



# AISI 430 Çeliklerin Derin Kroyonejik İşlem Sonrası Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi

Serdar Şenel<sup>1</sup>, Oğuz Koçar<sup>2\*</sup>, Engin Kocaman<sup>3</sup>, Osman Özdamar<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4382-8399), [serdar.senel@outlook.com](mailto:serdar.senel@outlook.com)

<sup>2\*</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1928-4301), [oguz.kocar@yahoo.com.tr](mailto:oguz.kocar@yahoo.com.tr)

<sup>3</sup> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5617-3064), [enginkocaman@beun.edu.tr](mailto:enginkocaman@beun.edu.tr)

<sup>4</sup> Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Osmaneli MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Bilecik, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6353-6812), [osman.ozdamar@bilecik.edu.tr](mailto:osman.ozdamar@bilecik.edu.tr)

(Uluslararası Araştırma-Geliştirme ve Tasarım Konferansı – 15-18 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1039800)

**ATIF/REFERENCE:** Şenel, S., Koçar, O., Kocaman, E. & Özdamar, O. (2021), AISI 430 Çeliklerin Derin Kroyonejik İşlem Sonrası Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 1000-1005.

## Öz

Kriyojenik işlem günümüz endüstrisinde paslanmaz çeliklere uygulanan ve geleneksel ısı işleme alternatif olarak hızla yayılan bir ısı işlem çeşididir. Literatürde paslanmaz çelikler üzerine yapılan sığ kriyojenik işlemin etkileri araştırılmakla birlikte derin kriyojenik işlem üzerine çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu çalışmada derin kriyojenik işlemin (-140 °C) AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğinin mikroyapısal ve mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca geleneksel ısı işleme kriyojenik işlemin etkileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada ısı işlem parametresi olarak geleneksel ısı işlem için 300 °C, 500 °C ve 700 °C'de 1 saat tavlama süresi, kriyojenik işlem için -140 °C'de 12, 24, 36 ve 48 saat bekletme süresi olarak seçilmiştir. Isı işlem sonrası numuneler optik mikroskop kullanılarak incelenmiş, sertlik ve çekme testine (mini çekme) tabi tutulmuştur. Bulgular geleneksel ısı işleminde 300°C'den sonra mekanik özellikler azalırken, kriyojenik işleminde ise akma dayanımı için optimum bekleme süresi 24 saat çekme dayanımı için optimum bekleme süresi 48 saat olarak belirlemiştir. Ayrıca yapılan çalışma kriyojenik işlemin AISI 430 paslanmaz çeliğin mikroyapısı önemli değişikliklere neden olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kriyojenik Soğutma, Isı İşlem, 430 Paslanmaz Çelik, Mekanik Özellikler, Mikroyapı, Mini Çekme Numunesi

## Investigation of the Mechanical and Microstructural Properties of AISI 430 Steels After Deep Chryonegic Treatment

### Abstract

Cryogenic treatment is a type of heat treatment applied to stainless steels in today's industry and is rapidly spreading as an alternative to conventional heat treatment. Although the effects of shallow cryogenic treatment on stainless steels have been investigated in the literature, it is seen that there are limited number of studies on deep cryogenic treatment. In this study, the effects of deep cryogenic treatment (-140 oC) on the microstructural and mechanical properties of AISI 430 ferritic stainless steel were investigated. In addition, the effects of conventional heat treatment and cryogenic treatment were compared. In the study, 1 hour annealing time at 300 oC, 500 oC and 700 oC for conventional heat treatment and 12, 24, 36 and 48 hours at -140 oC for cryogenic treatment were selected as heat treatment parameters in the study. After heat treatment, the samples were examined using an optical microscope and subjected to hardness and tensile tests (using mini tensile specimen). The findings determined that while the mechanical properties decrease after 300 oC in conventional heat treatment, the optimum annealing time for yield strength is 24 hours in cryogenic treatment, while the optimum annealing time for tensile strength is 48 hours. In addition, the study shows that cryogenic treatment causes significant changes in the microstructure of AISI 430 stainless steel.

**Keywords:** Cryogenic Cooling, Heat Treatment, AISI 430 Stainless Steel, Mechanical Properties, Microstructure, Mini Tensile Specimen.

\* Sorumlu Yazar: [oguz.kocar@yahoo.com.tr](mailto:oguz.kocar@yahoo.com.tr)

## 1. Giriş

Doğru ısıl işlem kullanılarak malzemelere çeşitli özelliklerin kazandırılması çok yaygın bir yöntemdir. Malzemelerin mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için kullanılmaya başlanan kriyojenik (sıfır altında) yöntem yeni bir ısıl işlem türüdür [1]. Kriyojenik ısıl işlem uygulanan sıcaklığa -80 oC ile -140 oC arasında sığ kriyojenik, -140 oC ile -196 oC arasında ise derin kriyojenik işlem olarak isimlendirilmektedir [2, 3]. Kriyojenik işlem uygulamalarında bekleme süresi, işlem sıcaklığı ve belirlenen sıcaklığa soğutma hızı kontrol edilebilen parametrelerdir [4]. Kriyojenik işlemin faydaları, sertlik değeri düşmeden tokluğun artması [5], malzemenin bütününe etki etmesi, homojen karbür dağılımı sağlanması [6], daha düzenli martenzit yapı oluşturması [7], ucuz ve kalıcı bir işlem olmasıdır [8].

