

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KRİTİK TÜFEK PARÇALARINDA MALZEME VE ISIL İŞLEM
KAYNAKLI HASARLAR VE GİDERİLMESİ**

Mehtap KUZU

**Danışman
Prof. Dr. Remzi VAROL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA- 2024**



© 2024 [Mehtap KUZU]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. AV VE SPOR TÜFEKLERİ	3
2.1. Tüfeklerin Gelişimi.....	3
2.2. Av ve Spor Tüfekleriyle İlgili Bazı Temeller	4
2.3. Av ve Spor Tüfeklerinin Çeşitleri.....	4
2.4. Tüfek Parçaları	7
2.4.1. Ateşleme iğnesi	11
2.4.2. Kilit.....	13
2.4.3. Mobil şok	14
2.4.4. Namlu.....	17
2.5. Parça Hasarları	19
3. KAYNAK ÖZETLERİ.....	24
3.1. AISI 8620	24
3.2. AISI 420	25
3.3. AISI 4140	26
3.4. Isıl İşlemler	27
3.4.1. Normalizasyon	29
3.4.2. Tavlama	30
3.4.3. Sertleştirme.....	30
3.4.4. Su verme	31
3.4.5. Temperleme	31
3.5. AISI 8620 Çeliğine Uygulanan Isıl İşlemler ve Etkileri	32
3.6. AISI 420 Çeliğine Uygulanan Isıl İşlemler ve Etkileri	35
3.7. AISI 4140 Çeliğine Uygulanan Isıl İşlemler ve Etkileri	40
3.8. Tezin Amacı	48
4. MATERYAL VE METOD.....	49
4.1. AISI 8620	55
4.2. AISI 420	60
4.3. AISI 4140	65
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	69

5.1. AISI 8620	69
5.1.1. Mekanik özellikler.....	69
5.1.2. Kırık yüzeyi incelemeleri	77
5.2. AISI 420	85
5.2.1. Mekanik özellikler.....	85
5.2.2. Kırık yüzeyi incelemeleri	90
5.3. AISI 4140	95
5.3.1. Mekanik Özellikler	95
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	104



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KRİTİK TÜFEK PARÇALARINDA MALZEME VE ISIL İŞLEM KAYNAKLI HASARLAR VE GİDERİLMESİ

Mehtap KUZU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Remzi VAROL

Bu tez çalışmasında yivsiz av ve spor tüfeklerinde kullanılan ve mekanizmanın çalışmasında kritik rol oynayan bazı silah parçalarında kullanılan AISI 420, AISI 8620 ve AISI 4140 malzemelerinin mekanik özelliklerinin ısıtılma işlemi uygulanarak iyileştirilmesi amaçlandı. Bu malzemeler savunma, otomotiv, havacılık, madencilik, inşaat ve tarım gibi birçok alanda çok yaygın kullanılmaktadır. Av ve spor tüfeklerinde kullanılan, sıcaklık ve basınca maruz kalan kritik parçalarda malzemenin uygun olmayan mikro yapısı ve uygulanan ısıtılma işlemlerinin optimize edilmemiş olmasından kaynaklanan hasarlar meydana gelebilmektedir. Isıtılma işlemi yapılırken uygulanan işlem parametrelerinde yapılacak yanlış seçimler kritik parçalarda erken hasara neden olduğundan optimum ısıtılma işlem parametrelerinin belirlenmesi, parçaların ve dolayısıyla tüfeklerin kullanım ömrü üzerinde doğrudan etkilidir. Bu çalışmada pratikte karşılaşılan, imal edilmiş ve montajı yapılmış parçaların kullanımları esnasında kırılarak hasara uğraması gibi sorunlar ele alındı ve bu hataların önüne geçilmesi için uygulanacak ısıtılma işlemlerinin optimizasyonuna çalışıldı. Yapılan çalışmalar için talaşlı imalatla üretilen numunelere ve parçalara belirlenen ısıtılma işlemleri yapılmış olup, av tüfeklerinde kullanılan bu parçaların dinamik yükler altında davranışlarını incelemek, yorulma dayanımını artırmak, malzemenin mekanik ve mikro yapı özelliklerini geliştirmek üzere deneyler yapıldı ve elde edilen veriler karşılaştırıldı. Çalışmada hazırlanan standart numunelerin ısıtılma işlemli ve ısıtılma işlemli olmayan sertlik ölçümleri, çentik darbe ve çekme deneyleri gerçekleştirildi ve kırık yüzey incelemeleri yapıldı. Elde edilen sonuçlar, ısıtılma işleminin parçaların mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiğini ve optimal parametrelerin belirlenmesiyle malzemenin genel performansını artırılabilirliğini gösterdi. Bu tezdeki veriler seçilen malzemelerin ısıtılma işlemleri için bilgiler sunmaktadır ve bu parçaların kullanım ömrünü uzatma potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Tüfek parçası, ısıtılma işlemi, hasar, mekanik özellikler, AISI420, AISI8620, AISI4140.

2024, 104 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HEAT TREATMENT AND MATERIALS BASED FAILURES OF CRITICAL SHOTGUN PARTS AND ITS PREVENTATION

Mehtap KUZU

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Remzi VAROL

The objective of this thesis was to improve the mechanical properties of AISI420, AISI 8620 and AISI 4140 materials used in some shotgun parts, which play a critical role in the operation of the mechanism, by applying heat treatment. These materials are widely used in a multitude of fields including defense, automotive, aerospace, mining, construction and agriculture. Critical parts used in hunting and sporting shotguns, which are exposed to high temperature and pressure, can be damaged due to the inappropriate microstructure of the material and the non-optimized heat treatments applied. Determining the optimum heat treatment parameters has a direct impact on the service life of the parts and therefore the shotguns, since the wrong choices in the process parameters applied during heat treatment cause premature damage to critical parts. In this study, the problems encountered in practice, such as the breakage and damage of manufactured and assembled parts during use, were addressed and the optimization of the heat treatments to be applied to prevent these errors was tried. Specific heat treatments were applied to the samples and parts produced by machining for the studies and experiments were carried out to examine the behavior of these parts used in shotguns under dynamic loads to increase fatigue strength, to improve the mechanical and microstructure properties of the material and the data obtained were compared. Hardness measurements, notch impact and tensile tests were performed and microstructure studies were carried out on the standard samples prepared in the study, with and without heat treatment. The results obtained showed that heat treatment significantly improved the mechanical properties of the parts and by determining the optimal parameters, the overall performance of the material can be improved. The data in this thesis provides information for heat treatment of selected materials and has the potential to extend the service life of these parts.

Keywords: Shotgun parts, heat treatment, failure, mechanical properties, AISI420, AISI8620, AISI4140.

2024, 104 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren ve cesaretlendiren, engin bilgi ve tecrübesiyle her karşılaştığım zorlukta yolumu aydınlatan, iyiliğini örnek aldığım kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Remzi VAROL'a yürekten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Değerli hocam Doç. Dr. Hatice VAROL ÖZKAVAK'a deneysel çalışmalarındaki katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Mevcut imkanlarını kullanmama müsaade eden Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü yönetimi ile yardımlarından dolayı tüm hocalarıma ve teknisyen abilerime teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin çalışmaları boyunca malzeme tedariki ve talaşlı imalat tezgahlarının kullanım izni için Yıldız Silah Sanayi şirketine ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Beni hayatımın her anında destekleyen, yüreklendiren, bana ışık olan ve sevgisiyle beni her daim güvende hissettiren sevgili babam Adem KUZU'ya sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmalarım ve hayatım boyunca bana olan güveniyle bana özgüven veren, motive eden ve beni hiç yalnız bırakmayan sevgili annem Münevver KUZU'ya ve her anımda desteğini yanımda hissettiğim, neşe kaynağım sevgili kardeşim Beyza KUZU'ya sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Hayatımın tüm anlarında olduğu gibi meslek ve akademik hayatımda da beni hiç yalnız bırakmayan, karşılaştığım bütün zorluklara bir mühendis gözüyle çözümler üreten, hayranlıkla şahit olduğum zekası ve centilmenliğiyle bana yaptığım tüm işlerde güven veren ve tez yazma sürecindeki en büyük motivasyon kaynağım olan hayat arkadaşım Samed ENSER'e en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazma sürecinde yanımdan hiç ayrılmayan ve her zaman sevildiğimi hissettiren Madrid, Gritoş, Saritoş, Sera ve Badem'e sevgilerimi sunarım.

Mehtap KUZU
ISPARTA, 2024

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1. 1. Tüfek bileşenleri	1
Şekil 1. 2. Örnek bir tüfek mekanizması ve iç parçaları.....	2
Şekil 2. 1. Tarihte kullanılan ilk mekanik ateşlemeli silahlardan bir illüstrasyon	3
Şekil 2. 2. Tek kırma tüfek fotoğrafı	5
Şekil 2. 3. Süper-poze tüfek fotoğrafı	5
Şekil 2. 4. Çifte kırma tüfek fotoğrafı.....	5
Şekil 2. 5. Çifte kırma tüfek örnek fotoğrafı.....	5
Şekil 2. 6. Yarı otomatik tüfek örnek resmi	6
Şekil 2. 7. Pompalı tüfek örnek resmi	6
Şekil 2. 8. Örnek bir namlu grubu.....	8
Şekil 2. 9. Örnek bir ana gövde grubu fotoğrafı	9
Şekil 2. 10. El kundağı grubu.....	9
Şekil 2. 11. Örnek dipçik fotoğrafları	10
Şekil 2. 12. Mekanizma içerisindeki ateşleme iğneleri	11
Şekil 2. 13. İğnenin fişeğe vurması.....	12
Şekil 2. 14. Ateşleme iğnesi ve fişek tabanı	12
Şekil 2. 15. Açık haldeki tüfek örnek fotoğrafları	13
Şekil 2. 16. Namlu ucuna takılmış mobil şoklar	14
Şekil 2. 17. Şok çeşitleri.....	15
Şekil 2. 18. Farklı çeşitlerdeki mobil şok örnekleri	15
Şekil 2. 19. Normal ve uzatma mobil şok örnekleri.....	16
Şekil 2. 20. Örnek bir grupman test sonucu	16
Şekil 2. 21. Hedefe nişan alan bir atıcının fotoğrafı.....	17
Şekil 2. 22. Namlu boyu ve basınç grafiği.....	18
Şekil 2. 23. Hasara uğramış namlu örneği.....	19
Şekil 2. 24. Hasara uğramış namlu örneği.....	19
Şekil 2. 25. Yetersiz sertlikteki parçada aşınma örneği	20
Şekil 2. 26. İmalat hatası kaynaklı hasarlı mobil şok	20
Şekil 2. 27. Yanlış ısı işlem kaynaklı hasar alan mobil şoklar	21
Şekil 2. 28. Yanlış ısı işlem kaynaklı hasar alan mobil şoklar	21
Şekil 2. 29. Yanlış ısı işlem kaynaklı hasar alan mobil şok	21
Şekil 2. 30. Isıl işlem kaynaklı hasar alan ateşleme iğnesi.....	22
Şekil 2. 31. Isıl işlem kaynaklı hasar alan ateşleme iğnesi.....	22
Şekil 2. 32. Hasara uğramış örnek bir tüfek parçası	23
Şekil 3. 1. Malzemelere uygulanan ısılı işlemler	28
Şekil 3. 2. Metallere uygulanan tipik bir ısılı işlem prosedürü.....	29
Şekil 3. 3. AISI 8620 çeliğine uygulanmış örnek bir ısılı işlem prosedürü	32
Şekil 3. 4. Su verilmiş ve 3 farklı sıcaklıkta temperleme uygulanmış 8620 çeliğinin çekme testi ve darbe dayanımı testi sonuçları	33
Şekil 3. 5. Uygulanan ısılı işlem prosedürü	34
Şekil 3. 6. Elde edilen sertlik sonuçlarının grafiği.....	34
Şekil 3. 7. Sertlik testi sonuçları	36
Şekil 3. 8. Darbe dayanımı deneyi sonuçları	37
Şekil 3. 9. Çekme testi sonuçları.....	37

