

# FARKLI ISLAH ÇELİKLERİN ÖSTENİTLEME VE MENEVİŞLEME SICAKLIK PARAMETRESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

A. Asım ESER<sup>1,a</sup>, Emre GÖKÇİL<sup>1,b</sup>, Seracettin AKDI<sup>1,c</sup>,

<sup>1</sup> AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye

<sup>a</sup>eser.ahmetasim@aydtr.com, <sup>b</sup>gokcil.emre@aydtr.com, <sup>c</sup>akdi.seracettin@aydtr.com,

## ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte çeliklerin yaygın kullanımı ve buna bağlı olarak mekanik ve metalografik özelliklerinin iyileştirilmesinde, çeliğe uygulanan ısıl işlemler giderek önem kazanmaktadır. Düşük alaşımlı orta karbonlu çeliklerin son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisi ve savunma sanayinde önemli ölçüde kullanım alanı bulmasının sebebi; su verme sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilmesi, mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada sağlanmasına imkân vermesidir.

Islah etme işlemi; östenitleme sıcaklığında yeteri kadar bekleme, ardından soğutma (soğutma ortamı su, yağ, tuz banyosu vb.) ve menevişleme işlemlerini içerir. Su verme işleminden sonra çelik yüksek sertliği ile birlikte kalıntı gerilmelere ve gevrek kırılmaya yatkınlığı ile karakterize edilir. Tokluğu ve sünekliği artırmak, su verme gerilmelerini azaltmak amacıyla su vermeden sonra menevişlemeye tabi tutulur.

Bu çalışmada; ıslah çeliklerinden DIN 41Cr4 (SAE 5140) ve DIN 42CrMo4 (SAE 4140) çeliklerine beş farklı östenitleme sıcaklığında su verilerek, beş farklı menevişleme sıcaklığında ıslah edilmişlerdir. Her bir parametre için üçer adet; 24 mm çapında, 40 mm boyunda profil kullanılmıştır. Hem su verme sonrası, hem menevişleme sonrası sertlik değerleri ölçülmüştür. Sertlik değerleri sonucuna göre; çekme testi uygulanarak mekanik özellikler, mikro yapı analizi ile de metalografik özellikler yönünden karşılaştırma yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Islah çeliği, menevişleme, östenitleme, SAE 4140, SAE 5140.

## ABSTRACT

Today, the widespread use of steel with developing technology and in improving the mechanical properties and metallographic accordingly, heat treatment applied to steel is becoming increasingly important. Low alloy medium carbon steels in recent years, especially because of the find significant use in the automotive industry and the defense industry; to form a hard martensitic structure after the quenching, strength, mechanical properties such as ductility and toughness is to allow the provision of a combination.

The reforming process; waiting enough for the austenitizing temperature, then cooling (cooling medium is water, oil, salt bath, etc.), and tempering processes. After quenching the steel is characterized by the tendency to brittle fracture and residual stress with a high stiffness. To improve the ductility and toughness, in order to reduce the stress of quenching, tempering after quenching subject requirement.

In this study; DIN 41Cr4 of tempered steel (SAE 5140) and DIN 42CrMo4 (SAE 4140) steel giving water to five different austenitizing temperatures have been improved in five different tempering temperature. Three pieces

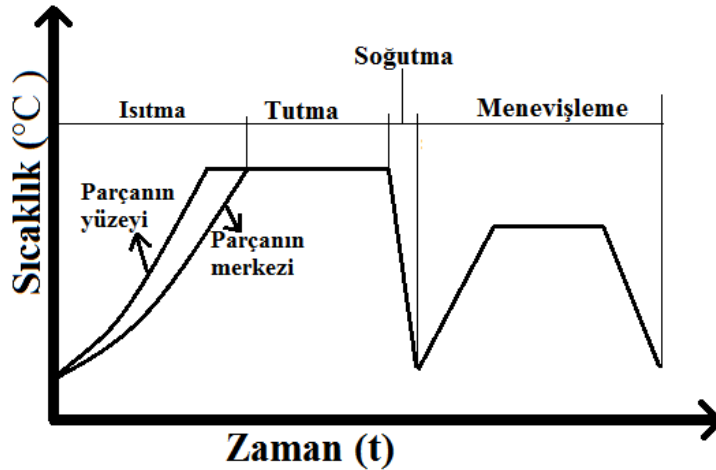
for each parameter; 24 mm diameter, 40 mm length profile is used. And after quenching, and tempering after the hardness was measured. . Hardness values according to the result; applying tensile test mechanical properties, microstructure and properties were compared in terms of metallographic analysis.

**Keywords:** Austenitization, DIN 41Cr4 (SAE 5140), DIN 42CrMo4 (SAE 4140), tempering, tempered steel.

## 1. GİRİŞ

Islah çelikleri, kimyasal bileşenleri ve karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli çeliklerdir. Islah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk gösterirler. DIN 41Cr4 (SAE 5140) ve DIN 42CrMo4 (SAE 4140) ıslah çelikleri içerisinde otomobil endüstrisinde önemli ölçüde kullanım alanına sahiptirler. DIN 42CrMo4 çeliğinin mekanik özellikleri DIN 41Cr4 çeliğinden daha üstündür. DIN 42CrMo4 çeliğinin DIN 41Cr4 çeliğinden farkı ise kimyasal içeriğinde Mo(molibden) elementinin bulunmasıdır. Çelikte; krom, korozyon ve oksidasyon direncini, sertleşebilirliği ve yüksek sıcaklık mukavemetini artırırken, molibden mukavemet, sertlik, aşınma direnci ve tokluğu artırmaktadır [1].