Sert, AISI M2 takım çelikleri üzerinde yapmış olduğu çalışmada farklı ısıl işlemler sonucunda mikroyapı ve tribolojik özellikleri incelemiştir. Derin kriyojenik işlem sonrası karbür tanelerinin dağılımı ve boyutlarında iyileşme olduğunu, aşınma ve sürtünme katsayısında düşüş olduğunu tespit etmiştir [9]. Kam ve Saruhan AISI 4140 çeliğine geleneksel ısıl işlem sonrası farklı bekleme sürelerinde (12, 24, 26 ve 48 saat) -140 oC'de kriyojenik işlem uygulamışlardır. Sonrasında yapmış oldukları sertlik ve çekme deneyleri sonucunda 36 saat bekleme süresinin en uygun bekleme süresi olduğunu belirtmişlerdir. Ve çekme dayanımında %10, sertlik değerlerinde ise %5'lik iyileşme yakalamışlardır [10]. Diğer bir çalışmada SAE 4140 çeliğine, kriyojenik (-140 oC, 24 saat ve 2 oC hızla soğutma) ve menevişleme işlemleri uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda tokluğun ve mikrosertliğin olumlu etkilendiği belirlenmiştir [5].

Uzun, kriyojenik işlemin soğuk iş takım çeliklerinde aşınma davranışına olan etkilerini incelemiştir. Bunun için soğuk iş takım çeliğini -145 oC'de 0.5, 1, 2, 4, 8, 12 ve 24 saat kriyojenik ısıl işlem uygulanmıştır. Artan bekleme süresi ile birlikte kalıntı östenit miktarında ve % karbür oranında azalma gözlemlenmiştir. Kriyojenik işlem görmüş numunelerde %10.5 sertlik artışı belirlenmiştir. Geleneksel ve kriyojenik ısıl işlem görmüş numunelerin sürtünme katsayısı değerlerinin yakın olduğu belirlenmiştir [11]. Diğer bir çalışmada M35 HSS matkaplarında derin kriyojenik işlemin takım ömrü, takım aşınması, mikro yapı ve mikro sertlik üzerine etkilerini incelemiştir. Delme işleminde kesme hızı (20, 25 ve 30 m/dk), sabit ilerleme (0.1 mm/dk) ve sabit delme derinliği (7 mm) parametreleri kullanılmıştır. Sonuç olarak kriyojenik işlemin takım ömrünü % 33-62 oranında iyileştirdiği ve takım aşınması/ömrüne olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir [12]. Stepanov ve Lokhankina yaptıkları çalışmada derin kriyojenik işlemin krom-mangan çeliğinin mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Ve yorulma direnci ve mekanik özelliklerde iyileşme olduğunu belirlemişlerdir [13]. Collins ve Dormer [86] kriyojenik işlemin (-140 oC ve -196 oC) çeliklerde aşınmaya etkisini araştırmışlardır. Kriyojenik işlem sonrası sertlik, tokluk ve aşınma direncinde artış belirlemişlerdir. Sertlik artışını kriyojenik işlemle birlikte kalıntı östenitin martenzite dönüşümünden kaynaklandığını, tokluk ve aşınma direncindeki artışı ise karbür tanelerinin temperleme ile daha homojen olması ve ince dağılımlı çökmesi oluşmasıyla ilişkilendirmiştir [14]. Bensely ve ark. çeliğin yorulması ile ilgili yaptıkları çalışmada üç farklı ısıl işlem (geleneksel, sığ ve derin kriyojenik) uygulamışlardır. Yorulma ömründe geleneksel ısıl işleme göre sığ kriyojenikte %71 iyileşme, derin kriyojenik işleminde %26 azalma elde etmişlerdir. Bu durumu sığ kriyojenik

işleminde karbürlerin ve kalıntı östenitin birleşik bulunmasıyla yorumlamışlardır [15].

Ayrıca Al 2014-T6 [16], Al-6.0Mg-0.35Mn-0.2Sc-0.1Zr [17], AL 2024-T351 [18] ve Fe-32Mn-7Cr-1Mo-0.3N paslanmaz çelik [19] malzemelerinin sürtünme karıştırma kaynağıyla birleştirildikten sonra numuneler sıvı nitrojen içinde bekletilmesiyle kaynak bölgesinin tane yapısının incelendiği ve mekanik özelliklerinin iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Literatür çalışması incelendiğinde kriyojenik işlemle ilgili araştırmalar farklı bekleme süresinin, farklı sıcaklıkların ve soğutma hızının farklı malzemeler üzerindeki mekanik özelliklere, aşınmaya, yorulmaya ve mikro yapıya etkisinin incelendiği belirlenmiştir. Ayrıca sürtünme karıştırma kaynağı sonrası kaynak bölgesine olan etkilerin incelendiği çalışmalara da rastlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada AISI 430 paslanmaz çeliğe 300, 500 ve 700 oC'de 1 saat geleneksel ısıl işlem, -140 oC'de 12, 24, 36 ve 48 saat sürelerde kriyojenik işleme tabi tutulmuştur. Numunelerin mekanik özellikleri ve mikro yapıları incelenerek karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada AISI 430 paslanmaz çelikten 20x100x1.5 mm boyutlarında sac malzeme kullanılmıştır. AISI 430 paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AISI 430 paslanmaz çelik kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)[20]

