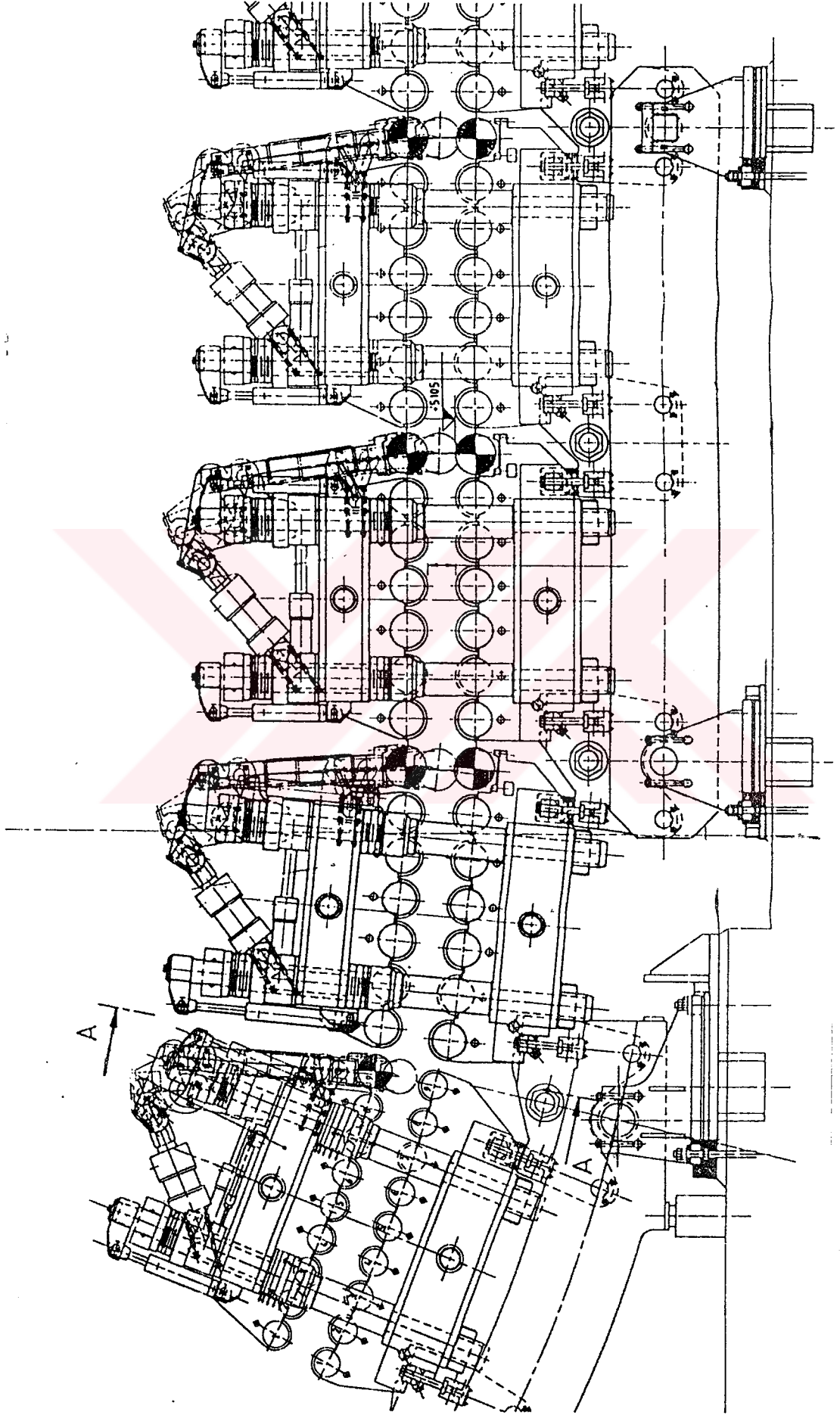
Doğrultma bölgesi ; Belirli bir yarıçapta bükülmüş parçanın yarıçapa uygun şekilde doğrusal hale getirildiği segmentlerden oluşur. (Şekil 2.12)

Hareket bölgesi ; Kesme işleminden sonra kalıbın kurku soğutma, markalama , kontrol ve taşıma işlemlerinin yapıldığı, elektrik motorları ile tahrikli, çapları büyük ve geniş aralıklarla dizilmiş makara guruplarının bulunduğu bölgedir.

Makara sistemlerinde, döküm makinasının dizaynı ve soğutma gücüne de bağlı olarak, kalıptan döküm sonuna doğru, makara çapları ve aralıkları büyür.

Makara sistemleri arasında yer alan segmentlerdeki çekme makaraları ile slab aşağı doğru hareket ettirilir. Slabın aşağı doğru hareketinde sadece slabın ağırlığı yeterli olmamakta ilave olarak oluşan sürtünmeleri yenecek bir kuvvetle aşağı doğru çekilmelidir. Bu çekme işlemini şekillerden de gördünüz gibi segmentlerde yer alan, hidrolik tahrik edilen çekme makaraları gerçekleştirir.

Makar sistemindeki tüm makaraların dizilişini şematik olarak şekil 2.13 'te görebilirsiniz. Burada bölgeler ve çekme makaralarında görülmektedir. Bu makara diziliş sistemi Ereğli Demir Çelik Fab. 'ındaki slab sürekli döküm makinasının dizaynıdır.



Şekil 2.12 Doğultma bölgesi makaraları (Voest-Alpine kataloğu ,1993)

2.6.2 Makaralar

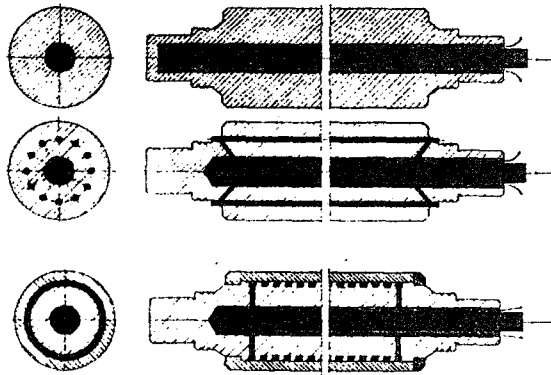
Destekleme elemanları içinde düşük dereceye sahip olmasına rağmen makaralar, çizgisel temas dolayısıyla slab üretiminde vazgeçilmez elamandır. Makaralar çok düşük seviyede sürtünme kuvveti, en az aşınma , ucuz üretim ve yerleştirme kolaylığı nedeniyle günümüz

sürekli döküm tesislerinin vazgeçilmez destekleme elemanlarıdır. Makaralar özellikle slab üretiminde ekonomiklik ve ürün kalitesi açısından en iyi sonuçları verir.

Slab döküm tesislerindeki makaralar, ürün eni en geniş ve sıcaklık yüksek olduğundan, eğilmeye zorlanırlar. Bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için makaralar parçalı şekilde yataklanırlar ve otomatik sürekli yağlam sistemiyle yağlanırlar

Makaralar soğutulmuş şekillere göre sınıflandırılırlar (şekil 2.15) :

- Katı makaralar, sadece yatakları soğutulurlar
- Revolver makaralar, katı makara gibidir, makara yüzeyine yakın soğutma delikleri açılmıştır
- Helisel soğutmalı makaralar, katı makara üzerine helisel soğutma kanalları açılmış ve aşınmaya dayanıklı malzemeden gömlek geçirilmiştir. Isı transferi açısından katı makaralardan çok daha iyi sonuç veren bu makaraların imalat ve bakım problemleri yaygın olarak kullanımı engellemektedir.



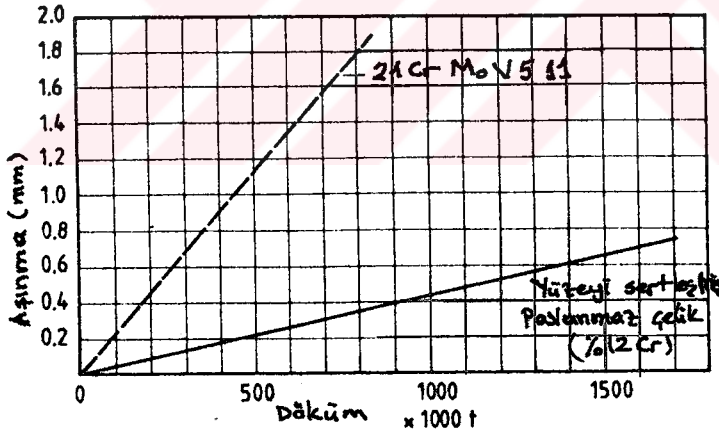
Şekil 2.15 Soğutma sistemine göre makaralar (Schreve F. H)

2.6.2.1 Makara Malzemeleri

Sürekli döküm makinalarında makaralardan yüksek aşınma, korozyon, sıcak çekme, kırılma ve deformasyon dayanımı gibi özellikler beklenir.

İlk zamanlar makara malzemesi olarak kaplamasız düşük alaşımlı çelik (13 CrMo44) ve düşük alaşımlı savurma döküm makaralar kullanılırdı.

Günümüze kadar olan araştırmalar ve uygulamalar sonucu makara yüzeylerindeki sıcak yırtılmalar ve korozyon çatlaklarının olumsuz etkilerine karşı koyabilen yüzeyi sertleştirilmiş %12 Cr ve %85 Fe içeren malzeme sürekli döküm makinalarında makara malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu konuyla ilgili bir karşılaştırma şekil 2.16 'da örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.16 Makara Malzemelerinin karşılaştırılması (Schreve F.H.)

Bu çelik oranı makraya yüksek korozyon dayanımı sağlar ve yüzey sıcak çatlaklarını geciktirir. Püskürtme emdirme ve sinterleme ile 0.9 mm NiCr kaplama (78-80 %Ni ve 15-17 %Cr) makara ömrünü artmasını olumlu yönde etkiler.

2.7 Soğutma Sistemleri

Sürekli dökümün temeli soğutma işleminin sürekliliğine bağlıdır. Kalıp plakalarının soğutulması ile başlayan soğutma işlemi; eğme bölgesi , bükme bölgesi ve doğrultma bölgelerinde şiddeti oluşan kabuk kalınlığı ile ters orantılı ve sürekli bir soğutma ile devam eder. Kesme işleminden sonra parça kendi halinde havada soğur.

Sıvı metal ısısının %15-20 kadarı kalıbın su ile soğutulması ile çekilir. Kalıp çıkışında ince bir kabuğa sahip mamulün katılaşmış kabuk kalınlığının hızla artması için makaralar arasından geçerken püskürtme memelerinden su ve ya su-hava karışımı püskürtülerek sağlanır. Katılaşan kabuk kalınlığı arttıkça püskürtülen su ve ya su-hava karışımı debisi düşer.

İşlem sırasında ortamın sıcaklığından etkilenen makina ve teçhizat ile makaraların soğutulması da önemli yer tutar.

Sürekli dökümde parçanın soğutulması homojen olarak yapılmalıdır. Parça içinde ve yüzeyinde çatlaklar meydana gelmemesi için soğutma şeklini iyi seçmek gerekir. Püskürtme memelerinin şekline ve parça yüzeyine de bağlı olarak çekme ve klavuz makaralarının soğutulması ayrı bir özellik gösterir.

Günümüz modern tesislerinde üretilen mamüle uygun yoğunlukta soğutma yapabilmek için uygun meme profilleri ve yerleri seçilmiş püskürtme memeleri, su debileri ve basınçları elektronik olarak kontrol edilerek kullanılır.

Sürekli döküm makinasında soğutma sistemlerini dört bölümde incelemek mümkündür :

- Kalıbın soğutulması
- 2. Bölgenin soğutulması
- Makina ve tesisatın soğutulması
- Makaraların soğutulması

2.7.1 Kalıbın Soğutulması

Soğutmanın başlangıç noktasıdır, kalıp boşluğuna bırakılan sıvı metal kalıp malzemesinin ısı iletkenliğinden faydalanılarak ısısının bir kısmını kalıp plakalarına verir. Buplakaların soğutulması, çevrelerinden ve içinde kanallar vasıtasıyla su dolaştırılarak yapılır. Dolaylı yoldan sıvı metalin ısısının bir kısmın suya verilir. Su kapalı bir devrede dolaştırılarak soğutulur. Bu devrede dolaşan suyun kanalları kapatmaması için daha temiz , çekilen ısı az olduğundan suyun basıncının ve miktarının fazla olması gerekir.

Kalıp boyutlandırılırken, kalıp içinde oluşacak metal kabuk kalınlığının oluşma süresi ve bu kalınlığı oluşturacak soğutma yüzeyi önemlidir. Soğutma yüzeyi de kalıp konstrüksiyonu ile ilgilidir. Boyutların diğer etkenlerden ötürü daha fazla değiştirilemeyeceği düşünüldüğünde soğutma gücünü arttırmak, devrede dolaşan suyun hızını arttırmakla ayarlanmaya çalışılır. Bu da kapalı soğutma devresinin kapasitesi ile alakalıdır. Burada suyun adyabatik etkilerinden ve devreye çok soğuk su vermenin termel şoklar oluşturma riski nedeniyle kısıtlamalar vardır. Bu sebeplerle kalıp devresindeki suyun sıcaklığı girişe göre 9-10 °C 'den fazla yükseltilemez.

Kalıbın soğutulması, soğutma hesapları ve kalıp boyutlarının belirlenmesi bölümlerinde daha detaylı olarak incelenmiştir.

2.7.2 2.Bölgenin Soğutulması

Parça kalıptan çıktıktan sonraki bölgede su püskürtülerek direk olarak soğutulur. Makaralar arasına yerleştirilmiş püskürtme memelerinden açık bir devrede dolaşan soğutma suyu ve su-hava karışımı püskürtülerek soğutma işlemi yapılır.

Bu bölgedeki soğutma da suyun parça yüzeyine ne tarzda püskürtüldüğü soğutma suyu ihtiyacının belirlenmesinde önemlidir. İkinci soğutma bölgesinde soğutmanın bütün parça çevresi boyunca ve uzunlamasına homojen yapılmasına dikkat edilir. Parça kesit ve uzunluğu boyunca büyük sıcaklık gradyanları ve dalgalanmaları iç ve dış çatlamalara sebep olabilir.

Kalıp çıkışından tam katılaşmaya kadar çelik parça yüzeyindeki boyuna sıcaklık değişimi yaklaşık 1300-1200 °C 'tan 900-700 °C 'ta kadar sürekli bir şekilde düşmesi öngörülür. Bu sıcaklık düşümü şu şekilde sağlanır: 2. bölge soğutma bölgelerine ayrılarak, yüzeylerden çekilebilecek ısı miktarına göre her bir bölgeye farklı derecelerde soğutma yapılır. Bu oransal dağılım memelerin yerleştiriliş, meme ağızlarının profiline bağlı suyun basıncı değiştirilerek (2-15 bar) sağlanır.

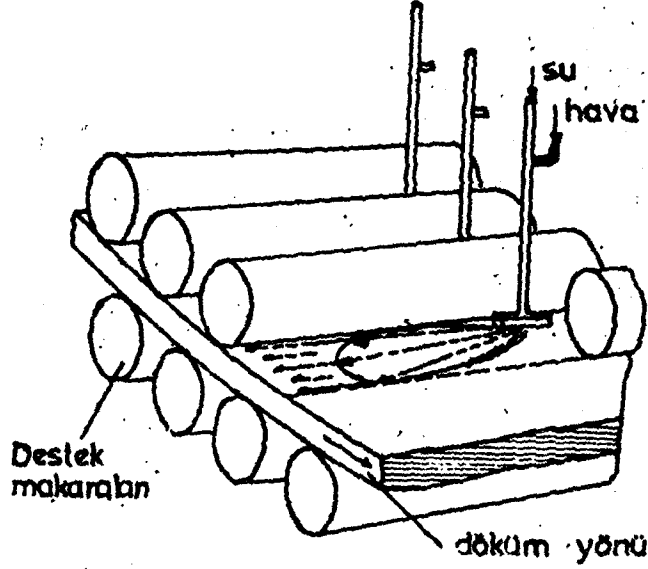
Bu konuyla ilgili daha detaylı bilgiler soğutma hesabı bölümünde verilmiştir.

2.7.2.1 Püskürtme Memeleri

Soğutma suyu parça yüzeyine çeşitli meme biçimleri ile püskürtülerek gönderilir. Meme seçiminde; arzu edilen püskürtme tarzı, suyun parça yüzeyine çarpma enerjisi gibi faktörler rol oynar. Püskürtülen su demeti geometrisi, dolu koni, içi boş koni ve ya yelpaze biçiminde olabilir. Buna göre dolu koni biçimindeki bir püskürtmenin parça yüzeyindeki izi daire, diğerlerinininki de halka ve kenarları birbirine paralel birer banttır.

Meme şeklini seçerken, parça şekli ve kalitesi, döküm hızı, kılavuz makaraların konstrüksiyonu dikkate alınır.

Etkin bir soğutma için döküm parçası yüzeyine püskürtülen suyun her bir damlası parça yüzeyinde soğutmayı güçleştiren buhar tabakasını parçalayacak şiddette olması gerekir.

