

Özge ATAKAY



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**NİYOBYUMUN SICAK HADDELENMİŞ  
ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Özge ATAKAY**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2019

HAZİRAN 2019



**NİYOBYUMUN SICAK HADDELENMİŞ ÇELİĞİN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Özge ATAKAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2019**

Özge ATAKAY tarafından hazırlanan “NİYOBYUMUN SICAK HADDELENMİŞ ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Gürel ÇAM

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.

**Başkan:** Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Ersin BAHÇECİ

Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.

Tez Savunma Tarihi: 10 /06 /2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Tolga DEĞİRCİ  
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İMZA



Özge ATAKAY

10../06/2019

NİYOBYUMUN SICAK HADDELENMİŞ ÇELİĞİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Özge ATAKAY

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Çelik sektörünün hızla geliştiği günümüz şartlarında artan rekabet ortamı ve ürün çeşitliliği üreticileri maliyet düşürücü çalışmalara yöneltmiştir. Özellikle son yıllarda oldukça fazla talep gören yüksek dayanımlı çeliklerin üretiminde maliyeti azaltıcı unsur olarak mikro alaşım elementlerinin kullanımına başvurulmaktadır. Mikro alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle elde edilen sade karbonlu çeliklerden daha yüksek mukavemete sahip çeliklere mikroalaşımli çelikler denilmektedir.

Bu çalışmada Nb elementinin ilave edilmesiyle (mikro alaşımlama ile) sıcak haddelenmiş bir çeliğin içyapısındaki, dolayısıyla mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Nb elementinin tane içerisinde çökerek hem tane yapısını incelttiği (tane rafinasyonu sağladığı) hem de kuvvetli karbür yapıcı özelliğiyle sertliği arttırdığı gözlemlenmiştir. Çeliğe düşük oranda Nb ilavesi yapılarak akma ve çekme mukavemet değerleri önemli oranda artırılmıştır. Ayrıca, çeliğin süneklik ve tokluğunda da artış elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Alaşım elementleri, haddeleme, niyobyum, mekanik özellikler

Sayfa Adedi : 27

Danışman : Prof. Dr. Gürel ÇAM

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF NIOBIUM ON MECHANICAL  
PROPERTIES OF HOT ROLLED STEEL

(M. Sc. Thesis)

Özge ATAKAY

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
INSTITUTE OF ENGINEERING AND SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

The increasing competitive environment and product diversity in today's conditions in which the steel industry is rapidly developing have led manufacturers to reduce costs. Especially in the last years, the use of micro-alloy elements has been one of the cost-reducing measure in the production of high-strength steels which are highly demanded. Steels with higher strength values which are produced by adding micro-alloy elements to plain-carbon steels are called micro-alloyed steels.

In this study, the influence of the addition of Nb (by micro-alloying) on the microstructure, and thus mechanical properties of a hot rolled steel was investigated. It has been observed that the addition of Nb led to grain refinement by segregating within the grains as well as increasing the hardness due to its carbide forming capability. By adding small amount of Nb to the steel, the yield and tensile strengths were increased significantly. In addition, the ductility and toughness values of the steel were also improved.

Key Words : Alloy elements, rolling, niobium, mechanical properties  
Page Number : 27  
Supervisor : Prof. Dr. Gürel ÇAM

## TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen danışmanım Sn. Prof. Dr. Gürel ÇAM'a, iş hayatıma başladığım günden bu yana bilgi ve tecrübesi ile karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımcı olan, mühendislik ve metalurji alanında engin bilgi ve tecrübesiyle beni yetiştiren, Yüksek Lisans eğitimine başlamam için beni teşvik eden ve her aşamasında destek veren, kendisiyle tanışmaktan onur duyduğum değerli müdürüm Sn. Hüsam BAŞTUĞ'a, tez konumu bulmamda ve testleri sonuçlandırmamda desteklerini esirgemeyen, Sn. Mustafa ERDOĞAN'a, laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımına başvurduğum Sn. Ahmet Yaşar KARADAĞ'a, deneylerimi yapma imkanı veren Tosyalı Filmaşın ve İnşaat Demir Üretim A.Ş. yöneticilerine, bana karşı her zaman anlayışlı olan ve bana daima güvenen AİLEME teşekkürlerimi sunarım.

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	3
2.1. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi.....	3
2.2. Mikroalaşımli Çeliklerinin Avantajları .....	4
2.3. Mikroalaşım Elementlerinin Sınıflandırılması .....	4
2.3.1. Titanyum (Ti) .....	5
2.3.2. Vanadyum (V) .....	5
2.3.3 Niyobyum (Nb) .....	6
2.3.4. Alüminyum (Al).....	6
2.3.5. Karbon (C) .....	7
2.3.6. Azot (N) .....	7
2.3.7. Silisyum (Si) .....	7
2.3.8. Fosfor (P) .....	7



	<b>Sayfa</b>
2.3.9. Mangan (Mn) .....	8
2.4. Mikroalaşım eliklerde ökelti Oluşumu.....	8
2.4.1. Karbür ve nitrür ökilmesi.....	9
2.4.2. Sıcaklık ve soğuma hızının çökelmeye etkisi .....	9
2.5. Mikroalaşımlı eliklerin Uygulama Alanları.....	10
3. MATERYAL VE METOT.....	11
3.1. Kimyasal Kompozisyonun Ayarlanması .....	14
3.1.1. Karbon ve Mangan değerlerinin ayarlanması .....	14
3.1.2. Mikroalaşımlama .....	15
4. BULGULAR VE TARTIşMA.....	17
4.1. Mikroyapı İncelemeleri.....	17
4.2. Mekanik Özellikler .....	18
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	24
KAYNAKLAR .....	25
ÖZGEÇMİş .....	26

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Mikroalaşım elementlerinin rolü .....	5
Çizelge 2.2. Yüksek dayanımlı çeliklerde Nb'nin metalurjik etkisi.....	6
Çizelge.3.1. İsrail S500W-C standartı kimyasal kompozisyonu.....	15
Çizelge 3.2. İncelenen numunelerin kalite, çap ve standart bilgisi.....	15
Çizelge 3.3. Kullanılan Nb ilaveli ve ilavesiz çeliklerin kimyasal analizleri.....	16
Çizelge 4.1. Çekme deneyi sonuçları.....	19

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Çeliğin mikroyapısı üzerinde mikroalaşım çökeltilerinin etkileri.....	8
Şekil 2.2. Soğuma süresince dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak mikroalaşım Karbonitrürlerinin oluşması.....	10
Şekil 3.1. Temcore prosesi .....	11
Şekil 3.2. Waterbox su soğutma sistemi.....	12
Şekil 4.1. Numune-1 ve Numune-5 malzemelerine ait dağlama numuneleri.....	17
Şekil 4.2. Numune-1 (Nb ilaveli) ve Numune-5 (Nb ilavesiz) çeliğin merkezinden alınan mikroyapı görüntüsü.....	17
Şekil 4.3. Numune-1 (Nb ilaveli) ve Numune-5 (Nb ilavesiz) çeliğin kenar bölgesinden alınan mikroyapı görüntüsü.....	18
Şekil 4.4. Numune-1 (Nb ilaveli) ve Numune-5 (Nb ilavesiz) çeliğin geçiş bölgesinden alınan mikroyapı görüntüsü .....	18
Şekil 4.5. Nb ilaveli çeliğe (Numune-1) ait gerilme-birim deformasyon eğrisi.....	19
Şekil 4.6. Nb-ilavesiz çeliğe (Numune-5) ait gerilme-birim deformasyon eğrisi.....	20
Şekil 4.7 Nb ilaveli ve ilavesiz ortalama % 0,2 Akma Sınırı (MPa) sonuçlarının karşılaştırma gösterimi.....	20
Şekil 4.8. Nb ilaveli ve ilavesiz numunelerin ortalama çekme mukavemeti (MPa) karşılaştırma gösterimi.....	20
Şekil 4.9. Nb ilaveli ve ilavesiz numunelerin ortalama % uzama sonuçlarının karşılaştırma gösterimi.....	20

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.1. BGV mono blok sistemi.....	13
Resim 3.2. Filmaşın serme kafa ve konveyör sistemi.....	14
Resim 4.1. Doğrultma yapılmış numune resimleri.....	22
Resim 4.2. İleri-geri bükme yapılmış numune resimleri.....	23
Resim 4.3. Çatlama olmadığını gösteren test numunesinin yakın çekim görüntüsü...	23

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

Simgeler	Açıklamalar
°C	Santigrat derece
<b>Kg</b>	Kilogram
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Mn</b>	Mangan
<b>Cr</b>	Krom
<b>V</b>	Vanadyum
<b>AL</b>	Alüminyum
<b>Cu</b>	Bakır
<b>Fe</b>	Demir
<b>Nb</b>	Niyobyum
<b>Ti</b>	Titanyum
<b>V(C)N</b>	Vanadyum Karbonitrür
<b>TiN</b>	Titanyum nitür

### Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklamalar
<b>HSLA</b>	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı
<b>ITAB</b>	Isı tesiri altında kalan bölge
<b>MA</b>	Mikro alaşım
<b>YMDA</b>	Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı
<b>WB</b>	Waterbox (sulu soğutma sistemi)

## 1. GİRİŞ

Malzemelerin özelliklerini ve kullanım şartlarını belirleyen en önemli faktörlerden birisi de mekanik özellikleridir. Mekanik özellikler, malzeme seçiminde büyük öneme sahiptir ve çeliklerde mekanik özellikleri arttırmanın en bilinen yolları arasında; karbon oranını arttırmak, alaşımlama yapmak, ısıt işlem yapmak gibi yöntemler bulunmaktadır. Alaşım elementleri çeliğin içyapısında farklılık yaratarak çekme mukavemeti, akma sınırı, darbe dayanımı, süneklik ve işlenebilirlik gibi mekanik özelliklerinin değişiminde önemli bir rol oynar (Aytaç ve diğ. 2018).