Şekil 3. 10. (a)Sertlik testi ve (b) korozyon dayanımı sonuçları	38
Şekil 3. 11. Farklı sertleştirme ortamlarına göre sertlik deneyi sonuçları.....	39
Şekil 3. 12. Isıl işlemlere göre sertlik değerleri.....	40
Şekil 3. 13. Charpy çentik darbe deneyi sonuçları	41
Şekil 3. 14. Uygulanan ısıl işlem prosedürleri grafiği	42
Şekil 3. 15. Çentik darbe deneyi sonuçları	44
Şekil 3. 16. Sertlik değeri sonuçları	44
Şekil 3. 17. Uygulanan ısıl işlem prosedürü.....	45
Şekil 3. 18. Mikro yapı görüntüleri, a)Su verme + 400°C'de temperleme, b) Su verme + 500°C'de temperleme, c)Su verme + 600°C'de temperleme.....	46
Şekil 3. 19. Uygulanan ısıl işlem prosedürü.....	47
Şekil 3. 20. Isıl işlemler sonucu Gerilim/Gerinim eğrisi.....	47
Şekil 4. 1. Sertlik ölçümlerinde kullanılan Rockwell sertlik ölçüm cihazı	49
Şekil 4. 2. Testlerde kullanılan Charpy çentik darbe test cihazı a) deneye hazır halinden fotoğraf, b) deney sonundan fotoğraf	50
Şekil 4. 3. Charpy darbe dayanım testi prensibi	51
Şekil 4. 4. Charpy darbe deneyi uygulanmış örnek numunelerin kırık yüzey görüntüleri a) Gevrek kırılma modu, b) Karışık kırılma modu, c) Sünek kırılma modu.....	51
Şekil 4. 5. Çelik malzemede darbe direnci (dinamik tokluk) değerine % karbon (C) oranının etkisi	52
Şekil 4. 6. Çelik malzemede darbe direnci (dinamik tokluk) değerine % kükürt (S) oranının etkisi	52
Şekil 4. 7. Testlerde kullanılan çekme testi cihazı.....	53
Şekil 4. 8. Çeliklerin karbon oranlarına göre örnek gerilim/gerinim eğrileri.....	54
Şekil 4. 9. Örnek bir SEM cihazı ve bileşenleri.....	54
Şekil 4. 10. Charpy çentik darbe test numunelerinin teknik resmi.....	55
Şekil 4. 11. Çekme testi numunelerinin teknik resmi.....	55
Şekil 4. 12. Çekme testi numunelerinin cad çizimi	55
Şekil 4. 13. Uygulanan ısıl işlem prosedürünün şematik gösterimi	56
Şekil 4. 14. Normalize edilmiş AISI 8620 çelik numuneleri	57
Şekil 4. 15. Uygulanan ısıl işlem prosesinden görseller: a) fırının sıcak haldeki görünüşü, b) fırın içinde numunelerin görünüşü, c) fırında temperleme sıcaklığı, d) fırından çıkarılıp soğumaya bırakılmış numuneler.....	59
Şekil 4. 16. Charpy çentik darbe test numunelerinin teknik resmi.....	60
Şekil 4. 17. Çekme testi numunelerinin teknik resmi.....	60
Şekil 4. 18. Çekme deneyi numunelerinin cad çizimi	60
Şekil 4. 19. Normalizasyon işlemi uygulanmış AISI 420 çelik parçalar	61
Şekil 4. 20. Uygulanan ısıl işlem prosedürünün şematik gösterimi.	62
Şekil 4. 21. Normalizasyon işlemi öncesi ve sonrası numuneler	62
Şekil 4. 22. Isıl işlem uygulamalarından fotoğraflar; a)Temperleme aşaması, b)Sertleştirme aşaması, c)Normalizasyon aşaması, d) Fırının içinden bir görünüş	64
Şekil 4. 23. Charpy çentik darbe deneyi numunelerinin teknik resmi.....	65
Şekil 4. 24. Charpy deney numunesinin fotoğrafı	65
Şekil 4. 25. Çekme deneyi numunelerinin teknik resmi	65
Şekil 4. 26. Çekme deneyi numunelerinin cad çizimi	66

Şekil 4. 27. Uygulanan ısıtma işlem prosedürünün şematik gösterimi	66
Şekil 4. 28. Normalizasyon işlemi öncesi çekme numunelerinin genel görünüşü.....	67
Şekil 4. 29. Isıl işlemlerden fotoğraflar; a)Temperleme işlemi, b)Sertleştirme işlemi, c)Su verme işlemi esnasından genel görünüşler.....	68
Şekil 5. 1. Bazı çentik darbe numunelerinin deney sonrası genel görünüşleri ve sonuçları.....	72
Şekil 5. 2. Sertlik deneyi sonuçları grafiği	73
Şekil 5. 3. Darbe dayanımı deneyi sonuçları grafiği	73
Şekil 5. 4. Akma dayanımı değerlerinin toplu halde grafiği	74
Şekil 5. 5. Temperleme sıcaklıklarına göre çekme dayanımı değerleri grafiği....	75
Şekil 5. 6. Temperleme sıcaklıklarına göre uzama değerleri grafiği.....	75
Şekil 5. 7. Gerilme-gerinim grafiklerinin toplu halde gösterilmesi	76
Şekil 5. 8. Sadece normalizasyon yapılmış çekme numunesi; Akma dayanımı: 220 MPa, Çekme dayanımı: 592 MPa, Kopma Uzaması: %26,5.....	77
Şekil 5. 9. Sadece normalizasyon yapılmış çekme numunesinin kırık yüzeyi makro görüntüsü; Akma dayanımı: 220 MPa, Çekme dayanımı: 592 MPa, Kopma Uzaması: %26,5	77
Şekil 5. 10. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 955 MPa, Çekme dayanımı: 1310 MPa, Kopma Uzaması: %10,4.....	78
Şekil 5. 11. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 955 MPa, Çekme dayanımı: 1310 MPa, Kopma Uzaması: %10,4.....	79
Şekil 5. 12. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 955 MPa, Çekme dayanımı: 1310 MPa, Kopma Uzaması: %10,4.....	79
Şekil 5. 13. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 955 MPa, Çekme dayanımı: 1310 MPa, Kopma Uzaması: %10,4.....	80
Şekil 5. 14. Su verme (tuzlu su) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 980 MPa, Çekme dayanımı: 1340 MPa, Kopma Uzaması: %10.....	80
Şekil 5. 15. Su verme (musluk suyu) + 450°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 875 MPa, Çekme dayanımı: 940 MPa, Kopma Uzaması: %12,9	81
Şekil 5. 16. Su verme (musluk suyu) + 450°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 875 MPa, Çekme dayanımı: 940 MPa, Kopma Uzaması: %12,9	81
Şekil 5. 17. Su verme (musluk suyu) + 650°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 590 MPa, Çekme dayanımı: 645 MPa, Kopma Uzaması: %21,6.....	82
Şekil 5. 18. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme darbe testi numunesi, darbe dayanım değeri: 75,996 J/cm ²	82
Şekil 5. 19. Su verme (tuzlu su) + 250°C temperleme darbe testi numunesi, darbe enerjisi değeri: 58,83 J/cm ²	83
Şekil 5. 20. Su verme (musluk suyu) + 450°C temperleme darbe testi	

numunesi, darbe dayanım değeri: 80,89 J/cm ²	83
Şekil 5. 21. Su verme (musluk suyu) + 450°C temperleme darbe testi numunesi, darbe dayanım değeri: 80,89 J/cm ²	84
Şekil 5. 22. Su verme (tuzlu su) + 650°C temperleme darbe testi numunesi, darbe direnci değeri: 105,415 J/cm ²	84
Şekil 5. 23. Sertlik sonuçlarının toplu halde verilen grafiği	87
Şekil 5. 24. Çentik darbe deneyi sonuçlarının toplu haldeki grafiği	87
Şekil 5. 25. Temperleme sıcaklığı-akma dayanımı ilişkisi grafiği	88
Şekil 5. 26. Temperleme sıcaklığı-çekme dayanımı ilişkisi grafiği	89
Şekil 5. 27. Temperleme sıcaklığı-kopma uzaması ilişkisi grafiği	89
Şekil 5. 28. Gerilme-gerinim eğrilerinin toplu halde görünüşü	90
Şekil 5. 29. Çekme deneyi numunesi (alındığı gibi) ; Akma dayanımı: 345 MPa, Çekme dayanımı: 573 MPa, Kopma Uzaması: %36,3	90
Şekil 5. 30. Sadece normalizasyon yapılmış çekme numunesi; Akma dayanımı: 1355 MPa, Çekme dayanımı: 1711 MPa, Kopma Uzaması: %20	91
Şekil 5. 31. 275 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1161 MPa, Çekme dayanımı: 1522 MPa, Kopma Uzaması: %24,7	92
Şekil 5. 32. 275 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1161 MPa, Çekme dayanımı: 1522 MPa, Kopma Uzaması: %24,7	92
Şekil 5. 33. 275 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1161 MPa, Çekme dayanımı: 1522 MPa, Kopma Uzaması: %24,7	93
Şekil 5. 34. 425 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1120 MPa, Çekme dayanımı: 1450 MPa, Kopma Uzaması: %26,3	93
Şekil 5. 35. 425 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1120 MPa, Çekme dayanımı: 1450 MPa, Kopma Uzaması: %26,3	94
Şekil 5. 36. 425 °C'de temperlenmiş darbe testi numunesi, darbe dayanım değeri: 55,16 J/cm ²	94
Şekil 5. 37. Sertlik deneyi sonuçlarının toplu haldeki grafiği	96
Şekil 5. 38. Charpy çentik darbe deneyi sonuçlarının toplu haldeki grafiği	96
Şekil 5. 39. Akma dayanımı değerlerinin toplu haldeki grafiği	97
Şekil 5. 40. Çekme dayanımının toplu haldeki grafiği	98
Şekil 5. 41. Kopma uzaması değerlerinin toplu haldeki grafiği	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

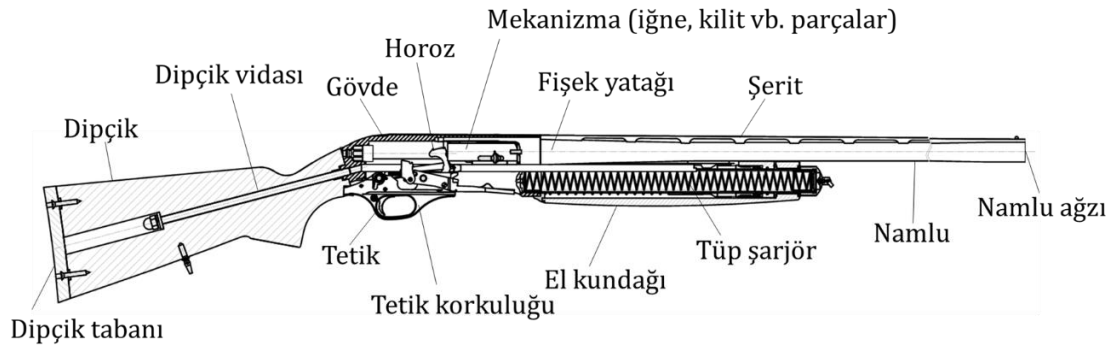
	Sayfa
Çizelge 3. 1. AISI 8620 çeliğinin standartlara göre kimyasal kompozisyonu.....	24
Çizelge 3. 2. AISI 8620 çeliğinin farklı standartlardaki sınıflandırmaları.....	25
Çizelge 3. 3. AISI 420 çeliğinin standartlara göre kimyasal kompozisyonu	26
Çizelge 3. 4. AISI 4140 çeliğinin standartlara göre kimyasal kompozisyonu.....	27
Çizelge 3. 5. Çalışmada uygulanan örnek ısıtma işlem parametreleri	33
Çizelge 3. 6. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri.....	36
Çizelge 3. 7. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri.....	41
Çizelge 3. 8. Uygulanan Isıtma İşlem Parametreleri	41
Çizelge 3. 9. Elde edilen akma ve çekme dayanımı değerleri	42
Çizelge 3. 10. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri	43
Çizelge 3. 11. Çekme testi sonuçları	43
Çizelge 3. 12. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri.....	45
Çizelge 3. 13. Elde edilen sertlik değerleri.....	45
Çizelge 3. 14. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri.....	46
Çizelge 3. 15. Çekme deneyi sonuçları.....	47
Çizelge 4. 1. Kullanılan 8620 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu.....	55
Çizelge 4. 2. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri.....	58
Çizelge 4. 3. Kullanılan 420 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu.....	60
Çizelge 4. 4. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri.....	63
Çizelge 4. 5. Kullanılan 4140 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu	65
Çizelge 4. 6. Uygulanan ısıtma işlem parametreleri.....	66
Çizelge 5. 1. Sertlik deneyi sonuçları.....	69
Çizelge 5. 2. AISI 8620 çelik malzemenin darbe dayanım test sonuçları.....	70
Çizelge 5. 3. Çekme testi sonuçları	72
Çizelge 5. 4. Sertlik değerleri tablosu.....	85
Çizelge 5. 5. Çentik darbe testi sonuçları tablosu.....	86
Çizelge 5. 6. Çekme deneyi sonuçları tablosu	88
Çizelge 5. 7. Sertlik değerleri tablosu.....	95
Çizelge 5. 8. Charpy çentik darbe deneyi sonuçları.....	95
Çizelge 5. 9. Çekme deneyi sonuçları	97

