

**TEL ÇEKME MATRİSLERİ  
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Murat ÜNSEREN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA – 2006**

**T.C**  
**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEL ÇEKME MATRİSLERİ**  
**ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**Murat ÜNSEREN**

**Danışman: Prof. Dr. Cahit KURBANOĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**ISPARTA – 2006**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Remzi VAROL

SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Üye : Prof. Dr. Cahit KURBANOĞLU (Danışman)

SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Üye : Doç. Dr. Abdullah ÖZSOY

SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü

## ONAY

Bu tez 30/11/2006 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

.../.../20..

**Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE**  
**Enstitü Müdürü**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Tel Endüstrisinin Tarihi.....	1
1.2. Tanım ve İşlemin Esasları.....	2
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	5
2.1. Kaynak Özetleri.....	5
3. MATERYAL ve METOD.....	8
3.1. Materyal .....	8
3.1.1. Çelik Yapısında Bulunan Elementlerin Çekmeye Etkileri .....	8
3.1.2. Çelik Tel Çekmede Uygun Bileşim .....	10
3.1.3. Yüzey Hazırlama .....	11
3.1.3.1. Kimyasal Yüzey Temizleme .....	11
3.1.3.2. Mekanik Yüzey Temizleme .....	12
3.1.4. Çekme Matrisleri .....	13
3.1.4.1. Matris Malzemeleri ve İmal Yöntemleri .....	13
3.1.4.2. Matris Profilinin Kısımları ve Görevleri .....	16
3.1.5. Çekme Sırasında Kullanılan Yağlayıcılar .....	21
3.1.5.1. Tel Çekmede Yağlayıcıların Görevleri .....	23
3.1.5.2. Sabunların Özellikleri .....	26
3.1.5.3. Sabun Seçimi .....	28
3.1.5.4. Kuru Çekme Yağlayıcıları .....	29
3.1.5.5. Yaş Tel Çekme Yağlayıcıları .....	33
3.1.6. Çekme Sırasında Oluşan Isı ve Sıcaklık .....	34

3.1.7. Tel Çekme Makineleri.....	36
3.1.8. Tel Çekme İşlemine Etki Eden Teknolojik Faktörler.....	39
3.1.9 Akış Tipleri.....	39
3.1.10. Akma Dayanımı .....	41
3.1.11. Çekme Dayanımı .....	42
3.1.12. Yüzde Kopma Uzaması .....	43
3.1.13. Yüzde Kesit Daralması .....	43
3.2. Metot .....	44
3.2.1. İş Akış Şeması .....	45
3.2.2. Çekme Numuneleri .....	49
3.2.3. Sertlik .....	51
3.2.4. Soğuk Deformasyon Oranı .....	52
3.2.5. İç Yapı .....	53
4. BULGULAR.....	54
4.1. Kangal Demir Cinsi Farklı, Hız Sabit ve Çubuk Çapı Aynı Durumu .....	54
4.2. Kangal Demir Cinsi ve Hız Aynı, Çubuk Çapı Farklı Durumu .....	56
4.3. Hız ve Çubuk Çapı Aynı, Kangal Demir Çapı Farklı Durumu .....	59
4.4. Kangal Demir ve Çubuk Çapı Aynı, Hız Farklı Durumu .....	61
4.5. Kangal Demir Çapı Aynı, Hız ve Çubuk Çapı Farklı Durumu .....	64
4.6. Soğuk Deformasyon Oranına Bağlı Olarak Akma Dayanımı, Sertlik ve % Kesit Daralması Değerlerinin Değişimleri .....	67
4.7. Numunelerin İç Yapıları .....	70
4.8. Nervürlü Çubuk Çekim Çizelgesi .....	73
5. SONUÇLAR .....	75
6. KAYNAKLAR .....	77
EK-1 Kangal demir cinsi farklı, hız sabit ve çubuk çapı aynı durumu .....	80
EK-2 Kangal demir cinsi ve hız aynı, çubuk çapı farklı durumu .....	86
EK-3 Hız ve çubuk çapı aynı, kangal demir çapı farklı durumu .....	92
EK-4 Kangal demir ve çubuk çapı aynı, hız farklı durumu .....	98
EK-5 Kangal demir çapı aynı, hız ve çubuk çapı farklı durumu .....	104
ÖZGEÇMİŞ .....	110

**ÖZET****TEL ÇEKME MATRİSLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA****MURAT ÜNSEREN**

İmalat sanayisinde kullanılan malzemelerin tamamına yakınında plastik şekil verme yöntemlerinden biri kullanılmaktadır. Tel çekme işlemi de plastik şekil verme yöntemleri arasında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, tel çekme işleminde kullanılan yarı mamul, matris, makine ve yağlar hakkında bilgi verilerek, tel çekmeyle üretilen çubukların mekanik özelliklerini tespit etmek amaçlanmaktadır. Farklı çaplardaki numunelerin; kimyasal kompozisyon, redüksiyon oranı ve hız değişkenlerine bağlı olarak; akma dayanımı, çekme dayanımı, % kopma uzaması ve % kesit daralması gibi mekanik özelliklerdeki değişimi incelemek amacıyla 5 farklı çekme deneyi yapılmıştır. Her deneyde, kıyaslama yapabilmek amacıyla, değişkenin iki farklı durumu için 3 farklı numune kullanılmıştır. Elde edilen bulgular tablo ve grafiklerle gösterilmiştir. Ayrıca numunelerin sertlik deneyi ile sertlikleri belirlenmiştir. Numunelerin soğuk deformasyon oranına bağlı olarak; akma dayanımı, sertlik ve % kesit daralması değerlerinin değişimi grafiklerle gösterilmiştir. SAE 1010 numunelerin; tel çekme öncesi, %30 ve %48 oranlarında tel çekilmiş ve enine kesitinin iç yapı fotoğrafları alınmıştır. Tüm bulgular değerlendirilerek, uygulamada kullanılan nervürlü çelik çubuklar için tel çekme çizelgesi optimize edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tel çekme, tel, matris

**ABSTRACT****AN INVESTIGATION ON WIRE DRAWING DIES****MURAT ÜNSEREN**

Nowadays, almost one of the plastic deformation process is using at manufacturing. Wire drawing has an important role in plastic deformation process. In this thesis, an investigation has been carried out to determine the mechanical properties of wire rods manufactured by wire drawing and also wire drawing process elements; sub-material, die, machine and lubricants are investigated. Five different tensile tests made to determine the effect of variations; chemical composition, reduction ratio and speed on mechanical properties like yield and tensile strength, elongation and surface reduction with different diameter of specimens. Two different case are used to compare with them and each case is repeated with three specimens. The results are illustrated on tables and figures. Also, hardness test is made for measurement hardness. Figures and tables are used to determine the effect of plastic deformation ratio on tensile strength, hardness and reduction ratio. Interior structure of SAE 1010 specimens are taken the pictures at the conditions; before wire drawing 30% and 48% cold deformation ratio and by the width. All results are used to optimize the ribbed steel wire drawing table.

**Key Words:** Wire drawing, wire, die.

## TEŞEKKÜR

Hazırlamış olduğum yüksek lisans tezi konusunu öneren, çalışmam süresince ilgisini, bilgi ve birikimlerini esirgemeyen, çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Cahit KURBANOĞLU' na ve tez çalışmam boyunca vermiş oldukları bilgi ve ilgilerinden dolayı Arş. Gör. Kenan TÜFEKÇİ' ye saygı ve şükranlarımı sunarım.

Deneyler boyunca her türlü imkanları sağlayan Ayes A.Ş. yetkililerine ve çalışanlarına, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, tezimi hazırlamakta yardımcı olan arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.



**SİMGELER DİZİNİ**

S	: Kesit, mm <sup>2</sup>
v	: Tel çekme hızı, m/s
R <sub>P 0,2</sub>	: Akma dayanımı, MPa
R <sub>m</sub>	: Çekme dayanımı, MPa
A <sub>5</sub>	: % kopma uzaması
K	: Malzeme sabiti
n	: Pekleşme üsteli
σ	: Gerilme
Z	: % kesit daralması
HR <sub>B</sub>	: Rockwell B sertlik değeri
ε <sub>p</sub>	: Soğuk deformasyon oranı

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

	Sayfa
Şekil 1.1. Şematik tel çekme.....	3
Şekil 1.2. Telin matristen geçişi.....	3
Şekil 1.3. Tipik tel çekme makineleri.....	4
Şekil 3.1. Makaralarla mekanik yüzey hazırlama.....	13
Şekil 3.2. Çekme matrisleri.....	15
Şekil 3.3. Matris dizaynı.....	16
Şekil 3.4. Doğru temas noktası.....	18
Şekil 3.5. Hatalı temas noktası.....	18
Şekil 3.6. Hatalı temas noktası.....	19
Şekil 3.7. Tel çekme kuvveti ve matris açısı değerleri.....	20
Şekil 3.8. Piyasada kullanılan matris çekirdeği açıları ve boyları.....	21
Şekil 3.9. Telin haddeden geçişi esnasında iki yüzey arasındaki ilişki.....	23
Şekil 3.10. Matristeki hasarın üç boyutlu topografik şekli.....	24
Şekil 3.11. Sıcaklık dağılımı.....	35
Şekil 3.12. 7 m/s' de matriste sıcaklık dağılımı.....	35
Şekil 3.13. Su ile hadde soğutma.....	36
Şekil 3.14. Sarma çeşitlerine göre çekme makineleri.....	38
Şekil 3.15. Akış tipleri.....	40
Şekil 3.16. Tel çekme işlemi iş akış şeması.....	45
Şekil 3.17. Kangal sehpası.....	46
Şekil 3.18. Tufal dökücü.....	46
Şekil 3.19. Toz kutusu.....	47
Şekil 3.20. Nervür.....	47
Şekil 3.21. Çekme.....	48
Şekil 3.22. Sarma.....	48
Şekil 3.23. Numunenin ilk ve son uzunluğu.....	49
Şekil 3.24. Ünlversal çekme cihazı.....	50
Şekil 4.1. SAE 1010 – SAE 1008 kalite çubuklar için ortalama akma dayanımı grafiği.....	55

Şekil 4.2. SAE 1010 – SAE 1008 kalite çubuklar için ortalama çekme dayanımı grafiği.....	55
Şekil 4.3. SAE 1010 – SAE 1008 kalite çubuklar için ortalama % uzama grafiği.....	56
Şekil 4.4. Çekme deneyinde kullanılan SAE 1008 numune.....	56
Şekil 4.5. Çekme deneyinde kullanılan SAE 1010 numune.....	56
Şekil 4.6. Ø6-Ø5 mm ve Ø6-Ø4.5 mm çubuklar için ortalama akma dayanımı grafiği.....	58
Şekil 4.7. Ø6-Ø5 mm ve Ø6-Ø4.5 mm çubuklar için ortalama çekme dayanımı grafiği.....	58
Şekil 4.8. Ø6-Ø5 mm ve Ø6-Ø4.5 mm çubuklar için ortalama % uzama grafiği.....	58
Şekil 4.9. Çekme deneyinde kullanılan Ø6-Ø5 mm numune.....	59
Şekil 4.10. Çekme deneyinde kullanılan Ø6-Ø4.5 mm numune.....	59
Şekil 4.11. Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm çubuklar için ortalama akma dayanımı grafiği.....	60
Şekil 4.12. Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm çubuklar için ortalama çekme dayanımı grafiği.....	60
Şekil 4.13. Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm çubuklar için ortalama % uzama grafiği.....	61
Şekil 4.14. Çekme deneyinde kullanılan Ø8-Ø6 mm numune.....	61
Şekil 4.15. Çekme deneyinde kullanılan Ø8-Ø6 mm numune.....	61
Şekil 4.16. v:3.6 m/s ve v:2.4 m/s hızla çekilen çubuklar için ortalama akma dayanımı grafiği.....	62
Şekil 4.17. v:3.6 m/s ve v:2.4 m/s hızla çekilen çubuklar için ortalama çekme dayanımı grafiği.....	63
Şekil 4.18. v:3.6 m/s ve v:2.4 m/s hızla çekilen çubuklar için ortalama % uzama grafiği.....	63
Şekil 4.19. Çekme deneyinde kullanılan v=2.4 m/s hızla çekilen numune.....	64
Şekil 4.20. Çekme deneyinde kullanılan v=3.6 m/s hızla çekilen numune.....	64
Şekil 4.21. Ø7-Ø6 mm v:5 m/s, Ø7-Ø6 mm v: 2.4 m/s ve Ø7-Ø5.5mm v:2,4 m/s için ortalama akma dayanımı grafiği.....	65

Şekil 4.22. Ø7-Ø6 mm v:5 m/s, Ø7-Ø6 mm v: 2.4 m/s ve Ø7-Ø5.5mm v:2.4 m/s için ortalama çekme dayanımı grafiği.....	66
Şekil 4.23. Ø7-Ø6 mm v:5 m/s, Ø7-Ø6 mm v: 2.4 m/s ve Ø7-Ø5.5mm v:2.4 m/s için ortalama % uzama grafiği.....	66
Şekil 4.24. Çekme deneyinde kullanılan Ø7-Ø6 mm v=5 m/s hızla çekilen numune.....	67
Şekil 4.25. Çekme deneyinde kullanılan Ø7-Ø5,5mm v=2.4 m/s hızla çekilen numune.....	67
Şekil 4.26. Soğuk deformasyon oranına bağlı olarak numunelerin akma dayanımı değerlerinin değişimi grafiği.....	68
Şekil 4.27. Soğuk deformasyon oranına bağlı olarak numunelerin % kesit daralması değerlerinin değişim grafiği.....	69
Şekil 4.28. Soğuk deformasyon oranına bağlı olarak numunelerin sertlik değerlerinin değişim grafiği.....	70
Şekil 4.29. SAE 1010 numunenin tel çekme öncesi iç yapısı.....	71
Şekil 4.30. SAE 1010 numunenin % 30 oranında soğuk deforme edilmiş haldeki iç yapısı.....	72
Şekil 4.31. SAE 1010 numunenin % 48 oranında soğuk deforme edilmiş haldeki iç yapısı.....	72
Şekil 4.32. SAE 1010 numunenin enine kesitinin iç yapısı.....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. St 37 malzemenin kimyasal bileşimi.....	10
Çizelge 3.2. SAE 1010 malzemenin kimyasal bileşimi.....	11
Çizelge 3.3. Malzemenin banyoda kalma süresi ve ısı derecesi.....	12
Çizelge 3.4. Farklı koşullar için sabun seçimi.....	30
Çizelge 3.5. Üniversal çekme cihazının teknik özellikleri .....	51
Çizelge 4.1. Kangal demir kalitesi farklı, hız ve çubuk çapı aynı durumu için sonuçlar .....	54
Çizelge 4.2. SAE 1010 ve SAE 1008 kalite çubuklar için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları .....	55
Çizelge 4.3. Kangal demir kalitesi ve hız aynı, çubuk çapı farklı durumu için sonuçlar .....	57
Çizelge 4.4. Ø6-Ø5 mm ve Ø6-Ø4.5 mm çubuklar için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları .....	57
Çizelge 4.5. Hız ve çubuk çapı aynı, kangal demir çapı farklı durumu için sonuçlar .....	59
Çizelge 4.6. Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları .....	60
Çizelge 4.7. Kangal demir ve çubuk çapının aynı, hız farklı durumu için sonuçlar .....	62
Çizelge 4.8. v:3.6 m/s ve v:2.4 m/s durumu için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları .....	62
Çizelge 4.9. Kangal demir çapının aynı, hız ve çubuk çapının farklı olması durumu için sonuçlar .....	65
Çizelge 4.10. Ø7-Ø6 mm v:5 m/s, Ø7-Ø6 mm v: 2.4 m/s ve Ø7-Ø5.5 mm v:2.4 m/s durumları için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları .....	65
Çizelge 4.11. Numunelerin ortalama akma dayanımı, % kesit daralması, sertlik ve soğuk deformasyon oranı değerleri .....	68
Çizelge 4.12. Nervürlü çelik çubuklar için optimum tel çekme değerleri.....	74

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Tel Endüstrisinin Tarihi

Tel, günümüzde hemen her yerde kullanılan, genellikle dairesel kesitli bir mamuldür. Telin en çok kullanıldığı, iletken ve direnç telleri, müzik aletleri ve ambalaj sanayi telleri v.b. gibi alanlar dışında, yay, perçin, çivi, elektrot, zincir, iğne, halat v.b. imalatda da yarı mamul olarak değerlendirildiği görülmektedir. Tel olmadan, çağımızın kabul edilen birçok başarıları tamamen imkansız olacaktır.

Telin, M.Ö. 3000 yıllarından itibaren kullanılmaya başlandığı tahmin edilmektedir. O yıllarda telin, yumuşak metallerin önceden dövülüp, sonra da çekme matrisinden çekilerek yapıldığı düşünülmektedir.

12. y.y.'dan itibaren çekme matrislerinden bahsedilmeye başlandığı görülmektedir. O zamanlarda tel dövenlerle, tel çeken kişiler arasında belirgin bir fark vardır. Bir tel dövücü, çekiç ve örs kullanmak suretiyle tele basit olarak şekil vermekte; buna karşılık tel çeken kişiler çekme matrisi kullanmaktaydılar (Balın, 2004).

1350' li yıllarda endüstriye ilk makineleşmiş (su kuvvetiyle çalışan) tel çekme donatımını getiren, Nuremberg'li Rudolph olmuştur. Aynı yıllarda İngiltere'de Londra, York, Coventry ve Bristol'de bir grup sanatkar, önemli bir ulusal endüstri haline gelmiş olan bu endüstriyi meydana çıkarmışlardır. Yünlü mamuller endüstrisinin gelişmesi, yün tarakları yapmak amacıyla tel imalatını teşvik etmiş ve bu sanat erbabı, Yorkshire gibi yünlü mamullerin çok olduğu bölgelerde kendi kendilerini teşvik etmiştir ki, bu gün bile bu bölgeler İngiltere'de, çok miktarda tel çekme atölyelerinin bir araya toplandıkları yerdir (Balın, 2004; Özer, 1993).

1862'de George Bedson ilk defa sürekli haddelerle çubuk çekilmesini sağlamıştır. Bu muhtemelen tel tarihindeki en önemli gelişmelerden biridir ve artık 45 kg ağırlığında kangallar elde edilebilmektedir.

Morgan yatay makaraları, düşey hale getirerek kendi sürekli haddesini geliştirmiş ve her iki paso arasında uygun olarak parçayı döndürmek için hareketli yataklar kullanmıştır. Morgan'ın haddesi 1878' de devreye konmuş ve gelecekte Bedson haddesiyle yapılması mümkün olmayan yan yana iki çubuğun haddelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Tel çekme matrislerinin, yüksek hıza ve aşınmaya karşı koyacak şekilde imal edilmeleri kaçınılmazdır. Osram ve Krup şirketleri birbirleriyle yakın ilişki kurarak lamba flamanlarının seri imalatçısı olmuşlardır. Matrisler elmasa benzer bir malzemedan yapıp, ilk defa 1925 yılında Amerika'da işletmeye konulmuştur. 1929'dan beri Amerika'da General Electric, Firth Sterling gibi şirketler halihazırda tungsten karbür matrisler üretmektedir (Özer, 1993).

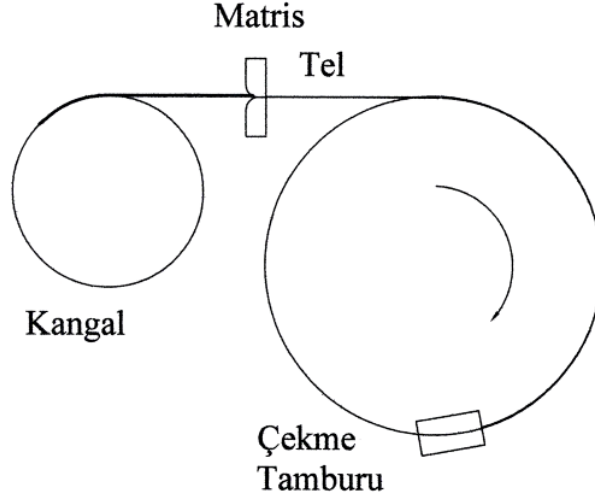
Tel çekme tekniğinde, sürekli ısıl işlemlerin uygulanmasına imkan tanıyan, el ile yapılan işlemleri minimuma indiren gelişmelere son 30 yıl içerisinde ulaşılmıştır. Tel imalat tarihinin ilk günlerinden itibaren telcilerin başlıca gayeleri; endüstride işlemlerin tamamen otomatize olması, daha uzun ve ağır tel kangalların kullanılması, geliştirilmiş kaynak teknikleri, daha iyi matrisler ve yüksek metalürjik kalite olarak bilinmektedir (McNulty, 2006).

## **1.2. Tanım ve İşlemin Esasları**

Plastik şekil verme usullerinden olan haddeleme ile çapı 5-4 mm' ye kadar olan telleri imal etmek mümkündür. Ama bundan daha küçük çaptaki teller haddeleme ile istenilen hassasiyetle imal edilemezler. Çünkü tellerin kesiti azaldığında soğuma hızlı olur ve bunun yanında sıcaklıktan dolayı tel yüzeylerinde arzu edilmeyen kav tabakaları oluşur. Ayrıca sıcak şekillendirmeyle malzemenin mukavemeti büyük ölçüde düşeceğinden ince kesitli tel kolayca kopacaktır.

Tüm bu nedenlerden dolayı hassas ölçü, iyi yüzey belirli bir mukavemet özelliklerine ancak soğuk şekillendirme olan tel çekme ile ulaşabiliriz (Balin, 2004).

Tel çekme işlemi sıcak haddelenmiş filmaşın tellerden (11.5 – 5.5 mm) başlamaktadır. Filmaşın tel önce matrise zarar vermemesi ve yüzey pürüzlükleri olmaması için ya asitle yıkanarak veya mekanik yolla soyulup cürufu dökülerek temizlenmektedir. Kuru çekmede yağlayıcı olarak gres veya sabun tozu, ıslak çekmede ise yağlayıcı sıvı kullanılır. Tel çekme işlemi Şekil 1.1’de gösterilmiştir (Çiğdem, 1996).



Şekil 1.1 – Şematik tel çekme (Çiğdem, 1996)

Şekil 1.2’ de telin istenilen çapa getirilinceye kadar, sürekli olarak ardışık matrislerden geçirilmesi görülmektedir. Her bir matrisin ve ardışık matrislerin çapları materyalin giriş çapından küçüktür ve telin kesiti her bir matristen geçtikçe küçülmektedir. Teorik olarak, tel çekme işlemi, hiçbir materyalin atılmasının istenmediği atıksız bir işlemdir. Bu nedenle, telin hacmi çekilse bile aslında aynı kalırken, telin boyu uzamakta veya sünmektedir. Pratikte, çekilmiş materyale ve yağlama koşullarına bağlı olarak mekanik özelliklerde farklılıklara rastlanmaktadır. Metale uygulanan redüksiyona bağlı olarak, ara tavlamalara ihtiyaç duyulmaktadır.

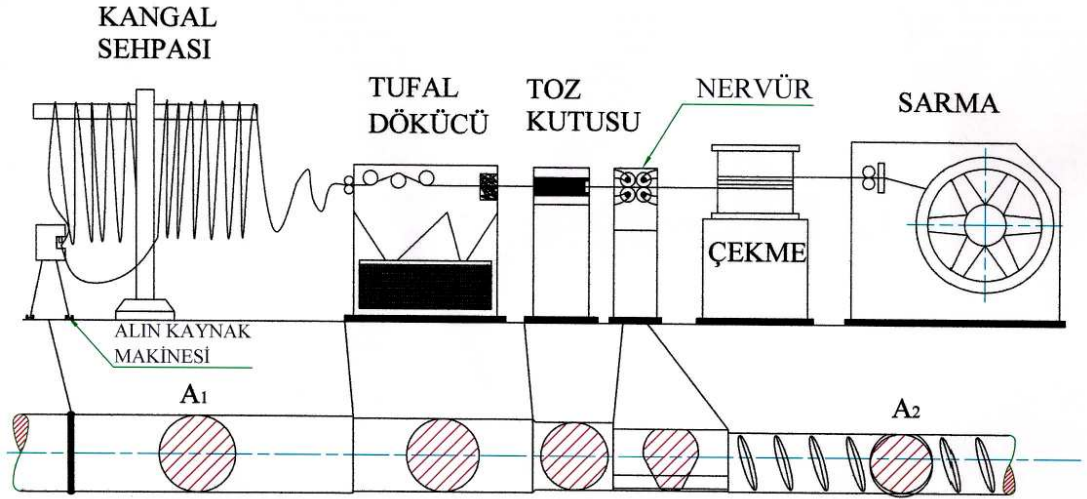


Şekil 1.2. Telin matristen geçişi (Element Six, 2006)



Tel çekme işlemi metal şekillendirilirken ısı uygulanmadığı için soğuk şekillendirme olarak adlandırılmaktadır. Ancak, tel daha küçük çaplara çekilirken soğuk şekillendirmeye bağlı olarak kangal demirinin özellikleri değişirken sıcaklık da artmaktadır.

Tel çekme işlemi için, çekme makinesi, tel, yağlayıcı ve matris gereklidir. Kullanılan yağlayıcının tipine göre; su veya sıvı yağ kullanılırsa ıslak, kuru tip yağlayıcılar kullanılırsa kuru tel çekme olarak adlandırılır. Şekil 1.3' de kuru tip tel çekme işleminin makineleri gösterilmektedir (McNulty, 2006).



**Kangal demir = Ø 8 mm**  
 % alan daralması = % 23, 4  
 Akma dayanımı = 300 MPa  
 Çekme dayanımı = 450 MPa  
 Kopma uzaması = % 33

**Çubuk = Ø 7 mm**  
 % alan daralması = % 7  
 Akma dayanımı = 570 MPa  
 Çekme dayanımı = 620 MPa  
 Kopma uzaması = % 7

Şekil 1.3. Tipik tel çekme makineleri (Baustahlgewebe)

## 2. KAYNAK BİLGİSİ

### 2.1. Kaynak Özetleri

Plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan tel çekme, günümüzde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Yöntem ve biçimlendirilen malzemelerin çeşidi hızla artmaktadır. Artan uygulama alanları ile birlikte, karşılaşılan problemlerde de artış olmuştur. Tel çekme işleminde diğer imalat yöntemlerinde olduğu gibi, yüksek kalite ve verimli bir çalışma hedeflenmektedir. İşlem sürecinin meydana gelebilecek hatalar nedeni ile duraksaması, işletme üretimi için önemli bir tehlike oluşturabilir. Bu nedenle, son 50 yılda yapılan araştırmalar matrisler ve işlemin optimizasyonu üzerine yoğunlaşmıştır.