Düşük oranlarda vanadyum (V), niyobyum (Nb), ve titanyum (Ti) içeren çelikler mikro alaşımlı çelik olarak ifade edilmektedir. Mikroalaşımlı çelikler muhtelif sertleştirme çalışmalarının ve uygun termomekanik işlemlerin uygulanması ile yüksek mukavemet, yüksek tokluk, düşük sünek-gevrek geçiş sıcaklığı, çok iyi kaynaklanabilirlik ve korozyona dayanıklılık gibi iyi özelliklere sahip çelik çeşitleridir (Erden, 2015).

Endüstrinin inşaat, taşıma ve enerji alanlarında C-Mn çeliklerine yakın ancak daha uygun maliyetli alaşımlı çelik ihtiyacı doğrultusunda 1960 yıllardan sonra yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (HSLA) veya mikroalaşımlı (MA) çeliklerin geliştirilmesi yönünde faaliyetlere başlamıştır. Mikroalaşımlı çelikler, az miktarlarda (çoğunlukla 0,001 oranına kadar) titanyum, niyobyum, vanadyum veya bu elementlerin birleşimlerini içerirler. Mikro alaşım elementleri mikro yapıda kararlı karbür veya karbonitrürler oluşturarak malzeme özelliklerini olumlu yönde imar ederler. Daha karmaşık çeliklere nikel, krom, bor, bakır ve molibden gibi elementler de eklenerek ostenitin ayrılmasında ve tekrar kristalleşmede ek kontrol sağlanmış olur. Bu elementlerin haricinde Al, N,O ve S'un da ciddi etkileri bulunmaktadır. Ayrıca inklüzyon oluşumunu ve morfolojisini kontrol etmek için çeliğe Ca, Zr elementleri de eklenebilir. Düşük alaşımlı çeliklerin, düşük darbe geçiş sıcaklığına, kabul görülebilir sünekliğe, yüksek mukavemete ve ucuz maliyete sahip olması beklenir (Özcan, 2005).

Bu özellikler doğru alaşım kompozisyonlarının geliştirilmesi ve üretim süreçlerindeki uygulamalarla sağlanmaktadır. Sertleştirme için lüzum görülen alaşım elementlerinin ve ısıt

işlemin gerekli olmamasının kazandırdığı maliyet avantajları mikroalaşımli çelikleri standart çeliklerden farklı bir malzeme olarak kullanılmasını sağlamıştır (Özcan, 2005).

En etkili mikro alaşım elementi olarak Niyobyum bilinmektedir. Niyobyum elementi sinterleme ve soğuma anında karbür, nitrür ve karbonitrür olarak çökelir ve düşük alaşımli çeliklerin özelliklerine tane küçültmesi, katı eriyik ve çökelti sertleşmesi mekanizmaları ile katkıda bulunmaktadır (Özdemirler, 2017).

Niyobyum için etken miktar sınırı % 0,04'dür. Bu miktarda niyobyum içeriklerinde tokluk yüksek orandadır. Aynı durumda, niyobyum düşükte olsa çökeltme sertleşmesi etkisi taşımaktadır (Taş, 2012).

Bu çalışmada mikroalaşım elementi olarak niyobyum kullanılmıştır. Niyobyumun tercih edilme sebebi vanadyumla aynı etkiyi gösterip daha düşük maliyetli olmasındandır. Nb ile mikro alaşımlamanın içyapı ve mekanik özelliklere etkisini belirlemek için Nb-ilavesiz ve Nb-ilaveli çelikler üretilmiştir. Nb elementinin tane içerisinde çökerek tane yapısını incelttiği (tane rafinasyonu sağladığı) hem de kuvvetli karbür yapıcı özelliğiyle sertliği ve mukavemeti arttırdığı gözlemlenmiştir. Düşük oranda Nb ilavesinin (mikro-alaşımlamanın) hem mukavemeti hem de süneklik ve tokluk değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Mikroalaşım elementleri, oluşturdukları karbür ve nitürlerin oluşma ve çözünme sıcaklığına bağlı olarak çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Mikroalaşım elementleri olarak V, Nb, Al ve Ti genellikle YMDA çeliklerinin üretiminde kullanılmaktadır (Özdemirler, 2017).

### 2.1. Alaşım Elementlerinin Çelik Yapısına Etkisi

Diğer metallere nazaran alaşım elementleri, en çok çelik yapısında etkili olmaktadır. Aynı zamanda alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir olmadığından, çok sayıda mikroalaşım elementinin birlikteliği durumunda beklenen özellik değişimleri sadece genel anlamda incelenebilir ve kesin bir sonuç bulunamaz. Alaşım çelikler, alaşım elemanları (artılamayan elemanlar dışında kalan diğerleri ve karbon) toplam miktarı 0,05'ten az olan çelikler ve alaşım elemanlarının toplamı 0,05'ten fazla olan çelikler olmak üzere, iki ana gruba ayrılırlar.

Alaşım çeliklerin özelliklerine sahip olan düşük alaşım çeliklerin gözle görülür özelliği, sertleşme kabiliyetlerinin daha yüksek olmasıdır. Aynı zamanda, genellikle kopma uzaması, kesit daralması, çentik darbe dayanımı gibi değerlerde azalma görülürken, sertlik, çekme dayanımı, akma sınırı, elastiklik modülü gibi dayanım özellikleri ve sıcağa dayanım, meneviş dayanımı gibi karakteristikler yükselme olur. Alaşım çeliklerde, istenilen özelliklerin bulunmaması veya yetersiz olması halinde yüksek alaşım çelikler kullanılır. Bu tür alaşımlama, özellikle sıcağa, korozyon dayanımına, normal sıcaklıklardaki mekanik dayanımın artırılmasının yanı sıra, tufalleşmeye, sıcaklıkta sertlik ve manyetiklenmeme gibi bazı istenen özelliklerin elde edilmesini hedeflemektedir. (Hasçelik Teknik Katalog, 2015).



## 2.2. Mikroalaşımli Çeliklerinin Avantajları

Üretim yöntemleri ve özelliklerine bakıldığında mikroalaşımli çeliklerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- a) Kullanılan alaşım miktarları azdır.
- b) Isıl işlem gerektirmezler.
- c) İşlenebilirlik özellikleri iyidir.
- d) Üretim imkanları hızlıdır.
- e) Zaman ve enerji tasarrufu sağlarlar.
- f) Daha hafiftirler.
- g) Maliyet açısından ucuzdur.
- h) Şekil ve yüzey görünümleri iyidir.
- i) Yüksek dayanıma sahiptir (Taşçı, 2016).

## 2.3. Mikroalaşım Elementlerinin Sınıflandırılması

Mikroalaşımli çelikler iki şekilde üretilmektedir. Birincisi sac, gaz ve petrol boru hatlarında kullanılan yassı ürünlerdir. İkincisi ise otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere dövme mamulleri şeklindedir. Yassı ürünlerde mikroalaşımlama ile birlikte uygun kontrollü haddeleme işlemin yapılması gerekir. Termomekanik haddeleme ile gerçekleştirilen bu işlemde, genelde 1000-1200 °C'de yapılan ön deformasyon sonrası düşük sıcaklıklarda (700-800° C) son bir deformasyon eklenir. Haddeleme sonrasında farklı soğuma hızları ayarlanarak mikro yapının ince taneli ferrit veya beynitten oluşması sağlanır. Soğuma şartlarına bağlı olarak az miktarlarda perlit veya martenzit de elde edilir (Asil Çelik,1994; Taşçı, 2016).

Çizelge 2.1'de bazı mikroalaşım elementlerinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki rolü gösterilmektedir (Erden, 2015).

Çizelge 2.1. Mikroalaşım elementlerinin rolü (Erden, 2015).