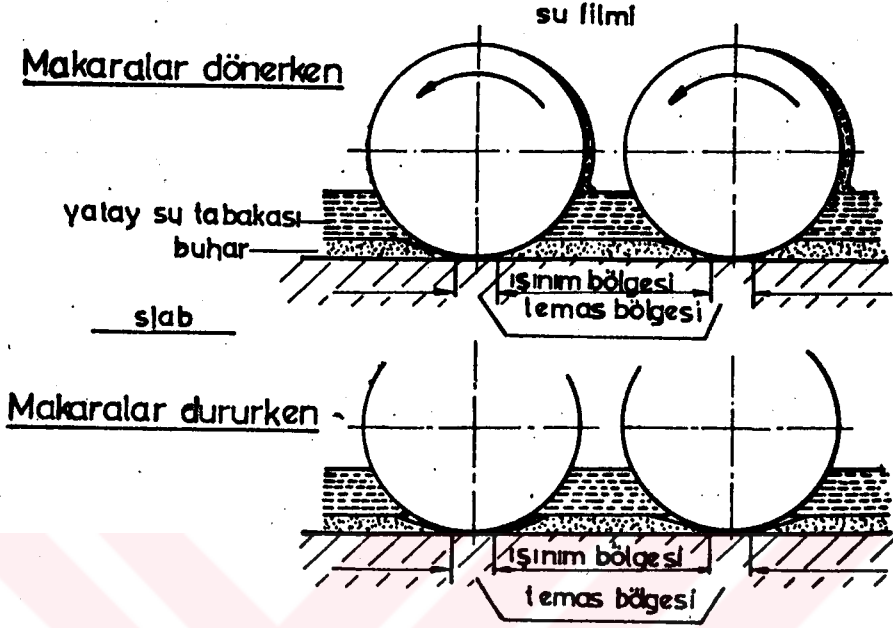


Şekil 2.16 Su hava püskürtmeli soğutma (Avcı , 1993)

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan uygulama, yalnızca su püskürtme yerine suyla birlikte hava üfleme memeleri kullanmaktır. Ancak burada havanın parça yüzeyinde oksidasyonu kolaylaştıracağı dikkate alınmalıdır.

2.7.3 Makaraların Soğutulması

Makaralar ve parça yüzeyi su püskürtülerek soğutulmasına rağmen çelik dökümünde, sıcaklığın yüksek olması nedeniyle, makara temas bölgesinde sıcaklık $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üstüne çıkar. Bu durum sıcaklık farklarından dolayı makaralarda iç gerilmelere neden olur. Makaraların parça ile temas eden bölgesi konduksiyonla, bunun dışında kalan bölgeler ışınlama ile ısınır. Şekil 2.17 'de soğutma suyunun makaralar dururken ve dönerken dağılımı gösterilmiştir. Durma halinde makaralar en yüksek termik zorlamaya maruz kalırlar.



Şekil 2.17 Soğutma suyunun makaralar üzerine dağılımı (Avcı , 1993)

Yüksek sıcaklık etkisi altında kalan makaraların daha etkili soğutulması için makara içlerinde su dolaştırılır. Su dolaştırma makara merkezinden, merkez çevresinden ve ya yüzeye kanallar açılıp üstüne gömlek geçirmek suretiyle olabileceği makaralar bölümünde ele alınmıştır. Makaraların soğutulmasında kullanılan su makina ve tesisatın soğutma devresinden alınır.

2.7.4 Makina ve Techizatın Soğutulması

Kalıp ve 2.bölgenin soğutma devreleri dışında döküm tesisatı ve makinasına ait diğer elemanların (Kesme istasyonu, hidrolik devreler, taşıma sistemi, makaralar) soğutulması ayrı bir devrede dolaştırılan su ile yapılır. Soğutma şekli ve yapısı makina ve techizatın özelliklerine (konstrüksiyonuna) göre değişiklik gösterir.

2.8 Kesme Donatıları

Sürekli dökümün önemli bir bölümü de kesme istasyonudur. Parça hareketli olduğundan kesme donanımı parçayı keserken aynı yönde ve hızda hareket halindedir. Bu nedenle dökümün sürekli ve hatasız akışı için kesme donatımının da sorunsuz çalışması gerekir

Kesme donatımlarından ; düşük maliyet ve bakım masrafı, kısa kesme süresi, maksimum yararlanma, temiz kesme yüzeyi, malzeme kayıpsız kesme, soğuk çelikleri kesme imkanı, kesme işleminin temiz (gürültü, duman vb.) olması beklenir.

Başlıca kesme yöntemleri :

2.8.1 Makaslar

Düşük çalışma ve bakım masrafları nedeniyle mekanik makaslar tercih edilir. Ancak sürekli dökümde kapasite arttırımına paralel olarak kesitlerde gittikçe büyüdüğünden makaslardan istenen özellikler de artmaktadır.

Makasların; kesmede malzeme kaybı olmaması, çalışma maliyetinin düşük olması, kesme süresinin kısa olması bakım giderlerinin az olması gibi olumlu yönleri yanında, ilk yatırım masrafı özellikle büyük kesitlerde yüksek olması, sadece sıcak kesmede kullanılması, kesme ağzında deformasyon olabilmesi gibi olumsuz yönleri de vardır.

2.8.2 Alevle Kesme

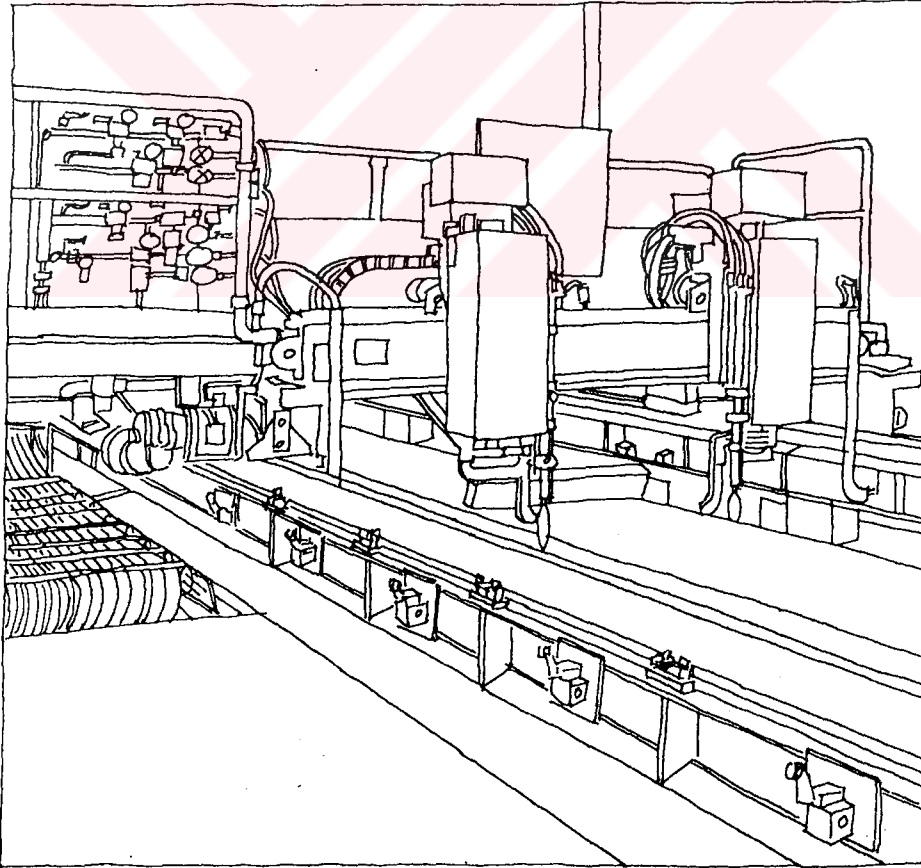
Kesme için gerekli enerji çeliğin yanması ile sağlanır. Çeliğin yakma sıcaklığına çıkarılması ile kesme işlemi başlatılmış olur. Özellikle blum-slab gibi dikdörtgen kesitli parçalar için sürekli dökümde oksijenle kesme yöntemi tercihen kullanılır. Diğer kesme yöntemleri de denenmiş olmasına rağmen bunlar özellikle slab için ekonomik değildir. Şekil 2.18 'de alevle kesme donanımı şematik olarak verilmiştir.

Alevle kesmenin olumlu yönleri :

- Her parça sıcaklığında kesme yapmak mümkün
- Her kesit büyüklüğüne uygun
- Kesme makinası kolay monte edilir
- İlk yatırım masrafı az
- Parça kesiti arttıkça kesme maliyeti düşer
- Kesme ağızları biçim değiştirmez

Olumsuz Yönleri:

- Kesme süresi uzun
- Kesme ağız geniş, malzeme kaybı fazladır
- Yanma curufu oluşur
- Yüksek alaşımlı çeliklerde duman oluşur



Şekil 2.18 Alevle kesme donanımı (Mannesman katoloğu)

2.8.3 Yeni Kesme Sistemleri

- Süpersonik hızlı oksijenle kesme ; meme çıkışında yüksek gaz hızı ile kesme hızı artırılmıştır.
- Plazma ile kesme ; O₂ ile kesilmesi zor olan malzemelerin kesilmesi amacıyla geliştirilmiştir. 5-20 mm kalınlık mertebesinde ki yüksek kaliteli plakaların kesilmesinde ekonomiktir.
- Lazer ışını ile kesme ; İnce plaka ve sacların kesiminde ekonomiktir, kullanım alanı çok azdır.
- Elektron bombardımanı ile kesme ; sürekli döküm şartlarının olumsuz etkileri nedeniyle bu yöntemin verimli hale getirilmesine çalışılmaktadır.

2.9 Kontrol ve Ayar Sistemleri

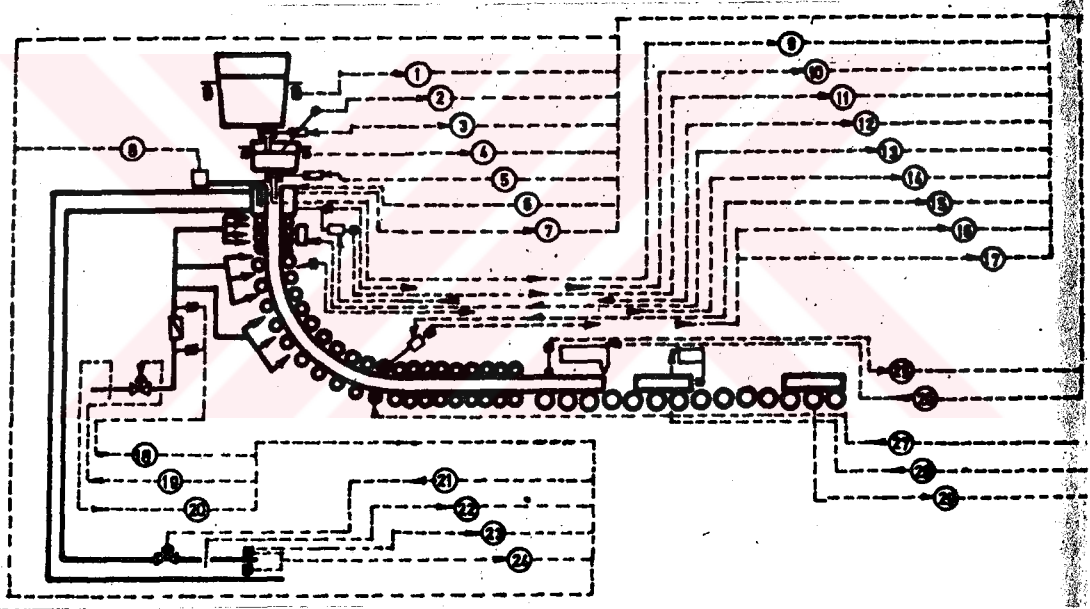
Sürekli döküm oldukça kompleks bir imalat yöntemidir. Proses içindeki işlem kademeleri hızlı bir akışla birbirini izler. Herbir işlem kademesinin ve prosesin tümünün kontrol ve ayarı için insanın algılama kabiliyeti yetersiz kalır. Bu nedenle proses içinde muhtelif işlem kademelerinin kontrolü ve birbiri ile bağlantısı otomatik olarak yapılmaktadır. Sürekli dökümün uzun yıllar gelişme göstermemesinin önemli bir sebebi sistemin ayar ve birbiriyle uyumlu çalışabilmesi için elektronik alanındaki gelişmeleri beklemiş olmasıdır.

Sürekli dökümde ölçümü kontrolü ve ayarı yapılan fiziksel büyüklüklerin başında sıcaklık gelir. Döküm potasında, ara potada sıvı metal sıcaklığının, soğutma suyu sıcaklığının mutlak kontrol ve ayar edilmesi gerekir.

Kontrolü yapılan ikinci fiziksel büyüklük sıvı metalin potadan ara potaya, ara podan da kalıba akış debisi ile soğutma suyu debisi ve basıncıdır. Kontrol edilen diğer önemli büyüklükler kalıptaki sıvı metal seviyesi, döküm parçası hızı, makaraların parça üzerine

basma basıncı, kalıp osilasyon kursunun uzunluğu, frekansı, arapotadaki sıvı metal ağırlığı, parça kesme işlemi hızı, kesici gaz debisi, basıncı ve oksijen yakma oranı, otomatik döküm başlama, slab genişlik ve dar yüzey konikliği, makaraların kontrolü, sürekli yüzey kontrolü vb. dir. Şekil 2.19 'da konu geniş olarak gösterilmiştir.

Günümüz modern tesislerinde, belirtilen kontrol ve ölçümlerin sonucu elde edilen bilgiler bir bilgisayar sisteminde toplanmakta, burada değerlendirilip gerekli müdahaleler otomatik olarak yapılmaktadır. Elektronik alanındaki gelişmeler ile çok fazla bilginin toplanabilmesi ve aralarındaki bağlantının seri olarak yapılmasına olanak sağlanır. Tesislerdeki kumanda odalarındaki bilgisayar ekranlarından işlemi izlemek ve müdahale etmek suretiyle sistem sürekli olarak işletilir.



1. Pota ağırlığı
2. Ara pota sıcaklığı
3. Potadan akış debisi kontrolü
4. Ara pota ağırlığı
5. Ara pota debisi kontrolü
6. Kalıp dar kenar hareket kontrolü
7. Kalıp dar kenar pozisyon kontrolü
8. Döküm tozu debisi kontrolü
9. Kalıp banyo seviyesi kontrolü
10. Osilasyon kursu ölçümü
11. Osilasyon frekansı saptama
12. Osilasyon frekansı kontrolü
13. Elektromagnetik karıştırıcı kontrolü
14. Parça sıcaklığı ölçümü
15. Döküm hızı kontrolü

16. Döküm hızı ölçümü
17. Döküm genişliği ölçümü
18. Filtre durumu kontrolü
19. Sekonder su debisi kontrolü
20. Sekonder su debisi ölçümü
21. Kalıp su debisi kontrolü
22. Kalıp su debisi ölçümü
23. Kalıp suyu sıcaklığı ölçümü
24. Kalıp suyu giriş-çıkış sıcaklık farkı ölçümü
25. Kesme boyu kontrolü
26. Kesme makinası kontrolü
27. Çekme hareketi kontrolü
28. Markalama kontrolü
29. Parça ağırlığı kontrolü

Şekil 2.19 Sürekli Dökümde Otomatik Kontrol sistemleri (Avcı , 1993)

3. 1500X200 mm KESİTİNDE SLAB ÜRETİMİ İÇİN HESAPLAMALAR

Bu hesaplamaların yapılabilmesi için ilk önce bazı bilgilerin kabul edilmesi gerekir.

Kabuller :

- Döküm makinası tek yolludur
- Pota taşıyıcı sistemi 180° dönebilen sistemdir. Bu sistemle pota değiştirme süresi 4 dakikadır.
- Dökülen malzeme st 37 , ergime sıcaklığı $T_{erg} = 1517^{\circ}\text{C}$ ' dir.
- Döküm hızı $V_d = 1.5 \text{ m/dk}$
- Malzemenin yoğunluğu $\rho = 7.85 \text{ gr/cm}^3$
- Saatteki sıvı çelik üretim kapasitesi 240 ton/h

3.1. Pota Kapasitesinin Ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Slab dökümü için en uygun pota, alttan dökmeli ve sıvı metal akışının sürgülü sistem ile ayarlandığı potalardır. İç kısmı refrakter malzeme ile örülü potanın, dış kısmında, vinçle taşıma için taşıma kolları, dönerli pota taşıyıcıya yerleştirme destek kolları ve sürgü sisteminin hidrolik bağlantı ekipmanlarının bulunduğu çelik konstrüksiyon yer alır.

1500x200 mm kesiti ve 1.5 m/dk döküm hızı dikkate alındığında :

$$1 \text{ dk ' da } 150 \times 20 \times 150 \times 7.85 \times 10^{-6} = 3.5 \text{ ton}$$

1 saatte 210 ton sıvı metale ihtiyaç var. Kayıpları da göz önüne alarak bunu 220 ton almak emniyetli olur.

Bu kadar sıvı metale ihtiyaç varken, pota kapasitesini belirlemede sıvı çelik üretim yöntemi ve kapasitesinin de dikkate alınması gerekir.

Saatte 240 ton sıvı çelik üretebildiğimizi kabul edersek sistemi kesintisiz çalıştırabilmek için 120 'şer ton kapasiteli iki pota ile çalışmamız uygundur.

3.2. Ara pota Kapasitesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Ara pota, sıvı çeliğin düzenli olarak akışını sağlamalı ayrıca sıvı rezervini gerçekleyerek pota değişimleri sırasında ve ya bir arıza anında akışı sürdürerek kesintisiz döküm olanağı sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir.

Slab döküm için tek akışlı, tekne şeklinde, alttan sürgü sistemi ile kontrol edilen akış modeli uygundur. Potadan metal akışının düştüğü yer, ara pota nozulundan uzak olmalı ve tabandaki setler sayesinde sıvı metal dalgalanmaları önlenerek curuf kalıntıları ve metal olmayan dezoksidasyon ürünleri çelik bünyesinden uzaklaştırılır.

Arapota refrakter kullanımının en kritik bölgesi olması nedeniyle özen gösterilmesi gereken bölgedir. Mümkün olduğunca homojen sıcaklıkta ve en az ısı kaybı ile sıvı metalin akışının sağlanması gerekir. Döküm işlemi boyunca ısı etkilere dayanan ve iyi bir izolasyon yapan refrakter malzeme olarak SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , Cr_2O_3 gibi refrakter malzeme kullanılır.

