



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ



**BETON ÇELİK ÇUBUKLARIN
MEKANİK DEFORMASYON DAVRANIŞLARININ
VE DEPREME DAYANIKLIĞININ
İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ**

Ceyhun KARPUZOĞLU

Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON ÇELİK ÇUBUKLARIN
MEKANİK DEFORMASYON DAVRANIŞLARININ
VE DEPREME DAYANIKLIĞININ
İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

Ceyhun KARPUZOĞLU

Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 31/01/2019

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Uğur CENGİZ

ÇANAKKALE

Ceyhun KARPUZOĞLU tarafından Doç. Dr. Uğur CENGİZ yönetiminde hazırlanan ve **31/01/2019** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Beton Çelik Çubukların Mekanik Deformasyon Davranışlarının ve Depreme Dayanıklılığının İncelenmesi ve Geliştirilmesi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Doç. Dr. Uğur CENGİZ

.....

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Serkan ABALI

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ömür ARAS

.....

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Ceyhun KARPUZOĞLU

TEŐEKKÖR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini aktaran ve çalışma için bÖtÖn imkânları sağlayan saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Uğur CENGİZ'e, bu çalışma sÖresince tÖm zorlukları benimle birlikte gÖğÖsleyen İÇDAŞ Kalite Kontrol Md. Yrd. A. Alpler GÖRBÖZ ve Kalite Kontrol Laboratuvarı personellerine, hayatımın her evresinde sonsuz desteklerinden dolayı değerli aileme ve eşime teőekkÖrlerimi sunarım.

Ceyhun KARPUZOğLU

anakkale, Ocak 2019



SİMGELER VE KISALTMALAR

N	Çevrim
σ_{max}	Maksimum gerilme
σ_{min}	Minimum gerilme
σ_m	Ortalama gerilme
σ_r	Gerilme aralığı
σ_a	Gerilme aralığının yarısı
R	Gerilme oranı
A	Gerilme genliği oranı
g	Gram
%	Yüzde oranı
Brm. Ağ.	Birim ağırlık
% Uz.	Yüzde uzama
% Agt	Yüzde kalıcı uzama
Ceq	Karbon eşdeğerliği
KÖ	Krozyon öncesi
KS	Krozyon sonrası
TMT	Thermex metod ısıtma işlemi
MA	Mikro alaşımlandırılmış
$\bar{F}_r$	Nervür alanı
h	Nervür yüksekliği
ℓ	Nervür uzunluğu
C	Nervür adımı
β	Enine nervür eksenini ile çubuğun boyuna eksenini arasında ki açı
α	Nervür yan yüzeyinin, nervür tabanıyla yaptığı açı
Re	Çekme dayanımı
Rm	Akma dayanımı
Re/Rm	Çekme dayanımının akma dayanımına oranı
İÇDAŞ	Çelik enerji tersane ve ulşım sanayi A.Ş.

ÖZET

BETON ÇELİK ÇUBUKLARININ MEKANİK DEFORMASYON DAVRANIŞLARININ VE DEPREME DAYANIKLILIĞININ İNCELENMESİ VE GELİŞTİRİLMESİ

Ceyhun KARPUZOĞLU

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Doç. Dr. Uğur CENGİZ

31/01/2019, 51

Nervürlü beton çelik (NBÇ) çubukların mekanik değerlerini etkileyen başlıca faktörler arasında kimyasal analizi ve üretim yöntemi gelmektedir. Dünya üzerinde farklı yöntemler ve kimyasal değer aralıklarında üretilen birçok değişik depreme dayanıklı NBÇ için standartlar belirtilmiştir. Ancak birbirinden farklı birçok standart olmasına rağmen depreme dayanıklı NBÇ için net aralıklarda hangi kimyasal analiz, nasıl bir nervür dizaynı gerektiği ve hangi üretim yönteminin daha sağlıklı olduğu konusunda bir belirsizlik bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı depreme karşı dayanıklı NBÇ çubukların üretilmesinde üretim tekniklerinin ve çelik kimyasal yapısındaki farklılıkların nasıl etki edeceğinin araştırılması ve depreme dayanıklı NBÇ çelik üretimi için yeni bir standardın oluşturulması üzerinedir. Çalışmada İÇDAŞ çelikhanesinden kimyasal analizleri aynı ve farklı olan çelik kütükler kullanılmıştır. Aynı kimyasal analize sahip çelik kütüklerden 3 farklı teknik ile (sıcak haddeleme, thermex prosesi ve vanadyum ile alaşımlandırılma yöntemi) Ø16 mm çapında NBÇ çubuklar üretilmiştir. Bu sayede üretim tekniğinin etkisi incelenmiştir. Diğer yandan çelik kimyasal yapısındaki farklılıkların depreme karşı dayanıklılık üzerine etkisinin incelenmesi için sıcak haddeleme tekniği ile farklı kimyasal analize sahip çelik kütüklerden Ø16 mm çapında NBÇ çubuklar üretilmiştir. Böylece, elimizde aynı kimyasal yapıya sahip farklı üretim tekniği ile üretilmiş 3 adet ve sıcak haddeleme tekniği ile farklı kimyasal yapıya sahip çelik kütüklerden üretilmiş 2 adet olmak üzere toplam 5 adet NBÇ deney numunesi meydana gelmiştir. Deney numuneleri çekme ve eksenel yorulma mukavemeti, bükme dayanımı, spektral, geometrik, ve metalografik analiz deneylerine tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada, aynı kimyasal analize sahip kütükler ile üretilen 16 mm çapındaki NBC'ler süneklik bakımından karşılaştırıldığında; sıcak haddeleme ürünü NBC thermex prosesine göre % 37, Vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi göre % 52 oranında depreme daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal yapıları farklı kütükler ile sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen NBC' ler süneklik bakımından karşılaştırıldığında; C - Mn oranları ağırlıkça yüzde 0,19-0,57 olan NBC çubuğunun, 0,44-0,96 olan NBC çubuğuna göre % 36 ve 0,28-1,26 olan NBC çubuğuna göre %43 depreme daha dayanıklı olduğu bulunmuştur. Yapılan testler sonucunda, depreme dayanıklı bir NBC standardı için ağırlıkça % C oranının 0,18-0,22 aralığında, % Mn oranının 0,55-0,70 aralığında, minimum akma dayanımı 320 MPa değerinde, minimum çekme dayanımı 500 MPa değerinde ve maksimum yükteki gerçek uzama oranının (% Agt) en az %15 olması gerektiği önerilmektedir.

Anahtar sözcükler: Beton Çubukları, Depreme Dayanıklılık, Yorulma, Mekanik Dayanım, Çekme Testi, Nervür Alanı.

ABSTRACT

MECHANICAL DEFORMATION OF REBARS ANALYSIS OF BEHAVIORS DEVELOPMENT OF MANUFACTURING PROCESS

Ceyhun KARPUZOĞLU

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Bioengineering and Materials Engineering

Advisor : Assoc Dr. Uğur CENGİZ

31/01/2019, 51

Among the major factors affecting the values of deformed concrete steel (DCS) reinforcing bars are the chemical analysis and production management. Standards have been indicated for DCS which are resistant to many earthquakes produced between the ranges of different methods and chemical values in the world. Within the study, different steel billets with the same chemical analysis from İÇDAŞ steelworks have been used. From the steel billets with the same chemical analysis, DCS bars in diameter of Ø16 mm have been produced by 3 different techniques such as; hot rolling, Thermex Process and vanadium alloying. Thus, the effect of the production technique has been observed. On the other hand, DCS bars in diameter of Ø16 mm having different chemical analyses for hot rolling techniques have been produced from steel billets in order the effect of the differences of steel chemical structure on earthquake-resistance to be observed. The test samples have been subjected to spectral analysis, rolling and axial fatigue durability tests.

Within this study, when 16 mm DCS's produced with billets having the same chemical analysis are compared in terms of ductility; it has been detected that hot rolling product DCS is 37% more earthquake-resistant according to Thermex Process, and 52% more earthquake-resistant to vanadium alloying method. When billets with different chemical structures and DCS's produced with hot rolling method are compared in terms of ductility; it has been detected that a DCS bar having C - Mn rates at 0,19-0,57 percentage by weight is 36% more earthquake-resistant to a DCS bar having rates of 0,44-0,96 percentage by weight and is 43% more earthquake-resistant to a DCS bar having rates of 0,28-1,26 percentage by weight. As a result of the tests performed, it is foreseen that the C% by weight for an earthquake-resistant DCS is required in between the range of 0,18-

0,22, the Mn% ratio is required in between the range of has to be 0,55-0,70, the minimum yield strength requires a ratio of 320 MPa, the minimum tensile strength requires a ratio of 500 MPa, and the real elongation ratio (Agt%) at the maximum weight is required at least 15%.

Keywords: Deformed Concrete Steel, Earthqakproof, Fatigue, Tensile, Mechanical Deformation,Rib Arena



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1. Çeliği Üretimi.....	1
1.2. Çelik Üretim Yöntemleri.....	2
1.2.1 Simens-Martin Yöntemi	2
1.2.2. Bessemer Yöntemi.....	2
1.2.3 Thomas Yöntemi	3
1.2.4. Elektrikli Ark Fırını.....	3
1.3. Beton Çelik Çubukların Üretimi	3
1.3.1. Beton Çelik Çubuklarının Üretiminde İstenilen Özellikler	4
1.3.2. Nervürün Beton Çelik Çubuklarına Etkisi	5
1.3.3 Nervürlü Beton Çelik Çubukların Kaynak edilebilirliği	6
1.4. Nervürlü Beton Çelik Çubuklarının Üretimi.....	6
1.4.1. Sıcak Hadde ile Nervürlü Beton Çelik Çubuklarının Üretimi.....	6
1.4.2. Soğuk İşlemler ile Nervürlü Beton Çeliğinin Üretilmesi	7
1.4.3. Takviye Alaşımlandırma Yöntemi İle Nervürlü Beton Çeliğinin Üretimi.....	7
1.4.4. Thermex Prosesi ile Nervürlü Beton Çubuklarının Üretimi.....	7
1.5. Thermex Prosesini Etkileyen Faktörler.....	9
1.5.1. Soğutma Aşamasının Süresi	10
1.5.2. Soğutma Ekipmanının Tipi.....	10
1.5.3. Çelik Bileşimi.....	11
1.5.4 Hadde Serilerinde Finit Sıcaklığı	12
1.6. Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılarda Çelik Çubuğun Önemi.....	13
1.6.1. Süneklilik.....	14

1.6.2. Betonarme Yapılarda Sünekliğin Sağlanması	14
1.6.3. Betonarme Yapılarda Yorulma Dayanımının Önemi	15
1.7. Uluslar Arası Nervürlü Beton Çelik Çubuklarının Standartları	17
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Materyal	25
3.1.1. Kütük ve NBÇ Üretimi.....	25
3.1.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	26
3.1.3. Deneylerde Kullanılan Cihazlar	27
3.1.3.1. X-Ray Spektrometre (XRF).....	27
3.1.3.2. X-Ray Difraktometre Cihazı (XRD).....	27
3.1.3.3. Optik Mikroskop	27
3.1.3.4. Numune Hazırlama Ekipmanları	27
3.1.3.5. Eksenel Yorulma Testi Cihazı	27
3.1.3.6. Çekme Deney Cihazı	28
3.1.3.7. Geometrik Analiz Cihazı	28
3.2. Yöntem.....	28
3.2.1. XRF Tekniği ile Kimyasal Analiz	28
3.2.2. Metalografik İnceleme.....	28
3.2.3. Çekme Deneyi	29
3.2.4. Bükme Deneyi	30
3.2.5. Yorulma Deneyi	31
3.2.6 Geometrik İnceleme	32
3.2.7 XRF Tekniği ile Kimyasal Analiz.....	33
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	34
4.1. Kimyasal Kompozisyon (Spektral analiz)	34
4.2. Geometrik Analiz	35
4.3. Çekme Testi.....	36
4.4 Yorulma Testi	38
4.5 Metalografik İnceleme.....	39
4.5. Bükme Deneyi Sonuçları.....	45
BÖLÜM 5	

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	I



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Beton çelik çubuğu üretim şeması (Badem M., 2001)	4
Şekil 1.2. Thermex proses sistemimin gösterimi (Alberto AUGUSTI, 2013)	8
Şekil 1.3. Thermex'te yüzey tabakasına su verme anı (Alberto AUGUSTI, 2013)	8
Şekil 1.4. Thermex sisteminin malzemede kontrollü soğuma kesitinin tipik eğrisi. (Alberto AUGUSTI, 2013).....	9
Şekil 1.5. (a) Su akış hızı ve (b) su verme hızıyla akma dayanımının değişimi (Alberto AUGUSTI, 2013).....	10
Şekil 1.6. Akma dayanımı ile % uzamanın değişimi (Alberto AUGUSTI, 2013).....	10
Şekil 1.7. Themex kontrollü soğutma sistem hattı.....	11
Şekil 1.8. (a) Klasik sistem tempcore sonrası martensit halkası (b) Thermax proses sonrası martensit halkası (Pritam Kumar Rana, 2014).....	11
Şekil 1.9. Değişik çelik kompozisyonları için soğutma süresine bağlı olarak akma dayanımındaki artış (Alberto AUGUSTI , 2013)	12
Şekil 1.10. Hadde çıkış sıcaklığı soğutma süresinin değişimi (Alberto AUGUSTI, 2013)	13
Şekil 1.11. Gerilmelerin sınıflandırılması (Sabri Kayalı,2017).....	16
Şekil 1.12. Gevrek alüminyum için Wöhler eğrisi (Sabri Kayalı, 2017).....	17
Şekil 1.13. Wöhler eğrisi (Sabri Kayalı, 2017).....	17
Şekil 2.1. a) TMT kesit görüntüsü b) MA kesit görüntüsü c) TMT çap kalınlığı ölçümü (Surajit Kumar, 2014)	22
Şekil 2.2. a) TMT kenar b)TMT merkez c)MA kenar d)MA merkez optik mikroskop görüntüsü (Surajit Kumar, 2014)	23
Şekil 2.3. TMT ve MA yüksek devirli yorulma dayanımı karşılaştırması (Surajit Kumar, 2014)	23
Şekil 2.4. TMT ve MA düşük devirli yorulma dayanımı karşılaştırması (Surajit Kumar, 2014)	24
Şekil 3.1. Nervürlü beton çubuklarının haddeleme ile üretimi	26
Şekil 3.2. Mikro analiz inceleme hazırlıkları.....	29
Şekil 3.3. Çekme cihazına bağlı numune.....	30
Şekil 3.4. Bükme cihazına bağlı numune	31
Şekil 3.5. Yorulma numunesi kalıplama kalıbı ve aparatı	32
Şekil 3.6. Yorulma cihazına bağlı numune	32
Şekil 3.7. Geometrik karakterizasyon cihazına bağlı numune.....	33
Şekil 4.1. Çubuk 2 ve Çubuk 3'ün nervür dizaynının temsili görüntüsü.....	35
Şekil 4.2.Çubuk 1,Çubuk 4 ve Çubuk 5'in nervür dizaynının temsili görüntüsü	35
Şekil 4.3. Üretilen NBÇ yorulma testi sonrası kopan bölgelerinin makro görüntüsü.	39
Şekil 4.4. Çubuk no1'in dağlama sonrası makro görüntüsü	41
Şekil 4.5 Çubuk no 1'in yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu.....	41
Şekil 4.6 Çubuk no 2'nin dağlama sonrası makro görüntüsü	41
Şekil 4.7 Çubuk no 2'nin yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu.....	42
Şekil 4.8 Çubuk no3'ün dağlama sonrası makro görüntüsü	42
Şekil 4.9 Çubuk no 3'ün yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu.....	43
Şekil 4.10 Çubuk no 4'ün dağlama sonrası makro görüntüsü	43
Şekil 4.11 Çubuk no 4'ün yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu.....	43
Şekil 4.12 Çubuk no5'in dağlama sonrası makro görüntüsü	44
Şekil 4.13 Çubuk no 5'in yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu.....	44
Şekil 4.14. Üretilen NBÇ çubukların bükme testi göreseli.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Uluslararası nervürlü beton çelik çubuklarının standartları	18
Çizelge 2.1. Çaplara göre beton çeliklerinin mekanik dayanım değerleri (Weiping Zhanga, 2016)	19
Çizelge 2.2. Çaplara göre beton çeliklerinin yorulma dayanım değerleri (Weiping Zhanga, 2016)	19
Çizelge 2.3. Kimyasal kompozisyon ve ürün analiz değerleri (Krzysztof Krasnowski, 2015)	20
Çizelge 2.4. B500SP çelikten çubukların mekanik ve teknolojik özellikleri (Krzysztof Krasnowski ,2015)	21
Çizelge 2.5. B500SP sınıfı beton çelik çubuklarının yorulma testi sonuçları (Krzysztof Krasnowski 2015)	21
Çizelge 2.6. TMT ve MA malzemelerin çekme özellikleri (Surajit Kumar, 2014).....	22
Çizelge 3.1. Haddelenecek kütüklerin üretim yöntemleri	26
Çizelge 3.2. Üretilen NBÇ çubukların üretim yöntemleri	26
Çizelge 4.1. Haddelenecek kütüklerin XRF sonuçları.....	34
Çizelge 4.2. Üretim sonrası deneylerde kullanılacak NBÇ çubukların XRF sonuçları.....	34
Çizelge 4.3. Üretilen nervürlü beton çelik çubuklarının geometrik analizleri.....	35
Çizelge 4.4 Üretilen NBÇ çubuklarının çekme testi sonuçları	37
Çizelge 4.5. Üretilen NBÇ çubukların 1×10^6 çevrim yorulma sonrası çekme testi sonuçları	38
Çizelge 4.6. Üretilen nervürlü beton çelik çubuklarının yorulma testi sonuçları	39
Çizelge 4.7. Üretilen NBÇ çubukların tane boyut analiz sonuçları.....	44
Çizelge 4.8. Üretilen NBÇ çubuklarının bükme testi sonuçları	45
Çizelge 5.1. İdeal depreme dayanıklı NBÇ çubuk için kimyasal analiz ve mekanik dayanım değerleri	47
Çizelge 5.2. İdeal depreme dayanıklı NBÇ çubuk için nervür dizaynı	48

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnşaat sektörünün günden güne ilerlemesi ile birlikte doğal afetlere dayanıklı yapıların kalitesini kullanılacak olan düşük karbonlu NBÇ' ler belirlemektedir. Bu çelikler beton bloklar içerisinde ana iskelet görevini üstlenerek yapının dayanım kuvvetini belirlemektedirler. Buda yapı içerisinde NBÇ' nin yüksek mekanik dayanımlı olmasını gerektirmektedir. Afet bölgelerinde gerçekleştirilecek olan yapılarda deprem yönetmeliğine göre, NBÇ' nin kopma birim uzamasının %10'dan az olmaması ve ortalama akma dayanımının, ilgili çelik standardında öngörülen karakteristik akma dayanımına göre 1,3 katından fazla olmaması gerekmektedir . İlaveten, yapılan çekme testi sonucu bulunan ortalama kopma dayanımının, ortalama akma dayanımının 1,25 katından daha fazla olması gerektiği belirtilmektedir. Günümüzde çelik üretimi cevherden ve hurda çelikten yapılmaktadır

1.1. Çeliği Üretimi

Çelik, içerisinde %0,2 oranlarında karbon barındıran demir alaşımıdır. Demir içerisindeki yüzde ağırlıkça karbon miktarları çelik derecelendirmesin de önemlidir. Karbon genellikle demirin ana alaşım maddesi olsa da demir elementini alaşımlamada magnezyum, krom, niyobyum, volfram ve vanadyum gibi farklı elementler de kullanıla bilinmektedir. Çeliği oluşturan alaşım elementleri; demir atomunun kristal kafesinde kayma hareketi gerçekleştirerek birbirini geçmesini engeller ve sertleşme görevi üstlenirler. Alaşım elementlerin, çelik içerisindeki, miktarları ve hücre içerisinde bulundukları faz (çözünen elementler, çökelti evresi) oluşan çelikte farklı mekanik özellikler gösterebilir sertlik, esneklik ve gerilme noktası gibi. Örneğin karbon miktarı yüksek olan çelikler demirden daha sert ve güçlü olmasına rağmen daha az esnektir. Ağırlıkça yüzde karbon miktarı yüksek olan çelik alaşımları, düşük erime sıcaklığına ve yüksek döküm performansları sebebi ile dökme demir olarak adlandırılır. Aynı zamanda ağırlıkça yüzde karbon miktarı az olan çelik alaşımları demir cürufalarını da kapsayan şekillendirme özelliği olarak dövme demir ayırt edilir. İki ayırt edici faktör de çeliklerin pas önleyiciliklerini artırır ve daha iyi kaynaklana bilirlik sağlar. (Uğur ŞEN, 2009)