Balin (2004), yaptığı çalışmada, imalat sanayinde kullanılan malzemelere bakıldığında, neredeyse tamamında plastik şekil verme yöntemlerinden birinin uygulandığını ifade etmiştir. Tel çekme işleminin de plastik şekil verme yöntemleri arasında önemli bir yer aldığını belirtmiştir. Çalışmasında seçilen karakteristiklerin tel çekmeye olan etkilerini incelemiştir. Bu etkileri analiz teknikleri ve mekanik faktörler olmak üzere iki ana başlıkta toplamıştır.

Brard (1991), çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum tel çekme işleminde kullanılan kuru ve sıvı yağlayıcıları ele almıştır. Deneysel olarak farklı amaçlar için kullanılması gereken sabunlar belirtilerek, özellikle yüzey temizleme işlemleri, kalsiyum ve sodyum sabunların üzerinde durulmuştur.

Gzesh (1999), makalesinde yirminci yüzyılın başından günümüze kadar kullanılan yağlayıcılardan ve yağlayıcıların değişiminden bahsetmiştir. Matrisi korumak ve istenilen yüzey şartlarını elde etmek için yağlayıcı seçiminin önemine değinerek, yağlama mekanizmasının anlaşılabilmesi için yağlayıcının üretim safhaları ve yağ katkı maddeleri üzerinde durulmuştur. EP katkı maddeleri ve etkileri ile sabun tozu boyutu ve erime noktasının etkileri hakkında uygulamaya yönelik bilgi verilmiştir.

Kemahlı (1994) plastik şekillendirmede kullanılan yağlayıcı maddeler ve bunların karakteristik özelliklerini araştırmıştır. Sürtünme ve aşınmadan kaynaklanan kayıpların, endüstri ülkelerinde gayri safi milli hasılanın %2' sine denk düştüğünü belirtmiştir. Aşınmayı azaltmak için tel çekme işleminde kullanılabilir yağlayıcılara değinmiştir.

Koner (1992), tungsten karbür matrislerin üretim safhaları, sinterleme işlemi ve safhaları hakkında bilgi vererek, matrisin sahip olması gereken özellikleri üzerinde durmuştur. Matris geometrisi, giriş, redüksiyon alanı, yataklama ve çıkış olmak üzere dört ana başlıkta incelemiştir. Ayrıca, giriş ve çıkış çaplarına bağlı olarak redüksiyon oranı ve elde edilen redüksiyon oranına bağlı olarak çekilecek malzemeye uygun ortalama açı değerleri tablolar ve grafikler yardımıyla incelenmiştir.

McNulty (2006) makalesinde; tel çekme işlemi, kullanılan matris ve yağlayıcılar hakkında bilgi vererek, tel çekme işleminde dikkat edilmesi gereken hususları şekillerle göstermiştir. Tel çekme hızının artırılması, makine kapasitelerinin artırılması, pratik matris değişiminin ve elektronik kontrollü değişken makine tiplerinin işlem verimliliğini artıracığını belirtmiştir.

Nitanov vd. (1988), plastik metal akışı esnasında matrisle deformasyon bölgesi arasında ki normal gerilmelerin dağılımını formüle etmişlerdir. Çekme esnasında deformasyon bölgesindeki basınç dağılımının düzgün olmaması nedeniyle farklı akış oranlarının meydana geleceğini belirterek, tungsten karbür matrislerin kullanımının uygun olacağını belirtmişlerdir.

Özer (1993) tel çekmeye etki eden faktörleri teknolojik ve mekanik olarak iki grupta incelemiştir. Teknolojik faktörler kısmında tel çekmede analiz tekniklerini, optimal matris açılarını ve sürtünmeyi; mekanik faktörler kısmında da tel çekme işlemi ve kullanılan yardımcı malzemeleri incelemiştir.

Pilarczyk (2006) makalesinde, geleneksel yöntem dinamik ve makara matris kullanarak çekilen tellerin iç yapısını incelemiştir. Redüksiyon miktarı arttıkça,

hidrodinamik ve geleneksel metotla çekilmiş telin iç yapısı, makara matrisle çekilene göre keskin olduğunu, homojen olmadığını üç boyutlu topografi çekerek göstermiştir. Ancak, yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olmadığı alanlarda, geleneksel metotla çekilen tellerin akma ve çekme dayanım değerleri diğer metotlara oranla daha yüksek çıktığından bu metodu önermişlerdir. Ayrıca, kullanılması gereken yağlayıcı miktarı ile ilgili tavsiyelerde bulunmuştur.

Sönmez (1983) ekstrüzyon kuvvetinin dolayısıyla biçimlendirme enerjisinin küçültülmesindeki etkileri incelemiştir. Biçimlendirme kuvveti, malzeme biçimlendirme kabiliyeti ve dolayısıyla biçimlendirme direncine bağlı olduğuna göre, malzemenin matristen akışı önemli etkenlerin başında gelmektedir. Bu bakımdan, matris açısının, malzeme akışına etkisini incelemiş ve matris açısı büyüdükçe, malzeme akışının iyileştiği ve ölçülen kuvvetlerin de düştüğünü ifade etmiştir. Redüksiyon oranının ve sürtünme katsayısının da etkileyici rol oynadığını belirterek, redüksiyon oranı yükseldikçe işlem için gerekli kuvvetin yükseldiğini, ancak bu hususun uygulamaya bağlı bir durum olduğunu, sürtünme katsayısının etkisinin yağlama suretiyle büyük çapta azaltılacağını ortaya koymuştur.

Tripp (1998) makalesinde, tel çekme yağlayıcılarının insan sağlığına zararlı bileşenleri hakkında bilgi vererek, tel çekme işlemi ve sonucunda oluşabilecek çözülmüş tuz, bakteriler, makineden oluşabilecek küf, metal oksit ve yağlayıcı tozunun zararlı etkilerine değinmiştir. İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı hakkında dünyada kabul görmüş OSHA, EPA ve NIOSH kriterlerine göre alınması gereken tedbirler maddeler halinde verilmiştir.

Varol (1995) makalesinde, az karbonlu çeliklerde tel çekme işleminin mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Tel çekme işleminde ara tavlama yapılmadığı süreçte deformasyon oranı ile birlikte malzemenin akma dayanımı ve sertlik oranının artacağını, bununla birlikte deformasyon oranı artışı ile birlikte % kesit daralması değerinin düşeceğini deneylerle göstermiştir.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada talaşsız şekil verme işlemlerinden tel çekme işleminde kullanılan matrisler konu edilmiştir. Kullanılan kangal demir, çekilen çubuğun çapı ve çekme hızı değişkenlerine bağlı olarak elde edilen çelik çubuklar çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney neticesinde elde edilen bulguların karşılaştırılması yapılmıştır.

Mekanik malzeme muayene yöntemleri arasında metalik malzemeler için en önemli olanı çekme deneyidir. Çekme deneyi genel olarak metal ve alaşımlarının dayanımlarını belirlemek amacıyla yapılır. Bu yöntemde çoğu kez silindirik bazen de belirli geometrik kesite sahip numuneler, sürekli artan bir çekme zorlanmasına maruz bırakılarak numunenin çekme dayanımı araştırılır.

Çekme deneyinde bir numune, düzgün ve darbesiz olarak kopuncaya kadar uzatılır. Neticenin hatalı çıkması için uzama hızı düşük tutulmalıdır. Çekme kuvveti ve numunedeki uzunluk değişimi ölçülür.

Deney sırasında malzemenin sabit olarak artan ve kesit üzerine eşit olarak dağılmış çekme kuvveti etkisi altındaki davranışı takip edilir. Bu tip, tek bir eksene etkiyen kuvvetlere makine parçalarında çok ender rastlanmaktadır. Dolayısıyla, farklı amaçlar için kullanılacak ve tek eksene etkiyen kuvvetlere maruz kalan parçalar için (örneğin inşaat demirleri) çekme deneyi tek başına yeterli olmaktadır (Weissavach, 1996).

#### 3.1.1 Çelik Yapısında Bulunan Elementlerin Çekmeye Etkileri

Karbon (C); çelik bünyesine giren alaşım elementlerinin en önemlisi ve en çok etki yapanıdır. Karbon oranının artmasıyla çeliğin sertliği, dayanımı, su alma yeteneği artar, buna karşılık sıcakta şekillendirme, uzama, kaynak yapılma, talaşlı işleme yeteneği azalır. Çeliğin rutubete sıcak gazlara karşı korozif dayanımına herhangi bir

etki yapmaz. Genelde C oranı %0.2' den düşük olan çelikler çekme işlemine uygundurlar. C oranı arttıkça çekme işlemi sırasında kopma meydana gelir (Weissavach, 1996).

Manganez (Mn); çeliğin çekme dayanımını, akma sınırını sıcak şekillendirme ve kaynak yapılma yeteneğini yükseltir. %3' e varan Mn ilavesinde, her %1 Mn ilavesi için dayanım artışı  $100 \text{ N/mm}^2$  olur. %3-8 arası Mn ilave edildiğinde, dayanım artışı daha düşüktür. %8' in üzerinde ise dayanım düşmesine neden olur. Daha yüksek orandaki Mn (%12-14) östenitik yapı oluşturur ve yüksek orandaki C ile beraber aşınmaya karşı çok dayanım gösteren çelikler elde edilir. Tel çekmede Mn' nin %0.50' den düşük olması tercih edilir (Yurci, 1999).

Silisyum (Si); çelik yapısında az miktarda da olsa her zaman bulunan, çelik üretiminde deoksidan olarak en çok kullanılan ve birçok çeliklerde alaşım elementi olarak yer alan bir metaloiddir. Alaşım elementi olarak, çelikte sertliği, akma sınırını ve çekme dayanımını yükseltir. Sıcakta tufallaşmayı azaltır, miktatsızlaştırma özelliği gösterir ve %12' nin üzerinde, sıcakta ve soğukta asitlere dayanımı artırır. Bu nedenle, yay çeliklerinde, transformatör sacı yapımında ve asitlere dayanıklı döküm ve çeliklerde alaşım elemanı olarak kullanılır (Özer, 1993).

Kükürt (S); ham maddelerde bulunması dolayısıyla üretim sırasında her zaman çelik yapısına geçen, çeliği gevrek ve kırılgan yapan, genelde zararlı ve giderilmesine çalışılan bir elementtir. Çekme sırasında kopmalara neden olur. Vida teli olarak kullanılacak malzemelerde bulunması çatlamalara neden olur (Balın, 2004).

Fosfor (P); üretim sırasında her zaman çelik yapısına giren ve giderilmesine çalışılan genelde zararlı bir elementtir. Yalnız otomat çeliklerinde, talaşları kırılgan yapması ve pik dökümlerde akışkanlığı arttırması bakımından fosfor oranı normalin üstünde tutulur. Çekmede kükürt gibi istenmeyen bir elementtir (Weissavach, 1996).

Bakır (Cu); çeliklerde çekme dayanımını ve akma sınırını yükseltir. Uzamayı azaltır. Sıcakta şekil vermeyi güçleştirir. En karakteristik özelliği az miktarda bulunsa bile, çeliğin atmosferik etkilere karşı dayanımını yükseltmesidir (Özer, 1993).

### 3.1.2. Çelik Tel Çekmede Uygun Bileşim

Çivi ve tel halat için kullanılan tel malzemesi, bahçe teli ya da bağlama teli için kullanılanlardan daha kaliteli olmalıdır. Pota çeliği ve daha ucuz olarak elektro-ark ocağı çelikleri bu amaç için yeterlidir. Thomas çeliği ise ancak özel bir kalite istenmeyen tel imalinde kullanılabilir. Çelik tel malzemesi olarak çok düşük oranlardan %1,6' ya kadar karbon içeren çelikler uygundur. Sonradan sertleştirilerek kullanılan bazı parçalar (örneğin iğneler, delici ve kesici takımlar) için gerekli karbon miktarı daha yüksektir. Beklenen çekme mukavemetine göre çelik halat tellerinde %0.35-0.90 karbon bulunmalıdır. Dikiş iğnesi için %0.8-0.9 ve ince testere içinde %1.0-1.3 karbon içeren takım çelikleri kullanılır.

Tel çekme işlemi için en çok St 37 kullanılmaktadır. St 37 malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 3.1' de verilmektedir. Bu malzemede C miktarı düşük, S ve P' da çok az miktarda bulunduğundan soğuk şekil verme işlemi olan tel çekmeye uygunluk gösterir (Balın, 2004).

Çizelge 3.1. St 37 malzemenin kimyasal bileşimi (Balın, 2004)

% C	% Mn	% Si	%S	%P
0.20	0.20-0.50	0.10	0.05	0.05

Malzeme için uygun bir çekme kademelendirmesi yapılarak hangi kademedен sonra tavlama yapılacağı tespit edilmelidir. Piyasada genellikle 5.5 mm' den 1.8 mm' e 8 kademedey indirilir. Ayrıca ince çaplara indirmek için (0.7 mm gibi) 3 mm' de bir ara tavlama yapılır.

ST 37 malzemesinin yanı sıra SAE 1010 malzemesi de çekmeye uygunluk göstermektedir. Bu malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 3.2' de verilmektedir.

Çizelge 3.2. SAE 1010 malzemenin kimyasal bileşimi

% C	% Mn	% Si	% S	% P
0.08-0.13	0.30-0.60	0.10	0.05	0.04

Bu malzeme ST 37' ye göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü içerisindeki C oranı daha az, Mn miktarı daha fazladır. Bu da çekmede kolaylık sağlamaktadır (Balin, 2004).

### 3.1.3. Yüzey Hazırlama

Tel çekme atölyesine haddehaneden gelen teller 5.5 – 8 mm çapında ve 1500 – 2000 kg ağırlığında kangallar halindedir. Bu kangalların üzerinde sıcak haddelemeden meydana gelen bir kav tabakası vardır. Bu kav tabakası çekme sırasında yüzeyin bozulmasına, haddelerin aşınmasına neden olur. Bu nedenlerden dolayı bu kav tabakası temizlenmelidir. Kav tabakasının temizlenmesi iki yolla yapılır (Özer, 1993).

#### 3.1.3.1. Kimyasal Yüzey Temizleme

Cüruf giderme, dekapaj adı verilen bir işlemle kimyasal banyolarda yapılır. Kimyasal banyolarda belli oranlarda  $H_2SO_4$  ve HCl' in suyla karışımı bulunur. Filmaşın kangalları; kav tabakasının kalınlığına ve asitlik derecesine göre 30-60 dakika arasında belli bir süre banyoda tutulur. Bu süreyi kısaltmak için banyoyu 50 – 60 °C' ye kadar ısıtmak yeterlidir. Kullanılan asitin cinsine göre karıştırılacak su oranı, malzemenin banyoda kalma süresi ve banyonun ısı derecesi Çizelge 3.3' deki gibi değişmektedir (Balin, 2004).

Hadde cüruf tabakasının malzemenin her tarafında aynı kalınlıkta olmadığı için bazı kısımlarda cüruf erken erir ve asit çeliğe etki ederek dekapaj kırılgenliğini meydana getirebilir. Bu durumu önlemek için banyoya stabilizatör denilen bazı dekapaj katkıları ilave edilir (Balin, 2004).



Çizelge 3.3. Malzemenin banyoda kalma süresi ve ısı derecesi (Balin, 2004)

Asit Cinsi	Karıştırılacak Miktar, %	Malzemenin banyoda kalma süresi, dk.	Banyonun sıcaklık derecesi, ° C
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8 – 20	20 – 40	50 – 90
HCl	8 – 15	20 – 30	15 – 30

Filmaşın kangallar asit banyosuna konurken birbiri üzerine yığılırsa, birbiriyle temasta olan yüzeylerin cürufu temizlenmeyeceğinden, malzemeler tarak şeklindeki mesnetlere yerleştirilip üst üste bindirilmelidir. Bu mesnetler krom-nikel sac veya polyester gibi asitten etkilenmeyecek malzeme ile yapılmalıdır.

Asit banyosundan çıkarılan filmaşınların yüzeyine asit yapışmıştır. Bu asitleri temizlemek için filmaşın kangallar basınçlı soğuk su ile yıkanır. Filmaşın kangallar, yüzeylerinde esmer bir oksit tabakası meydana gelinceye kadar havada tutulurlar.

Yüzeyde kalan son asit artıklarının da nötralize edilmesi ve yüzey paslanmalarına engel olmak için kangallar son olarak sıcak kireç-boraks veya fosfat tuzu banyosuna daldırılırlar. Fosfat banyosu, korozyona karşı koruyucu tabaka oluşturur. Bu banyonun sıcaklığı yaklaşık 80 °C olmalıdır.

Boraks banyosu biraz pahalı olmasına rağmen dayanıklı ve tutucu bir tabaka meydana getirmesi nedeniyle tercih edilmektedir.

Tüm bu işlemlerden sonra filmaşınlar tekrar su ile durulanır ve 100 °C 'ye sahip bir fırında kurutulur. Bu şekildeki bir kurutma ile asit banyosunda çeliğin yüzeyine yayılmış olan hidrojen giderilerek, kırılabilirliğin meydana gelmesi önlenmiş olur.

### 3.1.3.2. Mekanik Yüzey Temizleme

Çevre sağlığının gündemde olduğu günümüzde artık asit banyoları yavaş yavaş tarihe karışmaktadır. Bunların yerini mekanik yollarla yüzey temizleme almaktadır. Mekanik olarak yüzey temizlemenin birkaç değişik yolu bulunmaktadır.

1. Şekil 3.1' deki gibi, sıra makaralar yardımıyla art arda yönü değişerek bükülmeye maruz kalan tellerden cüruf dökülmektedir. Bu yön değiştirme işlemi de birkaç şekilde yapılmaktadır (Ayes A.Ş).



Şekil 3.1. Makaralarla mekanik yüzey hazırlama (Ayes A.Ş)

2. Basınçlı sıvı püskürtme yoluyla, telin üzerindeki oksit tabakası giderilmektedir (Çapan, 1989).

3 . Alternatif akım ile meydana getirilen manyetik alan içindeki indüksiyon akımları, tel üzerinde farklı genleşmelere neden olmakta ve bu yüzden oksit tabakası ufalanarak dökülmektedir. Bu arada tel ısınmadığı gibi elektrik de iletmemektedir (Dove vd., 1980).

### **3.1.4. Çekme Matrisleri**

#### **3.1.4.1. Matris Malzemeleri ve İmal Yöntemleri**

Tel çekme işleminde belli bir mukavemeti ve sertliği olan çelik malzeme matristen geçirilmek suretiyle istenilen çapa düşürülmektedir.

Matris çekirdeğinin fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki gereksinimleri karşılaması istenmektedir.

- Yüksek sertlik dayanımı
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Düşük sürtünme katsayısı

Matris çekirdeklerinin üretiminde kullanılan materyaller aşağıda verilmektedir.

- Sinterlenmiş karbürler
- Doğal elmaslar
- Sentetik elmaslar

Matris malzemesi olarak genellikle tungsten karbür kullanılmaktadır. Ancak, matris yapımında bağlayıcı eleman olarak da belirli bir oranda kobalt kullanılmaktadır. Matris çekirdeği, tungsten karbür ve kobaltı toz halde belirli oranlarda karıştırmak ve daha sonra vakum altında yüksek sıcaklıkta sinterlemek suretiyle imal edilmektedir (Koner, 1992; Özer, 1993).

Sinterlenmiş karbürler, mikro yapılarına bağlı olarak sınıflandırılmakta ve bu faktörler;

- Karbürlerin alaşım elementlerinin bileşimlerine bağlı olarak,
- Tozun yapısına ve tane boyutuna bağlı olarak,
- Alaşım elementlerinin ve karbürlerin oranına bağlı olarak,
- Karbonun miktarına bağlı olarak değişmektedir (Koner, 1992).

Sertliği, yoğunluğu ve basma mukavemeti sertleştirilmiş çeliklerden bile daha yüksek olan tungsten karbür matris yapımı için ideal bir malzemedir ve Şekil 3.2' de tungsten karbür çekme matrisleri verilmektedir. Genleşme katsayısı ise çeliğin yarısı kadardır. Dolayısıyla tel çekme işlemi sırasında varılan yüksek sıcaklıklarda matris

deforme olmamaktadır. Ayrıca, tungsten karbürün cüruf tozu gibi yabancı maddelerin aşındırmasına karşı dayanımı oldukça yüksektir ve muhtelif denemelerde çeliklerin elli katına çıktığı gözlenmiştir. Tungsten karbür yüzeyini çok yüksek bir hassasiyette işlemenin mümkün olması da ayrıca avantajdır. Bu özelliklerden dolayı da matris ömrü uzamakta ve telin çizilme riski azalmaktadır (Koner, 1992).



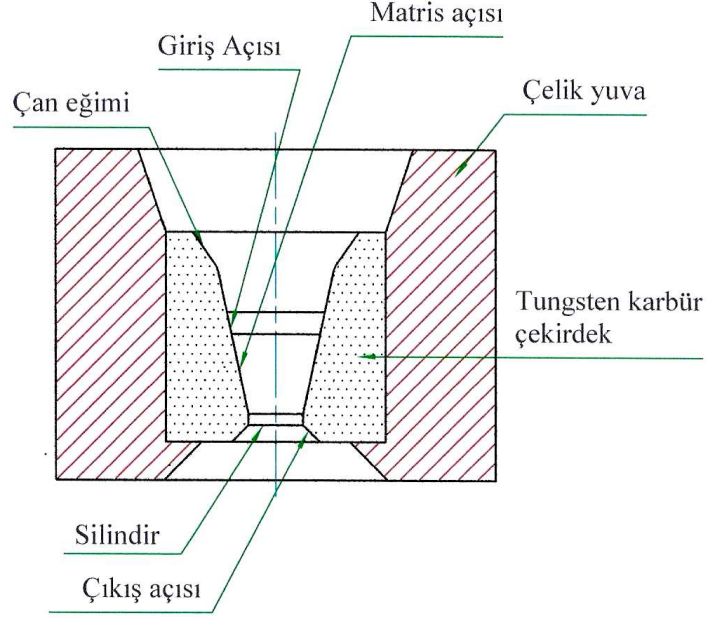
Şekil 3.2. Çekme matrisleri (Agir, 2006)

Matris imalatının ilk aşaması, tungsten karbür ve kobaltı toz halde belirli oranlarda karıştırmaktır. Bu oranları değiştirerek, farklı özelliklerde malzemeler elde etmek mümkündür (Balın, 2004).

Daha sonra bu karışım istenilen şekli alacak biçimde sıkıştırılmakta ve tebeşir kıvamında bir çekirdek elde edilene kadar ısıtılmaktadır. Tungsten karbür bu haldeyken arzu edilen ölçülere tornalanabilir, taşlanabilir veya delinebilir. Son işlem olarak da, çekirdekler vakumla (veya hidrofın atmosferinde) 1350 °C ila 1500 °C' ye kadar sinterlenmektedirler. Sinterleme esnasında çekirdeklerde ölçüsel olarak % 15 – 20 civarında bir çekme olmakta ve çekirdekler oldukça sıkı, sert ve homojen bir malzeme haline gelmektedir. Sinterlemeden sonra çekirdekleri taşıyarak veya parlatarak, hassas toleranslar içerisinde kontrol edilebilen oldukça pürüzsüz yüzeyler elde etmek mümkündür (Koner, 1992).

### 3.1.4.2. Matris Profilinin Kısımları ve Görevleri

Bir matris, esas itibariyle beş ayrı kısımdan oluşur ve bunların hepsinin görevleri farklıdır. Bu kısımlar Şekil 3.3.' de gösterilmiştir ve telin matris içerisinde ilerleyiş sırasına görevleri aşağıda sıralanmaktadır (Balin, 2004).



Şekil 3.3. Matris dizaynı (Balin, 2004)

1 – Çan eğimi: Gelen teli matrise doğrusal olarak girmemesi halinde telin yönlendirilmesini sağlar. Tel, matris açısı kısmında ortalanmadan önce, bu yüzeyle sadece bir anlık temas eder (Özer ve Yurci, 1997).

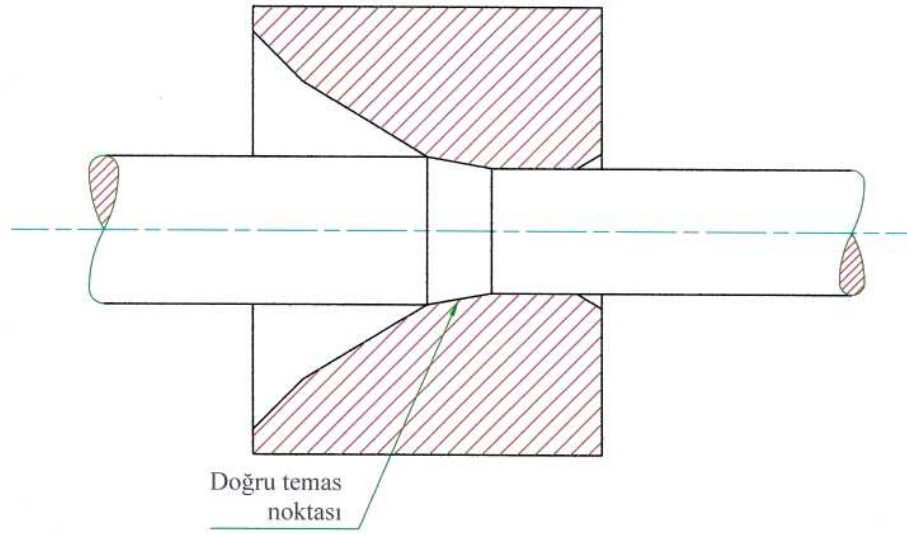
2 – Giriş açısı: Sabun akışının matris açısı kısmına doğru yönlendirilmesini sağlar. Telin doğrudan kangaldan beslenmesi durumu hariç matrise giren tel, giriş açısıyla hiç temas etmeden matris açısına yöneltilmelidir. Giriş açısı genellikle  $60^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında değişirken, geniş ölçekli çekirdekler için uzunluk toplam uzunluğun  $1/6'$  sından, dar ölçekli çekirdekler için toplam uzunluğun  $1/3'$  üne kadar değişebilmektedir. Telin hasara uğramaması için giriş kısmında hiç bir keskin kenar bulunmamalıdır. Matrisin bu kısmı genellikle büyük bir itina ile parlatılsa da bunun pratikte bir faydası yoktur (Çapan, 1989; Koner, 1992).