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
CIP	Küçük ve Hafif Silahların Denetimi için Uluslararası Sürekli Komisyon
cp_{su}	Öz ısı
m_{su}	Kütle
SAAMI	Spor Silahları ve Mühimmat Üreticileri Enstitüsü
Q_{su}	Enerji
ΔT	Sıcaklık farkı
$^{\circ}C$	Santigrad derece
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
J	Joule
cm	santimetre
kpm	kilopound metre
M	Çentik darbe dayanımı
G	Sarkaç ağırlığı
H	Sarkacın ilk yüksekliği
h	Sarkacın son yüksekliği
A	Numunenin çentik altında kalan kesit alanı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu

1. GİRİŞ

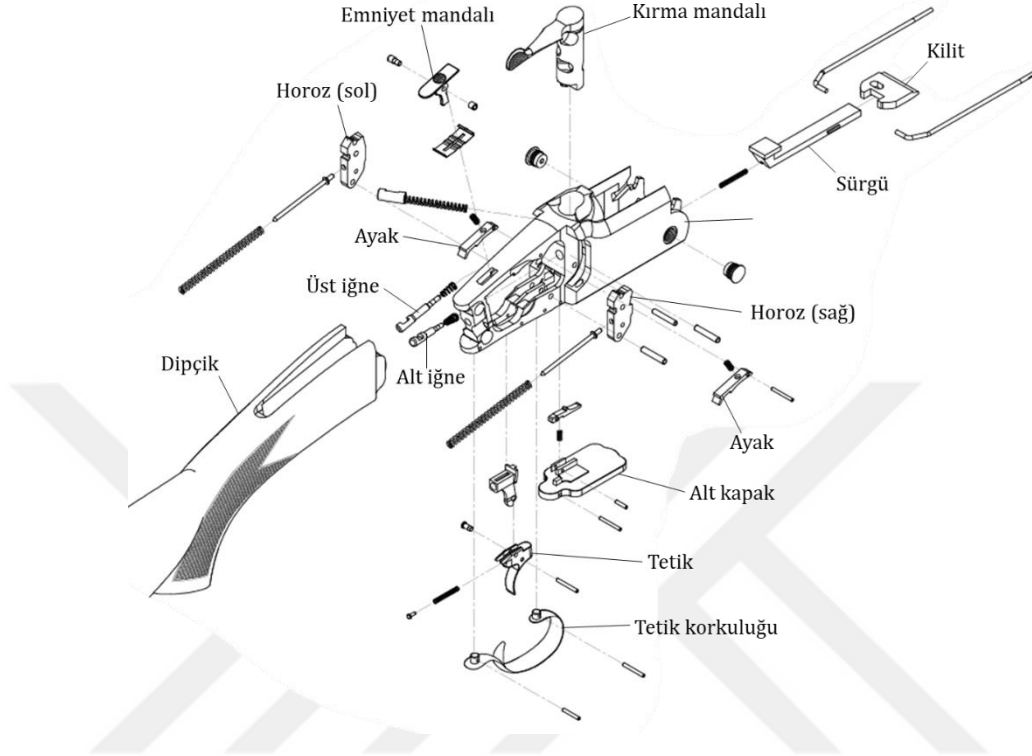
Mühendislik yapılarındaki yorulma, kırılma, aşınma ve korozyon gibi arızaların büyük çoğunluğu özellikle malzemelerin yüzeylerinden veya dış katmanlarından kaynaklanmaktadır. Aşınma, en önemli arıza mekanizmalarından biridir ve malzemelerin yüzey durumuyla doğrudan ilişkilidir. Malzemelerin aşınma direnci ve mekanik özellikleri; yüzey sertliği artırılarak, artık basma gerilmeleri oluşturularak, tane boyutu küçültülerek ve malzeme yüzeyinde sert fazların/katmanların üretilmesi ile iyileştirilebilir. Bu yüzden aşınma özelliklerinin ve malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için malzemelere yüzey iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır (Kovacı vd., 2019). Malzemelerin mekanik özelliklerinin, kullanım yerlerine göre optimizasyonunun sağlanmasında kullanılan ilk yöntem ısı işlemlerdir. Isıl işlem metotları ve parametreleri malzemeye ve aranan mekanik özelliklere göre farklılık gösterir. Av tüfeklerinde de yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan kritik parçalar mevcut olduğundan parçaların mekanik özelliklerinin optimize edilmesi oldukça önemlidir. Şekil 1.1’de yüksek sıcaklık ve basınçta maruz kalan örnek bir yarı-otomatik tüfeğin bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 1. 1. Tüfek bileşenleri (Yıldız Silah izniyle)

Şekil 1.2’de örnek bir tüfek mekanizması ve mekanizmayı oluşturan iç parçalar gösterilmektedir. Bir tüfekte 80 ila 100 adet arasında parça bulunur ve tüm parçalar birbirleriyle uyum içinde çalışmak zorundadır. Bu zorunluluk, imalatçıları her parçanın mekanik özelliklerini bilmeye ve birbiriyle çalışan parçaların mekanik özelliklerini optimize etmeye mecbur bırakmaktadır.

Mekanizmayı oluşturan parçaların sürekli temas ve dolayısıyla sürekli sürtünme halinde olması, bu parçaların aşınma dirençlerini ve darbe dayanımlarını oldukça önemli kılar.



Şekil 1. 2. Örnek bir tüfek mekanizması ve iç parçaları (Yıldız Silah izniyle)

Özellikle havacılık ve savunma sanayi sektöründe parçaların çok hassas yüzey kalitesine sahip olması gerekmektedir. Isıl işlem yapılırken uygulanan işlem parametrelerinde yapılacak yanlış seçimler kritik parçalarda erken hasara neden olmaktadır. Kritik parçaların malzeme veya ısıl işleminden kaynaklanan çatlama, kırılma, yorulma gibi erken veya beklenmedik hasara uğraması, özellikle savunma ve havacılık gibi yüzey kalitesinin maksimum önem arz ettiği sektörlerde çok tehlikeli sonuçlar doğurabilir.

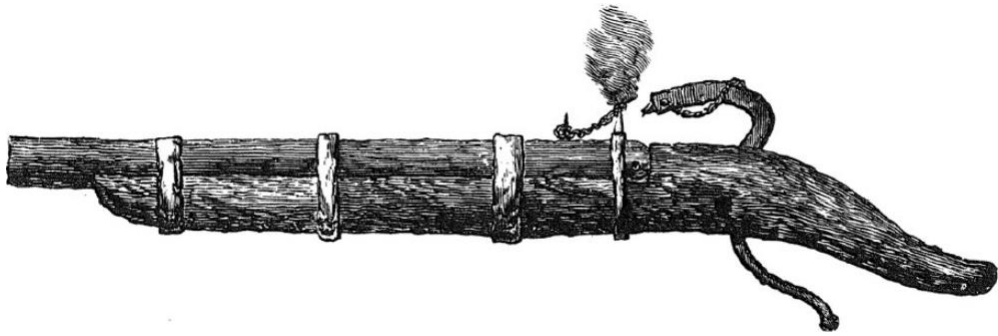
Tez çalışmaları boyunca incelenecek malzemeler ülkemizde savunma ve havacılık sanayinde oldukça önemli bir yere sahip olup, özellikle silah sanayinde oldukça yaygın kullanılmaktadır. Silahların kullanım ömrünün artırılması malzeme ömrüne bağlıdır ve kullanım ömrü pazar rekabetini ciddi anlamda etkilemektedir. Bu tezin yazımı boyunca yapılan çalışmalar ile malzeme ömrü ve dolayısıyla silahların kullanım ömrünün artırılması hedeflenmektedir.

2. AV VE SPOR TÜFEKLERİ

2.1. Tüfeklerin Gelişimi

Hafif ateşli silahlardan olan tüfekler, fişek veya merminin ateşlenmesi ve namlu boyunca ilerleyerek yönlendirilmesiyle hedefe atış yapılmasını sağlayan mekanizmalardır. Tüfekler, ateşli silahların icadıyla insanlık tarihinde çok geniş bir alanda yer etmiştir ve teknolojinin ilerlemesiyle her geçen gün gelişmeye devam etmektedir.

İnsanlar tarih boyunca avlanmak için çeşitli yöntemler kullanmıştır. Çinliler tarafından barutun keşfinin ardından, bu patlayıcı ve itici güç kullanılarak uzaktan hedefe atış yapma olanağı sağlayan ilk ateşli silahların icadı ile insanların avlanma ve savaş yöntemleri kökten değişmiştir. İlk tüfeklerin ortaya çıkışı namlu ağzından doldurulmalı silahlar olarak meydana gelmiş ve bu, modern tüfeklerin gelişimi için atılmış önemli bir adım olmuştur. Tarihte bilinen ilk mekanik ateşlemeli silahlar “fitilli tüfek” icadıyla imal edilmiş ve silah tasarımlarını büyük ölçüde değiştirmiştir. Tarih boyunca çeşitli yöntemler geliştirilerek silahların ateşleme sistemleri, kilit sistemleri, mekanizmaları gibi özellikleri günümüz silahlarına evrilmeye başlamıştır. (Greener, 1910).



Şekil 2. 1. Tarihte kullanılan ilk mekanik ateşlemeli silahlardan bir illüstrasyon (Greener, 1910)

2.2. Av ve Spor Tüfekleriyle İlgili Bazı Temeller

Av ve spor tüfeklerinin imalatında; makine kullanımı, el işçiliği ve ısıt işlemler olmak üzere üç ana teknoloji; kalite ve dolayısıyla pazar rekabeti için oldukça önemli ve üreticiyi zorlayan temellerdir (IGARI, 2002).

Av ve spor tüfeklerinde bir atıcının hedefe atışını sağlayan namlunun doğrusalılığı, iç parçalardaki ölçülerin hassasiyet ve toleransları ile dipçik kalitesi başlıca önem taşıyan parametrelerdir. Bunun yanında estetik görünüm, tüfekler için önemli bir parametredir. Gravür ve el işçiliği ile finiş işlemleri burada devreye girer. Bunlar av tüfeğinin değerini ve fiyatını artıran parametrelerdir.

Av tüfeklerinin tesirli mesafesi ortalama 75 metredir. Kullanım aralığı ise 25 ile maksimum 150 metre arasındadır. Bir av tüfeğinin ortalama ağırlığı 3 kilogramdır. Av tüfeklerinin üretiminde Türkiye’de TS 870 standardı kullanılır (TS870, 2019). Avrupa birliği ülkelerinde tüfeklerin kontrolü için CIP test ve standartları, Amerika’da ise SAAMI test ve standartları uygulanır. TSE ve CIP nispeten birbirine yakın standartlardır. CIP standartları fişek yataklarının ölçümü ve basınçlı fişeklerin test edilmesi, dolayısıyla mekanizmanın işleyişi ile daha çok ilgilenir. SAAMI testleri ise genellikle tüfek düştüğünde patlama, kendiliğinden ateş alma olmaması gibi güvenlik amaçlı esasları içerir (Das vd., 2021).

2.3. Av ve Spor Tüfeklerinin Çeşitleri

Yivsiz av ve spor tüfekleri çeşitlerine göre; tekli kırma, süper-poze, çifte kırma, yarı otomatik ve pompalı tüfekler olarak sınıflandırılabilir.

Tek kırma tüfekler Şekil 2.2’de görülen, tek namluya sahip tüfeklerdir. Süper-poze tüfekler, Şekil 2.3’te örneği verilen üst üste namlulu tüfeklerdir (Yıldız Shotgun). Avlanmanın yanında sporcu tüfeği olarak skeet, trap, clay atışlarında, olimpiyat ve şampiyonalarda kullanılırlar. Atıcılık sporunda, bir antrenmanda ortalama 1500-2000 fişek atılmaktadır ve atış boyunca sporcunun yorulmaması

adına geri tepmenin az olması, tüfeğin dengeli ve balanslı olması önemlidir. Bu nedenle sporcu tüfekleri 3,5-3,8 kg arasında değişen ağırlığı ile av tüfeklerine göre daha ağırdır dolayısıyla sporcu tüfeklerinin geri tepmeleri azdır. Ağırlıklarının yanında sporcu tüfekleri genellikle ayarlanabilir dipçikli, çelik gövdeli, daha uzun namlulu ve geniş üst şeritli tüfeklerdir. Tüfeklerde geri tepmeyi azaltmak için dipçiklerin tabanında genellikle kauçuk malzemeden yapılan ve geri tepme enerjisini absorbe eden dipçik tabanı bulunur. Daha çok İngiltere'deki yaygınlıklarıyla bilinen klasik çifte kırmalar ise Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te örnekleri verilen geleneksel yan yana namlulu tüfeklerdir (Yıldız Shotgun).



