



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Temperleme Isıl İşlem Sıcaklıklarının AISI 4140 Çeliğinin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması

 Erdem Saraç^{a,*},  Nursel Altan Özbek^b

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Dr. Engin PAK Cumayeri MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: erdemsarac@gmail.com

DOI : 10.29130/dubited.538237

ÖZET

Islah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımlı ve alaşımız makine imalat çelikleridir. Sunulan bu çalışmada, sanayide geniş kullanım alanına sahip olan AISI 4140 ıslah çeliğinin su verme işleminden sonra uygulanan temperleme ısıl işlemi sıcaklığının çeliğin mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Numunelere 850 °C sıcaklıkta su verme işlemi uygulanmış ve ardından numuneler 300, 450, 550 ve 650 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta 1 saat süre ile temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik özelliklerinin belirlenmesi için; numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca numuneler çekme ve darbe deneylerine tabi tutulmuştur. En düşük temperleme sıcaklığı olan 300 °C’de sertlik değeri maksimuma ulaşmıştır. En yüksek çekme ve akma dayanımı değeri de yine bu sıcaklıkta elde edilmiştir. Artan temperleme sıcaklığı ile birlikte numunelerin çekme ve akma dayanımı değerlerinde azalma görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AISI 4140 ıslah çeliği, temperleme sıcaklığı, çekme dayanımı, darbe deneyi

Investigation of the Effects of Tempering Heat Treatment Temperatures on Mechanical Properties of AISI 4140 Steel.

ABSTRACT

Hardenable steels are alloyed and non-alloyed machinery manufacturing steels, whose chemical compositions are particularly suitable for hardening in terms of carbon content and which exhibit high toughness at a certain tensile strength at the end of the treatment process. In this study, The effects of the heat treatment temperature applied after quenching of the AISI 4140 tempered steel which has a wide usage area in the industry on the mechanical properties of steel has been investigated. Samples were quenched at 850 °C. and then samples were tempered at four different temperatures, 300, 450, 550 and 650 °C. for 1 hour. For the determination of mechanical properties; The hardness measurements of the samples were made. Samples were also subjected to tensile and impact tests. The lowest tempering temperature of 300 ° C has reached the maximum hardness value. The highest tensile and yield strength values were also obtained at this temperature. With increasing tempering temperature, the tensile and yield strength values of the samples decreased.

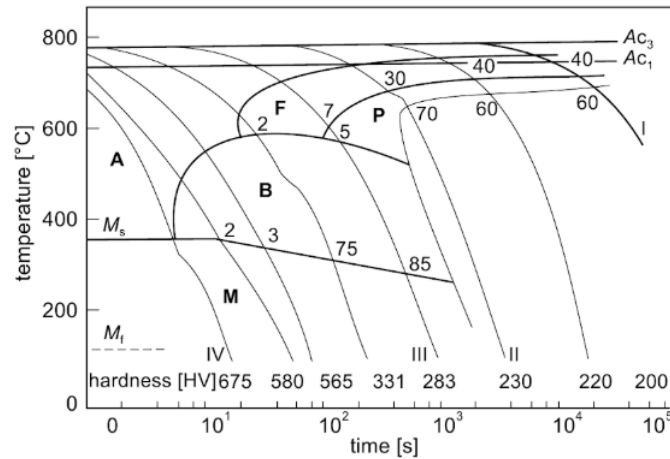
Keywords: AISI 4140 tempered steel, tempering temperature, tensile strength, impact test