Islah işlemi, sonuçta çelik parçaya yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı, önce bir sertleştirme ve arkasından menevişleme işlemlerinin bütünü olarak tarif edilir (Şekil 1). Islah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerden dolayı, çeşitli makine ve motor parçaları, dövme parçaları, çeşitli civata, somun ve saplamalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalinde olmak üzere geniş bir alanda kullanılırlar [2,8].



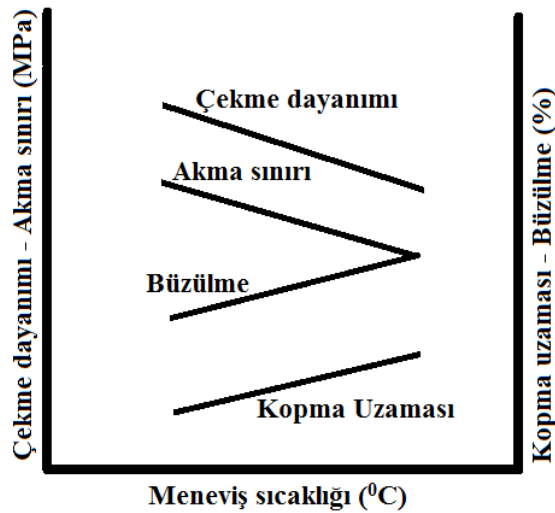
Şekil 1. Islah işlemi şematik gösterimi

Sertleştirme, çeliklere özellik kazandıran en önemli ısıl işlemdir. Sertleştirme işlemi, öncelikle çelik parçanın östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta belli bir süre tutularak uygun bir ortamda hızla soğutulması işlemidir. Östenit sıcaklığında tutma süresini çelik parçanın östenit fazda homojen bir yapıya ulaşması belirler. Daha sonra hızlı soğutma ile sertleştirilir. Sertleştirmenin ana amacı minimum soğuma hızında tamamen martensit yapı elde etmektir. Tamamen martensit yapı verecek minimum soğuma hızına kritik soğuma hızı

denir. Kritik soğuma hızı çeliğin kimyasal bileşimine ve östenit tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Eğer çelik parça, kritik soğutma hızından daha süratli soğutulursa sonuçta yüksek sertlikte sadece martensit yapı elde edilir. Fakat eğer, parçaya uygulanan soğutma hızından daha yavaşsa östenitin bir kısmının veya tamamının ferrit ve perlit dönüşmesiyle sonuçta yapıda martensit miktarı azalacak ve sertlik değeri düşecektir. Parçanın soğuma hızı ile kritik soğuma hızı arasındaki fark büyüdükçe östenitin ferrit ve perlite dönüşüm miktarı artacak buna bağlı olarak sertlikte düşecektir [3,4].

Sertleştirme sırasında oluşan martensit yapı birçok uygulama için fazlasıyla sert ve gevrek olup darbe direnci ve dövülebilirliği düşüktür. Aynı zamanda hızlı soğuma sonucu parçada yüksek gerilimler meydana gelir. Bu nedenle, hem parçanın gevrekliğini gidererek tok bir yapı kazandırmak hem de iç gerilimleri azaltmak amacıyla menevişleme (temperleme) adı verilen ısı işlem uygulanır [2,3,4].

Menevişleme, su verilip sertleştirilmiş çeliklerin ötektoid sıcaklığı ( $723^{\circ}\text{C}$ ) altındaki sıcaklıklarda belli bir süre ısıtılması işlemidir. Menevişleme esnasında kristal kafes içinde hapsedilmiş karbonun bir bölümü ayrılarak serbest karbür tanecikleri oluştururken martensit yapı da ferrite dönüşmeye çalışır. Bu dönüşümler menevişleme sıcaklığı yükseldikçe hızlanır. Düşük sıcaklıklar malzemeyi yumuşatmadan gerilmeleri alır. Sıcaklık yükseldikçe parçanın sertliği ve mukavemeti düşerken daha tok ve sünek olur. Sertleştirilmiş çelikler menevişlendiğinde, çekme dayanımı ve akma sınırı artan meneviş sıcaklıklarında sertlikte olduğu gibi, devamlı düşme gösterirler. Buna karşın malzemenin şekil değişebilirlik karakteristikleri olan kopma uzaması, kesit daralması ve çentik darbe dayanımı meneviş sıcaklığı arttıkça artar (Şekil 2) [4,6,7].