Şekil 2. 2. Tek kırma tüfek fotoğrafı (Yıldız Shotgun)



Şekil 2. 3. Süper-poze tüfek fotoğrafı (Yıldız Shotgun)



Şekil 2. 4. Çifte kırma tüfek fotoğrafı (Yıldız Shotgun)



Şekil 2. 5. Çifte kırma tüfek örnek fotoğrafı (Yıldız Shotgun)

Avcılık ve atıcılıkta kullanılan geleneksel süper-poze ve çift kırma tüfeklerinden bulundurdıkları şarjörler ile ayrılan yarı-otomatik ve pompalı tüfekler 2+1, 4+1 ve 7+1 gibi üretilen fişek kapasitelerine göre arka arkaya daha fazla atış yapma imkanı sunarlar. Yarı-otomatik tüfekler ve özellikle pompalı tüfekler, avcılık ve atıcılığın yanında savunma amaçlı da kullanılabilirler. Yarı otomatik tüfekler iki farklı sistemde çalışır: gaz geri tepmesi ve yaylı sistem. Yaylı sistem tüfeklerin düşük gramajlı fişeklerle çalıştırılması zordur, genellikle 32 gram ve üstü fişeklerle atılabilir. Gazlı sistem tüfekler ise her tür fişekle çalışabilir ancak piston ve kol borularının olması nedeniyle barut gazının isi ve cürufu tüfeğin iç kısmında birikerek tüfeğin belli aralıklarla temizlenmesini ve bakımını gerektirir. Şekil 2.6'da örnek bir yarı otomatik tüfek verilmiştir. Şekil 2.7'de örneği verilen pompalı tüfekler daha çok savunma amaçlı tüfeklerdir (Yıldız Shotgun). Pompalı tüp şarjörlü olarak ve çıkartılabilen mobil şarjörlerle üretilebilmektedir. Çıkarılabilen mobil şarjörlü pompalı tüfekler daha çok taktik tüfeklerde yaygınlaşmıştır. Pompalı tüfekler ile yarı-otomatik tüfekler arasındaki temel fark; yarı-otomatik tüfekler her tetiğe basışta boş fişegi dışarı atarak dolu fişegi otomatik olarak hazneye sürerken, pompalı tüfeklerde bu işlem için el kundağının manuel olarak ileri geri hareket ettirilmesi gerekliliğidir. ABD'deki polis teşkilatı, tabancanın yanında psikolojik caydırıcılığın ve yakın mesafede etkili atış yapma kabiliyetinden dolayı pompalı tüfekleri tercih eder ve bu nedenle pompalı tüfek kullanımı oldukça yaygındır.



Şekil 2. 6. Yarı otomatik tüfek örnek resmi (Yıldız Shotgun)



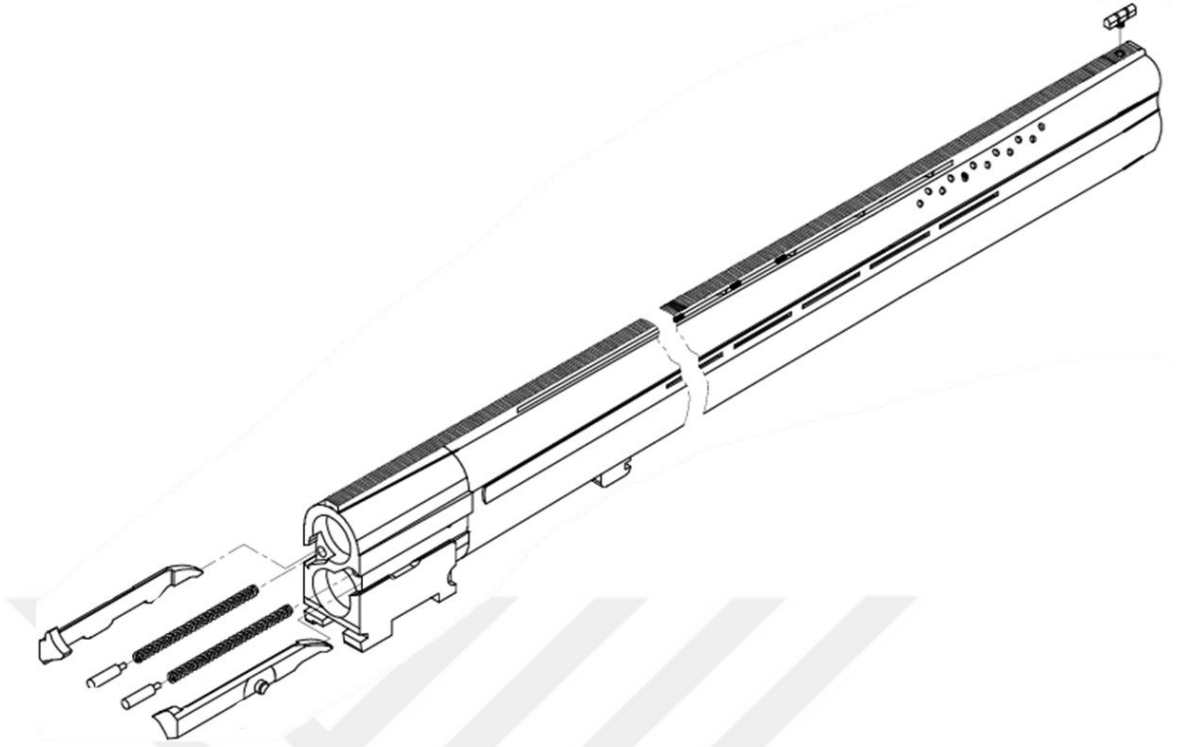
Şekil 2. 7. Pompalı tüfek örnek resmi (Yıldız Shotgun)

Av ve spor tüfekleri, namlu çaplarına göre sınıflandırılabilir. Yaygın olarak 12, 16, 20, 28 ve 36 kalibre olarak üretilir ve kullanılırlar. Türkiye’de yaygın ve bilinenleri 12, 16 ve 20 kalibrelerdir. Avrupa’da ise tamamı yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle 28 ve 36 gibi küçük kalibreler geri tepmenin az olmasından dolayı gençler tarafından da oldukça sık tercih edilir. 12 kalibre tüfekler basıncı en yüksek olan tüfeklerdir, dolayısıyla geri tepmesi diğerlerine göre yüksektir. Av tüfeklerinde fi ek basıncı 600 ile 1050 bar arasındadır. Saçma gramajına göre 24-28-32-36 gram fi ekler kullanılmaktadır. 36 gram genellikle çok soğuk havalarda ve uzun menzilde; düşük gramajlı fi ekler ise daha yakın mesafelerde ve bıldırcın avı gibi küçük avlarda tercih edilir. Av tüfekleriyle kurşun atımı da mümkündür ve kurşun kullanımı genellikle hedef atı larında veya yaban domuzu avlarında kullanılır. Av tüfekleri namlu boylarına göre de yasal sınırlar içerisinde sınıflandırılır. 51, 66, 71, 76 ve 81 cm namlu boyları en çok kullanılanlardır.

2.4. Tüfek Parçaları

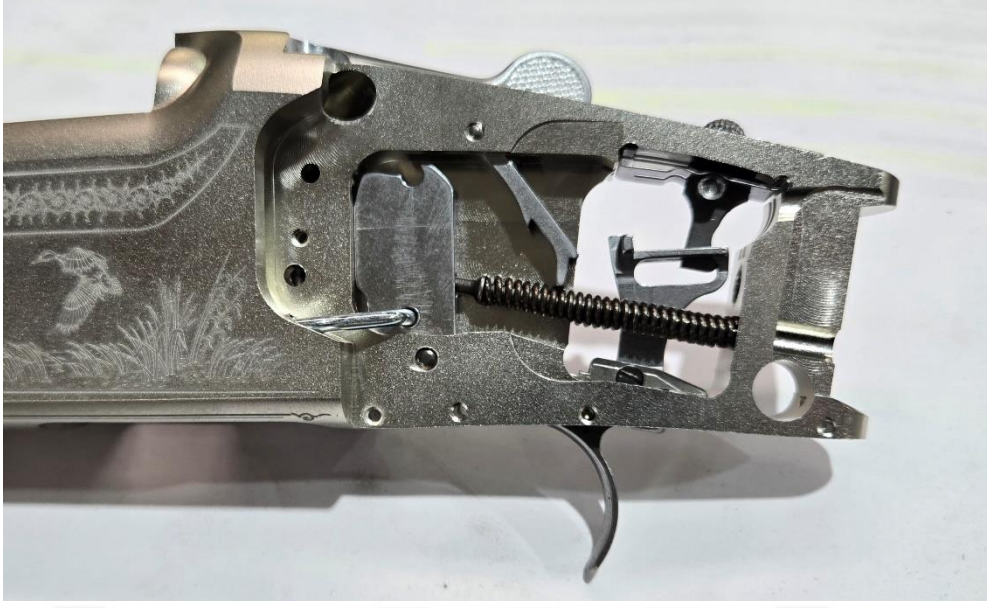
Av ve spor tüfeklerinde modele göre de i mekle birlikte ortalama 80 ila 100 adet parça bulunur ve her parça montaj esnasında birbirine alı tırılarak toleransları ayarlanır. Tüfek parçalarını 4 önemli grupta toplayabiliriz. Bunlar; namlu grubu, gövde grubu, el kunda ı grubu ve dipçik grubu olarak ayrılır.

Namlu grubunda namlu ve yardımcı parçalar bulunur ( ekil 2.8). Namlunun esas amacı atılan fi e i veya mermiyi hedefe yönlendirmektir. T fe in çeşidine göre bu grupta bulunabilen ejektör ile boş kovanlar, tüfek açıldığı sırada otomatik olarak dışarı atılır. Namlu üzerinde bulunan yardımcı parçalardan biri olan şeritler ve üzerlerinde bulunan arpacıklar atıcının hedefine nişan almasına olanak tanır. Namlu ağzında (fi e in çıkış noktası) saçmaların sapmalarının ayarlanabilece i çok konstrüksiyonu bulunur. Namlunun do rusallı ı ve balansı tüfekler için en önemli noktalardan biridir. Aksi halde atı  hedefe gitmez. Namlu i  ölçüleri, toleransları ve yüzey kalitesi standartlara uygun olmalıdır. Özellikle mobil çoklu tüfeklerde namlu i  ölçülerinin toleransları oldukça hassastır ve hata kabul etmez.



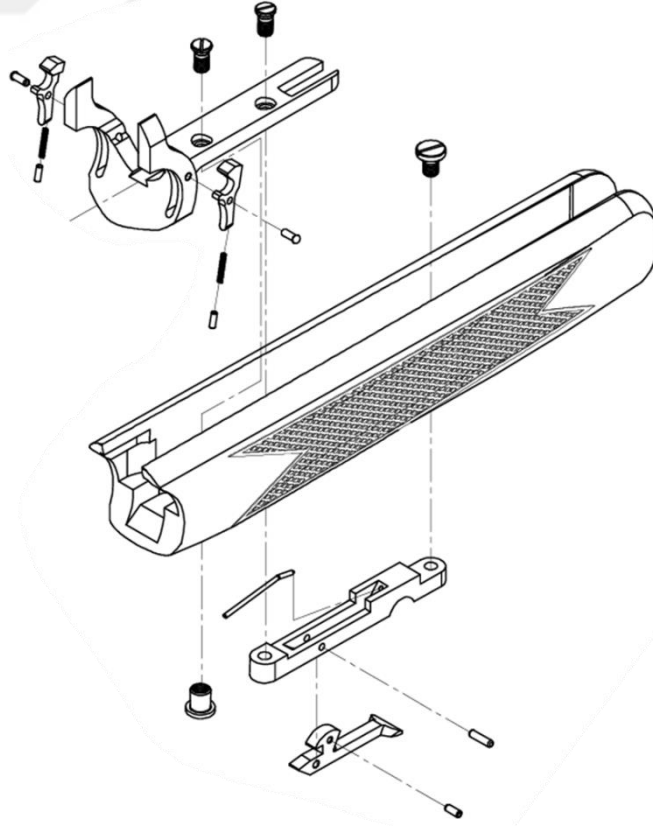
Şekil 2. 8. Örnek bir namlu grubu (Yıldız Silah izniyle)

Ana gövde grubunda ateşleme sistemini oluşturan tüfek mekanizmasının iç parçaları bulunur (Şekil 2.9). Mekanizmayı oluşturan horoz, ateşleme iğnesi, kilit, ayak, kırma mandalı, tetik ve emniyet mandalı gibi parçalar gövdenin içerisine hassas toleranslarda alıştırılarak montajlanır. Mekanizmadaki parçaların mekanik olarak birlikte çalışmasından dolayı sürtünme, dolayısıyla parçalarda aşınmaların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle parçaların aşınmaya karşı dayanıklı, yüksek kalitede malzemeden üretilmeleri gerekmektedir ve her parça işlevine uygun mekanik özelliklere sahip olmalıdır. Birlikte çalışan bu parçaların özellikle yüzey sertliklerindeki ve diğer mekanik özelliklerindeki uyumsuzluklar parçalarda hasara neden olur. Bu nedenle tüfek mekanizmasının ömrünün belirlenmesinde; kaliteli malzeme seçimi ve ısıl işlemler gibi yüzey işlemleriyle mekanik özelliklerin iyileştirilmesi önemli rol oynar.