I. GİRİŞ

Çelik terimi genellikle yaklaşık % 2'den daha az miktarlarda karbon içeren demir esaslı bir alaşım anlamına gelir. Genellikle ölçülebilir miktarlarda manganez içerir ve kolayca şekillendirilebilir. Karbon çeliği ise kendine has özelliklerini, içerdiği karbonlara borçlu olan çeliktir. Karbon çeliği sektördeki en yaygın kullanılan malzemelerden biridir. Bu malzemeler, örneğin enerji santrallerindeki su ve buhar basıncı içeren sistemlerin çoğunda ve aynı zamanda bu sistemlerin destek parçalarında da kullanılmaktadır. Alaşımli çelikler, ayırt edici özelliklerini özellikle karbon dışındaki bazı elemente veya elementlere borçlu olan çeliklerdir [1]. Makine parçalarının imalatında uygun malzeme seçimi ile birlikte bu malzemelere uygulanan ısıl işlemlerinde büyük önem arz ettiği bilinmektedir. Makine parçalarının imalatında kullanılan ıslah çeliklerinden olan AISI 4140 (42CrMo4) çeliği özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Meysami ve arkadaşları [3] sıcak haddelenmiş AISI 4140 çeliğine direkt su verme-temperleme (DQ-T) ve tekrar ısıtarak su verme-temperleme (RQ-T) işlemlerinin malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla RQ-T işlemi için 450x450 mm² ölçülerindeki külçeleri 1200 °C tavladıktan sonra çubuk şeklinde haddelemişler ardından çubukları 840 °C de 2 saat yeniden östenizasyon işlemine tabi tuttukten sonra 60 °C derecedeki su havuzuna soğumaya bırakmışlardır. Soğuyan malzemeleri 630 °C'de 2 saat temperlemişlerdir. DQ işlemi için çubuk şekline getirilen malzemelerden 20 m uzunluğunda ve farklı çaplarda (75, 80, 85, 100, 105 ve 115 mm) çelik numuneler, 829, 836, 850, 863, 871 °C'de iken 60 °C de su tankına atılarak su verme işleminin ardından 630 °C'de 2 saat süre ile temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin mikro yapı analizleri yapılarak çekme dayanımı, akma dayanımı, setlik ve darbe tokluğu gibi mekanik özellikleri ölçülmüştür. Sonuçlar, DQ işleminin sertliği daha efektif bir şekilde arttırdığını, DQ işleminin RQ işlemine göre gerilme mukavemeti ve akma gerilmesi değerlerinde daha başarılı olduğu, RQ işlemine tabi tutulan çeliklerin daha yüksek darbe direncine sahip olduğu tespit edilmiştir. Zou ve arkadaşları [4] temperleme işleminin 00Cr13Ni4Mo süper martenzitik paslanmaz çeliğin (SMSS) mikro yapısal değişimi ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Numuneler 1150 °C sıcaklıkta sıcak haddelenmiş olarak hazırlanıp daha sonra 1040 °C'de 1 saat çözelti işlemine tabi tutulduktan sonra oda sıcaklığına suda soğutulmuştur. Daha sonra numuneler 520-720 °C sıcaklık aralığında 3 saat süreyle temperlenmiş ve ardından havada soğutulmuştur. Çıkan sonuçlara göre en uygun sıcaklık değerleri alınıp başka numuneler 3-12 saat aralığında sürelerle temperlenip havada soğutularak en uygun temper zamanı belirlenmiştir. Isıl işlemlerden sonra, mikro yapı analizi, XRD analizi, sertlik ölçümleri ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, 1040 °C'de 1 saat + su soğutmada ve 600 °C'de 3 saat + hava soğutmasında temperlenerek üstün mekanik özelliklerin elde edildiği ortaya koyulmuştur. Lee ve arkadaşları [5] çalışmalarında AISI 4340 yüksek mukavemetli alaşımli çeliğinin farklı temperleme koşulları altında mekanik özellikleri ve mikro yapılarını araştırmışlardır. Numuneleri, önce 850 °C'de 30 dakika östenitize (tavlama) etmişler daha sonra yağda soğutmuşlardır. Ardından 100, 200, 250, 300, 400, 500 ve 650 °C'de, sırasıyla 2 ve 48 saat süreyle her biri için 3 numune olacak şekilde ısıtmışlar ve dinamik kırılma testine tabi tutmuşlardır. Çökme ve kırılma mekanizmalarını analiz etmek için örneklerin fraktografisini yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar, mekanik ve mikro yapısal özelliklerin temperleme sıcaklığından ve süresinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Temperleme sıcaklığı ve bekleme süresi arttıkça temperli martensitin sertliği ve dayanımı düşmektedir. Güler ve Özcan [6], yüksek karbonlu çelik malzemeye su verme işleminin mekanik dayanıma olan etkilerini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Bu işlem için % 0,71 değerinde karbon içeren bir malzeme seçmişlerdir. Numuneler fırında 700 ile 900 °C aralığında 30 dk ısıtıldıktan sonra suda soğutulmuşlardır. Uygulanan çekme deneyleri ve sertlik ölçümleri sonucunda, malzemenin su verme işlemiyle gevrekleştiği ve dayanımının düştüğü tespit edilmiştir. Optimum dayanımın 700 °C

de ısıtılan malzemede olduğu gözlenmiştir. Kesti [6], Ç-4140 çeliğinin su verme ortamı ve farklı temperleme sıcaklıkları sonucunda mekanik yapısındaki değişimlerini deneysel olarak incelemiştir. Çeşitli sayıda hazırladığı numunelerin iki âdetine önce 870 °C 'de 25 dk Normalizasyon+hava soğutma işlemine tabi tutmuştur, ardından 20 adet numuneye 840 °C de 25 dk tavlamaıştır. 10 adet yağda,10 adet suda soğutmuştur. İçlerinden bazı numunelere 150°C, 300°C, 450°C ve 600°C de 2 saat temperleme+hava soğutma işlemi uygulamıştır. Yapılan ısıl işlemler sonucunda numuneler çekme, darbe deneyine tabi tutulmuş ve mikro yapıları irdelenmiştir. Bunun sonucunda su verme ortamına göre ve farklı, temperleme sıcaklıklarına göre Ç-4140 çeliğinin mekanik ve mikroyapı özelliklerini tespit etmiştir. Aynı su verme ortamları için farklı temperleme sıcaklıkları sonuçları arasındaki farkları ile farklı su verme ortamlarının aynı temperleme işlemleri sonundaki farkları incelemiştir. Sonuç olarak su ortamında soğutulan numunelerde çatlak oluştuğu, yağda soğutulan malzemelerin temper sıcaklığı arttıkça akma ve çekme dayanımının düşük olduğu, en uygun temper sıcaklığının 150°C olduğunu gibi çeşitli bilgiler sunmuştur. Çalgülü ve arkadaşları [8] temperleme işleminin yağda soğutulan çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. 38MnVS6 mikro alaşımlı çelik ve 41CrMo4 çelik malzemelere 900 °C'de 1 saat tavlama sonrası yağda soğutma işlemi uygulamışlardır. Yağda soğutulan çelik malzemeler 300 °C, 400 °C ve 500 °C sıcaklıklarda 1 saat sürede temperleme işlemine tabi tutulmuş olup, temperleme işleminin mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelemiştir. Numunelerin mikro yapı incelemeleri yapılmış, temperleme öncesi ve sonrası sertlik testi uygulamışlardır. Sonuç olarak, çeliklerde temperleme sıcaklığına bağlı olarak martenzitik yapıdan beynitik yapıya dönüşüm gözlemlenirken, sertlik değerlerinin de temperleme sıcaklığına bağlı olarak düştüğünü göstermişlerdir. Öztürk ve arkadaşları [9] DIN 41cr4 ve DIN 42crmo4 çeliklerde ısıl işlemin mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Numuneleri önce 850 °C'de 40 dk tavlamaışlar daha sonra 90 °C'de yağda soğutmuşlardır. Daha sonra malzemeleri 450, 500, 550, 600 ve 650 °C'de 60 dk temperlemiştir. Temper işleminden sonucunda elde edilen mekanik özellikleri karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak temperleme sıcaklığının değiştirilmesi ile 41Cr4 malzemesinin 42CrMo4 malzemesinin mekanik özelliklerine sahip olabileceğini tespit etmişlerdir. 42CrMo4 malzemesinin yerine 41Cr4 malzemesinin kullanılması halinde maliyet açısından tasarruf sağlanacağı ve malzeme kullanımındaki farklılıkların ortadan kalkacağını tespit etmişlerdir.