Çelik üretimi eski çağlarda bir çok etkisiz yöntemler ile proses edilerek kılıç, zırh ve bıçak gibi malzemelerin yapımında kullanılmıştır. İlk olarak çeliğin modern proses yöntemlerinin temeli 17. yüzyılda başladı. 19. yüzyılın ortalarında Bessemer fırınının keşfi

ile elik üretimini daha ucuz ve seri olmaya başladı. İlerleme prosese ekstra oksijen ekleme yöntemi elik yapımı hatasızlaştırma ve üretim maliyetini azaltan daha kaliteli çeliğin eldesini sağladı. Dünyada her yıl 1300 milyon ton elik üretimini ile en çok kullanılan ortak geleneksel malzemelerden birisidir. Gemiler, makinler, silahlar, binalar ve bir çok yapıda ana malzeme unsurunu çelikler oluşturmaktadır. (Uğur şEN, 2009)

1.2. elik retim Yöntemleri

1.2.1 Siemens-Martin Yöntemi

Bu yöntem adını 1850-60 yılları arasında William Siemens ve Pierre Emile Martin'ın yaptığı çalışmalardan almıştır. Fırın sistemi, bir havuz ve ısıtma bölümlerinden oluşur. Yanıcı gaz yakıtlar ile ısı temini sağlanır. Gövdesi ergiyik çeliğe dayanabilecek refrakterimsi tuğla ve taşlardan yapılmış; dışı ise elik plakalar ile desteklenerek kapalı bir sistem elde edilmiştir. Fırın, büyüklüğüne göre 50-500 ton kapasitede hammadde alabilir. Bu yöntemde hammadde olarak yüksek fırından elde edilen pik demir, ergimiş demir parçaları, eski elik, oksitlenmiş demir filizleri ve bir miktarda kireç taşı kullanılır. Gaz beklerinden meydana gelen alev, hammaddeyi ergitir ve ergimiş elik potaya akıtılır. Cevherdeki yabancı maddeler kireçtaşıyla birleşerek bazik bir cüruf oluşturur. Asidik yöntem daha az kullanılır ve silisli refrakterlerden ötürü asidik bir cüruf meydana gelir. Ergimiş elik büyük kazanlara akar; ergimiş curuf ise hafifliğinden dolayı üste çıktığından dışarı akarak çelikten ayrılır Fırında biri gaz, öbürü de hava girişi için iki ağız bulunur. Sıcak yanmış gazlar bacaya gitmeden önce, bu ağızlardan birini periyodik olarak dıştan yalarken, ötekinden hava girer. Böylece hava girişi yapan ağız sürekli olarak ısıtılarak yanma verimi artırılmış olur. Siemens-Martin yönteminde, tek seferde yüksek tonaj kapasitelerinde elik dklebildiği için top namlusu, tank, büyük mekanik parçalar ve buna benzer büyük malzemenin bütün olarak dökülmesi mümkündür Bu sebepten demir endüstrisinde önemli büyüktür. (Uğur şEN, 2009)

1.2.2. Bessemer Yöntemi

Bessemer prosesi, pik demirin ergitilerek elik yapımının ilk seri kolay ve ucuz olan sistemdir. Bu yöntemi 1855 yılında bulan ve patentini alan Henry Bessemer'den adını almaktadır. Yöntem 2000'li yıllarda Çinliler tarafından uygulanan bir pratiğin geliştirilmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Temel prensibi yöntemin; ergimiş demirin içerisinden hava üfleyerek oksidasyon sağlanması ve demirin içinde bulunan impurite elementlerin curufa alınarak giderilmesi prosesine dayanır. Oksidasyon yapılması aynı

zamanda ergiyik demir kütlesinin sıcaklığını yükseltir böylelikle ergime hızını artımına katkıda bulunur. (Uğur ŞEN, 2009)

1.2.3 Thomas Yöntemi

Thomas ve Gilshirst tarafından 1878 yılında keşfedilen bu yöntem Bessemer yöntemine benzer, ancak kullanılan refrakter tuğla ve taşların farklı özellikleri ile fosforca zengin dökme demir de ergitilebilmektedir. Bu yöntemle demir filizleri de değerlendirilir. Fosforun yanmasıyla dışarı büyük bir ısı salındığından, Bessemer konvertöründe silisyumun oksidasyonu sonucu ortaya çıkan yüksek sıcaklık burada fosforun okistlenmesi ile elde edilir. Thomas ve Bessemer yöntemleriyle elde edilen çelik sınıf olarak iyi gözüktüğü de bu iki yöntemde kükürdü giderimi yapılamadığı için elde edilen çelik kaba işlerde kullanılır. (Uğur ŞEN, 2009)

1.2.4. Elektrikli Ark Fırını

En iyi cins çelikler ve lekesiz olarak elektrikli ark fırınlarından elde edilen elektro çeliğidir. Ark fırınına hammadde olarak hurda çelik parçaları, ham demir ve demir filizi kullanılır. Akım devresi kapatıldığında fırının üst bölgesinde bulunan karbon elektrotlar aracılığı ile oluşturulan kuvvetli arkla yüksek sıcaklık sağlanarak ergime gerçekleşir ve demir içinde bulunan inpurüteler curuf olarak üst tabakada ayrı bir katman oluşturur. Böylelikle basit bir proses ile çelik üretilmiş olunur. Fırının çalışma süresi kapasitesine göre 4-10 saat arasındadır. Elektrikli ark ocağı çeliği, özellikle, uçak gemileri, mıknatıslar ve buna benzer vasıflı çelik ihtiyacı olan araçların yapımında kullanılan, teknik bakımından değerli çeliklerdir. (Uğur ŞEN, 2009)

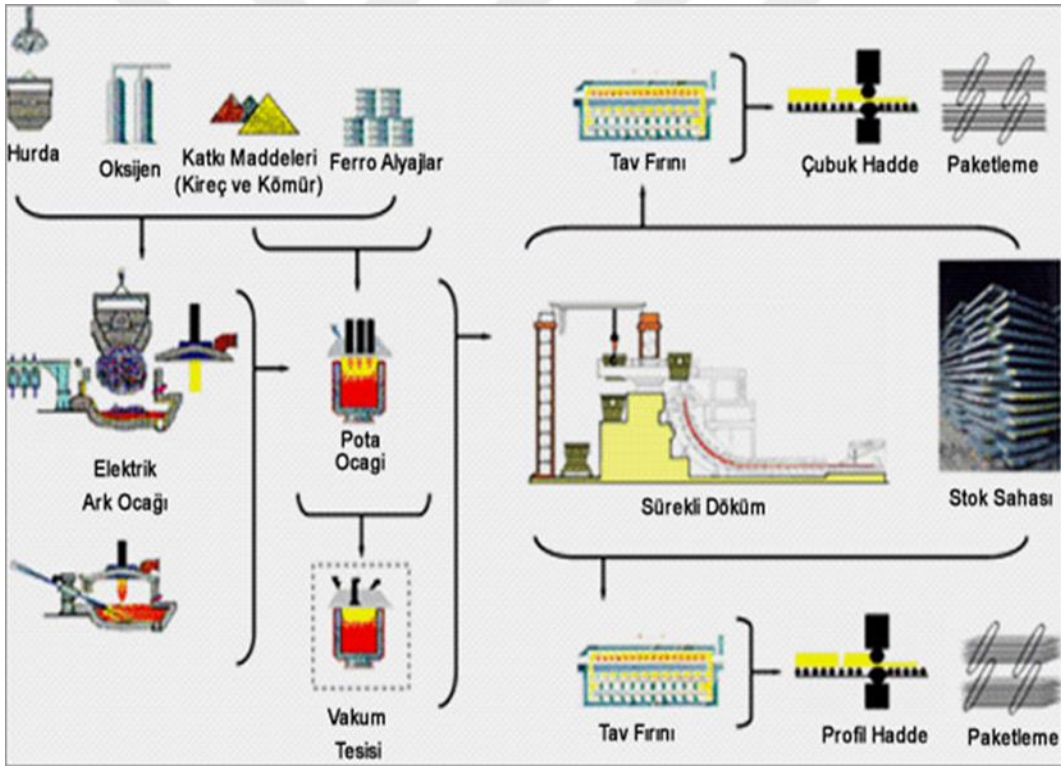
1.3. Beton Çelik Çubukların Üretimi

Beton çelik çubuklarının üretimi, genellikle elektrik ark ocağından hurda çelik ve demir parçalarının ergitilmesi sürekli döküm sistemi ile çelik kütük ve blumlar haline getirilip haddehanelerde merdaneler ile yeniden boyutlandırılması şeklindedir. (Badem M. 2001)

Elektrik ark ocağı, ergitme ve pota metalurjisi olmak üzere iki aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada çelik hurdaları elektrotlar yardımı ile oluşan arkla ergitilir. İkinci işlemde ergiyik haldeki çeliğe oksijen üflenerek ağırlıkça yüzde karbon miktarı ayarlanır ve kükürt, fosfor, bakır, kalay gibi alaşımın içeriğinde çok istenmeyen alaşımlar rafine edilir. Pota metalurji prosesi ile arzu edilen çelik alaşımı sürekli döküm sistemi ile tek seferde veya

ingot dökümden haddeleme yoluyla alınır. Sürekli döküm sisteminde ergiyik çelik potadan bir döküm teknesine doldurulur, buradan kare veya dikdörtgen şeklindeki kalıp içine akıtılarak istenilen kesitte kütük ve blumlar elde edilmiş olur. Daha sonra su veya hava püskürtülerek yarı sıcak kütük ve blumların katılaşması sağlanır. (Badem M., 2001)

Haddeleme, nervülü beton çelik çubukların üretiminin son safhasıdır. Çelik kütükler yatay ve dikey şekilde dönen merdaneler arasından geçirilerek kesitleri ezilerek küçültülür ve istenilen çaplara indirilir. Haddeleme işlemi öncesi çelik kütüklerin ön ısıtıcı fırında ($1200\pm 50^{\circ}\text{C}$) sıcaklıklarına kadar ısıtılır. Ön ısıtma işlemi ile çelik kütüklerdeki büyük tane yapıları bozularak küçük ve eksenli tanelerin oluşumu sağlanır ve kütük kesiti daraltılır. Haddeleme işlemi; beton yüzeye daha iyi tutunmayı sağlayan nervür adı verilen çelik çubuğun yüzeyindeki direnci arttıran dış, çıkıntı, tırnağın işlenmesi ile son bulur. (Badem M., 2001)



Şekil 1.1. Beton çelik çubuğu üretim şeması (Badem M., 2001)

1.3.1. Beton Çelik Çubuklarının Üretiminde İstenilen Özellikler

1850 yılında Fransız A. Lambot'un ilk kez çelik telli beton tekne çalışması ile beton ve çelik çubukların oluşturduğu sağlam yapı ortaya çıkarak inşaat sektörüne yön vermiştir. Daha sonrası inşaat sektörünün günden güne ilerlemesi ile birlikte doğal afetlere dayanıklı yapıların kalitesini kullanılacak olan düşük karbonlu nervürlü beton çelikleri

belirlemektedir. Bu elikler beton bloklar içerisinde ana iskelet görevini üstlenerek yapının dayanım kuvvetini belirlemektedirler. Buda yapı içerisinde nervürlü elik çubukların yüksek mekanik dayanımlı (akma-çekme, bükme, geri bükme, nervür alanı, yorulma) olmasını gerektirmektedir. Bu yüzden inşaat sektöründe ki tüketiciler düşük maliyet yüksek dayanım özelliklerine sahip beton çeliklerine daha fazla talep göstermektedir. Beton elik çubuklarının yüksek mekanik özelliklere sahip olması demek daha az malzeme ile daha yüksek kapasitede ki yüklere dayanıklı yapıların inşa edilmesini anlamına gelmektedir. Özellikle 1875'te Joseph Moliere'in betonarme sistemi ile kolon ve kiriş yapısının sektörde ilerlemelere nc olmuştur. Daha sonra prekast adı verilen prefabrik yöntemler ile önceden hazırlanan elik çubuklara beton dökülerek betonarme halinde kullanıma çok sık rastlanır hale gelmiştir. Bu yöntemin uygulanabilirliği ise elik çubuklarının iyi kaynaklanabilir özelliğinin olması gerekmektedir. (Badem M., 2001)

Kısaca bir beton elik çubuğundan beklenen zellikler;

- 1- Yüksek akma dayanımı
- 2- Süneklik
- 3- İleri ve geri bükme özelliği
- 4- Yüksek nervür alanı
- 5- Kaynak edilebilirlik

1.3.2. Nervürün Beton elik ubuklarına Etkisi

Binaların ana dayanım merkezi olarak nervürlü beton elik çubukları beton içerisinde iskelet görevi yapar. ubuk ve beton bir bütün olarak hareket etmeleri önemlidir. Bu nedenle elik çubukların yüzeyleri nervür adı verilen elik çubuğun yüzeyindeki direnci arttıran diş, çıkıntı, tırnak oluşturulmaktadır. Betonarme yapılar içerisinde nervürlü elik çubuk ile beton tutunmayı anlatan yapışma faktörü oldukça önemlidir. Yapışma faktörü nervürlü elik çubuğa uygulanan gerilme arttıkça artar. Yakın tarihe kadar gerek Türkiye'de ve gerekse dünyada, nervürsüz yassı yüzeyli beton çelikleri kullanılmaktaydı. Son zamanlarda nervürlü elik çubukların kullanılması yaygınlaşmıştır. Bunun temel nedeni ise nervürlü beton elik çubukların mekanik dayanımlarının nervürsüz yassı elik çubuklara göre daha iyi olması ve betona yapışma faktörlerinin daha yüksek olmasıdır. Nervür tasarımı (şekli, açısı, yüksekliliği, adımı) yapışma faktörünü etkiler. Nervürlü elik çubukların kullanımı dayanıklılık ve güvenlik açısından deprem bölgelerinde önem arz eder. Nervürlü beton elik çubukların her ülkeye göre değişen farklı standartlara sahiptir. Maliyet olarak nervürsüz yassı elik çubuklara göre daha pahalı olan nervürlü elik

Çubuklar uzun süreli bakıldığında ekonomik anlamda verimli olduğu tespit edilmiştir. (Abdulkadir UYSAL, 2015)

1.3.3 Nervürlü Beton elik ubukların Kaynak edilebilirliği

Çeliklerin kaynak edilebilirliğini belirleyen en önemli etken C ve diğer okelti elementlerin (Mn, Cu, V, Mo, Cr, Ni,) miktarıdır. Yüksek karbon oranlı çeliklerin yüksek sıcaklıkla kaynak yapılması sonucunda oluşan sert martenzit yapının kırılğan olması ve yüksek sıcaklığa çıkan çeliğin ani soğuması nedeniyle, kaynak yapılan bölgenin ısı genleşme ve büzülme etkisinden hacim sabitliği bozularak çatlaklar oluşabilmektedir.

Yüksek karbon oranlı çeliklerin kaynak edile bilinmesi için soğuma önlenmesi ya da kaynak yapılan bölgeye ısı işlem uygulanması gerekmektedir. Ayrıca kaynaktan sonra olumsuzlukları engellemek için özel kaynak metotları belirlenmeli.

Bu olumsuzlukları gidermek ve kontrol altına almak için beton elik çubuklarının karbon ve okelti elementlerinin oranlarını kaynak edilebilirliğe karbon eř değerliğini belirten C_{eq} formülasyonu belirlenmiş ve çeliğin sertliğinin 350 Hv değerini geçmemesi ile verimli kaynağın yapılabilirliği bulunmuştur. Buna dayanarak;

$$‘\%C_{eq} = \%C + \%Mn/6 + \%(Cr+Mo+V)/5 + \%(Cu+Ni)/15’ \quad (1.1)$$

oranı belirlenmiştir

İyi kaynaklanabilir bir nervürlü beton eliğinin $\%C_{eq}$ ’i 0,45 den küçük olmasının normal şartlarda verimli kaynağın yapıldığını sağladığı bulunmuştur. (Murat Vural, 2003)

1.4. Nervürlü Beton elik çubuklarının retimi

Ark ocağında üretilen çeliğin pota metalürjisi ile istenilen sıvı çeliğe dönüştürülmesi ve ardından sürekli döküm sistemi sonucunda elde edilen yarı mamul kütük ve blumların; hadde adı verilen merdaneler yardımı ile kesit daralması ile başlayan nervürlü beton elik çubuklarının üretim süreci. Hadde esnasında veya hadde sonrası yapılan şişlemler ile farklı mekanik özelliklere sahip nervürlü beton elik çubukları elde edile bilinmektedir. Bu yöntemler;

1.4.1. Sıcak Hadde ile Nervürlü Beton elik çubuklarının retimi

Pota metalürjisi sonrası kimyasal analiz bakımından arzu edilen alaşıma gelen elik kütük n ısıtma fırınında 1200-1400 C arasında tavlama şişlemine görür. Tavlanan kütük

taşıyıcı bantlar ilk olarak tufal kırıcılarından geçer.(Tufal: Sıcak çeliğin katılaşma esnasında oluşturduğu oksitli demir tabakası) ve yatay ve dikey döner merdaneler aracılığıyla üzerine ezme uygulanarak kalınlığının düşürülmesini sağlar.(Abdulkadir UYSAL,2015)

1.4.2. Soğuk İşlemler ile Nervürlü Beton Çeliğinin Üretilmesi

Sıcak haddeleme sonrası soğuk olarak deformasyon uğratılan nervürlü çelik çubuklarda deformasyon sertleşmesi gerçekleşir. Böylelikle mekanik dayanımı, çelik çubukların yükseltilir. Düşük karbon ve manganlı çeliklerden yüksek mekanik dayanımlı kaynaklanabilir çubukların üretimi gerçekleştirilir. Ancak bu yöntem geçici bir deformasyon sağladığından malzemenin belirli süre yaşlanması sonucu mekanik dayanımı tekrar sıcak hadde oranlarına dönmektedir. Ve genellikle bu yöntemle üretilen beton çelik çubuklarının mekanik testleri öncesi ‘age’ (yaşlandırma) gerçekleştirilir malzemede ki tane sınırlarının yerine oturması için. (Ammerling, W.J, 1984)

Soğuk deformasyon işlemi yapılması, ek bir proses gerçekleştirildiğinden üretim maliyeti artmaktadır. (Ammerling, W.J, 1984)

1.4.3. Takviye Alaşımlandırma Yöntemi İle Nervürlü Beton Çeliğinin Üretimi

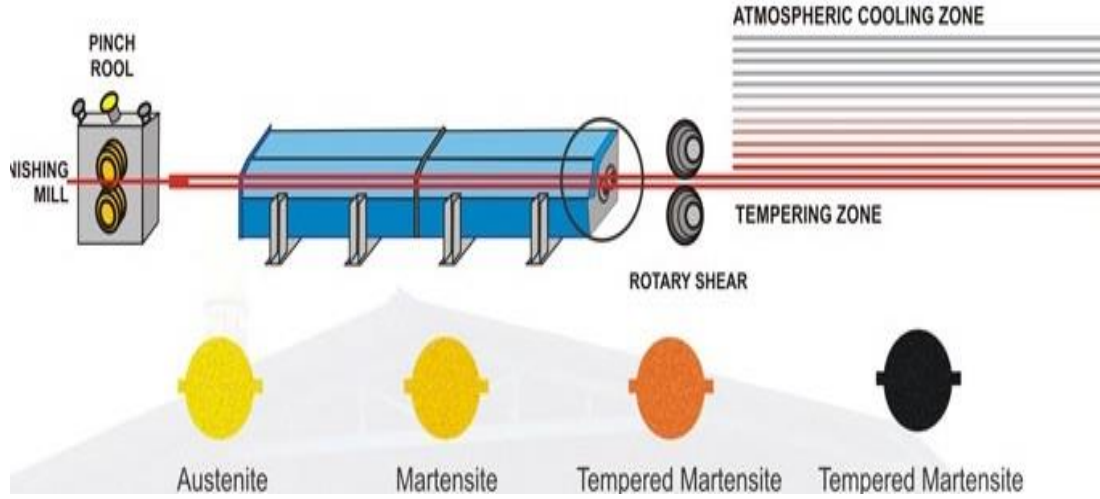
Nervürlü çelik çubukların mekanik kuvvetleri kimyasal alaşımının farklılaştırılması ile artırılabilir. Ancak ağırlıkça karbon ve mangan miktarlarının artması karbon eşdeğerliğini artıracığından kaynaklana bilirlikte önemli bir negatif etkiye sebep olur. Bu nedenle niyobyum ve vanadyum gibi elementlerinin az oranda takviyesi ile çelik çubukların mekanik kuvvetleri iyileştirilebilmektedir. Bu yöntemle takviye alaşımlama veya mikro alaşımlama denilmektedir. (Ammerling, W.J, 1984)

Takviye alaşımlama prosesinde ki elementlerin fiyatlarının yüksek oluşu nedeniyle ekonomik bir proses değildir. (Ammerling, W.J, 1984)

1.4.4. Thermex Prosesi ile Nervürlü Beton Çubuklarının Üretimi

Thermex prosesi; 1972 Belçika patentli tempcore prosesinin günümüz teknolojisi ile geliştirilmiş sıcak haddelenmiş nervürlü beton çubuklarının su ve iyotlu su ile kontrollü soğutması yoluyla yüksek mekanik dayanımlı çelik üretim yöntemidir.