Şekil 2. Meneviş Sıcaklığı- Mekanik özellikler ilişkisi (Islah diyagramı)[6]

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kimyasal kompozisyonları Tablo 1’de verilen DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çelik profiller kullanılmıştır. Profiller; 24 mm çapında, 40 mm boyunda numuneler elde

edilmek üzere bir alaşım için 50 adet, toplamda 100 adet parça kesilmiştir. Her parametre için 2 adet parça kullanılmıştır. Bütün ısıl işlem aşamaları Şekil 3’de gösterilen NABERTHERM laboratuvar tipi ısıl işlem fırını ve su tankında gerçekleştirilmiştir. Sertlik testi, Brinell Sertlik cihazında 750 kgf yük altında, 5 mm çapında çelik bilye kullanılarak 10 saniye test süresi içerisinde gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan profillerin kimyasal bileşimleri

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>
<b>DIN 41Cr4</b>	0,37	0,21	0,71	0,01	0,01	1,00	-
<b>DIN 42CrMo4</b>	0,38	0,22	0,82	0,01	0,006	1,08	0,19



**Şekil 3.** Isıl işlem fırını ve su tankı

Elde edilen parçalar ıslah işleminin ilk aşaması yani sertleştirme yapmak üzere; östenit sıcaklıkları 850°C, 860°C, 870°C, 880°C ve 890°C olan beş farklı sıcaklıkta 1 saat tutulan parçalar daha sonra tank içindeki 25°C sıcaklıktaki suda ani olarak soğutulmuştur. Sertleştirme sonrası sertlik değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Sertleştirme işlemi sonrası elde edilen sertlik değerleri

		<b>Östenitleme Sıcaklığı(°C)</b>				
		<b>850</b>	<b>860</b>	<b>870</b>	<b>880</b>	<b>890</b>
<b>Sertlik (HRC)</b>	<b>DIN 41Cr4</b>	57	58	57	58	59
	<b>DIN 42CrMo4</b>	56	56	58	58	60

Islah etme işleminin ikinci aşaması yani istenilen mekanik özellikleri sağlamak amacıyla yapılan menevişleme işlemi için meneviş sıcaklıkları 350°C, 400°C, 500°C, 600°C ve 650°C olan beş

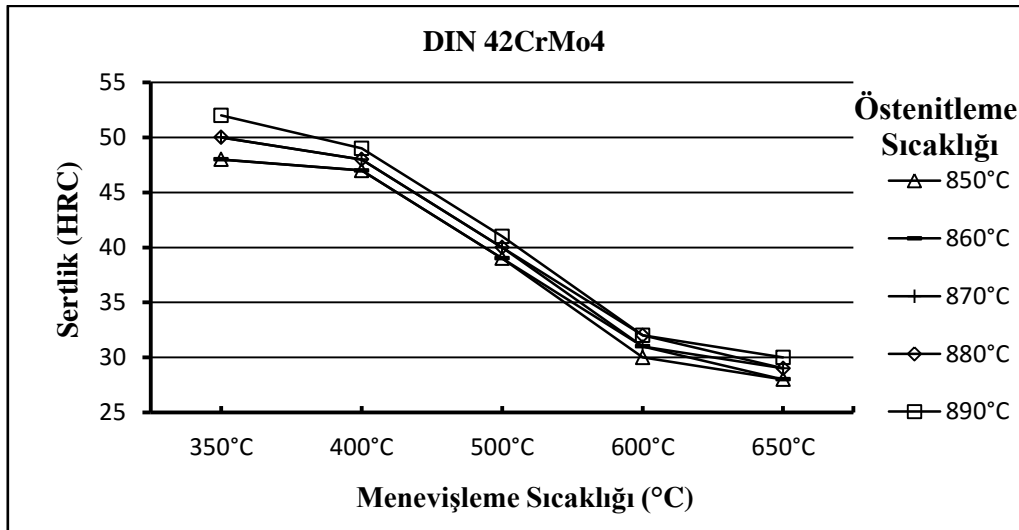
farklı sıcaklıkta 2 saat tutulmuştur. Menevişleme sonrası sertlik değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Islah etme işlemi sonucu oluşan sertlik değerleri

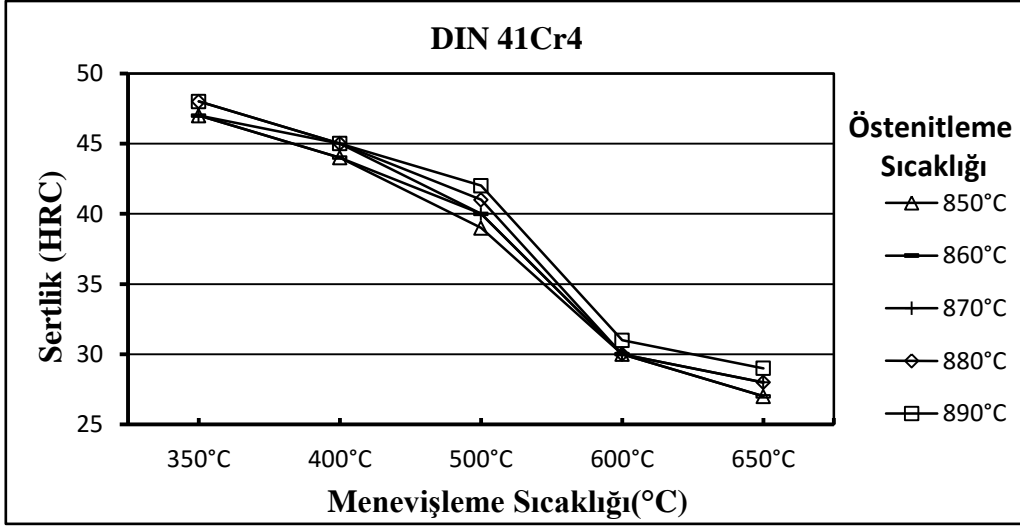
Elde edilen sertlik değerlerinden her iki alaşım için ayrı ayrı menevişleme sıcaklığına göre