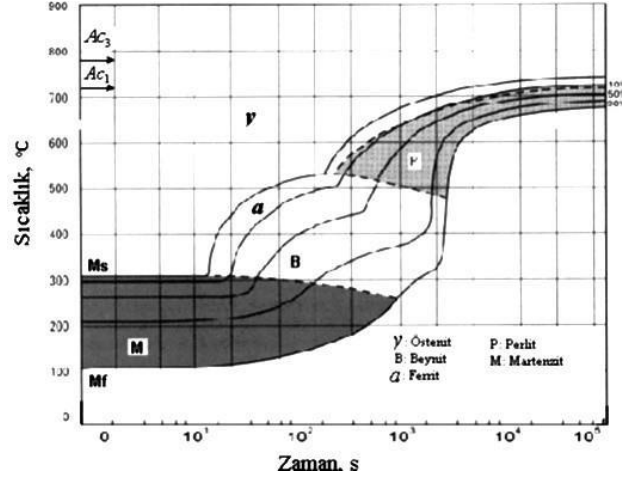
Östenit dönüşümü esnasında görülen ve öncelikle dönüşüm ürününün özelliklerini belirleyen çok yönlü olayların irdelenmesinde zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramlarından faydalanılır. TTT (zaman-sıcaklık-dönüşümü) (Şekil 1) ve CCT (sürekli-soğuma-dönüşümü) (Şekil 2) diyagramları olarak bilinen bu diyagramlarla dönüşüm olayları sıcaklık ve zamana bağlı olarak gösterilir.



Şekil 1. SAE/AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı.[10]

CCT diyagramı yardımı ile tercih edilen soğutma hızları sonunda çelikte oluşacak yapılar görülür. Östenit fazı sıcaklığından çok hızlı soğutma (soğutma ortamı olarak su seçildiğinde) ile yapının tamamen martenzite dönüşeceği çok açık bir şekilde görülmektedir. Çok hızlı olmamak kaydı ile örneğin yağda soğutularak beynitik bir yapı elde edilebilir. Yine

Şekil 2’de görüldüğü gibi malzemede ferrit ve perlit yapısı oluşturmak için yavaş soğuma gerektiği görülmektedir.



Şekil 2. SAE/AISI 4140 çeliğinin sürekli soğuma CTT diyagramı.[10]

Sunulan bu çalışmada AISI 4140 ıslah çeliğinin su verme işleminden sonra uygulanan temperleme ısıl işlem sıcaklığının çeliğin mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, numuneler 850 °C sıcaklıkta su verme işlemine ve ardından 300, 450, 550 ve 650 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta 1 saat süre ile temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik özelliklerinin belirlenmesi için; numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca numuneler çekme ve darbe deneylerine tabi tutulmuştur.

II. MATERYAL VE METOD

A. MATERYAL

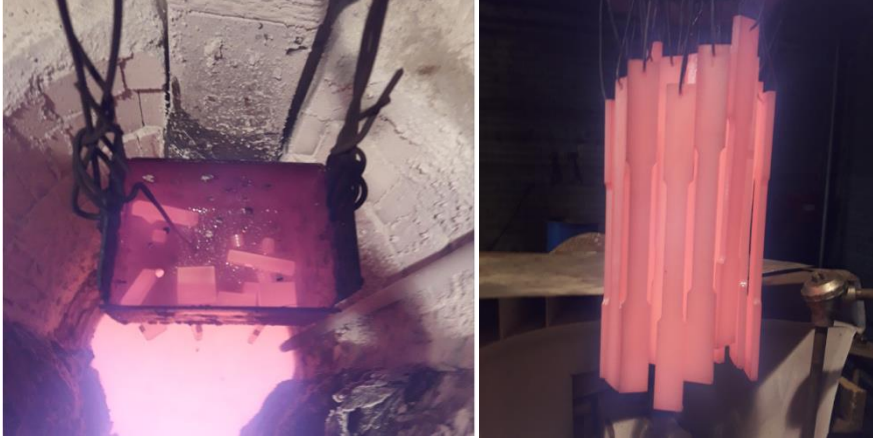
Çalışmada kullanılan AISI 4140 ıslah çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 1’ de verilmiştir. Numunelerin kimyasal analizleri ERDEMİR T.A.Ş. Laboratuvarlar Müdürlüğü bünyesinde LECO marka CS744 model XFR spektrometre cihazında yapılmıştır.

Tablo 1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşenleri

Element	C	Mn	Si	Cr	S	P	Mo
%	0,44	0,65	0,19	1,01	0,02	0,02	0,16

B. ISIL İŞLEMLER

Çelik numuneler üzerine 850 °C’de (Yağda) su verme işleminin ardından 300, 450, 550 ve 650 °C’ de 1 saat süre ile temperleme işlemi uygulanmıştır. Isıl işlem için kuyu tipi ısıl işlem ocağı kullanılmıştır ve özellikleri aşağıdaki gibidir (Şekil 3).