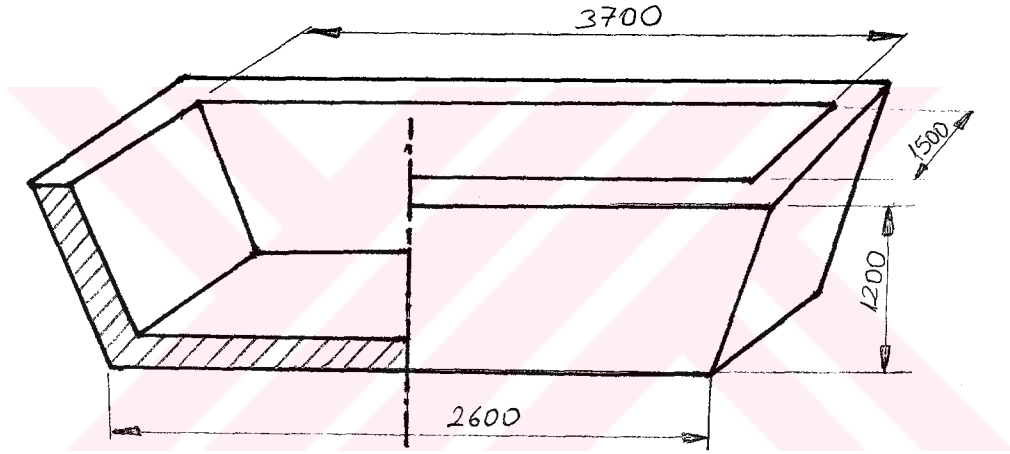
Refrakter malzemenin etrafı çelik plakalarla desteklenir. Refrakter ömrü , herhangi bir tamir işlemi olmadan yaklaşık 200 döküm saatidir.

Sürekli döküm tesislerinde çok büyük ara pota kapasitelerinde çalışmak (75 ton ve üstü) , döküm sonu ara pota içinde kalan artık metalin fazla olması, homojen sıcaklık ve izolasyon problemleri, oksidasyonun artması gibi nedenlerden ötürü uygun değildir. Bu nedenle bizim tesisimiz için :

Dakikada 3.5 ton metal akıtması gereken ara potanın min. kapasitesinin 15 ton olması uygundur. Ancak pota değişimi sırasında ki zaman kaybının da dikkate alarak ;
Pota yerleştirme süresi kullandığımız sistemde 4 dk ve sistemin dk ' daki metal ihtiyacı 3.5 ton olduğundan
Buna göre ara pota kapasitesi : $(4 \times 3.5) + 15 = 30 \text{ ton}$ olarak belirlenir.

30 ton kapasiteli ara pota boyutlarını belirlemeye çalışırsak (sistemin konstrüktif yapısını dikkate alarak) :

Kalıba uygun sıvı akışı için ara potadaki sıvı çelik seviyesinin 50-100 cm arasında olması gerekir. Sıvı metal seviyesinin 50 cm nin altına inmesi, akış karalılığının bozulmasına neden olacaktır. Kalıptaki sıvı çelik seviyesi ve döküm hızı , ara pota seviyesine bağlı olan ferostatik basınç ve nozul çapıyla kontrol edilmektedir. Bu nedenle seçilen 15 ton 'luk ilk kapasiteye belirli bir sıvı metal seviyesi sağlayacak ayrıca 30 ton' luk sıvı metali güvenli şekilde içinde tutabilecek refrakter kalınlığını da içerecek ara pota boyutları şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Ara pota boyutları

3.3 Kalıp boyutlarının Belirlenmesi

Slab üretiminde kullanılan kalıplar, plaka kalıplardır. İki geniş iki dar yüzeyden oluşan bu kalıpların birer tarafları sabit diğer tarafları ayarlanabilmesi için hareketlidir.

1500x200 kesitindeki slab üretimi için de plakalı düz kalıplar uygundur. Çünkü bu kalıpların kabuk ile temasları fazla, dolayısıyla ısı transferi fazla döküm kapasitesi yüksek, daha iyi bir akış ve yüzey kapasitesinin iyileştirilmesi, üretim kolaylığı gibi özellikleri kavisli kalıplara göre daha iyidir.

Düz plakalı kalıpta; dökülecek slab kesiti belirli olduğundan, bu kesiti oluşturacak kalıp iç kesitinin boyutları da buna uygun olacaktır. Ancak bu ölçülere ilave olarak gerekli koniklik ve köşelerin şekli, cidar kalınlığı ve kalıp uzunluğunun belirlenmesi gerekir.

Kalıp boşluğunun üst kesimini belirleyen büyüklükler, parçanın soğuk haldeki boyutuna, St 37 malzemenin çekme payının ilave edilmesi ile bulunur. Kalıbın alt kesiti ise St 37 malzemenin kalıp içindeki kendini çekme payı verilmiş ölçüsü ile kalıba verilen koniklik belirler.

Sıvı halde kalıba giren metal, kalıp içinde çıkışa doğru ilerlerken aynı zamanda belirli bir kabuk kalınlığına kadar katılaşmış olacaktır. Bu kısmının katılaşma sonucu kendini çekerek çıkışa doğru parçanın kalıp iç yüzeyleri ile teması kesilir. Bunun sonucu ise parçanın daha yavaş katılaşması ve soğuması, daha ince bir kabuk oluşmasıdır. Bu durumu önlemek için kalıbın kesiti çıkış yönüne doğru St 37 malzemenin çekme özelliğine göre küçültülür. Bu küçültmeyi yaparken döküm hızı ve döküm sıcaklığını da, katılaşmanın oluşumu açısından dikkate almak gerekir

Erdemir sürekli döküm tesislerinde edindiğim bilgiler çerçevesinde tecrübelerle dayanarak dar kenarlarda 1.9° - 2° , geniş kenarlarda 2.4° - 2.6° koniklik vermek iyi sonuçlar vermektedir.

Köşe şekillerinin belirlenmesinde, geniş kenarlar dar kenarların üstüne bindirildiğinden, akış kolaylığı, yapışmanın önlenmesi, yüzey düzgünlüğü, döküm tozu yağlayıcılığının iyileştirilmesi gibi nedenlerle köşelerin yuvarlatılması uygundur.

Slab dökümünde en iyi sonuçları veren Ag-Cu alaşımlı kalıp plakalarının cidar kalınlığının belirlenmesinde, soğutma rejimi, konstrüktif özellikler, yeterli kabuk kalınlığı gerekli ısı transferinin sağlanması, soğutma kanalları, ısı ölçerler, civata bağlantıları, sızdırmazlık, soğutma suyu basıncı, sıcaklık gibi etkiler dikkate alınır. Ayrıca aşınmayı da göz önünde tutup ortalama kalıp ömrü düşünülerek, ekonomik açıdan en uygun cidar kalınlığı belirlenir.

Pratik tecrübelerle göre kalıp cidar kalınlığının 40 mm olması uygundur.

3.3.1. Kalıp Boyunun Belirlenmesi

Sürekli döküm tekniğinde kalıp çıkışında, parçanın katılaşmış kabuk kalınlığının, iç kısımda sıvı halde bulunan metalin oluşturduğu hidrostatik basıncı karşılayacak dayanımda bir kalınlığa erişmiş olması istenir. Ancak katılaşan bu kabuk kalınlığı döküm hızı, malzeme özellikleri ve soğuma şartlarına bağlıdır.

Kalıp boyu belirlenirken döküm hızına uygun, yeterince soğutma yapılarak yeterli kabuk kalınlığı oluşturacak soğutma yüzeyi esas alınır.

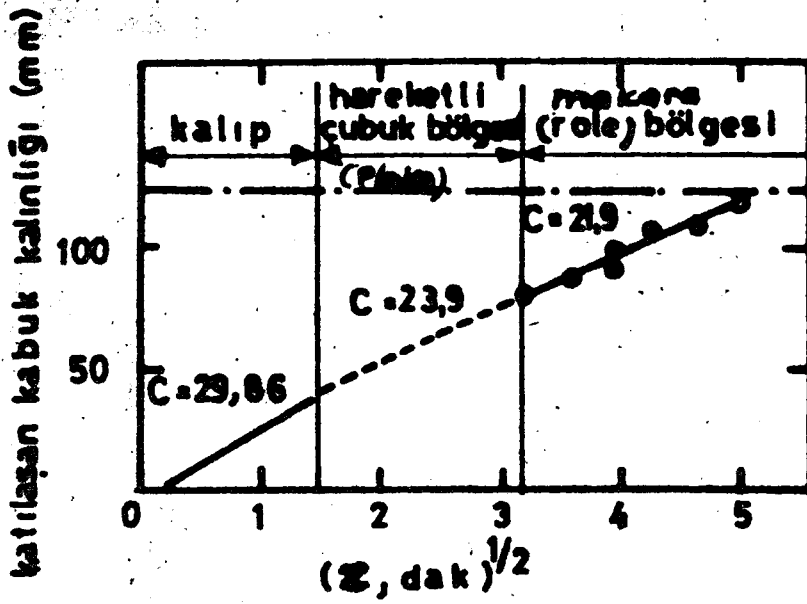
Kalıp çıkışında oluşacak kabuk kalınlığı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$S = c \sqrt{t} \quad ; \text{ Burada } S : \text{Katılaşan kabuk kalınlığı (mm)}$$

Küçük kesitlerde (8-10 mm)

Büyük kesitlerde (20-25 mm)

c : Katılaşma sabiti (Şekil 3.1 'de katılaşma sabitin, zaman ve katılaşan kabuk kalınlığına bağlı değişimini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 3.2 Katılma sabitinin, zaman ve katılma kabuk kalınlığına bağlı değişimi (Avcı , 1993)

Büyük kesitlerde slablar için tecrübelerle dayanarak hesaplanmış kabuk kalınlığı esas alınarak, bu kalınlığın ne kadar sürede oluşacağı ve bu süre kullanılarak, kalıp boyu aşağıdaki formulden yararlanılarak hesaplanır.

$$X = t V_d \quad ; \quad \text{Burada} \quad X : \text{Kalıp boyu (m)}$$

t : İstenilen kabuk kalınlığının oluştuğu süre (dk)

V_d : Döküm hızı (m/dk)

1500x200 mm kesitinde , st 37 malzemeden slab dökümü için kalıp boyu :

$S = 20$ mm (Büyük kesitli slab için kabul)

$c = 29.7$ mm / $\sqrt{dk}$ (Şekil 3.1'deki grafikten seçildi)

$$S = c \sqrt{t} \Rightarrow 20 = 29.7 \times \sqrt{t} \Rightarrow t = 0.4534 \text{ dk bulunur.}$$

$X = t V_d \Rightarrow X = 0.453 \times 1.5 = 0.68795$ m olarak bulunan kalıp boyu emniyet açısından %10 arttırılırsa ;

KALIP BOYU : 0.750 m olarak bulunur.

3.4 Soğutma Sistemi Hesaplamaları

Soğutma sistemi hesaplamalarında önemli olan parça içindeki ısının kontrolü ve döküm koşullarına uygun optimum ısıl profilin belirlenmesidir. Bu ısıl profilin çıkarılmasında, ısı akış hesaplamalarında, değişken sayılarının fazla olması, farklı boyutlarda farklı şekillerle ısı transferinin sözkonusu olması hesaplamalarda zorluklar getirmektedir.

Örneğin sürekli döküm koşullarında ısı transfer katsayısı doğrudan ve ya dolaylı olarak etkilenir. Doğrudan püskürtme soğutma özelliklerinden (soğutma çevrimleri, nozül tipi su basınçları), dolaylı yoldan konstrüktif özelliklerden (makina tipi, makaralar arası mesafe vb.) etkilenirler.

Bir başka örnek kalıbın içinde ısı transferi ; parça kabuğundan, kabuk ile kalıp arası sıvı film yağ ve hava tabakasından, kalıp duvarlarından, kalıp-soğutma suyu ara yüzeyinden olmaktadır.

Ayrıca ısı akışının matematiksel boyut açısından, üç yönde de ısı akışı sözkonusudur. Isı transferi konveksiyon, kondüksiyon ve ya ışınila olması gibi bir çok değişken le bu hesaplamaları gerçekleştirmek güçtür.

Bu nedenle hesaplamalarda işlemleri basitleştirici bazı kabuller, sabitler alınmıştır. Bu hesaplamalarda en gerçekçi sonuçları veren hesaplama yöntemi şöyledir :

Isı akış hesaplarında ısı çekişinin iki yönde olduğu kabul edilerek , döküm yolu boyunca bir eksen (y) ve parça içinde dışına doğru bir eksen (x) boyunca ısı akışı dikkate alınmıştır.

Buna göre ısı transferi denklemi :

$$K(T) = \int k d\theta \Rightarrow \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial T}{\partial y}) \quad (1)$$

Çeliğin temel fiziksel özellikleri (özellikler, yoğunluk) sabit sabit kabul edilerek. Kabuk kalınlığı, likidus, solidus ve faz dönüşüm sıcaklıkları göz önünde tutularak (1) eşitliğini iki faza (sıvı ve katı) ayırarak eşitliği şu şekilde yazmak mümkündür :

1- Katı kabuk bölgesi

$$\rho C \partial T / \partial t = K_k (\partial^2 T / \partial x^2 + \partial^2 T / \partial y^2)$$

K_k : Katı çelik ısı iletkenlik katsayısı

2-Sıvı faz bölgesi

$$\rho C \partial T / \partial t = K_s (\partial^2 T / \partial x^2 + \partial^2 T / \partial y^2)$$

ρ : Yoğunluk (gr/cm³)

C : Özgül ısı (Kcal / kg °C)

K_s : Sıvı çelik ısı iletkenlik katsayısı

Kabuk hareketi ve sıvı akışı dikkate alındığında ısı iletiminin çeşitli şekillerde olması ısı iletim katsayılarının hesaplanmasında zorluklar oluşturmaktadır. Gerçek ısı iletkenlik katsayısının hesaplanmasında şu yaklaşım kullanılmaktadır :

$$K_{ef} (T) = k(T) f_s + A k(T) (1-f_s) \quad \text{Burada } k : \text{Isı iletkenlik katsayısı}$$

A : Katı veya sıvı bölgedeki akışa uygun ısı transferine bağlı parametredir.

f_s : Katı kabuk kalınlığı yüzdesi

Sınır ve iç koşullar göz önüne alınarak şu düzenlemeler yapılırsa :

- Kalıp üst noktası yüzey sıcaklığı üst sınır koşul olarak alınıp, buradaki sıcaklık liküdus sıcaklığı olarak alınırsa

- Slab merkezinde $T (t = 0) = T_p$ kabul edilirse

Bu düzenlemelerle (1) denklemi kalıp ve ikinci bölge için şu şekillere dönüşür :

Kalıp uzunluğu boyunca, kalıp duvarlarından ısı akışı ; kalıptan çekilen ısı ve kalıp soğutma suyu sıcaklık dengesi de göz önüne alınarak :

$$- K \partial T / \partial x = - K \partial T / \partial y = q_k \quad (2)$$

q_k : Birim kalıp alanından çekilen ısı

Buradan, ısıtının tümünün soğutma suyu ile çekildiği kabul edilip, konveksiyon ve ısıtım yoluyla ısı akışı ihmal edilerek:

$$Q = q_k A = \rho_w c_w L \Delta T \quad \text{kalıptan çekilen ısı miktarı bulunur.}$$

Q : Kalıptan soğutma suyu ile çekilen ısı miktarı (kcal / dk)

q_k :Birim kalıp alanından çekilen ısı miktarı (kcal / dk)

ρ_w : Suyun yoğunluğu (1 gr / cm³)

c_w : Suyun özgül ısısı (kcal / kg °C)

L : Kalıp soğutma suyu debisi (lt /dk)

ΔT : Soğutma suyu giriş - çıkış sıcaklık farkı (°C)

(2) denklemi konveksiyon ve ısıtım ile ısı transferi de düşünülerek aşağıdaki şekilde düzenlenebilir :

$$q = k (T_s - T_w) + \sigma \varepsilon [(T_s + 273)^4 - (T_o + 273)^4]$$

q : Birim alandan çekilen ısı (kcal / dk)

k : Toplam ısı transfer katsayısı (kcal /m² h °K)

T_s : Solidus sıcaklığı (°C)

T_w : Soğutma suyu sıcaklığı (°C)

T_a : Ortam sıcaklığı (°C)

σ : ısıtım ile ısı geçiş sabiti (4.785.10⁻⁴ kcal/m² °K)

ε : Isı verme kabiliyeti sabiti ($\varepsilon_{\text{çelik}} = 0.8$)

Isı akış hesabının doğru olarak yapılabilmesi için bu eşitliklerdeki büyüklüklerin bilinmesine ihtiyaç vardır. Hesaplamalardaki esas zorluk ısı transfer katsayılarının her bir soğutma bölgesi ve şekli için saptanması güçlüğüdür. Soğutma bölgelerinde su akış oranı, parça yüzey sıcaklıkları gibi soğutma parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Isı

transfer katsayısı ile bu soğutma parametreleri arasında çok yakın bir ilişki olduğu bilindiğinden, ayrıca kondüksiyon, konveksiyon ve ışıınım yoluyla transfer olan ısıнын toplam ısı transferinden ayırlamaması gibi nedenlerle hesaplamalarda toplam ısı transferi değerini kullanmak uygundur. Bu konudaki teorik ve deneysel çalışmalar sonucu bulunan toplam ısı transfer katsayıları şöyledir :

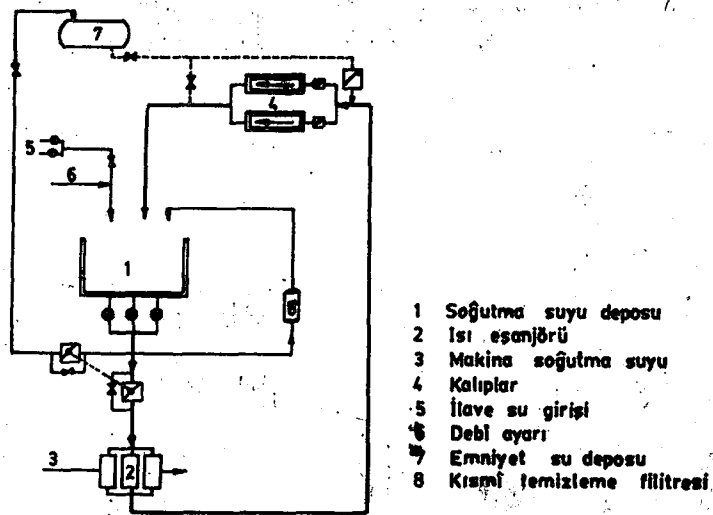
Kalıpta toplam ısı transfer katsayısı $k = 600 \text{ kcal / m}^2\text{h } ^\circ\text{K}$

2.bölgede toplam ısı transfer katsayısı $k = 80 \text{ kcal / m}^2\text{h } ^\circ\text{K}$

3.4.1 Kalıp Soğutma Hesabı

Kalıp çıkışında yeterli kabuk kalınlığına ulaşmada soğutmanın önemi büyüktür. Kalıp plakalarının kanallarında dolaşan soğutma kapalı bir devrede dolaştırılarak kalıptan ısı çekimi sağlanır. (Şekil 3.3).