Şekil 2. 9. Örnek bir ana gövde grubu fotoğrafı (Yıldız Silah izniyle)

El kundağı grubu tüfeği kurmaya yarayan mekanizmadır (Şekil 2.10). Fişegin ve parçaların konumlanmasını sağlar. Bu mekanizma olmadan mekanizma ve parçalar çalışmaz ve tüfek ateşlenemez, dolayısıyla tüfek çalışmaz.



Şekil 2. 10. El kundağı grubu (Yıldız Silah izniyle)

Tüfeklerde kavrama (tutuş) ve estetiğin en önemli parçası dipçiklerdir (Şekil 2.11). Dipçikler, tüfeklerdeki geri tepmeyi azaltır ve kavramayı sağlarlar. Çoğunlukla ceviz ağacından üretilirler. Dipçikler estetik açıdan 1'den 5'e kadar sınıflandırılırlar. 5 numara dipçikler çok yıllık ağaçlardan; özellikle ağaçların kök kısmı ve köke 1-1,5 metre uzaklıktaki ana gövdeden üretilmektedir ve oldukça maliyetlidir. Av tüfeklerinin dipçiklerinde genellikle daha az desenli olan 1-2 numara dipçikler kullanılır. Son dönemde tüfek üretiminde plastik dipçikler de tercih edilmektedir.



Şekil 2. 11. Örnek dipçik fotoğrafları (Yıldız Silah izniyle)

Av ve spor tüfeklerinde kritik öneme sahip bazı parçalar bulunur. Bunlardan birkaç tanesini ateşleme iğnesi, kilit, mobil şok, namlu ve dipçik olarak sayabiliriz.

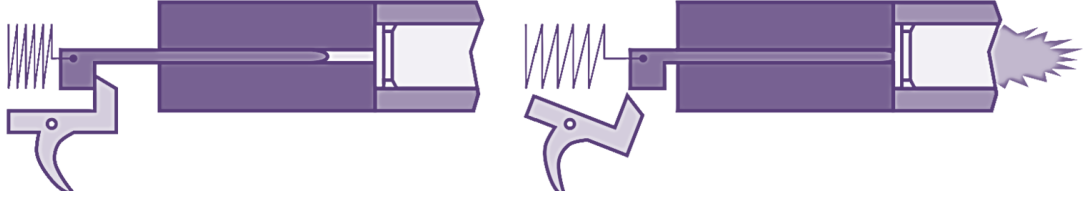
2.4.1. Ateşleme iğnesi

Ateşleme iğnesi, tüfeklerde fişğin ateşlenmesinde görev alan parçadır. Şekil 2.12’de görüldüğü üzere her namlu için bir ateşleme iğnesi vardır ve fişek yatağına koyulan fişeklerin tabanına vurarak fişğin ateşlenmesini ve namlu boyunca ilerlemesini sağlar.



Şekil 2. 12. Mekanizma içerisindeki ateşleme iğneleri (Caimi, 2024)

Ateşleme iğnesi, icadından bu yana tüfeklerin en önemli parçası olmuştur. Henüz çok yaygın kullanım için geliştirilememiş olan elektrikli ateşleyiciler dışında itici gaz karışımını ateşlemenin başka bir yolu yoktur. Ateşleme iğnesi olmazsa tüfek tamamıyla işlevsiz bir hale gelir ve kullanılamaz. (Rakshit, 2020). Prensip olarak tüfeğin ateşlenmesi esnasında tetiğin çekilmesiyle ayaklar horozları bırakır, horoz yayı horozu iter ve horoz iğnenin arka kısmına vurur. İğneler bu hareketle, Şekil 2.13’te de görüldüğü gibi fişğin arkasındaki kapsüle vurur ve böylece ateşleme sağlanır.

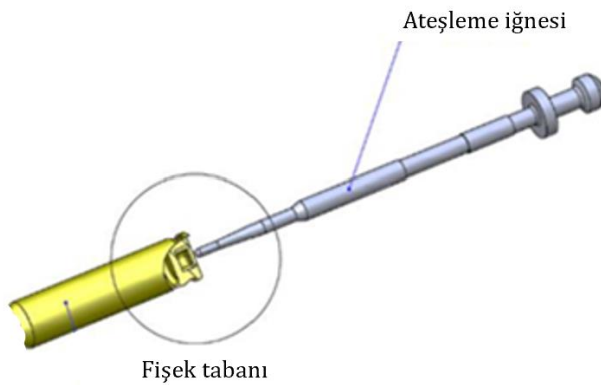


Şekil 2. 13. İğnenin fişeğe vurması

İğne ve birlikte çalıştığı parçaların tasarımı, ölçü toleransları, malzeme sertlikleri ve diğer malzeme özellikleri çift patlama gibi sorunlarla karşılaşılması konusunda büyük bir rol oynar.

Standartlara uygun üretilmiş bir tüfek ile ortalama 10.000 ile 500.000 arası atış yapılabilir. Dolayısıyla yorulma dayanımı ateşleme iğnesi için en önemli faktörlerden biridir. İğnenin; sürekli temas ve sürtünmeden dolayı aşınması, ezilmesi, yanlış ısıl işlem sonucu sünekliğin gereğinden daha yüksek olmasından kaynaklanarak eğilmesi ve özellikle sürekli darbeden dolayı kırılması en sık karşılaşılan problemlerdir.

Ateşleme iğnesi yüksek sertleştirilebilirliğe, yüksek yorulma mukavemeti ve tokluğa sahip çelik malzemelerden üretilmelidir. Yeterli sertlikte ve istenen kalitede üretilmeyen iğneler fonksiyonunu yerine getiremez. Şekil 2.14'te ateşleme iğnesinin fişek tabanına vuruş anının görseli görülmektedir (Riyanto vd., 2019).



Şekil 2. 14. Ateşleme iğnesi ve fişek tabanı (Riyanto vd., 2019)

2.4.2. Kilit

Tüfekte bulunan kilit parçası, namluyu gövdeye sabitleyen parçadır. Şekil 2.15'te de görüldüğü gibi tüfek, haznesine fişek doldurmak için açılır (Yıldız Shotgun). Tüfek açıldığında iki ana parça ortaya çıkar, bu parçaları birbirine kitleyen parça "kilit" parçasıdır. Tüfek ateşlendiğinde; tüfeğin açılmasını, kırılmasını önleyen sistem bu parçadır. Kilit parçasının aşınma dayanımı, yüzey kalitesi, pürüzlülüğü ve sertliği çok önemlidir. Bu parçanın ölçü ve toleranslarının uygun olmaması halinde atış anında tüfek gövdeden açılarak iki parçaya ayrılabilir, patlayabilir ve bunlar hayati risk oluşturabilir. Tüfeğin parçalarını bir arada tutan bu parça güvenlik açısından en önemli parçadır.



Şekil 2. 15. Açık haldeki tüfek örnek fotoğrafları (Yıldız Shotgun)

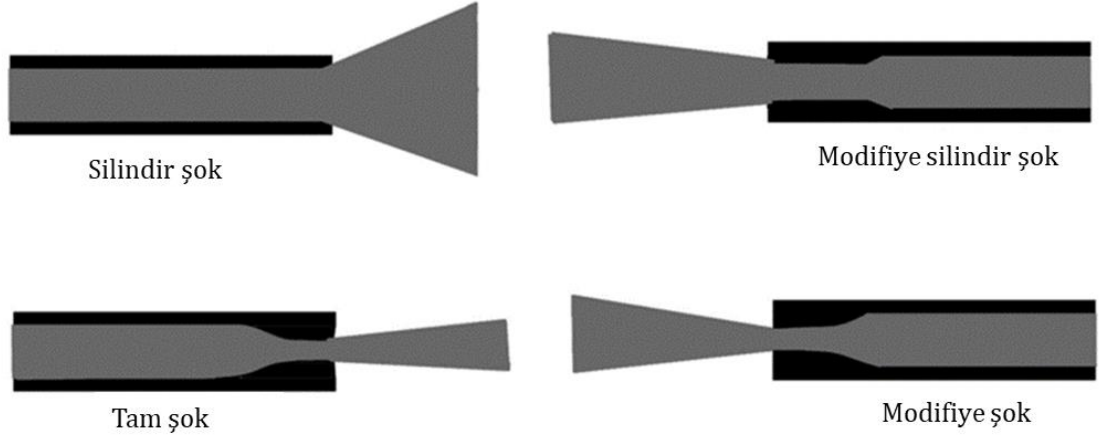
2.4.3. Mobil şok

Atış sırasında fişegi hareket ettiren itici gazın hızı, namlunun ucundan çıktığı anda önemli ölçüde artar ve aynı zamanda yanlara doğru yayılır. Bunun sonucunda saçmalar da gazla birlikte yayılma eğilimi gösterirler. Saçmaların yayılımının kontrol edilebilmesi, daha isabetli bir atış ve daha iyi menzil elde edilmesi için namluların ucunda konik ve kısmi bir daralma sağlayan şok adı verilen tasarım kullanılır (Das vd., 2021). Şekil 2.16’da namlunun ucuna takılı haldeki mobil şoklar görülmektedir.



Şekil 2. 16. Namlu ucuna takılmış mobil şoklar (Caimi, 2024)

Ana amacı namlunun ucunda basınçla saçma dağılımının kontrol edilmesini sağlamak olan şoklar, namlunun içinde sabit olarak bulunabildiği gibi takıp çıkarılabilen tüp şeklinde “mobil şok” olarak da kullanılabilir. Şoklar içten veya dıştan uzatmalı olarak imal edilebilir. Şok, namludan uzaklaştıkça saçmaların dağılımı azalır. Şoklar iç ölçülerine ve saçma sapmalarına göre sınıflandırılır. En yaygın şok çeşitleri; tam şoklar, modifiye şoklar, silindir şoklar ve geliştirilmiş silindir şoklardır. En yaygın şok çeşitleri Şekil 2.17’de verilmiştir (Arslan vd., 2011).



Şekil 2. 17. Şok çeşitleri (Das vd., 2021)

Mobil şokların imalatında malzeme seçimi, kullanılan malzemenin mekanik özellikleri ve sertliği oldukça önemlidir. Uygun özelliklerde olmayan şoklarda çatlaklar veya kırılmalar gözlenebilir. Şokların ölçü toleransları hassastır. Namlu ile mobil şok ölçü toleranslarının uyumsuzluğu halinde yüksek basınç sonucu namlu şişebilir veya çatlayabilir. Şekil 2.18’de farklı çeşitlerde, farklı ölçü ve kullanım alanlarına göre farklı tasarımlardaki örnek mobil şok fotoğrafları verilmiştir. Şekil 2.19’da ise uzatma şok örnek fotoğrafı görülebilir.