Ocağın Özellikleri:
Maks. Sıcaklık: 1050
°C
Kapasite: 100 ton/ay
Isıtma: Elektrik
Yükleme: Manuel
Isı Kontrol: Oransal
Ortam: Normal

Şekil 3. Tavlama ve Temperleme İşlemleri.

C. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

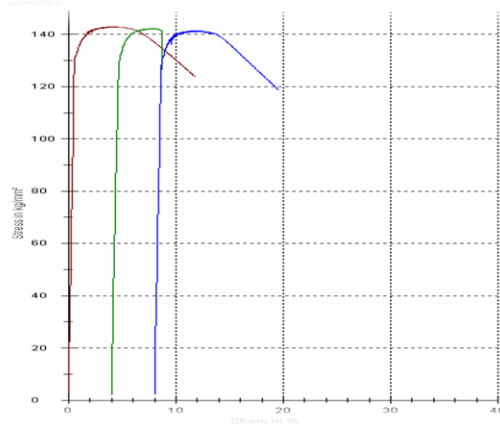
Farklı sıcaklıklarda temperleme işlemine tabi tutulan AISI 4140 çelik numunelerin sertlik ölçümleri Equotip 550 UCI Portable sertlik ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Sertlik ölçümü ASTM A1038 standardına göre ultrasonik ölçüm yapan Equotip UCI Probe ET50-005-0337 uç ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Numunelerin ham sertliği 20 HRC'dir.



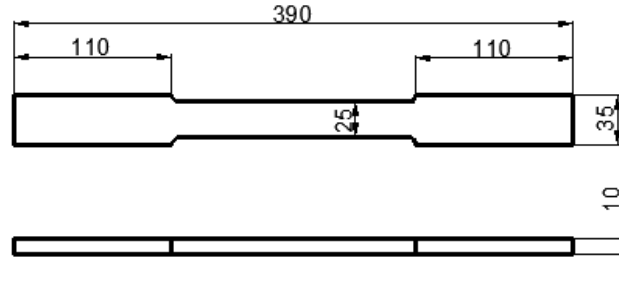
Şekil 4. Sertlik Ölçüm Cihazı

D. ÇEKME DENEYİ

Ayrıca numuneler, 200 ton kapasiteli Zwick Z2000H modeli servohidrolik çekme cihazı çekme deneylerine tabi tutulmuştur (Şekil 5). Çekme deney hızı malzeme akma durumuna gelene kadar 0,00025 mm/sn, akmaya başladıktan sonra 0.0032 mm/sn'dir. Çekme deney numunesinin ölçüleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



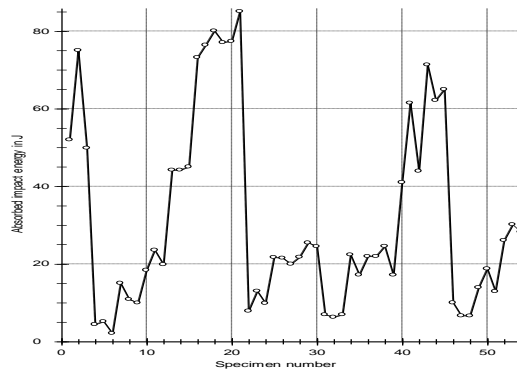
Şekil 5. Çekme Deney Cihazı



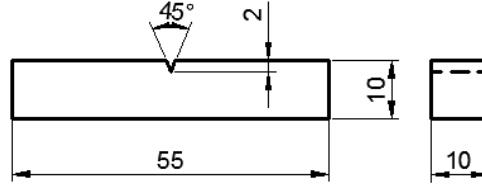
Şekil 6. Çekme Deney Numunesi Boyutları

E. DARBE TESTİ

Darbe testleri ise (Charpy Impact Test) Zwick rkp 450 Modeli cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Her bir test için 300 J değerindeki mekanik çekiç kullanılmıştır. Darbe testi için hazırlanan numunelerin boyutları Şekil 8’de verilmiştir. Her bir çekme, darbe ve sertlik değeri için 3’er numune teste tabi tutulmuş ve ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 7. Darbe Deney Cihazı



Şekil 8. Darbe Deney Numunesi Boyutları

F. MİKROYAPI ANALİZİ

Numunelerin içyapılarının ve farklı sıcaklıktaki temperlemenin oluşturduğu yapısal farklılıkların belirlenmesi için optik mikroskop ile içyapı görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı numuneleri önce torna tezgâhında 28,28 mm çapa düşürüldükten sonra freze tezgâhında nihai ölçülere getirilmiş ve ardından testerede dilimlenmiştir. Optik mikroskopa sığacak şekilde son şekli verilerek bakalite alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bakalite alma işlemi için Struers Citopress-20 model otomatik bakalit alma cihazı (Şekil 9.a) kullanılmıştır. Numunelerin üzerine, karbon dolgulu elektrolitik bakalit tozu dökülmüş ve cihazın test için ayarları yapılarak gerekli kalıplama işlemi tamamlanmıştır. Yüzeyden düzgün görüntü alınması için Struers-Tegra Pol-21 aparatı kullanılarak zımpara işlemi yapılmıştır. Bu işlem için 120, 240, 400, 800, 1200 mesh boyutundaki SiC zımparalar kullanılmış ve numunelerde herhangi bir deformasyon olmaması için su eşliğinde zımpara yapılmıştır. Struers-Tegra Force 5 (Şekil 9.b) cihazında parlatma işlemleri gerçekleştirilmiş ve bu işlem için 1, 3 ve 6 mikron (μm) boyutlu kadife parlatma çuhaları özel elmas süspansiyonlar damlatılarak kullanılmıştır. Numuneler, inceleme için ASTM E3 standartına uygun bir şekilde hazırlanmış ve yine aynı standarta uygun bir şekilde %2 Nital içerikli solüsyon kullanarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. (a) Struers Citopress-20, (b) Struers-Tegra Force 5, (c) Nikon Epiphot 200 optik mikroskop,