		Östenitleme Sıcaklığı(°C)						
		850	860	870	880	890		
Sertlik (HRC)	Menevişleme Sıcaklığı(°C) (2 saat)	650	DIN 41Cr4	27	27	28	28	29
		DIN 42CrMo4	28	28	29	29	30	
	600	DIN 41Cr4	30	30	30	30	31	
		DIN 42CrMo4	30	31	31	32	32	
	500	DIN 41Cr4	39	40	40	41	42	
		DIN 42CrMo4	39	39	40	40	41	
	400	DIN 41Cr4	44	44	45	45	45	
		DIN 42CrMo4	47	47	48	48	49	
	350	DIN 41Cr4	47	47	47	48	48	
		DIN 42CrMo4	48	48	50	50	52	

grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4 ve Şekil 5). Her iki alaşım için; grafikler göz önüne alınıp sertlik değerleri sonucuna göre; mekanik özellikleri yönünden fark yaratacak üç farklı menevişleme sıcaklıkları seçilmiştir. DIN 42CrMo4 alaşımı için; 350°C, 500°C ve 650°C sıcaklıkları, DIN 41Cr4 alaşımı için; 350°C, 550°C ve 650°C sıcaklıkları seçilerek çekme numuneleri hazırlanmıştır.

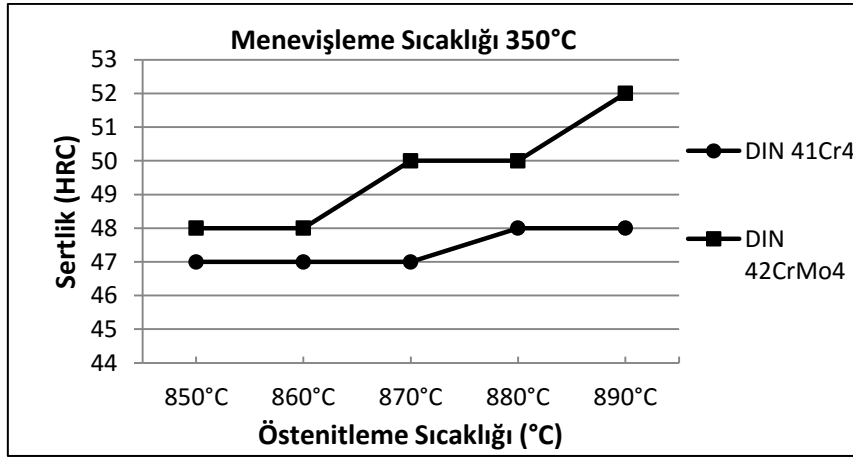


**Şekil 4.** DIN 42CrMo4 alaşımının farklı menevişleme sıcaklıklarında sertlik dağılımı

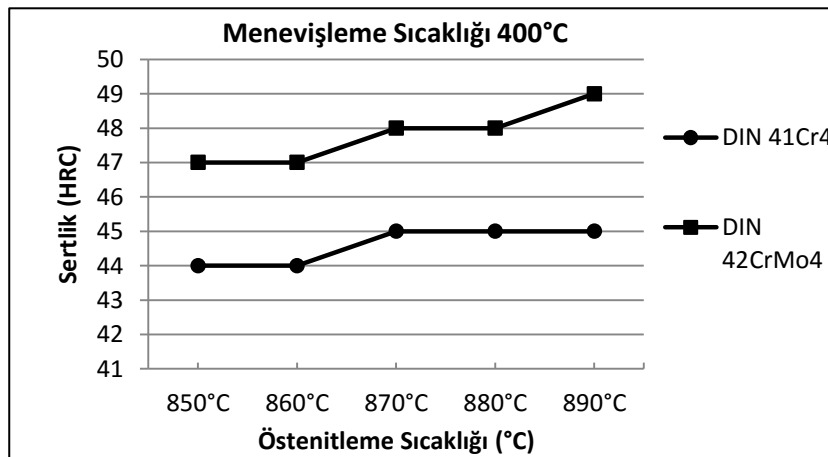


Şekil 5. DIN 41Cr4 alaşımının farklı menevişleme sıcaklıklarında sertlik dağılımı