Kalıbın soğutulmasındaki zorluk, devrede dolaşan suyun kalıp giriş çıkışı arasındaki sıcaklık farkının en fazla 9-10 °C olmasıdır. Bu nedenle devrede fazla su dolaştırılır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir konu da devrede dolaşan susyun tuz oranı, temizlik ve sertliğidir. Su kanalları ve su ceketinin korozyona uğramaması bunların uygunluğuna bağlıdır.



Şekil 3.3 Kalıp Soğutma Devresi (Avcı, 1993)

Kalıp soğutma devresinde dolaşacak soğutma suyunun hesabı şu şekilde yapılmaktadır. Kalıptaki ilk katılaşma ve kabuk oluşumu, elde edilecek yarı mamulün yüzey kalitesini etkiler. Parça kalıptan ayrılırken, sıvı çekirdeğin ferostatik basıncına dayanacak minimum katılaşmış kabuk kalınlığı elde edilmiş olmalıdır. Kabuk oluşumunu etkileyen faktörle, çelik bileşimi, yüksek sıcaklık, sıvı çelik akışı, kalıp yağlama ve kalıp dizaynıdır.

Yeterli kabuk kalınlığına ulaşmada önemli olan hangi oranda su debisiyle ne kadar ısı transferi yapılmalı ve bu ısı transferinin hangi yolla olduğudur.

Kalıptan ısı transferi hesaplanırken katılaşan kabuğun hareketine dikkat etmek gerekir. Kabuk soğudukça büzülme kuvvetinin etkisiyle kalıp duvarından ayrılma meydana gelir. Bunun sonucu kalıptan ısı transferi, tam temas bölgesi ve hava aralıklı bölge olmak üzere iki bölgeden olmaktadır.

Tam temas bölgesindeki ısı transferi sadece konveksiyonla olduğu halde hava aralıklı bölgede konveksiyon ve ışıınım yoluyla olmaktadır. Kalıptan çekilen ısı miktarı bulunurken ısı transfer katsayılarının tek tek bulunması güçlüğü olduğundan hesaplamalarda ısı transfer katsayısının ortalama $k = 600 \text{ kcal / m}^2\text{h } ^\circ\text{C}$ olarak alınması uygundur.

$$q = k (T_y - T_o) + \sigma \epsilon (T_y^4 - T_o^4) \quad (1)$$

q : Birim alandan çekilen ısı (kcal / dk)

k : Toplam ısı transfer katsayısı (kcal / m² h °K)

T_y : Ortalama yüzey sıcaklığı (°K)

$$T_y = (t_{\text{erg}} + t_y) / 2$$

t_{erg} : Malzemenin ergime sıcaklığı

t_y : Yüzey sıcaklığı

$$t_y = 840 + 287 \sqrt{V_d / L}$$

V_d : Döküm hızı (m / dk)

L : Yüzey sıcaklığı istenen boy (m)

T_o : Ortam sıcaklığı (° K) $\epsilon_{\text{çelik}} = 0.8$)

σ : Stefan sabiti (ışımla ısı geçiş sabiti ($4.785 \cdot 10^{-4}$ kcal/m² °K)

ϵ : Işımla emisyon sabiti ($\epsilon_{\text{ç}} = 0.8$)

Kalıbın soğutma suyu debisini, karakterleri açıklanan (1) denkleminde yararlanarak bulacağız. Birim alandan çekilen ısı bulunup, toplam kalıp alanında atılacak ısı ile karşılaştırılıp soğutma suyu debisi belirlenir.

Parça kesiti 1500x200 mm

Kalıp boyu : 0.75 mm

St 37 için ergime sıcaklığı : $t_{\text{erg}} = 1517$ °C

Kalıp soğutma suyu giriş - çıkış sıcaklığı : $T_g = 20$ °C ; $T_{\text{ç}} = 28$ °C

Döküm hızı : $V_d = 1.5$ m / dk

Yüzey sıcaklığı istenen uzunluk : $L = 0.75$ m

$$\text{Yüzey sıcaklığı : } t_y = 840 + 287 \sqrt{1.5 / 0.75} = 1245.8 \text{ °C}$$

$$\text{Ortalama yüzey sıcaklığı : } T_y = (t_{\text{erg}} + t_y) / 2 = (1517 + 1245.8) / 2 = 1381.4 \text{ °C}$$

$$\text{Birim alandan alınacak ısı : } q = k (T_y - T_o) + \sigma \epsilon (T_y^4 - T_o^4)$$

$$q = 600 (1654.4 - 293) + 4.875 \times 10^{-8} \times 0.8 \times ((1654.4)^4 - 293^4))$$

$$q = 1108716 \text{ (kcal/m}^2\text{h)}$$

$$\text{Kalıp soğuma yüzeyi : } F = 2 \times (0.75 \times 0.2) + 2 \times (0.75 \times 1.5) = 2.55 \text{ m}^2$$

Toplam atılacak ısı : $Q = Q$

$$q F = M C \Delta T$$

$$1108716 \times 2.55 = M \times 1 \times (28-20)$$

$$M = 5890 \text{ lt /dk}$$

Kalıp için soğutma suyu debisi $M = 353.4 \text{ m}^3 / \text{h}$ olarak bulunur.

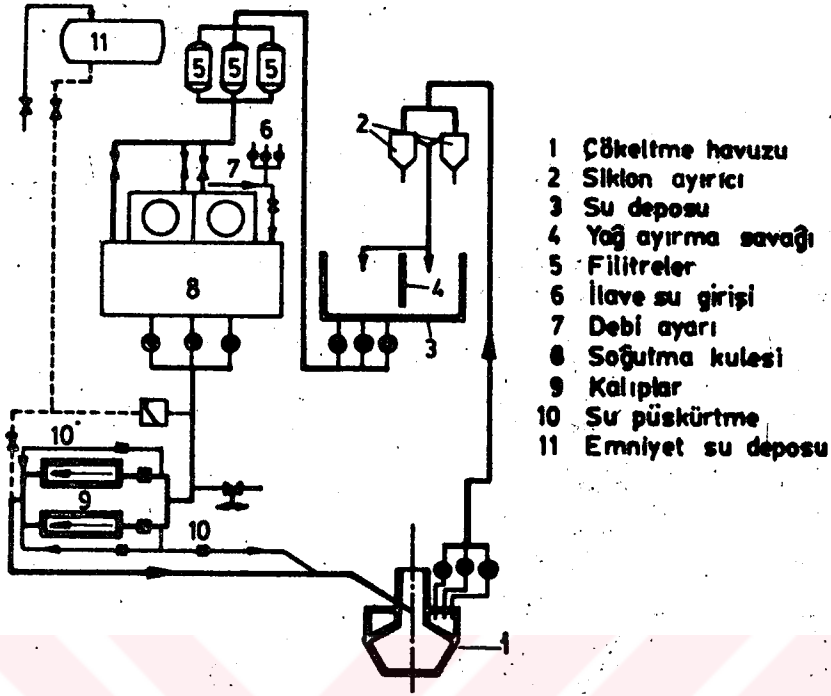
Teorik olarak bulunan bu soğutma suyu debisi değeri , Erdemir sürekli döküm tesislerinde bizim verilerimize çok yakın döküm işlemlerindeki soğutma suyu debisine çok yakın bir değerdir. Kalıp boyutları ve döküm hızı da göz önüne alınarak soğutma suyu ceketleri içindeki soğutma suyu basıncında 4 bar olması uygundur.

3.4.2 2. Bölge Soğutma Hesapları

Parçanın kalıptan çıktıktan sonraki bölgede su püskürtülerek direkt olarak soğutulduğu bölge olan 2. soğutma bölgesinde soğutmanın parçanın bütüm çevresi boyunca ve uzunlamasına homojen olarak, büyük sıcaklık dalgalanmaları oluşturmayacak şekilde yapılması önemlidir. Bu amaçla soğutma bölgesi, soğutma yoğunluğu ve şekline uygun olarak bölümlere ayrılır. Bu bölümler uygulanan makara sistemi ile de benzerlik gösterecek şekilde şöyledir.

1. Bölge 1a - Eğilme bölgesi üst
1b - Eğilme bölgesi alt
1c - Yan yüzeyler
2. Bölge 1. ve 2. segmentler
3. Bölge 3. ve 4. segmentler
4. Bölge 5. , 6. ve 7. segmentler

Bu bölgelerdeki soğutma işlemi makaralar arasına yerleştirilen püskürtme memelerinden püskürtülen su ve su-hava karışımı ile gerçekleştirilir. Soğutma suyu şekil 3.4 ' de gösterilen açık bir devrede dolaştırılarak soğutulur.



Şekil 3.4 2. Bölge Soğutma Suyu Devresi (Avcı , 1993)

Şekil 3.4 ' de gösterilen devrede dolaşan ve makaralar arasına yerleştirilmiş çeşitli konumlardaki püskürtme memelerinden püskürtülen soğutma suyunun her bölge için belirlenmesi gerekir.

Soğutma suyu debisinin hesaplanmasında esas olan yüzey sıcaklıklarının belirlenmesidir. Biz hesaplamalarımızda yüzey sıcaklığını hem teorik olarak bulup kullanacağız hem de St 37 malzemenin içerdiği C oranını göz önünde tutarak Fe-C diagramını ve faz dönüşümlerini dikkate alarak soğutma eğrileri oluşturup, sıcak ve soğuk çalışma şartları için bu eğriye uygun yüzey sıcaklıklarını kullanacağız.

Her iki yöntemle belirlenen yüzey sıcaklıklarını kullanarak, aşağıdaki denklemlerin yüklendiği bir bilgisayar programında (LOTUS 123) , istenilen aralıklarda soğutma suyu debisini hesaplayacağız. Daha sonra kalıp ve 2.bölge için bulduğumuz debileri kullanarak tesisin toplam soğutma suyu ihtiyacını belirleyeceğiz.

Hesaplamalarda kullanılacak formuller ise şunlardır :

$$q = k (T_y - T_o) + \sigma \epsilon (T_y^4 - T_o^4) \quad (1)$$

q : Birim alandan çekilen ısı (kcal / dk)

k : Toplam ısı transfer katsayısı (kcal / m² h °K)

T_y : Ortalama yüzey sıcaklığı (°K)

$$T_y = (t_{erg} + t_y) / 2$$

t_{erg} : Malzemenin ergime sıcaklığı

t_y : Yüzey sıcaklığı

$$t_y = 840 + 287 \sqrt{V_d / L}$$

V_d : Döküm hızı (m / dk)

L : Yüzey sıcaklığı istenen boy (m)

T_o : Ortam sıcaklığı (° K) çelik = 0.8)

σ : Stefan sabiti (ışınlama ısı geçiş sabiti (4.785.10⁻⁴ kcal/m² °K)

ϵ : Işınlama emisyon sabiti ($\epsilon_{\phi} = 0.8$)

F : Soğutma hesabı yapılan alan (m²)

Q : Belirli bir alandan çekilen ısı

$$Q = F q = M C \Delta T$$

M : Gerekli su debisi (lt/dk)

C : Soğutma suyu özgül ısı

ΔT : Soğutma suyu giriş - çıkış sıcaklık farkı

$$T_g = 20 \text{ °C} ; \quad T_{\phi} = 40 \text{ °C}$$

3.4.2.1 Teorik Yüzey Sıcaklığına Bağlı Soğutma Suyu Debilerinin Belirlenmesi

Bu hesaplamalar LOTUS 123 programı kullanılarak 0.25 mm aralıklarla bilgisayar yardımıyla yapılmıştır. Yüzey sıcaklığı ; döküm hızı ve hesaplanması istenen uzunluğa göre hesaplanmış ve soğutma suyu debisi belirlenmesinde de bu yüzey sıcaklıkları esas alınmıştır. Hesaplamaların sonuçları tablo 3.1 'de gösterilmiştir.

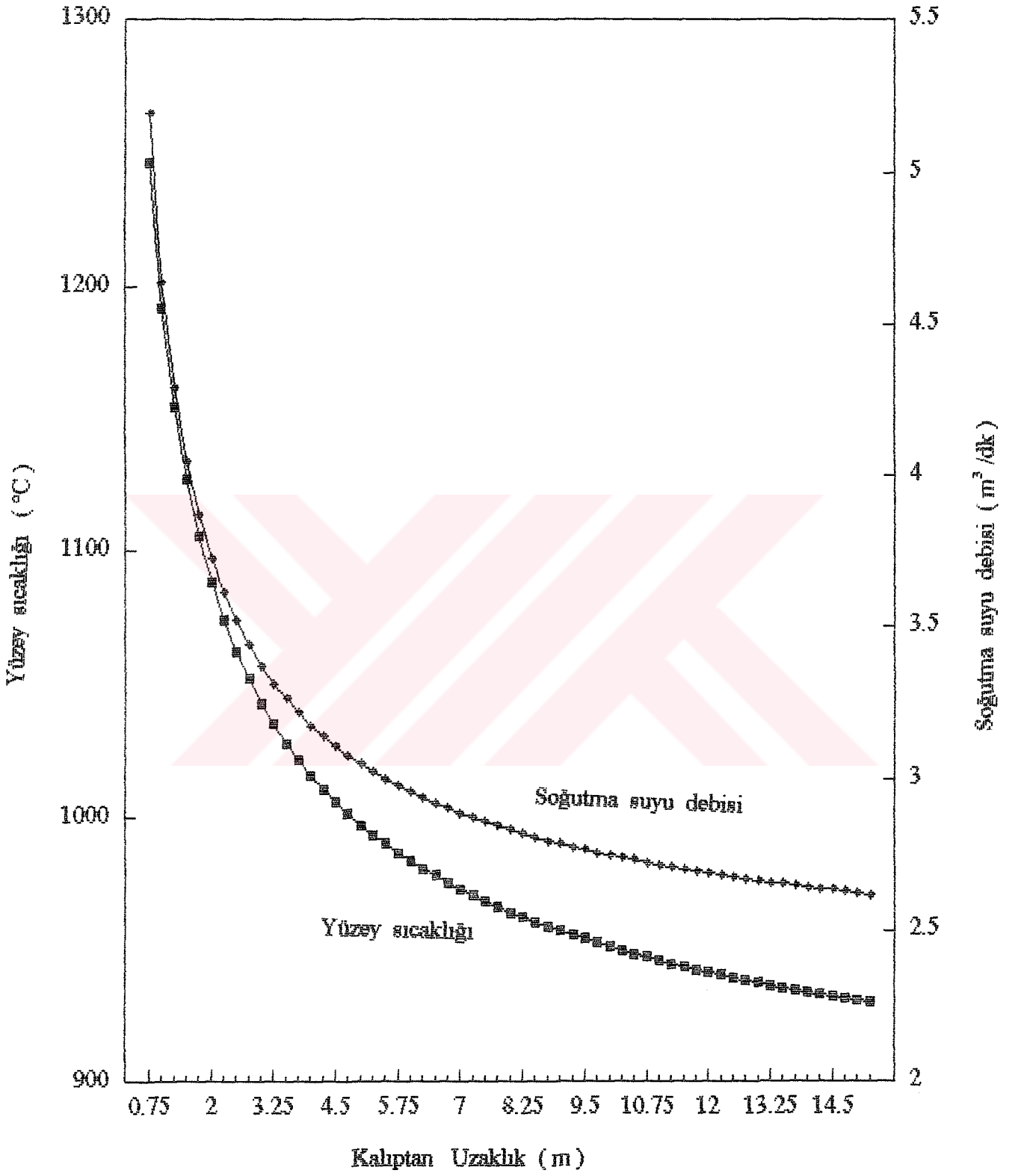
Ayrıca şekil 3.5 'te hesaplanan yüzey sıcaklığı - kalıptan uzaklık ve soğutma suyu debisi - kalıptan uzaklık eğrileri gösterilmektedir.