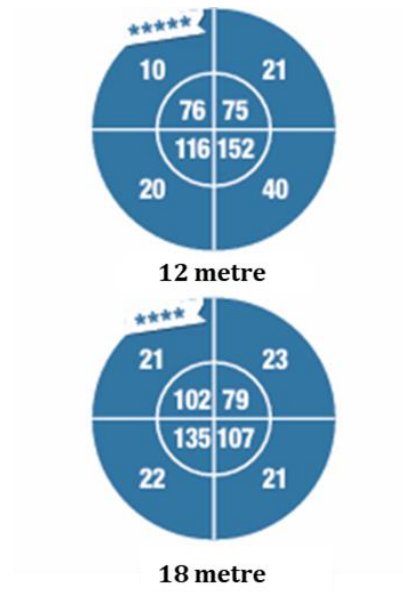


Şekil 2. 18. Farklı çeşitlerdeki mobil şok örnekleri (Yıldız Silah izniyle)



Şekil 2. 19. Normal ve uzatma mobil şok örnekleri (Yıldız Silah izniyle)

Şokun amacı atışlarda saçmaların hedefe homojen dağılmasını sağlamak, kurşun atımında ise kurşunun hedefin tam ortasına vurmasını sağlamaktır. Saçma dağılımı (penetrasyonu) Şekil 2.20’de örneği görülen grupman test sonuçları ile ölçülür. Saçmaların homojen dağılması ve saçma yoğunluğunun iç çemberde olması iyi bir tüfekten beklenen sonuçlardır.



Şekil 2. 20. Örnek bir grupman test sonucu (Caimi,2024)

2.4.4. Namlu

Tüfek namluları, barutun ateşlenmesi, sıkışan gaz veya herhangi başka şekilde depolanan enerjinin itici güç olarak kullanılması ile herhangi bir malzemenin ateşlenmesi sağlanarak hızla hedefe yönlendirildiği uygun dayanımlı malzemeden üretilen ana aksamdır ve bu nedenle namlular, gerilme üreten birçok yüke ve basınca maruz kalır. Namluların bu yüklere ve basınca dayanabilmesi için malzemesi, mekanik özellikleri ve tasarımı oldukça önemlidir (Dixit vd., 2016). Şekil 2.21’de görüldüğü gibi namlular atıcının hedefe nişan alması ve atış doğrultusunu ayarlamasına imkan tanır (Yıldız Shotgun).

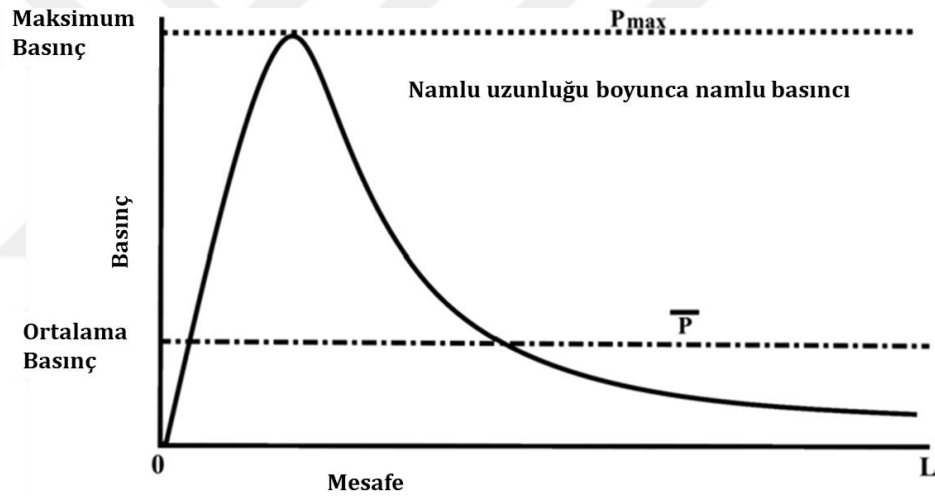


Şekil 2. 21. Hedefe nişan alan bir atıcının fotoğrafı (Yıldız Shotgun)

Namlular genellikle AISI 4140 namlu çeliğinden, dolu malzeme delinerek imal edilir. Korozyonun önlenmesi ve estetik görünüş için namluların içine genellikle beyaz krom, dışına siyah krom kaplama yapılır. Silahların tasarımında optimal performansın elde edilebilmesi için dikkat edilmesi gereken faktörler vardır. Atılan merminin veya fişğin namlunun ucundan optimum hızda çıkması, atıştan sonra oluşan ısının optimum dağılımı ve namlunun soğuma hızı için boyutsal tasarım önemlidir. Namlu içinde oluşan enerjinin maksimum düzeyde aktarılabilmesi için iç cidarların kalınlığı, namlunun doğrusalılığı ve iç ölçülerin hassasiyeti imalatla standartlara göre uygulanması gereken en önemli hususlardandır. Namluların imalatında bu hususların doğru uygulanmaması

namlularda çatlama, şişme, patlama gibi hasarlara ve dolayısıyla büyük tehlikelere yol açabilir.

Av ve spor tüfeklerinde en çok 51 cm, 66 cm, 71 cm, 76 cm ve 81 cm namlu boyları kullanılmaktadır. Namlu boyu, Şekil 2.22’de görüldüğü gibi saçmaların dağılımını, basıncı ve atışın hızını etkileyen bir faktördür. Tüfeklerde ateşleme çok yüksek hızlarda gerçekleşir ve basınçta ani değişimler meydana gelir. Namlu boyunca ilerledikçe içeride oluşan basınç azalır, saçmaların dağılımı azalır; namlu boyu kısaldıkça namlu ucundaki basınç artar ve buna bağlı olarak saçmaların dağılımı artar (Bonfanti ve De Kinder, 2015). Namlu boyunun saçma dağılımındaki etkisinin yanında hedefe olan uzaklık ve namlu ucunda şok kullanımı saçma dağılımını daha önemli ölçüde etkileyen faktörlerdendir (Maitre vd., 2021).



Şekil 2. 22. Namlu boyu ve basınç grafiği (Das vd., 2021)

Yer çekimi, rüzgar ve dünyanın dönüşü gibi faktörler fişek veya mermilerin ateşlenerek istenen hedefe yönlendirmesinde engel oluştururlar ve hedef doğrultusundan sapmaya yol açarlar. Bu nedenle atılan mermilerin hedeflenen yönde minimum sapma ile maksimum doğrusalılıkta kalması, fişek hızının ve atış mesafesinin uzatılması için namlulara yiv-set olarak adlandırılan namlunun iç yüzeyinde namlu boyunca işlenmiş spiral sarmalı açılabilir. Yiv, atılan merminin çok yüksek hızda dönmesini sağlayarak çok daha uzak bir menzile atış yapabilme olanağı sağlar.

2.5. Parça Hasarları

Tüfek parçalarındaki hasarlar, malzemelerin dayanım sınırlarının aşılmasıyla meydana gelir ve bu hasarlar Şekil 2.23'te örneği gösterilen malzeme kaynaklı olabileceği gibi Şekil 2.24'te örneği gösterilen hasar gibi ölçü toleranslarında uyumsuzluk veya ısıt işlem kaynaklı da olabilirler.



Şekil 2. 23. Hasara uğramış namlu örneği (Yıldız Silah izniyle)



Şekil 2. 24. Hasara uğramış namlu örneği (Yıldız Silah izniyle)

Her parça için; imal edileceği malzemede olması istenen, kullanım yerine ve işlevine uygun olarak, farklı mekanik özellikler aranır. Bazı parçalarda kritik önem taşıyan aşınma direnci gerektiğince sağlanamazsa şekil 2.25'te rneği gösterilen hafif aşınmalar bile birbiriyle çalışan parçaları etkileyerek tüfeğin çalışmasını engelleyebilmektedir.



şekil 2. 25. Yetersiz sertlikteki parçada aşınma rneği (Yıldız Silah izniyle)

şekil 2.26'da imalat hatası kaynaklı bir hasar görülmektedir. Isıl işlemler sonucu elde edilen özelliklerden toleransların dışında olan zıt durumlar da parçalarda hasara sebep olur. Örneğin şekil 2.27'de gösterilen hasar ısıl işlem sonucu malzemenin fazla süneklik göstermesinden ortaya çıkarken, şekil 2.28 ve şekil 2.29'da gösterilen hasar malzemenin fazla gevrek özellik göstermesinden ortaya çıkmıştır.



şekil 2. 26. İmalat hatası kaynaklı hasarlı mobil şok (Yıldız Silah izniyle)



Şekil 2. 27. Yanlış ısıtıl işlem kaynaklı hasar alan mobil şoklar (Yıldız Silah izniyle)

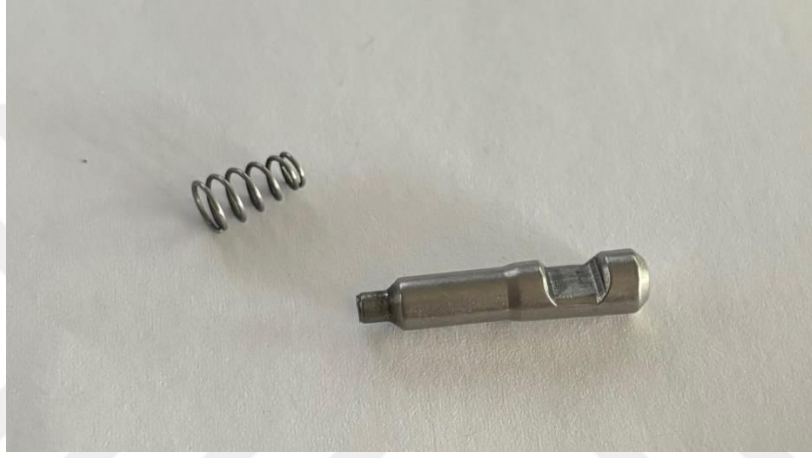


Şekil 2. 28. Yanlış ısıtıl işlem kaynaklı hasar alan mobil şoklar (Yıldız Silah izniyle)



Şekil 2. 29. Yanlış ısıtıl işlem kaynaklı hasar alan mobil şok (Yıldız Silah izniyle)

Kritik tüfek parçalarında yorulma dayanımı, sertlik, aşınma direnci gibi mekanik özelliklerin her parçanın kullanım yerine uygun olarak optimizasyonu yapılmalıdır. Aranan mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için malzeme seçimi ve ısıt işlemler kritik rol oynamaktadır. Şekil 2.30, Şekil 2.31 ve Şekil 2.32’de dayanım sınırları dışına çıkılması dolayısıyla hasara uğramış parça örnekleri gösterilmiştir. Tüfek parçalarında oluşan bu hasarlar incelenerek malzemeler testlere tabi tutulmalı ve giderilmesi için malzeme ve mekanik özelliklerin optimizasyonuna yönelik çalışmalar yapılmalıdır.



Şekil 2. 30. Isıl işlem kaynaklı hasar alan ateşleme iğnesi (Yıldız Silah izniyle)



Şekil 2. 31. Isıl işlem kaynaklı hasar alan ateşleme iğnesi (Yıldız Silah izniyle)



Şekil 2. 32. Hasara uğramış örnek bir tüfek parçası (Yıldız Silah izniyle)

3. KAYNAK ÖZETLERİ

3.1. AISI 8620

Alaşım çeliklerinden bir nikel-krom-molibden çeliği olan ve izelge 3.1’de kimyasal kompozisyonu gösterilen AISI 8620 eliği, yüksek darbe dayanımı ve iyi aşınma direncine sahip olduğu için tüfek parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Bringas, 2004). Yüzey sertleştirmesine uygun olan AISI 8620 eliğinin kullanıldığı yerlere bakıldığında yüksek dayanım ve sertlik aranan yerler olduğunu görürüz.

Çizelge 3. 1. AISI 8620 eliğinin standartlara göre kimyasal kompozisyonu (Bringas, 2004)

Kısa gösterim	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo
20NiCrMo2-2 (DIN1.6523)	0.17- 0.23	≤ 0.4	0.65- 0.95	≤ 0.35	≤ 0.035	0.4-0.7	0.4- 0.7	0.15- 0.25
8620	0.18- 0.23	0.15- 0.35	0.7-0.9	≤ 0.035	≤ 0.04	0.4-0.6	0.4- 0.6	0.15- 0.25

AISI 8620 elik malzemenin sınıflandırılmasına bakıldığında ilk iki rakam (86XX) bu çeliğin bir nikel-krom-molibden alaşımlı elik olduğunu ve bu alaşım elemanlarının mevcut oranlarını gösterirken, son iki hane (XX20) malzemenin karbon içeriğini verir (Bringas, 2004).

Çizelge 3.2’de de görüldüğü üzere, farklı ülkeler ve kurumlarca farklı sınıflandırmaları yapılan AISI 8620 elik malzeme, literatürde sıklıkla AISI 8620, SAE 8620 veya 20NiCrMo2-2 olarak geçmektedir. Otomotiv, havacılık, tarım, madencilik, enerji ve inşaat gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılan bu malzeme; dişli ark, rulman, burç, şanzıman, aks, çekiş kontrol elemanları, şaft, pim, mil, kovan, pinyon, zincir baklaları, takım tutucular gibi çok çeşitli parçaların üretiminde kullanılırlar (Kumar vd., 2017).