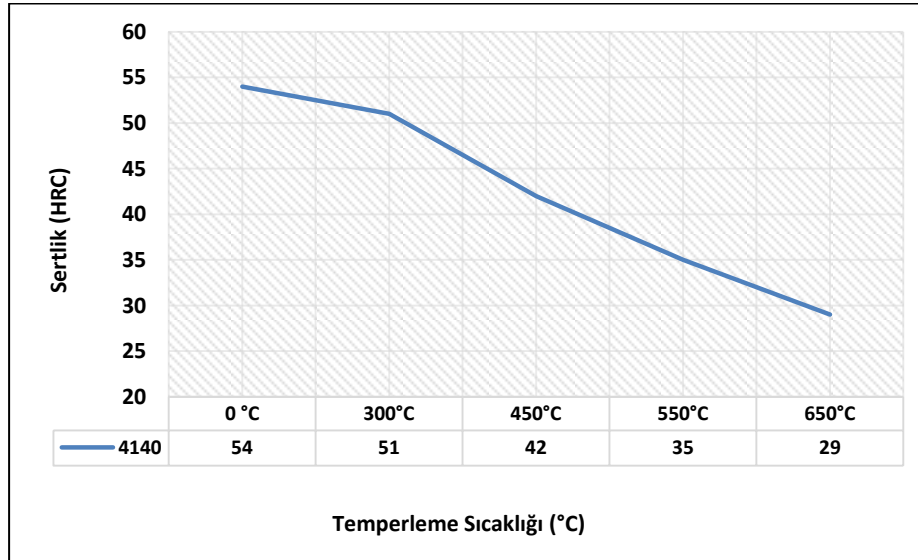
Numunelerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 9.c'deki Nikon marka Epiphot 200 model optik mikroskop kullanılarak çekilmiştir. İnceleme işlemi ASTM E112 ve ASTM E45 standartlarına uygun şekilde gerçekleştirilmiş olup x200 ve x500 büyütme oranlarında içyapı görüntüleri alınmıştır.

III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. SERTLİK

Çeliklerde su verme sonrası oluşan martensit yapısı oldukça sert ve gevrektrir. Dolayısıyla çalışma koşullarında kolayca çatlayabilir ve hasara yol açar. Bu yüzden çeliklere su verme sonrası temperleme adı verilen bir ısıl işlemle çeliğin tokluğu ve sünekliği artırılabilir. Bu sırada sertlikte de bir miktar düşme meydana gelir.