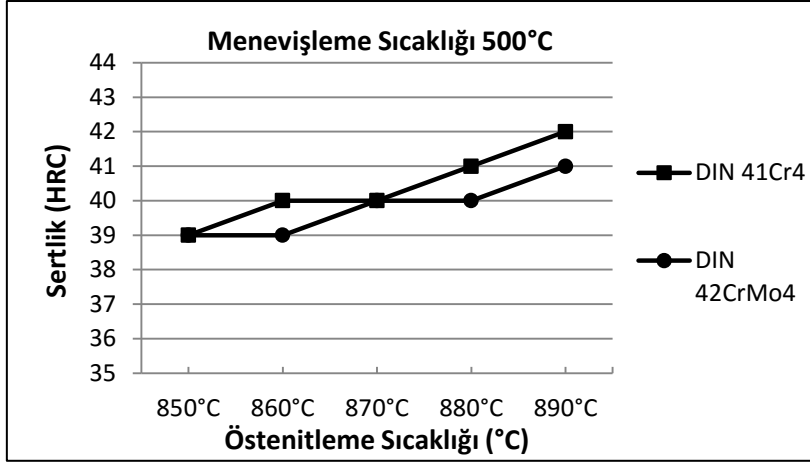
Östenitleme sıcaklığının sertlik değerine etkisini görmek üzere 5 farklı grafik elde edilmiştir. Grafikler; menevişleme sıcaklığı 350°C, 400°C, 500°C, 600°C ve 650°C sırasıyla şekil 6, şekil 7, şekil 8, şekil 9 ve şekil 10 olarak verilmiştir.



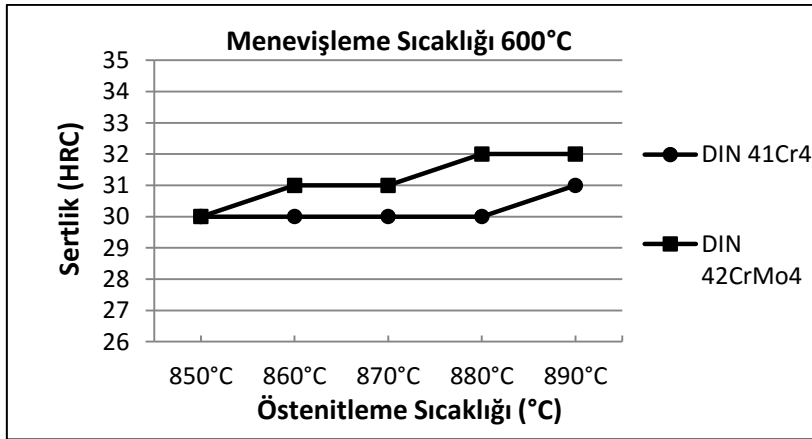
Şekil 6. 350°C menevişleme sıcaklığında, farklı östenitleme sıcaklıklarının sertlik değerine etkisi



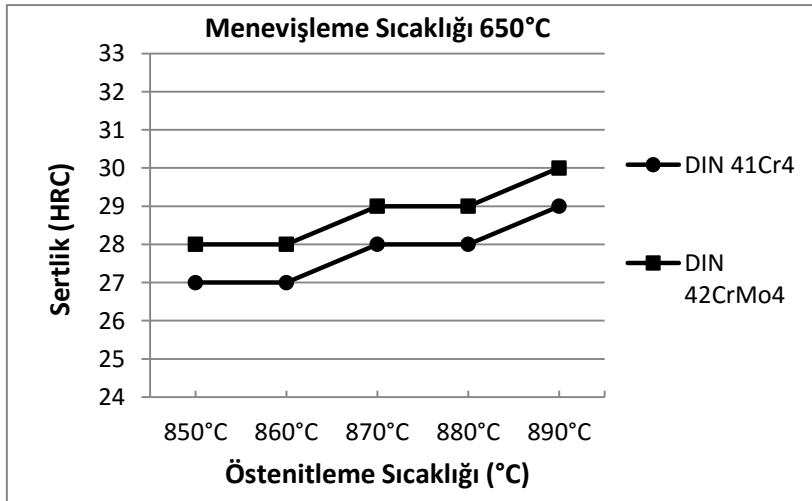
Şekil 7. 400°C menevişleme sıcaklığında, farklı östenitleme sıcaklıklarının sertlik değerine etkisi



Şekil 8. 500°C menevişleme sıcaklığında, farklı östenitleme sıcaklıklarının sertlik değerine etkisi



Şekil 9. 600°C menevişleme sıcaklığında, farklı östenitleme sıcaklıklarının sertlik değerine etkisi



**Şekil 10.** 650°C menevişleme sıcaklığında, farklı östenitleme sıcaklıklarının sertlik değerine etkisi

Menevişleme sıcaklığının yükselmesi ile (350°C'den 650°C'ye doğru) DIN 41Cr4 ile DIN 42CrMo4 arasındaki sertlik farkının azaldığı görülmektedir. Bu durum; alaşımların difüzyon karakteristiğinin bir sonucu olduğu ortaya konmuştur.