Alaşım Elementi	Sıcak haddelemeden sonra çökelti sertleşmesi	Normalizasyondan sonra çökelti sertleşmesi	Sıcak haddeleme süresince yeniden kristalleşmeye etkisi	Normalizasyonla tane boyutu inceltme	Yüksek sıcaklıklarda östenitleme süresince tane boyutu inceltme	Sıcak haddelemeden sonra dönüşüm karakteristliğine etkisi
V	VN, VC	VC		VN		
Nb	NbCN		Nb, NbCN			Nb
Ti	TiC			TiC	TiN	

### 2.3.1. Titanyum

Titanyum çok yüksek sıcaklıklarda nitrür oluşturur. Bu nitrürler haddeleme ve dövme işlemi sırasında östenitin tane büyümesini engeller. Ayrıca, TiN partikülleri ısıdan etkilenen bölgenin (IEB) en sıcak kısımlarında çözünmeden kalabilir. Bu nedenle TiN partikülleri IEB'nin kaba taneli yapısını ince taneli yapıya dönüştüren en etkin mikroalaşım çökeltilerinden biridir. Bazı durumlarda titanyum çeliğin tokluğunu azaltan tane sınırlarında çökelen oluşumlara sebebiyet verebilir (Sage, 1989; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016). Titanyum miktarının artması östenit tane boyutunu azaltmaktadır. Titanyumun etkili olabilmesi için, çelik katılaşmadan hemen sonra 25 °C/dak ve 35 °C/dak hızında soğutulmalıdır (Koltuk,1996; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

### 2.3.2. Vanadyum

V, Ti ve Nb'un oluşturduğu sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklarda nitrür ve karbür çökeltileri oluşturur. Vanadyumun tane boyutunu kontrol etmek için, Titanyum ve Niyobyum en yaygın kullanım alanına sahiptir. Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde V' un en önemli fonksiyonu çökelti sertleşmesidir. Çeliklerde karbonca zengin VCN çökeltinin oluşum sıcaklığı yaklaşık 700 °C'nin altındadır. V çökeltileri genellikle dönüşüm süresince veya dönüşüm sonrası 300 Å'dan daha düşük çapa sahiptir (Sage, 1989; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

Ferrit içerisinde vanadyum nitrür, alüminyum nitrür ile beraber ince ferrit oluşumunu sağlayıp, tane büyümesini önler. Normalize edilmiş çelikler termomekanik haddelemeden önce, yüksek mukavemetli boru hatlarında Vanadyum Karbonitrür çökeltir ve haddeleme esnasında yüksek mukavemet sağlamaktadır (Topateş, 1995; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

### 2.3.3. Niyobyum

Niyobyum nitrür ve karbür oluşturan en etkili mikroalaşım elementidir. Niyobyum karbür haddelenme pratiğinde, 1000°C sıcaklığın altında oluşmaktadır. Östenitin yeniden kristalleşmesine engel olarak ince ferrit tanelerinin oluşumunu sağlamaktadır. Niyobyum karbonitrürün efektif olabilmesi için östenitleme sıcaklığında tamamıyla çözelti içinde olmalıdır. Bu şekilde ince partiküller şeklinde çökerek akma mukavemetinde artışa neden olurlar. Niyobyum karbonitrürün çözeltilere girebilmesi için tekrardan ısıtma sıcaklığının artış (1300°C) ve uzun süreli olmalıdır (Koltuk, 1996; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016). Niyobyumun, düşük alaşımlı çeliğin mikro yapısına etkisi Çizelge 2.2’de görülmektedir. Ort. 200 µm boyutundaki niyobyum karbonitrürün çökeltileri tane büyümesini engellemektedir. Östenit içi oluşan 20 µm’lik çökelti tekrar kristalleşmeyi geciktirmektedir. Çökelti sertleşmesi, 2 nm boyutlu daha küçük çökeltiyle gözlenmektedir (Özdemirler, 2017).

Çizelge 2.2. Yüksek dayanımlı çeliklerde Nb'nin metalurjik etkisi (Hulka1a, 2005).

Mikroalaşımlama	C, N' la ilgili afinite	İnce çökelti	Dönüşümün gecikmesi	Tane rafinasyonu
Nb	++	+	+++	+++
V	+	++	0	0
Ti	+++	+ / - <sup>1)</sup>	+	+

+ : pozitif etki

- : negatif etki

0 : önemsiz etki

1) Ti miktarına bağlı

### 2.3.4. Alüminyum

Alüminyum elementi sadece nitrür oluşturur ve çok yavaş çöker. Al elementi çözünme sıcaklığı 1000 °C’dir. AlN yapısının hegzagonal sıkı paket olması onu diğer nitrürlerden ayıran en büyük özelliğidir (Gladman, 1997; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016). AlN yaklaşık 1000 °C sıcaklıkta oluşur. Fakat bu çok yavaş gerçekleşir ve çok azı haddelenmiş çeliklerde bulunur. Ama AlN yeniden ısıtma süresince oluşur. Bu VCN veya NbCN’ün azot içeriğini azaltır. Bu çökelti kırıma değerini ve etkinliğini azaltacaktır. AlN normalizasyon çeliklerinde tane büyümesini engelleyerek çeliğin dayanımına ve tokluğuna katkı sağlar

(Sage, 1989; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

### **2.3.5. Karbon**

Karbon miktarının fazla olması perlit yapısının artması, tokluk ve kaynak kabiliyetinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum dışında karbon miktarının artışı ile akma mukavemetinde de artış sağlanmaktadır. Karbon miktarının yüksek oranda kullanımı martenzit ve beynitik yapı oluşmasına sağlamaktadır. Sıcak haddeleme koşulları altında mikroalaşımli çeliklerde karbonun maksimum kullanımı yaklaşık 0,002 dir. Fakat otomotiv teknolojisinde kullanılan dövme ekipmanlar yalnızca kontrollü soğutma mekanizmasıyla üretildiği için karbon miktarı 0,0025'in üzerindedir (Sage, 1992; Karabulut, 2004, Taşçı, 2016).

### **2.3.6. Azot**

Azot kullanım miktarı düşük alaşımli çeliklerde %0,02 değerindedir. Bazı faaliyetlerde bu değerler %0,005 seviyelerine çıkmaktadır. V içeren çeliklerde N ilavesi önemlidir. Bunun sebebi çökeltme sertleşmesini arttırmasıdır. Vanadyum ve niyobyum çeliklerinde oluşan Vanadyum Nitrürün, Vanadyum Karbüre karşılık östenit içerisinde daha az çözünmesi, onun tane inceltmesinde daha efektif rolde olmasını sağlar (Sage, 1992; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

### **2.3.7. Silisyum**

Ergimiş olan çeliklerin içerisinde Si, deoksidasyon yapıcı olarak kullanılır. Bu yüzden kullanım oranı %0,35'dir. Si, katı çözelti sertleşmesi gerçekleştirerek akma mukavemetinde yükselme gösterir. Kaynaklanacak bölgelerde 0,003'den daha yüksek oranda kullanılması kaynak kabiliyetinde ve toklukta azaltmaya sebebiyet verir (Topateş, 1995; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

### **2.3.8. Fosfor**

Fosfor elementi ferrit içinde güçlü katı çözelti sertleşmesi sağlamaktadır. Korozyona karşı mukavemeti yükseltir. %0,05'den daha düşük kullanım miktarı östenit tane sınırlarında

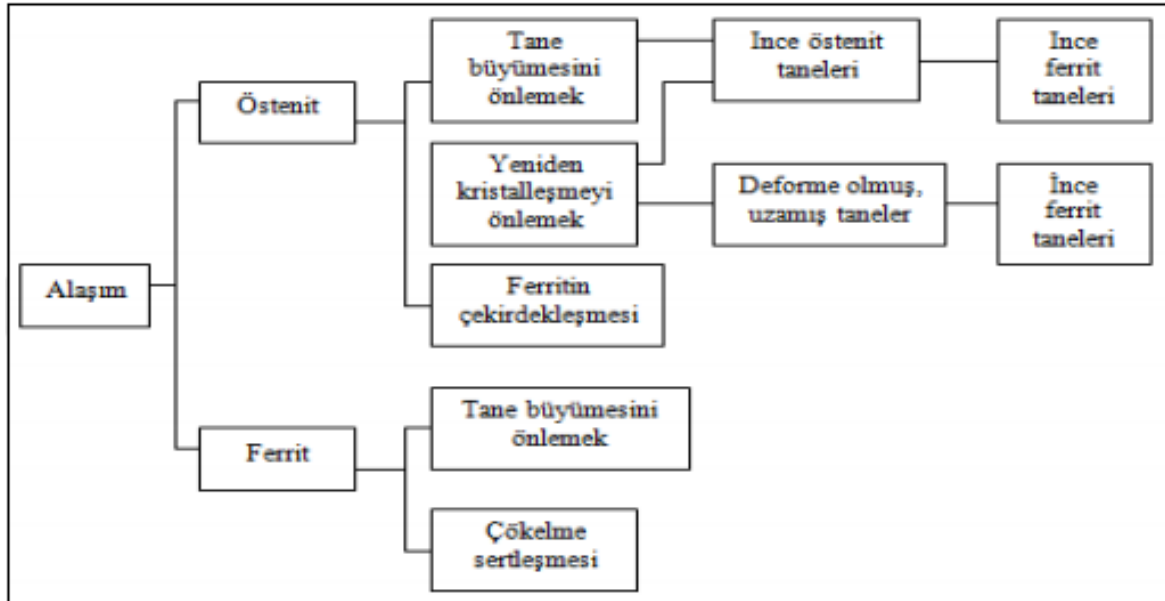
segragasyonların meydana gelmesinin yol açtığı kırılmalığa sebep olur. Fosfor ile bakırın beraber kullanımı önemli oranda korozyon dayanımını yükseltir (Topateş, 1995; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

### 2.3.9. Mangana

Düşük alaşımlı çeliklerin içerdiği Mn oranı 0,015'dir. Mn'nın sağladığı çok ince ferritin tane küçültülmesine etkisi bu miktarlardan daha fazla oranlarda kullanımında önem derecesini yitirmektedir. Bu sebeple Mn oranı maksimum % 1,3 – % 1,7 arasında olmaktadır (Topateş, 1995; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

## 2.4. Mikroalaşımlı Çeliklerde Çökelti Oluşumu

Çeliğin özelliklerini önemli oranda etkileyen düşük alaşımlı çeliklerde çökelti meydana gelmesidir. Şekil 2.1 'de çeliğin mikro yapısı üzerindeki düşük alaşım çökeltilerinin etkisi görülmektedir. (Taşçı, 2016)



Şekil 2.1. Çeliğin mikroyapısı üzerinde düşük alaşım çökeltilerinin etkileri (Sage, 1992; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