Bu proses karbon ile mangan değerleri düşük oranda, alaşım elementi desteği gerekmeden nervürlü çelik çubuğun mekanik dayanımının ve kaynak edilebilirliğinin yükseltebilmesidir. Malzemenin bu özellikleri kazanma süreci hadde bitiminde uygulanan soğutma ve temperlenmesi sonucunda meydana gelmektedir. (Alberto AUGUSTI, 2013)



Şekil 1.2. Thermex proses sistemimin gösterimi (Alberto AUGUSTI, 2013)

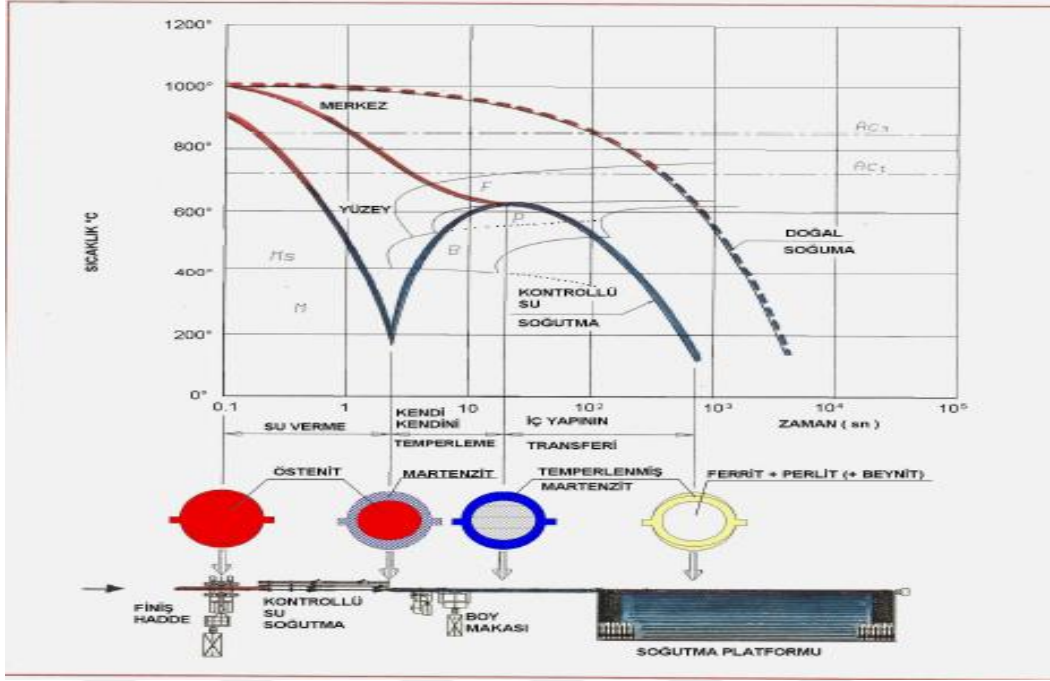
Thermex prosesi; çelik çubuğun yüzeyine su verilmesi sonrası oluşan martensitin kendini temperlemesinden meydana gelir.

İlk aşama olan ve soğumanın başlamasını sağlayan yüzey tabakasına su verilmesi işlemi; bitiş haddesinden çıkan sıcak çelik çubuğun şok soğutmasını sağlar. Kritik soğma hızını yakalayabilmesi için soğutma sisteminin (thermex) hızı martensit için kritik soğutma hızından daha yüksek olması gerekir. Bu işlem ile birlikte çelik çubukta çekirdekte östenit ve etrafında martenzit ve östenit karışımı meydana gelir. (Alberto AUGUSTI, 2013)



Şekil 1.3. Thermex'te yüzey tabakasına su verme anı (Alberto AUGUSTI, 2013)

İkinci ve son aşama ise, soğuma çeliğin iç merkezine kadar ulaşmaz, merkezdeki sıcaklık soğuyan martenzit yapısını temperlemeye başlar. Böylelikle kompozit bir mikro yapıya sahip olan çelik çubuğun yüksek mekanik mukavemet değere sahip olurken süneklik de sağlanır. (Alberto AUGUSTI, 2013)



Şekil 1.4. Thermex sisteminin malzemede kontrollü soğuma kesitinin tipik eğrisi. (Alberto AUGUSTI, 2013)

Temperleme sıcaklığı çelik çubuk yüzeyinin maksimum değeridir. Bu ikinci aşamada biter. İkinci aşamanın zamanı çubuk çapıyla ve soğutma şartlarıyla değişir. Eğer bu süreç uzun tutulursa ve yapı tamamen martenzit yapıya dönüşmesi sonucunda sert ve sünek olmayan bir çelik çubuk elde edilir. Buda nervürlü beton çelik çubuklarında istenilmeyen bir özelliktir. Temperlenmiş martenzit kabuğun hemen altındaki tabakanın beynite dönüşebilmesi, çeliğin kompozisyonuna ve soğutma şartlarına bağlıdır. Çelik çubuğun havada soğuma esnasında kalan östenitin hemen bir izotermal dönüşümünden çubuk çapı, bitiş hadde sıcaklığı, soğutma süresi gibi faktörlere bağlı olarak mikro yapı ferrit - perlit veya ferrit, perlit ve beynit karışımı gözlenmektedir. (Alberto AUGUSTI, 2013)

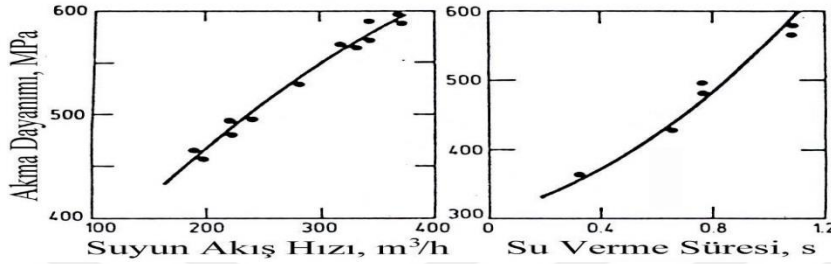
Böylelikle çekirdek yapısı yumuşak, yüzey tarafı sert olarak nervürlü çelik çubuklarda, tokluk, süneklik, yüksek mekanik dayanım, kaynak edilebilirlik ve kolay bükülebilirlik gibi teknik özellikler çelik çubuklara üretim esnasında kazandırılmaktadır. (Alberto AUGUSTI, 2013)

1.5. Thermex Prosesini Etkileyen Faktörler

Thermex prosesi; tempcore prosesinin soğutma sisteminin geliştirilmiş hali olması nedeniyle tempcore proses süreçlerini etkileyen tüm faktörler thermex prosesini de etkilemektedir. Bu faktörler; (Alberto AUGUSTI, 2013)

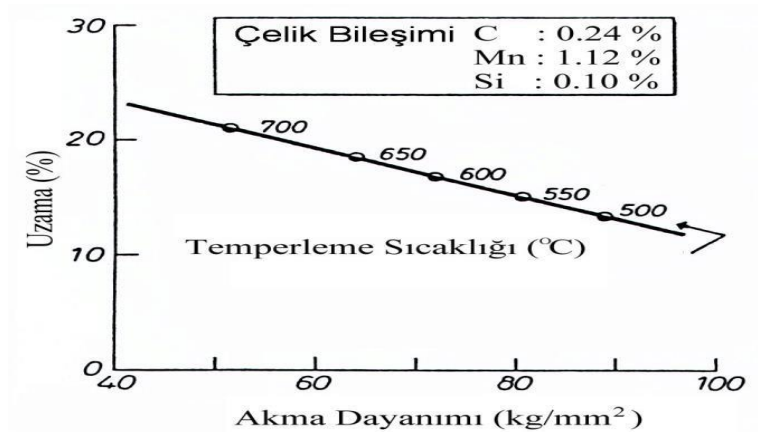
1.5.1. Soğutma Aşamasının Süresi

Tempcore prosesinde olduğu gibi thermex prosesinde de soğutmanın süresini uzatmak çeliğin akma dayanımını artırmaktadır. Su verme süresi uzadıkça da akmanın artışına bağlı olarak yüzeyde bulunan martensit tabakanın kalınlığının da artmaktadır. Klasik yöntemlerle üretilen çeliğin aksine akma dayanımındaki artış; süneklilikte pek fazla azalışa neden olmaz. (Alberto AUGUSTI, 2013)



Şekil 1.5. (a) Su akış hızı ve (b) su verme hızıyla akma dayanımının değişimi (Alberto AUGUSTI, 2013)

Burada esas vurgulanan husus; klasik yöntemlerle üretilen çeliğin aksine akma dayanımındaki artma karşısında süneklilikte fazla bir düşüş yaşanmamasıdır. (Alberto AUGUSTI, 2013)



Şekil 1.6. Akma dayanımı ile % uzamanın değişimi (Alberto AUGUSTI, 2013)

1.5.2. Soğutma Ekipmanının Tipi

Soğutma ekipmanının seçerken yapının basit olması, ısı verimliliği, dizaynı ve işletmenin maliyeti arasında belli bir uyum olması önemlidir. Thermex sistemde su debisi

basıncı ve buhar basıncı aynı anda kontrolü sağladığında klasik tempcore sistemlere göre daha verimli ve başarılı kontrollü soğuma sağlamaktadır. (Devrim ÖZSOY, 2012)



Şekil 1.7. Themex kontrollü soğutma sistem hattı

Bu hat sayesinde meydana gelen martenzit-özstenit yapıdaki homojenliğin halka şeklinde oluşması gerçekleştirilebilmektedir. (Devrim ÖZSOY, 2012)



Şekil 1.8. (a) Klasik sistem tempcore sonrası martensit halkası (b) Thermax proses sonrası martensit halkası (Pritam Kumar Rana, 2014)

1.5.3. Çelik Bileşimi

Çeliğin bileşimine bakıldığında önemli iki öge vardır;

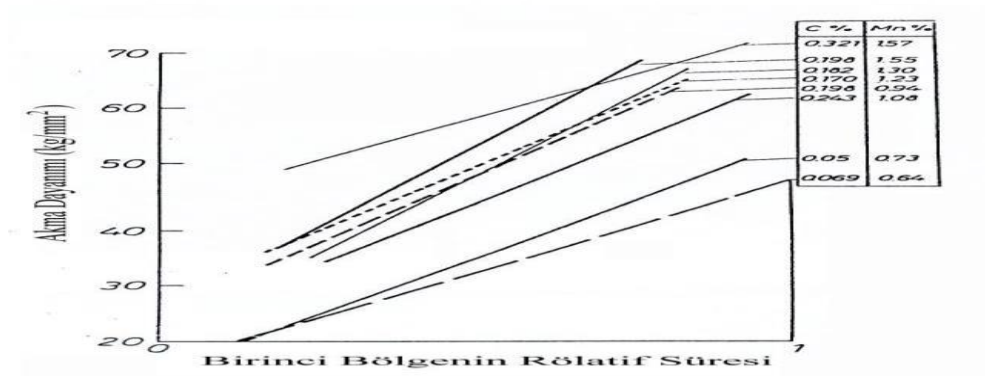
a) Haddehane ve çelikten beklenen özellikler:

Talep ettiğimiz mekanik özellikler.(akma, çekme, süneklilik), kaynak edilebilme özelliği için ağırlıkça yüzde karbon değeri, haddehane tasarımı ve merdane hız ayarına dayalı soğutma süresi.

b) Çeliğin maliyeti;

Alaşım elementlerinin maliyetine. Çeliğin cinsine. Soğutma suyuna ve aparatının bakım ve maliyetine bağlıdır

Belirlediğimiz bölge içinde yukarıda belirtilen sınırlar dikkate alınarak hazırlanan mangan ve karbon bileşiminin artması akma dayanımında artışa neden olur. Thermex prosesi bize düşük karbonlu ve magnezyumlu çeliklerde yüksek mekanik değerlerde ve kaynaklana bilirlikte kolaylık sağlamaktadır.(Alberto AUGUSTI, 2013)

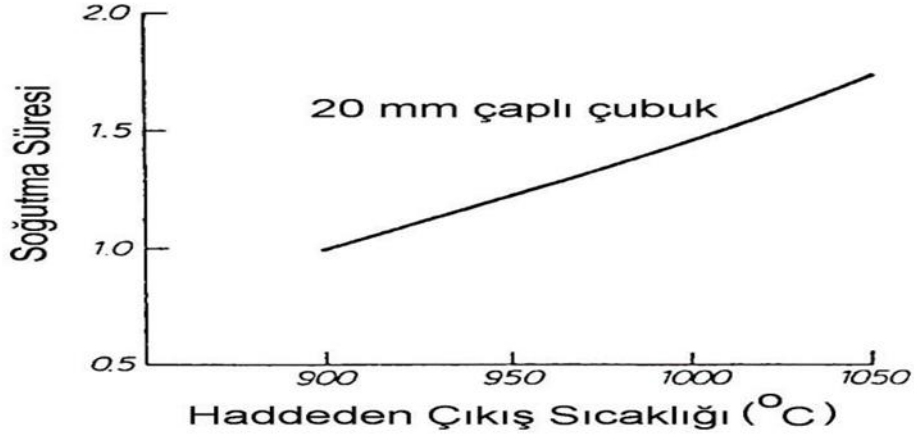


Şekil 1.9. Değişik çelik kompozisyonları için soğutma süresine bağlı olarak akma dayanımındaki artış (Alberto AUGUSTI , 2013)

1.5.4 Hadde Serilerinde Finit Sıcaklığı

Hadde bitiş sıcaklığının önemli etkisi; bitiş sıcaklığı arttıkça, soğutma sırasında nervürlü çelik çubuk yüzeyinde uzaklaştırılması gereken ısı miktarının bitiş sıcaklığının artışa bağlı artma göstermesidir. Buda thermex prosesinin son aşaması olan martensit kabuğun altında östenitin hemen izotermal dönüşümünden ferrit - perlit karışımıdır ya da ferrit, perlit ve beynit karışımli yapının oluşum ve geçiş aşamasında ki süreyi etkileyecektir. (Alberto AUGUSTI, 2013)

Şekil 1.10'a göre bitiş sıcaklığı 900 C'den 1050 C'ye çıktığında soğutma süresi ortalama % 70 fazlalaşmaktadır



Şekil 1.10. Hadde çıkış sıcaklığı soğutma süresinin değişimi (Alberto AUGUSTI, 2013)

Yapılan araştırmalar, çubuklara uygulanan soğutma işleminin bitiş tezgâhından önce yapılmasının faydalı olduğunu gösterir. Hadde bitiş tezgâhının çıkış sıcaklığının 115 C kadar düşürmenin akma dayanımında tahmini olarak 3 kgf/mm²'lik gibi bir artma sağladığı saptanır. Motorların çalışma gücüne göre bitiş sıcaklığı düşürülebilir. Isıl ve termomekanik işlemin birleşimi su tüketimi ve ısıl işleminin aparatlarının uzunluklarını azaltır. Bitiş sıcaklığının 115 C kadar düşürmek thermex sistemde soğutma tesisatının uzunluğunu %44, soğutma suyu miktarını ise %16 azaltmaktadır

1.6. Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılarda Çelik Çubuğun Önemi

Ülkemiz de yaşanan 17 Ağustos ve 12 Kasım depremleri sonrası sağlam ve kaliteli inşaat kavramları literatürlerimizde yer almaya başlamıştır. Sağlam ve kaliteli bir betonarme yapı için kaliteli bir beton çeliği kullanmak gerekmektedir. Deprem dediğimiz önceden hiçbir uyarı vermeden meydana gelen doğal afetler arasında kendine has özellikleri olan bir jeolojik yer hareketidir. Depremler genel olarak; tektonik plak hareketleri enerjinin boşalması sırasında yer kabuğunda meydana gelen ani yer değiştirmeler sebebi ile oluşan deprem dalgaları depremin meydana geldiği yerden çok uzak yerlerde dahi büyük hasarlar oluşmasına neden olabilmektedir. (Zekai CELEP, 2015)

Deprem daha olmadan birtakım işaretler gösterse de günümüzde güvenilir bir uyarı sistemi tam olarak yoktur. Bu uyarı sisteminin olmaması, binaların depremin zararlı etkilerinden korunacak şekilde tasarlanmasını gerektirir. Doğal afetlerin belki de en önemlilerinden olan deprem yer kabuğu hareketi olup, yerleşim bölgelerinde binaların

temellerinde yer değiştirme doğuran dinamik bir etkidir. Bu nedenle, bu deprem hareketi yapı dinamiğinin ana problemlerinden birisidir. (Zekai CELEP, 2015)

Yapı tasarım ve üretim sürecinde yapısal güvenliği etkileyen faktörler:

- Deprem ve depremin özelliği
- Zemin ve geoteknik koşullar
- Kullanılan malzemelerin kalitesi ve yapısı
- Mimari olarak yapılan tasarım
- Taşıyıcı sistem tasarımı
- Bina yapımındaki işçilik ve verilen özen

Binaya aktarılan deprem enerjisinin önemli bir bölümünün taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile tüketildiği tespit edilmiştir. Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarda sünek tasarımı ise yapıda kullanılan beton çeliğinin yapısal özelliği ile doğrudan etkilidir. (Zekai CELEP, 2015)

1.6.1. Süneklilik

Yapı elemanlarında depremde meydana gelen enerji ile mukavemetinde kayıplar yaşanırken, bu şok enerji dalgasına karşı kararsız denge hali olmaksızın büyük şekil değiştirme ve elastik olmayan davranışla yutma yeteneğine süneklilik denir.

Süneklilik sayesinde, enerji patlamalarının büyümesiyle akma dayanımına kadar gelen kesitte plastik şekil değiştirmelerle enerji alınırken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan kesitlere dağılması sağlanır. Sünek olmayan bir yapı sadece elastik şekil değiştirme yapabilirken, sünek bir yapıda şekil değiştirmeler elastik sınırı geçip elastik olmayan şekil değiştirmeler yapabilmektedir. Bu sayede yapı ve elemanları, oluşan deprem sonucu ortaya çıkan enerjiyi yutabilecektir. Böylelikle daha güvenli ve enerji emilimi bakımından yüksek malzemeler kullanılabilir durumda kalacak (Zekai CELEP, 2015)

1.6.2. Betonarme Yapılarda Sünekliğin Sağlanması

Süneklilik, yapı güvenliğinin en temel tabiridir. Bu sebepten yapılan betonarme binaların süneklilik açısından iyi olması beklenmektedir. Süneklilik ile birlikte ani patlama enerjilerini yapı taşımaya devam eder. B yük enerji patlamalarında yapının taşıyıcı sisteminde süneklilik sayesinde şekil değiştirmeleri ve çatlamalar minimize edilmiş olur. Böylelikle oluşabilecek göçme tehdidine karşı önceden haber alınmış olur ve gerekli tedbirler sağlanabilir. Enerji patlamaları (deprem ve patlama gibi) süneklilik enerjinin yutulması için önemlidir. (Zekai CELEP, 2015)

Deprem kuvvetlerinin yapı elemanlarında kesiştiği mukavemette, sünekliğin ve deplasman sınırlamasının sağlanması da oldukça önemlidir. Deplasman sınırı kırış ve döşemelerde kesite sünek olan donatın basınç altında sünek akma sınırı yakalaması buda beton + nervürlü beton çelik çubuğunun sünekliğinin yüksekliğine dayanmaktadır. (Zekai CELEP, 2015)

Betonarme yapı içerisindeki sünekliğin iyi olması beton içerisinde kullanılan nervürlü beton çeliğinin süneklik özelliği iyi olması beklenir. Nervürlü beton çelik çubuklarının sünekliğini ise plastik şekil değiştirme kabiliyeti ile ifade eder. Buda malzemenin akma noktasına kadar absorbe edebildiği enerji ve kopma uzaması-alan daralması parametreleri ifade edilebilir. Sünekliğin sürdürülebilir bir hal alabilmesi için ise çelik çubuğun betonarme içerisinde yorulma dayanımına bağlı olarak etkin süneklik ömrü ölçülebilir. (Zekai CELEP, 2015)

1.6.3. Betonarme Yapılarda Yorulma Dayanımının Önemi

Köprü, gökdelen vb. diğer beton yapılar günlük şartlarda sürekli vibrasyon gerilmelerine maruz kalmaktadır. Buda yapıların tekrarlanan gerilmeler altında çalıştığını ifade eder. Bu gerilmeler statik kuvvet açısından küçük olmasına rağmen tekrar durumuna göre nervürlü beton çeliklerinde çatlaklara ve sonuçta kopmalara sebep olmaktadır. Bu olayın teknik adına ise malzemenin yorulması adı verilmektedir. Yorulma sırasında bu gerilimler sadece malzemeye statik kuvvet değil aynı zamanda ısı gerilimlerinde vererek genişleme ve büzölmeye de sebeptir. Yorulma başlangıcı çelik çubukta bir nervür dibinde, bir çentikte, ince bir çatlakta meydana gelebilir. Yorulma kopması gevrek bir kırılmadır. Bunu anlamak için kopan bölgede makro gerilim halkalarını örmek mümkündür.