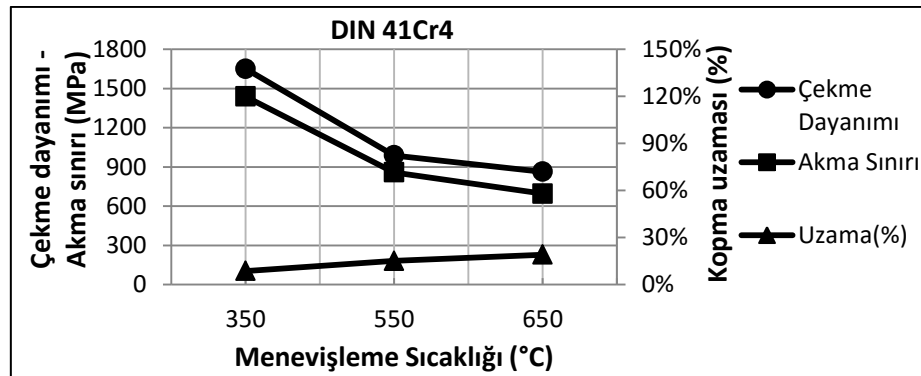
Islah işlemi sonucu hem alaşımların farklılığını, hem de menevişleme sıcaklığının farklılığını görmek üzere seçilen üç farklı sıcaklık parametresine çekme testi yapılmıştır. Çekme testleri ALŞA çekme-basma test makinasında ASTM E8 standardına uygun olarak oda sıcaklığında yapılmıştır. Test hızı 1mm/dk olarak belirlenmiştir. Yüzde kopma uzaması ASTM E8 standardına uygun olarak işlenmiş çekme çubuğuna tutturulan ölçüm aralığı 30 mm olan ekstansometre ile ölçülmüştür. %0,2 uzama noktasındaki gerilme akma dayanımı olarak kaydedilmiştir. Çekme testi sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Çekme testi sonucu elde edilen değerler ışığında DIN 41Cr4 alaşımının ıslah diyagramı Şekil 11'de, DIN 42CrMo4 alaşımının ıslah diyagramı Şekil 12'de verilmiştir.

**Tablo 4.** DIN 41Cr4 alaşımının menevişleme sıcaklığına göre mekanik özellikleri

DIN 41Cr4	Menevişleme Sıcaklığı (°C)	Çekme dayanımı (MPa)	Akma sınırı (MPa)	Uzama (%)
	350	1650	1438	9,4
550	988	858	10,5	
650	863	695	19	

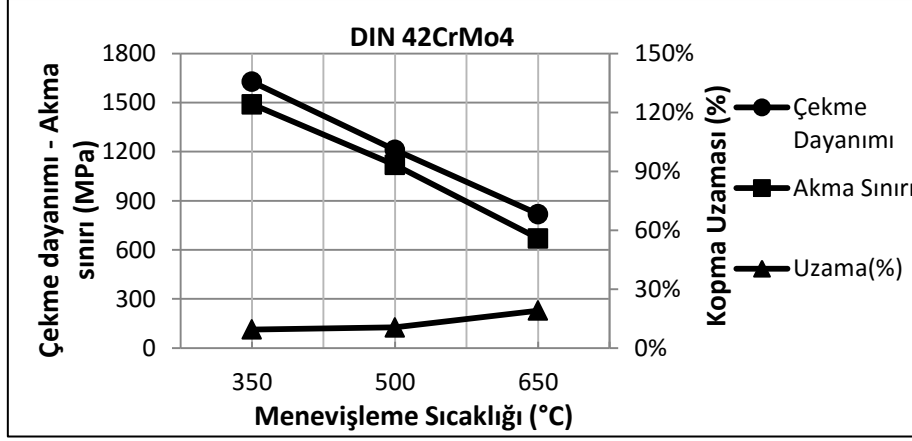
**Tablo 5.** DIN 42CrMo4 alaşımının menevişleme sıcaklığına göre mekanik özellikleri

DIN 42CrMo4	Menevişleme Sıcaklığı (°C)	Çekme dayanımı (MPa)	Akma sınırı (MPa)	Uzama (%)
	350	1628	1498	8,6
500	1210	1119	15	
650	818	669	19	