Elementlerin çözünebilirlikleri ve çökelti oluşturmalarına dikkat edilmesi mikro alaşım elementlerinin seçiminde önemlidir. Mikroalaşım elementlerinin karbür ve nitrür oluşturabilmeleri, onlara çökeltme sertleştirme özelliğini kazandırmaktadır (Tekin, 1995; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

#### **2.4.1. Karbür ve nitrür çökeltmesi**

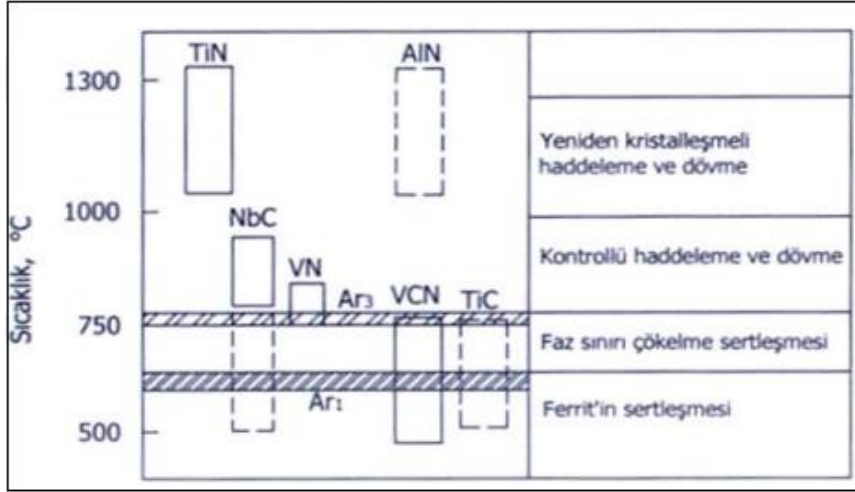
Mikroalaşım çeliklerinde karbonitrür partiküllerinin çökeltmesi üç aşamada meydana gelmektedir. İlk aşamada oluşan çökelti sıvı faz içerisinde ve katılaşma sırasında veya katılaşmadan sonra oluşurlar.

İlk aşamada oluşan (sıvı fazda oluşan çökelti) çökelti çok kararlı fakat östenitin yeniden kristalleşmesini engellemek için çok büyüktürler. İkinci aşamada oluşan çökelti sıcaklık düşerken sıcak deformasyon sürecinde (örneğin termomekanik haddeleme) meydana gelmektedir. Bu çökelti östenitin yeniden kristalleşmesini geciktirirler.

Son aşamada, oluşan çökelti östenit-ferrit faz dönüşümü sırasında ve sonrasında meydana gelmektedir. Bu tip çökelti  $\gamma$ - $\alpha$  ara yüzeyinde ve ferrit içerisinde çekirdeklenmektedir. Ferrit fazındaki çökelti sertleşmesi bu değişim sürecinde oluşur ve küçük taneli çökelti meydana gelir (VCN) (Gladman, 1989; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

#### **2.4.2. Sıcaklık ve soğuma hızının çökelmeye etkisi**

Mikroalaşım çökeltilerinin çeliğin mekanik özelliklerini etkilemedeki rolü meydana geldiği sıcaklıkla doğrudan ilgilidir. Şekil 2.2, haddeleme veya dövme işleminden sonra çelik soğurken karbür ve nitrürlerin oluşum sıcaklığını göstermektedir (Taşçı,2016).



Şekil 2.2. Soğuma süresince dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak mikroalaşım karbonitrürlerinin oluşması (Sage, 1992; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

Soğuma hızı ne kadar yüksek ise, çökeltilerin oluştuğu sıcaklık o kadar düşük olur. Soğuma hızı çökeltilerin östenitte mi yoksa ferrit içerisinde mi çökeceğini belirler (Koltuk,1996; Karabulut, 2004; Taşçı, 2016).

## 2.5. Mikroalaşımli Çeliklerin Uygulama Alanları

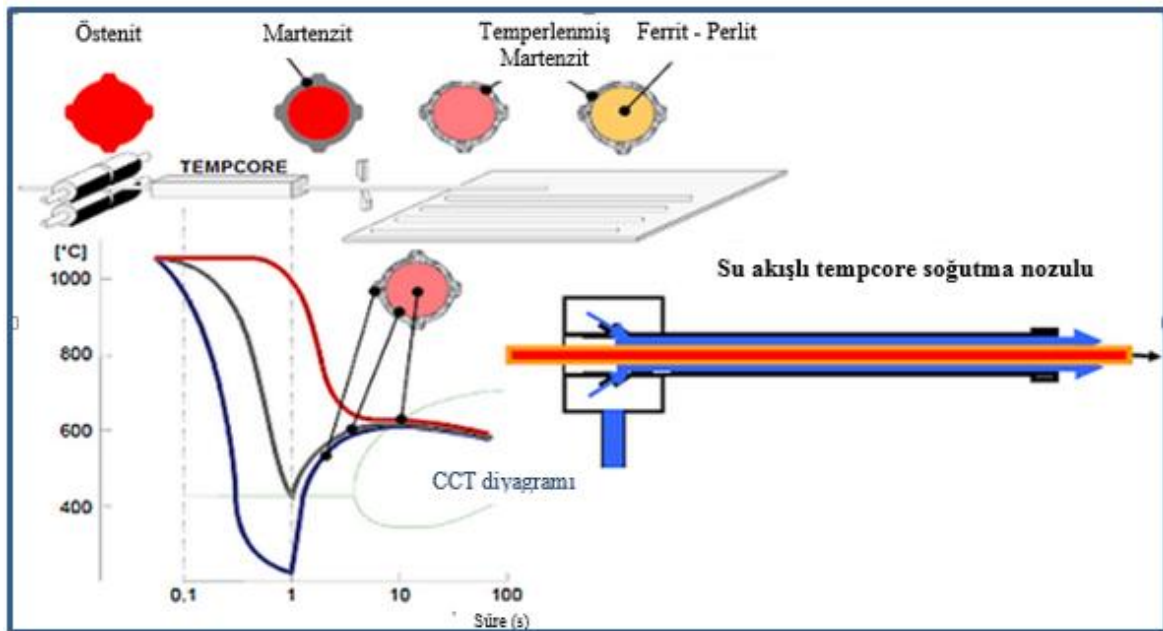
Mikroalaşım çeliklerinin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Bu uygulama alanları arasında büyük çaplı borular, otomotiv endüstrisi, çelik köprüler ve çelik binalar gibi kaynaklı konstrüksiyonlar, vinç, kamyon, tren, vagon, sürekli taşıyıcılar, tarım ve zirai makinalar gibi hareketli konstrüksiyonlar ve makine elemanları, basınçlı kaplar ve depo tankları, su kontrol ekipmanları ve baraj bileşimlerinde yapı elemanı sıralanabilir. Ayrıca atmosferik platformlarda ısı ve korozyona dayanabilecek yapılarda, petrol arama platformları, deniz ortasından ve kıyısından geçen çelik borular ve kanallarda, çimento mikserlerinde, sondaj, havalandırma borularında kullanılan korozyona dayanıklı elemanlar olarak da kullanılabilir.

Mikroalaşım çelikleri dünya genelinde farklı alanlarda değişik ülkeler tarafından daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Örneğin mikroalaşımli çelikler basınçlı kaplar ve gemi imalatı için Japonya'da Avrupa ve Güney Amerika'ya göre daha fazla kullanılmaktadır (Taşçı, 2016).

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada özellikleri incelenecek olan ‘nervürlü filmaşın; sıcak haddelenerek yapılan, genellikle yuvarlak veya yarı yuvarlak, kare, dikdörtgen ve altıgen kesitinde soğuk çekme için kullanılan kangal halindeki yarı mamul metal çubuk donatıdır. Nervürlü filmaşın demiri; etriye, gönye, pilye, çiroz, fore kazık donatılarında, çelik hasır imalatı yapımında kullanılır (<https://tr.steelorbis.com>).