3 – Matris açısı: Matrisin en önemli kısmıdır. Matris açısı, çekilen malzemenin cinsi ve % olarak redüksiyon alanı olmak üzere iki temel faktöre bağlıdır. Telin çapını düşürme işlemi ve sabunun sıkıştırılarak telin dış yüzeyine sıvanması burada gerçekleşir. Herhangi bir haddenin verimi, bu kısmın dizaynının doğruluğuna ve yüzey işleme hassasiyetine bağlıdır (Koner, 1992).

Matris açısının doğru seçimi, çekilecek malzemenin mukavemetinden (Karbon oranından) ziyade, matris başına düşen paso miktarına bağlıdır. Ancak telin nihai kullanımına göre, her tel çekme işleminin farklı özellikleri olduğunu da unutmamak gerekir. Örneğin; düşük karbonlu çeliğin (piyasada devamlı kullanılan St 37’ de bu gruba girmektedir) çekilmesi için 16°’ lik bir matris açısı standart olarak tüm dünyada kabul edilmektedir. Nihai olarak kaplama işlemine tabi tutulacak telde mümkün olduğunca parlak bir yüzey arzu edildiğinden üzerinde çok ince bir sabun tabakası kalmalıdır. Çivi, vida veya cıvata yapımında kullanılacak telde ise kalın bir sabun tabakası kalması arzu edilmektedir.

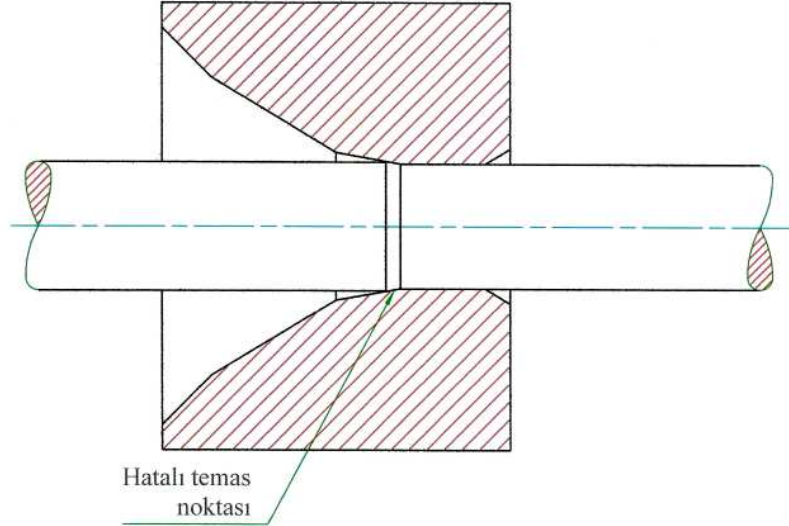
Yukarıdaki örneklerde tüm durumlarda aynı kangal demir kullanılsa dahi, her biri için açıları farklı matrisler gerekmektedir. Matris açısının doğru seçimi tel çekme veriminin yükselmesini ve matris ömrünün uzamasını sağlar (Özer ve Yurci, 1997).

Matris açısının seçiminde en önemli etkenlerden birisi de “Temas Noktası”dır. Matris de verilen pasoya bağlı olarak, tel matris açısı kısmının ortasında (veya mümkün olduğu kadar ortaya yakın bir noktada) matris cidarıyla temas etmelidir. Böylece; yeterli sabun akışı için gerekli basıncın oluşmasına ve telin mümkün olduğunca geniş bir yüzey üzerinde deforme edilmesi sağlanır. Şekil 3.4.’ de gösterilen temas noktası doğru seçilmiş bir matris açısının sonucudur.



Şekil 3.4. Doğru temas noktası (Özer ve Yurci, 1997)

Şekil 3.5.'de matris açısı hafif bir paso için çok büyük seçilmiştir ve böylece telin deforme edilmesi çok kısa bir yüzey üzerinde gerçekleşmektedir. Bunun sonucu olarak matris kısa sürede büyür.

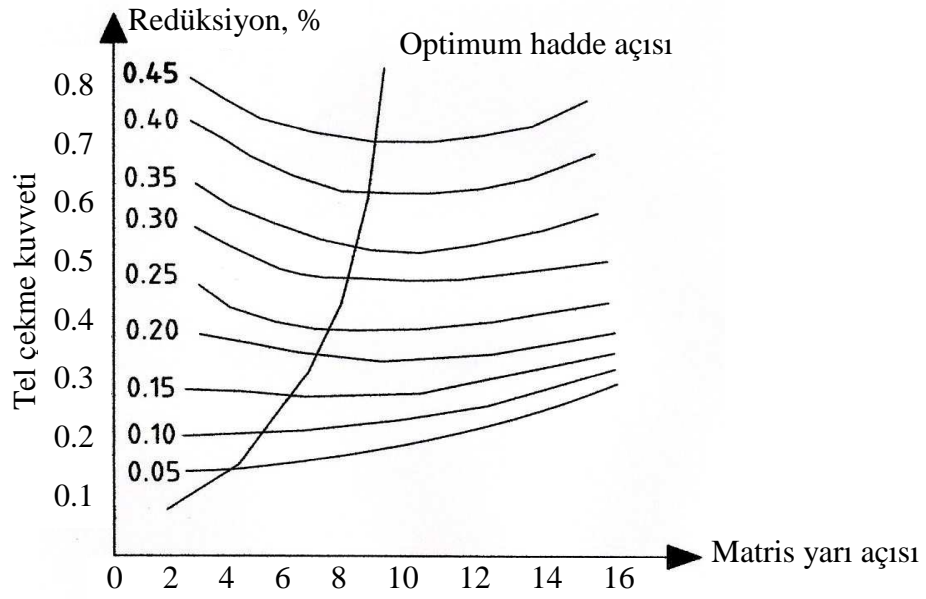


Şekil 3.5. Hatalı temas noktası (Özer ve Yurci, 1997)

Şekil 3.6. ise büyükçe bir paso için küçük seçilmiş bir matris açısını göstermektedir. Burada tel, matris cidarına çok erken temas etmekte ve sabun akışı için yeterli





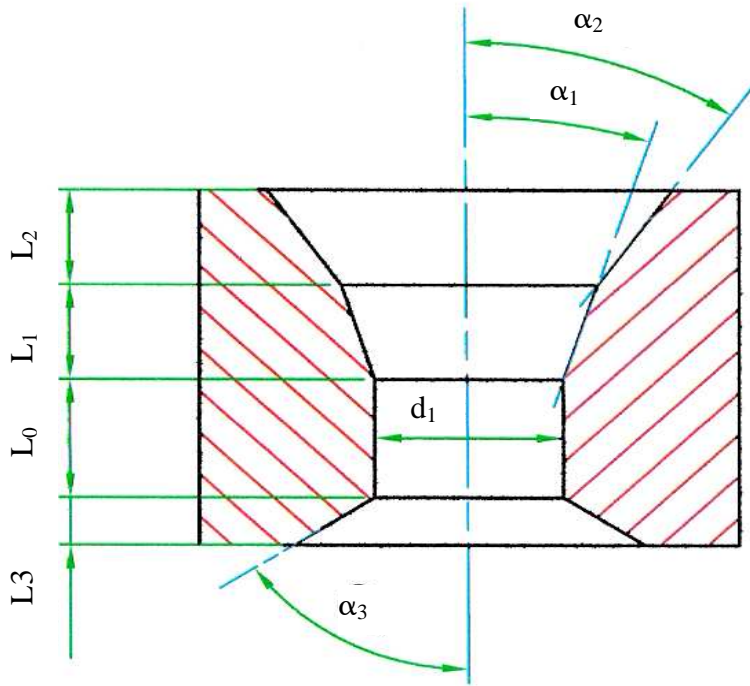


Şekil 3.7. Tel çekme kuvveti ve matris açısı değerleri (Dove vd., 1980)

4 – Kavrama: Çekilmiş telin çapının son kontrolünü yapar. Bundan amaçlanan telin yuvarlaklığının, doğruluğunun ve yüzey kalitesinin garantiye alınmasıdır. Dolayısıyla, kavrama kısmında matris yüzeyinin çok hassas olarak işlenmiş olması gerekmektedir. Matrisin normalden daha hızlı aşınarak büyümesini önlemek için, bu kısmın uzunluğu genellikle matris çapının %35' i ile %150' si arasında tutulur (Koner, 1992).

5 – Çıkış açısı: Bu kısmın şekli konik olup, görevi matrisin çıkış tarafını kuvvetlendirmek, fazla yağlayıcıdan kurtulmak, çekirdek içinde üretilen ısının dağılmasını sağlamak ve matris çekirdeğinin kırılmasını önlemektir. Ayrıca teli deforme eden kısmın, matris çekirdeğinin bütünüyle ortak merkezde kalmasına yardımcı olur (Dove vd., 1980).

Piyasada kullanılan matris çekirdeği ve açıları Şekil 3.8' de verilmektedir (Balın, 2004).



$d_1$  : Tel çıkış çapı

$\alpha_1$  :  $7^\circ - 8^\circ$

$\alpha_2$  :  $15^\circ - 16^\circ$

$\alpha_3$  :  $30^\circ$

$L_0$  :  $0.60 d_1$

$L_1$  :  $0.80 d_1$

$L_2 \geq d_1$

$L_3 \geq 0.5 d_1$

Şekil 3.8. Piyasada kullanılan matris çekirdeği açıları ve boyları (Balın, 2004)

### 3.1.5. Çekme Sırasında Kullanılan Yağlayıcılar

Yağ yerine sabun bileşikleri kullanılmaktadır. Sabunların görevleri haddeyle tel arasında ara katman oluşturarak sürtünmeyi minimuma indirmektir. Tel, hadde kutusundaki toz halindeki yağlayıcılardan geçerken göreceli olarak ufak bir miktar sabun, yüzeye nüfuz etmekte ve matrise tel aracılığıyla taşınmaktadır. Tel çekme işlemi sırasında meydana gelen ısı ve basıncın etkisiyle sabun, telin dış yüzeyine sıvanarak ince plastik bir film oluşturmaktadır. Bu tabaka, metalin metale temas etmesini engellediği gibi sürtünmeyi azaltarak telin çekilmesini de kolaylaştırmaktadır.

Tel çekme işlemlerinde hidrodinamik yağlama yapıldığında, hidrodinamik etkinin sadece hıza ve viskoziteye bağlı olmadığı görülmektedir. Eğer matrisin girişinde yüksek bir basınç elde edilebilirse, düşük hızlarda ve düşük viskoziteli yağlar kullanılarak hidrodinamik yağlama gerçekleştirilebilmektedir.

Tel hızının artmasıyla, giriş bölgesi ile talaşsız şekil değiştiren bölge arasındaki yağ filmi kalınlığı bir maksimuma yükselmektedir. Uygulanacak daha yüksek bir hız, bu değer düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca yağlayıcı viskozitesindeki artış, film kalınlığını artırmaktadır.

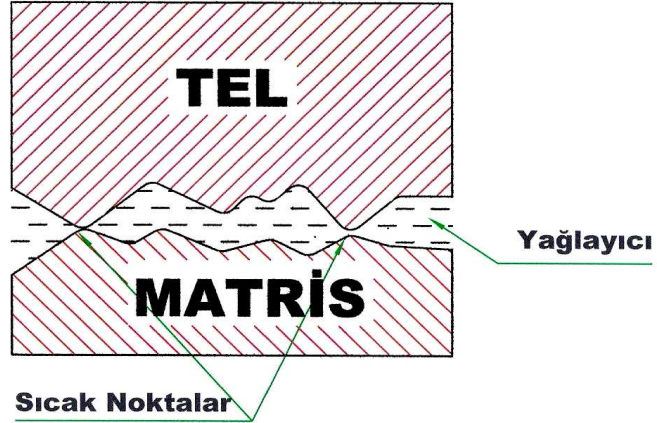
Özellikle tel çekme için yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre; tungsten karbür hadde ile yapılan çekme işleminde, saf malzemenin, hemen çekme başlangıcında kopmasına neden olacağı belirlenmiştir. Bu nedenle; tungsten karbür hadde ile çekme işlemi yapılırken su kullanmaktan kaçınılmalıdır. ancak yine tungsten karbür hadde ile ve düşük yağ konsantrasyonlarında çalışılırken yağlayıcı içine bir miktar  $MoS_2$  katılırsa malzemede kopma olmamakta ancak malzeme yüzeyinde istenmeyen, küçük çizgiler oluşmaktadır.

Tel çekme de matris girişindeki aşınma, çıkışındakine göre daha çok olmaktadır. Bu durum, giriş bölgesindeki sürtünmenin daha çok olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı malzemenin kalıptan geçmesi bazen zor olabilmektedir ve tel çıkışta kopabilmektedir. Bunun nedeni, ya pasolar arasında tele yeterli bir soğutma yapılmaması sonucu telin iç ısıl gerilimler taşıması ya da yağlayıcı olarak kullanılan karışımın iyi filtre edilmemesi sonucu toz, çapak gibi yabancı maddeler içermesidir (Alcansoy vd., 1981).

Hadde sabunun görevleri yalnızca yüzeyleri birbirinden ayırmak ve yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltmak değildir. Her ürün için tel çekme işleminden sonra telin üzerinde farklı bileşimde ve miktarda bir sabun tabakası oluşması arzu edilir. Bir başka deyişle, hadde sabunun görevlerinden birisi de teli, çekildikten sonra tabii tutulacağı işlere hazırlamaktır (Leopardi, 2003).

### 3.1.5.1. Tel Çekmede Yağlayıcıların Görevleri

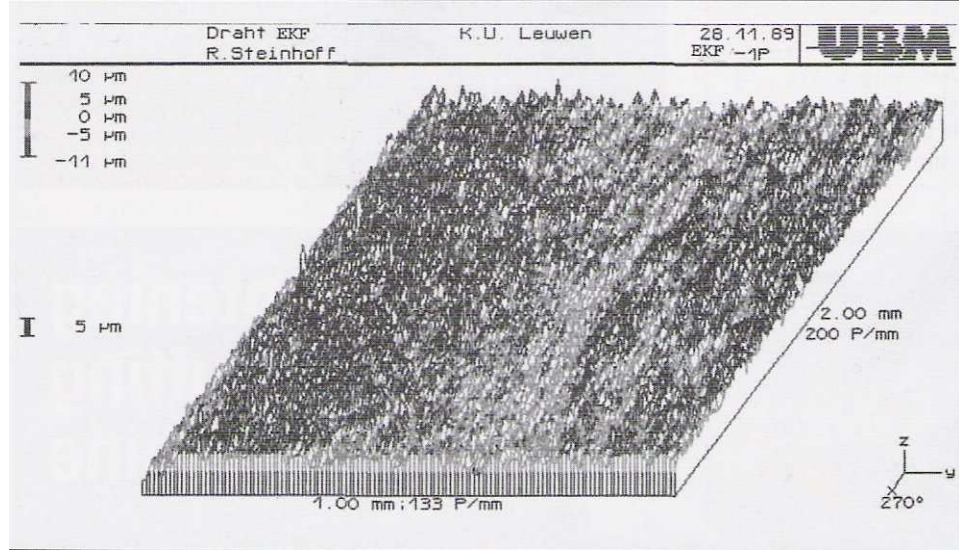
Binlerce kez büyütülerek bakıldığında parlatılmış yüzeylerin bile pürüzleri açıkça görülebilir. İki yüzey üst üste getirildiğinde sayısız miktarda “nokta teması” oluşur. Şekil 3.9.’ da telin haddeden geçişi esnasında iki yüzey arasındaki ilişki, biraz abartılı olarak gösterilmektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere iki yüzey arasındaki bütün yükü bu nokta temasları taşır ve bu noktalarda zaman zaman kaynaklanmalar oluşur. Şekil 3.10’ da tungsten karbür matrisle yapılan çekme esnasında yetersiz yağlama sonucu oluşan hasarın 3 boyutlu topografik şekli verilmektedir. Bu durumda tel hadde içerisinde hareket ettiğinde bu kaynak yerleri kopar ve bir yüzeyde veya her iki yüzeyde malzeme yırtılmasına yol açar ki, bu da telin veya haddenin çizilmesi demektir. İşte sabun kullanmanın asıl amacı, her iki yüzeyi birbirinden ayırarak temas etmelerine engel olmaktır. Sabun tabakasının yeterince kalın olması halinde, hiçbir şekilde temas oluşmaz (Dove vd, 1980; Pilarczyk, 2006).



Şekil 3.9. Telin haddeden geçişi esnasında iki yüzey arasındaki ilişki (Kejanlı, 1999)

Tel çekme de yağlayıcılardan beklenenler şunlardır:

- İyi bir yağlayıcı film oluşturarak sürtünmeyi azaltmalı ve şekillendirmeyi kolaylaştırmalıdır.
- Şekillendirme sırasında sürtünmeden kaynaklanan aşırı sıcaklık yükselmesinin önüne geçmek için iyi soğutma özelliğinin olması gerekmektedir.



Şekil 3.10. Matristeki hasarın üç boyutlu topografik şekli (Pilarczyk, 2006)

- Tel yüzeyinde çizikler oluşmasını önleyerek, parlak bir yüzey oluşumuna yardımcı olmalıdır.
- Sürtünmeyi azaltarak kalıbın aşınmasını önlemelidir.
- Kullanım sırasında tel ve takım üzerindeki kirletici maddeleri üzerine alarak filtreye kadar taşıyacak ve makineyi temizleyebilecek kadar deterjanlık özelliğinin olması istenmektedir.

Kuru yağlama ile daha çok kaba çekmeler yani yüksek çaplı tellerin çekilmesi gerçekleştirilmektedir. Küçük çaplı teller (yaklaşık 1.5 mm altı) ise sulu çekme solüsyonları içinde çekilmektedirler ve kostiği normal sabunlara göre biraz daha fazla olan sabunlar kullanılmaktadır.

Normalde tek pasoda %22-30 deformasyon gerçekleştirilmektedir, ancak iyi bir yağlama ile %45 şekillendirme oranına da çıkılabilmektedir. Bunun üzerindeki değerlerde telin kopması gibi bir sorunla karşılaşılmaktadır. Ayrıca 2-7 m/s hızla çekme gerçekleştirilebilmektedir.

Şekillendirmeden sonra isteklere göre tel üzerindeki yağlayıcı ya tamamen uzaklaştırılır ya da aynen kalabilmektedir. Eğer daha sonra tel yüzeyinde bir işlem

(örneğin, galvaniz kaplama gibi) yapılacaksa ya da söz gelişi bu tel araba lastiği teli olarak kullanılacaksa yağlayıcının çekme sonrası uzaklaştırılması gerekmektedir.

Sağlık açısından, en çok sabun tozundan dolayı gözlerde tahriş olayı ve genze kaçma sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Emülsiyonlarda mantar oluşumu, pis koku ve çevre kirliliği gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Mantar oluşumunu önlemek için emülsiyon içine mantar önleyici ilaçlar atılmaktadır. PH yükseldiğinde PH düşürücü, köpürdüğünde köpük önleyici katkı maddeleri katılmaktadır. Emülsiyon ömrünü doldurup atılacağı zaman ise nötrleştirilip öyle dışarı atılmaktadır.

Gürültü sorunlarından sonra cilt sorunları, meslek hastalıklarının ikinci sırasına yerleşmiştir. Metal işleme endüstrisinde sorunların en büyük kısmı, yağlayıcı madde ile ilişki sonucu oluşmaktadır (Tripp, 1998).

Cilt hastalıkları arasında en önemlileri, yağ sivilceleri ve yağ egzamasıdır;

**Yağ Sivilceleri:** Su ile karışım oluşturmadan kullanılan soğutma yağlayıcılarıyla ilişkili olarak ortaya çıkan ve en sık karşılaşılan cilt hastalığıdır. Çoğunlukla yağlayıcının kendisi değil de, tersine içinde bulunan yabancı parçacıklar buna sebep olmaktadır.

**Yağ Egzaması:** Yağ egzaması kavramı içerisinde cilt hastalıklarının bir bölümü kastedilmektedir. Yüzeysel olarak kızarmış, sıklıkla pul pul kazınan ya da nemlenen, çatlak dış görünüşlü egzama söz konusu olmaktadır. Akut zehirli egzama da (Zehirli iltihaplı egzama), zararlı bir madde, doğrudan cildi etkilemekte ve kendine özgü bir görünüş oluşturmaktadır.

Dejeneratif egzama (deri aşınması); su ile karışır soğutucuların neden olduğu deri hastalıklarının en önemlisidir. Soğutucunun cilt ile sürekli ilişkisi sonucu, aşınma görüntüsü oluşmaktadır ve derinin koruma gücü kaybedilmektedir. Kişilere bağlı alerjik egzama, dejenere olmuş egzama çevresinde bulunmaktadır ve ilgili kişilerde, belirli maddelere karşı bireysel duyarlılıklar ortaya çıkmaktadır (Kemahlı, 1994).

### 3.1.5.2. Sabunların Özellikleri

Sıvı olarak kabul edilebilecek yağlar ve sabunlar sıcaklık yardımıyla inceltilmekte ve basınç yardımıyla kalınlaştırılmaktadır. Sabunlar, yağlar ve mineral yağlara göre basınç altında çok daha az kalınlaşmaktadır. Yağlayıcı polaritesi önemli bir faktördür. Polarlık, bazı moleküler yapılanmanın doğasında olan elektrostatik bir çekim formudur. Uzun zincir molekülü olanlar, kendiliğinden metal yüzeyine yönelir ve baştan sona kadar metalik atomuna bağlanırlar.

Kısaca sabun, bir yağ asidinin alkali ile reaksiyona girmesi sonucu elde edilir. Sabunlar tel çekme sırasında hadde içerisinde meydana gelen yüksek basınca, sıcaklığa ve kayma gerilimine dayanabilecek özellikte olmalıdırlar.

Polar veya yüzey etkin yağlayıcıların kullanılması, tel çekme işleminde olduğu gibi bu tür metallerin yüzey kesit indirgemelerinde daha üniform sonuçlar vermektedir. Ancak, yağlayıcılar tel yüzeyine iyi yapışmazsa tel yüzeyi deforme olur.

Tel çekme işleminde yağlayıcıların polaritesi ve kimyasal reaktivitesi yağ üreticileri tarafından yağ bileşimleri ve sabun tipi veya katkı maddeleri katılarak kontrol edilebilir. Sülfür bu konuda bilinen en eski bileşenlerdendir.

Reaktif kimyasallar dikkatli kullanılmalıdır çünkü spesifik tel bitirme işlemleri veya ara ısıl işlem şartlarını engelleyebilir.

Sabunun zenginliği, yumuşaklık oranı ve düşük erime noktası demek anlamına gelmektedir. Bu katı yağlarla sıvı yağlar arasında, katı halden sıvı hale keskin bir geçiş yoktur. Sabun oranı yüksek ve kireç oranı düşük ise yumuşamanın olduğu alanda sıcaklık oranı düşüktür. Yağlayıcı çok zengin ise, yumuşar ve hadde kutusu içinde topaklanır ve bu şartlar altında yapılan çekme işleminde telin parlaklığı azalır, telin yüzeyi tam olarak kaplanamaz ve bir süre sonra tel kopar. Eğer tel çekme işleminde sabun tozu çok kuru veya yağsız ise işlem başarısız olabilir. Çünkü yüzey tam olarak kaplanmaz ve yağlama tamamıyla gerçekleşmez (Gzesh, 1999).

Tel çekme işleminde sabunun zenginliğini etkileyen bir çok faktör vardır. Fakat genel olarak yağ içeriği ne kadar zenginse yağlayıcı da o kadar zengindir. Yüksek erime noktasına sahip kimyasallar sıcaklık aralığını arttırmaları böylece yumuşama sağlanır. Bunun yanında zenginlikleri de azalır. Genelde alkali olan kimyasal tel çekme tozları birleşmektedir. Bu tip bir süreç özel bir karışımı da gerektirmektedir. Uygulamada fiziksel olarak ufak miktarda kimyasallar da eklenebilmektedir. Örneğin daha az yağlı çalışan bir karışım için kireç eklenebilir. Genellikle fiziksel karışımlar, kimyasal birleşim sonucu ortaya çıkan yağlayıcılarla homojenlik açısından aynı sonuçları sağlayamamaktadır.

Hadde sabunları esas itibariyle üç ana gruba ayrılır. Bunların isimleri ve özellikleri şöyle özetlenebilir;

a- Kalsiyum sabunları; suda çözünmezler, saf halde yumuşama sıcaklıkları 145-165 °C arasındadır ve düşük tel çekme hızlarında, özellikle hiç çekilmemiş olan filmaşine verilecek ilk pasolarda kullanılır.

b- Sodyum bazlı sabunlar; suda çözünürler, saf haldeki yumuşama sıcaklıkları 140°C ila 160°C arasındadır. Genellikle yüksek tel çekme hızlarında veya telin temiz olmasının ve yüzey şartlarının önem taşıdığı durumlarda kullanılır. Sodyum sabunları belirli derecelerde kireç kaplamayla reaksiyona girerek kalsiyum sabunlarını oluşturmaktadır.

c- Alüminyum bazlı sabunlar; bunlar da suda çözünmezler ve saf haldeki yumuşama sıcaklıkları 140°C ila 160°C arasındadır. Bu sabunlar özellikle vida, civata yapımında kullanılacak telin çekilmesi için uygundur (Özer,1993; Brard,1991).

Herhangi bir hadde sabununun nihai özelliklerini belirleyen belli başlı faktörler vardır. Birinci faktör, sabun yapımında kullanılan baz malzemedir. Baz malzemeler, kalsiyum, sodyum ve alüminyum olarak yukarıda belirtilmiştir.



İkinci faktör, kullanılan yağın cinsidir. Bu faktör, sabunun yumuşama noktasını belirler. Yağların cinslerine göre yumuşama sıcaklıkları 40°C ila 60°C arasındadır.

Üçüncü faktör, kullanılan yağın miktarıdır. Sabundaki yağ miktarı yükseldikçe çekmeden sonra telin üzerinde daha ince bir sabun tabakası kalmaktadır. Genel olarak, tel çekme sırasında meydana gelen ısının etkilerini telafi edebilmek için yağ miktarı artırılır. Dolayısıyla, yüksek karbonlu çeliğin çekilmesinde düşük karbonlu olanlara göre yağ miktarı daha fazla olan sabunlar kullanılmaktadır.