Yorulmaya Etkiyen Faktörler:

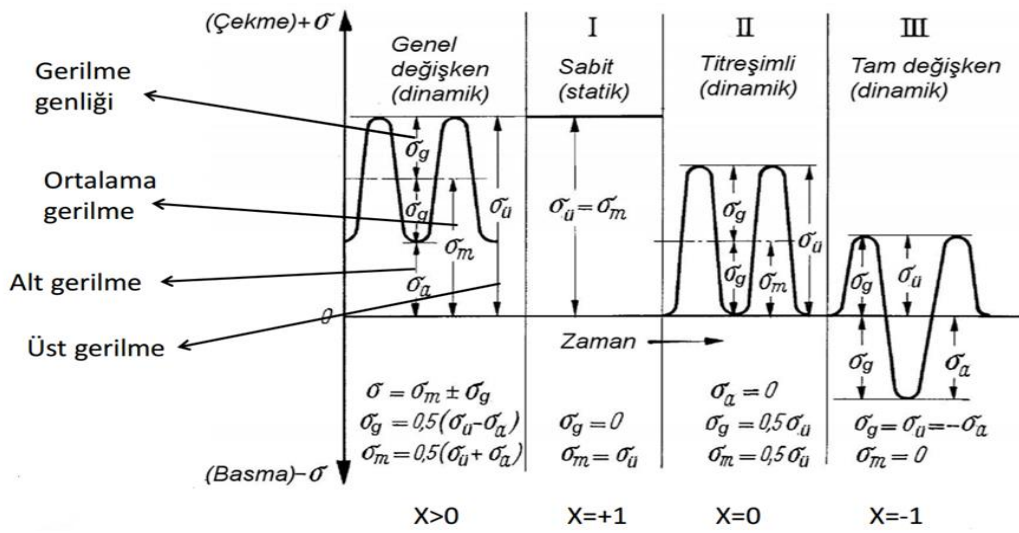
- 1) Gerilme: Yük gerilmelerinin aralığı (çekme-basma) çok eksenli kayma yüklerinin oluşması, kayma gerilmeleri vb.
- 2) Geometri: Mikro çatların gerilme birikmelerine neden olan düzensizlik.
- 3) Malzeme türü: Yorulma dayanımı malzemenin üretim yöntemi, iç yapısı ve alışımını önemlidir..
- 4) Artık yükler: Kaynak, deformasyon sertleşmesi vb.
- 5) Üretim hataları: Döküm boşlukları vb.
- 6) Tane büyüklüğü: Genellikle küçük tane ne sahip çelikler daha uzun yorulma ömrüne sahiptir.

7) Çevre: Korozyona uğrama olasılığı açık ortamlar çeliğin yorulma dayanımını düşürür.

8) Sıcaklık: Yüksek ısılarda çalışan çeliğin yorulma dayanımı düşer.

Yorulma ile alakalı bazı terimler:

- Çevrim (N): Tekrarlanan yük miktarı
- Maksimum gerilme (σ_{max}): Uygulanan en büyük gerilmedir.
- Minimum gerilme (σ_{min}): Uygulanan en küçük gerilmedir.
- Ortalama gerilme (σ_m): Maksimum ve minimum gerilmelerin ortalaması.

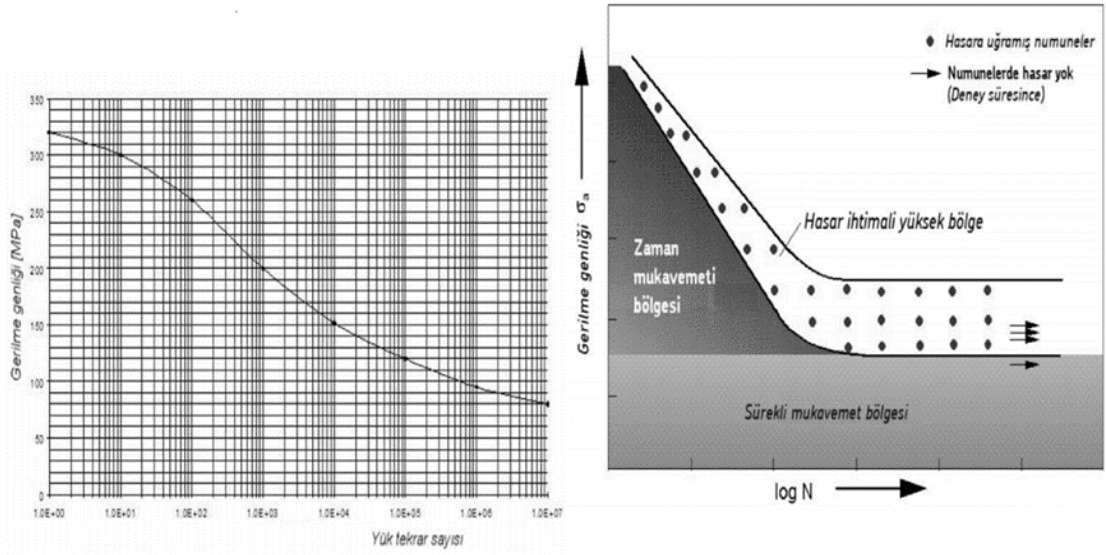


Şekil 1.11. Gerilmelerin sınıflandırılması (Sabri Kayalı,2017)

Yorulma ömrünü belirlemede kullanılan cihazlar;

- Eksenel çekme - basma gerilmeleri uygulanan cihazlar
- Eğme gerilmesi uygulayan cihazlar
- Burma gerilmesi uygulayan cihazlar
- Bileşik gerilme uygulayan cihazlar

Wöhler eğrileri belirli bir ortalama gerilme için, gerilme genliği ile yük tekrar sayısı arasında çizilmiştir. (Sabri Kayalı, 2017)



Şekil 1.12. Gevrek alüminyum için Wöhler eğrisi (Sabri Kayalı, 2017)



Şekil 1.13. Wöhler eğrisi (Sabri Kayalı, 2017)

Wöhler eğrisinde malzeme dayanımı uygulanan yük ze zamanla ilişkilidir. Şekil 1.13 de gösterildiği gibi σ_D gerilme genliğine sahip bir durumda malzemenin sonsuz sorulma dayanımına sahip olacağı düşünülmektedir. Bu gerilme değerine de yorulma sınırı olarak adlandırılır. (Sabri Kayalı, 2017)

1.7. Uluslar Arası Nervürlü Beton Çelik Çubuklarının Standartları

Her ülkenin ve kıtanın kendine has jeolojik toprak ve kayaç yapısı olduğu gibi farklı sismik hareketlere sahiplerdir. Buna bağlı olarak ülkelere ve kıtalara göre değişen çeşitli standartlarda nervürlü beton çelikleri mevcuttur. Bunlar;

Çizelge 1.1. Uluslararası nervürlü beton çelik çubuklarının standartları

Standart Ülkesi	Standart Adı	Yayınlanma Tarihi	Akma Muk.	Çekme Muk.	RM/RE Oranı	% C	% S-P	% Cu	% N
TÜRKİYE	S 220	TS728/2010	220	300	1,20	0,25	0,050	-	0,012
	S 420		420	500	1,15	0,45	0,050	-	0,012
	B 420 B		420	-	1,08	0,22	0,050	0,80	0,012
	B 420 C		420	-	1,15- 1,35	0,22	0,050	0,80	0,012
	B 500 B		500	-	1,08	0,22	0,050	0,80	0,012
	B 500 C		500	-	1,15- 1,35	0,22	0,050	0,80	0,012
İNGİLTERE	GR500B	BS4449/2005	500-650	1.06*Re	1,08	0,22	0,050		0,012
	GRB500C		500-650	1,15*Re	1,15- 1,35	0,22	0,050		0,012
ALMANYA	DIN B 500 B	DIN 488/ 2009	500-650	550	1,05	0,22	0,050	0,60	0,012
FRANSA	NF B 500 B	NF/2007	500	540	1,08	0,22	0,050	0,80	0,012
PORTEKİZ	A 400 NR	2008	400	460	1,08	0,22	0,050	0,80	0,012
	A 500 NR		500	550	1,08	0,22	0,050		0,012
İSPANYA	B 500 S	1996	500	550	1,05	0,22	0,050		0,012
	B 400 S		400	440	1,05	0,22	0,050		0,012
	B 500 SD	2000	500	575	1,25	0,22	0,050		0,012
	B 400 SD		400	480		0,22	0,050		0,012
İTALYA	B450C	1966	450	540	1,15- 1,35	0,22	0,050	0,80	0,012
İSRAİL	S 400	2000	400	500	1,25	0,38	0,05- 0,055		
	S 400 W		400	500	1,25-1,45	0,22	0,05-0,060		
	S 500 W-C		500	600	1,15-1,35	0,26	0,05-0,06		
ROMANYA	PC 52	1989	355	510		0,22	0,045		
	PC 60		420	590		0,27	0,045		
	OB 37		255	360		0,23	0,045		
HOLLANDA	BRL B 500B	2010	500	540	1,08	0,22	0,050	0,80	0,012
KANADA	400 R	2009	400	540	1,15	0,33	0,060		
	500 R		500	675	1,15	0,33	0,060		
	400 W		400	540	1,15	0,30	0,053-,043		
	500 W		500	625	1,15	0,30	0,053- 0,043		
PARAGUAY	AP 500 DN	2009	500	550	1,10	0,35	0,050		
	AP 400 DN		400	462	1,10	0,35	0,050		
BREZİLYA	CA 50	2007	500	540	1,08				
	CA 60		600	660	1,08				
ŞİLİ	A 440-280H	2006	280	440	1,25				
	A 560-350H		350	560	1,25				
AMERİKA	GR 40	2004	300	500			0,060		
	GR 60		420	620			0,060		

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Weiping Zhanga, Xiaobin Songa, Xianglin Gua ve Shibin Li yaptıkları ‘Korozyona Uğrayan Beton Çeliklerinin Çekme Dayanımı ve Yorulma Davranışları (2016)’ adlı çalışmada çelik çubukların statik gerilme ve yorulma davranışları üzerine deneysel bir çalışmanın sonuçları sunmuşlardır. Hem doğal korozyona bağlı hem de yapay olarak hızlandırılmış korozyon göz önüne almışlardır.

Çekme testi sonuçları korozyona uğrayan inşaat demetlerinin deforme olabilme ve mukavemetinde belirgin bir bozulma olduğunu ve nihai çekme mukavemetinin dayanım gücünden daha fazla etkilendiğini gösterdiğini keşfetmişlerdi. Yorulma testi sonuçları korozyon ve gerilme aralığının artmasıyla korozyona uğrayan inşaat demirlerinin yorulma ömrünü önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. Çekme davranışı ile karşılaştırıldığında, korozyona uğrayan inşaat demirlerinin yorulma davranışı korozyondan daha fazla etkilendirilmiştir. Yapay olarak korozyona uğramış olan inşaat demirlerinin çekme ve yorulma özelliklerinin, korozyondan doğal olarak korozyona uğramış olan inşaat demetlerine göre daha az etkilendiği bulmuşlardır.

Çizelge 2.1. Çaplara göre beton çeliklerinin mekanik dayanım değerleri (Weiping Zhanga, 2016)

Çap	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	% Uzama Miktarı	Elastik Modülü
10	470,4	586,2	27,4	$2,01 \cdot 10^5$
12	464,5	565,2	16,6	$2,01 \cdot 10^5$
14	403,8	542,8	26,5	$2,01 \cdot 10^5$
16	452,1	578,0	33,5	$2,03 \cdot 10^5$

Çizelge 2.2. Çaplara göre beton çeliklerinin yorulma dayanım değerleri (Weiping Zhanga, 2016)

Çap	Minimum Yük (Mpa)	Maximum Yük(Mpa)	% Yük Aralığı	Çevrim Sayısı(KÖ)	Çevrim Sayısı(KS)
10	13,5	81,0	30	610	580
12	14,3	85,7	45	740	620
14	14,3	85,7	45	770	690
16	16,9	101,0	50	810	720

Krzysztof Krasnowski'nin 'Beton Çelik Çubukların Kullanımı ve Yorulma Testi (2015)' adlı çalışmasında, beton çelik çubukların yorulma dayanımına göre ayarlanmasını ve yorulma testlerinin çeşitlerini ve ayrıca test sonuçlarının örneklerini açıklamıştır. Ayrıca, betonarme takviyeli çelik çubukların yorulma mukavemeti üzerine seçilen faktörlerin etkisini anlatıyor, takviye çubukları içeren deneysel yorulma testleri ile ilgili sorunları ortaya koyuyor ve Instytut tarafından geliştirilen geçerli test sonuçlarının elde edilmesini sağlayan bir yorulma testi metodolojisi sunuyor. Yorulma yöntemi ile, 8-25 mm aralıklarla sınırlandırılmış çapların B500SP sınıfı takviye çubuklarını test ederken doğrulanmıştır.

Çalışmada şu yolu izlemiştir betonarme çubukların deneysel yorulma tanıtımında bahsedilen takviye çubuklarının yorulma testi sırasında karşılaşılan, test eden makine çeneleri alanında bir numunenin erken bozulmasıdır. Bu tür takviye çubuklarının davranışını teyit etmek için, değişen yükler altında yapılan testler sırasında

CMC Steelworks / kontrollü soğutma ve temperleme ile sıcak haddeleme işlemi sırasında. Çubukların mekanik ve teknolojik özellikleri sunulduğu gibi, B500SP çelik çubukların kimyasal bileşimi sunulmuştur. Testler için seçilen çubukların çapları 8, 12, 16 ve 20'dir ve 25 mm. Takviye çubuklarının yorulma testleri, ± 1000 kN test kapasitesine sahip bir MTS 810 test makinesi kullanılmıştır.

BSt 500 S oluklu çubuklar betonarme yapıların takviye edilmesi için kullanılır. BSt 500 S çubuk takviyeli yapılar, statik ve değişen yüklere -60°C ila $+100^{\circ} \text{C}$ 'ye kadar dinamik ve çoklu değişen yüklere tabi tutmuştur.

Teknik Onay'a göre yorulma mukavemeti testleri için gerekenler:

- Deneysel testlerde maksimum gerilme: $\sigma_{\max} = 0,7 \text{ Re MPa}$,
- Stres genlik aralığı: $2\sigma_a = 215 \text{ MPa}$, -Test yöntemi: PN-EN ISO 15630-1'e göre: 2011E , Kabul kriteri: en az 2×10^6 yük değişim çevrimidir.

Çizelge 2.3. Kimyasal kompozisyon ve ürün analiz değerleri (Krzysztof Krasnowski, 2015)

Analiz	Kimyasal element %					Karbon Eşdeğeri C_{eq}^*
	C*	N*	S*	P*	Cu*	
Döküm Analizi	≤ 0.22	≤ 0.012	≤ 0.050	≤ 0.050	≤ 0.80	≤ 0.50
Ürün Analizi	≤ 0.24	≤ 0.013	≤ 0.055	≤ 0.055	≤ 0.85	≤ 0.52

* kimyasal kompozisyon ve karbon eşdeğere göre PN-EN 10080:2007

Çizelge 2.4. B500SP çelikten çubukların mekanik ve teknolojik özellikleri (Krzysztof Krasnowski ,2015)

No.	Teori	Şartlar	Test metodu
1	Akma Kuvveti R_e , MPa	≥ 500	PN-EN ISO 6892-1: 2009 PN-EN 10080:2007 (R_e equivalent to $R_{0.2}$)
2	Çekme Kuvveti R_m , MPa	≥ 575	
3	R_m/R_e oran	$1.35 \geq R_m/R_e \geq 1.15$	
4	Toplam gerçek uzama A_{gt} , %	≥ 8.0	PN-EN ISO 15630-1:2011
5	Yüzde Uzama A_5 , %	≥ 16	
6	Bir açı ile bükme direnci $\alpha = 20^\circ$ sonra ilk bükme $\alpha = 90^\circ$ ve bükme için kullanılacak mandrel çapı: $5 \cdot d_s$, at $d_s = 8 \div 12$ mm $6 \cdot d_s$, at $d_s = 14 \div 16$ mm $8 \cdot d_s$, at $d_s = 18 \div 32$ mm	Çatlağa sahip olmaması	
7	Yorulma kuvveti: $\sigma_{max} = 300$ MPa, Sıklık frekans 200 Hz and $2\sigma_a = 160$ MPa	$\geq 2 \times 10^6$ çevrim	PN-EN ISO 15630-1:2011

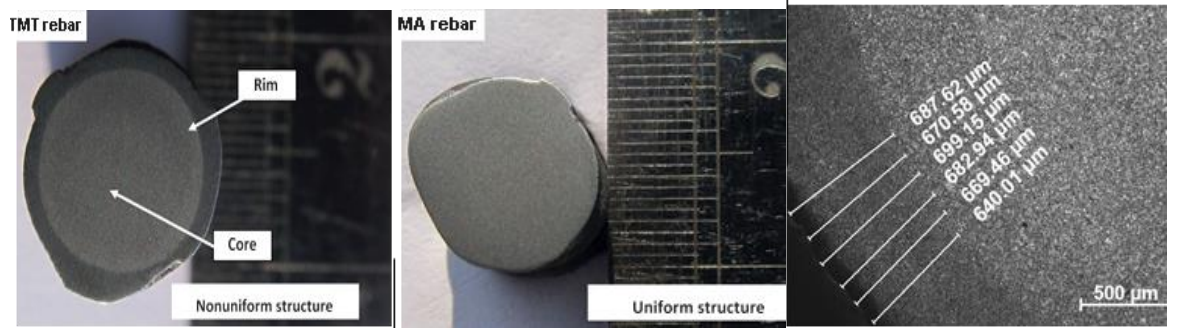
Çizelge 2.5. B500SP sınıfı beton çelik çubuklarının yorulma testi sonuçları (Krzysztof Krasnowski 2015)

Beton Çelik Çubuğun Çapı, mm	Çevrim Performans Şartı	Kopma Bölgesi	Sonuç
8	2000000	Serbest bölge	Pozitif
	2000000		
	2000000		
12	2000000	Serbest bölge	Pozitif
	2000000		
	2000000		
16	2000000	Serbest bölge	Pozitif
	2000000		
	2000000		
20	2000000	Serbest bölge	Pozitif
	2000000		
	2000000		
25	2000000	Serbest bölge	Pozitif
	2000000		
	2000000		
	2000000		

Surajit Kumar Paul, Pritam Kumar Rana, Debdulal Das, Sanjay Chandra ve Saurabh Kundu'nun ortak olarak yürüttükleri 'Mikro-Alaşımlandırılmış ve Thermexli Beton Çelik

Çubukların Yüksek ve Düşük Devirli Yorumla Performansının Karşılaştırılması (2014)' çalışmasında mikro alaşımlı ve thermexli beton çelik çubukların yüksek ve alçak devir yorulma performansı deneysel incelemeyle karşılaştırılmıştır. Mikro alaşımlı beton çelik çubukları thermexli beton çelik çubuklara göre daha iyi yorulma performansı gösterdiğini tespit etmişlerdir. Hem mikro alaşımlı hem de düşük karbonlu beton çelik çubuklarda yüksek ve düşük devir yorulması için çatlak oluşumlarının enine malzeme boyunca oluşturduğu ve aynı bölgede yayılım gösterdiği deneysel olarak gözlemlenmektedir. Yaptıkları deneyde, gerilme konsantrasyonunun enine malzeme boyunca gerçekleştiği ve gerilme üçlüsünün aynı bölgede daha yüksek olduğu görülmektedir. Deneyde yükün çekme gerilimi enine ve malzeme boyunca birikimi gözlenmiştir. Deneysel gözlem, yorulma çatlaklarının çapraz malzeme dışı boyunca başlatıldığı ve çoğaldığı sonucunda açıklanmaktadır.

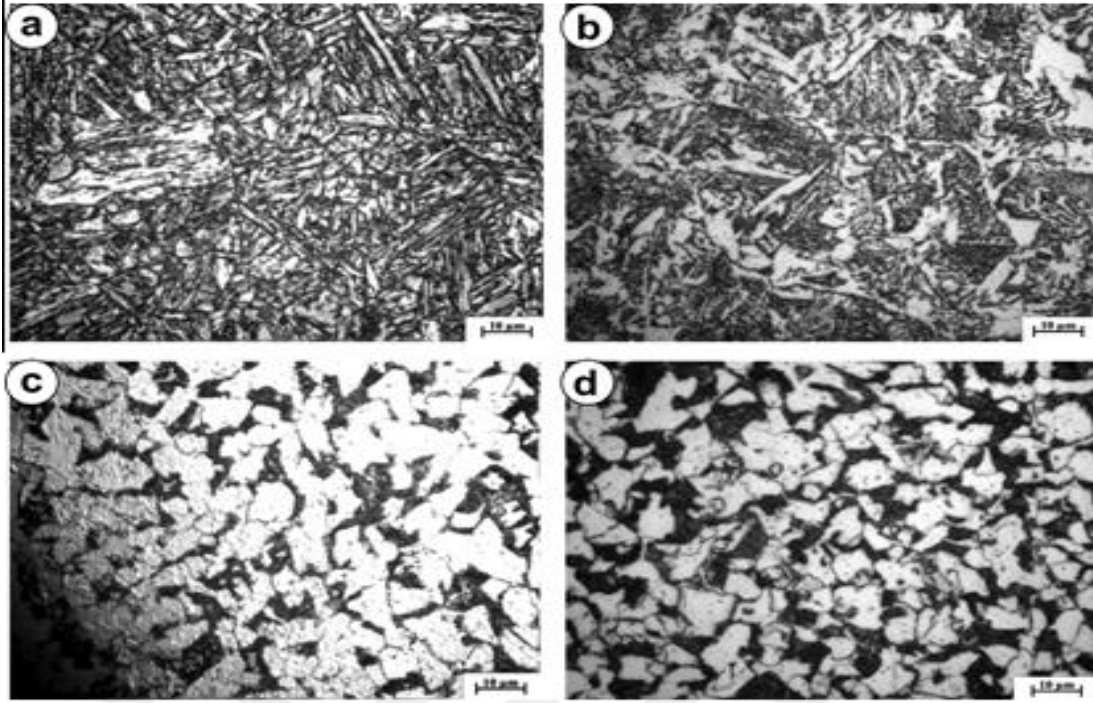
Kullandığı yöntem thermex ve mikro alaşımlı beton çelik çubukların enine kesitleri cilalanmış ve genel makro yapıyı gözlemlmek için % 2 miktarda HCL asit ile aşındırılmıştır. Thermex örneğinde temperli martensitin koyu renkli bir kenarı ve ferrit-perlit iç kısmına karşılık gelen gri bir çekirdek görülürken, mikro alaşımda kesit boyunca parlak gri bir görüntü oluşmuştur.