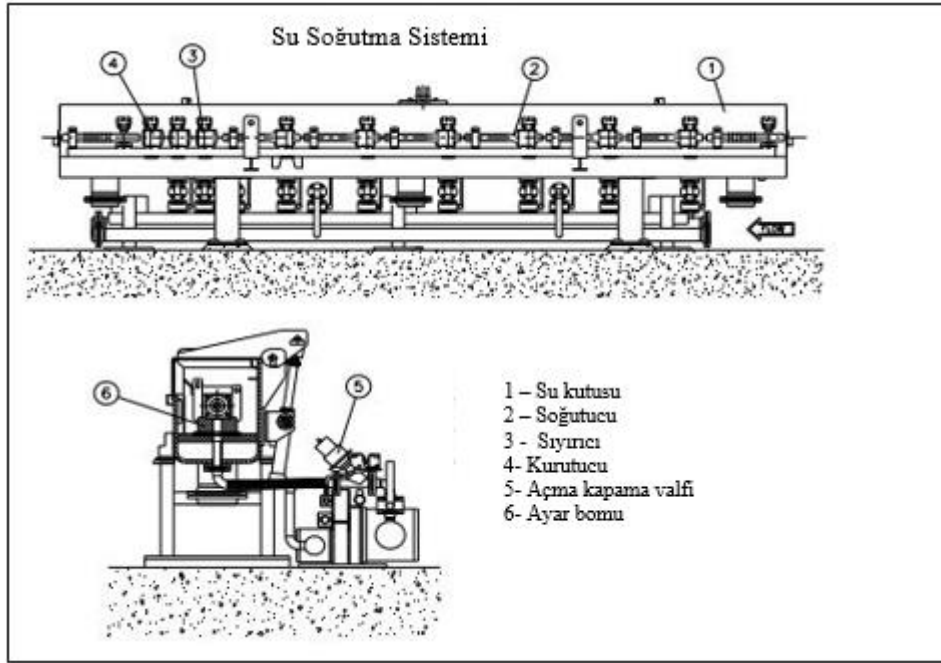
150x150x12000mm kesitlerindeki Nb elementi ilaveli ve Nb elementi ilavesiz kütükler 120 ton/h kapasite yürüyen kirişli doğal gaz ile çalışan kütük tavlama fırınında yaklaşık olarak 1150 °C’ye tavlansmıştır. Fırında tavlama esnasında oluşan tufalin kütük üzerinden temizlenmesi için 200 bar basınçlı 15 derece açılı özel nozullu descaler ünitesi kullanılmıştır. Normal şartlarda sıcak kütüğün istenilen ürüne göre şekillendirilmesi için 6 adet kaba grup, 6 adet ara grup, 6 adet finiş convertible özelliğe sahip tezgahtan sonra 8 adet monoblok ve 1 adet 2’li monoblok tezgah ile sıcak haddeleme yapılmaktadır. Fakat Şekil 3.1’de akım şeması verilen tempcore prosesiyle üretilmiş kaynaklanabilir mikroalaşımli veya mikroalaşımsız yüksek mukavemetli ürün üretimlerinde 8 adet monobloğun ilk dört tanesi aktif olarak kullanılmaktadır. Soğutma sonrası malzemenin sarıca sarılması sırasında iç ve dış sıcaklık eşitlenmiş olmaktadır.



Şekil 3.1. Temcore prosenin şematik gösterimi (Noville, 2015).



Üretim prosesinde 5 adet su soğutma sistemi olarak adlandırılan waterbox kullanılmıştır (Şekil3.2). İlk iki waterbox, BGV giriş sıcaklığı yaklaşık 950 °C hedeflenecek şekilde ayarlanmıştır. Yaklaşık 1000 °C ile malzeme, 5 adet waterbox kutusundan (her bir soğutma kutusu yaklaşık 110m<sup>3</sup>/h) ort. 7 bar da geçip M<sub>s</sub> ( martenzit dönüşüm sıcaklığı) altına düşerek 8’li mono bloktan (BGV’den) çıkar (Resim 3.1).



Şekil 3.2. Waterbox su soğutma sistemi.



Resim 3.1.BGV mono blok sistemi.

Tempcor soğutma sistemi ile malzemenin dış yüzeyi  $M_s$  sıcaklığının altına düşer böylelikle dış kabukta martenzit elde edilmiş olur. Gerekli serme kafa hedef sıcaklığına göre (650-680°C) oransal vanalar ayarlanır. Devam eden fazlarda beynit ve östenit olacak şekilde faz içe doğru değişmektedir.

Serme kafada (Resim 3.2) yaklaşık 670 °C ye sabitlenmiş hedef sıcaklıkta malzeme sarılırken içyapı dışarıya doğru nüfuz eder. Bu sayede bu sıcaklık ve altında faz değişimi tamamlanmış olup, içyapıda perlit +ferrit oluşur. Temperlenmiş beynit ve en dış kabukta da temperlenmiş martenzit elde edilmiş olur.



Resim 3.2. Filmaşın serme kafa ve konveyör sistemi.

Çizgisel hızla gelen malzeme 2250 rpm serme kafa marifetiyle 1080mm çapında filmaşın spiralleri oluşturularak 670°C 'de konveyör sistemine serilmiştir.

105 m konveyör sisteminden 1080 mm çapında serili halde şekillendirme istasyonuna gelen malzeme şekillendirme tüpü etrafında 850 iç çap ~1250mm dış çap aralığında toplanarak paketlenmiştir.

### **3.1. Kimyasal Kompozisyonun Ayarlanması**

#### **3.1.1. Karbon ve Mangan değerlerinin ayarlanması**

Sıcak haddelenmiş çeliğe istenilen mukavemet kazandırılabilir. Ancak özellikle çelik içeriğinde yüksek karbon içeriği, kaynaklanabilirliği düşürdüğünden, süneklilik ve uzamayı azalttığından, bu yöntem ile üretilen çeliklerde tercih edilmemektedir (İDÇ notları, 1997, Çelik, 2015)

### 3.1.2. Mikroalaşım

Düşük karbonlu çeliğin mukavemeti mikro alaşım elementleri kullanarak da artırılabilir. Mikro alaşım elementleri olarak genellikle pahalı olan V, Nb gibi elementler kullanılmaktadır. Bu elementlerin oluşturduğu nitrür ve karbür çökeltileri, gerek çökelti sertleşmesi ve gerekse tane küçültme etkileri ile çeliğe ek bir mukavemet sağlarlar (İDÇ notları, 1997, Çelik, 2015).

Örneğin; İsrail çelik standartlarında kaynaklanabilirlik de esas alındığından yüksek mukavemet C-Mn değerleri yerine, alaşım elementleri zorunlu tutularak sağlanmaktadır. Çizelge 3.1'de görüleceği üzere İsrail standardı SI 4466 min. 200 ppm alaşım ilavesini zorunlu tutmaktadır.

Çizelge 3.1. İsrail S500W-C standardı kimyasal kompozisyonu (SI 4466, 2015).

Type of steel	(C) % max.	(P) % max.	(S) % max.	(P+S) % max.	(Si) % max.	(Mn) % max.	V+Nb/Nb /V % min.
S500W-C	0,24	0,5	0,050	0,080	0,55	1,80	0,02

Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de sırasıyla bu çalışmada kullanılan Nb-ilaveli ve Nb-ilavesiz numunelerin kalite, çap ve standart bilgileri ile kimyasal kompozisyonları verilmektedir.

Çizelge 3.2. İncelenen numunelerin kalite, çap ve standart bilgisi.

Test Malzemesi	Standart	Çap	Kalite	Açıklama
Numune-1	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	Niyobyum ilaveli çelik test numuneleri
Numune-2	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	
Numune-3	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	
Numune-4	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	
Numune-5	DIN 488: 2009	10.0 mm	WS 221	Niobyum İlavesiz çelik test numuneleri
Numune-6	DIN 488: 2009	10.0 mm	WS 221	
Numune-7	DIN 488: 2009	10.0 mm	WS 221	
Numune-8	DIN 488: 2009	10.0 mm	WS 221	

Çizelge 3.3. Kullanılan Nb ilaveli ve ilavesiz çeliklerin kimyasal analizleri.

Test Malzemesi	Standart	Çap	Kalite	% C	% Mn	%Si	%P	%S	%Cu	%Nb
Numune-1	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	0,20	1,02	0,22	0,019	0,021	0,33	0,028
Numune-2	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	0,20	1,01	0,22	0,020	0,010	0,30	0,027
Numune-3	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	0,20	1,01	0,22	0,026	0,030	0,36	0,028
Numune-4	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	0,20	1,03	0,22	0,025	0,022	0,34	0,030
Numune-5	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	0,20	1,01	0,17	0,024	0,033	0,27	0,00
Numune-6	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	0,20	1,01	0,18	0,021	0,024	0,28	0,00
Numune-7	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	0,20	1,02	0,17	0,025	0,032	0,29	0,00
Numune-8	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	0,20	1,02	0,16	0,026	0,033	0,29	0,00

Üretimden sonra filmaşinlerden alınan Nb ilaveli ve Nb ilavesiz 4'er adet numunenin içyapıları ve mekanik özellikler incelenmiş ve birbirleriyle mukayese edilmiştir. İçyapı incelemeleri için, Nb ilaveli ve Nb ilavesiz filmaşinlerden 2'şer adet mikro yapı numunesi alınmıştır. Mikro yapısı incelenecek numuneler sulu kesme diskinde 0,5 mm boyunda kesilmiştir. Kesilen malzemeler Strues marka bakalite alma cihazında numune tutucu yerine yerleştirildikten sonra ilk olarak Duno-fast ve Multi-fast tozlarından yeterli miktarda eklenerek kalıplanmıştır. Bakalite gömme işlemi, 180°C'de 250 bar'da 3dk'luk ısıtma ve 2dk'luk soğutma ile yapılmıştır.

Bakalite gömülmüş numuneler, Strues marka parlatma cihazında öncelikle 320'lik zımpara ile su altında 10 dk. , ardından largo zımpara ile Allegro Largo 9 mikronluk özel sıvı altında 5 dk. , MD Dac zımpara ile Dag 3 özel sıvısı ile 4 dk. son olarak da MD Nap zımpara ile Nap B1 özel sıvısı ile 2 dk. parlatılmıştır. Parlatma cihazından çıkan numuneler el değdirmeden alkolle yıkanıp %3'lük nitrik asit ile dağlanmıştır.