Dördüncü faktör, katkı maddeleridir. Sabundan beklenen özelliklere göre, muhtelif mineraller katkı maddesi olarak sabuna ilave edilebilmektedir. Böylece sabunun yumuşama noktasını, sabun tabakası kalınlığını ve sıvanma yeteneğini değiştirmek mümkündür. En sık kullanılan katkı maddeleri kireç, kalsiyum karbonat, sodyum karbonat ve borakstır. Örneğin kireç, sabun tabakasının kalınlığını belirler. Yapılan araştırmalar sabundaki kireç oranı %75 civarında iken, sabun tabakasının en kalın haline ulaştığını göstermektedir. Sabun tabakasının yeterince kalın olmaması, doğal olarak hadde ömrünü kısaltmaktadır. Kireç oranının %30' un altına inmesi durumunda ise, sabun tabakası daha da inceleşmektedir.

Beşinci faktör, imalat yöntemidir. Aynı malzemeleri farklı proseslerden geçirerek, tamamen farklı iki ürün elde etmek mümkündür.

Altıncı ve son faktör ise tanecik büyüklüğü, şekli ve büyüklük dağılımıdır. Bu faktörler sabunun, sabun kutusu içerisindeki hareketini ve hadde içine doğru akışını belirlemektedir. Genellikle küçük taneciklerden oluşan bir sabun, hadde içine doğru daha kolay akar. Ancak, taneciklerin fazla küçük olması da sabunun kalıplaşmasına yol açabilir (Balin, 2004).

### **3.1.5.3. Sabun Seçimi**

Belli bir tel çekme işlemi için sabun seçerken dikkate alınması gereken bazı noktalar vardır. En önemli noktalardan biri, çekilecek olan telin malzemesidir. Düşük karbonlu çeliklerin çekilmesi için oldukça farklı sabunlar kullanılmaktadır.

Bir diğerk nokta, yüzey hazırlamadır. Mekanik kırmadan geçirilmiş tel ile asit banyosunda temizlenmiş ve daha sonra sabun taşıyıcı bir maddeyle kaplanmış tel, çekilme arasında farklı özellikler gösterir. Her iki durumdaki tel için geliştirilmiş ayrı ayrı sabunlar vardır. Genel olarak, bükerek kırma ile yüzeyi temizlenmiş bir telde fosfat, boraks gibi sabun taşıyıcı bir ortamın yokluğunu telafi edebilmek için kalınca bir tabaka oluşturabilecek sabunlar tercih edilmelidir.

Tel çekme süresince telin toplam kaç haddeden geçtiğı ve kullanılan makinenin durumu da dikkate alınmalıdır. Toplam hadde sayısı, tel çekme süresince ne kadar ısının ortaya çıkacağını belirler. Kullanılan makinelerde ne tip soğutma (su / hava) olduğu da bilinmelidir.

Dikkate alınması gereken bir diğerk nokta ise, tel çekme hızıdır. Dakikada 300 metre tel çekebilmek için gerekli olan sabunla, dakikada 1200 metre tel çekebilmek için gerekli olan sabun farklıdır. 1200 m/d hızda çok iyi iş gören bir sabun 300 m/d hızda erimeyebilir ve hadde içerisine yeterli miktarda akmayabilir.

Kullanılan haddenin dizaynı da sabun seçiminde dikkate alınmalıdır. Son olarak da seçilen sabunun telini nihai kullanımına uygun olması gerektiğı unutulmamalıdır. Farklı koşullar için sabun seçimine bazı örnekler Çizelge 3.4' de gösterilmiştir (Özer,1993).

#### **3.1.5.4. Kuru Çekme Yağlayıcıları**

Tel çekme sabunlarının ana karakteristiğı; matris içinde çalışma koşullarından dolayı oluşan ısı altında yüksek viskozite sıvılaşmasıdır. Tel çekme ısısının % 5' ini deformasyon ısısı, % 95' ini de sürtünme ısısı oluşturmaktadır. Matris üzerindeki ısı, madde özelliğine bağlıdır. Ayrıca matris geometri açısı da ısı üzerinde etkilidir.

Çizelge 3.4. Farklı koşullar için sabun seçimi (Özer, 1993)

Malzeme	Yüzey Hazırlama	Tel Çekme Hızı	Toplam Hadde Sayısı	Nihai Kullanım	Tavsiye Edilen Sabun
Düşük karbonlu çelik	Mekanik kırma	450 m/d	1 ile 3	İnşaat çivisi, tel örgü	A- Yağ oranı düşük, yumuşama sıcaklığı orta değerde olan kalsiyum sabunu B- Makinenin eski olması, malzemenin kötü kalite olması halinde basınç yükseltici bazı katkı maddeleri kullanılabilir.
Düşük karbonlu çelik	Mekanik kırma	450-1350 m/d arası	3 ile 8	Çivi, çok ince tel örgüsü	Yağ oranı düşük veya orta, yumuşama sıcaklığı yüksek kalsiyum sabunu.
Düşük karbonlu çelik	Asitle temizlenmiş, sabun taşıyıcıyla kaplanmış	300-1500 m/d arası	2 ile 8	Yan sütunda verilmiştir	Kaplanacak tel için: Sodyum bazlı sabun; kalın sabun tabakası gerekiyorsa: Yağ oranı düşük, yumuşama sıcaklığı orta değerde, kalsiyum sabunu; ince sabun tabakası gerekiyorsa: Yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta değerde kalsiyum sabunu
Muhtelif Metaller	Asitle temizlenmiş, sabun taşıyıcıyla kaplanmış	Yavaş	1	Vida, cıvata	Alüminyum stearatlı sabun
Yüksek karbonlu çelik	Mekanik kırma	600 m/d' dan az	Birden fazla	Yay	Yağ oranı orta, Yumuşama sıcaklığı yüksek, kalsiyum sabunu
Yüksek karbonlu çelik	Asitle temizlenmiş, sabun taşıyıcıyla kaplanmış	Muhtelif	Birden fazla	Yay, Çelik halat	A- 600 m/d veya daha düşük hızlarda ilk paso için: Yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta değerde olan kalsiyum sabunu B- 300-1200 m/d arası hızlarda müteakip kafalarda çekmek için: Yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta veya yüksek olan sodyum bazlı sabun.

Sıcaklık etkisinin çok çeşitli faktörleri vardır. Bunlar;

- Malzeme cinsi
- Yüzde olarak redüksiyon oranı
- Yüzey hazırlama
- Matris açısı
- Sürtünme
- Tel çekme hızıdır.

Kuru çekme sabun bileşimleri;

- Yağlı asitler
- Alkali metaller (Na, Ca, Al, Zn)
- Dolgu maddesi
- Katkı maddesi

Yağlı asitler; doğal ve sentetik kombinasyonlar halinde olup, metallerle reaksiyon yapabilirler. Son ürün yumuşaklığı yağlayıcı asitlerin kombinasyonu ile ilgilidir.

Alkali metal; esas özellikte rol oynamaktadır. Yağlayıcı asitler de bağlayıcıdır. Kimyasal ve fiziksel tepkimeleri yağlayıcı özelliğini etkilemektedir.

Dolgu maddesi; yağ asitleriyle, alkali metallerin yağlayıcı özelliği artırılmaktadır. Ana yağlayıcılar bir çok uygulama için istenen düzeyde olmayabilir. Bunlar da kompresyon kuvveti ve erime noktalarının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Dolgu maddeleri, bu özellikleri artırmak için kullanılmaktadır. Dolgu maddelerinin ana fonksiyonu, yağ filminin kalınlık ve incelik noktasını ayarlamaktır. Dolgu maddeleri toz halindedir ve iki gruba ayrılmaktadır.

a) Suda çözülenler; sodyum karbonat, sodyum sülfat,

b) Suda çözülmeyenler; kalsiyum karbonat, kireç

Ayrıca teflon gibi maddeler de kullanılmaktadır.

Kuru çekme yağlayıcılarının karakteristikleri su içinde eriyebilirlik, erime noktası, yağ film tabakası kalınlığı, tane dağılım büyüklüğü olmak üzere dört ana maddede toplanmaktadır.

Suda çözünürlük temiz tel üretmek için çok önemlidir. Sodyum siteratlar genellikle % 100 suda çözünürler. Tek ve kalsiyumla birlikte kombinasyon yapılarak temiz ürün elde etmek için kullanılırlar. Diğer siteratlar çözünmezler ve yağ giderici madde ile tel yüzeyinden alınabilirler.

Sodyum siteratlar kalsiyum siteratlarla birlikte kullanıldığında yağ filminin çözünürlük derecesini kontrol etmek mümkündür.

Matris ömrünü uzatmak ve çiziklerden korumak için yağlayıcı asitler ve kuru tip yağlayıcıların erime noktası önemlidir. Günümüzde 110 °C ile 250 °C arasında tutmak mümkündür. Son teknolojik makineler çok hızlı olması sebebiyle erime noktası kuru tip yağlayıcılar için kritik rol oynamaktadır.

Yağlayıcı film kalınlığı çelik tellerde 0,50 ile 10 mikron arasında olup, yağlayıcı karışımı, yağ sıcaklığı, yağlayıcı tipi ve matris basıncı ile alakalıdır. Yağın inceliği teldeki son işlemde avantaj sağlamaktadır. Kalın film tabakası, genellikle yüksek hızlı ve üniform yüzey istenen, kaplama yapılmayacak mekaniksel tel çekmelerde önemlidir. İnce film tabakası, çekmeden sonra yüzey kaplama yapılacaksa ve kaynak işlemi gibi işlemler uygulanacaksa tercih edilmektedir. Yağlayıcılarda parçacık büyüklükleri genellikle parçacıklar halinde farklı ölçülerde yayılmıştır. Tane parçacık büyüklüklerinin dağılımı, yağlayıcıların düzgün uygulanması için çok önemlidir. Tel ölçüsüne göre tane büyüklüğü en iyi performansı verir. Tane büyüklüklerini; ince, orta, büyük şeklinde gruplamak mümkündür. Tel özelliğine, yapısına, hızına göre uygun seçim yapılmalıdır.

Yağlayıcı seçiminde dikkate alınacak ilk unsur çekilecek telin bileşimidir. Benzer çekme şartlarında yüksek karbon içerikli teller orta karbon içerikli tellere göre daha

yüksek ısı meydana getirirler. Eğer bu dikkate alınan tek etken ise yüksek karbonlu telleri çekmek için daha yüksek erime noktasına sahip yağlayıcılar kullanılmalıdır.

Belirli bir redüksiyon oranı için belli bir hızdaki toplam deformasyon ısısı tel çapının karesiyle doğru orantılıdır. Çevresel yüzey tel çapına doğrusal orantılı olarak artar. Bu şartlar altında belli bir hız için daha kaba tellerin sıcaklığı daha yüksek olacaktır. Bu tipteki kaba tellerin çekiminde daha az yağlı yağlayıcılar kullanılmalıdır.

Makine dizaynı dikkate alınmaktadır. Blok ve çelik yuva tarafından yapılan soğutmanın etkinliği matris çekirdeğine giren telin sıcaklığını etkileyecektir. Matrise giren telin sıcaklığı ne kadar yüksek ise belli bir hız için çıkış sıcaklığı da yüksek olacaktır. Bu yüzden tel giriş sıcaklığı ne kadar yüksek ise sabun da yüksek erime noktasına sahip olmalıdır.

Ağır şartlarda ve yüksek hızlarda genellikle artan tel sıcaklığını karşılamak için yüksek erime noktası olan yağlayıcılar tercih edilmektedir.

Matrisin giriş açısı arttıkça, indirgeme daha küçük bir yüzeye taşınır. Bu da basıncı ve sıcaklığı artırır. Bu şartlar altında, daha yüksek erime noktasına sahip yağlayıcılara ihtiyaç duyulmaktadır.

Yüzey şartları; yağlayıcı seçiminde etkindir. Taşıyıcılar ve yağlayıcılar hassas yüzeylere göre daha kolay nüfuz ettikleri için basit işlenmiş yüzeylere nüfuz ederken taşıyıcıların türü ve polarlık şartı dikkate alınmalıdır (Brard, 1991).

### **3.1.5.5. Yaş Tel Çekme Yağlayıcıları**

Bu ürünler genellikle sıvı haldedir. Fakat yağda çözünen çeşitleri de vardır. Islak çekme yağlayıcıları, matris içinden geçerken yağlamaya imkan sağlar. Üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

- Suda çözünebilir yağlar

- Çözülmeden emülsiyon yapabilen yağlar
- Saf yağlar, gres ve pasta şeklindeki yağlar

Suda çözünebilen yağlayıcılar; sıvı haldedirler ve su içinde iyi çözünürler. Bu ürünler su içinde çok iyi parçacık halinde yayılırlar. Genellikle çekilen tel yüzeyinde yüksek yüzey kalitesi elde edilmektedir.

Çözülmeden emülsiyon yapabilen yağlayıcılar; kompleks bileşiklerdir ve su formunda bileşenleri sabit dağılım gösterir. Dağılım emülsiyonu çağrıştırmaktadır. Bu form, su yüzeyindeki küçük damlacıklar halindeki yağ formundadır (Çapan, 1989).

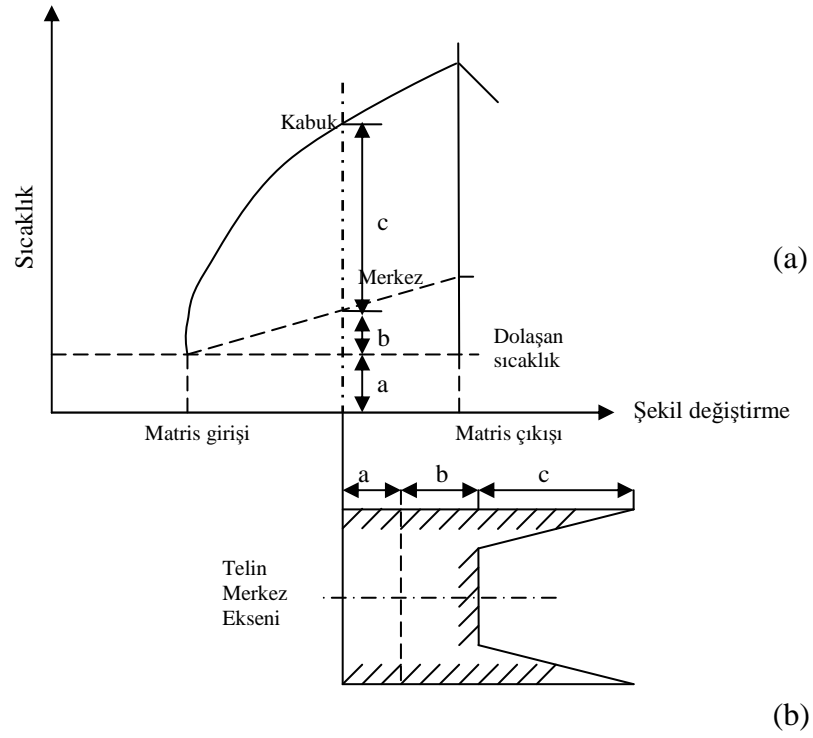
Bu emülsiyon genellikle yüksek derecede yağlama imkanı sağlamaktadır. Bunun nedeni içeriğindeki bir çok katkı maddesi, yağlayıcı geliştirerek ekstra yağ basıncı sağlamasıdır.

Saf yağlar, konsantre yağlardır. Suyu karışmazlar. Saf yağlayıcılar genellikle yüksek oranda katkı içerirler. Bunlar yüksek derecede yağlamaya katkı sağlar ve su içindeki yağın yeterli olmadığı ürünlerde kullanılır.

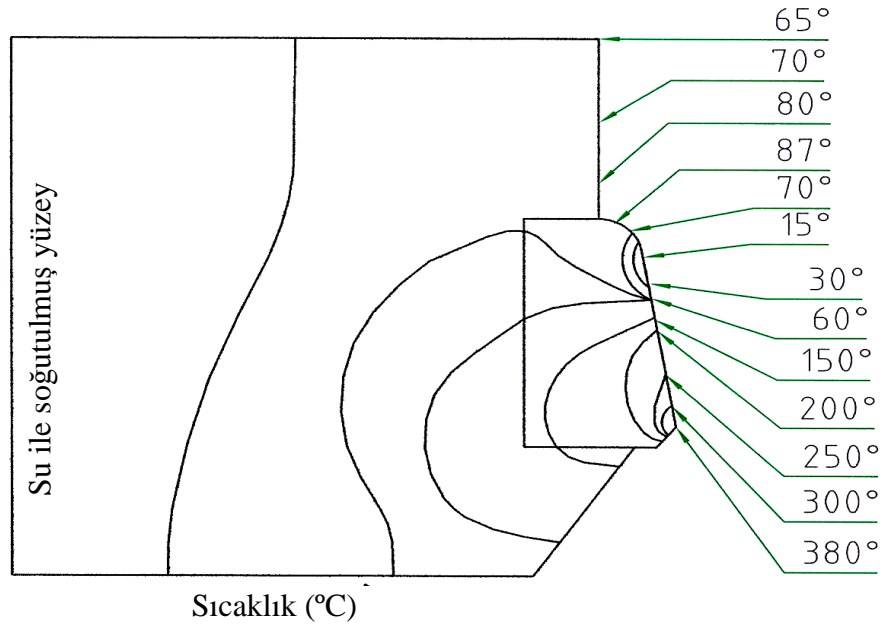
Alüminyum teller, ince çelik teller, profiller, burçlar, borular için özellikli kullanılan yağlayıcılar saf yağlayıcılardır (Özer, 1993; Dubar vd., 2001; Leopardi, 2003).

### **3.1.6. Çekme Sırasında Oluşan Isı ve Sıcaklık**

Tel çekme işlemi sırasında, şekil değiştirme ve sürtünmenin ikisi birden ısı kaynağı rolü oynar. Bu ısı çok yüksek çekme hızlarında milisaniyelik bir zaman periyodunda ortaya çıkar. Bu nedenle ısı, yüksek sıcaklıklar ve matristeki dik sıcaklık gradyanları ile hesaplanmaktadır. Şekil değiştiren telin içindeki sıcaklık dağılımı Şekil 3.11.' de gösterilmiştir. Tel eksenine boyunca ve tel kesitinde dik sıcaklık gradyanları ile karşılaştırılmıştır. 7 m/s' lik bir çekme hızı için matristeki sıcaklık dağılımı Şekil 3.12.' de gösterilmiştir (Özer, 1993).



Şekil 3.11 Sıcaklık dağılımı; a) tel boyunca b) tel kesitinde (Özer, 1993)



Şekil 3.12. 7 m/s' de matriste sıcaklık dağılımı (Özer, 1993)



Matrisin su ile soğutulmasıyla telde ortaya çıkan ısının yaklaşık % 5' inin yok edilebildiği hesaplanmış ve deneysel olarak ispatlanmıştır. Bununla beraber, matrisin suyla soğutulması karbür ve çeliğin kat sayılarındaki farklılıktan olumlu bir etki yapar (Özer, 1993).

### 3.1.7. Tel Çekme Makineleri

Metal bir malzemenin matris veya hadde olarak adlandırılan ve üzerinde bir (veya daha fazla) delik bulunan bir takımdan çekilerek uzatılmasına çekme denir. Çekme kuvveti matrisin çıkış tarafından uygulanır. Matris toz veya sabun kutusu adı verilen bir kutuya yerleştirilir ve su ile soğutulur. Şekil 3.13.' de su ile hadde soğutma işlemi gösterilmiştir. Metalin kesiti genellikle dairesel ise de daha başka kesitler de çekilmektedir.



Şekil 3.13. Su ile hadde soğutma (Ayes A.Ş)

Soğuk çekilecek sıcak şekil verilmiş kangal demirlere (sıcak haddelenmiş çubuk ve filmaşınler) ilk olarak, mekanik yüzey hazırlama bölümündeki gibi yüzey hazırlama işlemine tabi tutulmaktadır.

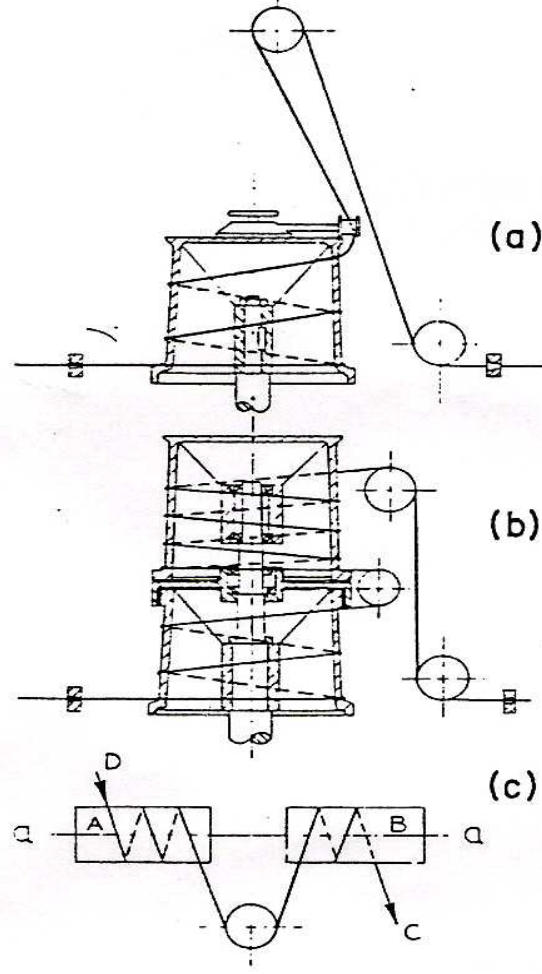
Yüzey hazırlama işleminden sonra, çekilecek çubuğun ucu sivriltilerek (uç açma) matristen geçirilmekte ve çekme tamburuna çeneler vasıtasıyla bağlanmaktadır. Çekme motorunun hızı, hız sürücüsü yardımıyla ayarlanmaktadır. Çekme hızı 2 – 7 m/s arasındadır.

Çekme işlemi, yağlama bakımından kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kuru çekmede yağlayıcı olarak genellikle Na bazlı sabun tozu veya gres kullanılmaktadır. Islak çekmede ise matris, sıvı bir yağlayıcı, örneğin alkali sabun çözeltisi, içine daldırılmış durumdadır.

Kademeli çekimlerde her çekme kademesinde kesit yüzeyi %10 – 45 oranında küçültülmektedir. Küçük kesit yüzeyleri için bu oran genellikle alt sınıra daha yakın değerlerde alınmaktadır. Bir kademede kesit küçülmesi % 45' ten büyük olduğu takdirde yağlama sorunları doğabilmekte ve ürünün yüzey kalitesi bozulabilmektedir.

Birçok tel çekme işleminde tel, ardı ardına birkaç matristen geçer. Sürekli tel çekmede bir matristen geçen tel sonraki daha küçük kesitli matrise girmeden önce bir sarma makarasına birkaç tur sarılır. Her matristen geçişinde telin çapı küçülürken uzunluğu ve hızı artar. Kesit daralmaları, tüm kademeler için gerekli gücün eşit olacağı şekilde ayarlanmalıdır.

Çekme makinelerinin çeşitli tipleri mevcuttur. Filmaşın kangalından 1.5 mm' ye kadar kuru çekme makineleri, daha ince çaplar için sulu çekme makineleri kullanılmaktadır. Kuru çekme makineleri sarma çeşitlerine göre Şekil 3.14.'deki gibi gruplandırılabilir (Balin,2004).



Şekil 3.14. Sarma çeşitlerine göre çekme makineleri (Balin, 2004)

- a) Gerdirme kollu çekme makineleri, piyasada en çok kullanılan makine türüdür. Fakat her dönüşte tel bir kez büküldüğünden ideal bir sistem değildir.
- b) Çift bloklu bu makinede, her iki blok eş eksenli bir halkadan ibarettir. İki blok arasında hareket edebilen bir dengeleyici kol vardır.
- c) Bu tür makinelerde tel burkulmaz. Arada bir makara yardımıyla aktarma sağlanır

Makinenin hızı ile çekilen telin kesiti arasındaki oran, sürekli kafalarda çok önemlidir. Eğer aşağıdaki formüle uygun dizayn yapılmazsa ara kademelerde malzeme boşalabilir veya taşabilir (McNulty, 2006).

$$V_1 S_1 = V_2 S_2 = \dots = V_n S_n \quad (3.1)$$

Çok ince çaplardaki çelik teller için sulu çekme makineleri kullanılır. Bu makineler kuru çekme makinelerine göre daha hızlıdır. Yağlayıcı olarak, su ile sabun karışımı bir emülsiyon kullanılmaktadır. Sulu çekme makinelerinde 10 ile 16 arasında matris yuvası bulunmaktadır.

### **3.1.8. Tel Çekme İşlemine Etki Eden Teknolojik Faktörler**

Teknolojik olarak incelemede, tel çekme için esas olan malzeme akışı ele alınmaktadır. Talaşsız (plastik) biçimlendirme basit olarak tanımlanırsa, uygulanan takımın zorlama etkisi ile, kalıcı (plastik) deformasyonlar göstererek istenilen biçim ve boyutlara ulaşmaktır. Plastik deformasyon matrisin tele teması sonucu gerçekleşmektedir. Temasta olan ve birbirlerine göre bağlı olarak harekette bulunan iki parçanın temas yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık yükselişi ile enerji kaybı meydana gelir. Bu olayların etkisini azaltmak için alınması gereken önlemlerin en önemlisi yağlamadır.

Malzeme akışının düzenli olup olmaması, çekme kuvvetine, çekme işine ve bunların sonucu olarak çekilen telin kalitesine etki etmektedir. Burada amaç, minimum çekme kuvveti ve işi ile en hatasız mamulü elde etmektir. Tümü dikkate alındığında malzeme akışının önemi ortaya çıkmaktadır.