**Şekil 11.** DIN 41Cr4 alaşımının üç farklı menevişleme sıcaklığındaki ıslah diyagramı

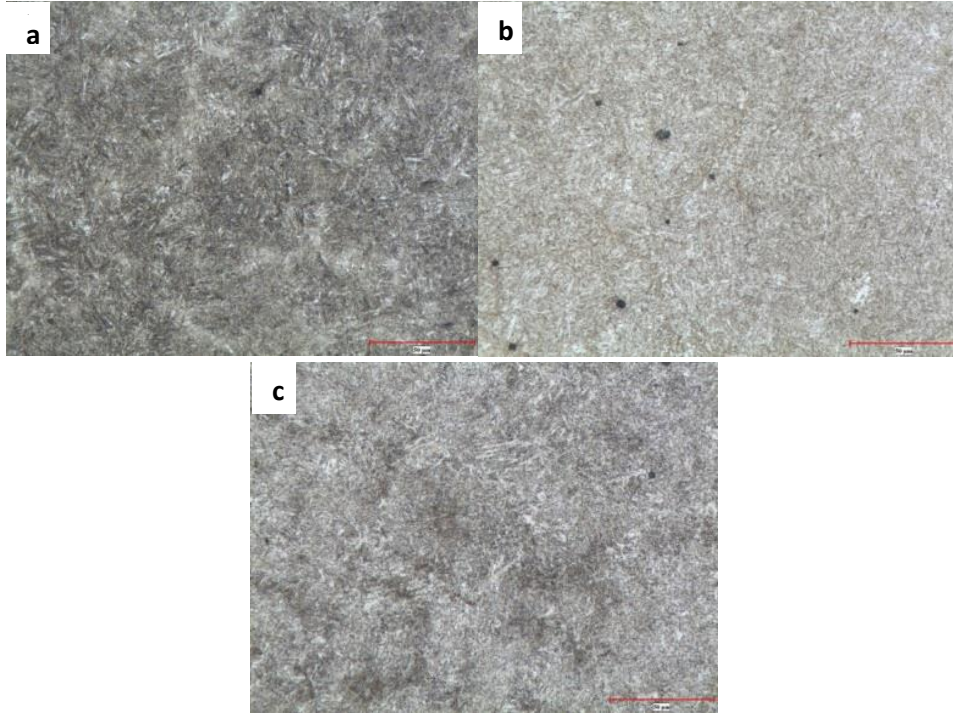




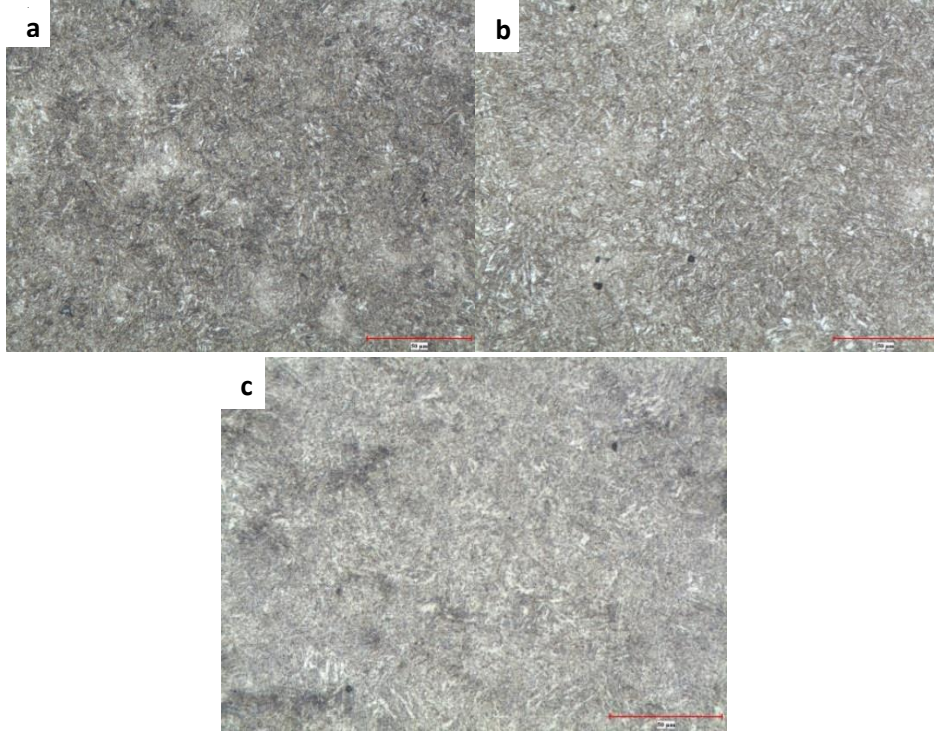
**Şekil 12.** DIN 42CrMo4 alaşımının üç farklı menevişleme sıcaklığındaki ıslah diyagramı

Şekil 11 ve Şekil 12 değerlendirildiğinde; her iki alaşım içinde menevişleme sıcaklığı arttıkça; çekme dayanımı ve akma sınırı düşerken, uzama miktarında artış gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı ve akma sınırı özelliklerindeki azalış; DIN 41Cr4 alaşımında DIN 42CrMo4 alaşımına göre daha hızlı gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Çekme testi deneyinden sonra ise mikro yapı çalışması yapılmıştır. Standart metalografi teknikleri; SiC zımpara kâğıtlarıyla kaba ve ince zımparalama, 3mikron elmas süspansiyon ile parlatma yapılmıştır. Daha sonra nital (%2 HNO<sub>3</sub> ve %98 alkol) karışımı hazırlanarak, parçalar bu karışımda yaklaşık 9 saniye tutularak dağlama işlemi tamamlanmıştır. NIKON MA 200 Optik mikroskopta 500X büyütmede incelenen yapılar Şekil 13 ve Şekil 14'de verilmiştir.



**Şekil 13.** DIN 41Cr4 alaşımının üç farklı menevişleme sıcaklıklarındaki yapıları  
a)350°C, b)500°C, c)650°C



**Şekil 14.** DIN 42CrMo4 alaşımının üç farklı menevişleme sıcaklıklarındaki yapıları  
a)350°C, b)500°C, c)650°C

Sertleştirme sonucu oluşan sert, kırılğan martensit yapısı, menevişleme sıcaklığı arttıkça yumuşama eğilimi göstermiştir. 350°C sıcaklıkta menevişleme yapılan yapı ile 500°C sıcaklıkta menevişlenen yapı karşılaştırıldığında; martensit fazın boyut olarak küçüldüğü, kısmen bazı bölgelerde dönüştüğü görülmektedir. 650°C sıcaklıkta menevişlenen yapıda ise martensit yapının tamamına yakının dönüştüğü sonucuna varılmıştır.