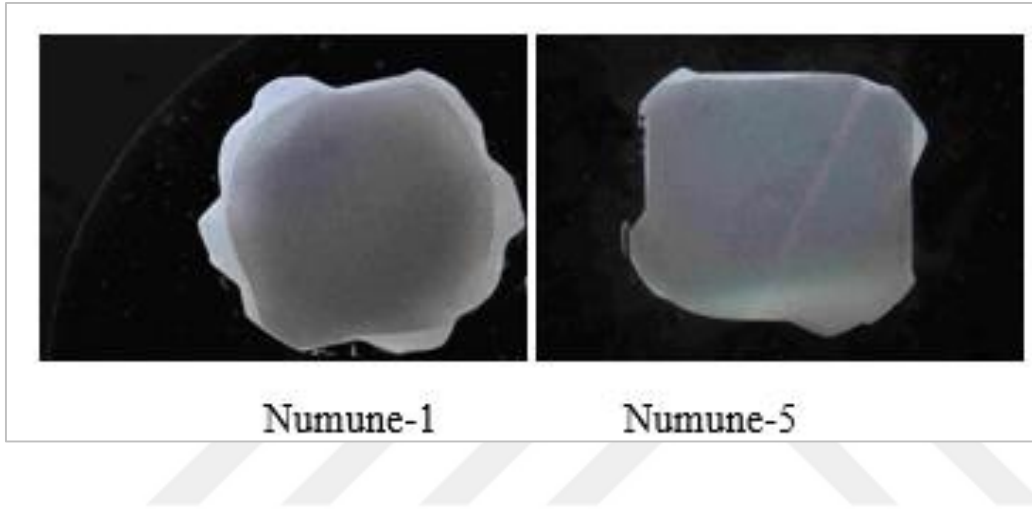
Bu metalografik numuneler üzerinde daha sonra Nikon MA 200 ters metal mikroskobu ile içyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çekme ve ileri-geri bükme deneyleri ile de hem akma ve çekme mukavemetleri hem de şekil verilebilirlik özellikleri belirlenmiştir. Çekme deneyi 100 tonluk SUNS marka çekme cihazı ile yapılmıştır. Çekme deneyi, standartlara uygun şekilde yapılmış (Dizdar ve diğ. 2018) ve akma gerilmesi, çekme gerilmesi, çekme mukavemeti/akma mukavemeti oranı ve % uzama gibi mekanik özellikler belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

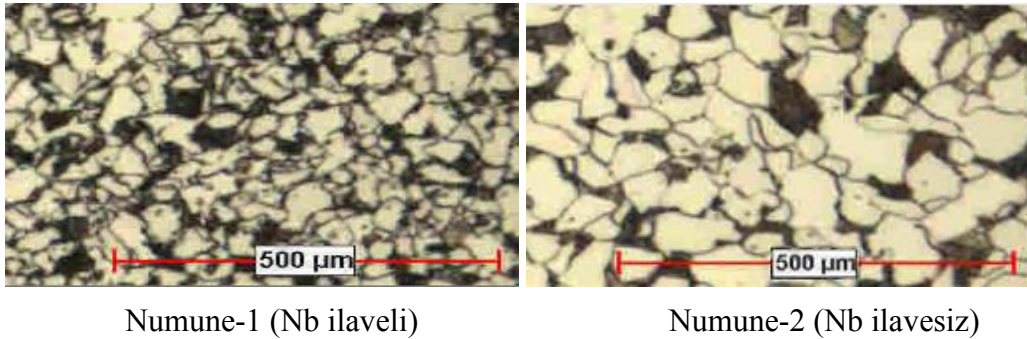
### 4.1. Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 4.1’de içyapı incelemeleri yapılan bakalite gömülmüş, parlatılmış ve dağlanmış numunelerin genel görünümü verilmektedir.

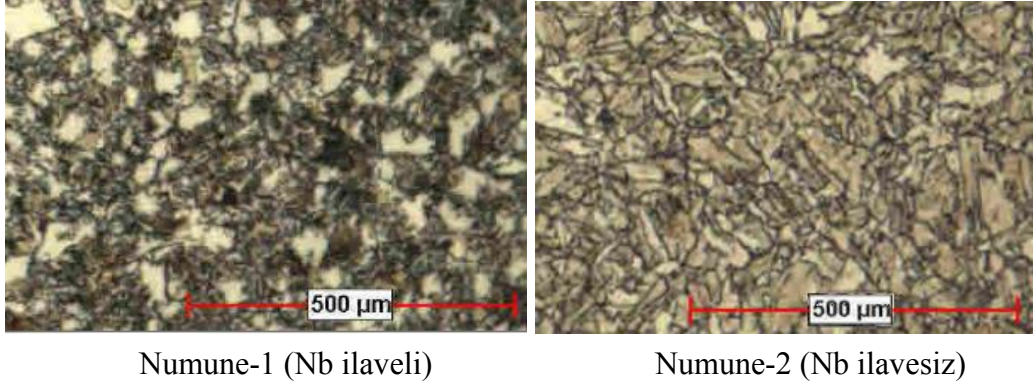


Şekil 4.1 Numune-1 (Nb ilaveli) ve Numune-5 (Nb ilavesiz) malzemelerine ait dağlama numuneleri.

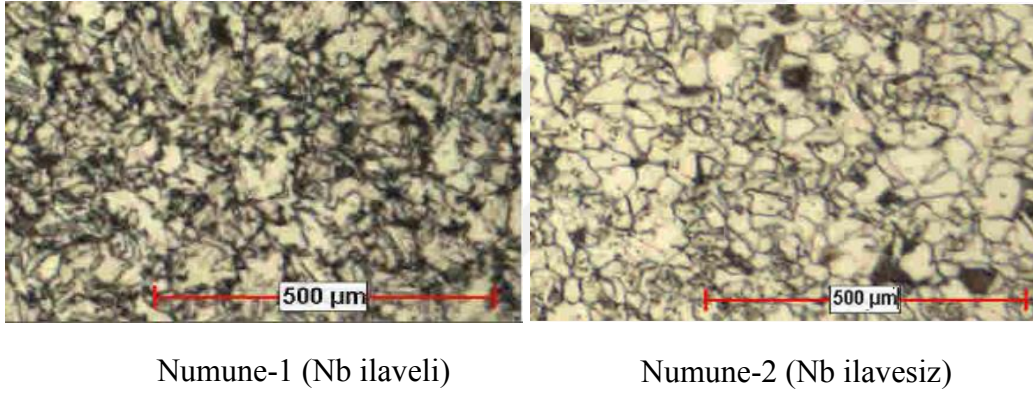
Dağlanan numuneler mikroyapı görüntülemeleri için Nikon MA 200 ters metal mikroskopu ile 500X büyütmede Numune-1 (Nb ilaveli) ve Numune-5 (Nb ilavesiz)’in merkez, kenar ve geçiş bölgelerinden alınan içyapı görüntüleri, sırasıyla Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4’te verilmektedir.



Şekil 4.2. Numune-1 (Nb ilaveli) ve Numune-5 (Nb ilavesiz) çeliğin merkezinden alınan mikroyapı görüntüsü (500X).



Şekil 4.3. Numune-1 (Nb ilaveli) ve Numune-5 (Nb ilavesiz) çeliğin kenar bölgesinden alınan mikroyapı görüntüsü (500X)



Şekil 4.4. Numune-1 (Nb ilaveli) ve Numune-5 (Nb ilavesiz) çeliğin geçiş bölgesinden alınan mikroyapı görüntüsü (500X).

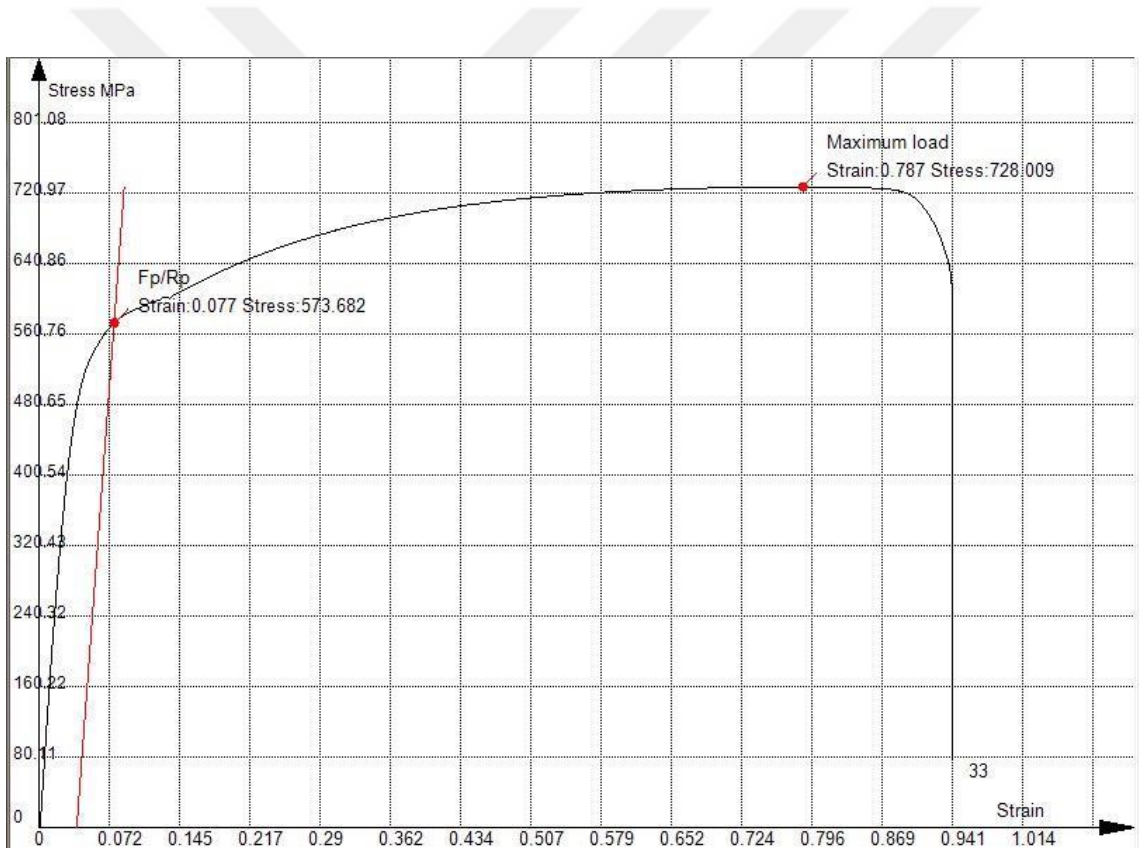
Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'te Numune-1 ve Numune-5'e ait 500X mikroyapı görüntüleri incelendiğinde Nb ilaveli çelik malzemesinin tane boyutlarının, Nb ilavesiz malzemeye göre daha ince olduğu gözlemlenmiştir. İki malzemedeki de benzer mikro yapılar (ferrit taneleri ve az miktarda perlit ve karbür partikülleri) mevcuttur.