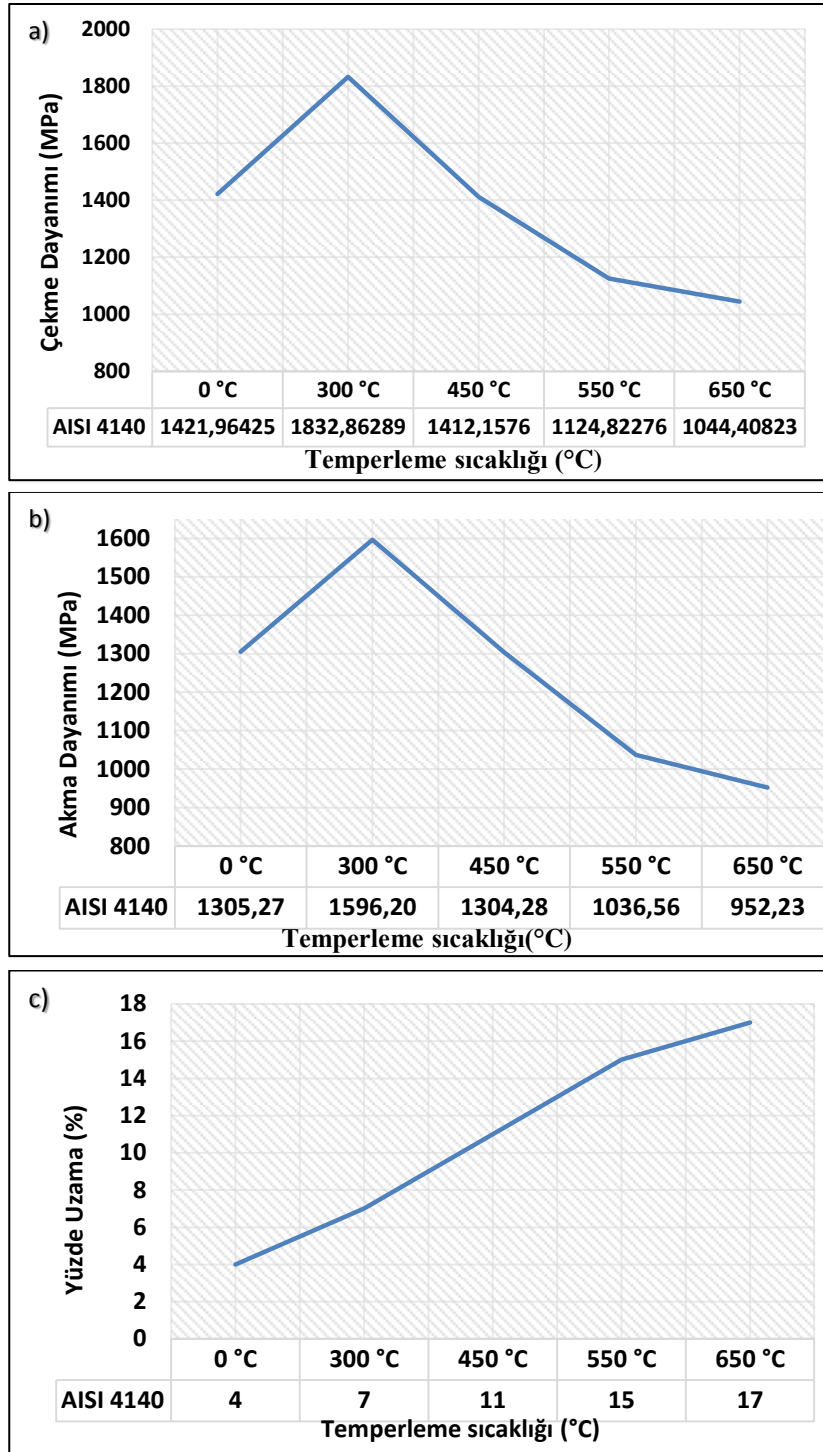
Numunelerin temperleme sıcaklıklarına bağlı sertlik değerlerini gösteren grafik Şekil 10'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, en yüksek sertliğe temperleme uygulanmamış numunelerin sahip olduğu görülmektedir. 300 °C sıcaklıktan 550 °C'ye kadar artan temperleme sıcaklığıyla birlikte sertlik değerleri de büyük oranda düşmüştür. Temperleme uygulanmamış çelik numune 54 HRC sertliğe sahip iken, 300 °C sıcaklıkta temperlendiğinde sertliği %5,5 azalarak 51 HRC'ye düşmüştür. 450 °C'de temperliğinde ise sertlik değeri %17,6 oranda azalarak 42 HRC sertliğe ulaşmıştır. Temperleme sıcaklığı 550 °C'ye çıkarıldığında ise sertlik değeri %16,6 oranda daha düşük olarak 35 HRC değerinde ölçülmüştür. Son olarak 650 °C sıcaklıkta temperlenmiş numunede 29 HRC olarak en düşük sertlik değeri ölçülmüş ve azalma oranı %17,1'dir. Artan temperleme sıcaklığı ile sertlik değerlerindeki bu düşüş; düşük temperleme sıcaklıklarında çelik numunelerin mikroyapısında bulunan martenzit yapının yerini temperleme sıcaklığının artmasıyla beynit ve perlit yapıya dönüşmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çalgülü ve Arkadaşları[8] da 38MnVS6 mikro alaşımlı çelik ve 41CrMo4 çelik malzemeleri üzerine yaptıkları çalışmalar sonucunda, çeliklerde temperleme sıcaklığına bağlı olarak martenzitik yapıdan beynitik yapıya dönüşüm gözlemlenirken, sertlik değerlerinin de temperleme sıcaklığına bağlı olarak düştüğünü göstermişlerdir. Meysami ve arkadaşları [3] (AISI 4140) ve Lee ve arkadaşları [5] (AISI 4340) da benzer sonuçlar elde edildiğini bildirmişlerdir.



Şekil 10. AISI 4140 Çeliğinin Temperleme Sıcaklıklarına Bağlı Sertlik Değişimi

B. ÇEKME DENEYİ

Şekil 11'deki grafiklerde, çekme deneyine tabi tutulan numunelerin farklı temperleme sıcaklığına bağlı çekme dayanımı, akma dayanımı ve yüzde uzaması değişimleri verilmiştir. Şekil 11.a ve Şekil 11.b'deki grafiklerde görülüyor ki, su verme işleminden sonra 300 °C'de temperleme işlemi uygulandığında numunelerin çekme ve akma dayanımı değerlerinde sırasıyla %29 ve % 22 oranda artış meydana gelmiştir. 300 °C'den 650 °C'ye kadar artan temperleme sıcaklığı ile birlikte çekme ve akma dayanımı değerleri de düşmüştür.



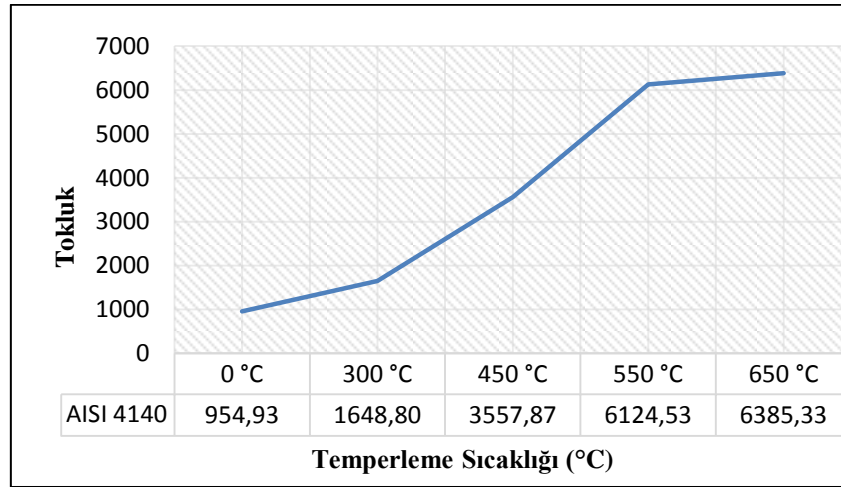
Şekil 11. AISI 4140 Çeliğinin Çekme Deneyi Sonuçları a) Akma Dayanımı, b) Çekme Dayanımı, c) Kopma Uzaması