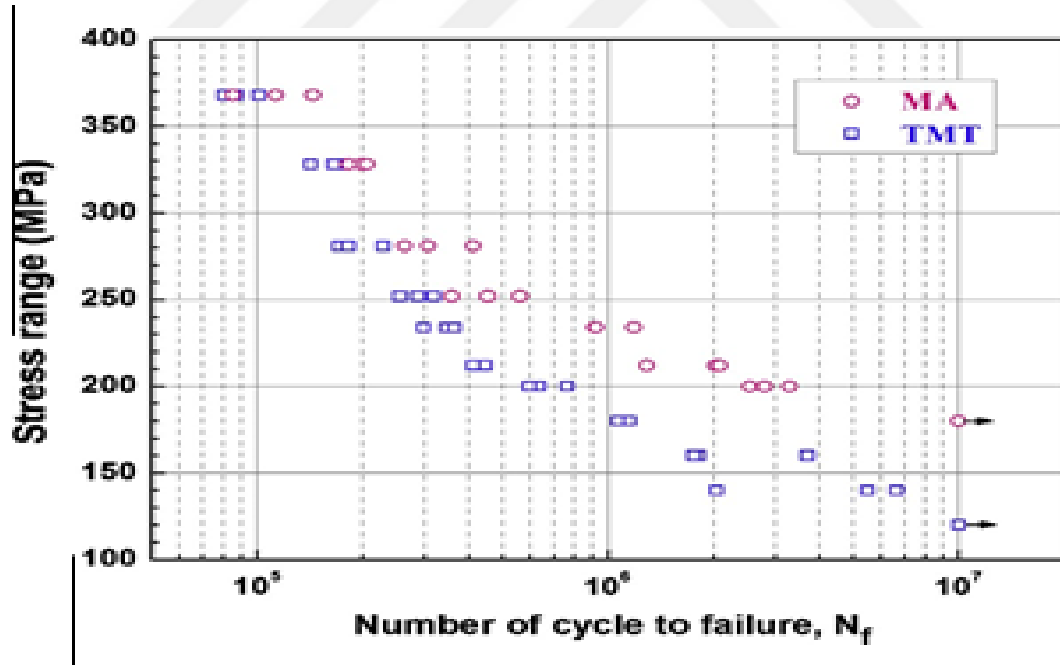
Şekil 2.1. a) TMT kesit görüntüsü b) MA kesit görüntüsü c) TMT çap kalınlığı ölçümü (Surajit Kumar, 2014)

Çizelge 2.6. TMT ve MA malzemelerin çekme özellikleri (Surajit Kumar, 2014)

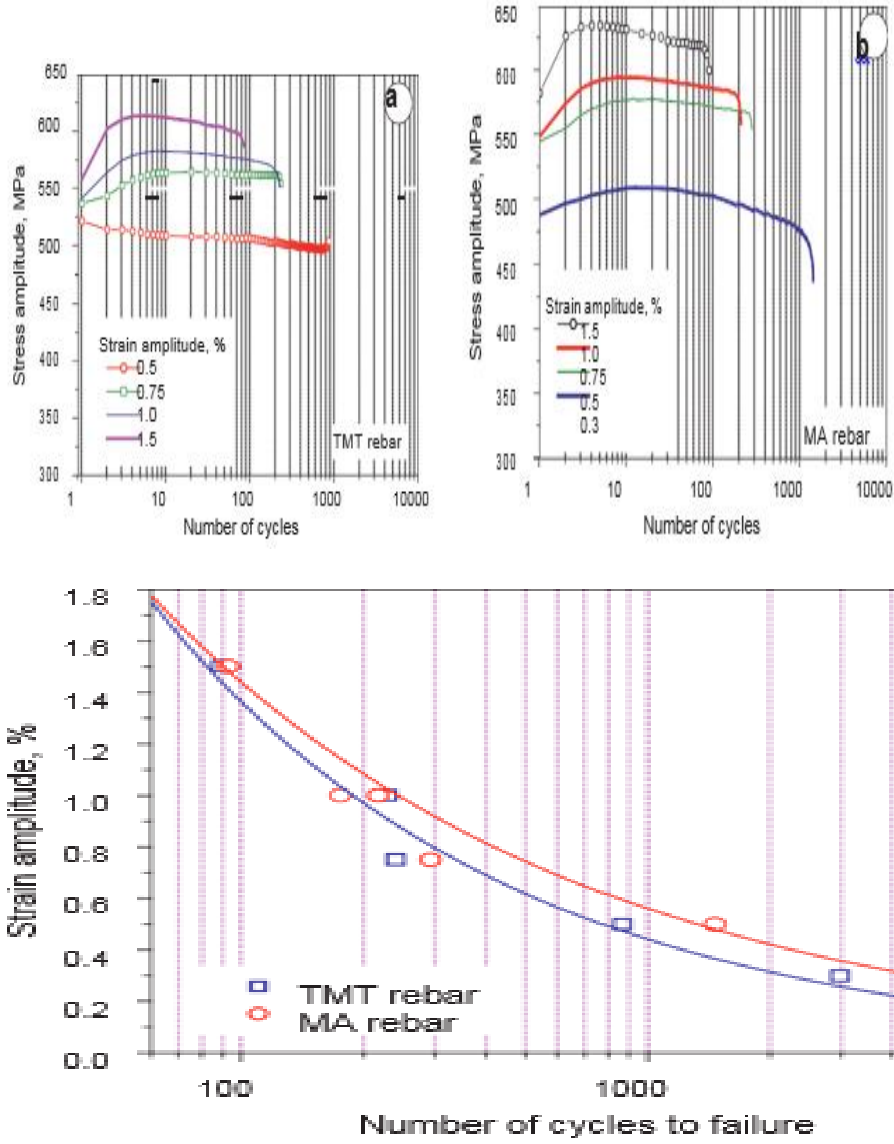
Malzeme	AkmaMuk.	Çekme	%
Cinsi	(MPa)	Muk.(MPa)	Uzama
TMT	551	649	12,7
MA	502	705	14,8



Şekil 2.2. a) TMT kenar b)TMT merkez c)MA kenar d)MA merkez optik mikroskop görüntüsü (Surajit Kumar, 2014)



Şekil 2.3. TMT ve MA yüksek devirli yorulma dayanımı karşılaştırması (Surajit Kumar, 2014)



Şekil 2.4. TMT ve MA düşük devirli yorulma dayanımı karşılaştırması (Surajit Kumar, 2014)

Bu tez çalışmasında birbirinden farklı mukavemet ve kimyasal oranları içeren uluslararası standartlar incelendiği zaman, depreme dayanıklı NBÇ çubukların hangi kimyasal yapıda ve mekanik dayanımlarda (üretim tekniğine bağlı olarak) olması gerektiği ile ilgili net bir bilgi bulunmamaktadır. Bu yüzden bu çalışma, depreme karşı dayanıklı NBÇ çubukların üretilmesinde çelik kimyasal yapısı ve mekanik özelliklerinin hangi aralıklarda olması gerektiği üzerine kurgulanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda depreme karşı dayanıklı NBÇ çubuklar için yeni bir standart önerisi yapılmıştır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

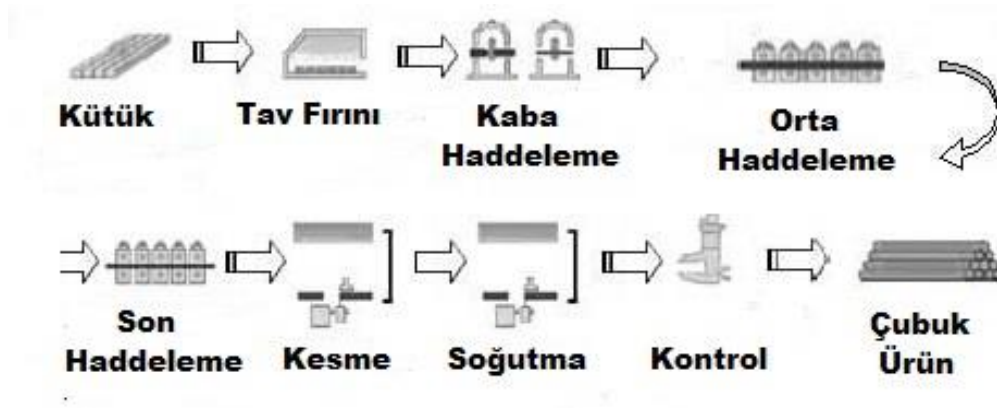
3.1.1. Kütük ve NBÇ Üretimi

Farklı kaynaklardan elde edilen HMS-1 ve 2 hurdalarının kullanarak temel amacı ergitme ve fosfor izabesi olan ark ocağının prosesi, basit olarak çıplak ark ile hurda direncinin kullanılması vasıtasıyla hurdanın ergitilmesi sağlanmıştır. Ocağa cüruf yapması için hurda sepetinde kireç taşı ve karbon içeren malzemeler eklenerek çelik üretim prosesi iyileştirilmiştir. Ergitme işlemi ark kıvılcımı ile başlamıştır. Kullanılan modern fırında, elektrotlardan sadece elektrik enerjisi verilmez, ocağın duvarlarında bulunan ‘jet burnerlardan ergimeyi kolaylaştırmak için doğal gaz ve oksijen üflenerek yanma kolaylaştırılmaktadır. Ayrıca oksijen üfleme, özel nozullar vasıtasıyla cüruf kapısından da yapılmıştır.

Hurda eritildikten sonra jet burnerler ve kademeler otomatik olarak izabe moduna geçerek. Köpüklü cüruf oluşturulur ve cüruf kapısında akıtılır. 1600 C’ de döküm yapılır. Cüruf akıtıldıktan sonra sıcaklık ölçümü yapıp, karbon yüzdesi kontrol edilmiş ve pota ocağına aktarımı gerçekleştirilmiştir.

Elektrikli ark ocağından alınan döküm 4 pota ocağına bölünmüştür. Pota ocaklarında kükürt giderme, deoksidasyon ve alaşımlama ve döküm sıcaklığı 1600 C de ısıtma işlemleri gerçekleştirilerek önce tandiş adı verilen döküm havuzundan sürekli döküm makinasında 6 yolluktan aynı anda 6 adet 150x150x12000 kare kütük halinde yarı mamül üretimi gerçekleştirilmiştir.

Üretilen kütükler soğuma ızgarasında oda sıcaklığına soğuması beklenmiştir. Oda sıcaklığında ki kütükler hadde öncesi 1100 C de yeniden kristallenme tavlama için tav fırınında bir saat bekletilmiştir. Tav fırınından 1100 C de çıkan kütükler on biri yatay yedisi dikey merdane gruplarından ezilerek geçirilmiş ve 16 mm çapında NBÇ çubuklar üretilmiştir. Sıcak haddeleme ile NBÇ çubuk üretiminde tavlanan kütükler 16mm çapına geldiğinde hadde bitiş sıcaklığı 960 C üretilmiştir. Takviye alaşımlandırma yöntemi ile NBÇ çubuk üretiminde ise hadde hızı yavaşlatılarak hadde çıkış sıcaklığı 820 C ye getirilir. Proseste döküm esnasında ortama eser miktarda Vanadyum alaşım elementlerinin ilavesi ile NBÇ üretilmiştir. Thermex prosesi yöntemi ile NBÇ çubuk üretimi su ile kontrollü soğutularak hadde bitiş sıcaklığı 650 C de NBÇ üretilmiştir



Şekil 3.1. Nervürlü beton çubuklarının haddeme ile üretimi

3.1.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Çizelge 3.1. Haddelenecek kütüklerin üretim yöntemleri

Kütük No	Açıklama
K-1	Sıcak haddeme ve thermex prosesi ile NBÇ üretiminde kullanılacak kütük.
K-2	Vanadyum ile alaşımlandırılmış NBÇ üretiminde kullanılacak kütük
K-3	Sıcak haddeme prosesi ile NBÇ üretiminde kullanılacak kimyasal yapısı farklı kütük
K-4	Sıcak haddeme prosesi ile NBÇ üretiminde kullanılacak kimyasal yapısı farklı kütük

Çizelge 3.2. Üretilen NBÇ çubukların üretim yöntemleri

NBÇ No	Açıklama
NBÇ-1	Sıcak hadde yöntemi ile K-1' den üretilen NBÇ çubuğu.
NBÇ-2	Thermex yöntemi ile K-1' den üretilen NBÇ çubuğu.
NBÇ-3	Vanadyum ile alaşımlandırılma yöntemi ile K-2' den üretilen NBÇ çubuğu.
NBÇ-4	Sıcak hadde yöntemi ile K-3' den üretilen NBÇ çubuğu
NBÇ-5	Sıcak hadde yöntemi ile K-4' den üretilen NBÇ çubuğu

Bu tez çalışmada kimyasal yapıları aynı olan ve üretim teknikleri farklı olan 2 kütük aynı zamanda üretim tekniği aynı, kimyasal yapıları farklı 2 kütük olmak üzere 4 farklı kütük kullanılmıştır.(Çizelge 3.1) Bu kütüklerden farklı tekniklerle 5 farklı NBÇ çubuğu üretilmiştir.(Çizelge 3.2)

3.1.3. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

3.1.3.1. X-Ray Spektrometre (XRF)

Tez çalışmasında PANALYTICAL Marka AXIOS MAX model XRF kullanılacaktır. XRF, elemental ve kimyasal kompozisyonu belirlemede kullanılan önemli cihazlardan biridir. Cihaz X-ışını kaynağı, farklı elementlere hassas kristaller, numune odası, dedektör ve kapalı devre soğutma ünitesinden oluşur. XRF analizleri İÇDAŞ Laboratuvarında yapılacaktır. (Azot dahil 21 elementi ölçebilmektedir.)

3.1.3.2. X-Ray Difraktometre Cihazı (XRD)

Tez çalışmasında kullanılacak atık cüruf ve jeopolimerleşme sonrası elde edilen ürünlerdeki mineralojik yapının tespitinde PANALYTICAL Marka X'PERT PRO MPD Difraktometre ile yapılacaktır

3.1.3.3. Optik Mikroskop

Tez çalışmasında NİKON Marka ECLİPSE L150 model optik mikroskop kullanılacaktır. Yansıyan ışık prensibine göre çalışan optik mikroskop 5x/0.15,10x/0.30, 20x/0.45,50x/0.80,100x/0.90 büyütmede görüntü verebilen bir cihazdır. Çalışma sırasında mikro yapı analiz incelemeleri, kalıntı element incelemeleri ve mikro çatlakların incelenmesi İÇDAŞ Laboratuvarında yapılacaktır.

3.1.3.4. Numune Hazırlama Ekipmanları

Tez çalışmasında METKON marka hassas kesim cihazı, METKON marka METAPRESS model sıcak numune kalıplama cihazı, METKON marka FORCİMAT model zımparalama ve parlatma cihazları ile numunelerin deneysel incelemelere hazırlanması sağlanacaktır.

3.1.3.5. Eksenel Yorulma Testi Cihazı

Tez çalışmasında ZWİCK marka AMSLER 500 model 5-500 KN yüklerde çalışabilen eksenel yorulma cihazı kullanılacaktır. Yinelenebilir gerilme altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmasına rağmen belirli bir tekrarlama sayısı sonunda metal yüzeyinde bir çatlama ve bu çatlama sonucunda metalde kopma olayına neden olur. Deneyde numuneye uzunluğu boyunca değişen çekme ve basma gerilmeleri uygulanır. Uygulanan gerilme numune eni boyunca da uniform olarak dağılır.

3.1.3.6. Çekme Deney Cihazı

Tez çalışmasında WALTER BAİ marka W+B 200 model çekme cihazı malzemelerin akma mukavemeti ve çekme mukavemeti değerlerini + - 20 KN hassasiyet ile ölçen önemli bir cihazdır.

3.1.3.7. Geometrik Analiz Cihazı

Tez çalışmasında Installation Rib Device marka TYPE RM203 model beton çeliklerinde kullanılan nervür alanı, nervür açısı, nervür yüksekliği ve fitil yüksekliğini ölçen bir cihazdır.

3.2. Yöntem

3.2.1. XRF Tekniği ile Kimyasal Analiz

Hem kütüklerin hem de NBÇ örneklerinin kimyasal yapıları, TS 2162 EN 10025 standardına uygun bir şekilde Panalytical marka XRF (Axios max model) cihazı ile belirlenmiştir. Kütüklerin kimyasal analizinde örnek numune, kütüğün çıktığı son hazneden (tandış) 1600oC sıcaklıktaki sıvı çeliğin alınması ile yapılır. NBÇ'lerin kimyasal analiz ise, nervür çıkıntıları tornalamış pürüzsüz 100 mm boyundaki silindirik kesit alınarak yapılmaktadır. Kimyasal analizler, numunelerin 3 farklı bölgesinden örnekler alınarak tekrarlanmış ve sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

3.2.2. Metalografik İnceleme

NBÇ örneklerin yorulma deneyi öncesi ve sonrası 16x50 mm silindirik kesit alınmıştır. NBÇ örnekleri 100 kez büyütme ile mikro yapı analizleri ASTM-E45 metodu ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin çapı yeterli büyüklükte olmamalarından dolayı ekstra kalıba alınma gereksinimi duyulmamıştır. Alınan numuneler karışmaması için arkalarında kütük isimleri ile markalama uygulanmıştır. Numune kesme işleminden kaynaklanan yüzey bozukluklarının ve hatalarının giderilmesi için ilk etapta 120 lik ve sonrasında sırayla 600-800 ve 1200 lük zımparalar ile parlatma öncesi ilk düz yüzey elde edilmiştir. Çuha adı verilen parlatma kâğıdı üzerine %0,05 elmas içeren solisyon aşındırıcı ilerde son yüzey düzeltme ve parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Gözle yanımla olmaması için yapılan parlatmanın kontrolü optik mikroskopta 100x büyütmede kontrol edilmiştir.

Son olarak gerçek içyapının gözlenebilmesi için parlatılan numunelerin dağlayıcı kimyasallar ile dağlanması gerekmektedir. Bunun için içerisinde %2 Nital (Nital = %1-5 Nitrik asit(HNO₃) + %95-99 Alkol(CH₃OH)) bulunan dağlayıcıda numuneleri 6 saniye

boyunca bekleterek yapıdaki fazların dağılayıcıdan etkilenecek bozulup çukurlaşması ile oluşan koyu renkli mat görünürlük elde edilmiştir. Saf su ile bolca yıkanarak numuneler incelemeye hazır hale gelmiştir.



Şekil 3.2. Mikro analiz inceleme hazırlıkları

3.2.3. Çekme Deneyi

16mm çapında 60 cm boyundaki NBÇ örneklerin çekme denemeleri, EN ISO 6892-1 2014 standardına uygun bir şekilde Walter Bai marka çekme cihazı (W+B 200 model) ile yapılmıştır. Cihaz örneklerin akma ve çekme mukavemet sonuçlarını ± 20 kN hassasiyet ile vermektedir. Her bir NBÇ örneği için denemeler 3 kez tekrarlanmış ve ortalama sonuçlar alınmıştır. NBÇ çubukların;

$$\text{Akma mukavemetleri (R}_e\text{), } R_e = \frac{P_a}{f_o} \quad (3.1)$$

$$\text{Çekme mukavemetleri (R}_m\text{), } R_m = \frac{P_k}{f_o} \quad (3.2)$$

formülü ile hesaplanmıştır.