## 4.2. Mekanik Özellikler

Nb ilaveli ve Nb ilavesiz filmaşinlerden 4'er adet çekme test numunesi alınmıştır. Bu numunelerin çekme deneyinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Ayrıca, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 sırasıyla Nb-ilaveli ve Nb-ilavesiz numunelerden elde edilen çekme grafiklerine birer örnek gösterilmiştir.

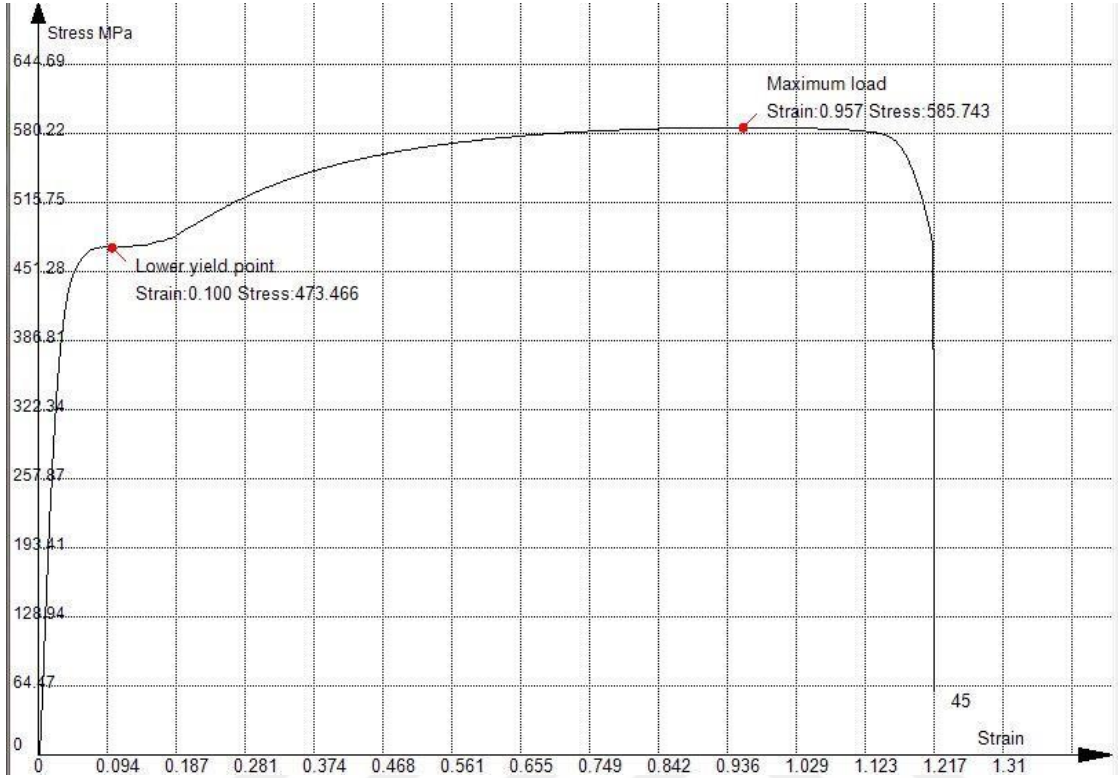
Çizelge 4.1. Çekme deneyi sonuçları.

Test Malzemesi	Standart	Çap	Kalite	% 0,2 Akma Sınırı (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Numune-1	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	574	728	22
Numune-2	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	544	705	22
Numune-3	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	545	695	22
Numune-4	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	540	692	22
Ort.Nb ilaveli	IS 4466 part 3	10.0 mm	S500W-C	551	705	22
Numune-5	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	473	585	26
Numune-6	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	466	579	28
Numune-7	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	480	604	30
Numune-8	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	489	616	28
Ort. Nb ilavesiz	DIN 488 :2009	10.0 mm	WS 221	477	596	28



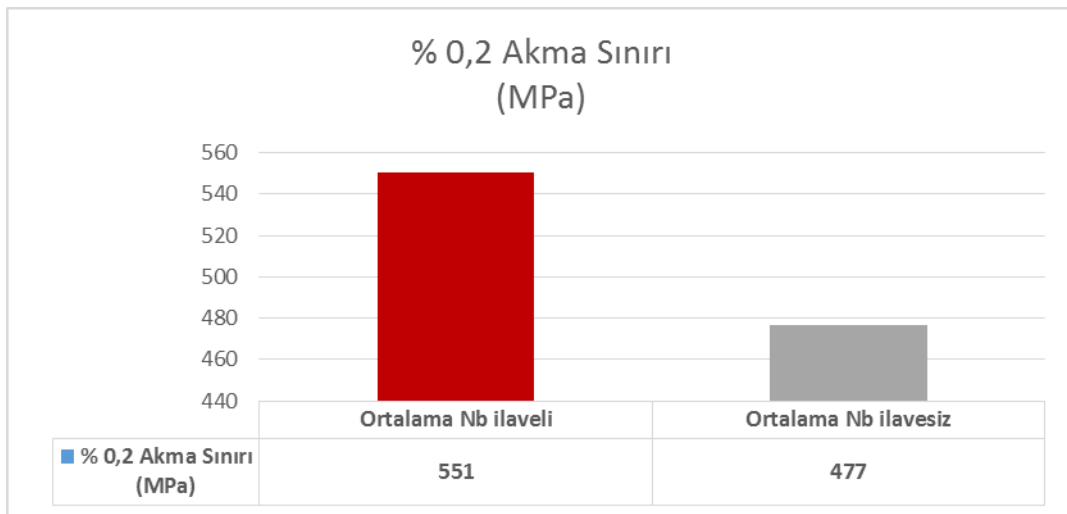
Şekil 4.5. Nb ilaveli çeliğe (Numune-1) ait gerilme-birim deformasyon eğrisi.



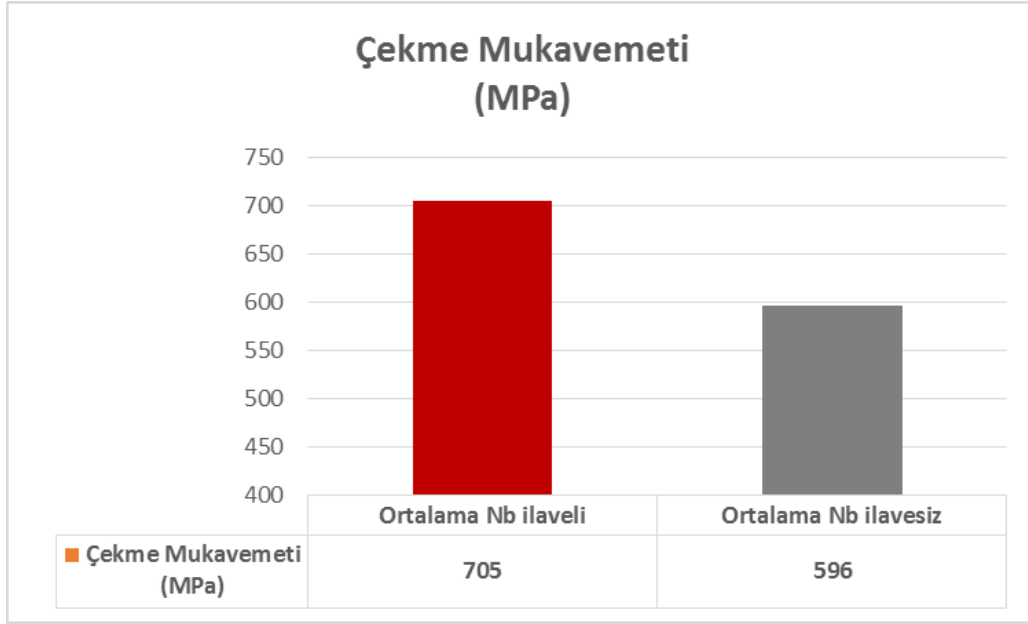


Şekil 4.6. Nb-ilavesiz çeliğe (Numune-5) ait gerilme-birim deformasyon eğrisi.