C	Mn	Si	Cr	P	S	Fe
0.055	0.42	0.45	17.25	0.03	0.008	Kalan

Deneyisel çalışmalar için iki farklı grup olmak üzere 8 farklı numune hazırlanmıştır (Table 2). Referans olarak alınmak üzere numune 1'e işlem uygulanmamıştır. Numune 2, 3 ve 4'e farklı sıcaklıklarda geleneksel ısıl işlem uygulanmıştır. Numune 5-8'e farklı bekleme sürelerinde kriyojenik işlem uygulanmıştır. Geleneksel ısıl işlem Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Teknolab Isıl İşlem Laboratuvarında bulunan kamara fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kriyojenik Isıl İşlem İstanbul Dudullu OSB'de faaliyet gösteren Dönüşüm Isıl İşlem firmasında yaptırılmıştır.

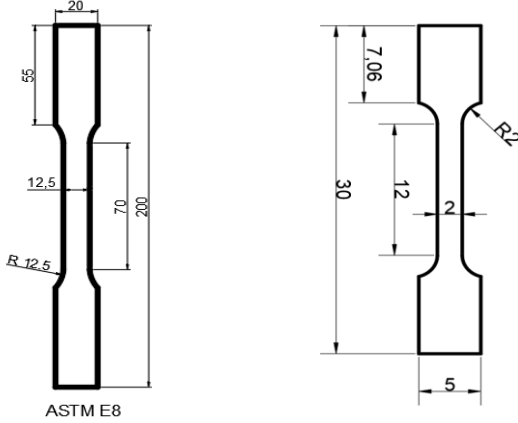
Tablo 2. Geleneksel ve kriyojenik işlem sıcaklıkları ve bekleme süreleri

Numune Numarası	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Bekleme Süresi (Saat)	Isıtma Hızı (°C/dak)	Soğutma Sıcaklığı (°C/dak)
1	-	-	-	-
2	700	1	8	-
3	500	1	8	-
4	300	1	8	-
5	-140	12	2	2
6	-140	24	2	2
7	-140	26	2	2
8	-140	48	2	2

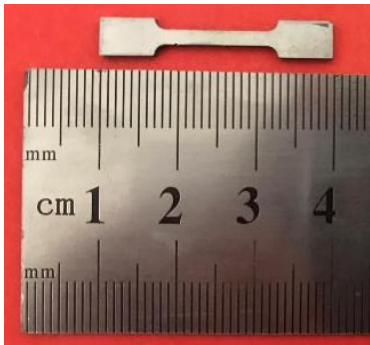
Isıl işlem sonrası su soğutmalı hassas kesme cihazı kullanılarak numuneler kesilmiş ve mikroyapısal incelemelere hazır hale getirilmek üzere standart metalografik işlemlere tabi tutulmuştur. Zımparalanıp parlatılan numuneler Kalling's dağlayıcı (12 gr CuCl<sub>2</sub>, 20 ml HCL ve 225 ml alkol) ile dağlanmış ve yüzeyleri optik incelemelere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin mikroyapısal incelemeleri Leica LM 1750 optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Sonrasında numunelerin tane boyut ölçümleri görüntü analiz programı image-j kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 2.1. Mini Çekme Testi

Mini çekme numunelerinin en büyük avantajı deneyler için kullanılan malzeme miktarında önemli miktarda azalma sağlamasıdır. Ayrıca malzemelerin bölgesel olarak özelliklerinin belirlenmesine olanak sağlar [21, 22]. Ayrıca sonlu elemanlar modellerinin (SEM) doğrulanması için etkin bir şekilde kullanılabilir. Örnek olarak SEM sonucunda sac malzemede oluşan bölgesel sünekliliklerin değerlendirilmesi için kullanılabilir [23]. Mini çekme toz metalürjisi [24], eklemeli imalar [25, 26], sac metal malzemelerin [27, 28] mekanik özelliklerinin belirlenmesi olmak üzere farklı uygulama alanlarına sahiptir.