Tablo 3.1 Soğutma suyu debisi hasaplama sonuçları

s (m)	T _y (°C)	T _y (°K)	q (kcal/m ²)	Q (kcal/dak)	M (lt/dak)	M (m ³ /h)
0.75	1245.879	1518.879	305349.6	3460.629	86.51572	5.190943
1	1191.502	1464.502	272833.4	3092.112	77.30281	4.638169
1.25	1154.393	1427.393	252360.9	2860.09	71.50225	4.290135
1.5	1127	1400	238095	2698.41	67.46024	4.047614
1.75	1105.71	1378.71	227484.3	2578.155	64.45387	3.867232
2	1088.549	1361.549	219225.3	2484.553	62.11383	3.72683
2.25	1074.335	1347.335	212578	2409.218	60.23044	3.613827
2.5	1062.309	1335.309	207088.8	2347.007	58.67517	3.52051
2.75	1051.964	1324.964	202463	2294.58	57.36451	3.441871
3	1042.94	1315.94	198500	2249.666	56.24166	3.374499
3.25	1034.978	1307.978	195058.3	2210.661	55.26653	3.315992
3.5	1027.886	1300.886	192035.2	2176.398	54.40996	3.264598
3.75	1021.515	1294.515	189353.5	2146.007	53.65017	3.21901
4	1015.751	1288.751	186954.9	2118.822	52.97054	3.178233
4.25	1010.503	1283.503	184793.5	2094.327	52.35817	3.14149
4.5	1005.7	1278.7	182833.5	2072.114	51.80284	3.10817
4.75	1001.28	1274.28	181046	2051.855	51.29637	3.077782
5	997.1964	1270.196	179407.5	2033.284	50.83211	3.049927
5.25	993.408	1266.408	177898.6	2016.185	50.40462	3.024277
5.5	989.8809	1262.881	176503.6	2000.374	50.00935	3.000561
5.75	986.5864	1259.586	175208.9	1985.701	49.64253	2.978552
6	983.5	1256.5	174003.4	1972.038	49.30096	2.958057
6.25	980.6007	1253.601	172877.3	1959.276	48.9819	2.938914
6.5	977.8703	1250.87	171822.5	1947.322	48.68304	2.920982
6.75	975.2931	1248.293	170831.9	1936.094	48.40236	2.904141
7	972.8552	1245.855	169899.2	1925.524	48.13811	2.888287
7.25	970.5445	1243.544	169019.2	1915.551	47.88878	2.873327
7.5	968.3503	1241.35	168187.2	1906.122	47.65304	2.859183
7.75	966.2632	1239.263	167399	1897.189	47.42972	2.845783
8	964.2746	1237.275	166650.9	1888.711	47.21776	2.833066
8.25	962.3772	1235.377	165939.8	1880.651	47.01627	2.820976

s (m)	T _y (°C)	T _y (°K)	q (kcal/m ²)	Q (kcal/dak)	M (lt/dak)	M (m ³ /h)
8.5	960.5641	1233.564	165262.6	1872.977	46.82441	2.809465
8.75	958.8293	1231.829	164616.9	1865.658	46.64146	2.798488
9	957.1673	1230.167	164000.3	1858.67	46.46675	2.788005
9.25	955.5731	1228.573	163410.7	1851.988	46.2997	2.777982
9.5	954.0422	1227.042	162846.2	1845.59	46.13976	2.768385
9.75	952.5707	1225.571	162305.1	1839.458	45.98645	2.759187
10	951.1546	1224.155	161785.9	1833.574	45.83934	2.75036
10.25	949.7907	1222.791	161287.1	1827.921	45.69802	2.741881
10.5	948.4758	1221.476	160807.5	1822.485	45.56212	2.733727
10.75	947.207	1220.207	160345.8	1817.253	45.43132	2.725879
11	945.9818	1218.982	159901.1	1812.212	45.30531	2.718318
11.25	944.7976	1217.798	159472.2	1807.352	45.1838	2.711028
11.5	943.6522	1216.652	159058.4	1802.661	45.06653	2.703992
11.75	942.5436	1215.544	158658.6	1798.131	44.95328	2.697197
12	941.4698	1214.47	158272.3	1793.752	44.84381	2.690629
12.25	940.4291	1213.429	157898.6	1789.517	44.73793	2.684276
12.5	939.4197	1212.42	157536.8	1785.418	44.63544	2.678126
12.75	938.4402	1211.44	157186.5	1781.447	44.53617	2.67217
13	937.4891	1210.489	156846.9	1777.598	44.43995	2.666397
13.25	936.565	1209.565	156517.6	1773.866	44.34664	2.660799
13.5	935.6667	1208.667	156198	1770.244	44.2561	2.655366
13.75	934.793	1207.793	155887.7	1766.727	44.16818	2.650091
14	933.9428	1206.943	155586.3	1763.311	44.08277	2.644966
14.25	933.1151	1206.115	155293.3	1759.99	43.99976	2.639985
14.5	932.3089	1205.309	155008.3	1756.761	43.91902	2.635141
14.75	931.5233	1204.523	154731.1	1753.619	43.84047	2.630428
15	930.7574	1203.757	154461.2	1750.56	43.764	2.62584
15.25	930.0104	1203.01	154198.4	1747.581	43.68954	2.621372

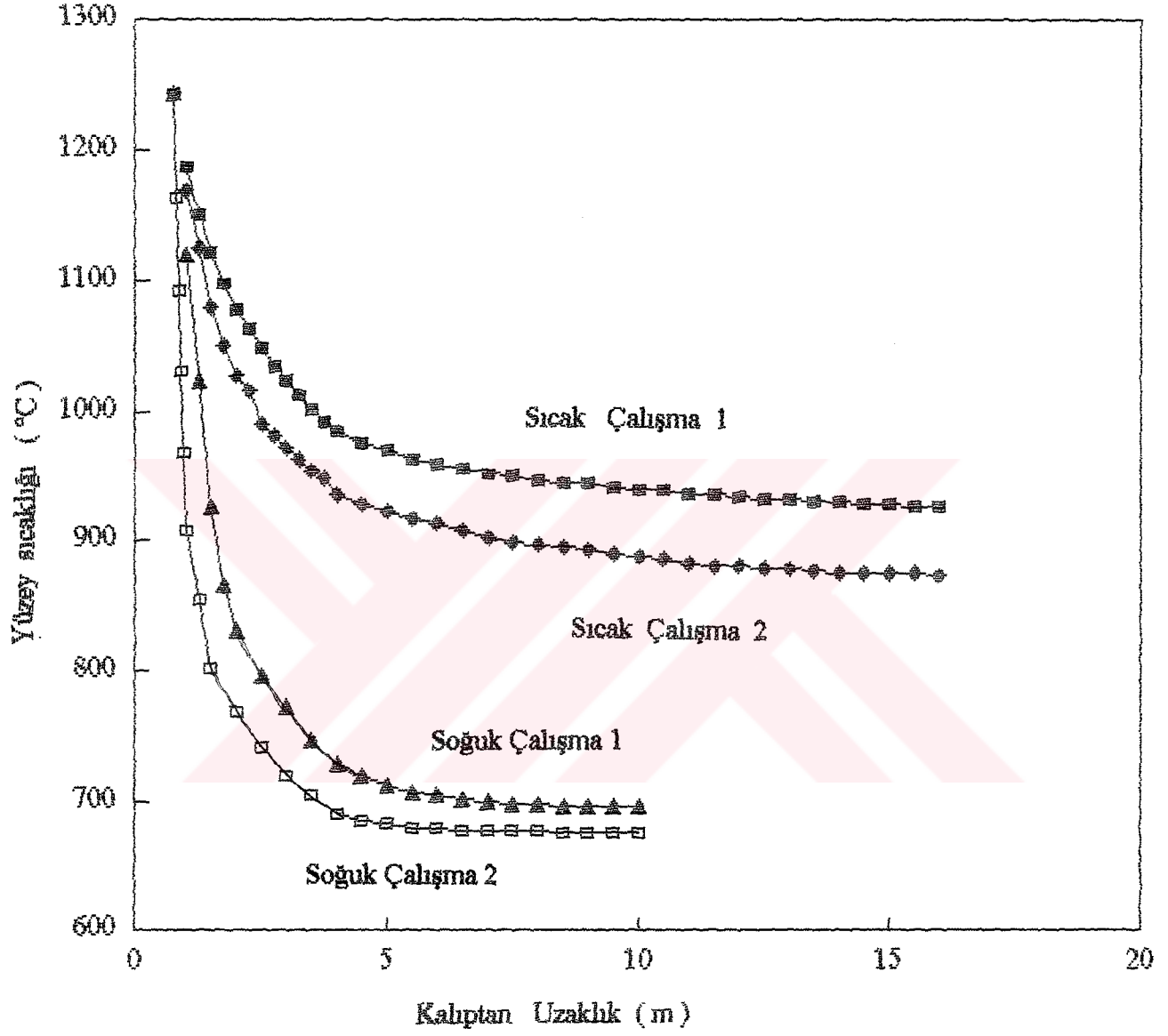


Şekil 3.5 Kalıptan uzaklık - yüzey sıcaklığı - debi grafiği

3.4.2.2 Grafik Yüzey Sıcaklığına Bağlı Soğutma Suyu Debisinin Hesaplanması

Bu hesaplamalarda, St 37 malzemedен üretilen slabın C oranına (% 0.12 C , %1.6 Mn, %0.44 Si) bağlı Fe-C diyagramı faz dönüşüm sıcaklıkları dikkate alınarak ve slaba daha sonra plastik şekil verme işlemleri uygulanacağı düşünülerek ; soğutma eğrileri , sıcak ve soğuk çalışma şartları için belirlenmiştir (şekil 3.6) . Bu eğriler esas alınarak grafik üzerinden bulunan yüzey sıcaklıkları kullanılarak Lotus 123 ‘te soğutma suyu debileri hesaplatılmıştır. Sıcak ve soğuk çalışmada soğutma rejimleri farklı eğriler seçilerek aralarında karşılaştırma yapmak mümkündür. Sıcak ve soğuk çalışma şartları için eğriler ve hesaplamaların sonuçları ; şekil 3.7, 3.8 ,3.9 ,3.10 ve tablo 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ‘te verilmiştir.

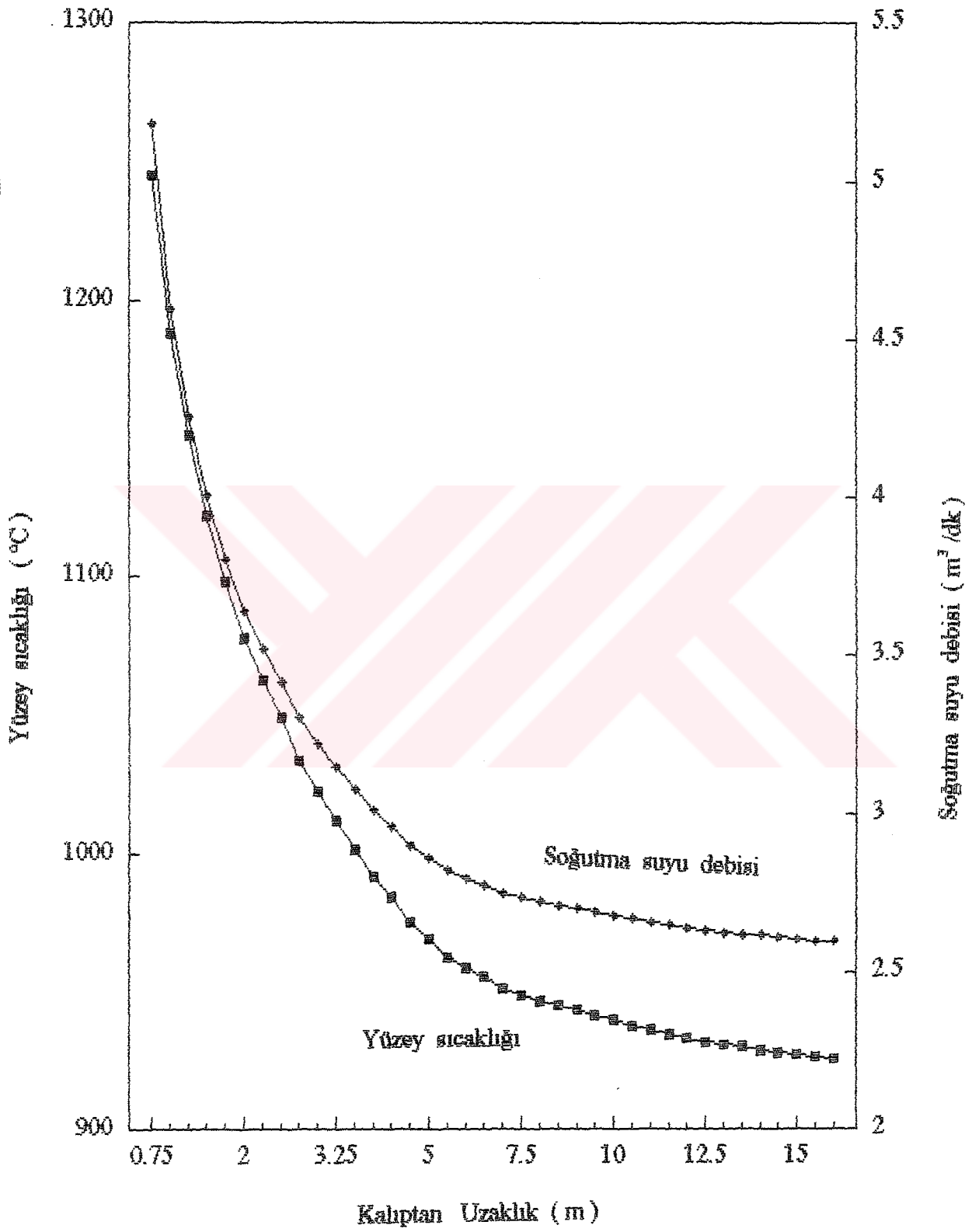




Şekil 3.6 Sıcak ve soğuk çalışma şartları için yüzey sıcaklığı - kalıptan uzaklık eğrileri

Tablo 3.2 Sıcak çalışma 1 eğrisi için hesaplamaların sonuçları

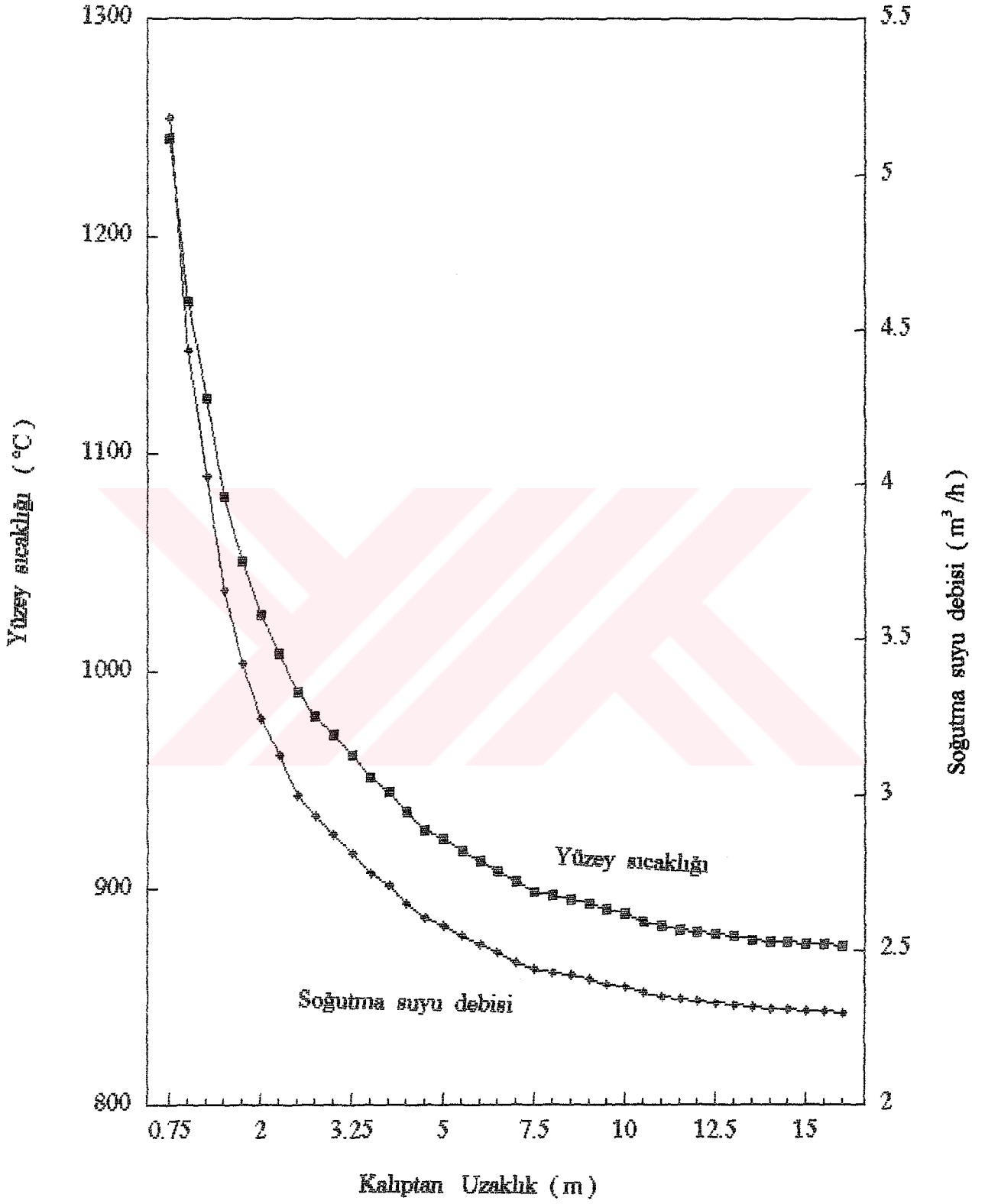
s (m)	T _y (°C)	T _y (°K)	q (kcal/m ²)	Q (kcal/dak)	M (lt/dak)	M (m ³ /h)
0.75	1245	1518	304799	3454.3889	86.35972	5.181583
1	1187.5	1460.5	270560.5	3066.3519	76.6588	4.599528
1.25	1151	1424	250555.7	2839.6314	70.99079	4.259447
1.5	1122	1395	235566.1	2669.749	66.74372	4.004623
1.75	1098	1371	223741.5	2535.7373	63.39343	3.803606
2	1077.5	1350.5	214043.3	2425.8244	60.64561	3.638737
2.25	1062.5	1335.5	207175	2347.983	58.69957	3.521974
2.5	1049	1322	201154.1	2279.747	56.99367	3.41962
2.75	1033.5	1306.5	194425	2203.4832	55.08708	3.305225
3	1022	1295	189556.7	2148.3089	53.70772	3.222463
3.25	1012	1285	185407.8	2101.2882	52.53221	3.151932
3.5	1001.5	1274.5	181134.6	2052.8588	51.32147	3.079288
3.75	991.5	1264.5	177142.8	2007.619	50.19047	3.011428
4	984	1257	174198.2	1974.2463	49.35616	2.96137
4.5	975	1248	170719.5	1934.821	48.37052	2.902231
5	969	1242	168433.2	1908.9097	47.72274	2.863365
5.5	962.5	1235.5	165985.7	1881.1715	47.02929	2.821757
6	958.5	1231.5	164494.6	1864.2721	46.6068	2.796408
6.5	955.5	1228.5	163383.7	1851.6821	46.29205	2.777523
7	951	1224	161729.3	1832.932	45.8233	2.749398
7.5	949	1222	160998.6	1824.6503	45.61626	2.736975
8	947	1220	160270.6	1816.4003	45.41001	2.7246
8.5	945	1218	159545.5	1808.1819	45.20455	2.712273
9	943.5	1216.5	159003.4	1802.0388	45.05097	2.703058
9.5	941.5	1214.5	158283.1	1793.8754	44.84688	2.690813
10	939.7	1212.7	157637.2	1786.5551	44.66388	2.679833
10.5	938	1211	157029.2	1779.6647	44.49162	2.669497
11	936	1209	156316.5	1771.5871	44.28968	2.657381
11.5	934.5	1207.5	155783.8	1765.5493	44.13873	2.648324
12	933	1206	155252.5	1759.5289	43.98822	2.639293
12.5	931.5	1204.5	154722.9	1753.5258	43.83814	2.630289
13	931	1204	154546.6	1751.5286	43.78822	2.627293
13.5	930	1203	154194.7	1747.54	43.6885	2.62131
14	929	1202	153843.5	1743.5591	43.58898	2.615339
14.5	928	1201	153492.9	1739.5859	43.48965	2.609379
15	927	1200	153143	1735.6203	43.39051	2.60343
15.5	926.5	1199.5	152968.3	1733.6404	43.34101	2.600461
16	926	1199	152793.7	1731.6624	43.29156	2.597494