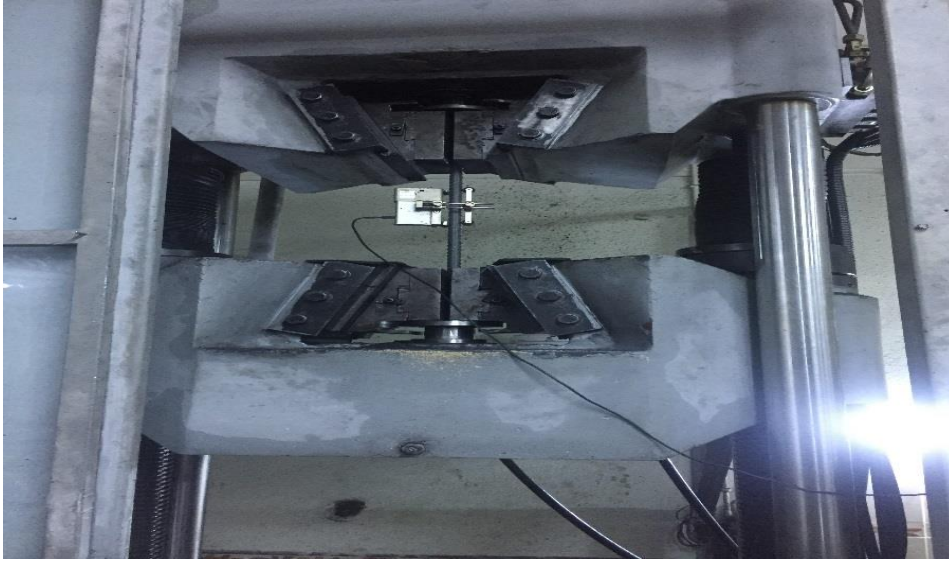
Formüllerdeki P_a ve P_k sırasıyla akma ve çekme kuvvetini (N) ve f_o ise numune boy ağırlığından hesaplanan ilk kesit alanı (mm^2) simgelemektedir

$$\text{Kopma uzaması (At) } A_t = \left[\frac{(Lu - Lo)}{Lo} \right] \cdot 100 \quad (3.3)$$

$$\text{Gerçek uzaması (A}_{gt}) \text{ A}_{gt} = \left[\frac{(L_u - L_0)}{L_0} \right] \cdot 100 + 0,3 \quad (3.4)$$

formülü kullanılarak yapılmıştır.

Formüllerdeki L_u : Kopmadan sonra işaretlenen iki nokta arasındaki numune uzunluğu (mm) ve L_0 ise, Numunenin ilk ölçü uzunluğu (mm) ifade etmektedir. A_{gt} hesabında L_u , kopma noktasından 50 mm uzaklaşarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.3. Çekme cihazına bağlı numune

3.2.4. Bükme Deneyi

16 mm çapında 90 cm boyunda iki ucu düzleştirilmiş NBÇ örneklerin TS 282- EN 910 metoduna göre mandrel çaplı büyüklüğünde ($D \times 5$, $16 \times 5 = 80 \text{ mm}$) numuneler kullanılarak; 90° ve 180° açılarda bükme gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında 90° de bükülen örnekler 1 saat boyunca 100° C ' sıcaklıktaki suda yaşlandırma işlemi tabi tutulmuştur. Yaşlandırılan numuneler 20° açı ile geri bükme işlemi uygulanmıştır. Her bir NBÇ örneği için denemeler 3 kez tekrarlanmış bükülme bölgelerinde ki deformasyonlar incelenmiştir.



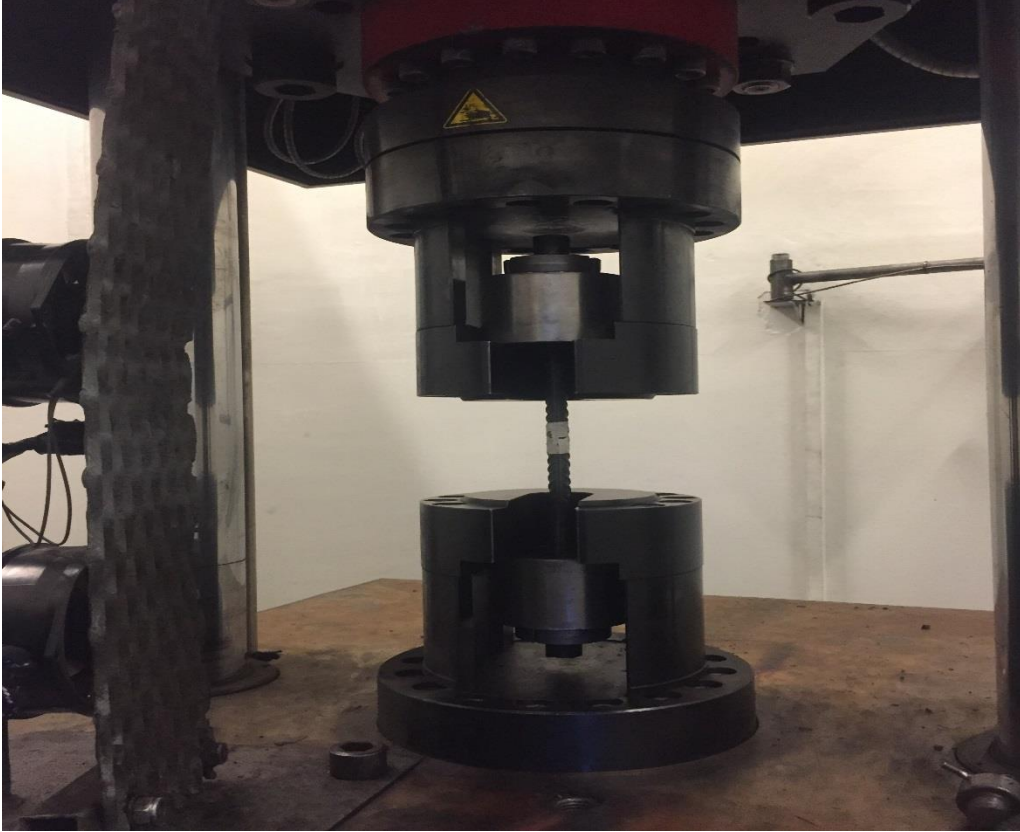
Şekil 3.4. Bükme cihazına bağlı numune

3.2.5. Yorulma Deneyi

16 mm çapında 60 cm boyunda iki ucu düzleştirilmiş NBÇ örneklerin yorulma denemeleri, EN ISO 15630-1 standardına uygun bir şekilde Zwick marka eksenel yorulma cihazı (Amsler-500 model) ile yapılmıştır. Cihaz, örneklerin yorulma sonuçlarını % 0,1 hassasiyet ile vermektedir. Her bir NBÇ örneği için denemeler 3 kez tekrarlanmış ve ortalama sonuçlar alınmıştır. Numune boyu minimum $14 \times D$ çeneler arası mesafe ve buna ek olarak çene içi boyu mesafe toplamı alınarak 16mmx50cm ayarlanmıştır. Numuneler çap merkezleri kumpas yardımı ile ölçülerek çubukların iki ucundan markalanmıştır. Merkezlenme işlemi yaptığımız numuneler kalıplamak üzere 22mm çaptaki numune kaplama kalıbına ile kaplama aparatına yerleştirilmiştir. Kalıp malzemesi hazırlama öncesi masa üzerindeki davlumbaz çalıştırılmıştır. Kalıp malzemesi polyester, reçine, hızlandırıcı ve kalıp tozlarından oluşmaktadır. 22mm numune kalıbına göre hazırlanan kalıp karışımı, önce akıcılığı düşük polyester ardından reçine (sertleştirici) ilave edilmiştir ve karıştırılmıştır. Bunlar karıştıktan sonra hızlandırıcı ilave edilir ve kısa süre daha karıştırılır ve son olarak toz ilave edilir karışımın homojen olması için 30 saniye daha karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım kalıp boşluğuna dökülmüş ve 30 dakika sertleşmesi beklenmiştir. Sertleşmesi tamamlanan numune kalıptan çıkarılmış deney için tamamen katılaştırması için 24 saat bekletilmiştir.



Şekil 3.5. Yorulma numunesi kalıplama kalıbı ve aparatı



Şekil 3.6. Yorulma cihazına bağlı numune

3.2.6 Geometrik İnceleme

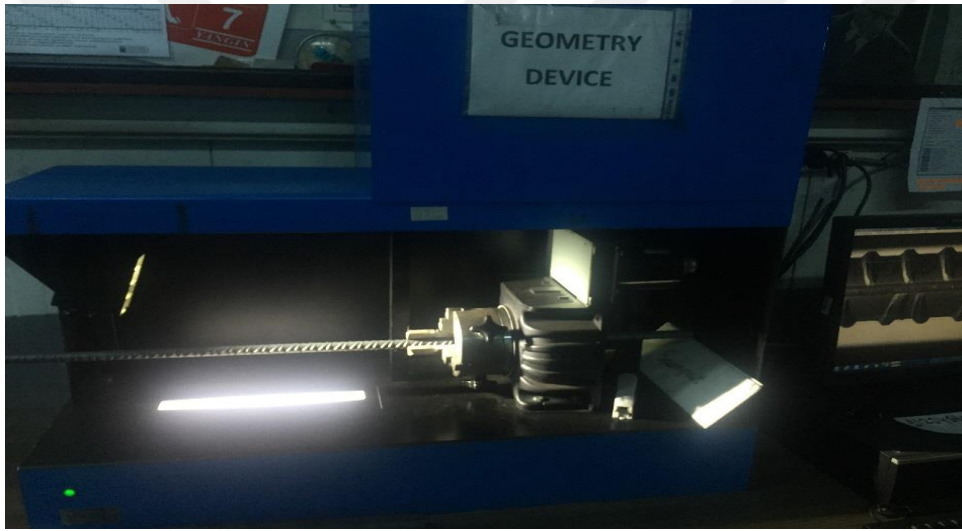
Geometrik incelemeler için Installation Rib Device marka TYPE RM203 model beton çeliklerinde kullanılan nervür alanı, nervür açısı, nervür yüksekliği ve fitil

değerlerini ölçen bir cihaz kullanılmıştır. Analizler EN ISO 10002-1 2010 metoduna göre gerçekleştirilmiştir.

Nervür alanı için kullanılan formül EN ISO 10002-1 e göre aşağıda verilmektedir.

$$F_r = (2xh / 3) \times (\ell \times \sin \beta / C) \quad (3.5)$$

Eşitlikteki, F_r : Nervür alanını, h : Nervür yüksekliğini, ℓ : Nervür Uzunluğunu, C : Nervür adımını, β : Enine nervür eksenine ile çubuğun boyuna eksenine arasında ki açı değerini ve α : Nervür yan yüzeyinin, nervür eksenine dik düzlemde nervür tabanı ile yaptığı açı değerini simgelemektedir.



Şekil 3.7. Geometrik karakterizasyon cihazına bağlı numune

3.2.7 XRF Tekniği ile Kimyasal Analiz

Hazırlanan numuneler PANALYTICAL Marka AXIOS MAX model XRF ile azot dahil 21 elementli ölçüm sonucu kimyasal kompozisyonu ölçülmüştür. Hem kütüklerin hem de NBÇ örneklerinin kimyasal yapıları, TS 2162 EN 10025 standardına uygun bir şekilde Panalytical marka XRF (Axios max model) cihazı ile belirlenmiştir. Kütüklerin kimyasal analizinde örnek numune, kütüğün çıktığı son haznedan (tandış) 1600°C sıcaklıktaki sıvı çeliğin alınması ile yapılır. NBÇ lerin kimyasal analiz ise, nervür çıkıntıları tormalanmış pürüzsüz 100 mm boyundaki silindirik kesit alınarak yapılmaktadır. Kimyasal analizler, numunelerin 3 farklı bölgesinden örnekler alınarak tekrarlanmış ve sonuçlar verilmiştir.

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Kimyasal Kompozisyon (Spektral analiz)

Deneylerde kullanılacak olan NBÇ çubukların üretildiği kütüklerin XRF sonuçları Çizelge 4.1 de, üretim sonrası NBÇ çubukların XRF sonuçları Çizelge 4.2 de verilmektedir. Gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarına göre, sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuklarda karbon miktarında % 0,01 oranında azaldığı, thermex prosesi ile üretilen NBÇ çubukların ise karbon miktarında % 0,01 oranında arttığı görülmüştür (Çizelge 4.1 ve 4.2). Vanadyum ile alaşımlarına yöntemi ile üretilen NBÇ çubuklarda ise herhangi bir kimyasal değişim bulunmamıştır. Çizelge 4.2 de görüldüğü gibi, Çubuk No 1, 2 ve 3' ün karbon eşdeğerlikleri (CEQ) %50' nin altında, Çubuk 4 ve 5' in ise karbon eşdeğerlikleri %50' nin üzerinde bulunmuştur. TS 2162 standardına göre karbon eşdeğerliği %50' nin altında olan çelikler kaynaklanabilir olduğu için yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Buna göre Çubuk no 1, 2 ve 3 olan NBÇ çubukları yapı çeliklerinde kullanılması uygunken, 4 ve 5 nolu çubuklar kaynaklanabilir olmadığı için uygun değildir.

Çizelge 4.1. Haddelenecek kütüklerin XRF sonuçları

Kütük No	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Ni	%Cr	%V	%Cu	%N	%B	%Fe	CEQ (%)
1	0,19	0,57	0,17	0,016	0,007	0,10	0,13	0,002	0,34	0,010	0,011	<98,10	34,47
2	0,19	0,57	0,17	0,016	0,007	0,10	0,13	0,075	0,34	0,010	0,011	<98,08	35,93
3	0,29	1,26	0,21	0,024	0,022	0,11	0,13	0,082	0,33	0,014	0,009	<98,05	56,12
4	0,45	0,96	0,20	0,037	0,017	0,10	0,14	0,003	0,46	0,011	0,010	<98,02	67,99

Çizelge 4.2. Üretim sonrası deneylerde kullanılacak NBÇ çubukların XRF sonuçları

Çubuk No	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Ni	%Cr	%V	%Cu	%N	%B	%Fe	CEQ (%)
1	0,18	0,56	0,17	0,016	0,007	0,10	0,13	0,002	0,34	0,010	0,011	<98,10	%34,47
2	0,20	0,57	0,17	0,016	0,007	0,10	0,13	0,002	0,34	0,010	0,011	<98,10	%34,47
3	0,19	0,58	0,17	0,016	0,007	0,10	0,13	0,075	0,34	0,010	0,011	<98,08	%35,93
4	0,28	1,25	0,21	0,024	0,022	0,11	0,13	0,082	0,33	0,014	0,009	<98,05	%56,12
5	0,44	0,98	0,20	0,037	0,017	0,10	0,14	0,003	0,46	0,011	0,010	<98,02	%67,99

4.2. Geometrik Analiz

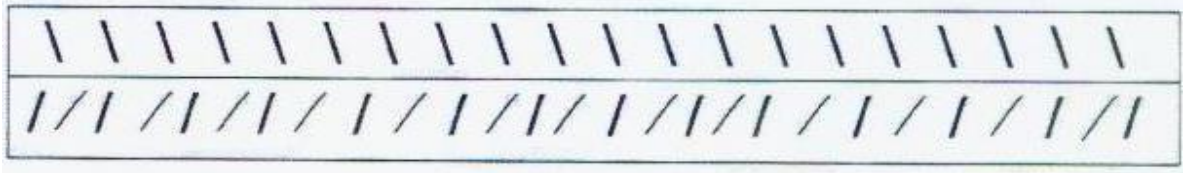
Üretilen nervürlü beton çelikleri yapı içerisinde beton ile kompozit bir malzeme şeklinde hareket edecek olsa da çelik çubuk ile beton arasında tutunma oranını çelik çubuk üzerinde ki nervür dizaynı ve alanı belirlemektedir. Çizelge 4.3’de üretilen nervürlü beton çelik çubukların geometrik açıdan ölçüm değerleri bulunmaktadır. Şekil 4,1 ve Şekil 4,2 ‘te ise numunelerin nervür dizaynlarının temsili görüntüleri gösterilmektedir.

Nervür alanı ölçüm değerleri üzerinden gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre beton çelik çubuklarının nervür dizaynlarına göre nervür alanları sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen çubuğun (Çubuk No 1) 3,07mm olarak vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi ile üretilen çubuğun (Çubuk No3) %42, Thermex prosesi ile üretilen çubuktan (Çubuk No2) %35 daha fazla nervür alanına sahip olduğu görülmektedir.

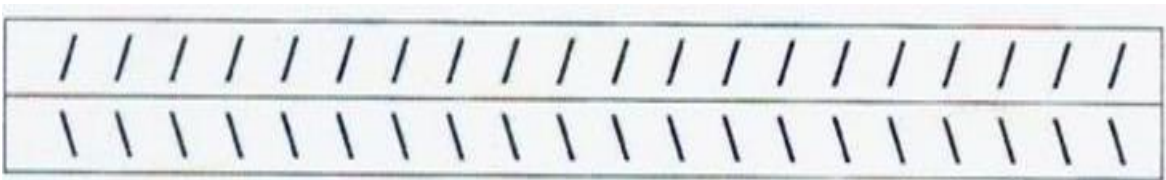
Sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen çubuklarda %C miktarı 0,18 olan çubuk (Çubuk No1) 3,07mm nervür alanı %0,44 C içeren çubuktan (Çubuk No5) %30, % 0,28 C içeren çubuktan (Çubuk No4) % 44 daha fazla nervür alanına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. Üretilen nervürlü beton çelik çubuklarının geometrik analizleri

Çubuk No	Nervür Yüksekliği	Nervür Adımı	Nervür Açıcı	N.Uçları Mesafe	Nervürler Arası M.	Nervür Uzunluğu	Fitil Yüksekliği	Fitil Genişliği	Nervür Alanı
1	1,04 mm	10,5mm	α : 52 β : 56	3,47mm	1,45 mm	28,0 mm	0,75 mm	1,74 mm	3,07mm
2	1,50 mm	10,5mm	α : 57 β : 58	4,55mm	1,45 mm	27,1 mm	0,72 mm	2,28 mm	2,18mm
3	1,37 mm	10,3mm	α : 55 β : 57	4,12mm	1,45 mm	26,6 mm	0,66 mm	2,06 mm	2,08mm
4	1,42 mm	10,6mm	α : 56 β : 58	3,86mm	1,42 mm	26,9 mm	0,71 mm	2,14 mm	2,03mm
5	0,87 mm	10,6mm	α : 41 β : 49	3,44mm	1,60 mm	30,8 mm	0,69 mm	1,71 mm	2,54mm



Şekil 4.1. Çubuk 2 ve Çubuk 3’ün nervür dizaynının temsili görüntüsü



Şekil 4.2. Çubuk 1, Çubuk 4 ve Çubuk 5’in nervür dizaynının temsili görüntüsü

4.3. Çekme Testi

NBÇ çubuklar üzerinde gerçekleştirilen çekme mukavemeti testi, çekme mukavemeti, akma mukavemeti, kopma uzaması ve gerçek uzama sonuçlarını içermektedir. Bu sonuçlar 3 kez tekrarlanmış ve ortalama değerleri Çizelge 4.4'te özetlemiştir. Bu çizelge de görüldüğü gibi, malzemelerdeki kimyasal yapı ve üretim yöntemlerindeki farklılıkların akma, çekme mukavemetine ve % uzama-gerçek uzama oranlarına doğrudan etki ettiği görülmektedir. Bu çizelgede ilk 3 NBÇ çubuk aynı kimyasal analiz değerlerine sahip kütüklerden farklı tekniklerle üretilmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre Thermex prosesi yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğun (Çubuk No:2) akma dayanımı 575,3 MPa değerinde en yüksek akma mukavemetine sahip NBÇ çubuğu olarak bulunmuştur. Thermex prosesine göre, vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğun (Çubuk No: 3) akma dayanımı %5, sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğun (Çubuk No: 1) akma dayanımı %40 daha küçük olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.4). Sıcak haddeleme tekniği ile üretilen NBÇ çubukların akma dayanımları karşılaştırıldığı zaman, akma dayanım değeri en yüksek olan % C oranı 0,44 olan NBÇ çubuğu (Çubuk No:5) 487,1 MPa değerinde en yüksek akma mukavemetine sahip NBÇ çubuğu olarak bulunmuştur. Bu değer, %C içeriği 0,28 olan NBÇ çubuğuna (Çubuk No:4) göre %5 ve %C içeriği 0,18 olan NBÇ çubuğuna (Çubuk No:1) göre %32 oranında daha yüksektir (Çizelge 4.4).

Çekme testi sonuçlarına göre Thermex prosesi yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğun (Çubuk No:2) çekme dayanımı ortalama 743,1 MPa değerinde en yüksek çekme mukavemetine sahip NBÇ çubuğu olarak bulunmuştur. Thermex prosesine göre, Vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğun (Çubuk No: 3) çekme dayanımı %8, sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğun (Çubuk No: 1) çekme dayanımı %32 daha küçük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4). Sıcak haddeleme tekniği ile üretilen NBÇ çubukların çekme dayanımları karşılaştırıldığı zaman, çekme dayanım değeri en yüksek olan % C oranı 0,44 olan NBÇ çubuğu (Çubuk No:5) 719,7 MPa değerinde en yüksek çekme mukavemetine sahip NBÇ çubuğu olarak bulunmuştur. Bu değer, %C içeriği 0,28 olan NBÇ çubuğuna (Çubuk No:4) göre %2 ve %C içeriği 0,18 olan NBÇ çubuğuna (Çubuk No:1) göre %28 oranında daha yüksektir (Çizelge 4.4).

Yüzde uzama ölçümü sonuçlarına göre sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğun (Çubuk No:1) yüzde uzama değeri ortalama %28,4 olarak bulunmuştur. Bu değer, vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğa (Çubuk No: 3) göre %40, Thermex prosesi ile üretilen NBÇ çubuğa (Çubuk No:2) göre %25 daha büyüktür. Sıcak

haddeme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuklarda % C miktarı 0,18 olan NBÇ çubuğun (Çubuk No:1) % 28,4 oranında uzama miktarı ile, % C içeriği 0,44 olan NBÇ çubuğa (Çubuk No: 5) göre % 64 ve % C içeriği 0,28 olan NBÇ çubuğa (Çubuk No: 1) % 50 oranında daha büyük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4).