Çizelge 3. 2. AISI 8620 çeliğinin farklı standartlardaki sınıflandırmaları (Bringas, 2004)

Ülkeler	Amerika			Almanya	Avrupa	İngiltere	Japonya
Standart	ASTM A29	AISI	SAE	DIN 1654	EN 10084	BS 970	JIS G4103
Sınıf	8620			1.6523/ 21NiCrMo2	1.6523/ 20NiCrMo2-2	805M20	SNCM22 0

3.2. AISI 420

Martenzitik paslanmaz çelikler, endüstride ısıtılma yoluyla sertleştirilebilen ve aynı zamanda korozyon direncine sahip malzemelere duyulan ihtiyacı karşılamak için geliştirilen çeliklerdir ve içerdikleri yüksek alaşım elementleri sayesinde mükemmel sertleşebilirlik gösterirler (Barlow ve Du Toit, 2012). Diğer paslanmaz çeliklerin aksine mekanik özellikleri ısıtılma ile iyileştirilebilen bu çelikler, hem yüksek hem de düşük sıcaklıkta kullanılmak üzere mükemmel mekanik özelliklerin ve orta derecede korozyon direncinin arandığı yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (İsfahany vd., 2011). %12 ila %18 arasında değişen krom, %1,2'nin altında karbon ve az miktarda ilave alaşım elementleri içeren martenzitik paslanmaz çelikler havacılık, savunma ve nükleer sektörlerindeki uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Lenda vd., 2020).

Martenzitik paslanmaz çeliklerin düşük krom- orta karbon kategorisinde olan ve Avrupa standartlarında X20Cr13 olarak da bilinen AISI 420 kalite paslanmaz çelik malzeme, Çizelge 3.3'te verilen kimyasal kompozisyonunda da görüldüğü üzere, sertliğini ve aşınma direncini artırma etkisi gösteren %12 ila %14 arasında krom içeriğine sahiptir. Ticari olarak maksimum %0,5 karbon içeriğine sahip orta karbonlu versiyonu dışında karbon oranı %0,15'ten az olan düşük karbonlu versiyonu da bulunur (Barlow ve Du Toit, 2012; Kumar vd., 2012).

Çizelge 3. 3. AISI 420 çeliğinin standartlara göre kimyasal kompozisyonu (Bringas, 2004)

Kısa gösterim	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo
420	0.15 min	1.00 max	1.00 max	0.040 max	0.030 max	12.0- 14.0	0.75 max	0.50 max
X20Cr13	0.16- 0.25	1.00	1.5.0	0.040	0.030	12.0- 14.0	-	-

Çatal bıçak takımı, el aletleri, dişçilik ve cerrahi aletler, valf kaplaması ve parçaları, şaftlar, plastik kalıplar ve tıbbi cihazlar gibi uygulamalar için yaygın olarak kullanılan AISI 420 çelik malzeme için özellikle belirli uygulamalarda ihtiyaç duyulan üstün mekanik özelliklerinin elde edilebilmesi amacıyla geniş çaplı araştırmalar yapılmaktadır (Isfahany vd., 2011). Isıl işlem uygulamaları bu özelliklerin elde edilmesini sağlayan en önemli uygulamalardır. AISI 420 paslanmaz çelik için istenen mekanik özelliklerin ve korozyon direncinin optimizasyonu uygun ısıtma işlem parametreleri seçilerek sağlanabilir (Hafeez ve Farooq, 2019).

3.3. AISI 4140

Endüstride oldukça yaygın kullanılan bir malzeme olan AISI 4140 düşük alaşımlı ıslah çeliği Alman standartlarında 42CrMo4 adıyla ve 1.7225 malzeme numarasıyla bilinen bir krom-molibden alaşım çeliğidir. Çizelge 3.4'te kimyasal kompozisyonu verilen bu çeliğe, ihtiva ettiği Cr ve Mo elementleri yüksek sertleşebilirlik, yüksek dayanım, iyi korozyon direnci ve iyi işlenebilirlik sağlar (Bringas, 2004). 42CrMo4 çeliğinin karbon içeriği arttıkça, malzemenin ısıtma işlemi uygunluğu artar ve böylece dinamik yükle veya darbe altında kullanıma daha uygun hale getirir (Hanza vd., 2021). Literatürde üzerinde çok araştırma yapılmış ve yapılmakta olan AISI 4140 çeliği otomotiv, havacılık, makine, imalat ve madencilik sektörlerinde çok geniş bir alanda; yüksek mukavemet ve tokluk özelliklerinin arandığı şaft, krank, bağlantı elemanları, makine parçaları, dişliler gibi birçok parçanın üretiminde kullanılır (Hanza vd., 2021). AISI 4140 çeliği malzemenin yüksek hız veya yüksek darbe yüklemesine maruz kaldığı ateşli silah

parçaları ve basınçlı kaplar gibi yüksek dayanım değerlerine ihtiyaç duyulan alanlarda da oldukça sık kullanılan bir malzemedir (Sanborn vd., 2017). Endüstride namlu çeliği olarak da bilinen AISI 4140 çeliği, tüfek parçalarında özellikle namlu üretiminde oldukça sık kullanılmaktadır.

Çizelge 3. 4. AISI 4140 çeliğinin standartlara göre kimyasal kompozisyonu (Bringas, 2004)

Kısa gösterim	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu
42CrMo4 (ISO-EN)	0.38- 0.45	0.60- 0.90	0.10- 0.40	0.035	0.035	0.90- 1.20	-	0.15- 0.30	-
4140 (ASTM-SAE)	0.38- 0.43	0.75- 1.00	0.15- 0.35	0.035	0.040	0.80- 1.10	0.25	0.15- 0.25	0.35

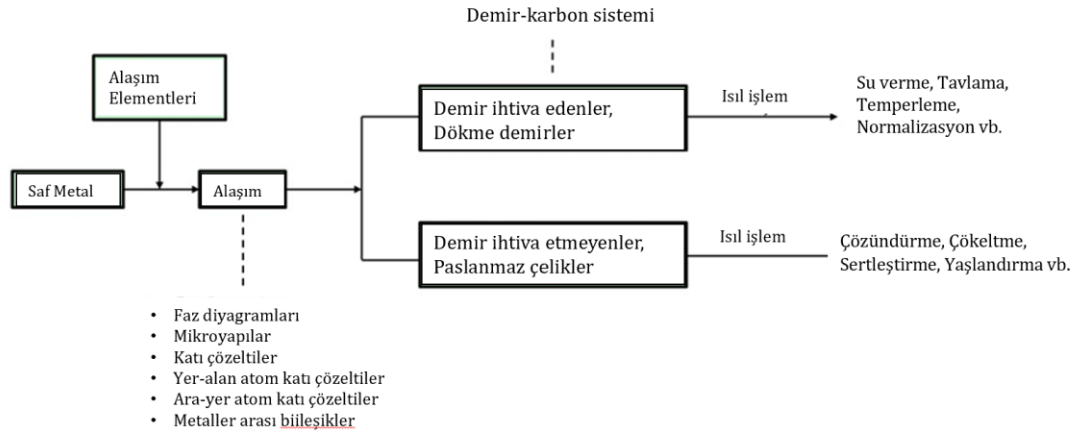
AISI 4140 çeliği, mekanik özellikleri ısıt işlemlerle iyileştirilebilir bir malzemedir. Özellikle düşük karbonlu çeliklere göre dayanımı daha fazladır. Düşük sertleştirilebilirliğe sahip olan orta karbonlu çeliklerin, alaşım elemanları ve ısıt işlemlerle mekanik özelliklerinin iyileştirilebilirliği artırılabilir. AISI 4140 çelik malzemesine de Cr, Ni, Mo alaşım elementlerinin ilave edilmesiyle ısıt işlem kapasitesi artırılabilir (Dossett, 2007).

3.4. Isıl İşlemler

Isıl işlemler, malzemelerin istenilen mekanik özelliklere erişebilmeleri için uygulanan, malzemelerin mikro yapılarına veya yüzeylerine etki eden bir dizi işlemdir. Isıl işlem uygulamaları malzemelerin cinsine göre farklılık göstermektedir.

Metal ve alaşım malzemelerin servis ömürleri boyunca performansları ve davranışları, üretim aşamasında gösterdikleri özellikler; bileşimlerine, içinde bulunan alaşım elementlerine, işlem geçmişlerine ve uygulanan ısıt işlemlere doğrudan bağlıdır. Malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan en yaygın yöntem olan ısıt işlem uygulamaları; aşınma direnci, mukavemet, sertlik, süneklik, tokluk ve diğer önemli mekanik özellikleri önemli

ölçüde etkiler. Şekil 3.1’de farklı malzemelere uygulanan ısıtım uygulamaları görülmektedir (Schmid ve Kalpakjian, 2006).

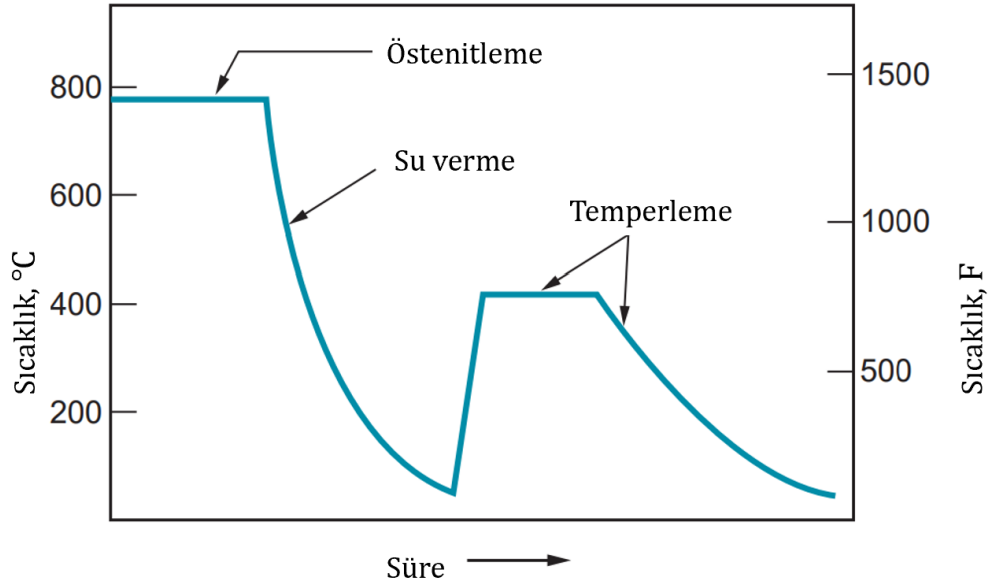


Şekil 3. 1. Malzemelere uygulanan ısıtım işlemler (Schmid ve Kalpakjian, 2006)

Isıl işlem uygulamalarının öneminden dolayı bu alanda özellikle son yıllarda birçok çalışma yürütülmekte ve malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmaktadır (Hafeez ve Farooq, 2019).

Genellikle metallerde kullanılan ısıtım uygulamaları, malzemelerin ısıtma ve soğutma işlemlerine tabi tutulmasıyla malzeme mikro yapısını ve dolayısıyla mekanik özelliklerini değiştirir. Uygulama prosedürleri ve etkileri göz önüne alındığında ısıtım işlemlerinin temellerini oluşturan uygulamaları şu şekilde saymak mümkündür; çelikte martenzit oluşumu, yüzey sertleştirme, çökeltme sertleştirme ve tavlama (Groover, 2010). Isıl işlemlerin en önemli prosedürleri arasında tavlama, normalizasyon, su verme, sertleştirme ve temperleme gibi başlıca uygulamalar bulunur.

Şekil 3.2’de metallere uygulanan tipik bir ısıtım prosedürü verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere, malzemenin belirli sıcaklıkta bir süre tutulması ve daha sonra soğutulması işlemleri ısıtım işlemlerinin temelindeki ana döngüyü oluşturur.