Şekil 1. Mini çekme ve ASTM E8 [29, 30] standardına göre numune ölçüleri



Şekil 2. Mini çekme numunesinin görünümü

## 2.2. Mikro Çekme Kalıp Tasarımı

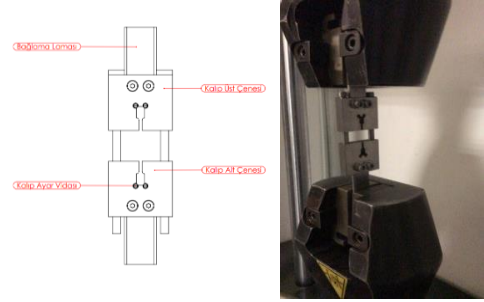
Çekme cihazları ASTM ve ISO 6892-1 standartlarına uygun numunelere göre yapıldığından mini çekme numunelerinin bağlanması için ayrıca bir aparata ihtiyaç duyulmaktadır. Bağlama kalıbı alt ve üst kalıp yarımı, bağlama lamaları ve ayar vidasından (Şekil 3) oluşmaktadır. Kalıp bağlama lamalarından çekme tezgahına bağlanarak hazırlanan numuneler kalıba yerleştirilir. Ayar vidaları mini çekme numunelerinin kalıp içinde merkezlenmesi ve oynamaması için kullanılmaktadır. Şekil 3'de

bağlama kalıbının çekme tezgahına bağlanmış şekilde görülmektedir. Çekme testleri Karabük Üniversitesi Malzeme ve Metalürji Mühendisliği Bölümünde SHIMADZU marka cihaz kullanılarak 5x10<sup>-1</sup> mm/sn hızında gerçekleştirilmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

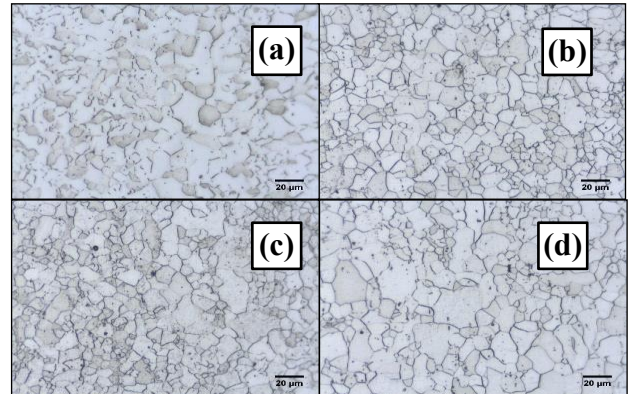
### 3.1. Mikroyapı sonuçları

Şekil 4'te AISI 430 paslanmaz çeliğin tavlama işlemi öncesi ve farklı sıcaklıklarda 1 saat süre ile tavlama sonrası mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 4-a' da görülen tavlama işlemi uygulanmamış çeliğin mikroyapısının eş eksenli tanelerden oluştuğu ve mikroyapısal olarak sadece ferrit tanelerinden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3. Bağlama kalıbının şematik ve test cihazı üstünde görünüşü

Soğuk haddemmiş olarak temin edilen AISI 430 paslanmaz çeliğin mikroyapısında uygulanan termomekanik işlem geçmişiyle ilgili olarak haddeleme yönünde tanelerin uzaması, deformasyon izlerinin oluşumu ve alaşım içerisinde bulunan karbon ve azot miktarına bağlı olarak mikroyapı içerisinde disperse olmuş karbürlerin oluşabileceği rapor edilmiştir [32, 33].



Şekil 4. a) AISI 430 çelik optik mikroyapı görüntüsü, farklı sıcaklıklarda bir saat süre ile tavlama işlemine tabi tutulan numunelerin optik mikroskop görüntüleri b) 300 °C, c) 500 °C ve d) 700 °C

Şekil 4-b, c ve d'de sırasıyla sac malzemeye bir saat süre ile 300 oC'de, 500 oC'de ve 700 oC'de uygulanan tavlama işlemi sonrası alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı görüntülerinde tane içinde disperse olan ve M23C6 karbür olması muhtemel siyah noktasal yapıların daha belirgin hale geldiği görülmektedir.

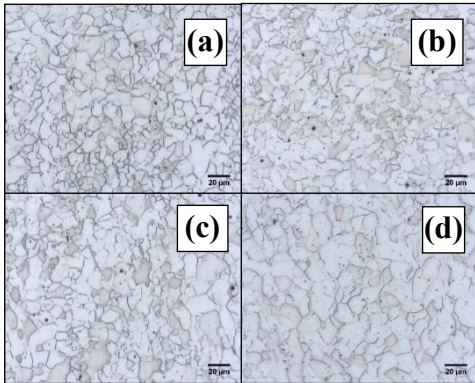
Mikroyapı görüntülerinden görüntü analiz programı vasıtasıyla gerçekleştirilen tane boyut ölçümü sonucu