Yüzde gerçek uzama ölçümü sonuçlarına göre sıcak haddeme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğun (Çubuk No:1) yüzde gerçek uzama değeri ortalama %19,4 olarak bulunmuştur. Bu değer, vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğa (Çubuk No: 3) göre %52, Thermex prosesi ile üretilen NBÇ çubuğa (Çubuk No:2) göre %37 daha büyüktür (Çizelge 4.4). Sıcak haddeme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuklarda % C miktarı 0,18 olan NBÇ çubuğun (Çubuk No:1) % 19,4 oranında gerçek uzama miktarı ile, % C içeriği 0,44 olan NBÇ çubuğa (Çubuk No: 5) göre % 36 ve % C içeriği 0,28 olan NBÇ çubuğa (Çubuk No: 1) % 43 oranında daha büyük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.4)

Çizelge 4.4 Üretilen NBÇ çubuklarının çekme testi sonuçları

Çubuk No	Birim Ağırlık (g/mm)	Akma Dayanımı (Re-MPa)	Çekme Dayanımı (Rm-MPa)	Rm/Re Oranı	%Uzama Miktarı	%Agt Miktarı
1	1526	340,9	520,4	1,58	28,4	19,4
2	1588	575,3	743,1	1,29	21,1	12,7
3	1582	554,4	687,7	1,24	17,8	10,9
4	1578	466,3	727,1	1,55	14,7	12,1
5	1569	487,1	719,7	1,63	13,2	11,5

1×10^6 çevrim yorulan NBÇ çubuklar üzerinde gerçekleştirilen çekme mukavemeti testi, çekme mukavemeti, akma mukavemeti, kopma uzaması ve gerçek uzama sonuçlarını içermektedir. Bu sonuçlar 3 kez tekrarlanmış ve ortalama değerleri Çizelge 4.5'te özetlemiştir. Bu çizelge de görüldüğü gibi, yorulma NBÇ çubuklarında akma, çekme mukavemetine ve % uzama-gerçek uzama oranlarına doğrudan etki ettiği görülmektedir. Çekme testi sonuçlarına göre, üretim yöntemlerinin yorulma sonrasında akma dayanımına etkisi gözlenememiştir. Ancak Thermex prosesi, Sıcak haddeme ile üretim, Vanadyum ile alaşımlandırılarak üretim yöntemleri ile üretilen çubukların yorulma öncesi akma dayanımları toplam ortalaması 484,8 MPa, 1×10^6 çevrim yorulma sonrası toplam ortalama akma dayanımında % 3 daha azaldığı gözlenmiştir.(Çizelge 4.5)

Çekme dayanımı değerlerine göre NBÇ çubuklarının üretim yöntemlerinin yorulma sonrasında çekme dayanımına etkisi gözlenememiştir. Ancak Thermex prosesi, Sıcak haddeleme ile üretim, Vanadyum ile alaşımlandırılarak üretim yöntemleri ile üretilen çubukların yorulma öncesi çekme dayanımları toplam ortalaması 679,6 MPa olması ile 1×10^6 çevrim yorulma sonrası toplam ortalama çekme dayanımından % 1 daha büyük olduğu gözlenmiştir.(Çizelge 4.5)

Yüze uzama ve gerçek uzama değerleri üzerinden gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre beton çelik çubuklarının üretim yöntemlerinin yorulma sonrasında çekme dayanımına etkisi gözlenememiştir. Ancak Thermex prosesi, Sıcak haddeleme ile üretim, Vanadyum ile alaşımlandırılarak üretim yöntemleri ile üretilen çubukların yorulma öncesi sonrası ortalama % uzama 18,2 ve % agt 12,7 1×10^6 çevrim yorulma öncesi toplam ortalama yorulma dayanımından % 1 daha küçük olduğu gözlenmiştir.(Çizelge 4.5)

Çizelge 4.5. Üretilen NBÇ çubukların 1×10^6 çevrim yorulma sonrası çekme testi sonuçları

Çubuk No	Birim Ağırlık (g/mm)	Akma Dayanımı (Re-MPa)	Çekme Dayanımı (Rm-MPa)	Rm/Re Oranı	%Uzama Miktarı	%Agt Miktarı
1	1526	336,4	519,2	1,51	27,8	19,1
2	1588	569,3	740,1	1,29	20,3	11,6
3	1582	539,8	689,4	1,28	16,9	10,4
4	1578	447,9	707,8	1,58	13,5	11,7
5	1569	460,7	747,1	1,62	12,6	10,8

4.4 Yorulma Testi

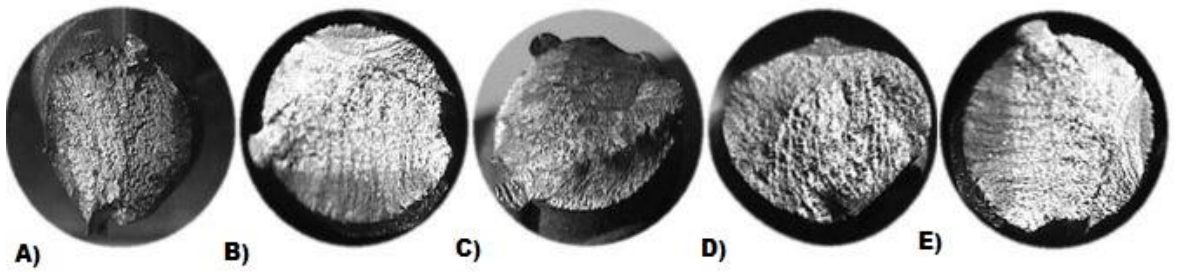
NBÇ çubuklar üzerinde EN ISO 15630-1 metoduna göre gerçekleştirilen eksenel yorulma mukavemeti testi, yorulma çevrim sayısı sonucunu içermektedir. Bu sonuçlar 3 kez tekrarlanmış ve ortalama değerleri Çizelge 4.6'da özetlemiştir. Bu çizelgede üretilen ilk 3 NBÇ çubuk aynı kimyasal analiz değerlerine sahip kütüklerden farklı tekniklerle üretilmiştir. Malzemelerdeki kimyasal yapı ve üretim yöntemlerindeki farklılıkların yorulma mukavemetine doğrudan etki ettiği görülmektedir (Çizelge 4.6). Eksenel yorulma mukavemeti testi sonuçlarına göre sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen çubuk (Çubuk No: 1) 4 400 086 çevrim sayısı ile en yüksek yorulma dayanım mukavemetine sahip olmuştur. Sıcak hadde yöntemine üretilen çubuk (Çubuk No: 1), Thermex prosesi ile üretilen çubuktan (Çubuk No: 2) %52, Vanadyum alaşımlandırma yöntemi ile üretilen çubuktan %58 daha yüksek eksenel yorulma mukavemetine sahiptir (Çizelge 4.6). Sıcak haddeleme

tekniki ile üretilen NBÇ çubukların eksenel yorulma dayanımları karşılaştırıldığı zaman, % C oranı 0,18 olan çubuk (Çubuk No: 1) 4 400 086 çevrim sayısı ile en yüksek eksenel yorulma dayanıma sahip NBÇ çubuğu olarak bulunmuştur. Sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen çubuklarda %C miktarı 0,18 olan çubuk (Çubuk No: 1) %C içeriği 0,44 olan çubuktan (Çubuk No: 5) %56, %C içeriği 0,28 olan çubuktan (Çubuk No: 4) % 51 daha büyük bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Üretilen nervürlü beton çelik çubuklarının yorulma testi sonuçları

Çubuk No	Max Yük(KN)	Min Yük(KN)	Standandat Çevrim Sayısı	Kopma Çevrim Sayısı	Frekans (sn/çevrim)
1	60,30	23,13	2×10^6	4 400 086	54,2
2	60,30	23,13	2×10^6	2 120 436	52,8
3	60,30	23,13	2×10^6	2 009 073	53,2
4	60,30	23,13	2×10^6	2 150 905	52,9
5	60,30	23,13	2×10^6	2 084 753	53,0

NBÇ çubuklarının yorulma dayanımı deneyi sonrası kopan yüzeylerinin resmi Şekil.4.3'te gösterilmiştir. Bütün numunelerde yorulma çatlağının malzemenin orta bölgesin başladığı tespit edilmiştir. Buna göre çekme ve basma gerilmelerinin numune üzerinde eğme etkisinde bulundukları ve bu eğme etkisinin numunede gerilme konsantrasyonlarının yoğunlaştığı ısı tesiri altındaki bölgede yorulma makro çatlağının başlamasına sebep olduğu düşünülmektedir.



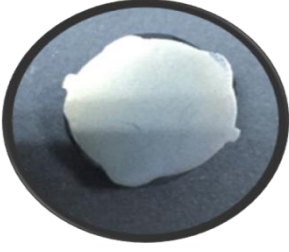
Şekil 4.3. Üretilen NBÇ yorulma testi sonrası kopan bölgelerinin makro görüntüsü. A) Çubuk no 5 B)Çubuk no 4 C)Çubuk no 3 D)Çubuk no 2 E) Çubuk no 1

4.5 Metalografik İnceleme

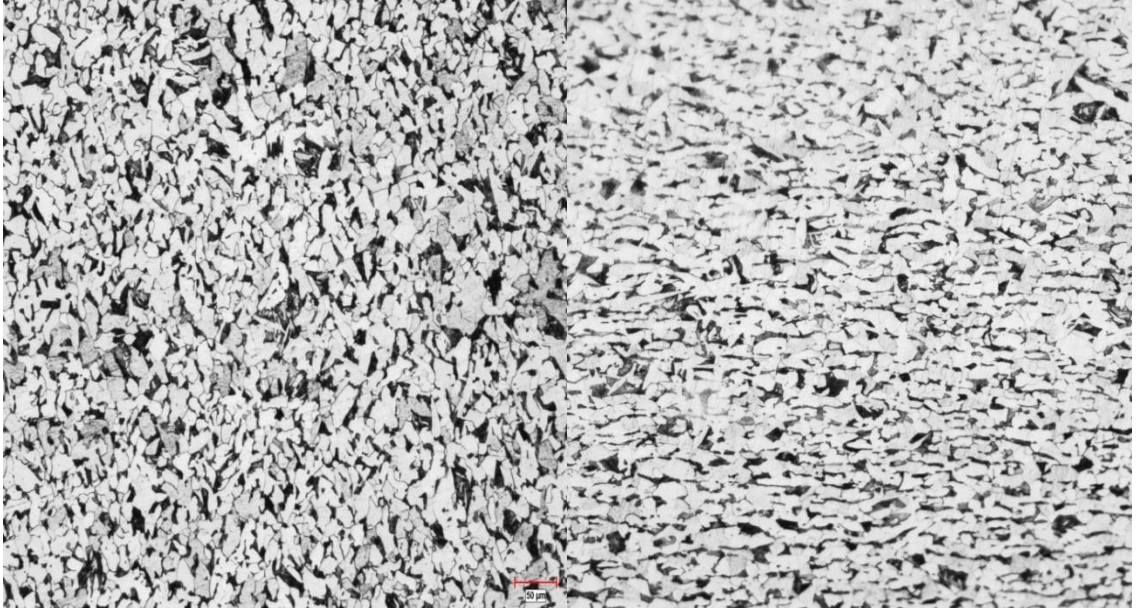
NBÇ çubuklar üzerinde ASTM-E45 metoduna göre gerçekleştirilen metalografik inceleme ile yorulma öncesi ve sonrası tane boyutları, içyapıları tespit edilmiştir. Yorulma

öncesi ve sonrası tane boyutu analizi Çizelge 4.7’de, metalografik dağlama sonrası makro görüntüleri Şekil 4.4-6-8-10-12 de, mikro yapı görüntüleri Şekil 4.5-7-9-11-13’te gösterilmiştir. Tane boyutu analiz sonuçlarına göre NBÇ çubuklarda yorulma sonrasında tane boyutlarının büyüdüğü ve bazı tane sınırların yok olduğu gözlenememiştir. Yorulma sonrası tane boyutu büyümesi; yorulma çevrim sayısı en yüksek olan sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen çubuk (Çubuk No 1) 3,14 μm olarak vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi ile üretilen çubuğun (Çubuk No3) %5, Thermex prosesi ile üretilen çubuktan (Çubuk No :2) %24 daha az tane boyutunda büyüme görülmektedir. Sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen çubuklarda %C miktarı 0,18 olan çubuk (Çubuk No1) 3,14 μm tane boyutu farkı %0,44 C içeren çubuktan (Çubuk No5) %0,1, % 0,28 C içeren çubuktan (Çubuk No :4) % 0,2 daha az tane boyutunda büyüme görülmektedir.

Yapılan mikro yapı analizinde; sıcak haddelenmiş NBÇ çubuk no 1’e ait makro görüntü Şekil 4.4’te, mikro yapı fotoğrafı Şekil 4.5’te verilmekte olup mikro yapının homojen perlit ve ferritten oluştuğu görülmektedir. Sıcak haddelenmiş nervürlü çelik çubuğun yüzeyi ve merkezi arasında mikro yapı açısından önemli bir farklılık bulunmamaktadır. Şekil 4.6’de Thermex prosesine göre üretilen NBÇ çubuk no 2 nin makro görüntüsü mevcuttur ve dış yüzeyinde thermex halkası adı verilen temperlenmiş martensit yapısının makro görüntüsü mevcuttur. Şekil 4.7-C’de thermex halkası mikro yapı görüntüsünde temperlenmiş martensit yapısı homojen ve ince taneli bir yapı olup, malzemenin yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olmasını sağlayan en sert bölgesi olduğu izlenmektedir. Şekil 4.7-A’da numunenin merkez bölgesinde tamamen ferrit - perlitten oluşan yapıya genelde ferrit mikro yapısının hakim olduğu görülmektedir. Termomekanik işlem sırasında tüm ısını dış yüzeye vererek yapıda bulunan östenitin tamamen ferrit ve perlit yapısına dönüştüğü, tane sınırlarının çok açık ve homojen bir tane oluşumu gözlenmiştir. Şekil 4.8’te vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi ile üretilen NBÇ çubuk no 3 ün makro görüntüsünde çubuğun yüzeyi ve merkezi arasında önemli bir fark mevcut değildir. Şekil 4.9-A’da mikro yapı ferrit ve perlitten oluşmakta ancak tane sınırlarında mikro vanadyum taneciklerinin yoğunluğu nedeniyle yapıda ferrit daha baskın görülmektedir. Şekil 4.10’da yöntemi ile sıcak haddeleme üretilen NBÇ çubuk no 4’ün makro görüntüsü mevcuttur. Şekil 4.11-A’da mikro yapı ferrit ve perlitten oluşmakta ancak %C miktarının artışı nedeniyle yapıda ferritik yapı daha baskın görülmektedir. Şekil 4.12’de sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuk no 4’ün makro görüntüsü mevcuttur. Şekil 4.13-A’da mikro yapı ferrit ve perlitten oluşmakta ancak %C miktarının artışı nedeniyle yapıda ferritik yapı daha baskın görülmektedir.



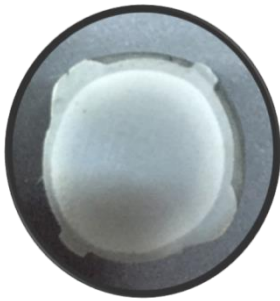
Şekil 4.4. Çubuk no 1'in dağlama sonrası makro görüntüsü



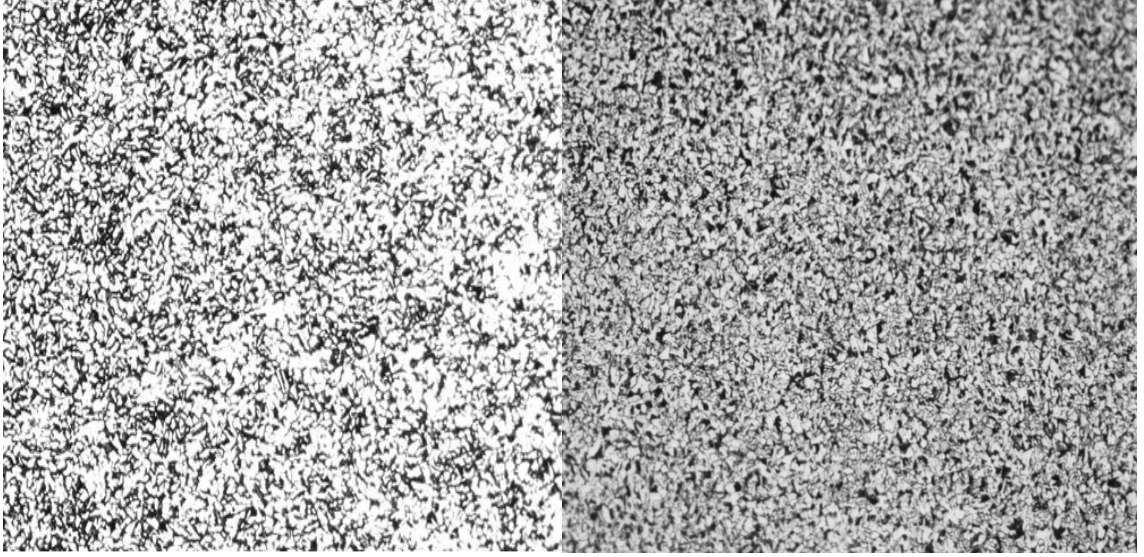
A: Yorulma öncesi

B: Yorulma sonrası

Şekil 4.5 Çubuk no 1'in yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu

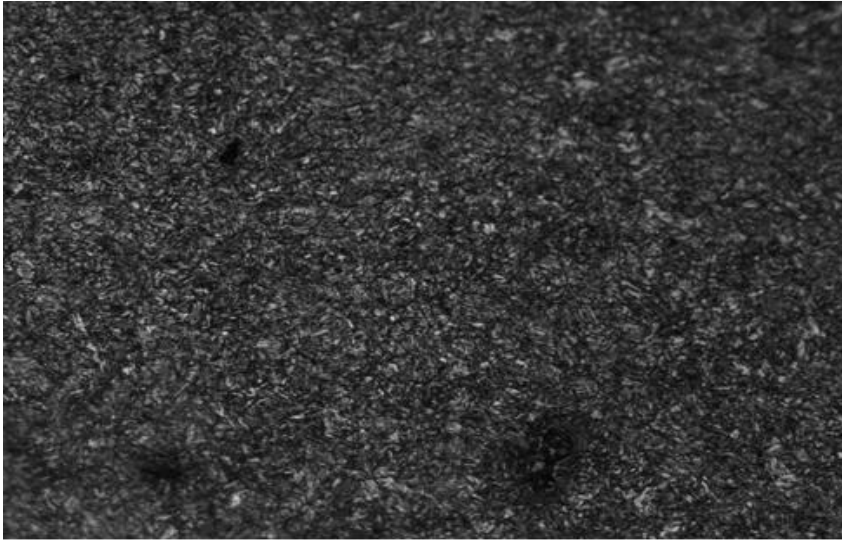


Şekil 4.6 Çubuk no 2'nin dağlama sonrası makro görüntüsü



A: Yorulma öncesi

B: Yorulma sonrası

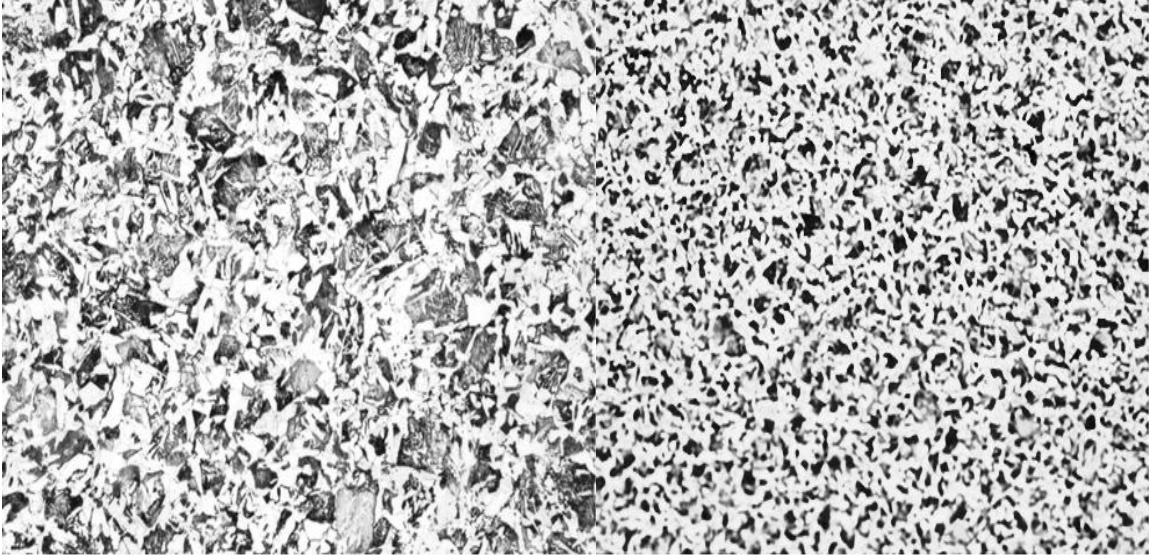


C: Thermax bölgesi

Şekil 4.7 Çubuk no 2'nin yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu



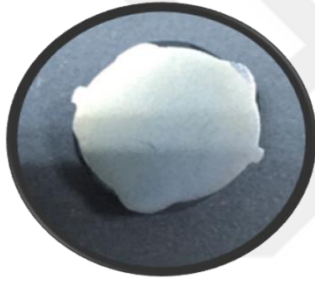
Şekil 4.8 Çubuk no3'ün dağlama sonrası makro görüntüsü