Şekil 3.7 Sıcak çalışma 1 ; yüzey sıcaklığı - debi - kalıptan uzaklık eğrileri

Tablo 3.3 Sıcak Çalışma 2 eğrisi hesaplama sonuçları

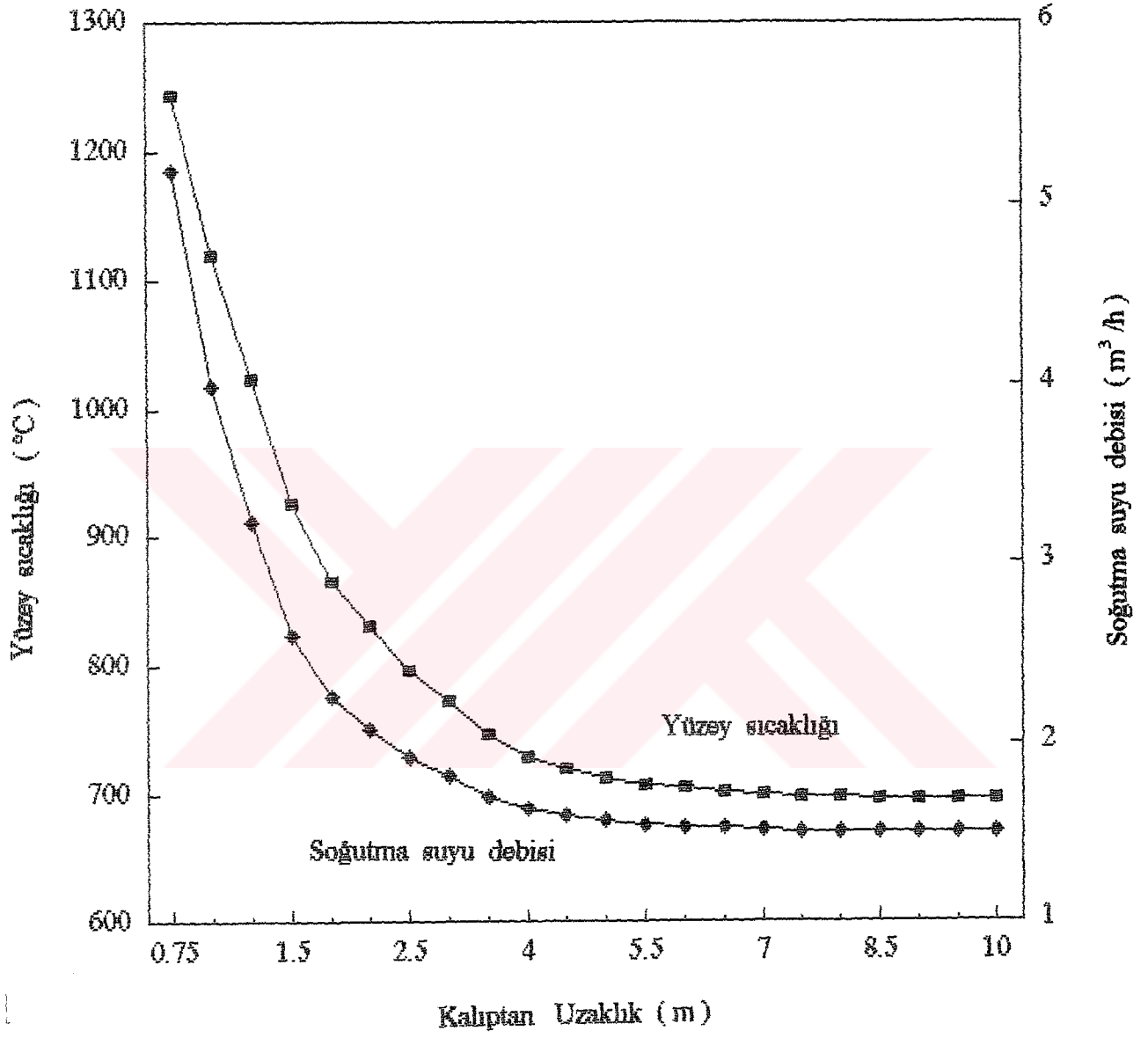
s	Ty (m)	Ty (°C)	Ty (°K)	q (kcal/m ²)	Q (kcal/dak)	M (lt/dak)	M (m ³ /h)
	0.75	1245	1518	304799	3454.3889	86.35972	5.181583
	1	1170	1443	260807.2	2955.8154	73.89539	4.433723
	1.25	1125	1398	237080.7	2686.9143	67.17286	4.030371
	1.5	1080	1353	215206.6	2439.0083	60.97521	3.658512
	1.75	1050	1323	201595	2284.7431	57.11858	3.427115
	2	1025.5	1298.5	191027.3	2164.9756	54.12439	3.247463
	2.25	1008.5	1281.5	183974	2085.0386	52.12596	3.127558
	2.5	990	1263	176550.6	2000.9065	50.02266	3.00136
	2.75	979.5	1252.5	172451.4	1954.4494	48.86124	2.931674
	3	970.5	1243.5	169002.3	1915.3598	47.884	2.87304
	3.25	961.3	1234.3	165537.2	1876.0881	46.9022	2.814132
	3.5	951	1224	161729.3	1832.932	45.8233	2.749398
	3.75	944.5	1217.5	159364.6	1806.1322	45.15331	2.709198
	4	935	1208	155961.2	1767.56	44.189	2.65134
	4.5	927	1200	153143	1735.6203	43.39051	2.60343
	5	923	1196	151750.1	1719.8342	42.99585	2.579751
	5.5	917	1190	149680.8	1696.3824	42.40956	2.544574
	6	912.5	1185.5	148144.5	1678.9711	41.97428	2.518457
	6.5	908	1181	146621.5	1661.7108	41.54277	2.492566
	7	903	1176	144944.9	1642.7083	41.06771	2.464062
	7.5	899	1172	143615.2	1627.6384	40.69096	2.441458
	8	897	1170	142954.2	1620.1473	40.50368	2.430221
	8.5	895	1168	142295.7	1612.6851	40.31713	2.419028
	9	893	1166	141639.9	1605.2519	40.1313	2.407878
	9.5	890	1163	140660.8	1594.1562	39.8539	2.391234
	10	888	1161	140011.3	1586.7949	39.66987	2.380192
	10.5	885	1158	139041.8	1575.8066	39.39517	2.36371
	11	883	1156	138398.5	1568.5167	39.21292	2.352775
	11.5	881	1154	137757.8	1561.2551	39.03138	2.341883
	12	880	1153	137438.4	1557.6349	38.94087	2.336452
	12.5	879	1152	137119.6	1554.0217	38.85054	2.331033
	13	878	1151	136801.4	1550.4156	38.76039	2.325623
	13.5	876	1149	136166.9	1543.2245	38.58061	2.314837
	14	875.5	1148.5	136008.6	1541.4311	38.53578	2.312147
	14.5	875	1148	135850.5	1539.6394	38.49098	2.309459
	15	874.5	1147.5	135692.6	1537.8495	38.44624	2.306774
	15.5	874	1147	135534.8	1536.0613	38.40153	2.304092
	16	873	1146	135219.7	1532.4902	38.31226	2.298735



Şekil 3.8 Sıcak çalışma 2 ; yüzey sıcaklığı-debi-kalıptan uzaklık eğrileri

Tablo 3.4 Soğuk çalışma 1 eğrisi hesaplama sonuçları

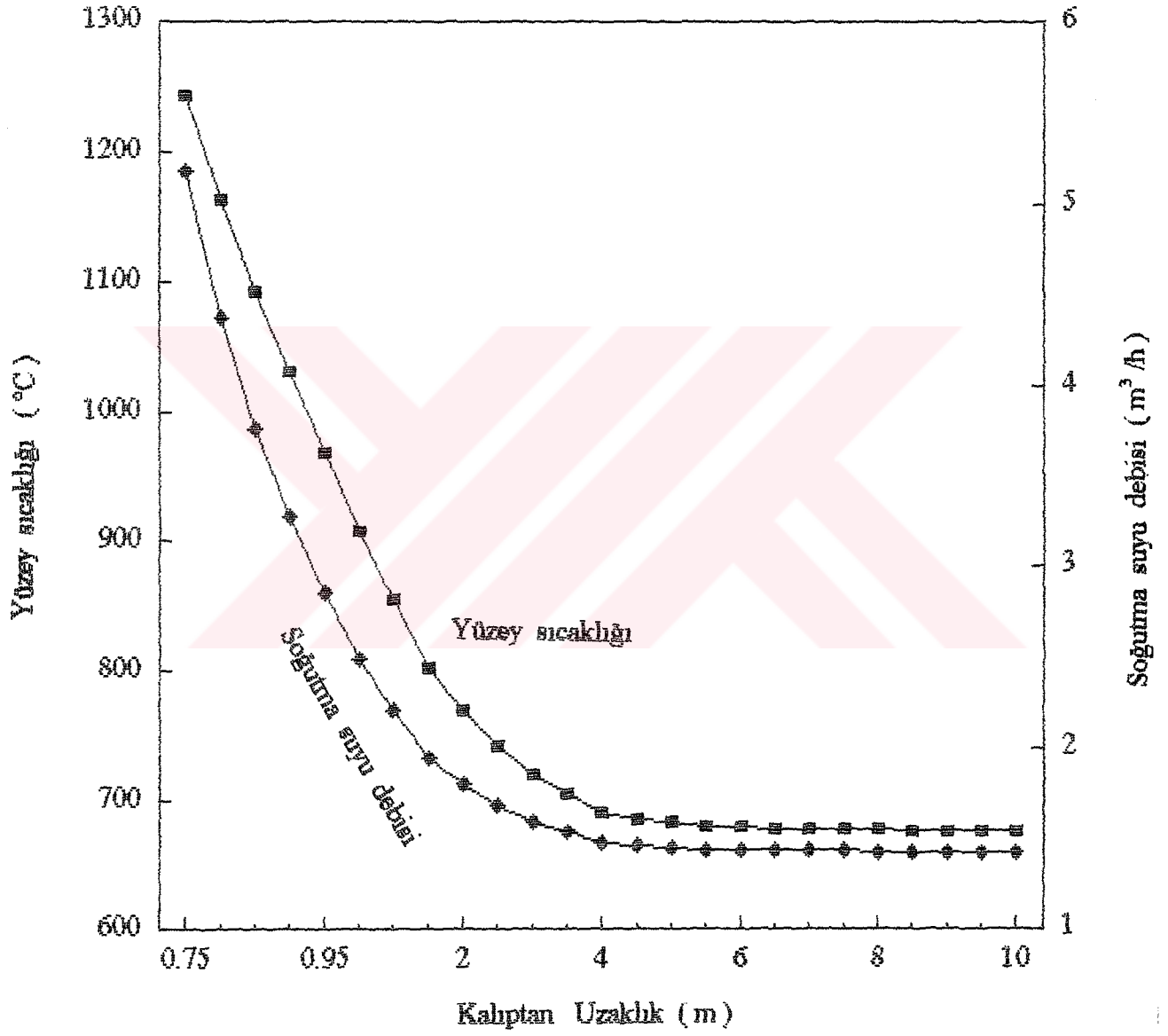
s (m)	T _y (°C)	T _y (°K)	q (kcal/m ²)	Q (kcal/dak)	M (lt/dak)	M (m ³ /h)
0.75	1245	1518	304799	3454.389	86.35972	5.181583
1	1120	1393	234560.9	2658.357	66.45893	3.987536
1.25	1022.5	1295.5	189766.2	2150.683	53.76708	3.226025
1.5	926.5	1199.5	152968.3	1733.64	43.34101	2.600461
1.75	866.5	1139.5	133186.5	1509.447	37.73618	2.264171
2	830.5	1103.5	122382.7	1387.004	34.67509	2.080505
2.5	797	1070	112993.6	1280.594	32.01486	1.920891
3	772	1045	106380.8	1205.649	30.14122	1.808473
3.5	746.5	1019.5	99964.71	1132.933	28.32333	1.6994
4	729	1002	95745.51	1085.116	27.12789	1.627674
4.5	719.5	992.5	93515.66	1059.844	26.49611	1.589766
5	712.5	985.5	91899.29	1041.525	26.03813	1.562288
5.5	707	980	90644.93	1027.309	25.68273	1.540964
6	704	977	89966.47	1019.62	25.4905	1.52943
6.5	701.5	974.5	89404.16	1013.247	25.33118	1.519871
7	699	972	88844.62	1006.906	25.17264	1.510359
7.5	698	971	88621.58	1004.378	25.10945	1.506567
8	697.5	970.5	88510.23	1003.116	25.0779	1.504674
8.5	696.2	969.2	88221.23	999.8406	24.99601	1.499761
9	695.7	968.7	88110.27	998.5831	24.96458	1.497875
9.5	695.4	968.4	88043.75	997.8291	24.94573	1.496744
10	695.1	968.1	87977.27	997.0757	24.92689	1.495614



Şekil 3.9 Soğuk çalışma 1 ; yüzey sıcaklığı - debi- kalıptan uzaklık eğrileri

Tablo 3.5 Soğuk çalışma 2 eğrisi hesaplam sonuçları

s (m)	T _y (°C)	T _y (°K)	q (kcal/m ²)	Q (kcal/dak)	M (lt/dak)	M (m ³ /h)
0.75	1245	1518	304799	3454.389	86.35972	5.181583
0.8	1163.5	1436.5	257261	2915.625	72.89062	4.373437
0.85	1092	1365	220865.3	2503.14	62.57849	3.754709
0.9	1029.5	1302.5	192719.8	2184.157	54.60394	3.276236
0.95	968.5	1241.5	168243.9	1906.764	47.6691	2.860146
1	907.5	1180.5	146453.1	1659.802	41.49506	2.489703
1.25	854.5	1127.5	129500.2	1467.669	36.69172	2.201503
1.5	802.5	1075.5	114492.8	1297.585	32.43964	1.946378
2	769	1042	105609	1196.902	29.92256	1.795353
2.5	741.5	1014.5	98744.24	1119.101	27.97754	1.678652
3	720	993	93631.98	1061.162	26.52906	1.591744
3.5	705	978	90192.17	1022.178	25.55445	1.533267
4	690	963	86853.09	984.335	24.60837	1.476502
4.5	685	958	85761.91	971.9683	24.29921	1.457952
5	682	955	85112.36	964.6068	24.11517	1.44691
5.5	680	953	84681.47	959.7233	23.99308	1.439585
6	679	952	84466.66	957.2888	23.93222	1.435933
6.5	678	951	84252.27	954.8591	23.87148	1.432289
7	677.5	950.5	84145.24	953.6461	23.84115	1.430469
7.5	677	950	84038.31	952.4342	23.81086	1.428651
8	676.5	949.5	83931.49	951.2235	23.78059	1.426835
8.5	676	949	83824.77	950.0141	23.75035	1.425021
9	675.7	948.7	83760.79	949.289	23.73222	1.423933
9.5	675.5	948.5	83718.16	948.8058	23.72015	1.423209
10	675	948	83611.65	947.5987	23.68997	1.421398



Şekil 3.10 Soğuk çalışma 2 ; yüzey sıcaklığı - debi - kalıptan uzaklık eğrileri

3.4.3 Toplam Soğutma Suyu Debisinin Belirlenmesi

Soğutma sisteminde açıkladığımız kalıbın, 2.bölgenin, makina ve techizatın soğutulmasında kullanılan ayrıca herhangi bir arıza halinde kullanılacak yedek su miktarının belirlenmesi gerekir.

Kalıbın soğutulması için gerekli su miktarı $355 \text{ m}^3 / \text{h}$ olarak bulmuştuk.

2.Bölgedeki soğutma için gerekli su miktarı yaklaşık $180 \text{ m}^3 / \text{h}$ olarak bulmuştuk.

Sistemde çalışan makinaların (mekanik ve hidrolik) , makaraların ve diğer techizatın soğutulmasında kullanılan soğutma suyu miktarı , tecrübeler de dayanılarak 2.bölgedeki soğutma suyunun %40 ' ı kadardır. Bu da yaklaşık $70 \text{ m}^3 / \text{h}$ soğutma suyu demektir.

Buradan sistemdeki toplam soğutma suyu ihtiyacı ise :

$$M_t = 355 + 180 + 70 = 505 \text{ m}^3 / \text{h} \text{ olur.}$$

%10 buharlaşma ve kaçak kayıpları dikkate alınarak : $M_T = 560 \text{ m}^3 / \text{h}$ alınmalıdır.

Sistemin soğutulması düşünülürken herhangi bir arıza durumunun da düşünülmesi gerekir. Bu nedenle yedek suya ihtiyaç vardır. Sistemin çalışma şartlarına bağlı olarak 15 dakikalık bir arızaya karşılayabilecek soğutma suyu miktarının, yedek su olarak düşünülmesi uygundur. Buna göre sistemin yedek su ihtiyacı :

$$M_{yed} = (560 \times 15) / 60 = 140 \text{ m}^3 \text{ olarak bulunur.}$$

3.5 Makara Sistemi Hesaplamaları

Sürekli slab döküm tesislerinde, çok düşük sürtünme kuvveti, en az aşınma, ucuz üretim ve bakım maliyetleri nedeniyle kullanılan makara sistemi eğme, bükme ve doğrultma bölümlerine ayrılmış segmentlerden oluşan sistemdir.