En yüksek çekme dayanımı değeri 1832,86 MPa olarak en düşük temperleme sıcaklığı olan 300 °C’de elde edilmiştir. Temperleme sıcaklığının 450, 550 ve 650 °C’ye artırılmasıyla çekme dayanımı değerlerinde %23, %38,5 ve %43 oranlarda düşüş gözlenmiştir. Benzer şekilde; 300 °C’de temperleme işleminin sonunda 1596,20 MPa olarak ölçülen akma dayanımı değeri, temperleme sıcaklığının 450, 550 ve 650 °C’ye artırılmasıyla %18, %35 ve %40 oranda düşüş göstermiştir (Şekil 11.b). Çekme ve akma dayanımındaki bu değişim, temperleme sıcaklığının numunelerin

mikroyapısında meydana getirdiği değişimlerle ilişkilidir. Bu sonuçlar Literatürle de paralellik arz etmektedir. Kesti [7] de AISI 4140 çeliği üzerine yaptığı çalışmada yağda soğutulan malzemelerin temperleme sıcaklığı arttıkça akma ve çekme dayanımının düştüğünü tespit etmişlerdir. Şekil 11.c’de ise, çekme ve akma dayanımı grafiklerinin aksine artan temperleme sıcaklığı ile birlikte numunelerin kopma uzaması değerlerinde artış meydana gelmiştir. Şekil 10’da verilen sertlik değerleri ile Şekil 11.c’de verilen yüzde uzama değerleri örtüşmektedir. Çünkü yüzde uzama değerinin tam tersi olarak, sıcaklık arttıkça sertlik değerleri de azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum, sünekliğin arttığını da ifade etmektedir. Temperleme sıcaklığı arttıkça, malzeme daha sünek bir hale gelmiş ve böylece sertlik değeri de azalmıştır.

C. DARBE TESTİ

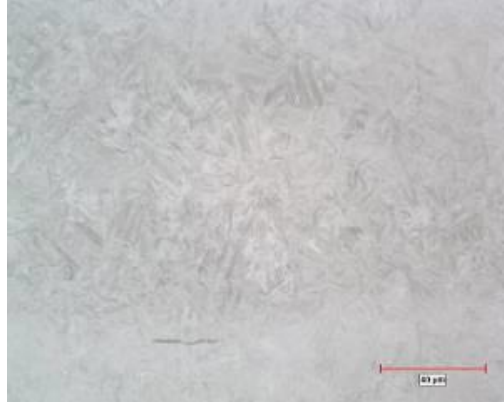
Çelik numunelerin darbe testi sonuçlarını gösteren grafik Şekil 12’de verilmiştir. Şekil 12 incelendiğinde en düşük tokluk değerinin temperleme uygulanmamış numunede elde edildiği görülmektedir. 300 °C temperleme işlemi uygulanması ile birlikte tokluk değerinde artış gözlenmiştir. 550 °C’ye kadar artan temperleme sıcaklığıyla birlikte tokluk değeri de büyük oranda artmıştır. Sertlik, çekme ve akma dayanımı grafiklerinin aksine artan temperleme sıcaklığıyla tokluk değeri de artmıştır. Bilindięi gibi sertlik ile tokluk ters orantılıdır ve sertlik arttıkça tokluk düşer. Numuneler, en düşük tokluğa 300 °C sıcaklıkta uygulanan temperleme işlemi sonucunda sahip iken en yüksek tokluğa 650 °C sıcaklıkta sahiptir.