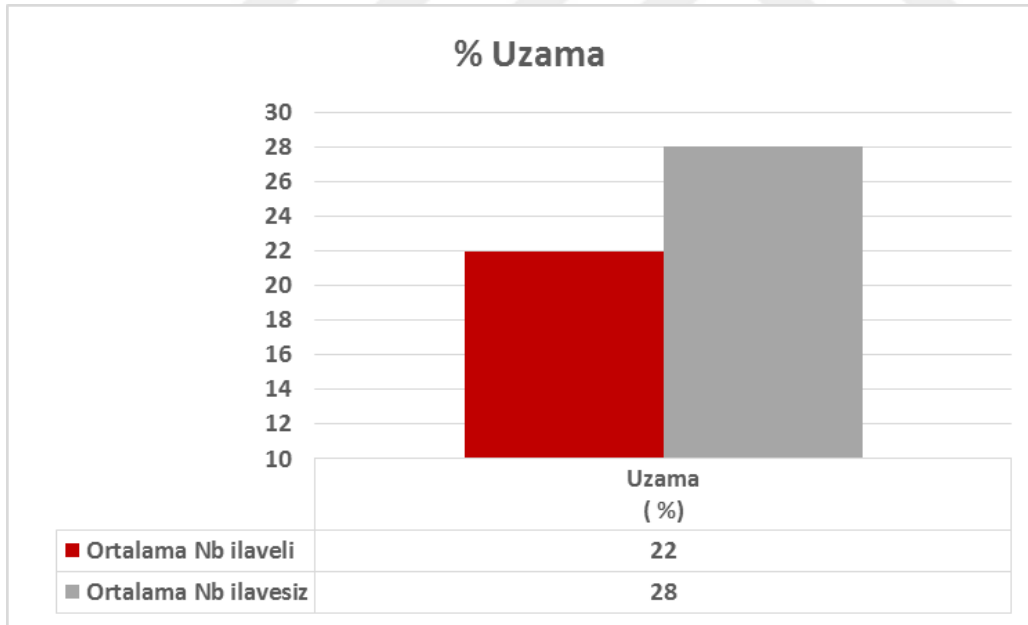
Hem Çizelge 4.1 hem de Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'dan görüleceği üzere, Nb'lu çeliğin Nb'suz çeliğe göre akma ve çekme mukavemeti değerlerinin daha yüksek, fakat diğer taraftan % uzama değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7. Nb ilaveli ve ilavesiz Numunelerin Ortalama % 0,2 Akma Sınırı (MPa) karşılaştırma gösterimi.



Şekil 4.8. Nb ilaveli ve İlavesiz Numunelerin Ortalama Çekme mukavemeti (MPa) karşılaştırma gösterimi.



Şekil 4.9. Nb ilaveli ve İlavesiz Numunelerin Ortalama % Uzama sonuçlarının karşılaştırma gösterimi.

Nb ilaveli ve Nb ilavesiz filmaşinlerden 4'er adet numune alınıp doğrultulmuştur (Resim 4.1). Bükme test numunesi haline getirilip ileri-geri bükme deneyine tabi tutulmuşlardır.



Resim 4.1. Doğrultma yapılmış numune resimleri.

Bu deney, 100 °C lik fırında yaşlandırılarak ileri-geri bükme işlemi şeklinde yapılmıştır. Resim 4.3'ten görüleceği üzere, hem Nb-ilaveli hem de Nb-ilavesiz numunelerde herhangi bir çatlama tespit edilmemiştir.



Resim 4.2. İleri-geri bükme yapılmış numune resimleri.



Resim 4.3. Çatlama olmadığını gösteren test numunesinin yakın çekim görüntüsü.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Nb ile mikro-alaşımlamanın içyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemek üzere aynı karbon oranına sahip Nb-ilaveli ve Nb-ilavesiz olarak üretilen filmaşınların içyapıları ve mekanik özellikleri mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- 1- Bu çalışmalarda, Nb ilaveli çeliğin içyapısının Nb ilavesiz çeliğe göre daha ince taneli olduğu gözlemlenmiştir. Nb ilavesiz çeliklerin tane sayısı 6-7 civarı iken, Nb ilaveli çeliklerin tane sayısının 9-10 olduğu gözlemlenmiştir. Nb ile mikro-alaşımlamanın tane rafinasyonu sağladığı gözlemlenmiştir.
  - 2- Nb-ilaveli çeliğin daha yüksek akma ve çekme mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. 270-300 ppm civarı Nb alaşım ilavesinin ortalama akma mukavemetini % 15, ortalama çekme mukavemetini %18 arttırdığı gözlemlenmiştir.
  - 3- Nb ilaveli çeliğin Nb ilavesiz çeliğe göre uzama miktarının %21 düştüğü belirlenmiştir.
  - 4- Bükme deneyinde hem Nb-ilaveli hem de Nb-ilavesiz filmaşın numunesinde çatlama gözlenmemiştir.
- Üretilecek çeliklerde kaynaklanabilirlik özelliği istenmiyorsa C ve Mn değerlerinin ayarlanması yüksek mukavemetler sağlanabilir.
  - Yüksek mukavemet için yalnızca Nb ilavesi yerine Nb+ V ilavesi ile alaşımlama da denenebilir.
  - Alaşımlamanın mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi haricinde Charpy testi uygulanarak filmaşınların darbe dirençleri de incelenebilir.
  - Mikroalaşımsız çeliklerde azotun yaşlandırma etkisi incelenebilir.
  - Mikroalaşımlı çeliklerde Zener pinnig prensibine göre tane küçülmesi incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Aytaç, A., Işık, M., Çanakçı, B., Özdemir, T., Aztekin, K., ve İpek, H., (2018). AISI 1008 1040 ve 4140 Çeliklerinde Isıl İşlem, Karbon Oranı ve Alaşım Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, Cilt 17, 2: 167-207
- Çelik, O. (2015) Tempcore Isıl İşleme Uygulanmış Nervürlü Betonarme Çeliğinin Manyetik Rezonans Yorulma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 40: 1-40
- Dizdar, H., Aydemir, B., Vatan, C. (2018). ISO 6892-1 ve ASTM E8 Çekme Deney Standartları Arasındaki Farklılıklar", *Metal Dünyası Dergisi*, Sayı 295: 58-65
- Erden M, A. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilen mikroalaşım çeliklerinin mikroyapı mekanik özellik ilişkisinin araştırılması. Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 155: 1-48 (2015)
- J.F. Noville, TEMPCORE®, the most convenient process to produce low cost high strength rebars from 8 to 75 mm (June 2015)
- K. Hulka, A. Kern and U. Schriever (2005). Application of Niobium in Quenched and Tempered High-Strength Steels: *Materials Science Forum*, Vols. 500-501
- Taşçı, M. Toz Metalürjisi İle Üretilen Nb-V Mikroalaşım Çeliğine Nikel İlavesinin Mikroyapı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 79: 1-19 (2016)
- Özdemirler, D. Niyobyum (Nb) İle Güçlendirilmiş Demir (Fe) Matrisli Alaşımların Toz Metalürjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 82: 1-18 (2017)
- Özcan, M. M. Mikroalaşım ve Sementasyon Çeliklerinin Yorulma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 47: 1-3 (2005)
- Özdemirler, D., Gündüz S., Erden M. A., Karabulut H., Türkmen M. Farklı Sıcaklıklarda Sinterlenen Nb Katılmış TM Çeliklerinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 87-91 (2016)
- Taş, Z. (2012). Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma mekanizmaları. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2): 97-101
- İnternet: Filmaşının kullanım alanları, URL: <https://tr.steelorbis.com/orbislist/celik-hakkinda/filmasin-nedir-862840.htm>, Son Erişim Tarihi: 12.04.2019.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ATAKAY, Özge  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 05.04.1993, Adana  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : -  
 Faks : -  
 e-mail : ozgeatakay93@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makina	Devam ediyor.
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2015
Lise	Şehit Temel Cingöz Lisesi	2011

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	TOSYALI FİLMAŞIN VE İNŞAAT DEMİR ÜRETİM TESİSLERİ	Kalite Kontrol ve Üretim Planlama Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Atakay, O., (2019). Niyobyumun sıcak haddelenmiş çeliğin mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Uluslararası Ege Disiplinler Arası İnovatif Bilimsel Araştırmalar Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Mart 2019- 158-64

### Hobiler

Biyografi kitapları okumak ve filmlerini izlemek.

## DİZİN

**A**

Abstract . VII

Alaşım .

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,1  
2,13,14,15,24,25**B**

BGV . xii, xiv, 11,12

**C**

Cihaz .

XII,15,16,17,18,19

**Ç**Çizelge . 6, 7, 8, 9, 25,  
26,28

Çökelme . 2,7,9

**D**

Dizin . 40

**E**

Element·

VI,VII,IX,XII,1,2,3,4,5,6  
,8,10,14,27

Enerji· 1,4

**F**

Ferrit .

4,5,6,7,8,9,10,13,18

**G**

Giriş · XI,1,11

**H**

Hadde

IV,VI,4,5,6,7,9,10,11  
,14**K**

Kaynak · 27

Key Words · VII

Kütük 10,11

**M**

Mikroalaşım ·

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,  
15,24,25

Monoblok . 11

**O**

Oksijen 1

**Ö**

Örnek· 9,21

Özet · IV, XI, 21

Özgeçmiş · 28

**P**

Proses . XI,2,11

Perlit . 4,7,13,18

**R**

Resim ·

xii,13,16,17,18,19,24,25

**S**

Sertleşme · 2,3,5,7,9,15

Soğutma · 7,11,12,13,16

Sarıcı · 11

Simgeler ve kısaltmalar ·  
xiv

Sonuç ve öneriler · 26

**Ş**

Şekil ·

XI,5,6,8,9,11,12,20,21,  
22,23**T**

Temcore . XI, 11,

Teşekkür · VI

**Y**

Ydda . XIV,3,5

Yaşlandırma · 24

**Z**

Zener pinning . 24





**TEKNOVERSİTE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