Kalıbın hemen çıkışında kalıp ayak makaraları, onun devamı eğme bölgesi makaraları , bükme ve doğrultma bölgesi makaraları ölçüleri döküm hızı , slab kesiti, dökülen malzeme, yüzey sıcaklığı, soğutma sistemi, metalurjik uzunluk, kullanılan döküm makinası özellikleri ve soğutma yoğunluğuna bağlı oluşan kabuk kalınlığı gibi birçok değişkene bağlıdır.

Çok fazla değişken tarafından etkilenen makara ölçülerinin belirlenmesinde döküm makinalarında dökülecek boyut, hız ve malzeme gibi bazı kısıtlamalara giderek, soğutma yoğunluğunda bazı iyileştirmeler yapılarak ve uygulanan sistemlerin tecrübelerinden yararlanılarak hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir.

Biz de hesaplamalarımızda; bu konuda yapılmış çalışmalardan oluşturduğumuz teorik formülleri ve Erdemir A.Ş. de yaptığım incelemeler sonucu tesis ile ilgili bilgileri birleştirerek, 1500x200 kesitinde slabın 1.5 m / dk hızla dökülebileceği bir makara sistemi oluşturacağız.

Bunun için ilk önce katılaşmanın nerede son bulacağını bulalım ve buna uygun olarak döküm yolunun uzunluğunu belirleyelim.

Soğutma sisteminin hesaplanmasında da belirtildiği gibi makaralar bölgesinde katılaşma sabiti $c = 21.15$ alınabilir.

Slab kalınlık kesiti 200 mm idi. Yani her iki taraftan 100 mm' nin katılaşması gerekir. Kalıp çıkışında kabuk kalınlığı 20 mm olduğunu kabul etmiştik. Buna göre katılaşması gerekli kalınlık 80 mm olarak bulunur.

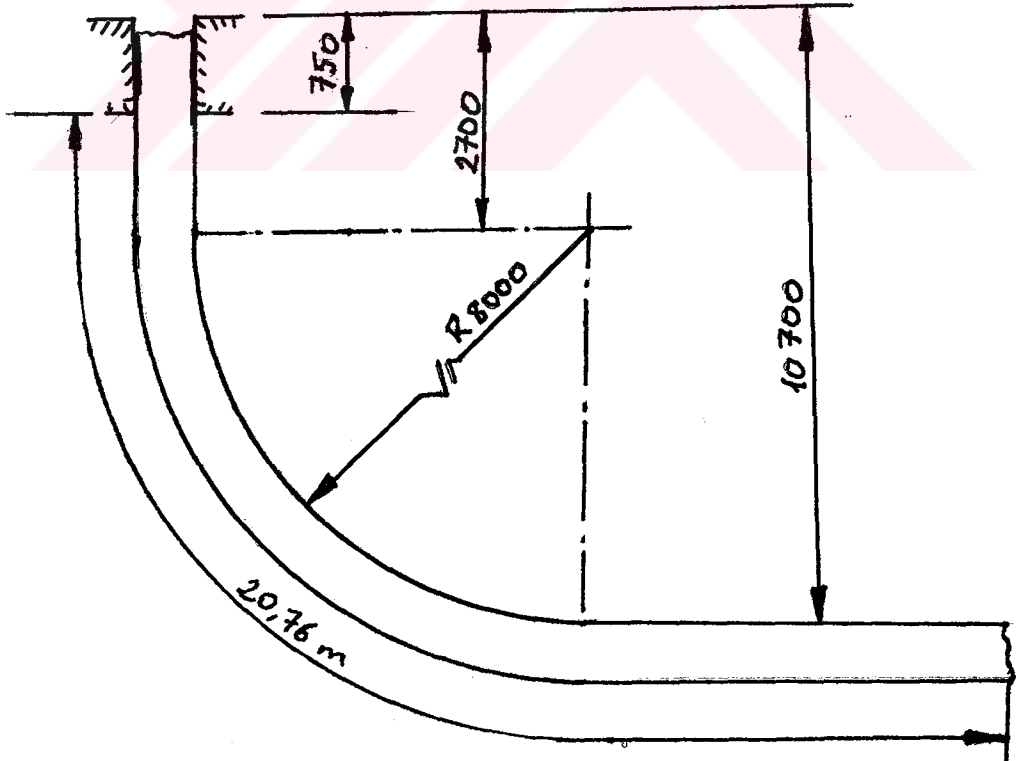
$$S = c\sqrt{t} \Rightarrow 80 = 21.5 \sqrt{t} \Rightarrow t = 13.84 \text{ dk}$$

$$L = t V_d \Rightarrow L = 13.84 \times 1.5 = 20.76 \text{ m olur. Bu noktadaki yüzey sıcaklığı ise :}$$

$$t_y = 840 + 287 \sqrt{V_d / L} = 917.14 \text{ } ^\circ\text{C olacaktır.}$$

Bu hesaplamalarda çıkan sonuç, tam katılaşmanın tamamlanması 20 m sonunda olacağından bu metreden önce slabın doğrultma segmentlerine girmesi ve katılaşmanın burada tamamlanması uygundur.

Buradan yola çıkarak döküm yolu ve bükme radüsünün belirlenmesinde Erdemir tesisini de göz önüne alarak şekil 3.11 'deki gibi belirlemek mümkündür.



Şekil 3.11 Döküm yolu boyutları

Döküm yolunu ve bükme radiusünü belirledikten sonra makara çaplarının belirlenmesinde önemli rolü olan makaralar arası mesafelerin belirlenmesi gerekir.

3.5.1 Makaralar Arası Mesafelerin Hesaplanması

Bu mesafelerin hesaplanmasında döküm yolu birer metrelik bölümlerle ele alınacak ve aşağıdaki veriler, formuller kullanılarak lotus 123 programında makaralar arası mesafeler hesaplatılacaktır.

Döküm hızı $V_d = 1.5 \text{ m / dk}$

Sıvı metal yoğunluğu $\rho = 7.85 \text{ gr / cm}^3$

St 37 malzeme (0.12 C) için ; $T_{\text{likudus}} = 1530 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{solidus}} = 1493^\circ\text{C}$

M_o : Moment (N cm) $M_o = P a^2 / 12$

P : Ferrostatik basınç (N / cm²)

a : İki makara arası mesafe (cm)

σ : Katılaşılan tabakalardaki gerilme (N / cm²)

$\sigma = 6 M_o / (0.6 S)^2$ S : Katılaşılmış kabuk kalınlığı (cm)

ε : % uzama

ε_o : Elastik uzama

ε_k : Sürtünme etkisiyle uzama

ε_R : a aralığında eğilme momenti etkisiyle uzama

$$\varepsilon_k = 8.46 \times 10^{-4} \times \sigma^{4.395} / (1523 - T_m) \sqrt{a / V_d}$$

$$T_m = 0.3 T_{\text{sol}} + 0.7 T_{\text{dış}}$$

$$\epsilon_R = \epsilon_{k1} - \epsilon_{k2}$$

$$\epsilon_{01} = \sigma / E_T \quad E_T : T \text{ sıcaklığında elastiklik modülü } (N / cm^2)$$

$$E_T = 5940 (T_{sol} - T_m) / (T_{sol} - 1134)$$

Bu formullerden değerler $\epsilon_{max} = \epsilon_{01} + \epsilon_{k1} + ((L_{kr} - a_1) / a) \epsilon_R$ denkleminde yerine konularak ϵ_{max} değeri a değerine bağlı olarak bulunur.

Müsade edilen $\epsilon_{max} = \%0.5$ değeri ile bulunan değer karşılaştırılarak denemeler yoluyla (a) mesafesi bilgisayar programı yardımıyla bulunmuştur. Bu (a) mesafesine bağlı makara çapları belirlenebilir.

Lotus 123 bilgisayar programı ile yaptırılan hesaplama sonuçları tablo 3.6 'da gösterilmiştir.

Ayrıca hesaplamalarda bulunan ; ferostatik basınç nedeniyle oluşan eğilme momenti, katılan kabuk üzerinde oluşan gerilmeler ve bu etkiler nedeniyle katılan kabuğun uzamasını seçtiğimiz iki bölgede grafik olarak gösterimi şekil 3.12 ve şekil 3.13 'te gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Makaralar arası mesafelerin hesaplama sonuçları

X	t	s2	S	h	P
0.75 – 1	0.666667	17.96292	3.796292	100	7.70085
1 – 2	1.333333	25.40341	4.540341	200	15.4017
2 – 3	2	31.1127	5.11127	280	21.56238
3 – 4	2.666667	35.92585	5.592585	399.21	30.74256
4 – 5	3.333333	40.16632	6.016632	497.04	38.2763
5 – 6	4	44	6.4	590.93	45.50663
6 – 7	4.666667	47.52543	6.752543	679.92	52.35962
7 – 8	5.333333	50.80682	7.080682	762.41	58.71205
8 – 9	6	53.88877	7.388877	837.23	64.47383
9 – 10	6.666667	56.80376	7.680376	903.25	69.55793
10 – 11	7.333333	59.57628	7.957628	959.29	73.87348
11 – 12	8	62.2254	8.22254	1004.51	77.35581
12 – 13	8.666667	64.76625	8.476625	1038.33	79.96024
13 – 14	9.333333	67.21111	8.721111	1054.9	81.23627
14 – 15	10	69.57011	8.957011	1070	82.3991
15 – 16	10.66667	71.8517	9.18517	1070	82.3991
16 – 17	11.33333	74.06304	9.406304	1070	82.3991
17 – 18	12	76.21024	9.621024	1070	82.3991
18 – 19	12.66667	78.29857	9.829857	1070	82.3991
19 – 20	13.33333	80	10	1070	82.3991
20 – 21	14	80	10	1070	82.3991
21 – 22	14.66667	80	10	1070	82.3991

Mo	M1	M2	G1	Td	Tm
0.46715	0.21302	0.155561	0.2463489	1127	1236.8
0.641669	0.292601	0.213676	0.2365635	1062.309	1191.516
0.779552	0.355476	0.259591	0.2267781	1027.886	1167.42
0.893011	0.407213	0.297373	0.2169927	1005.7	1151.89
0.986957	0.450053	0.328657	0.2072073	989.8809	1140.817
1.064	0.485184	0.354312	0.1974219	977.8703	1132.409
1.125741	0.513338	0.374872	0.1876365	968.3503	1125.745
1.173257	0.535005	0.390695	0.1778511	960.5641	1120.295
1.20732	0.550538	0.402038	0.1680657	954.0422	1115.73
1.228509	0.5602	0.409093	0.1582803	948.4758	1111.833
1.237272	0.564196	0.412012	0.1484949	943.6522	1108.457
1.23397	0.56269	0.410912	0.1387095	939.4197	1105.494
1.218895	0.555816	0.405892	0.1289241	935.6667	1102.867
1.192293	0.543685	0.397033	0.1191387	932.3089	1100.516
1.154369	0.526392	0.384405	0.1093533	929.2815	1098.397
1.1053	0.504017	0.368065	0.0995679	926.5338	1096.474
1.04524	0.47663	0.348065	0.0897825	924.025	1094.717
0.974324	0.444292	0.32445	0.0799971	921.7225	1093.106
0.892669	0.407057	0.297259	0.0702117	919.5995	1091.62
0.795083	0.362558	0.264763	0.0604263	917.6338	1090.244
0.666328	0.303845	0.221887	0.0506409	915.8068	1088.965
0.537572	0.245133	0.179012	0.0408555	914.1031	1087.772

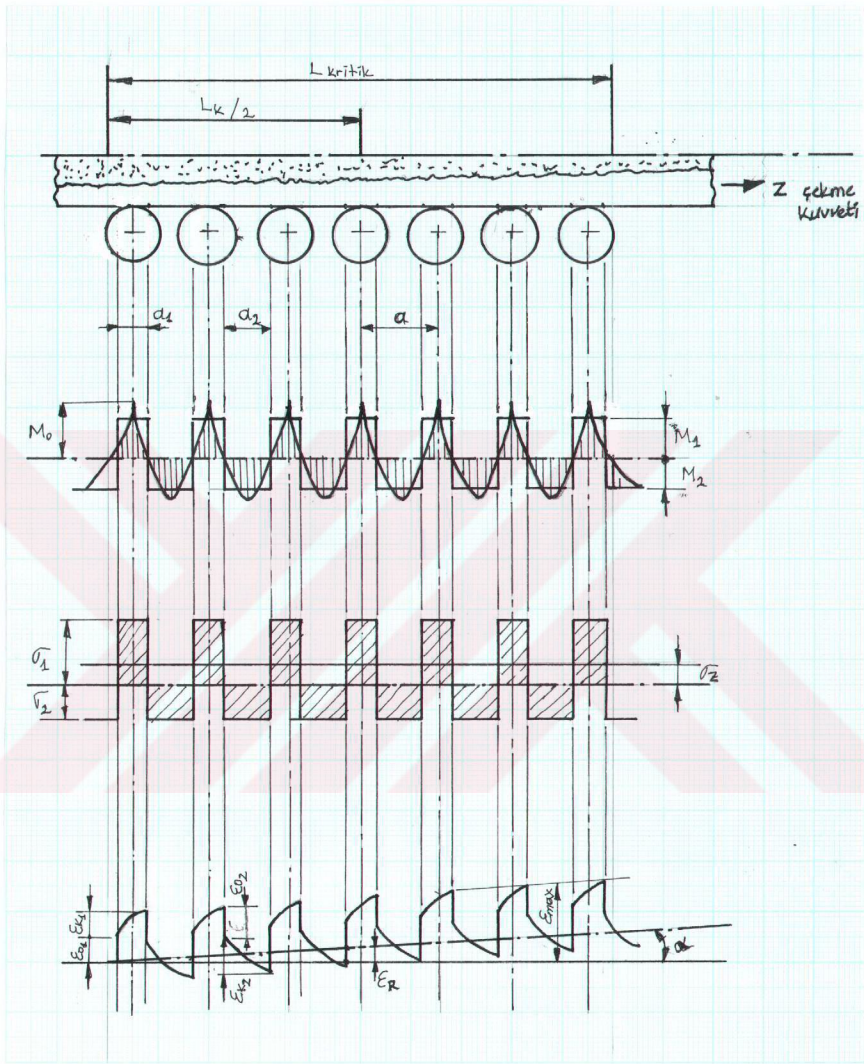
M: Moment (N cm)

G : σ : Katılğan tabakalardaki gerilme (N / cm²)

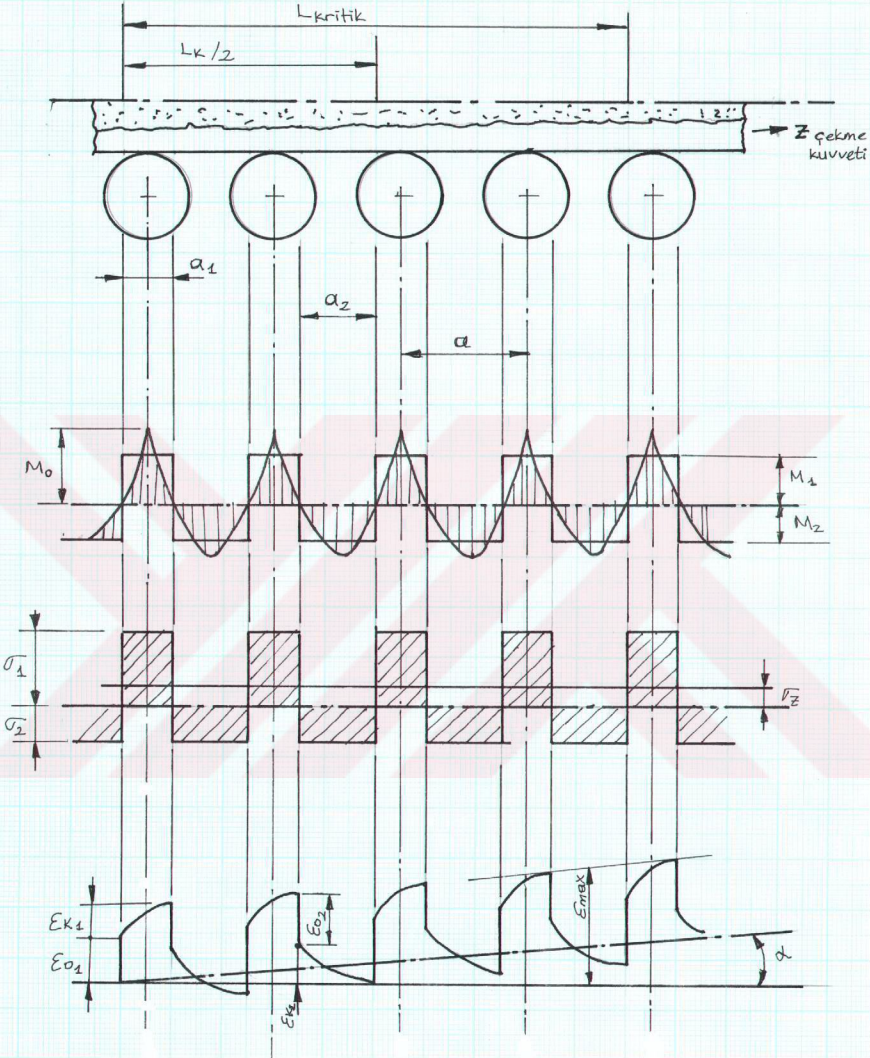
E : ε : % uzama (sehim)