### 3. DEĞERLENDİRME

Kimyasal kompozisyon yönünden DIN 42CrMo4 alaşımının DIN 41Cr4 alaşımından farkı; DIN 42CrMo4 alaşımında Mn (mangan) elementinin oranı 0,1 ve Mo (molibden) elementinin oranı 0,19 daha fazladır. Diğer elementlerin oranları yaklaşık olarak birbirine çok yakındır.

Sertleştirme işlemi (östenitleme + su verme) sonrası sertlik değerleri farkı göz ardı edilecek kadar azdır.

Aynı sürede (2 saat) farklı sıcaklıklarda yapılan menevişleme işleminde; menevişleme sıcaklığı düştükçe tüm numunelerde sertlik artmaktadır.

Yüksek menevişleme sıcaklıklarında (650°C) DIN 41Cr4 ile DIN 42CrMo4 alaşımalarında sertlik farkı en az çıkmıştır. Ancak menevişleme sıcaklığının düşük olması ile DIN 41Cr4 ile DIN 42CrMo4 alaşımları arasındaki sertlik farkı artmıştır. Sertlik farkının yüksek olduğu Şekil 6 ve Şekil 7’de, sertlik farkının düşük olduğu Şekil 9 ve Şekil 10’da görülmektedir. Genel olarak sertlik değerleri ile çekme testi sonuçları paralellik göstermektedir.

Yapılan çalışmada her iki alaşım için hem düşük hem yüksek menevişleme sıcaklıklarında çekme dayanımı ile akma sınırı arasında önemli bir farklılık olmadığı görülmektedir. (Şekil 11 ve Şekil 12)

Menevişleme sıcaklığı 350°C iken her iki alaşım için çekme dayanımı ve akma sınırı maksimum iken uzama miktarı minimumdur (Şekil 6).

Menevişleme sıcaklığının artmasıyla çekme dayanımı ve akma sınırı değerleri düşmüştür. Elde edilen çekme dayanımı ve akma sınırı değerlerinin menevişleme sıcaklığı ile değişimi ıslah diyagramı ile paralellik göstermektedir [5].

Sertleştirme işleminde; YMK yapıya sahip östenit bölgesinde çözünen C(karbon), hızlı soğutma işlemi nedeniyle kristal kafesi terk edemeyip karbür yapamadığı için östenit içerisinde hapsolür. HMK yapıya sahip olması gereken demir, hızlı soğutma sonucu HMT(hacim merkezli tetragonal) yapıya dönüşür. Martensit olan bu yapı menevişleme sıcaklığı düşükken (350°C) koyu, kaba, keskin köşeli olmaktadır (Şekil 13a ve Şekil 14a) [9].

Östenitleme sıcaklığının malzemenin mekanik özelliklerine ciddi bir etkisi olmadığı görülmüştür. Menevişleme işleminde ise; menevişleme sıcaklığı düşükken mikro yapıda C (karbon) atomlarının kristal yapıyı terk edemediği durumdan dolayı yani martensit yapı (HMT) bozulmadığı için çekme dayanımı, akma sınırı yüksektir. Menevişleme sıcaklığı arttıkça kaba ve keskin martensit yapısı bozularak homojen, eş dağılımlı ve ince, yumuşak köşeler oluşmaktadır. Menevişleme sıcaklığının artması ile sertlikte meydana gelen düşüşü DIN 42CrMo4 alaşımında Mo(Molibden) elementi oluşturduğu karbürlerden dolayı yavaşlatmaktadır [9].

DIN 41Cr4 (SAE 5140) ve DIN 42CrMo4 (SAE 4140) kalite çelikler ısıtma işlemi ile aynı çekme, akma, % kopma uzaması ve sertlik değerine ulaşabilseler de aşınma direnci ve tokluk değerlerinde farklılık gösterebilirler. Bundan dolayı bu çelikler maliyet ve mekanik özelliklerine göre farklı kullanım alanlarına sahiptir.

#### **4. TEŞEKKÜR**

Deneysel çalışmalardaki katkılarından dolayı AYD firmasından Sn. Osman KARTLAR' a ve yazım, grafik tasarımındaki katkılarından dolayı Sn. Gamze KÜÇÜKYAĞLIOĞLU' na, teşekkürü bir borç biliriz.

#### **KAYNAKLAR**

1. Asil Çelik Teknik Yayınlar Kitabı, Mayıs 2000.
2. P APHUDEV, K.H., "Handbook of Heat Treatment of Steels", New Delhi, 1988.
3. Töre, C., 2007, Mekanik Tasarımda Çelik ve Özellikleri, MMO/2007/425.
4. Az alaşımlı krom-molibden çeliklerin yapı kontrolü, Yüksek lisans tezi, Aydınoglu B., Mayıs 2002

5. Çelik ve ısıt işlemler atlası, Topbaş M. A., Eylül 1998.
6. Çeliğin ısıt işlemleri, Topbaş M. A., Temmuz 1992.
7. Ç-4140 çeliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Kesti E., 2009.
8. Tekin E., “Mühendisler için çelik seçimi”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını, Yayın No: 119, Ankara, 1986..
9. Metallerin ısıt işlemler teorisi, İlyas Novikov, çeviri:Said G., Nobel yayın, 2012.