Şekil 12. AISI 4140 Çeliğinin Darbe Testi Sonuçları

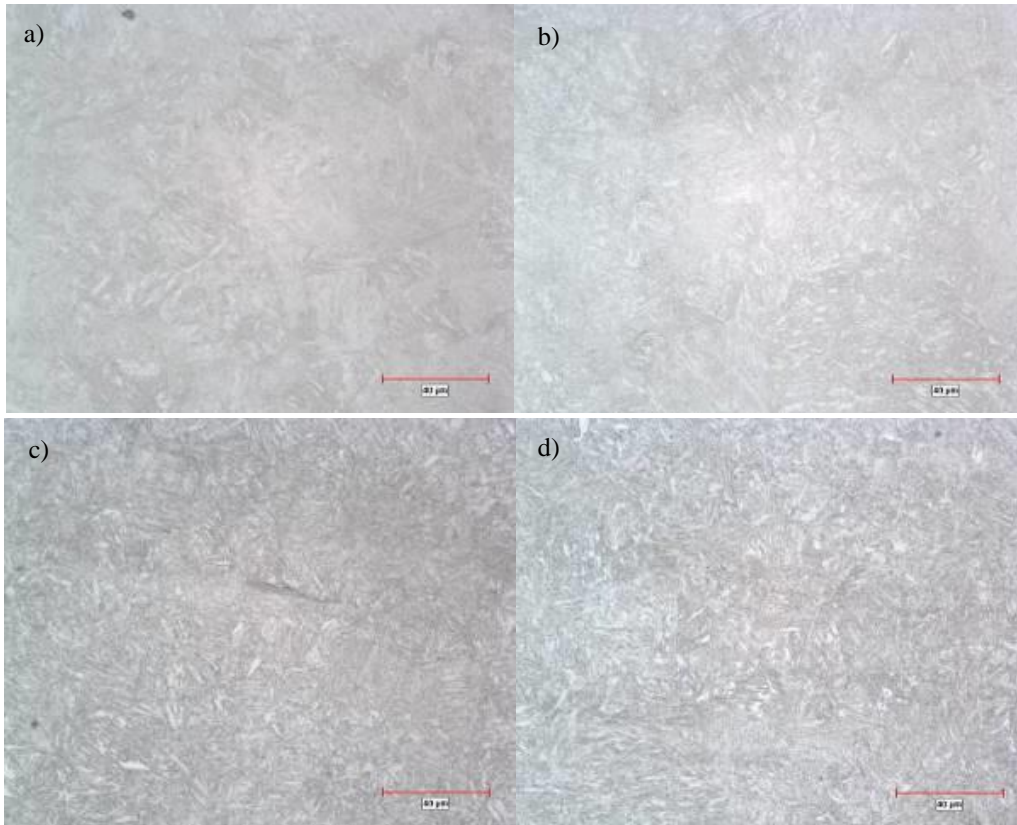
D. MİKROYAPI ANALİZİ

Şekil 13’de görülüyor ki, temperlenmemiş (su verilmiş) numunelerde yağda hızlı soğuma etkisine bağlı olarak martenzitik yapının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 13. *Temperlenmemiş (Su Verilmiş) Numunelerin Mikroyapı Görüntüsü (500X)*

Temperleme işleminin martenzit yapıyı küreselleştirme etkisi, artan temper sıcaklığı ile birlikte artmaktadır. 450, 550 ve 650 C sıcaklıklarda martenzit yapıları tav etkisine bağlı olarak küresel ve homojen ferritik yapıya dönüşmüş ve nihai mikroyapı ferritik-perlitik hale gelmiştir (Şekil 14). Matristeki ferrit arttıkça mukavemet değerlerinde düşüş görülmektedir. 4140 numunelerde daha düşük ferrit ve daha yüksek perlit oranı mukavemet değerlerini artırıcı etki yaratmıştır. Ferrit yapılarının aseküler yapıda olması tane boyutu ölçümlerini zorlaştırmıştır.



Şekil 14. *Temperlenmiş Numunelerin Mikroyapı Görüntüleri (500X)(a) 300 °C'de temperlenmiş, (b) 450 °C'de temperlenmiş, (c) 550 °C'de temperlenmiş, (d) 650 °C temperlenmiş*

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğinin su verme işleminden sonra, 300, 450, 550 ve 650 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta temperleme işlemi uygulanmış ve numunelerin mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- En düşük temperleme sıcaklığı olan 300 °C’de sertlik değeri maksimuma ulaşmış buna bağlı olarak yine en yüksek çekme ve akma dayanımı değeri en düşük temperleme sıcaklığı olan 300 °C’de elde edilmiştir.
- Temperlenmemiş numuneler ile 450 °C’de temperlenmiş numuneler arasında çekme ve akma dayanımları arasında benzerlik bulunurken, sertlik ve yüzde uzama değerlerinde temperleme uygulanmamış numunelerin çok yüksek değerde olduğu görülmüş, literatüre göre bu durumun temperleme uygulanmamış numune içyapısının neredeyse tamamen martenzit yapıda olması ile alakalı olduğu düşünülmektedir.
- Artan temperleme sıcaklığı ile birlikte numunelerin sertlik, çekme ve akma dayanımı değerlerinde düşüş olurken, kopma uzaması ve tokluk değerlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Bu durumun temperleme işlemi ile birlikte AISI 4140 çeliğinin mikroyapısında meydana gelen faz dönüşümü ile ilgili olduğu düşünülmektedir.
- Düşük temperleme sıcaklığında sert bir yapıya sahip olan martenzit yapı, artan temperleme sıcaklığıyla birlikte azalmış, taneler küreselleşerek homojen bir yapı ortaya çıkmış, daha yumuşak bir yapıya sahip olan beynit ve perlit yapı artmıştır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada laboratuvar desteğini esirgemeyen Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş. ve BAP-2018.22.01.722 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle destekleyen Düzce Üniversitesi’ne teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] D. Gandy, *Carbon Steel Handbook*. California, USA: EPRI, Palo Alto, 2007, ss.1-2.
- [2] M. Kam ve H. Saruhan, “Derin Kriyojenik İşlemin Farklı Bekletme Sürelerinin AISI 4140 (42CrMo4) Çeliğin Mekanik Özelliklerine Etkisi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 553-564, 2016.
- [3] A.H. Meysami, R. Ghasemzadeh, S.H. Seyedein and M.R. Aboutalebi, “An investigation on the microstructure and mechanical properties of direct-quenched and tempered AISI 4140 steel,” *Materials & Design*, vol. 31, no. 3, pp. 1570-1575, 2010.
- [4] D.N. Zou, H. Ying, W. Zhang and X.D. Fang, “Influence of tempering process on mechanical properties of 00Cr13Ni4Mo supermartensitic stainless steel,” *Journal of Iron and Steel Research, International*, vol. 17, no. 8, pp. 50-54, 2010.
- [5] W.S. Lee and T.T. Su, “Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 87, no. 1, pp. 198-206, 1999.

- [6] H. Güler ve R. Özcan, "Effect of Quenching Process on Mechanical Properties of High Carbon Steels," *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, vol. 19, no. 2, pp. 77-83, 2014.
- [7] E. Kesti, "Ç - 4140 çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [8] U. Çalığülü, M. Aras ve M. Türkmen, "Temperleme işleminin yağda soğutulan çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkisi," In 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Alanya, Türkiye, 2016, ss. 600-607.
- [9] F. Öztürk, M. Demirezen ve M. Bayrak, "DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerde ısıtılmanın mekanik özelliklere etkisinin araştırılması," *Teknoloji*, c. 9, s. 2, ss. 145-152, 2006.
- [10] H. Berns and W. Theisen, *Ferrous Materials: Steel And Cast Iron*, 1. Baskı, Bochum, Almanya: Springer Science & Business Media, 2008, ss. 3-418.