ET	E01	Ek1	G2	Ek2
4239.075	5.811E-05	3.1E-19	0.1799	9.0E-20
4988.335	4.742E-05	1.3E-19	0.171641	3.8E-20
5387.035	4.210E-05	8.0E-20	0.163382	2.2E-20
5643.998	3.845E-05	5.4E-20	0.155123	1.4E-20
5827.213	3.556E-05	3.9E-20	0.146864	1.0E-20
5966.321	3.309E-05	2.8E-20	0.138605	7.0E-21
6076.583	3.088E-05	2.1E-20	0.130346	4.9E-21
6166.764	2.884E-05	1.6E-20	0.122087	3.5E-21
6242.302	2.692E-05	1.2E-20	0.113828	2.4E-21
6306.773	2.510E-05	8.5E-21	0.105569	1.7E-21
6362.641	2.334E-05	6.2E-21	0.09731	1.1E-21
6411.662	2.163E-05	4.4E-21	0.089052	7.4E-22
6455.131	1.997E-05	3.1E-21	0.080793	4.7E-22
6494.021	1.835E-05	2.2E-21	0.072534	2.8E-22
6529.085	1.675E-05	1.4E-21	0.064275	1.6E-22
6560.91	1.518E-05	9.4E-22	0.056016	8.8E-23
6589.967	1.362E-05	5.8E-22	0.047757	4.3E-23
6616.635	1.209E-05	3.5E-22	0.039498	1.8E-23
6641.224	1.057E-05	1.9E-22	0.031239	6.4E-24
6663.991	9.068E-06	9.8E-23	0.02298	1.6E-24
6685.151	7.575E-06	4.4E-23	0.014721	2.3E-25
6704.884	6.093E-06	1.7E-23	0.006462	6.0E-27

Er	E _{max}	a
2.2E-19	0.005026	9.3
9.4E-20	0.005031	10.3
5.8E-20	0.005094	11
4.0E-20	0.005085	11.5
2.9E-20	0.00512	12
2.1E-20	0.00517	12.5
1.6E-20	0.005218	13
1.2E-20	0.005256	13.5
9.1E-21	0.005127	13.8
6.8E-21	0.005061	14.2
5.1E-21	0.005043	14.7
3.7E-21	0.005064	15.3
2.7E-21	0.005049	15.9
1.9E-21	0.005055	16.6
1.3E-21	0.005013	17.3
8.5E-22	0.005027	18.2
5.4E-22	0.005022	19.2
3.3E-22	0.005081	20.5
1.9E-22	0.00507	21.9
9.6E-23	0.005008	23.5
4.4E-23	0.005042	25.8
1.7E-23	0.005195	29.2



Şekil 3.12 4. - 5. metreler arası Eğilme Momenti, Gerilme, Uzama eğrileri



Şekil 3.13 10. - 11. metreler arası Eğilme Momenti, Gerilme, Uzama eğrileri

3.5.2 Makara aplarının Belirlenmesi

Hesaplama yoluyla bulunan makaralar arası mesafelere uygun ve modern sürekli döküm makinası yapısına uygun ayrıca uygulama tecrübelerine dayanarak makara çaplarını belirlemeye çalışalım. Bulduğumuz makaralar arası mesafelere uygun makara çapları tablo 3.7 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7 Makara apları

X (m)	a (cm)	MAKARA CAPI (mm)
0.75 - 1	9.3	90
1 - 2	10.3	90
2 - 3	11	100
3 - 4	11.5	100
4 - 5	12	100
5 - 6	12.5	130
6 - 7	13	130
7 - 8	13.5	130
8 - 9	13.8	130
9 - 10	14.2	130
10 - 11	14.7	130
11 - 12	15.3	150
12 - 13	15.9	150
13 - 14	16.6	150
14 - 15	17.3	150
15 - 16	18.2	150
16 - 17	19.2	200
17 - 18	20.5	200
18 - 19	21.9	200
19 - 20	23.5	200
20 - 21	25.8	200
21 - 22	29.2	200

3.5.3 Hesaplanan Makara Çapları Ve Ara Mesafelerinin Sehim Hesabı İle Karşılaştırılması

Döküm işlemi süresince slab mekanik ve ısı şiddetli gerilme ve gerinimlerin etkisi altındadır. Bu etkileri azaltmak için slabın her noktasındaki gerilme ve gerinim etkilerini bilmek, sistem şartlarından (döküm hızı, soğutma, makina geometrisi) nasıl etkilendiği ve kritik noktaların belirlenmesi gerekir.

Bu hesaplamalar için oluşturulan matematiksel modellerde yüksek sıcaklıklarda çeliklerin davranışlarının bilinmesi zorluğu vardır. Bu nedenle, çeliklerin, makina dizaynlarına bağlı, yüksek sıcaklıklardaki mekanik özellikler deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Sıvı çeliğin hidrostatik basıncı ile yer yer slab üzerinde bir sehim oluşturur. Bunların oluşması istenmez ve destek makaraları ile azaltılmaya çalışılır. Merkezi segregasyon ve iç çatlakların azaltılması açısından, operasyon şartları da göz önüne alınarak sehim miktarlarının bilinmesi önemlidir. K.Wünnenberg ve W.Heinmann 'ın bu konuda yaptıkları çalışmalar sonucu sehim modelini oluşturmuşlardır.

İki araştırmacı ; gerilmelerin hesaplanmasında statik ve dinamik eğilmeleri esas alan çalışmalardan yararlanıp statik modelin simetrik ve makaralar arası mesafenin %50 'sinde max. eğilme momenti oluşturduğu verilerine, ferrostatik basınçtan dolayı katılan kabuğa gelen yükün düzgün yayılı yük olduğu, iki makara arasında kalan bölgenin kiriş olarak alınması kabullerine dayanan bir model geliştirmişlerdir.

Bu modelde max. sehim (Y_{max}), ferrostatik basınç, iki makara arası mesafe, döküm hızı veya katılaşmış kabuk kalınlığı gibi parametrelere bağlıdır ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$Y_{max} = H P^{1.5} a^{4.9} t^{0.22} / S^{3.8}$$

H : Sabit

P : Ferrostatik basınç

a : Makaralar arası mesafe

t : Yükleme zamanı

S : Katılaşmış kabuk kalınlığı

Bu eşitlikten de anlaşılacağı gibi max. sehimin ana parametrelerine döküm hızı ve soğutmanın etkili olduğu görülmektedir. Soğutma şartları ve döküm hızı değiştirildiğinde katılaşmış kabuk kalınlığı değişir dolayısıyla sehim değişir.

Daha önceki bölümlerde hesapladığımız makaralar arası mesafe, katılaşmış kabuk kalınlığı, ferrostatik basınç gibi verileri sehim hesaplaması eşitliğinde kullanarak, projelendirdiğimiz sistem için max sehimleri bulup bir karşılaştırma yapmaya çalışalım.

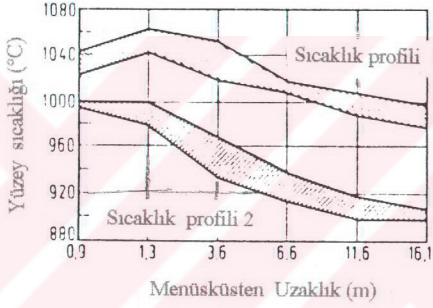
Hesaplamalar Lotus 123 bilgisayar programında yapılmıştır. Kullanılan (H) sabiti ilgili araştırmacıların bizim sıcaklık profilimize uygun (H) değerlerinden $H = 0.609.10^{-4}$ olarak alınmıştır.

Hesaplama sonuçları tablo 3.8 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8 Makaralar arasında oluşan max. schimler.

X (metre)	t (sn)	h (mm)	P (10 bar)	L (mm)	Ymax (mm)
0.75 - 1	40	44.4949	0.077009	95	0.00933
1 - 2	80	54.64102	0.154017	105	0.022995
2 - 3	120	62.42641	0.215624	110	0.03153
3 - 4	160	68.98979	0.307426	115	0.048629
4 - 5	200	74.77226	0.382763	120	0.064377
5 - 6	240	80	0.455066	125	0.082076
6 - 7	280	84.80741	0.523596	130	0.101738
7 - 8	320	89.28203	0.587121	135	0.12311
8 - 9	360	93.48469	0.644738	138	0.135954
9 - 10	400	97.45967	0.695579	142	0.153105
10 - 11	440	101.2404	0.738735	147	0.175445
11 - 12	480	104.8528	0.773558	153	0.204049
12 - 13	520	108.3176	0.799602	159	0.232895
13 - 14	560	111.6515	0.812363	166	0.266814
14 - 15	600	114.8683	0.847094	173	0.317025
15 - 16	640	117.9796	0.847094	182	0.372459
16 - 17	680	120.995	0.847094	192	0.445704
17 - 18	720	123.923	0.847094	205	0.568152
18 - 19	760	126.7708	0.847094	219	0.728983
19 - 20	800	129.5445	0.847094	235	0.959301
20 - 21	840	132.2497	0.847094	258	1.416488
21 - 22	880	134.8913	0.847094	292	2.434775

K. Wunnenberg ve W. Heinemann 'ın yaptığı deneysel çalışmaların sonucu, belirli bir soğutma profili (bizim teorik soğutma eğrimize yakın), ve döküm hızlarına bağlı olarak belirli makara aralıklarında oluşan max. sehim değerlerini belirlemişlerdir. Şekil 3.14 'te soğutma profilleri, tablo 3.9 'da max. sehimler görülmektedir.



Şekil 3.14 Soğutma Profilleri (Palmer et.al., 1979)

Tablo 3.9 Soğutma profili, döküm hızı ve makaralar arası mesafeye bağlı
max. sehîm değêrleri (Palmer et.al , 1979)

L	V L .	Sıcaklık profili 1				Sıcaklık profili 2			
		0,8	1,0	1,2	1,4	0,8	1,0	1,2	1,4
175	0,9	0,10	0,12	0,15	0,20	0,09	0,11	0,14	0,18
210	1,3	0,16	0,21	0,28	0,35	0,13	0,17	0,23	0,30
295	3,6	0,36	0,53	0,73	0,97	0,26	0,39	0,53	0,70
365	6,6	0,64	0,95	1,33	1,73	0,45	0,68	0,95	1,24
445	11,6	0,96	1,46	2,10	2,72	0,68	1,02	1,45	1,89
540	16,1	-	2,32	3,50	4,53	-	-	2,49	3,43

L : Makaralar arası mesafe

L_m : Kalıptan uzaklık

V_d : Döküm hızı

Hesaplamalar sonucu bulduğumuz (tablo 3.8) Y_{max} değêrllerimiz ile yakın şartlar için araştırmacıların bulduğu Y_{max} değêrllerinin birbirine yakın olduğunu görürüz. Böylece bulduğumuz ara mesafelere bağlı makara çaplarının da doğruluğunu saptamış oluruz.

4. SONUÇ

Slab üreten bir sürekli döküm tesisinin projelendirilmesinde öncelikle verilen kesitlere uygun kapasite belirlenmiştir. Bu kapasiteye bağlı olarak tesisin bazı özellikleri sabit kabul edilmiş, temel yapı elemanlarının boyutlarının saptanmasına çalışılmıştır.

İlk olarak tesis elemanlarının dizayna yönelik ne gibi özellikler taşıması gerektiği araştırılıp. Buradan sürekli slab dökümü için şu sonuçlara varılmıştır.

- Pota ve ara potanın (tandiş) alttan akışlı olması ve akışın sürgülü plaka sistemi ile ayarlanmasının ,
- Kalıbın eğrisel yerine düz plaka kalıp olmasının
- Destekleme elemanı olarak düz plakalar yerine makaraların kullanılmasının,
- Soğutma işleminde sadece su yerine su-hava karışımının püskürtülmesinin, daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

İkinci bölümde 1500x200 kesitinde slab dökümü için pota, arapota ve kalıp boyutları belirlendikten sonra sürekli dökümün en kritik bölgelerinden olan soğutma sistemi ve makara sistemi oluşturulmaya çalışılmıştır.

Dökümde kopma ve çatlak oluşumu hatalarının önlenmesi, parça boyut ve yapısal özelliklerinin iyileştirilmesi için soğutmanın belirli hız ve süreklilikte olması gerekir. Bu amaçla Fe-C denge diyagramı faz dönüşüm sıcaklıkları dikkate alınarak teorik ve sıcak-soğuk çalışma şartları için yüzey sıcaklık eğrileri oluşturuldu. Bu eğriler kullanılıp soğutma suyu ihtiyacı hesaplanarak soğutma diyagramları oluşturuldu. Bu hesaplamalardan ;

- Katılaştıran kabuk kalınlığının artışıyla ters orantılı olarak soğutma suyu ihtiyacının azaldığı

- Kalıp çıkışından - eğme bölgesi sonuna kadar olan bölgede hızlı olması gerektiği,
- Eğme bölgesinde sıcaklığın yüksek olması ve kabuk kalınlığının ince olması nedeniyle makara dizaynında özen gösterilmesi gerektiği,

sonuçlarına varılmıştır.

Ayrıca buradaki hesaplama sonuçları değerlendirilerek soğutmanın etkinliğine göre kalıptan uzaklaştıkça sıcaklığın nasıl düştüğü ve soğutma suyu debisinin bu sıcaklığa bağlı değişimi , şekil 3.5-3.10 arındaki grafiklerle gösterilmiştir.

Sürekli döküm tesisinin diğer önemli bir bölümü destekleme elemanlarıdır. Destekleme elemanı olarak kullanılan makaraların çaplarının hesaplanmasında ilk önce döküm yolu boyutları kabul edildi. Döküm hızının sabit olduğu ve kalıp çıkışında slabın belirli bir kabuk kalınlığında olduğu kabul edilerek, katılan kabuğun ferrostatik basınç ve çekme kuvvetine bağlı makaralar arası sehimine dayanan bir hesaplama yöntemiyle makaralar arası emniyetli mesafeler belirlenerek bu mesafelere uygun makara çapları hesaplanmıştır.

Hesaplanan makaralar arası mesafelerin ve makara çaplarının literatürdeki (14,23,24 no'lu kaynaklar) araştırma sonuçları ve Erdemir sürekli döküm makinası ile karşılaştırıldığında gerçekçi değerler olduğu sonucu ortaya çıkar.

Yapılan hesaplamalar ve oluşturulan sistem tesisin sadece bir kısmının oluşturmalarına rağmen eldeki olanaklar dikkate alındığında uygulamadaki verilere iyi bir yaklaşım sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- 1- Avcı U. A. , 1993, Metallerin Sürekli Dökümü, Y.T.Ü. Mak. Fak. Mak. Müh. Böl. Sayı 278 , İstanbul
- 2- Çavuşoğlu E.N. , 1985 , Döküm Teknolojisi 1 , İ.T.Ü. , İstanbul
- 3- Dijk J. , Manneveld D. , Rabenberg J.M. , 1993, In plant assesment of steel cleanles in continuously cast slabs and hot rolled coils, Ironmaking and Steelmaking , V: 19/B August ,595
- 4- El-Bealy M. , Lekinen N. , Fredrikson H. , 1995, Similation of cooling conditions in secondary cooling zones in continuous casting process , Ironmaking and Steelmaking , V:22 , N: 3 , 246
- 5- Erdemir A.Ş. Eğitim yayınları , 1994, Sürekli Döküm , Ereğli
- 6- Ford R. , Suryanarayana N.V. , Jhnson J.H. , 1980, Heat taransfer model for solid slab/water- cooled skid pipe in rehear furnace , Ironmaking and Steelmaking, N:3
- 7- Funk G. , Böhmer R.J. , Fett N.F., 1993 , Coupled thermal and stres-strain models for the continuous casting of steels , Steel Research , V:64 ,N:5 ,246
- 8- Grothe H. , Streubel H. , Schmitz W. , Zajber A. , 1995, Conseptis of high production continuous casting plants for slabs,
- 9- Gupta D. , Lahiri A.K., 1992, Water modelling study of jet characteristics in con. casting mould , Steel Research , V:63 , N:5 , 201

- 10- Heidt V. , Jeschar R. , 1993, Infulnuence of running water on the heat transfer in con. casting, Steel Research, V:64, N:3, 157
- 11- Keqiang Z. , Langer E.W. , 1992, Influence of secondary cooling on liquid pool depth and surface temprature of strand in continuous casting of steel, Scandinavian Journal of Metallurgy , V:21, 260-265
- 12- Klütsc D. , Hoestemberg & Klütsc , Discharging devices for con. cast. plants , Metallurgical Plant and Tech. , V:3/81, 47-62
- 13- Louhenkilpi S. , Loutinen E. , Nieminen R., Real time simulation of heat transfer in continuous casting , Metallurgical Transaction B , V. 24B , August, 685
- 14- Palmer A., Etienne A., Mignon J. , Calculation of the mechanical and thermal stresses in con. cast strand , 1979 , Stahl u. Eisen , V.99 , N:19
- 15- Pühringer O.H. , Linz D. , 1976 , Strand mechanics for con. slab casting plants Stahl u. Eisen , V:96 , N: 6 , 279
- 16- Schreve F.H. , Continuous casting of steel, (Fundemental principles and practisi), Stahl u. Eisen , Translated Cambridge
- 17- Sigh S. , Koria S.C. , 1993 , Physical modelling of steel flow in tandish, Ironmaking and Steelmaking , V:20 , N:3 , 221
- 18- Sttomer H.B. , 1987 , Planning and commissioning of a large continious slab caster , Iscor Ltd.
- 19- Radex Refrakter Seminer Notları, 1989 , İzmir

- 20- Sürekli Döküm Teknolojisi yüksek lisans ders notları, 1995, Y.T.Ü. , İstanbul
- 21- The Iron and Steel Institute, 1985, Continuous Casting of Steel , London
- 22- The Metal Society Yayınları , Continuous Casting of Steel, London
- 23- Concast firma kataloğu , Continuous Casting of Slab
- 24- Voest-Alpine firma kataloğu , Slab Caster
- 25- Mannesmann Demag firmasının kataloğu , Continuous Slab Casting Plants
- 26- SMS firma kataloğu , Continuous Casting Technology
- 27- Continua firma kataloğu , Continuous Casting Machines Machinery and Equipment for the Steel Industry

ÖZGEÇMİŞ

1971 İstanbul doğumluyum,

1988 'de Kabataş Erkek Lisesi 'nden

1993 'te Yıldız Teknik Üniversite 'si Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldum.

1994 'te Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans İngilizce hazırlık sınıfını bitirdim.

1995 'te Lisans üstü derslerimi alırken aynı zamanda bir firmada Atölye Üretim ve Kalite Mühendisi olarak çalıştım.

1996 'da başladığım Y.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü , Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Ana Bilim Dalı'ndaki Araştırma Görevliliği görevimi sürdürmekteyim.

Y. T. Ü. Makina Mühendisliği Bölümü
Araştırma Görevlisi