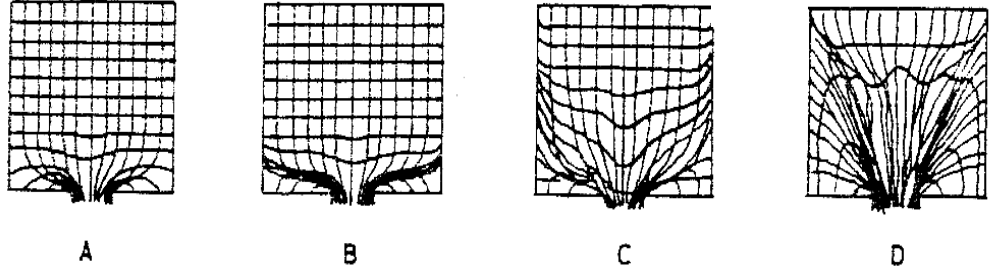
Tel çekmede malzeme akışına etki eden çeşitli faktörler vardır. Bunlar;

- Çekilen malzemenin cinsi
- Yağlama
- % Redüksiyon
- Matris ve matris açısı (Wright, 1976)

### **3.1.9. Akış Tipleri**

Genel anlamda sürtünme, birbirleri ile temas eden ve bağlı olarak hareket eden iki cismin temas yüzeylerinin hareketi veya hareket ihtimaline karşı gösterdiği dirençtir.

Mekanik işlemlerde, temas eden tel plastik deformasyona uğrar. Bu işlem esnasında tel daha sert olan matris yüzeyine sürtünerek kayar ve malzeme akışı meydana gelir. Yukarıda sayılan faktörler birbirleriyle iç içedir. Akışa etki eden bu faktörlerin incelenmesinde Şekil 3.15.'deki gibi dört çeşit ana akış tipi kabul edilmiştir.



Şekil 3.15. Akış tipleri (Sönmez, 1983)

Homojen bir malzemenin matristeki sürtünmesiz hareketi A tipine uygun bir akış oluşturmaktadır. Bu tip akış, koordinat sistemindeki minimum biçim değiştirmeye tekabül eden fevkalade bir düzgünlük ile ifade edilebilmektedir. Ancak pratikte bu tipteki kadar ideal bir duruma rastlanmaz. Fakat bu tip basitleştirici kabuller, özellikle teorik incelemelere temel teşkil ettiği için uygun olmaktadır. Akışın meydana gelişi hakkındaki hesaplamalar bu ideal şartlardan harekete geçirilerek bulunmuştur. Bu hesaplamalar pratik ile tatminkar benzerlikler göstermektedir.

B tipi akış; homojen malzemelerde, matriste sürtünmenin düşük olması şartının sağlandığı hallerde söz konusudur. Bu tip akma gösteren malzemeler; altın, gümüş, bakır gibi malzemelerdir. Şekil değiştirme bölgesi ilk olarak matrise yakın konumda ortaya çıkar. Çekilen telin ortasındaki şekil değiştirme bağıl olarak düzgündür, yani koordinat karelerinde yalnızca uzama durumu söz konusudur. Çekilecek telin çevresel bölgelerinde matris civarında koordinat karelerini uzun paralelogramlar haline getiren kayma gerilmeleri doğmaktadır.

B tipi akış, pratikte büyük önemi olan matris yüzeyi boyunca ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin malzeme hareketini frenlemesi durumu ortaya çıkmaktadır. Bu frenleme, matrisin kenar bölgesinde maksimumdan ve bu şekilde harekete çok az

katılan bir hacim oluşmaktadır. Matris yüzeyinde yapılan bir soğutma, şekil değiştirme direncinin yükselmesiyle açığı daha da büyütebilir. Ölü bölge açısına etki eden diğer bir büyüklük de çekme oranıdır. Çekme oranıyla kenar bölge malzemesinin yolu uzamakta ve bu şekilde çekilen teldeki kofluk oluşumu azalmaktadır.

C tipi akışta; akma tipinde matris yüzeyinde sürtünme vardır. Bunun pratikte küçük veya büyük oranda ortaya çıkacağı düşüncesi hakimdir. Bu tipe göre akma gösteren malzemelerde şekil değiştirme yalnız matris civarında değil, çekilecek tel yüzeyinde belli bir bölgede de olmaktadır. Bu bölgenin kalınlığı bazı faktörlere bağlıdır. Örneğin; çekilen malzemenin ısı iletme kabiliyetine, sıcaklığa bağlı olarak şekil değiştirme direncine yağlamaya vs. matris civarında büyük ölçüde kayarak şekil değiştirme olmaktadır. Ölü açısı ve yüksek sürtünme kuvvetleri telin merkezinin çabuk hareket etmesine neden olur. Bu bölgede telin kenarları ve sonuna nazaran şekil değiştirme yüksektir.

D tipi akışta, akma tipinin karakteristik özelliği, matris civarındaki sürtünmenin yanında, ya şekil değiştirme direncinin ya da çekilecek telin kenar bölgelerinde oluşan faz değişimlerinin neden olduğu homojensizliktir. Bu akma tipinde ikiz oluşumu meydana gelmekte; bu tipe göre akan malzemelerin çekilmesinde büyük zorluklar ortaya çıkmakta ve yüksek maliyetli kullanılmayan malzeme oluşmaktadır. Akma durumu incelendiğinde büyük homojensizlikler nedeniyle, şekil değiştirmenin hem kesit hem de tel boyunca homojen olmadığı görülmektedir (Bodur, 1975).

### **3.1.10. Akma Dayanımı**

Akma dayanımı, metallerin ve alaşımların belirli bir miktarda elastik biçim değiştirdikleri dayanım olarak mühendislik tasarımları için önemli bir değerdir. Gerilme şekil değiştirme esnek çizgisinde, çekilmiş tel gevreklediğinden dolayı akmanın başladığı kesin bir nokta olmadığından, akma sınırı belirli bir miktarda kalıcı biçim değiştirmenin meydana geldiği nokta olarak kabul edilir. Gerilme şekil

değiştirme çizgisinde akma dayanımı %0.2 kalıcı biçim değiştirmenin meydana geldiği nokta olarak kabul edilmiştir.

%0.2 akma dayanımı aynı zamanda %0.2 kalıcı gerilme dayanımı olarak da adlandırılır ve mühendislik gerilme şekil değiştirme diyagramlarından bulunur. Önce gerilme şekil değiştirme çizgisinin 0.002 cm/cm gerilme noktasından esnek (doğrusal) kısmına paralel bir çizgi çizilir, daha sonra bu çizginin gerilme - gerilme eğrisinin üst kısmını kestiği noktadan gerilme eksenine bir paralel çizilir. Bu doğrunun gerilme eksenini kestiği nokta %0.2 kalıcı şekil değiştirme akma dayanımıdır. %0.2 kalıcı şekil değiştirmedeki akma dayanımının tercihe bağlı olduğu ve herhangi bir diğer küçük miktarda kalıcı biçim değiştirmenin de seçilebileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Weissevach, 1996).

TS 708 IV-bs'e göre, standart minimum akma dayanımı 500 MPa olarak alınmıştır.

### **3.1.11. Çekme Dayanımı**

Çekme dayanımı mühendislik gerilme – gerilme çizelgesinde ulaşılabilecek en yüksek noktadır. Mühendislik gerilmesi numunenin başlangıçtaki kesitini temel aldığından, eğer numune kesitinde bölgesel bir daralma olursa (yaygın olarak boyun verme denir) kopmaya kadar, gerilme arttıkça mühendislik gerilmesi küçülecektir. Daha sünek malzemeler kırılmadan önce daha fazla boyun verecek dolayısıyla, gerilme şekil değiştirme eğrisinde gerilme en yüksek gerilmeden daha fazla bir düşüş gösterecektir. Mühendislik gerilme şekil değiştirme çizelgelerinde önemli bir nokta metal ve alaşımlarda, gerilmenin kopmaya kadar gittikçe artmakta olmasıdır. Çekme dayanımına ulaşılmadan önce numune, çok fazla kalıcı biçim değiştirme gösterdiğinden, çekme dayanımı mühendislik tasarımlarında pek fazla kullanılmaz. Fakat çekme dayanımı malzemede bulunan kusurlar hakkında bilgi verebilir.

TS 708 IV-bs' e göre, standart minimum çekme dayanımı 550 MPa olarak alınmıştır.

### 3.1.12. Yüzde Kopma Uzaması

Bir çekme numunesinin deney esnasında uzadığı miktar, metalin sünekliği hakkında bilgi verir. Metallerin sünekliğinin en yaygın ifade şekli çoğunlukla 50 mm' lik bir ölçüm boyunun uzama miktarıdır. Genellikle süneklik arttıkça, metal daha fazla biçim değiştireceğinden yüzde uzama artar. Çekme deneyi sırasında deneydeki numunenin gerilmesi bir uzama ölçer ile sürekli olarak ölçülür. Kırılma sonrası yüzde uzama ise kırılan numune parçaları bir araya getirilerek kumpasla ölçülür. Yüzde uzama şu eşitlikten hesaplanır.

$$\% A_5 = \frac{\text{Son uzunluk} - \text{Başlangıç uzunluğu}}{\text{Başlangıç uzunluğu}} \% 100 = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \quad (3.2)$$

Kırılmadan yüzde uzama, sadece sünekliğin belirlenmesi için değil, metalin kalitesinin bir göstergesi olduğu için de önemlidir. Eğer metalde gözeneklilik ve kalıntılar varsa ve metalin aşırı ısıtılması metali bozmuşsa deney parçasının yüzde uzaması normalde olması gereken değerden daha düşük olacaktır.

TS 138'e göre, standart minimum % uzama değeri genel olarak % 5' dir. Ancak deprem riski yüksek bölgelerde kullanılacak çelik çubukların % uzama değeri minimum % 8 olmalıdır.

### 3.1.13. Yüzde Kesit Daralması

Metalin sünekliği aynı zamanda alanı yüzde daralma miktarı ile ifade edilebilir. Deneyden sonra daralan kırılma yerindeki çap ölçülür. Başlangıç ve son çaplar ölçülerek yüzde kesit daralması şu eşitlikten hesaplanmaktadır.

$$\% \text{ Kesit daralması} = \frac{\text{Başlangıç kesiti} - \text{Son kesit}}{\text{Başlangıç kesiti}} \% 100 = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \quad (3.3)$$

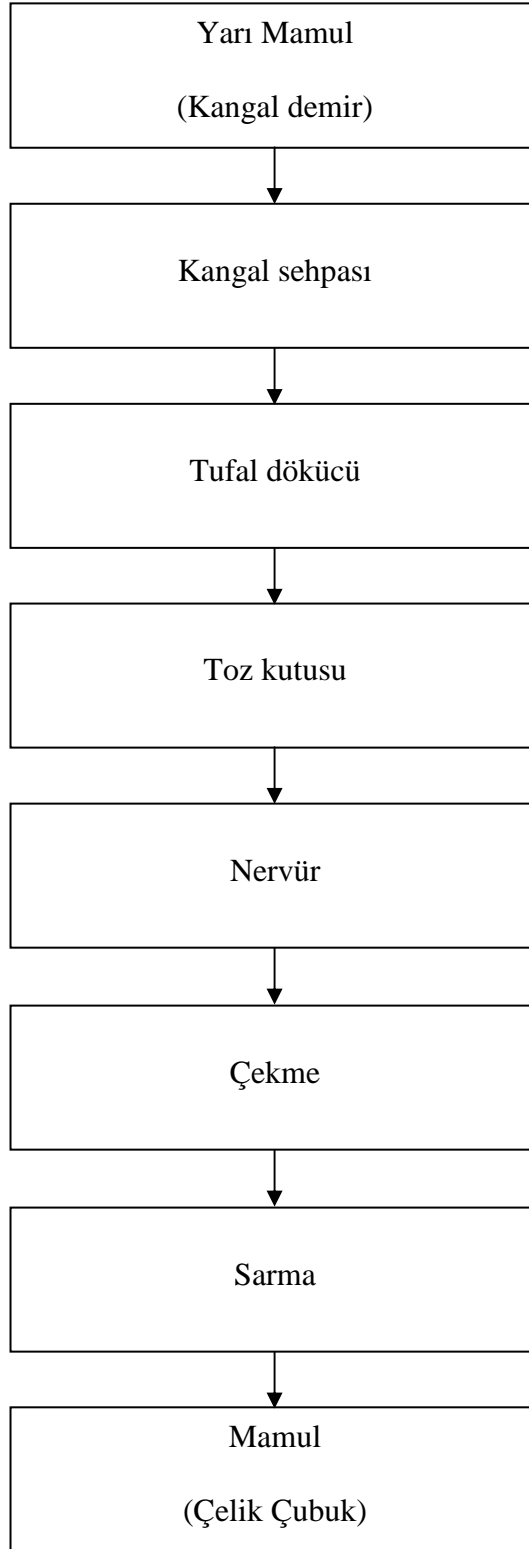


Kangal demirinin kesiti  $S_0$  ve çekilen telin kesiti  $S_1$  olarak kabul edilerek yüzde kesit daralması hesaplanmaktadır. Kesitteki yüzde daralma, yüzde uzama gibi, metalin sünekliğinin ve kalitesinin bir ölçüsüdür. Ancak tel çekme işleminde, % kopma uzama değeri daha önemlidir.

### **3.2. Metot**

Çalışmada kullanılan nervürlü çubuklar filmaşın kangallar halindeyken kangal demir çap ve cinslerine göre sınıflandırılarak farklı hız durumlarına göre tel çekme işlemine tabi tutulmuşlardır. Tel çekme işlemi iş akış şeması Şekil 3.16' da gösterilmiştir.

### 3.2.1. İş Akış Şeması



Şekil 3.16. Tel çekme işlemi iş akış şeması

Şekil 3.16’da şeması gösterilen tel çekme işleminde kullanılan kangal sehvası Şekil 3.17’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Kangal sehvası

Kangal sehvası kangalları çözmede kullanılmaktadır. Şekil 3.18’ de gösterildiği gibi kule tip veya yatık tip olmak üzere iki çeşittir. Hem yerden kazandırması hem de hızlı çekim için daha kullanışlı olması bakımından son zamanlarda kule tip kullanımı yaygınlaşmaktadır. Kangal sehvasına yerleştirilen kangal halindeki tel kule yardımıyla doğrultulur. Şekil 3.16’da şeması gösterilen tufal dökücü, Şekil 3.18’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Tufal dökücü

Haddehanelerde fırından çıkan telin üzerinde havayla temas sonucunda cüruf (tufal) birikir. Tel çekme işlemini olumsuz etkilediği cürufun giderilmesi gerekir. 2 hareketli, 2 sabit makara yardımıyla tel bükülerek cüruf dökülmektedir. Hızlı çekimlerde özellikle matrisin aşınma ve/veya patlamalarının önüne geçebilmek

amacıyla Şekil 3.18’ de gösterilen dikey tip tufal dökücülerle birlikte yatık tip tufal dökücüler de kullanılmaktadır. Şekil 3.16’da şeması gösterilen tel çekme işleminde kullanılan toz kutusu, Şekil 3.19’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Toz kutusu

Matrisin de içinde bulunduğu toz yağlayıcının konulduğu bir kutudur. Matris aşınmasını geciktirmek için hem suyla soğutulan hem de matrisi yağlama amaçlı toz yağlayıcı kullanılmaktadır. Özellikle nemli havalarda kuru tip sabunda topaklaşmalar meydana gelmektedir, bu durum yetersiz yağlamaya ve matrisin patlamasına neden olmaktadır. Bu nedenle topaklaşmayı önlemek için tozu karıştıran tipteki toz kutuları tercih edilmektedir. Üzeri tozla kaplanan ve matristen geçerken çapı düşürülen tele, Şekil 3.20’ de gösterilen nervür makinesinde nervür şekli verilmektedir.



Şekil 3.20. Nervür

Telin nihai çapı burada verilmektedir. Tele nervür şeklini kazandırmak amacıyla; 120° lik açıyla yerleştirilmiş 3 adet düz disk yardımıyla üçgenimsi form, aynı şekilde 120° lik açıyla yerleştirilmiş nervür diskleri yardımıyla da tırtır formu verilmektedir. Tel disklerin arasından geçerken, disklerin tele yaptığı baskı artırılarak veya azaltılarak istenilen çapta yuvarlak nervürlü tel elde edilmektedir. Şekil 3.16’da şeması gösterilen çekme makinesi, Şekil 3.21’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Çekme

Tel çekme işleminde hareketi sağlayan motor ve teli aktaran tamburdan oluşur. Tamburun konumuna göre dikey ve yatay tipleri de kullanılmaktadır. Çekme makinesi, sarma makinesi ile hız kontrol sürücüleri yardımıyla akuple çalıştırılarak telin gerilip kopması ya da gevşeyip sarma makinesinden boşalması engellenmektedir. Şekil 3.16’da şeması gösterilen sarma, Şekil 3.22’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Sarma

Nervürlü telin sarıldığı makara ve düzgün sarmayı sağlayan gezdirici mekanizmasından oluşmaktadır. Olası kaza ve yaralanmaların önüne geçebilmek amacıyla, makaranın üzeri korkulukla kapatılmaktadır. Bir makaraya ortalama 1500 kg tel sarılmaktadır. Makaraya sarılan nervürlü tel doğrultularak çekme deneyinde kullanılmak üzere uygun ölçülerde kesilmektedir.

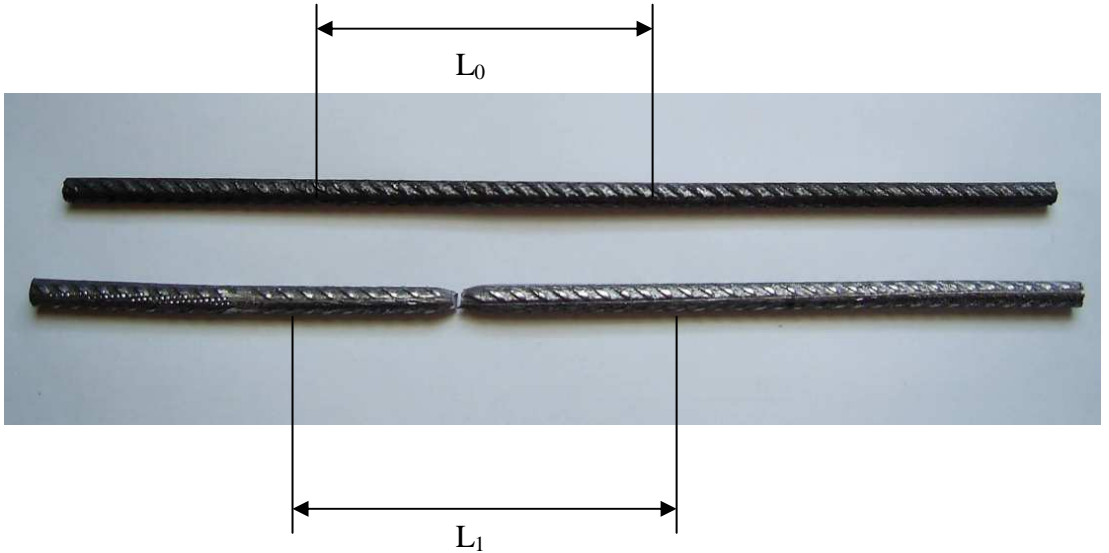
### 3.2.2. Çekme Numuneleri

Deney çubuğu olarak 250 mm uzunluğunda nervürlü çubuklar kullanılmış, ve numunelerin ağırlığı tartılarak aşağıdaki çizelge yardımıyla anma çapı ve kesiti bulunmuştur.

Çubukların önemli olan boyutları ölçü boyu ( $L_0$ ) ve çapı  $d_0$ ' dir. Bu ikisi arasında sabit bir oran mevcuttur. Numune çubuğun ilk uzunluğu ( $L_0$ ) ve son uzunluğu ( $L_1$ ) Şekil 3.23' de verilmiştir.

$$L_0 = 5 d_0 \text{ (kısa orantılı çubuklar için)}$$

$$L_0 = 10 d_0 \text{ (uzun orantılı çubuklar için)}$$



Şekil 3.23. Numunenin ilk ve son uzunluğu

Yapılan deneylerde uzun orantılı çubuklar için geçerli olan eşitlik  $L_0 = 10 d_0$  kullanılmıştır. Ölçü boyu çizilerek ve noktalanarak çapa göre  $L_0$  uzunluğu belirlenmiştir.

Numune (deney parçası), TS 138 standartlarına uygun olarak çekme makinesinin içerisindeki sıkıştırma çenelerine eğmeden takılır ve sürekli olarak etkiyen bir çekme kuvveti ile kopma meydana gelinceye kadar uzatılır. Şekil 3.24' de deneylerde kullanılan çekme cihazı verilmiştir. Deneylerde kullanılan üniversal çekme cihazı her sene periyodik olarak kalibre edilmektedir ve teknik özellikleri Çizelge 3.5' de verilmiştir.



Şekil 3.24. Üniversal çekme cihazı

Çizelge 3.5. Üniversal çekme cihazının teknik özellikleri

Çeneler arası uzunluk	200 mm
Çeneler arası maksimum uzunluk	260 mm
Boşta motor devri	0-200 d/d
Yükte motor devri	0-1000 d/d
Motor gücü	0.55 kW
Piston kesit alanı	50 cm <sup>2</sup>
Uygulanabilen kuvvet	10-20-40 kN

Başlangıçta numune elastik olarak uzar. Bu anda numuneye etkiyen yükler kaldırılacak olursa, ölçü işaretlerinin arasındaki uzaklığın ( $L_0$ ) olduğu görülür. Elastik uzunluk değişimi çok küçüktür. Daha büyük kuvvetlerin etki etmesiyle, elastik uzama üzerine plastik (kalıcı) uzama da eklenir. Bu durumda yük kaldırılırsa, ölçü işaretleri arasındaki mesafe sadece elastik uzama miktarı kadar kısalmış, fakat yine de  $L_0$ ' dan daha uzun durumdadır.

Kuvvetin daha da artması sonucu, yaklaşık olarak numunenin ortasında, bölgesel olarak bir kesit daralması, yani büzülme meydana gelir. Kısa bir müddet sonra bu noktada kopma olayı görülür.

### 3.2.3. Sertlik

Bütün metallerde ve özellikle çelikte sertlik soğuk şekillendirme ve ısı işlem sonucu geniş sınırlar içerisinde değişmektedir. Sertlik değerleri malzemenin iç yapı durumu hakkında sonuçlar çıkartabilmek için gereklidir. Esas olarak, batıcı bir cismin belirli bir kuvvetle parça içerisine batırılmasıyla meydana gelen iz üzerinde bir ölçü değeri okunur ve buradan da sertlik hesaplanmaktadır (Weissevach, 1996).



Numune temiz yüzeyli basma tepsisi üzerine yükleme yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmektedir. Batıcı uç numuneye değiştirilerek ölçü saati sıfıra ayarlanır. Ölçme aletleri bu durumda manivela sistemi üzerinden batıcı uca deney ön yükü uygulayacak şekilde ayarlanmaktadır. Deney yükü uygulamak için manivela sistemine bağlı mandal boşa çıkartılmaktadır, batıcı uç deney ön yükü etkisi ile numuneye belirli bir miktar daha gömülü kalmaktadır. Kalıcı iz derinliğini belirlemek amacıyla mandal ilk konumuna geri alınmaktadır. Ölçme saatinden okunan değer numunenin sertlik değeridir.

Sertlik ölçümleri; kangal demirler için yüzeye en yakın bölgeden, çelik çubuklar için iki nervür tepesi arasından ve yüzeye en yakın bölgeden Rockwell B (HR<sub>B</sub>) skalası kullanılarak yapılmaktadır.

#### 3.2.4. Soğuk Deformasyon Oranı

Tel çekme işleminde soğuk çekilmiş malzemenin mekanik özellikleri üzerinde çok sayıda parametre etkili olmakla birlikte, soğuk deformasyon oranı ( $\epsilon_p$ ) en etkili parametredir.

Tel çekme işleminde ara tavlama yapılmadığı sürece deformasyon oranı ile birlikte malzemenin akma dayanımı yükselmektedir. Böylece istenilen oranlarda deformasyon miktarı verilerek ürünün mukavemet ve sertlik değerleri kontrol edilebilmektedir. Zira soğuk işleminde deformasyon oranı büyüdükçe malzeme dayanımındaki artış fazla olmaktadır. Bu artış beraberinde sertlik artışını getirerek malzemenin şekil alma kabiliyetini azaltmaktadır. Soğuk deformasyon oranı şu eşitlikten hesaplanmaktadır.

$$\text{Soğuk Deformasyon Oranı} = \epsilon_p = \ln \frac{S_0}{S_1} \quad (3.4)$$

Burada  $S_0$  ilk kesiti,  $S_1$  tel çekme sonrasında elde edilen kesiti göstermektedir (Varol, 1995).

### 3.2.5. İç Yapı

Mikroskop altında 25 ... 1000 defa büyütme sonucu kristallerin tane byklg ve Şekli görülebilmektedir. Bunun için metalik numune ısıtılmaksızın, giderek daha ince zımpara kağıdı ile zımparalanır ve en sonunda parlatılarak iç yapı muayenesine hazır hale getirilmektedir. Küçük metalik numuneler bu işlemler yapılmadan önce bakalite alınmaktadır.

ZımparalanmıŐ yüzey mikroskop altında incelendiğinde sadece çizikler görülebilmekte, tek tek kristeller görülememektedir. Bu nedenle, parlatılmış numune 3 ml HNO<sub>3</sub> ve 100 ml Etanol (%2-3 Nital) karışımı yardımıyla yaklaşık 60 sn süren dağlamadan sonra mikroskobun altına yerleŐtirilerek muayene gerçekleştirilmektedir.

#### 4. BULGULAR

TS 708' de çelik çubuklarda partiden alınacak numune sayısı belirtilmektedir. Buna göre; bir partide, 50 tona kadar çelik çubuk üretilecekse 2 numune, 51-100 ton çubuk üretilecekse 4 numune alınmalıdır. Çubuk üretimi 35 - 80 ton arasında gerçekleştiği için, çekme deneyi 5 farklı durum için 3' er çubukla tekrarlanmış ve ekteki sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıda her durum için sonuçlar çizelge ve grafiklerle verilmiş ve yorumlanmıştır. Deney sonuçlarının detayları ektedir.

##### 4.1. Kangal Demir Cinsi Farklı, Hız Sabit ve Çubuk Çapı Aynı Durumu

Kangal demir cinsi farklı, hız ve çubuk çapı aynı durumu için elde edilen bulgular Çizelge 4.1' de özet halinde verilmiştir. Detaylı bulgular Ek-1' de verilmiştir. Bu değerlere göre, oluşturulan Çizelge 4.2' de SAE 1010 ve SAE 1008 çubuklar için ortalama akma dayanımı, ortalama çekme dayanımı ve ortalama % uzama değerleri verilmiştir. Çubuğun % uzama değerleri kangal demirden küçük olduğu için % artış değeri negatiftir.