tavlammamış numunenin ortalama tane boyutu 202,8  $\mu\text{m}^2$ , 300 oC'de tavlanan numunenin ortalama tane boyutu 230,4  $\mu\text{m}^2$ , 500 oC'de tavlanan numunenin ortalama tane boyutu 390,3  $\mu\text{m}^2$  ve 700 oC'de tavlanan numunenin tane boyutu 444,4  $\mu\text{m}^2$  olarak ölçülmüştür. Artan tavlama sıcaklığı ile tane boyutunda artış olması beklenen bir durumdur [34, 35]. Şekil 5'te kriyojenik işlem sonrası numelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Kriyojenik işlem sonucu elde edilen mikroyapıların ısıtma işlem uygulanmayan ve bir saat süre ile farklı sıcaklıklarda tavlama uygulanan numunelerin mikroyapılarına benzer şekilde ferrit tanelerin oluştuğu görülmektedir. Literatürde kriyojenik işlem sonucu çelikte bulunan kalıntı ostenitin martensite dönüşmesi, karbür ve martensitin daha homejen olarak mikroyapıda dağılmasına sebep olduğu bildirilmiştir [36]. Fakat bu çalışmada kriyojenik işlem öncesi herhangi bir tavlama yapılmadığı için böyle bir durum beklenmemektedir. Kriyojenik işlem sonrası gerçekleştirilen tane boyutu ölçümünde, on iki saat kriyojenik işlem sonrası ortalama tane boyutunun 201,1  $\mu\text{m}^2$ , yirmi dört saat kriyojenik işlem sonrası 191,7  $\mu\text{m}^2$ , otuz altı saat kriyojenik işlem sonrası 194,5  $\mu\text{m}^2$  ve kırk sekiz saat kriyojenik işlem sonucu 199,4  $\mu\text{m}^2$  olarak ölçülmüştür. Literatürde genel yaklaşım kriyojenik işlemin tane boyutu üzerinde büyük bir etkiye sebep olmadığı yönündedir. Gerçekleştirilen bazı çalışmalarda ise krojenik işlemin tane boyutunu eser miktarda azalttığı bildirilmiştir [37, 38]. Bununla birlikte bu çalışmada malzemeye doğrudan uygulanan kriyojenik işlem sonucu tane boyutunda bir değişim olması beklenmemektedir. Mikroyapı görüntülerinden anlaşılacağı üzere kriyojenik işlem sonrası tane boyutunda herhangi bir değişiklik olmadığı ve bir numaralı yani hiçbir işlem uygulanmayan numuneye benzer şekilde bir tane boyutu ölçüldüğü görülmektedir. Tane boyutu ölçümünde görülen kısmi farklılıkların ise malzemenin haddeleme sırasında geçirdiği deformasyon sonucu oluştuğu söylenebilir.

#### Mekanik Özellikler

Yapılan deneysel çalışmada AISI 430 paslanmaz çeliğe farklı bekleme sürelerinde derin kriyojenik işlem ve farklı sıcaklıklarda geleneksel ısıtma işlemi uygulanmıştır. Meydana gelen değişiklikleri belirleyebilmek için referans numunesine işlem uygulanmamıştır. Geleneksel ısıtma işlemde tane boyutu tavlama sıcaklığına bağlı değişmektedir. Ng ve arkadaşları (2003) düşük karbonlu çeliklerde 500oC den sonra tane boyutunun büyüdüğünü ve buna bağlı olarak sertlik/mukavemet değerlerinin düştüğünü göstermişlerdir [39].



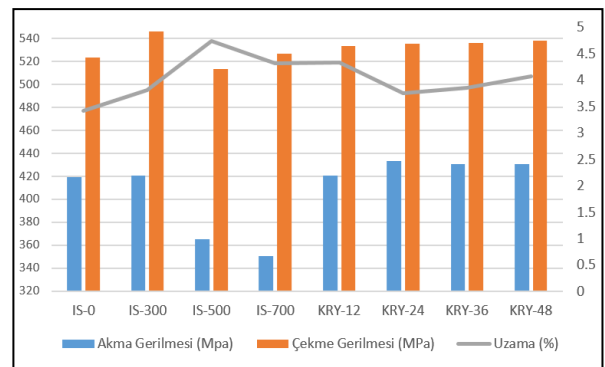
Şekil 5. Farklı sürelerde kriyojenik işleme tabi tutulan numunelerin optik mikroskop görüntüleri a) 12 saat b) 24 saat c) 36 saat ve d) 48 saat

AISI 430 paslanmaz çelikler üzerinde yapılan bu çalışmada da aynı etki gözlemlenmiştir. 500 ve 700oC'de tane boyutundaki e-ISSN: 2148-2683

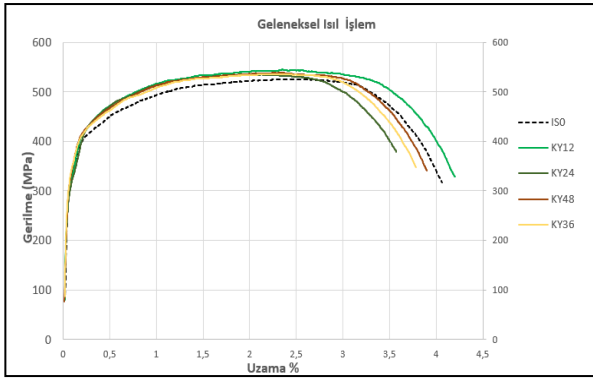
(sırasıyla %86,8 ve %92,9) büyümeyle birlikte % uzama artarken akma ve çekme dayanımı düşmüştür. Geleneksel ısıtma işlemde artan tavlama sıcaklığı ile birlikte akma dayanımında 300, 500 ve 700oC'de sırasıyla %0,3, -%12,8 ve -%16,4 değişiklik olmuştur. Çekme dayanımında ise en iyi değer 300oC'de elde edilirken referans numuneye göre 500 ve 700 oC'de azalma gerçekleşmiştir. Yüzde uzamada ise %27,8 değer ile en iyi değer 500oC'de elde edilmiştir.