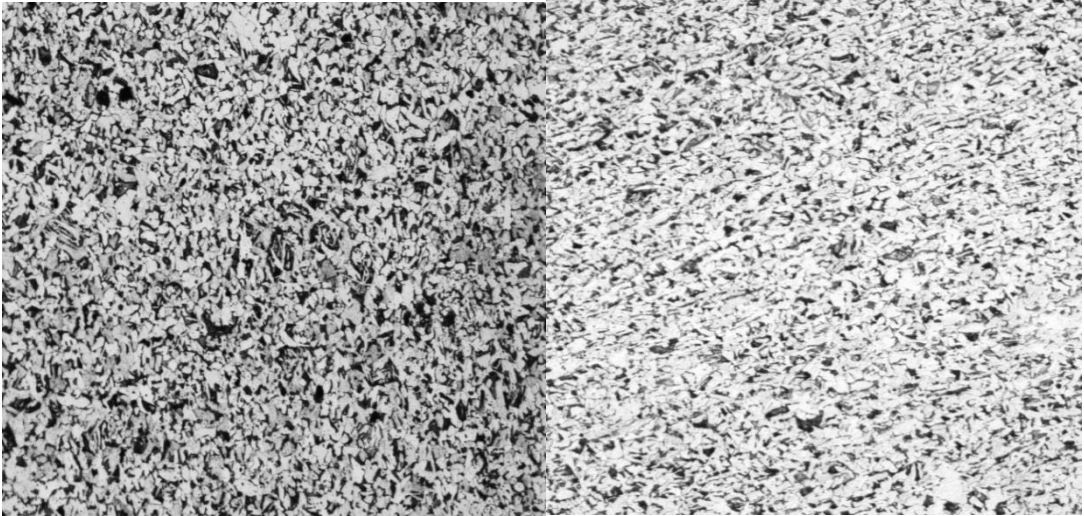
A: Yorulma öncesi

B: Yorulma sonrası

Şekil 4.9 Çubuk no 3'ün yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu



Şekil 4.10 Çubuk no 4'ün dağlama sonrası makro görüntüsü



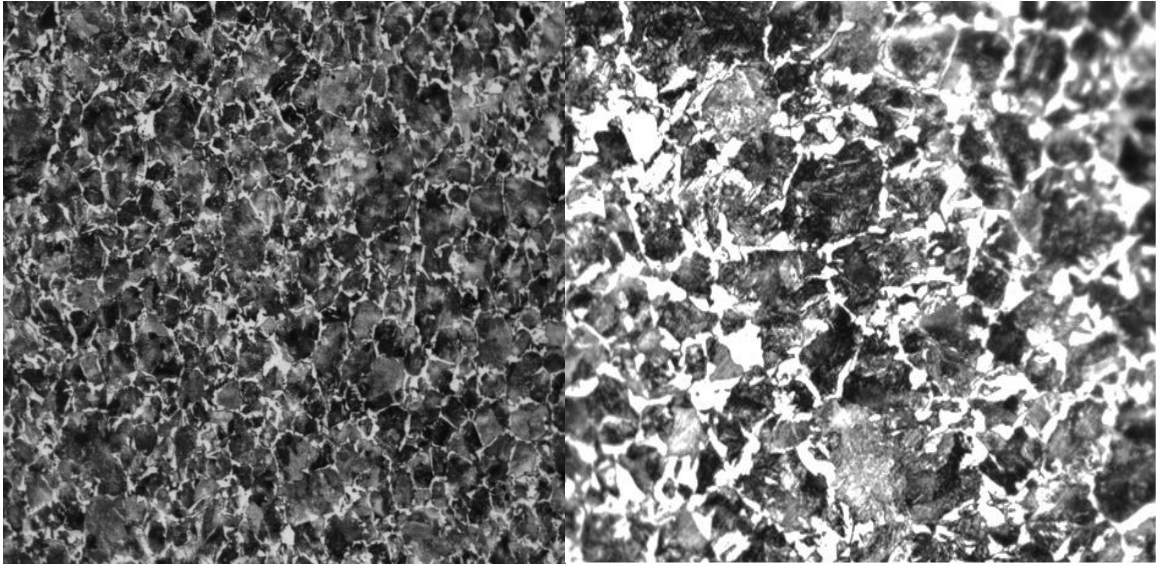
A: Yorulma öncesi

B: Yorulma sonrası

Şekil 4.11 Çubuk no 4'ün yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu



Şekil 4.12 Çubuk no5'in dağlama sonrası makro görüntüsü



A: Yorulma öncesi

B: Yorulma sonrası

Şekil 4.13 Çubuk no 5'in yorulma öncesi ve sonrası mikro karakterizasyonu

Çizelge 4.7. Üretilen NBC çubukların tane boyut analiz sonuçları

Çubuk No	Yorulma öncesi Tane Boyutu (μm)	Yorulma sonrası Tane Boyutu (μm)
1	24,06	28,2
2	Çekirdek 7,06 Thermex Halka Kalınlığı:	11,24 1268
3	26,36	29,58
4	29,41	32,16
5	49,14	52,3

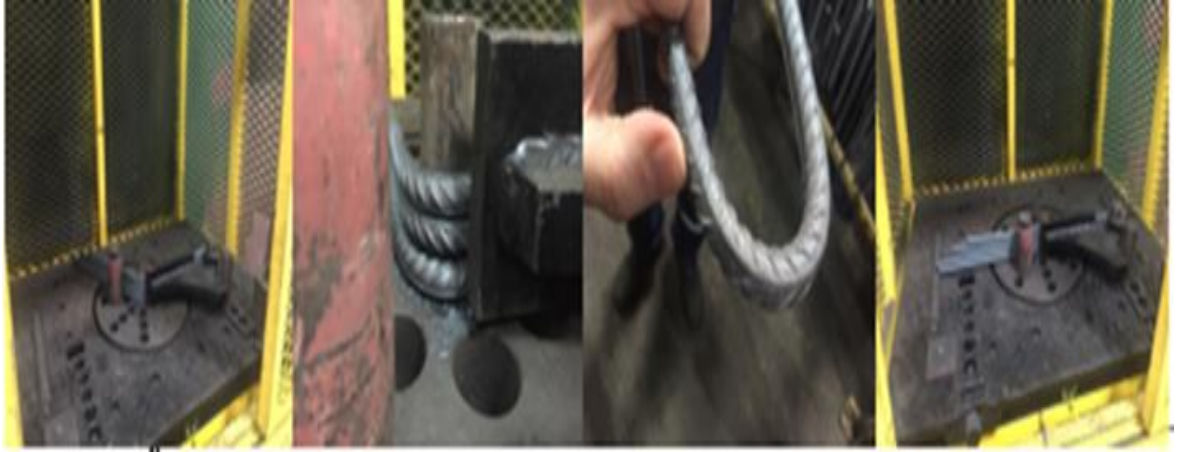
Metalografik inceleme sonuçlarına göre yorulma sonrası tane sınırlarında kopmalar ve uzamalar meydana gelmektedir. Aynı zamanda malzeme içerisine katılan mikro alaşımlar tane boyutlarına ve malzeme içerisinde ki ferrit perlit yapıya doğrudan etkisi olduğu gözlenmektedir. Isıl işlem sonucunda da tane sınırlarının küçüldüğü tespit edilmiştir.

4.5. Bükme Deneyi Sonuçları

Üretilen NBC çubuklarının bükme deneyi sonucunda 90°, 180° bükme 90° bükme - 20° geri bükme sonrası deformasyonları incelenmiştir. Çizelge 4.8 ve Şekil 4.14’de görüldüğü üretilen NBC çubukları testten başarılı bir şekilde geçmişler bükme bölgelerinde deformasyonlara rastlanılmamıştır.

Çizelge 4.8. Üretilen NBC çubuklarının bükme testi sonuçları

Çubuk No	90° Bükme	180° Bükme	90° Bükme - 20° Geri Bükme
1	Geçti	Geçti	Geçti
2	Geçti	Geçti	Geçti
3	Geçti	Geçti	Geçti
5	Geçti	Geçti	Geçti
5	Geçti	Geçti	Geçti



Şekil 4.14. Üretilen NBC çubukların bükme testi göreseli

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 3 farklı nervürlü beton çelik çubuğu üretim yöntemi kullanılan uluslararası farklı standartları aynı kimyasal analize sahip kütükler ile ve farklı kimyasala sahip kütükler ile üreterek depreme dayanıklılıkları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda.

1) Kimyasal analiz sonuçlarına göre, sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen NBÇ çubuklarda % C oranı 0,01 miktarında azalır iken thermex prosesi yöntemi ile üretilen çelik çubuklarda % C oranı 0,01 miktarında arttığı bulunmuştur. Kaynakla bilirlik NBÇ çubuklarda önemli bir kriter olduğundan dolayı (TS 2162 standardına göre) Çubuk no 1-2-3 kaynaklanabilir çubuklar iken Çubuk no 4-5 kaynaklanamaz statüsüne girmektedir.

2) Çekme testi sonuçları themerx prosesi ile üretilen NBÇ çubukların, sıcak haddeleme ve vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi ile üretilen NBÇ çubuklara göre akma ve çekme dayanımlarının arttığını göstermiştir. Kimyasal analizleri farklı kütükler ile üretilen NBÇ çubuklarda ise ağırlıkça %C miktarının artması çubuklarda akma ve çekme mukavemetini yükseltirken % uzama ve %Agt'yi düşürmektedir. Ağırlıkça %Mn miktarının artması çubuklarda çekme dayanımını yükselttiği tespit edilmiştir. Ağırlıkça %V miktarının artması çubuklarda akma dayanımını arttırdığı ve yüzde uzamada pozitif etki ettiği bulunmuştur. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında hazırlanan deprem yönetmeliğine göre NBÇ çubuklarının sünekliğinin önemli vurgulanmaktadır. Buna dayanarak yapılan çekme mukavemetinin akma mukavemetine oranı ve yüzde gerçek uzama değerleri hesaba katıldığında, sıcak haddeleme ürünü NBÇ çubuğun (Çubuk No: 1) thermex prosesi ile üretilen NBÇ çubuğa (Çubuk No:2) göre % 37, Vanadyum ile alaşımlandırma yöntemi üretilen NBÇ çubuğa (ÇubukNo 3) göre % 52 oranında depreme daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Kimyasal yapıları farklı kütükler ile sıcak haddeleme yöntemi ile üretilen NBÇ çubukların süneklik özellikleri karşılaştırıldığında; C - Mn oranları ağırlıkça yüzde 0,19-0,57 olan NBÇ (Çubuk No 1), 0,44-0,96 olan NBÇ (Çubuk No 5) göre % 36 ve 0,28-1,26 olan NBÇ (Çubuk No 4) göre %43 depreme daha dayanıklı olduğu bulunmuştur.

3) Yorulma testi sonuçlarına bize NBÇ çubukların, yıllar sonra aşınma ile ve deprem esnasında ki titreşimlerin sırasında veya günlük titreşimler (büyük köprülerde olduğu gibi) sonrasındaki dayanımları hakkında bilgi edinmemizi sağlar. Buna göre sıcak haddeleme ürünü NBÇ çubuğu (Çubuk No 1) thermex prosesi ile üretilen NBÇ çubuğundan (Çubuk

No: 2) %52, Vanadyum alaşımlandırma yöntemi ile üretilen NBÇ çubuğundan ise %58 daha yüksek eksenel yorulma mukavemetine sahip olduğu bulunmuştur. Yorulma dayanım testlerinde genellikle akma dayanımı yüksek malzemelerin daha iyi sonuç verdiği izlenmiştir ancak nervürlü beton çelik çubuklarda tam tersi bir durum meydana gelmiştir. Bunun da sebebi üretim yöntemlerine bağlı olarak değişen NBÇ çubuklarının sertliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4) Bükme deneyinde üretilen NBÇ çubukları başarılı bir şekilde geçmiştir. Buda endüstriyel inşaat sanayide kullanımda rahatlıkla şekil verilebilirlikleri oldukları bulunmuştur.

5) Metalografik incelemeler sonucuna göre yorulma sonrası NBÇ çubuklarında tane sınır boyutlarının büyüdüğü ve koptuğu tespit edilmiştir. Tane boyutlarında ise üretim yöntemleri ve kimyasal kompozisyonun önemli etkilere neden olduğu gözlenmiştir. % C miktarı arttıkça ferritik yapının arttığı buna bağlı olarak tane boyutlarının büyüdüğü, mikro alaşımlamada ise tane boyutunda önemli bir fark olmamasına rağmen sıcak haddelemeye göre daha ferritik olduğu, thermex prosesinde ise gerçekleştirilen kontrollü soğuma ile ince taneli temperlenmiş martenzit yapısı oluşumu ile çubuk merkezinde ki ferrit-perlik yapının tane boyutunda küçülmeye sebep vermiş olduğu tespit edilmiştir.

6) Yapılan geometrik incelemelerde nervür dizaynının yapı içinde dayanımla ilgili katkısı olduğu tespit edilmiştir. Çift açılı nervür dizaynında (Şekil 4.1) yorulma deneyi sırasında mikro çatlakların ilerlemesini etkilediği düşünülmekte. Hem nervür alanın yüksek olması ile tutunabilmede yüksek verimlilik gösteren hem de yorulma esnasında mikro çatlama ilerlemesinde etkisinin az olduğu düşünülen tek açılı nervür dizaynı NBÇ çubuklarında daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

7) Tüm yapılan testler sonucunda depreme dayanıklı bir NBÇ çubuğu için yeni bir standart oluşturulmuştur. Standart değerleri aşağıda tabloda özetlenmiştir

Çizelge 5.1. İdeal depreme dayanıklı NBÇ çubuk için kimyasal analiz ve mekanik dayanım değerleri

% C	% Mn	% S-P (max)	% Cu (max)	% N (max)	%CEQ (max)	Min.Akma Mukavemeti (MPa)	Min. Çekme Mukavemeti (MPa)	% AGT (min)
0.18- 0.22	0.5-0.8	0.05	0.5	0.5	45	320	500	15

Çizelge 5.2. İdeal depreme dayanıklı NBÇ çubuk için nervür dizaynı

Nervür Yüksekliği	Nervür Adımı	Nervür Açısı	Nervür Uçları M.	Fitul Yüksekliği	Nervür Alanı
Dx0,03 (min)	Dx0,4 (min)	α : 52 β : 56	Dx0,20(max)	Dx0,10 (max)	Dx0,15 (min)

Yukarıda belirtilen çizelgelere uygun bir NBÇ çubuğun özellikle deprem bölgelerinde ve yüksek salınımların olduğu köprü gibi yerlerde daha dayanıklı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alberto A., 17 Aralık 1993 In-Line Thermal Treatment of Straight and Coiled Products1 , Orta Doğu Demir ve Çelik Konferansı , Bahreyn
- Ammerling, W.J., 1984, Bar and rod mills influence of design parameters on economics and properties of rolled products, Metallurgical Plant and Technology, 7,1, 46-57.
- ASTM-E45 American Standart for Use with Plain Carbon Steel Bars for Concrete Reinforcement USA
- Badem M.T. 2001, Beton Çeliklerin Mekanik Özellikleri ve Denizli’de Kullanılan Beton Çelikleri, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye.
- Bakkaloğlu A., 2001, Tempcore Prosesinin Nervürlü Beton Çeliğinin Mikroyapısı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Isıl İşem Sempozyumu, İstanbul
- Bernstein M.L., Zaimovsky, V.A., 1983, Mechanical Properties of Metals, MIR Publishers, Moskova
- Blengini, G.A.; Di Carlo, T. 2018 Cares rebar and coil proses role of life cycle materials in the LCA of low energy buildings. Energy Build. 2010, 42, 869–880
- Boardman, B, ASM International, 1990, Fatigue Resistance of Steels, in Metals Handbook pp 673 – 688
- Celep Z., 2015. Betonarme Yapılar Kitabı (3.bs.) 44-58
- Davies D. Climate-conscious building design: New approaches to embodied-carbon optimization. In Trim Tab 2010; Cascadia Green Building Council: Portland, OR, USA, 2010; pp. 46–51.
- Emir N., Korkmaz S., 1988, Yüksek Mukavemetli Çelik Çubukların Üretiminde Tempcore Prosesi, T.D.Ç.İ. İsdemir Eğitim Yayınları, İskenderun 147-161
- EN 10080-24 2008 Yapı Çeliklerinden İmal Edilen Hadde Mamülleri-Teknik Teslim Şartları”, ISO 9001 2008
- EN ISO 6892-1 2014 Metalik Malzemeler–Çekme Deneyi–Ortam Sıcaklığında Deney Metodu” ISO 9001 2014.

EN ISO 15630-1 2011 Metalik Malzemeler–Yorulma Deneyi–Ortam Metodu” ISO 9001 2011.

EN ISO 10002-1 2010 Yapı Çeliklerin Nervür Dizaynı ve Tasarımı Şartnamesi ISO 9001 2010

Ersoy K., 2000 Çeliklerinin Karakteristiği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi., Türkiye

Kayalı S. 2017 Malzemelerin Mekanik Yorulma Dayanımı, Matil Malzeme İnivasyon Konferansı, Türkiye

Krzysztof K. 2015 ‘ Beton Çelik Çubukların Kullanımı ve Yorulma Testi’ AIP Conference Proceedings, Lublin

Özsoy D., 2012. ‘İnşaat Çeliği ve Kontrollü Soğutma Yöntemi’ Mühendis ve Makine Derg. (610.sy) 18-22

Uysal A., 2015. Beton çelik çubuklarının çevrimsel deformasyon davranışlarının incelenmesi Yüksek Lisans Tezi İstanbul Üniversitesi, Türkiye

Paul N. Tempcore, an Economical Process For The Production of High Quality Rebars1, PierreSIMON, Mario ECONOMOPOULOS, MPT 1 Metallurgical Plant and Technology, No : 3/84, 80-93

Respen E, Lessel G., Steffes, G., 1975, Application of the Tempcore Process to the Fabrication of High Yield Strength Concrete Reinforcing Bars, C.R.M, Belçika

Surajit P., Kumar P., Kumar R, Debdulal D., Sanjay C. ve Saurabh K. 2014, ‘ Mikro-Alaşımlandırılmış ve Thermexli Beton Çelik Çubukların Yüksek ve Düşük Devirli Yorumla Performansının Karşılaştırılması Suit Filed Accounts Rs.25

Simon P., Economopoulos, M., Nilles, P., 1984, Tempcore, an Economical Process for the Production, Metallurgical Plant and Technology, 3/84, 80 –93

Tankut K., 1995, Tempcore Prosesi ile Üretilen Düşük Alaşımlı Nervürlü Beton Malzeme Bilimi Forum Derg.,Türkiye 18 (2): 24-26

Şen U 2009, Demir Çelik Üretimi Dersi ders notları Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Şeşen K., 1999, Özel Çelikler Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul

TS 2162 EN 10025, “Alaşımsız Yapı Çeliklerinden İmal Edilen Sıcak Hadde Mamülleri-Teknik Teslim Şartları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1996

TS 282- EN 910 Alaşımsız Yapı Çeliklerinden İmal Edilen Hadde Mamülleri-Bükme Deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2014.

Vural M, Pirioglu F, Özden 2003, Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği Türkiye Mühendislik Haberleri Derg. 21 (3): 54-58

Weiping Zhanga, Xiaobin Songa, Xianglin Gua ve Shibin Li yaptıkları 2016‘ Korozyona Uğrayan Beton Çeliklerinin Çekme Dayanımı ve Yorulma Davranışları Universty of Science and Technology Conference, China



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Ceyhun KARPUZOĞLU

Doğum Yeri: Çanakkale

Doğum Tarihi: 27.08.1991

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü (2009-2013)

Yüksek Lisans Öğrenimi: Öğrenimi Çanakkale Onsekiz Mart

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomühendislik ve Malzeme Mühendisliği (2014-2019)

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar -SCI -Diğer

Mehmet Ş., Hanlar B. K. Emre Ö., Ceyhun K., “AA2024 ve AA7075'in Mekanik Özelliklerinin ve Mikroyapısının İncelenmesi” Applied Mechanics and Materials (2013) pp 547-551 Trans Tech Publications, Switzerland

b) Bildiriler -Uluslararası -Ulusal

Uğur C., Ceyhun K., “Beton Çelik Çubukların Mekanik Deformasyon Davranışlarının İncelenmesi” 3.OEMT(Internation Organic Electronic Material Technologies) 2018 İğneada Kırklareli

c) Katıldığı Projeler

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl :

Aydemirler Makina A.Ş (2014-2016), İÇDAŞ A.Ş. (2017- Halen)

İLETİŞİM

E-posta Adresi :ceyhunkarpuzoglu@hotmail.com