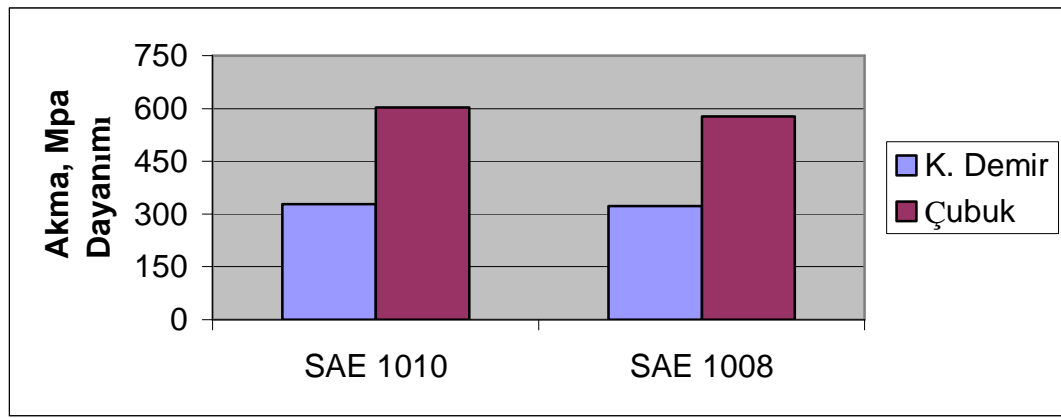
Çizelge 4.1. Kangal demir cinsi farklı, hız ve çubuk çapı aynı durumu için sonuçlar

Çap , mm		Kangal demir cinsi	Hız, v m / s	Akma dayanımı ( $R_{p0.2}$ ), MPa		Çekme dayanımı ( $R_m$ ), MPa		%A <sub>5</sub> Kopma uzaması	
K. Demir	Çubuk			K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk	K.Demir	Çubuk
Ø8	Ø7	SAE 1010	3.6	329,6	603,4	478,9	654,1	34,6	8,5
Ø8	Ø7	SAE 1010	3.6	345	610,5	480,1	664,2	32,6	10
Ø8	Ø7	SAE 1010	3.6	314	595,9	435,4	646,4	33,8	10
Ø8	Ø7	SAE 1008	3.6	326	581,7	461,4	637,9	35,4	8,5
Ø8	Ø7	SAE 1008	3.6	311,9	566,4	440,2	631,5	35,2	10
Ø8	Ø7	SAE 1008	3.6	330,6	586,4	461,4	647,2	35,4	10

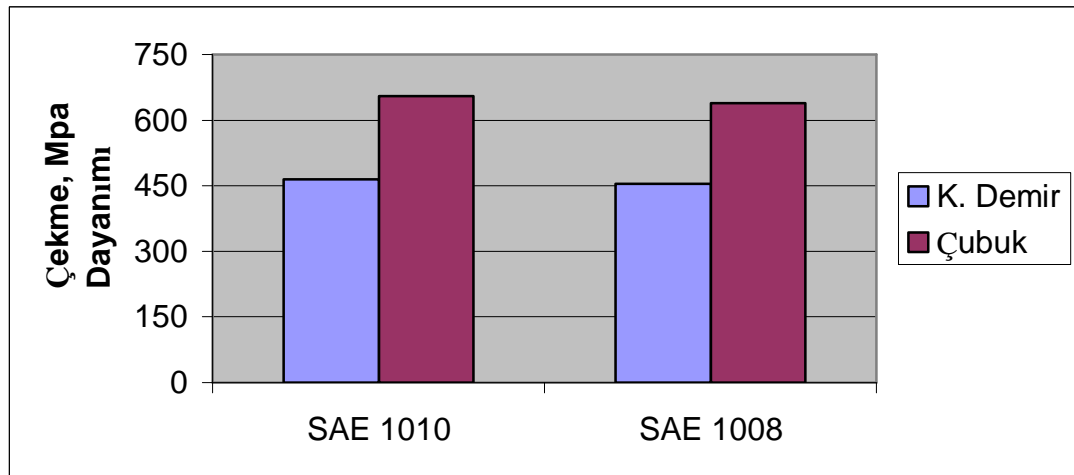
Çizelge 4.2. SAE 1010 ve SAE 1008 çubuklar için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % kopma uzaması değerleri ve artış oranları

	Akma dayanımı ( $R_{p0,2}$ ), MPa			Çekme dayanımı ( $R_m$ ), MPa			Kopma uzaması, % $A_5$		
	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış
SAE 1010	329,5	603,3	54	464,8	654,9	29	33,7	9,5	-72
SAE 1008	322,8	578,2	44	454,3	638,8	29	35,3	9,5	-73

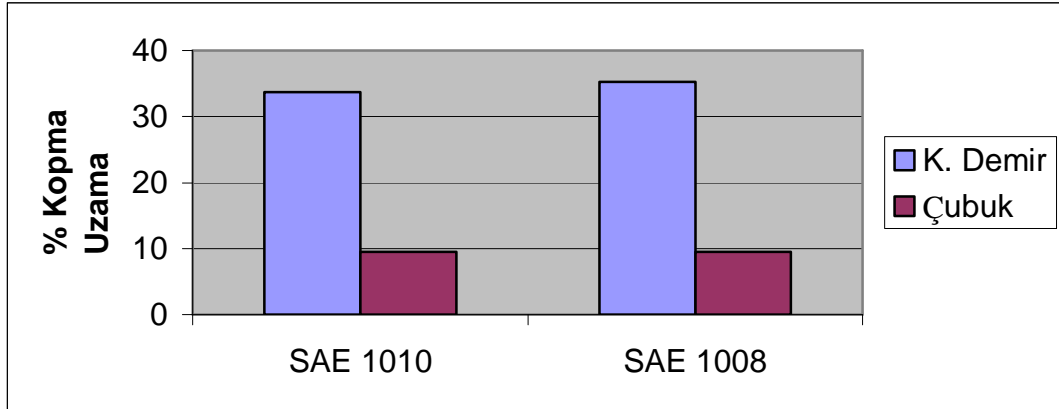
Çizelge 4.2' deki akma, çekme ve % uzama değerleri, Şekil 4.1 - 4.3' de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.1. SAE 1010 – SAE 1008 çubuklar için ortalama akma dayanımı grafiği



Şekil 4.2. SAE 1010 – SAE 1008 çubuklar için ortalama çekme dayanımı grafiği



Şekil 4.3. SAE 1010 – SAE 1008 çubuklar için ortalama % kopma uzaması grafiği

Kangal demir cinsi farklı, hız ve çubuk çapı aynı olduğu durumda; %C miktarı azaldıkça çubuğun akma ve çekme dayanımları da azalmaktadır. Ancak dikkat edilmesi gereken husus, bazı numunelerde özellikle akma dayanımında yaklaşık iki kat bir artış olduğudur. Çekme deneyine tabi tutulan SAE 1008 ve SAE 1010 numuneler Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çekme deneyinde kullanılan SAE 1008 numune



Şekil 4.5. Çekme deneyinde kullanılan SAE 1010 numune

#### 4.2. Kangal Demir Cinsi ve Hız Aynı, Çubuk Çapı Farklı Durumu

Kangal demir cinsi ve hız aynı, çubuk çapı farklı durumu için elde edilen bulgular Çizelge 4.3’ de özet halinde verilmiştir. Detaylı bulgular Ek-2’ de verilmiştir. Bu değerlere göre, oluşturulan Çizelge 4.4’ de  $\text{Ø}6\text{-Ø}5$  mm ve  $\text{Ø}6\text{-Ø}4.5$  mm çubuklar için

ortalama akma dayanımı, ortalama çekme dayanımı ve ortalama % kopma uzama değerleri verilmiştir. Çubuğun % kopma uzama değerleri kangal demirden küçük olduğu için % artış değeri negatiftir.

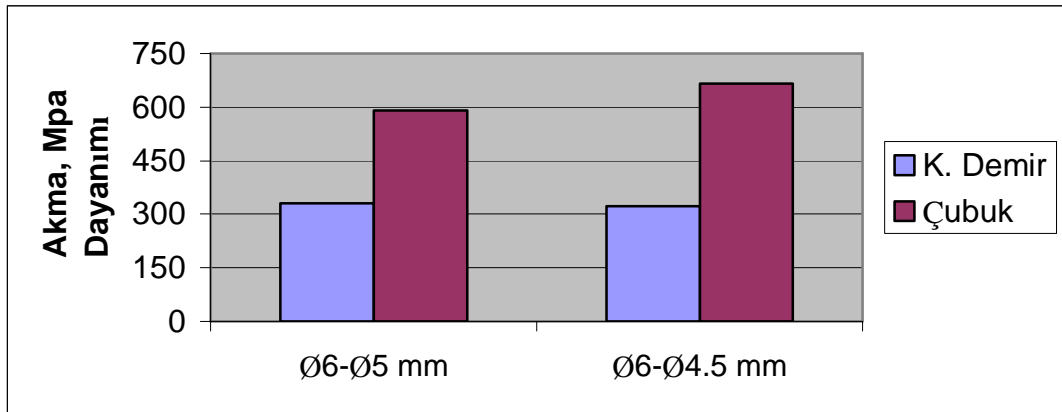
Çizelge 4.3. Kangal demir cinsi ve hız aynı, çubuk çapı farklı durumu için sonuçlar

Çap , mm		Kangal demir cinsi	Hız, v m / s	Akma dayanımı ( $R_{P0,2}$ ), MPa		Çekme dayanımı ( $R_m$ ), MPa		%A <sub>5</sub> Kopma uzaması	
K. Demir	Çubuk			K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk
Ø6	Ø5	SAE 1010	5.0	348	608,5	482	669,3	33	10
Ø6	Ø5	SAE 1010	5.0	333,6	592	482,1	652,2	31,8	10
Ø6	Ø5	SAE 1010	5.0	314	573,7	447,7	689,4	33,2	8
Ø6	Ø4.5	SAE 1010	5.0	314	649,7	432,6	747,2	33,6	8,8
Ø6	Ø4.5	SAE 1010	5.0	318,8	660,3	463,6	738,9	32,4	8,8
Ø6	Ø4.5	SAE 1010	5.0	331,5	685,3	481,2	747,2	33,6	8,8

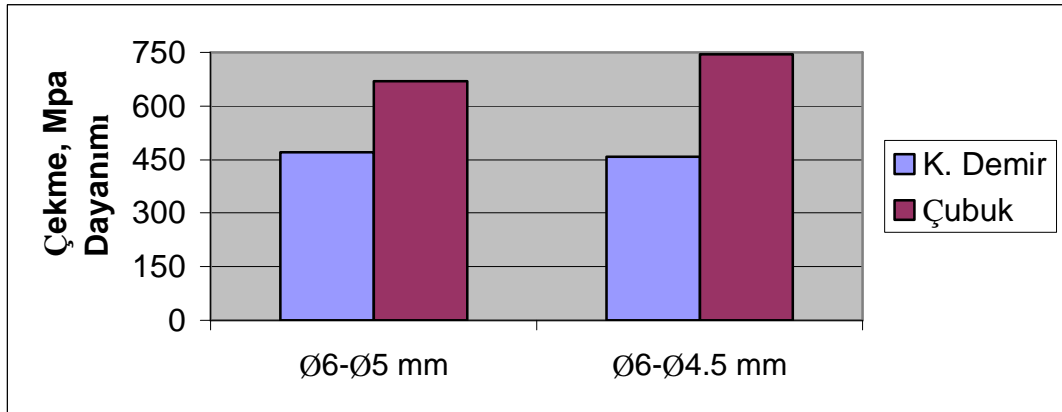
Çizelge 4.4. Ø6-Ø5 mm ve Ø6-Ø4.5 mm çubuklar için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları

	Akma dayanımı ( $R_{P0,2}$ ), MPa			Çekme dayanımı ( $R_m$ ), MPa			Kopma uzaması, % A <sub>5</sub>		
	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış
Ø6-Ø5 mm	331,8	591,4	44	470,6	670,3	30	32,7	9,3	-72
Ø6-Ø4.5 mm	321,4	665,1	52	459,1	744,4	38	33,2	8,8	-73

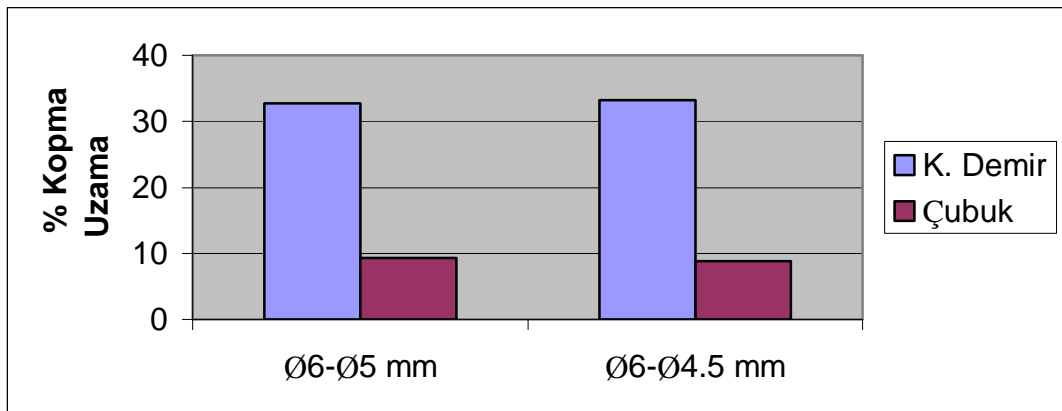
Kangal demir cinsi ve hız aynı, çekilen çubuk çapı farklı olduğunda, çubuk kesiti küçüldüğünde redüksiyon oranı yüksek olacağından, akma ve çekme dayanımlarında dikkate değer bir artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, redüksiyon oranı yüksek olan çubuk gevrek olacağından, % kopma uzama değeri de nispeten düşüktür. Çizelge 4.4' deki akma, çekme ve % kopma uzama değerleri, Şekil 4.6 – 4.8' de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Ø6-Ø5 mm ve Ø6-Ø4.5 mm çubuklar için ortalama akma dayanımı grafiği



Şekil 4.7. Ø6-Ø5 mm ve Ø6-Ø4.5 mm çubuklar için ortalama çekme dayanımı grafiği



Şekil 4.8. Ø6-Ø5 mm ve Ø6-Ø4.5 mm çubuklar için ortalama % kopma uzaması grafiği

Çekme deneyinde kullanılan  $\text{Ø}6\text{-Ø}5$  mm ve  $\text{Ø}6\text{-Ø}4.5$  mm numuneler Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Çekme deneyinde kullanılan  $\text{Ø}6\text{-Ø}5$  mm numune



Şekil 4.10. Çekme deneyinde kullanılan  $\text{Ø}6\text{-Ø}4.5$  mm numune

### 4.3. Hız ve Çubuk Çapı Aynı, Kangal Demir Çapı Farklı Durumu

Hız ve çubuk çapı aynı, kangal demir çapı farklı durumu için elde edilen bulgular Çizelge 4.5' de özet halinde verilmiştir. Detaylı bulgular Ek-3' de verilmiştir. Bu değerlere göre, oluşturulan Çizelge 4.6' da  $\text{Ø}8\text{-Ø}6$  mm ve  $\text{Ø}7\text{-Ø}6$  mm çubuklar için ortalama akma dayanımı, ortalama çekme dayanımı ve ortalama % kopma uzama değerleri verilmiştir. Çubuğun % kopma uzama değerleri kangal demirden küçük olduğu için % artış değeri negatiftir.

Çizelge 4.5. Hız ve çubuk çapı aynı, kangal demir çapı farklı durumu için sonuçlar

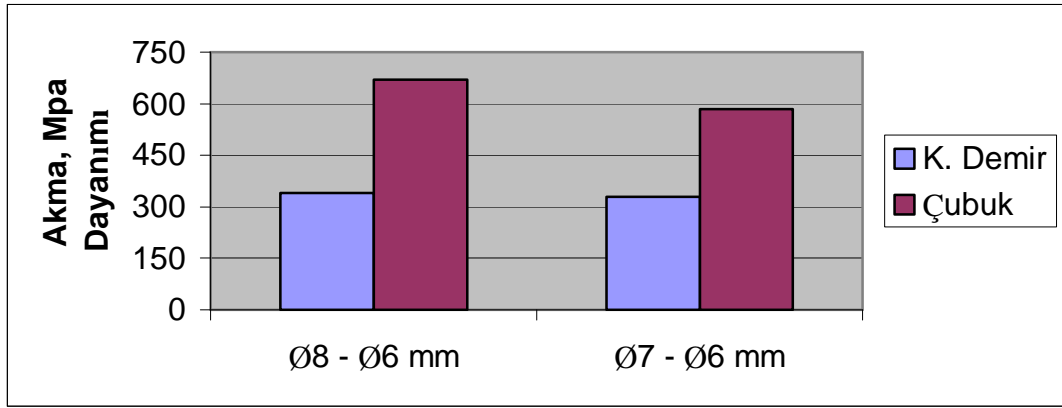
Çap , mm		Kangal demir cinsi	Hız, v m / s	Akma dayanımı ( $R_{p0.2}$ ), MPa		Çekme dayanımı ( $R_m$ ), MPa		%A <sub>5</sub> Kopma uzaması	
K. Demir	Çubuk			K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk
Ø8	Ø6	SAE 1010	2,4	340,1	677,8	482	713,5	35	6,6
Ø8	Ø6	SAE 1010	2,4	332,2	652,9	453,6	714,7	34,4	6,6
Ø8	Ø6	SAE 1010	2,4	348	678,6	482	733,6	34,6	8,3
Ø7	Ø6	SAE 1010	2,4	315	578,9	454,9	643,3	33,6	8,3
Ø7	Ø6	SAE 1010	2,4	327,9	583,5	451,1	637,7	33	8,3
Ø7	Ø6	SAE 1010	2,4	348	588,6	482	632,1	32	10



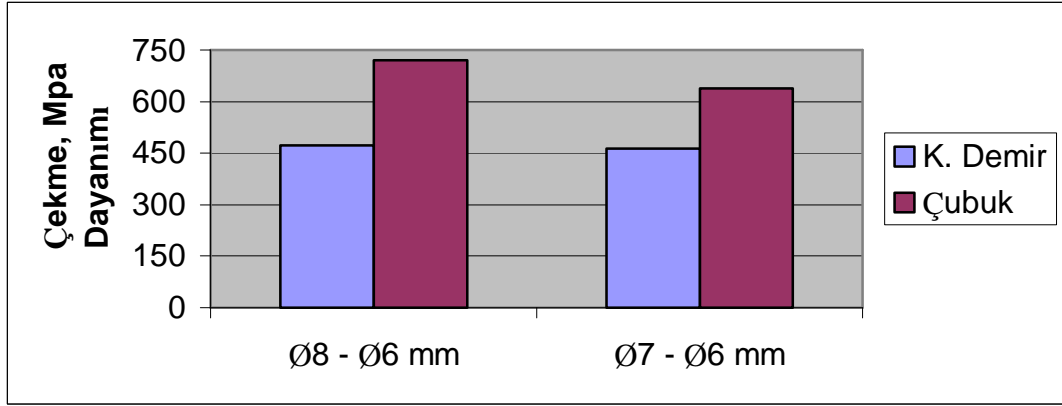
Çizelge 4.6. Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları

	Akma dayanımı ( $R_{P0,2}$ ), MPa			Çekme dayanımı ( $R_m$ ), MPa			Kopma uzaması, % $A_5$		
	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış
Ø8-Ø6 mm	340,1	669,8	49	472,5	720,6	34	34,7	7,2	-79
Ø7-Ø6 mm	330,3	583,6	43	462,6	637,7	27	32,9	8,9	-73

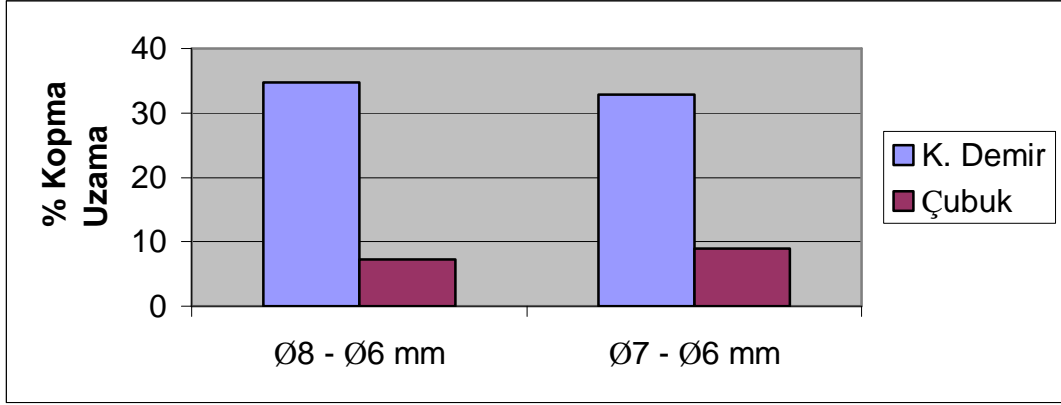
Çizelge 4.6' daki akma, çekme ve % kopma uzama değerleri, Şekil 4.11 - 4.13' de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm çubuklar için ortalama akma dayanımı grafiği



Şekil 4.12. Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm çubuklar için ortalama çekme dayanımı grafiği



Şekil 4.13. Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm çubuklar için ortalama % kopma uzaması grafiği

Kangal demir cinsi, hız ve çubuk çapının aynı fakat kangal demir çapının farklı olduğu durumda kangal demir çapı küçüldükçe mekanik özelliklerde düşüş görülmektedir. Bunun nedeni Ø7 – Ø6 durumundaki redüksiyon oranının Ø8– Ø6 durumuna göre daha küçük olmasıdır. Çekme deneyinde kullanılan Ø8-Ø6 mm ve Ø7-Ø6 mm numuneler Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Çekme deneyinde kullanılan Ø8-Ø6 mm numune



Şekil 4.15. Çekme deneyinde kullanılan Ø8-Ø6 mm numune

#### 4.4. Kangal Demir ve Çubuk Çapı Aynı, Hız Farklı Durumu

Kangal demir ve çubuk çapının aynı, hızın farklı olması durumu için elde edilen bulgular Çizelge 4.7’ de özet halinde verilmiştir. Detaylı bulgular Ek-4’ de

verilmiştir. Bu değerlere göre, oluşturulan Çizelge 4.8' de  $v=3.6$  m/s ve  $v=2.4$  m/s hız değerlerinde çekilen çubuklar için ortalama akma dayanımı, ortalama çekme dayanımı ve ortalama % kopma uzama değerleri verilmiştir. Çubuğun % kopma uzama değerleri kangal demirden küçük olduğu için % artış değeri negatiftir.

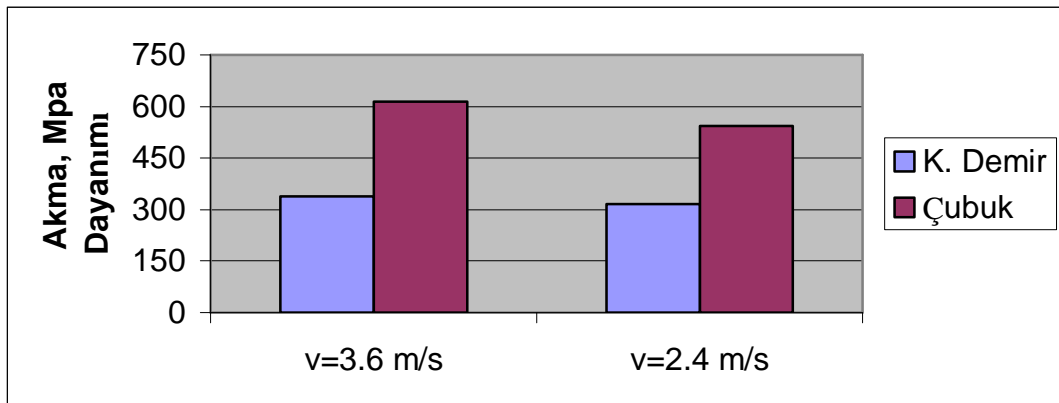
Çizelge 4.8' deki akma dayanımı, çekme dayanımı ve % kopma uzama değerleri, Şekil 4.16 - 4.18' de grafik halinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Kangal demir ve çubuk çapının aynı, hız farklı durumu için sonuçlar

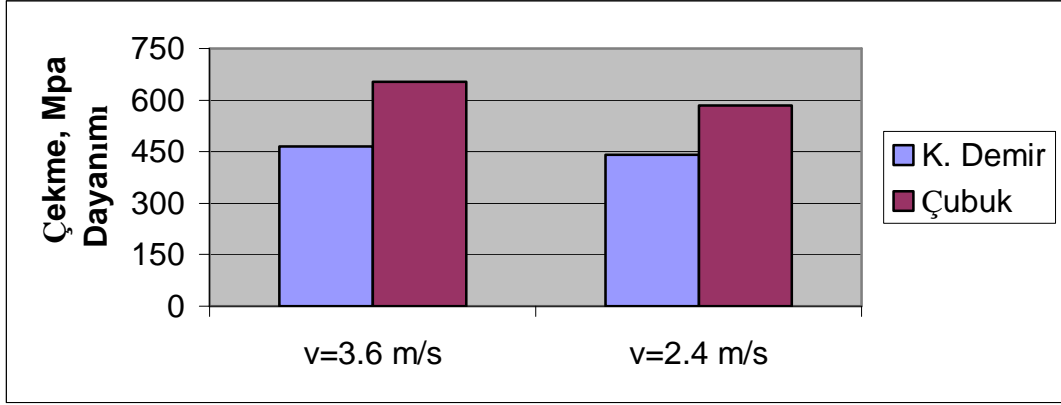
Çap , mm		Kangal demir cinsi	Hız, v m / s	Akma dayanımı ( $R_{P0,2}$ ), MPa		Çekme dayanımı ( $R_m$ ), MPa		%A <sub>5</sub> Kopma uzaması	
K. Demir	Çubuk			K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk
Ø9	Ø8	SAE 1010	3.6	348	622,9	473,7	656,9	35,76	7,5
Ø9	Ø8	SAE 1010	3.6	342,6	618,5	453,5	657,4	33,8	7,5
Ø9	Ø8	SAE 1010	3.6	325,2	601,9	470,9	644,9	33,4	7,5
Ø9	Ø8	SAE 1010	2.4	314	540,5	440,2	580,2	36,7	8,7
Ø9	Ø8	SAE 1010	2.4	314	534	429,1	584,5	36	10
Ø9	Ø8	SAE 1010	2.4	322,5	555,9	453,8	590,2	33,8	10

Çizelge 4.8.  $v=3.6$  m/s ve  $v=2.4$  m/s durumu için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları

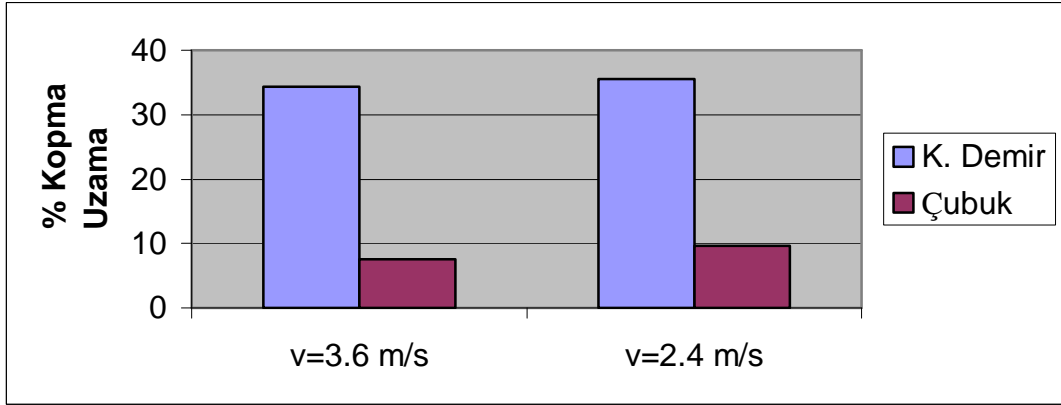
	Akma dayanımı ( $R_{P0,2}$ ), MPa			Çekme dayanımı ( $R_m$ ), MPa			Kopma uzaması, % A <sub>5</sub>		
	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış
$v=3.6$ m/s	338,6	614,5	45	466	653	29	34,3	7,5	-78
$v=2.4$ m/s	316,8	543,5	41	441	585	24	35,5	9,6	-73



Şekil 4.16.  $v=3.6$  m/s ve  $v=2.4$  m/s hızla çekilen çubuklar için ortalama akma dayanımı grafiği



Şekil 4.17. v=3.6 m/s ve v=2.4 m/s hızla çekilen çubuklar için ortalama çekme dayanımı grafiği



Şekil 4.18. v=3.6 m/s ve v=2.4 m/s hızla çekilen çubuklar için ortalama % kopma uzaması grafiği

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (4.1)$$

Kangal demir ve çubuk çapının aynı, hızın farklı olduğu durumda hız arttıkça mekanik özelliklerde artış görülmektedir. Bunun nedeni, denklem 4.1' deki n pekleşme üstelinin artan şekil değiştirme hızıyla azalmasıdır. Akma sınırı ve çekme dayanımı artan şekil değiştirme hızına bağlı olarak yükselir. Şekil değiştirme hızının mekanik özelliklere etkisi oda sıcaklığında nispeten az, yüksek sıcaklıklarda ise oldukça büyüktür (Çapan, 1989).