Referans numunesi ve 12 saat kriyojenik işlem sonucu elde edilen mekanik özellikler karşılaştırıldığında akma dayanımında herhangi bir değişiklik gerçekleşmezken çekme dayanımında %1,88'lik iyileşme (533,65 MPa) gerçekleşmiştir. Kriyojenik işleminin bekleme süresinin çekme dayanımı üzerinde etkisi görülmezken 12 saat bekleme süresi ile 24 saat bekleme süresi arasında %2,95 iyileşme görülmüştür. 36 ve 48 saat bekleme sürelerinde 24 saat bekleme süresine nispeten eser miktarda azalma olmuştur. Kriyojenik ısıtma işlem süreleri akma ve çekme dayanımına göre değerlendirildiğinde 24 saat bekleme süresinin yeterli olduğu söylenebilir.

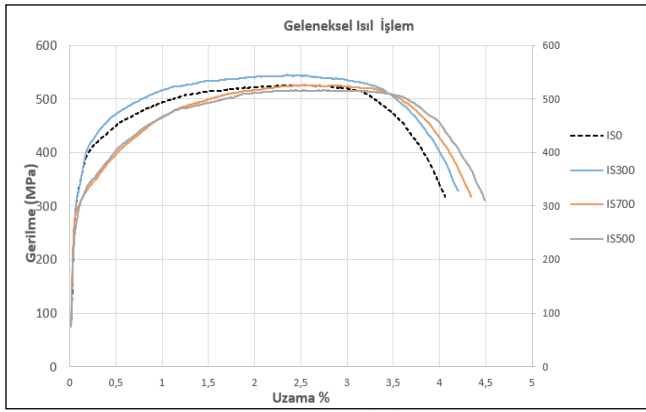
Geleneksel ısıtma işlemde mekanik özelliklerde dalgalanmaların fazla olduğu Şekil 6'da görülmektedir. Bunun sebebi geleneksel ısıtma işleminin tane büyüklüğündeki etkisinden kaynaklanmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8'de referans numunesinin geleneksel ısıtma işlem ve kriyojenik ısıtma işlem uygulanan numunelerin çekme test sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir. Çekme testi sonucunda yüzde uzamalar incelendiğinde geleneksel ısıtma işlemde 300, 500 ve 700oC'de sırasıyla %11,6, %38,6, %26,2 oranlarında iyileşme, kriyojenik işlemde ise 12, 24, 36 ve 48 saat bekleme sürelerinde sırasıyla %22,9, %9,95, %12,6 ve %19 oranlarında iyileşme meydana gelmiştir. Geleneksel ısıtma işlemde en düşük ve en yüksek yüzde uzama değerleri arasındaki fark %27, kriyojenik işlemde aradaki fark ise %12,9'dur. Kriyojenik işlemde % uzamalar arasındaki değişim oranında daha az dalgalanma meydana gelmiştir. Ayrıca geleneksel ısıtma işlemde yüzde uzama arttıkça akma dayanımı düşerken kriyojenik işlemde ise yüzde uzama artmasına rağmen akma dayanımının düşmediği belirlenmiştir.



Şekil 6. Akma, Çekme ve Uzama Değerlerinin Karşılaştırılması



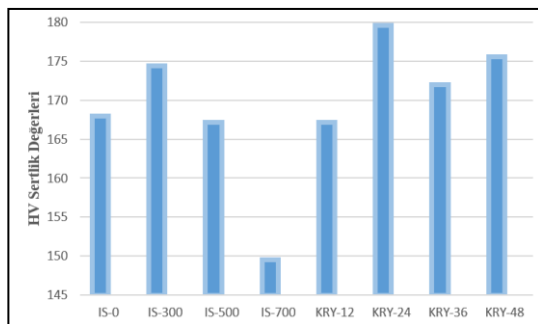
Şekil 7. Referans numunesi ve kriyojenik işlem görmüş numunelerin çekme test sonuçları



Şekil 8. Referans numunesi ve geleneksel ısıtım işlem görmüş numunelerin çekme test sonuçları

### 3.2.Sertlik Ölçümleri

Çalışmada uygulanan geleneksel ısıtım işlem ve kriyojenik işlemin etkilerini incelemek amacıyla sertlik değişimleri Shimadzu Micro Vickers Sertlik marka cihazda 10 sn 9.8 N yük uygulanarak ölçülmüştür. Şekil 9'da geleneksel ısıtım işlem ve kriyojenik işlem sonrası sertlik sonuçları verilmiştir. Geleneksel ısıtım işlemde sertlik değerleri 300, 500 ve 700 oC'de sırasıyla %3.8, %-0.47 ve %-11 değişim göstermiştir. Sonuçlara göre 700 oC'de ciddi bir düşüş görülmektedir. Bu durum mikroyapıdaki tane boyutuyla açıklanabilir. Tane boyutundaki değişim incelendiğinde geleneksel ısıtım işlem sonrası 700oC'de tane boyutunda yaklaşık %120 büyüme gerçekleşmiştir. Kriyojenik işlemde ise 12, 24, 36 ve 48 saat bekleme sürelerinde sırasıyla %-0.48, %6.9, %2.3 ve %4.5 oranlarında değişim görülmektedir.