Hız artışıyla matris ve çevresinde meydana gelen sıcaklık etkisiyle çubuğun akışı kolaylaşır ve tel çekme için gerekli kuvvet azalır. Hız artışı aynı zamanda birim

zamandaki üretim miktarını artırması açısından da faydalıdır. Ancak hız artışı ile birlikte yeterli soğutma ve yağlama yapılmaması halinde matris aşınmaları artabilir.

Çekme deneyinde kullanılan  $v=3.6$  m/s ve  $v=2.4$  m/s hızla çekilen numuneler Şekil 4.19 ve Şekil 4.20' de gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Çekme deneyinde kullanılan  $v=2.4$  m/s hızla çekilen numune



Şekil 4.20. Çekme deneyinde kullanılan  $v=3.6$  m/s hızla çekilen numune

#### 4.5. Kangal Demir Çapı Aynı, Hız ve Çubuk Çapı Farklı Durumu

Kangal demir çapının aynı, hız ve çubuk çapının farklı olması durumu için elde edilen bulgular Çizelge 4.9' da özet halinde verilmiştir. Detaylı bulgular Ek-5' de verilmiştir. Çizelge 4.9' daki  $\text{Ø}7\text{-Ø}6$  mm,  $v=5$  m/s ve  $\text{Ø}7\text{-Ø}5.5$  mm,  $v=2.4$  m/s durumu için çekilen çubuklardan elde edilen değerler, Çizelge 4.6' daki  $\text{Ø}7\text{-Ø}6$  mm,  $v=2.4$  m/s sonuçları ile birleştirilerek oluşturulan ortalama akma dayanımı, ortalama çekme dayanımı ve ortalama % kopma uzama değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çubuğun % kopma uzama değerleri kangal demirden küçük olduğu için % artış değeri negatiftir.

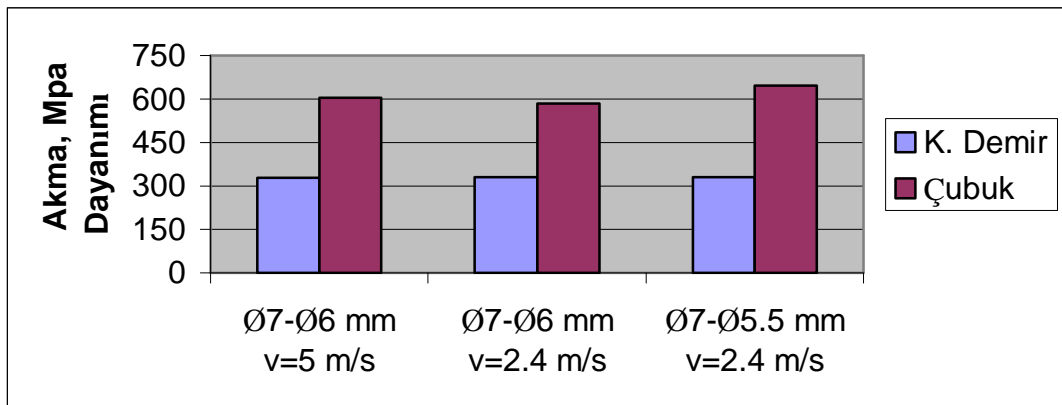
Çizelge 4.9. Kangal demir çapının aynı, hız ve çubuk çapının farklı olması durumu için sonuçlar

Çap , mm		Kangal demir cinsi	Hız, v m / s	Akma dayanımı (R <sub>P0,2</sub> ), MPa		Çekme dayanımı (R <sub>m</sub> ), MPa		%A <sub>5</sub> Kopma uzaması	
K. Demir	Çubuk			K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk
Ø7	Ø6	SAE 1010	5.0	326,8	596,3	454,2	638	33,2	10
Ø7	Ø6	SAE 1010	5.0	336,7	619,3	460,2	647,1	33	8,3
Ø7	Ø6	SAE 1010	5.0	322,8	597,7	475,3	646,9	33,6	8,3
Ø7	Ø5,5	SAE 1010	2.4	315	634,2	454,9	701,9	33,6	7,2
Ø7	Ø5.5	SAE 1010	2.4	327,9	647,2	451,1	705,8	33	7,2
Ø7	Ø5.5	SAE 1010	2.4	348	655,5	482	706,6	32	9

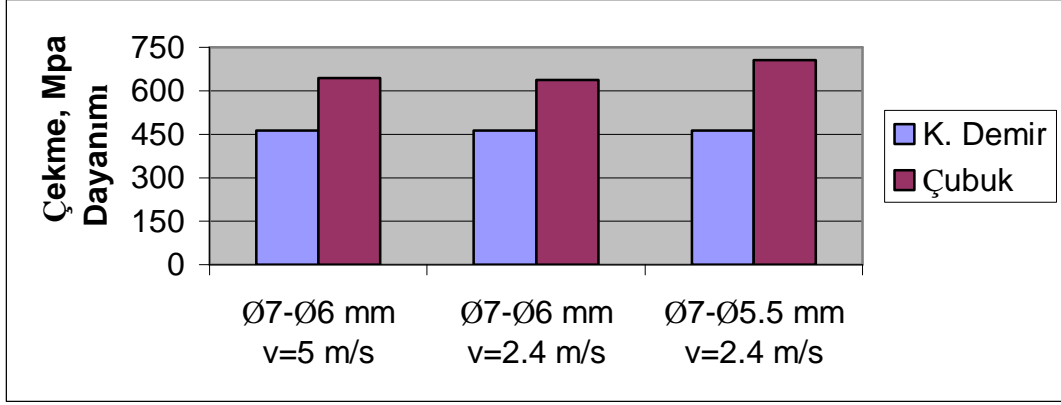
Çizelge 4.10. Ø7-Ø6 mm v=5 m/s Ø7-Ø6 mm, v=2.4 m/s ve Ø7-Ø5.5mm, v=2.4 m/s durumları için ortalama akma dayanımı, çekme dayanımı ve % uzama değerleri ve artış oranları

	Akma dayanımı (R <sub>P0,2</sub> ), MPa			Çekme dayanımı (R <sub>m</sub> ), MPa			Kopma uzaması, % A <sub>5</sub>		
	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış	K. Demir	Çubuk	% Artış
Ø7-Ø6 mm v=5 m/s	328,8	604,4	46	463,3	644	28	33,3	8,9	-73
Ø7-Ø6 mm v=2.4 m/s	330,3	583,6	43	462,6	637,7	27	32,9	8,9	-73
Ø7-Ø5.5 mm v=2.4 m/s	330,3	645,6	49	462,7	704,8	34	32,9	7,8	-76

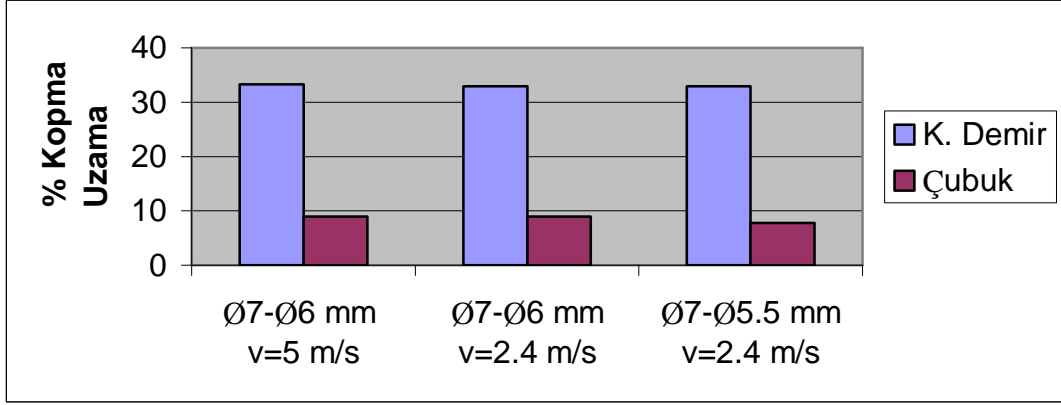
Çizelge 4.10' daki akma dayanımı, çekme dayanımı ve % kopma uzama değerleri, Şekil 4.21 - 4.23' de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Ø7-Ø6 mm v=5 m/s, Ø7-Ø6 mm v=2.4 m/s ve Ø7-Ø5.5 mm v=2.4 m/s için ortalama akma dayanımı grafiği



Şekil 4.22. Ø7-Ø6 mm v=5 m/s, Ø7-Ø6 mm v=2.4 m/s ve Ø7-Ø5.5 mm v=2.4 m/s için ortalama çekme dayanımı grafiği



Şekil 4.23. Ø7-Ø6 mm v=5 m/s, Ø7-Ø6 mm v=2.4 m/s ve Ø7-Ø5,5mm v=2.4 m/s için ortalama % kopma uzaması grafiği

Kangal demir çapı aynı, hız ve çubuk çapının farklı olduğu durumda redüksiyon oranı arttıkça hız azaltılır. Redüksiyon oranı ile hızın mekanik özellikler üzerine etkisi incelendiğinde; bariz bir şekilde redüksiyon oranının etkisinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durumda; daha önceden belirtildiği gibi, çubuk kalitesi % kopma uzama oranına bağlı olduğundan, çubuk kalitesini artırmak için redüksiyon oranını artırmak gerekmektedir.

Çekme deneyinde kullanılan Ø7-Ø6 mm v=5 m/s ve Ø7-Ø5,5mm v=2.4 m/s hızla çekilen numuneler Şekil 4.24 ve Şekil 4.25' de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Çekme deneyinde kullanılan  $\text{Ø}7\text{-Ø}6$  mm  $v=5$  m/s hızla çekilen numune



Şekil 4.25. Çekme deneyinde kullanılan  $\text{Ø}7\text{-Ø}5,5$ mm  $v=2.4$  m/s hızla çekilen numune

#### **4.6. Soğuk Deformasyon Oranına Bağlı Olarak Akma Dayanımı, Sertlik ve % Kesit Daralması Değerlerinin Değişimleri**

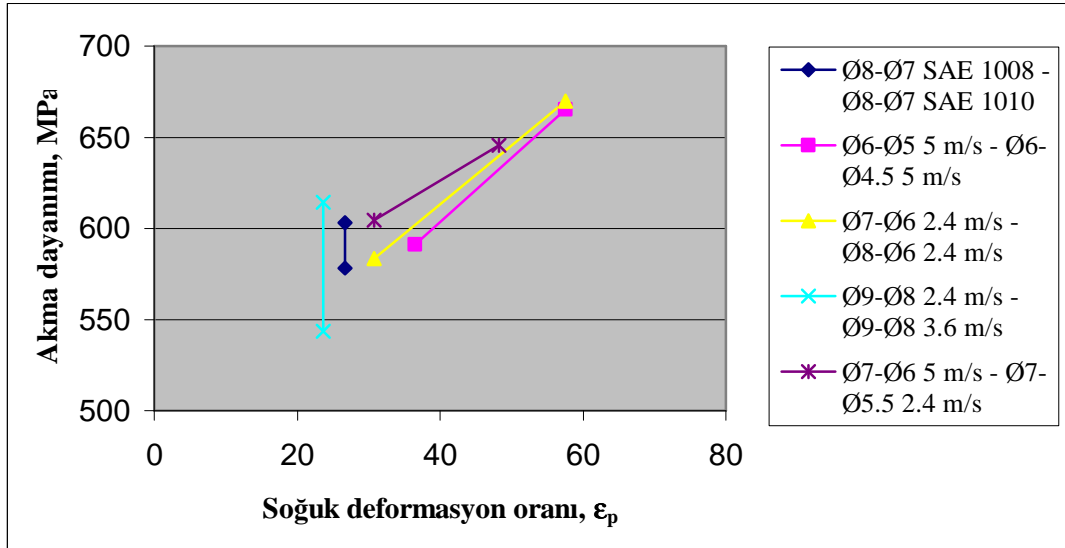
Numunelerin sertlik değerleri ölçülerek, % alan daralması ve soğuk deformasyon oranı değerleri de hesaplanarak elde edilen ortalama değerler akma dayanımı ile birlikte Çizelge 4.11' de verilmektedir.



Çizelge 4.11. Numunelerin ortalama akma dayanımı, % kesit daralması, sertlik ve soğuk deformasyon oranı değerleri

		Akma Dayanımı, MPa	Soğuk Deformasyon Oranı, $\epsilon_p$	% Kesit Daralması, %Z		Sertlik, HR <sub>B</sub>	
Deney		Çubuk	Çubuk	K. Demir	Çubuk	K. Demir	Çubuk
1	Ø8-Ø7 SAE 1008	578,2	26,7	23,4	15,4	74	82
	Ø8-Ø7 SAE 1010	603,3	26,7	20,8	10,5	78	86
2	Ø6-Ø5 v=5 m/s	591,4	36,5	26,7	12,7	79	84
	Ø6-Ø4.5 v=5 m/s	665,1	57,5	26,1	11,3	79	87
3	Ø7-Ø6 v=2.4 m/s	583,6	30,8	27,1	14,9	76	82
	Ø8- Ø6 v=2.4 m/s	669,8	57,5	23,4	10,9	77	88
4	Ø9-Ø8 v=2.4 m/s	543,5	23,6	19,3	8,5	80	85
	Ø9-Ø8 v=3.6 m/s	614,5	23,6	27,9	9,6	77	80
5	Ø7-Ø6 v=5 m/s	604,4	30,8	32,8	13,9	80	88
	Ø7-Ø5.5 v=2.4 m/s	645,6	48,2	26,3	15,9	78	92

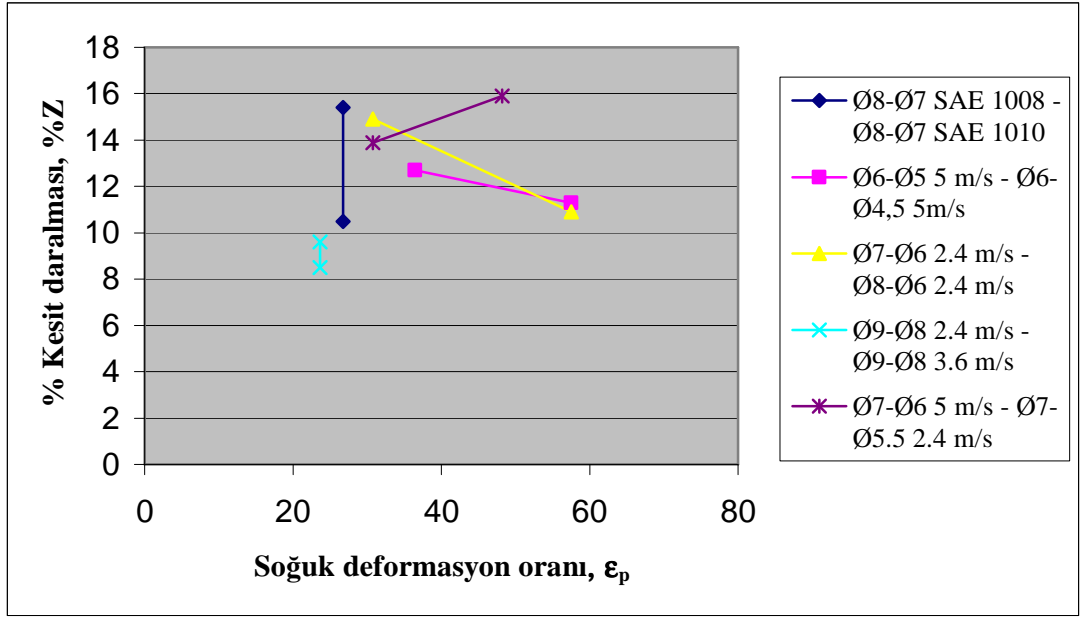
Çizelge 4.11' deki numuneler için soğuk deformasyon oranına bağlı olarak akma dayanımı değerlerinin değişimi Şekil 4.26' da grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Soğuk deformasyon oranına bağlı olarak numunelerin akma dayanımı değerlerinin değişimi grafiği

Soğuk deformasyon oranı arttıkça akma dayanımı artmaktadır. Bununla birlikte, soğuk deformasyon oranı değişmemesine rağmen; %C miktarı ve hız artışıyla birlikte akma dayanımı artmaktadır.

Şekil 4.27' de ise numuneler için soğuk deformasyon oranına bağlı olarak % kesit daralması değerlerinin değişimi grafik halinde gösterilmiştir.



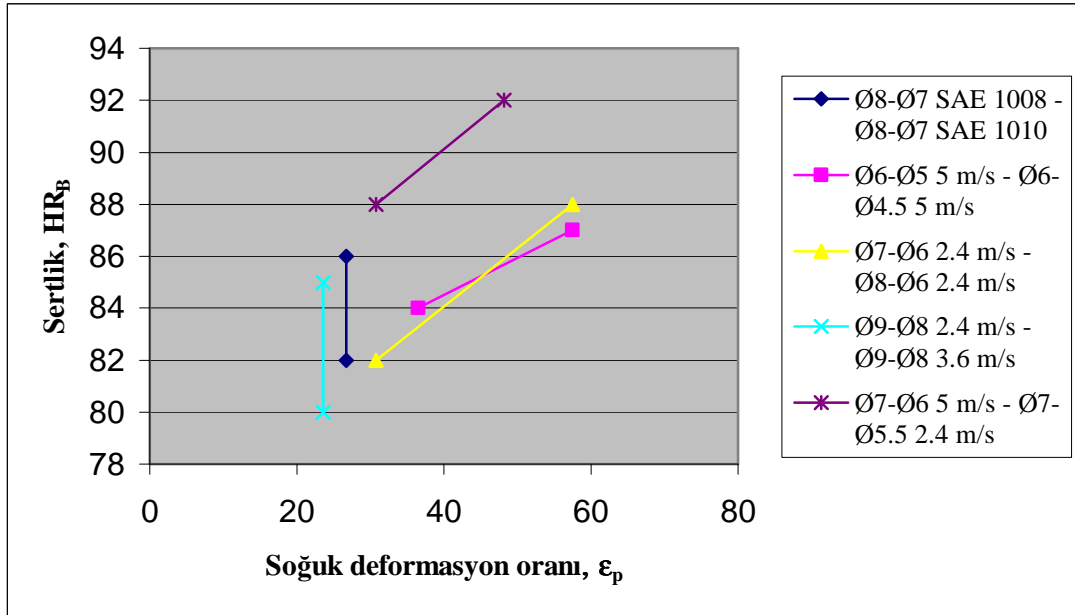
Şekil 4.27. Soğuk deformasyon oranına bağlı olarak numunelerin % kesit daralması değerlerinin değişim grafiği

Diğer faktörler sabit kalmak koşuluyla soğuk deformasyon oranı arttıkça, çekilen kangal demirin çapı ve çubuğun çapı arttıkça % kesit daralması azalmaktadır. Bununla birlikte, soğuk deformasyon miktarı değişmemesine rağmen, hız artışıyla % kesit daralması miktarı artmaktadır fakat %C miktarı artışıyla birlikte azalmaktadır. Ancak, soğuk deformasyon oranı ve redüksiyon oranı artarken hız azalırsa % kesit daralması artmaktadır.

% kesit daralması sünekliğin çok önemli bir göstergesi olmakla birlikte, soğuk deformasyon miktarı arttıkça genellikle % kesit daralması miktarının azaldığı

gözlenmektedir. Kesit daralmasındaki bu düşüş, tel çekme işleminde yüksek deformasyon oranlarına çıkmanın hasar ortaya çıkarabileceğinin bir göstergesidir.

Numuneler için soğuk deformasyon oranına bağlı olarak sertlik değerlerinin değişimi Şekil 4.28' de grafik halinde gösterilmiştir.



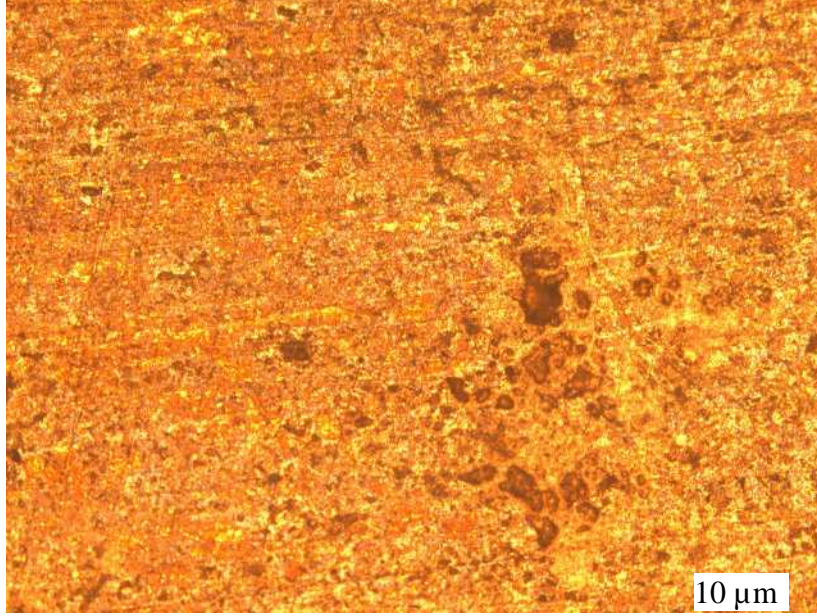
Şekil 4.28. Soğuk deformasyon oranına bağlı olarak numunelerin sertlik değerlerinin değişim grafiği

Diğer faktörler sabit kalmak koşuluyla soğuk deformasyon oranı arttıkça, sertlik değerleri artmaktadır. Bununla birlikte, soğuk deformasyon oranı değişmemesine rağmen, %C miktarı artışıyla sertlik artmaktadır fakat hız artışıyla birlikte sertlik değeri azalmaktadır.

#### 4.7. Numunelerin İç Yapıları

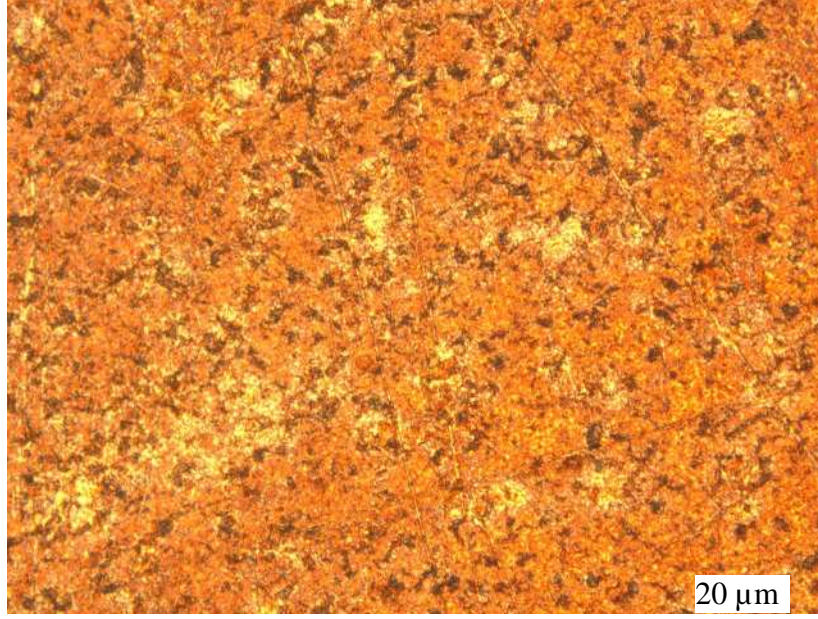
SAE 1010 numunelerin tel çekme işlemi neticesinde iç yapılarındaki değişimi incelemek amacıyla; tel çekme öncesi, % 30 oranında soğuk deforme edilmiş, % 48 oranında soğuk deforme edilmiş ve enine kesitinin iç yapı fotoğrafları çekilmiştir.