Şekil 9. Geleneksel ısıtım işlem ve kriyojenik işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri

## 4. Sonuç

Yapılan çalışma kapsamında, kriyojenik işlemin (-140oC ve 12, 24, 36 ve 48 saat bekleme süreleri) AISI paslamaz çeliklerin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca 300, 500 ve 700oC'de geleneksel ısıtım işlem uygulayarak etkileri kriyojenik işlem ile karşılaştırılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde (akma/çekme dayanımı ve yüzde uzama) mini çekme numunesi kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre;

- Geleneksel ısıtım işlemde 300oC'den sonra tane boyutunda büyümenin etkisiyle sertlik ve mukavemet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Akma ve çekme dayanımı için 700oC'de sırasıyla %-12.8 ve %-16.4 oranında, yüzde uzama için 500oC'de %27.8 oranında artmıştır.
- Kriyojenik işlemde 24 saat bekleme süresinde tane boyutunda %5.6, 12 ve 36 saat bekleme süresinde % 4.5 ve 48 saat bekleme süresinde %1.7 oranında küçültme etkisi belirlenmiştir. Literatürde kriyojenik işlemin tane boyutunu eser miktarda azalttığı bildirilmiştir.
- Kriyojenik işlemde % uzamalar arasındaki değişim oranında daha az dalgalanma meydana geldiği belirlenmiştir.
- Geleneksel ısıtım işlemde yüzde uzama arttıkça akma dayanımı düşerken kriyojenik işlemde ise yüzde uzama artmasına rağmen akma dayanımının düşmediği belirlenmiştir.
- Kriyojenik işlemin yaygın uygulama alanlarının başında daha yüksek oranda kalıntı ostenitin martensite dönüşmesinin sağlanması, karbür ve martensitin daha homejen olarak mikroyapıda dağılması gelmektedir. AISI 430 paslanmaz çelikler ferritik bir mikroyapıya sahip oldukları için doğrudan kriyojenik uygulamaların etkileri sınırlı kalmaktadır.

## Kaynakça

1. Şirin, Ş., S. Akıncıoğlu, And G. Harun, Kriyojenik İşlem Zamanının Aısı 430 Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2018. 7(3): p. 66-71.
2. Chen, S., J. Li, and X. Zhao, Effect of Deep Cryogenic Treatment on Electrical Conductivity of Cu-Base Multicomponent Alloy. Journal of Materials Science and Engineering. B, 2014. 4(2B).
3. Engin, N. and S. AKINCIOĞLU, Kriyojenik işlem görmüş nikel esaslı süper alaşımın elektro-erozyon işleme performansı optimizasyonu. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 2019. 7(1): p. 115-126.
4. Akıncıoğlu, S., H. Gökkaya, and İ. Uygur, A review of cryogenic treatment on cutting tools. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015. 78(9-12): p. 1609-1627.
5. Kam, M. and H. Saruhan, Kriyojenik işlem uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda deneysel titreşim analizi. Politeknik Dergisi, 2019. 22(1): p. 129-134.
6. Gürhan, H., et al., Kriyojenik işlemin SAE 4140 çeliğinin mekanik özellikleri üzerine etkisi. Selçuk-Teknik Dergisi, 2014. 13(2): p. 25-37.
7. Luo, D. and S. Li, Effect of cryogenic and QPQ compound treatment on the microstructures and performance of high speed steel. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012. 25(1): p. 184-189.
8. Arslan, K.F., Soğuk iş takım çeliklerinde sıfırlı işlem derecesinin mekanik özelliklere etkisi. 2010.