Şekil 4.29' da SAE 1010 numunenin tel çekme işlemi öncesindeki iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.29. SAE 1010 numunenin tel çekme öncesi iç yapısı

Tel çekme öncesi SAE 1010 malzemede tanelerin eş eksenli olduğu, deformasyon kaynaklı herhangi bir yönlenme olmadığı Şekil 4.29' da görülmektedir. Şekil 4.30' da ise SAE 1010 malzemenin % 30 oranında soğuk deforme edilmiş haldeki iç yapısı gösterilmiştir.



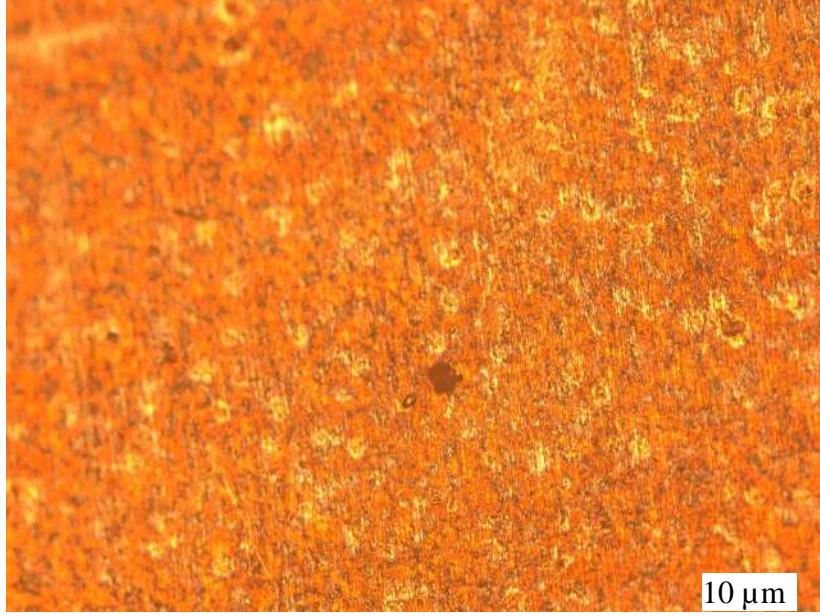
Şekil 4.30. SAE 1010 numunenin % 30 oranında soğuk deforme edilmiş haldeki iç yapısı

% 30 oranında soğuk deforme edilmiş numunede tel çekme yönüne paralel yönelmeler olduğu görülmektedir. Bu yönelmeler numunenin mukavemetinin artmasında etkilidir. Şekil 4.31' de SAE 1010 numunenin % 48 oranında soğuk deforme edilmiş haldeki iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.31. SAE 1010 numunenin % 48 oranında soğuk deforme edilmiş haldeki iç yapısı

% 48 oranında soğuk deforme numunede tanelerde tel çekme yönüne paralel deformasyon kaynaklı kısmi yönlenmenin nispeten daha çok olduğu yönlenmelerin daha fazla olduğu görülmektedir. İşlem oda sıcaklığında yapıldığından plastik deformasyonda etkili olan mekanizma kayma mekanizmasıdır. Şekil 4.32’ de numunenin enine kesitinin iç yapısı gösterilmiştir.









Şekil 4.32. SAE 1010 numunenin enine kesitinin iç yapısı

Numunenin enine kesitinden çekilen iç yapı fotoğrafında tel çekme öncesindeki iç yapıya benzer bir şekil görülmektedir. Bu durum, tanelerde deformasyon kaynaklı yönlenmelerin tel çekme yönüne paralel olarak geliştiğini göstermektedir.

#### 4.8. Nervürlü Çubuk Çekim Çizelgesi

Elde edilen bulgular neticesinde Ayes A.Ş’ de uygulamada kullanılan nervürlü çelik çubuklar için tel çekme çizelgesi, Çizelge 4.12’ de optimize edilmiştir.

Çizelge 4.12. Nervürlü çelik çubuklar için optimum tel çekme değerleri (Atomat, 2006; Ayes A.Ş)

Çubuk Çapı, mm	Kangal Demir Çapı, mm	Oval-Runt, mm	Nervür Önü Üçgen Çap, mm	Nervür Çapı, mm	Nervürlü Dış Çap, mm	Matris Çapı, mm	Hız, m/s
							
4.0	5.5 -6	4.0-5.0	4.40	4.0	4.26	4.60	5
4.2			4.65		4.50	5.00	5
4.5			4.95	4.5	4.75	5.15	5
5.0	6-8	5.0-5.5	5.60	5.0	5.25	5.80	2.4
5.5			6.20	5.5	5.85	6.35	2 - 4
6.0	8	6.0-6.5	6.87	6.0	6.40	6.90	2.4
6.5			7.38	6.5	6.85	7.55	2.4
			7.58		6.88	7.65	2.4-3.6
7.0	8-10	7.0-7.5	8.12	7.0	7.38	8.15	2.4 -3.6
7.5			8.60	7.5	7.90	8.75	2.4 - 4
7.8	10	7.5-8.0	8.95	7.5	8.11	9.10	2.4
8.0	10	8.0-8.5	9.15	8	8.55	9.30	2.4
8.5			9.90	8.5	9.10	9.95	2 - 4

## 5. SONUÇLAR

1. Kangal demirin %C miktarı azaldıkça, çekilen çubuğun akma ve çekme dayanımı da azalmaktadır. Diğer taraftan, çekilmiş çubuğun akma dayanımı her ne kadar azalsa da yine de kangal demirin akma dayanımının iki katına yakın olduğu tespit edilmiştir.
2. Redüksiyon oranı arttıkça tel çekmeyle elde edilen çubuğun akma ve çekme dayanımını da artmaktadır.
3. Çekilen çubuğun çapı aynı olmasına rağmen kangal demir çapı azaldıkça mekanik özelliklerden akma ve çekme dayanımı da azalmaktadır.
4. Hız arttıkça akma ve çekme dayanımı ve birim zamanda üretilen tel miktarında artma görülmektedir. Ancak matris soğutma ve yağlaması çok iyi olmalıdır.
5. Çelik çubuğun akma ve çekme dayanımı üzerine hıza oranla redüksiyon oranı etkisinin daha büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, redüksiyon oranı artışıyla çubuğun mukavemetini artırmak mümkün olmaktadır.
6. Tel çekme işlemine maruz kalan tüm numunelerin % kopma uzama miktarının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.
7. Soğuk deformasyon oranı arttıkça akma dayanımı artmaktadır. Bununla birlikte, soğuk deformasyon oranı değişmemesine rağmen; %C miktarı ve hız artışıyla birlikte akma dayanımı artmıştır.
8. Diğer faktörler sabit kalmak koşuluyla soğuk deformasyon oranı arttıkça, çekilen kangal demirin çapı ve çubuğun çapı arttıkça % kesit daralması azalmaktadır. Bununla birlikte, soğuk deformasyon miktarı değişmemesine rağmen, hız artışıyla % kesit daralması miktarı artmaktadır fakat %C miktarı artışıyla birlikte azalmaktadır.



Ancak, soğuk deformasyon oranı ve redüksiyon oranı artarken hız azalırsa % kesit daralması artmaktadır.

9. Soğuk deformasyon miktarı arttıkça genellikle % kesit daralması miktarının azaldığı gözlenmektedir. Kesit daralmasındaki düşüş tel çekme işleminde yüksek deformasyon oranlarına çıkmanın hasar ortaya çıkarabileceğinin bir göstergesidir. Bu nedenle, tel çekme işleminde teorik olarak bir kademedede olabilecek en yüksek deformasyon oranı %63' tür (Varol, 1995).

10. Diğer faktörler sabit kalmak koşuluyla soğuk deformasyon oranı arttıkça, sertlik değerleri artmaktadır. Bununla birlikte, soğuk deformasyon oranı değişmemesine rağmen, %C miktarı artışıyla sertlik artmaktadır fakat hız artışıyla birlikte sertlik değeri azalmaktadır.

11. Soğuk deformasyon oranı ve hız artarsa; akma dayanımı ve % kesit daralması artarken sertlik değeri azalmaktadır. Bu durum tel çekme işleminde hız artışıyla birlikte telin matristen geçerken maruz kaldığı ısının sertliği azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

12. Soğuk deformasyon oranı ve %C miktarı birlikte artarsa; akma dayanımı ve sertlik artmasına rağmen, % kesit daralmasının azaldığı görülmüştür. %C miktarı arttıkça malzeme sertliğinin artışı % kesit daralması miktarı azaltmaktadır.

13. Kangal demirlerin tel çekme işlemine tabi tutulmasıyla dayanımlarının yaklaşık iki katına çıktığı tespit edilmiştir. Bu durumda inşaatlarda düz çubuk yerine nervürlü çubuk veya nervürlü çubukların belirli aralıklarla kaynaklanmasıyla elde edilen çelik hasır kullanımıyla; malzemenin, işçilikten ve zamandan % 50' ye varan tasarruf edilebilir.

## 6. KAYNAKLAR

Agir Spa Web Sayfası, <http://www.agir-technologies.com/uk/index.html>

Alcansoy, A., Özdamar, E., Türkmen, G., 1981. SEGEM, Sürtünme, Aşınma, Yatak ve Dişlerde Yağlama ve Uygulamaları. Yayın no: 74. Ankara.

Atomat Spa Web Sayfası, <http://www.atomat.com>

Ayes A.Ş. Nervürlü Çubuk Çekim Çizelgesi, 1993, Isparta.

Balin, B., 2004. Seçilen Karakteristiklerin Tel Çekme İşlemi Üzerindeki Etkileri. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 71 s, İstanbul.

Baustahlgewebe GmbH Ürün Kataloğu, 1995, Dusseldorf.

Bitkov, V. 2006. Research of Wire Drawing Under Conditions of Hydrodynamic Friction, Wire and Cable Technology, 94-97.

Beitragen, M., 1969. Herstellung Von Stahldraht Teil 1, Dusseldorf.

Bodur, H., 1975. Metallerde Plastik Şekil Verme Usulleri, Arpaz Matbaası, İstanbul.

Brard, D., 1991. Lubrication – Quality and Innevation, Wire Industry, 733-734.

Çapan, L., 1989. Metallerde Plastik Şekil Verme Usulleri, Çağlayan Kitabevi, 363 s, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Çolakoğlu Metalurji Analiz Belgeleri, Aralık 2005 – Mart 2006 No:418206/1 – 444290/1, İzmit.

Çiğdem, M., 1996. İmal Usulleri. Çağlayan Kitabevi, 424 s, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Dove, A., Moritz, J., Smigel, W., 1980. Steel Wire Handbook, 372 s, U.S.A.

Dubar, L., Dubois, L., Lazzarotto, L., 2001. A Multi – Step Lubricant Evaluation Strategy for Wire Drawing-Extrusion-Cold Heading Sequence. Elsevier Science B.V.,24982002, 951-961.

Element Six Web Sayfası, <http://www.e6.com/e6/page.jsp?pageid=600406065>

Gzesh, D.P., 1999. Wire Drawing Lubricant Chemistry, Wire and Cable Technology, 60-61.

Kemahlı, H., 1994. Plastik Biçimlendirmede Kullanılan Yağlayıcılar ve Karakteristikleri. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 176 s, İstanbul.

Koner, S., 1992. Tungsten Carbide Wire Drawing Dies, Wire Industry, 350-356.

Leopardi, G., 2003. Tel Çekme Teknolojisi ve Tel Çekme ve Kaplama Kimyasalları. Tel Çekme Teknolojisi Sempozyumu, İstanbul.

McNulty, M., 2006. Spotlight on Drawing Machines, Wire and Cable Technology, 54 – 56.

Özer, Ö., 1993. Tel Çekme İşlemine Etki Eden Faktörlerin Mekanik ve Teknolojik Olarak İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 76 s, İstanbul.

Özer, Ö., Yurci, M., 1997. Tel Çekme İşleminde Matris Açılarının Optimizasyonu ve Sapmaların Belirlenmesi. İTÜ Makine Fakültesi 1. Makine Mühendisliği Kongresi, 4-6 Haziran 1997, İstanbul.

- Pilarczyk, J. W., 2006. The Effect of Roller Die Drawing on the Mechanical Properties and Some ASTRO Characteristics of High Carbon Steel Wires, Wire Industry, 80-93.
- Sönmez, H., 1983, Ekstrüzyon İşleminde Malzeme Akışı ve Ekstrüzyon Kuvveti Üzerinde İnceleme. Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 55 s, İstanbul.
- Tripp, I., 1998. Health and Safety Concerns for the Wire Drawing Industry, Wire and Cable Technology, 55-56.
- TS 138, Çekme Deneyleri (Metalik Malzeme İçin), Türk Standartları Enstitüsü, 1978, Ankara.
- TS 708, Beton Çelik Çubukları, Türk Standartları Enstitüsü, 1996, Ankara.
- Varol, R., 1995. Az Karbonlu Çeliklerde Tel Çekme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23-29.
- Vitanov, D., Dimitrov, I., Charalanov, A., 1988. Carbide Drawing Dies for Cold Drawing of Formed Sections, Wireworld, 78-80.
- Wright, R., 1976. Practical Use of Mechanical Analysis In Wire Drawing, Wire Technology, England.
- Weissavach W., (Çevirenler: Anık, S., Anık E. S., Vural, M.), 1996, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Birsen Yayınevi, 348 s, İstanbul.
- Yurci, M., 1999. Talaşsız Şekil Verme. Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, 178 s, İstanbul.

### EK 1- Kangal demir cinsi farklı, hız sabit ve çubuk çapı aynı durumu:

#### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 329,6 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 478,9 MPa
5. % uzama: % 34.60
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

#### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.11	0.52	0.10	0.035	0.048	0.12	0.09	0.04	0.42	0.004	0.02	0.008

#### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
7	250	77.4	39.44	7.09	23.8	603.4	<b>500</b>	25.8	654.1	<b>550</b>	76	8,5	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 345 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 480.1 MPa
5. % uzama: % 32.60
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.09	0.52	0.10	0.025	0.048	0.09	0.10	0.023	0.39	0.004	0.018	0.007

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
7	250	76.5	38.98	7.05	23.8	610.5	<b>500</b>	26	664.2	<b>550</b>	77	10	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 314 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 435.4 MPa
5. % uzama: % 33.80
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.08	0.53	0.11	0.019	0.048	0.11	0.12	0.015	0.32	0.004	0.021	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
7	250	77.7	39.60	7.10	23.6	595.9	<b>500</b>	25.6	646.4	<b>550</b>	77	10	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1008
3. Kangal demir akma mukavemeti: 326 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 461.4 MPa
5. % uzama: % 35.40
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.08	0.43	0.08	0.035	0.044	0.10	0.11	0.016	0.49	0.006	0.026	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
7	250	76.9	39.19	7.07	22.8	581.7	<b>500</b>	25.0	637.9	<b>550</b>	76	8,5	<b>5</b>



### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1008
3. Kangal demir akma mukavemeti: 311.9 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 440.2 MPa
5. % uzama: % 35.20
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.08	0.47	0.08	0.017	0.047	0.09	0.11	0.019	0.34	0.005	0.02	0.007

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
7	250	76.7	39.90	7.06	22.6	566.4	<b>500</b>	25.2	631.5	<b>550</b>	77	10	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1008
3. Kangal demir akma mukavemeti: 330.6 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti:461.4 MPa
5. % uzama: % 35.40
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.09	0.48	0.10	0.032	0.049	0.09	0.11	0.021	0.43	0.006	0.024	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
7	250	77	39.24	7.07	23.0	586.4	<b>500</b>	25.4	647.2	<b>550</b>	77	10	<b>5</b>

**EK-2 Kangal demir cinsi ve hız aynı, çubuk çapı farklı durumu:**

**Deney Öncesi Değerler:**

1. Kangal demir çapı: Ø 6 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 348 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 482 MPa
5. % uzama: % 33.00
6. Tel çekme hızı: 5.0 m / s

**Analiz Değerleri:**

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.12	0.52	0.12	0.032	0.048	0.11	0.11	0.015	0.38	0.004	0.016	0.008

**Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:**

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
5	250	38.7	19.72	5.01	12.0	608.5	500	13.2	669.3	550	55	10	5

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 6 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 333.6 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 482.1 MPa
5. % uzama: % 31.80
6. Tel çekme hızı: 5.0 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.11	0.57	0.10	0.015	0.047	0.09	0.11	0.017	0.29	0.004	0.015	0.009

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
5	250	39.1	19.93	5.04	11.8	592.0	<b>500</b>	13	652.2	<b>550</b>	55	10	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 6 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 314 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 447.7 MPa
5. % uzama: % 33.20
6. Tel çekme hızı: 5.0m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.08	0.50	0.07	0.026	0.048	0.10	0.09	0.017	0.30	0.004	0.015	0.009

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
5	250	39.0	19.87	5.03	11.4	573.7	<b>500</b>	13.7	689.4	<b>550</b>	54	8	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 6 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 314 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 432.6 MPa
5. % uzama: % 33.60
6. Tel çekme hızı: 5.0 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.09	0.52	0.12	0.022	0.048	0.11	0.11	0.018	0.35	0.004	0.020	0.007

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
4.5	250	30.2	15.39	4.43	10.0	649.7	<b>500</b>	11.5	747.2	<b>550</b>	49	8,8	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 6 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 318.8 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 463,6 MPa
5. % uzama: % 32.40
6. Tel çekme hızı: 5.0 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.09	0.52	0.12	0.022	0.048	0.11	0.11	0.018	0.35	0.004	0.020	0.007

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
4.5	250	31.2	16.0	4.52	10.5	660.3	<b>500</b>	11.75	738.9	<b>550</b>	49	8.8	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 6 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 331.5 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 481.2 MPa
5. % uzama: % 33.60
6. Tel çekme hızı: 5.0 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.10	0.50	0.10	0.032	0.048	0.07	0.11	0.018	0.28	0.004	0.014	0.007

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
4.5	250	30.9	15.75	4.48	9.8	685.3	<b>500</b>	11.0	747.2	<b>550</b>	49	8.8	<b>5</b>



**EK-3 Hız ve çubuk çapı aynı, kangal demir çapı farklı durumu:**

**Deney Öncesi Değerler:**

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 340.1 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 482,0 MPa
5. % uzama: % 35.0
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

**Analiz Değerleri:**

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.10	0.56	0.10	0.039	0.048	0.09	0.11	0.028	0.44	0.004	0.018	0.008

**Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:**

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	55.0	28.03	5.98	19.0	677.8	500	20.0	713.5	550	64	6.6	5

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 332.2 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 453.6 MPa
5. % uzama: % 34.40
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.09	0.48	0.10	0.026	0.048	0.13	0.10	0.017	0.30	0.004	0.019	0.009

93

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	57.15	29.10	6.09	19.0	652.9	<b>500</b>	20.8	714.7	<b>550</b>	64	6.6	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 8 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 348 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti:482.0 MPa
5. % uzama: % 34.60
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.11	0.60	0.12	0.040	0.048	0.13	0.11	0.018	0.45	0.004	0.023	0.007

94

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	53.5	27.26	5.89	18.5	678.6	<b>500</b>	20.0	733.6	<b>550</b>	65	8.3	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 315 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 454.9 MPa
5. % uzama: % 33.60
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.11	0.42	0.09	0.028	0.048	0.10	0.10	0.018	0.35	0.004	0.014	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	54.9	27.98	5.97	16.2	578.9	<b>500</b>	18.0	643.3	<b>550</b>	65	8,3	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 327.9 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 451.1 MPa
5. % uzama: % 33.0
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.12	0.48	0.07	0.030	0.041	0.12	0.08	0.015	0.30	0.004	0.011	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	56.0	28.79	6.06	16.8	583.5	<b>500</b>	18.2	637.7	<b>550</b>	65	8.3	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 348.0 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 482.0 MPa
5. % uzama: % 32.0
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.13	0.55	0.10	0.015	0.034	0.08	0.09	0.017	0.28	0.004	0.015	0.009

97

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	56.5	28.79	6.06	16.8	588.6	<b>500</b>	18.2	632.1	<b>550</b>	66	10	<b>5</b>

#### **EK 4- Kangal demir ve çubuk çapı aynı, hız farklı durumu:**

##### **Deney Öncesi Değerler:**

1. Kangal demir çapı: Ø 9 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 348.0 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 473.7 MPa
5. % uzama: % 35.76
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

##### **Analiz Değerleri:**

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.10	0.55	0.12	0.015	0.048	0.12	0.11	0.018	0.46	0.004	0.021	0.009

##### **Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:**

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
8	250	100.8	51.37	8.09	32.0	622.9	500	33.75	656.9	550	86	7.5	5

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 9 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 342.6 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 453.5 MPa
5. % uzama: % 33.80
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.08	0.49	0.10	0.020	0.048	0.09	0.12	0.021	0.49	0.004	0.020	0.009

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
8	250	97.8	49.84	7.97	30.0	618.5	<b>500</b>	31.5	657,4	<b>550</b>	88	7,5	<b>5</b>



### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 9 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 325.2 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 470.9 MPa
5. % uzama: % 33.40
6. Tel çekme hızı: 3.6 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.08	0.49	0.10	0.020	0.048	0.09	0.12	0.021	0.49	0.004	0.020	0.009

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
8	250	98.9	50.4	8.3	28.0	601,9	<b>500</b>	32.0	644.9	<b>550</b>	86	7.5	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 9 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 314 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 440.2 MPa
5. % uzama: % 36.70
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.09	0.60	0.14	0.019	0.048	0.07	0.09	0.017	0.41	0.004	0.024	0.009

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
8	250	98.5	50.2	8.0	30.25	540.5	500	32.5	580.2	550	86	8,7	5

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 9 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 314.0 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 429.1 MPa
5. % uzama: % 36.0
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.08	0.46	0.09	0.018	0.048	0.06	0.10	0.032	0.35	0.004	0.014	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
8	250	99.1	50.5	8.02	29.0	534.0	<b>500</b>	32.0	584.5	<b>550</b>	87	10	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 9 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 322.5 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 453.8 MPa
5. % uzama: % 33.8
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.10	0.60	0.14	0.025	0.048	0.12	0.09	0.018	0.41	0.005	0.020	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
8	250	98.7	50.30	8.0	30.28	555.9	500	32.0	590.2	550	86	10	5

### **EK 5- Kangal demir çapı aynı, hız ve çubuk çapı farklı durumu:**

#### **Deney Öncesi Değerler:**

1. Kangal demir çapı: Ø 7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 326.8 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 454.2 MPa
5. % uzama: % 33.20
6. Tel çekme hızı: 5.0 m / s

#### **Analiz Değerleri:**

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.11	0.48	0.08	0.014	0.048	0.10	0.11	0.018	0.33	0.004	0.014	0.007

#### **Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:**

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	55.8	28.84	6.06	17.2	596.3	<b>500</b>	18.4	638.0	<b>550</b>	66	10	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı:  $\varnothing$  7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 336.7 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 460.2 MPa
5. % uzama: % 33.0
6. Tel çekme hızı: 5.0 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.10	0.46	0.10	0.012	0.047	0.07	0.10	0.020	0.32	0.004	0.012	0.007

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy $L_0$ (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	$L_1$ (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	56.4	28.74	6.05	17.2	619.3	<b>500</b>	18.6	647.1	<b>550</b>	65	8.3	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 322.8 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 475.3 MPa
5. % uzama: % 33.60
6. Tel çekme hızı: 5.0 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.11	0.58	0.14	0.037	0.048	0.11	0.13	0.029	0.40	0.004	0.016	0.007

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
6	250	55.8	28.44	6.02	17.0	597.7	<b>500</b>	18.4	646.9	<b>550</b>	65	8.3	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 315 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 454.9 MPa
5. % uzama: % 33.60
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.11	0.42	0.09	0.028	0.048	0.10	0.10	0.018	0.35	0.004	0.014	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
5.5	250	46.4	23.65	5.49	15.0	634.2	500	16.6	701.9	550	59	7.2	5



### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 327.9 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 451.1 MPa
5. % uzama: % 33.0
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.12	0.48	0.07	0.030	0.041	0.12	0.08	0.015	0.30	0.004	0.011	0.008

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
5.5	250	46.7	23.80	5.51	15.4	647.2	<b>500</b>	16.8	705.8	<b>550</b>	59	7.2	<b>5</b>

### Deney Öncesi Değerler:

1. Kangal demir çapı: Ø 7 mm
2. Kangal demir cinsi: SAE 1010
3. Kangal demir akma mukavemeti: 348.0 MPa
4. Kangal demir çekme mukavemeti: 482.0 MPa
5. % uzama: % 32.0
6. Tel çekme hızı: 2.4 m / s

### Analiz Değerleri:

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
0.13	0.55	0.10	0.015	0.034	0.08	0.09	0.017	0.28	0.004	0.015	0.009

### Deney Sonrası Elde Edilen Değerler:

Deney öncesi değerler					Deney sonrası değerler								
Anma çapı (mm)	Boy L <sub>0</sub> (mm)	Ağırlık G (g)	Kesit alanı (mm <sup>2</sup> )	Hesabi çap (mm)	Akma sınırı			Çekme Dayanımı			Kopma Uzaması		
					Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min. (MPa)	Yük (kN)	Bulunan (MPa)	Std. Min (MPa)	L <sub>1</sub> (mm)	Bulunan (%)	Std Min (%)
5.5	250	46.1	23.49	5.47	15.40	655.5	500	16.6	706.6	550	60	9	5

**ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Murat ÜNSEREN

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta / 1978

**Eğitim ve Akademik Durumu :**

Orta Okul – Lise : 1989 – 1996 Isparta Anadolu Lisesi

Lisans : 1996 – 2000 Süleyman Demirel Üniversitesi Mim. Müh. Fak. Makine  
Müh. Bölümü

Y. Lisans : 2001 S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı

Y. Dil : İngilizce

**Askerlik :**

2004-2005 Jandarma Kısa Dönem Er / Malatya - Arapgir

**İş Deneyimi :**

2001 – 2003 Metamar A.Ş. Makine Mühendisi olarak görev yapmıştır.

2005 – Ayes A.Ş. Makine Mühendisi olarak görev yapmaktadır.