9. Lal, D.M., S. Renganarayanan, and A. Kalanidhi, Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels. *Cryogenics*, 2001. 41(3): p. 149-155.
10. Abdullah, S., AISI M2 Takım Çeliğinin Mikroyapısı ve Mekanik Davranışları Üzerine Derin Kriyojenik Isıl İşlemin ve Temperlemenin Etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2020. 22(66): p. 801-811.
11. KAM, M. and H. SARUHAN, Derin Kriyojenik İşlemin Farklı Bekletme Sürelerinin AISI 4140 (42CrMo4) Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2018. 6(3): p. 553-564.
12. Uzun, M., Kriyojenik İşlem Görmüş Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi. 2014.
13. Çiçek, A., et al., A1sı D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Delinmesinde Derin Kriyojenik İşlemin Takım Ömrü Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2012. 4(1): P. 1-9.
14. Stepanov, G. And L. Lokhankina, Low-Cycle Fatigue Of Chrome-Manganese Steel At+ 20 And- 196° C. *Strength Of Materials*, 1979. 11(8): P. 847-849.
15. Collins, D., Deep Cryogenic Treatment Of A D2 Cold Work Tool Steel. *Heat Treatment Of Metals*, 1997.
16. Bensely, A., Et Al., Fatigue Behaviour And Fracture Mechanism Of Cryogenically Treated En 353 Steel. *Materials & Design*, 2009. 30(8): P. 2955-2962.
17. Devaraju, A. And V. Kishan, Influence Of Cryogenic Cooling (Liquid Nitrogen) On Microstructure And Mechanical Properties Of Friction Stir Welded 2014-T6 Aluminum Alloy. *Materials Today: Proceedings*, 2018. 5(1): P. 1585-1590.
18. Zhemchuzhnikova, D., Et Al., Cryogenic Properties Of Al-Mg-Sc-Zr Friction-Stir Welds. *Materials Science And Engineering: A*, 2014. 598: P. 387-395.
19. Wang, J., Et Al., Effects Of Deep Cryogenic Treatment And Low-Temperature Aging On The Mechanical Properties Of Friction-Stir-Welded Joints Of 2024-T351 Aluminum Alloy. *Materials Science And Engineering: A*, 2014. 609: P. 147-153.
20. Li, Y.-J., Et Al., Tensile Properties And Fracture Behavior Of Friction Stir Welded Joints Of Fe-32mn-7cr-1mo-0.3n Steel At Cryogenic Temperature. *Journal Of Materials Science & Technology*, 2018. 34(1): P. 157-162.
21. Kaya, Y., A1sı 304 Ve A1sı 430 Paslanmaz Çeliklerin T1g, M1g Ve Örtülü Elektrod Ark Kaynağıyla Birleştirilebilirliğinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2010. 25(3): P. 549-557.
22. Džugan, J., Et Al. Mini-Tensile Specimen Application For Sheets Characterization. In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*. 2017. Iop Publishing.
23. Džugan, J., Et Al. Determination Of Local Tensile And Fatigue Properties With The Use Of Sub-Sized Specimens. In *Pressure Vessels And Piping Conference*. 2015. American Society Of Mechanical Engineers.
24. Rund, M., Et Al., Investigation Of Sample-Size Influence On Tensile Test Results At Different Strain Rates. *Procedia Engineering*, 2015. 114: P. 410-415.
25. Gussev, M.N., Et Al., Sub-Size Tensile Specimen Design For In-Reactor Irradiation And Post-Irradiation Testing. *Nuclear Engineering And Design*, 2017. 320: P. 298-308.
26. Dong, R., Design Of A Specimen Geometry For The Tensile Testing Of Small Samples. 2019, University Of Pittsburgh.
27. Dongare, S., Development Of A Technique For Testing Of Tensile Properties With Miniature Size Specimens For Metal Additive Manufacturing. 2012.
28. Strnad, B. And J. Brumek, Effect Of Tensile Test Specimen Size On Ductility Of R7t Steel. *Metal*, 2013. 5(2): P. 2-7.
29. Kumar, K., Et Al., Use Of Miniature Tensile Specimen For Measurement Of Mechanical Properties. *Procedia Engineering*, 2014. 86: P. 899-909.
30. Kolhatkar, A.V., Et Al., Development Of Ultra Sub-Size Tensile Specimen For Evaluation Of Tensile Properties Of Irradiated Materials. 2018.
31. Öztürk, E., Et Al., Determination Of Mechanical Properties Of Co2 Laser Welded Dual Phase Steels Co2 Lazer Yöntemi İle Birleştirilmiş Çift Fazlı Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.
32. Balakan, A., A1sı 430 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin Perçinleme Prosesinde Çatlak Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi. 2020, Fen Bilimleri Enstitüsü.
33. Banerjee, M., 2.8 Heat Treatment Of Commercial Steels For Engineering Applications. 2017.
34. Shirdel, M., H. Mirzadeh, And M.H. Parsa, Microstructural Evolution During Normal/Abnormal Grain Growth In Austenitic Stainless Steel. *Metallurgical And Materials Transactions A*, 2014. 45(11): P. 5185-5193.
35. Xuan, F.-Z., X. Huang, And S.-T. Tu, Comparisons Of 30cr2ni4mov Rotor Steel With Different Treatments On Corrosion Resistance In High Temperature Water. *Materials & Design*, 2008. 29(8): P. 1533-1539.
36. Şirin, Ş. And S. Akıncioğlu, Investigation Of Friction Performance And Surface Integrity Of Cryogenically Treated A1sı 430 Ferritic Stainless Steel. *International Advanced Researches And Engineering Journal*, 2021. 5(2): P. 194-201.
37. Wannaprawat, N. And K. Tuchinda, Influence Of Deep Cryogenic Treatment On Microstructure, Hardness, Impact Strength And Wear Of Cubezr Alloy. *Chiang Mai Journal Of Science*, 2021. 48(2): P. 631-647.
38. Bi, J., Et Al. Effect Of Deep Cryogenic Treatment On Microstructure And Properties Of M35 High Speed Steel. In *Journal Of Physics: Conference Series*. 2021. Iop Publishing.
39. Ng, D., Et Al., Study Of Microstructure, Mechanical Properties, And Magnetization Process In Low Carbon Steel Bars By Barkhausen Emission. *Materials Science And Engineering: A*, 2003. 358(1-2): P. 186-198.