Şekil 3. 2. Metallere uygulanan tipik bir ısıtım prosedürü (Groover, 2010)

Isıl işlem operasyonlarının tamamı malzemelerin; ısıtma, belirli sıcaklıkta uygun bir süre bekletme ve soğutma döngüsüne tabi tutulmasından oluşur. Isıtılacak sıcaklık seçimi, kullanılan malzeme için aranan özellikleri göstereceği sıcaklıklar olarak seçilir ve bu sıcaklıkta belli bir süre tutularak, sıcaklığın kesit boyunca homojen dağılımı sağlanır. Tutulacak süre ısıtım uygulanacak parçanın en kalın kesitini ısıtmak için gereken süre göz önüne alınarak belirlenir. Malzemede meydana gelen değişiklikler büyük ölçüde son aşama olan soğutma işleminin hızına ve soğutma ortamına bağlıdır (Digges vd., 1966). Isıl işlem uygulamaları ile aynı malzemeye, aynı ısıtım-bekletme-soğutma döngüsünde yalnızca ısıtım işlem parametrelerinin değişimi ile zıt özellikler kazandırılabilir.

3.4.1. Normalizasyon

Normalizasyon işlemi bir çeliğin dönüşüm aralığı üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılması ve ardından durgun havada soğutulması işlemidir. Normalizasyon işleminin temel amacı parçanın geçmişinde yapılan ısıtım işlemlerin etkilerini ortadan kaldırmaktır (Digges vd., 1966). Normalizasyon işleminde; zayıf mekanik özelliklere sahip kaba taneler ortadan kaldırılarak ince taneli perlit yapı oluşumu ile homojenlik elde edilir ve deforme olmuş yapı giderilir (Sverdlin ve Ness, 1997).

3.4.2. Tavlama

Tavlama uygulaması, genellikle malzemeleri yumuşatmak için uygulanan ısıtma işlemleridir. Prosedür olarak ısıtma ve soğutma işlemlerini içeren tavlama işlemi, elde edilmek istenen mikro yapıya ve işlem amacına göre, sıcaklık ve soğutma hızı gibi faktörler ve uygulanış biçimlerine göre farklı şekillerde isimlendirilir (Digges vd., 1966). Tavlama işleminde, belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılan ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilen malzeme yavaşça soğutulur. Tavlama; önceki işlemlerden kalan artık gerilimi gidermek, sertliği ve kırılabilirliği azaltmak, malzemenin istenen özelliklere ulaşılması için mikro yapıyı değiştirmek, malzemeyi şekillendirilebilirlik ve işlenebilirliğinin iyileştirilmesi için yumuşatmak veya soğuk işlenmiş metalleri yeniden kristalleştirmek amacıyla metallere uygulanır.

Tam tavlama daha çok düşük ve orta karbonlu çeliklerde malzemenin östenit bölgesine ısıtılmasının ardından kaba perlit üretmek için fırında yavaş soğumasıyla yapılan bir işlemdir. Tam tavlama işleminde normalizasyona göre malzemeye daha yüksek süneklik kazandırılır. Gerilme giderme tavlamasının amacı ise parçanın işlenmesi, kullanılması ve sonra göreceği diğer işlemler boyunca malzemenin çarpılması gibi oluşabilecek bozulmaları önlemek veya azaltmaktır (Groover, 2010).

3.4.3. Sertleştirme

Sertleştirme işleminde malzeme, faz diyagramından belirlenen dönüşüm sıcaklığının üzerine kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta östenit fazına dönüşümü için homojen sıcaklık ve karbon çözeltisine ulaşılmasını sağlayacak şekilde belirli bir süre tutulur. Bu işlemin ardından denge reaksiyonlarının oluşması engellenerek martenzit adı verilen denge dışı bir faza dönüşümüne yetecek hızla soğutma (su verme) işlemi yapılarak malzeme sertleştirilebilir (Digges vd., 1966).

3.4.4. Su verme

Su verme işlemi; östenitin, denge faz dönüşümlerinin bastırılarak martenzit oluşumunun sağlanacağı bir hızda soğutulması işlemidir. Bu işlem ile malzeme en yüksek sertlik değerlerine çıkarılabilir (Sverdlin ve Ness, 1997). Su verme ortamı ve malzemenin ısı transferi oranı yapılan soğutmanın hızını belirler. Su verme ortamı için genellikle tuzlu su, tatlı su (musluk suyu), yağ ve hava kullanılır. Suyun termal iletkenliğini artıran tuz ile karıştırılmış su, parçanın en hızlı soğumasını sağlayan ortamdır. En yavaş soğuma ise havada yapılan soğutma işleminde meydana gelir. Soğutma hızının artışı malzemedeki gerilme, çatlak ve çarpılma oluşumunu olumsuz etkiler (Groover, 2010). Martenzit; sert, kırılgan bir fazdır ve çeliğe çok yüksek seviyelere kadar güçlendirilebilme özelliği kazandırır. Bu nedenle genellikle su verme işleminin ardından malzemelere temperleme işlemi yapılır (Groover, 2010).

3.4.5. Temperleme

Temperleme, normalizasyon yapılmış veya sertleştirilmiş (martenzitik) çeliklerin alt kritik sıcaklığın altında bir sıcaklığa kadar yeniden ısıtılarak kırılganlığı azaltmak, sünekliği ve tokluğu artırmak ve martensit yapısındaki gerilmeleri gidermek için uygulanan ısıl işlemdir. Bu östenit sıcaklığının altındaki sıcaklıkta genellikle 1 saat bekletilir ve ardından yavaş soğutma yapılır. Bazı çelikler temper kırılganlığına duyarlıdır, bu çelikler haricinde temperleme işleminde soğutma hızı önemsenmez. Bu proseste martenzitik demir karbon çözeltilisindeki ince karbür partikülleri çökerek sementit sferoidleri oluşur ve kristal yapı dönüşerek hacim merkezli kübiğe dönüşür. Temperlenmiş martenzit olarak adlandırılan bu yapıda dayanım ve sertlikte bir miktar düşüş olurken, tokluk ve süneklik iyileşir. Temperleme sıcaklığı ve temperleme süresi malzemenin yumuşamasını ve diğer özelliklerini etkiler (Digges vd., 1966; Groover, 2010).

3.5. AISI 8620 Çeliğine Uygulanan Isıl İşlemler ve Etkileri

AISI 8620 malzemenin yüzey sertliği, aşınma direnci ve darbe dayanımı gibi mekanik özellikleri ısıtım işlem uygulamaları ile etkili bir şekilde iyileştirilebilmektedir (Hong vd., 2007). Şekil 3.3'te örnek bir ısıtım işlem prosedürü gösterilmektedir. Burada öncelikle malzemede imalat sırasında oluşan artık gerilmelerin giderilmesi amacıyla normalizasyon tavlaması uygulanır. Ardından karbürizasyon ya da su verme gibi sertleştirme işlemleri uygulanır (Neto vd., 2018).



Şekil 3.3. AISI 8620 çeliğine uygulanmış örnek bir ısıtım işlem prosedürü (Neto vd., 2018)

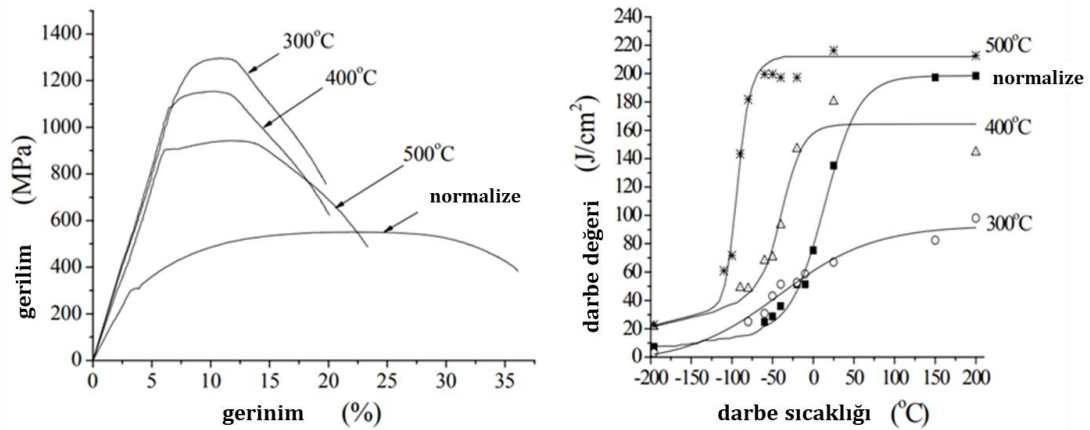
Su verme işlemi daha önce de bahsedildiği gibi, malzemenin mikro yapısını etkileyerek sertlik ve mukavemet kazandırmak amacıyla malzemenin belli bir sıcaklığa ısıtılıp su veya yağda aniden soğutulmasıyla yapılan bir sertleştirme işlemidir. Sertleştirme işlemi sırasında oluşan artık gerilmelerin giderilmesi, gevrekliğin azaltılması, malzemeye süneklik ve tokluk kazandırılması amacıyla temperleme işlemi uygulanır (Groover, 2010). Düşük sıcaklıklarda yapılan temperleme işlemi malzemenin yüksek sertlik kazanmasını sağlarken; temperleme sıcaklığı arttıkça sertlik düşer, malzeme yüksek mukavemet ve tokluk kazanır (Digges vd., 1966). AISI 8620 çeliği için endüstride normalizasyon tavlamasında uygulanan sıcaklık aralığı 900°C-925°C'dir. Yine endüstride, sertleştirilmiş ve su verilmiş AISI 8620 çelik malzemesi için temperleme sıcaklığı aralığı 205°C-705°C olarak uygulanmaktadır (Otai, 2024).

Literatürde AISI 8620 çeliğine uygulanan ısıtım işlemleriyle ilgili birçok çalışma vardır. Hong ve arkadaşları 2007 yılında yaptıkları bir çalışmada Çizelge 3.5'te verilen ısıtım işlem parametrelerini uygulamışlardır (Hong vd., 2007).

Çizelge 3. 5. Çalışmada uygulanan örnek ısıtım işlem parametreleri (Hong vd., 2007)

Normalizasyon	Su verme	Temperleme		
900°C	900°C	300°C	400°C	500°C
1 saat	20 dakika	1 saat		
Tuz banyosu	Tuzlu su	Durgun havada soğutma		

Hong vd. (2007), 300°C-400°C-500°C olmak üzere 3 farklı temperleme sıcaklığını karşılaştırmışlar ve Şekil 3.4'te grafikleri verilen sonuçları elde etmişlerdir. Çekme deneyi sonuçları incelendiğinde en iyi çekme dayanımını gösteren parametrelerin 300°C ve 400°C temperleme sıcaklıkları olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığındaki darbe dayanımı deneyi göz önüne alındığında 400°C ve 500°C sıcaklıklarda temperlenen numunelerde en iyi darbe dayanımı sonuçları elde edilmiştir (Hong vd., 2007).

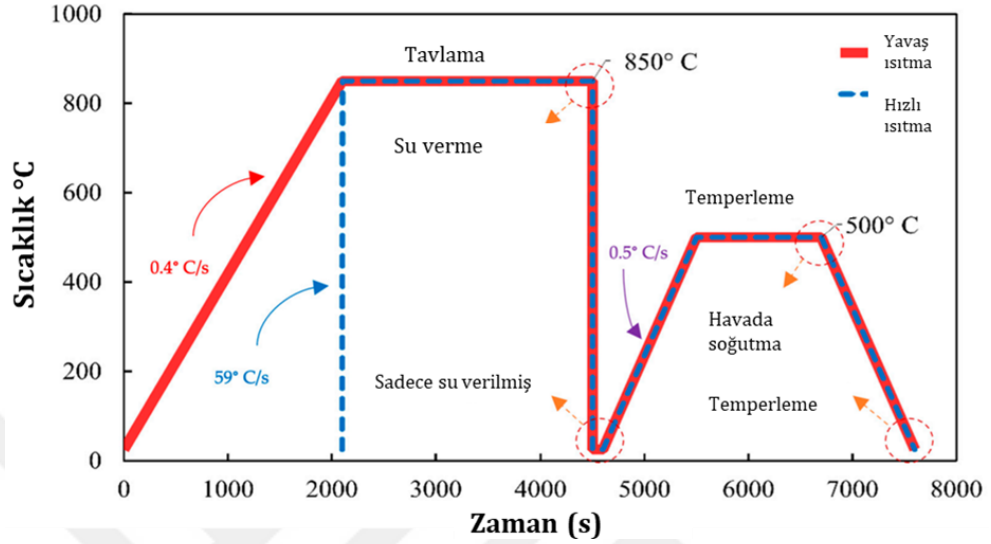


Şekil 3. 4. Su verilmiş ve 3 farklı sıcaklıkta temperleme uygulanmış 8620 çeliğinin çekme testi ve darbe dayanımı testi sonuçları (Hong vd., 2007)

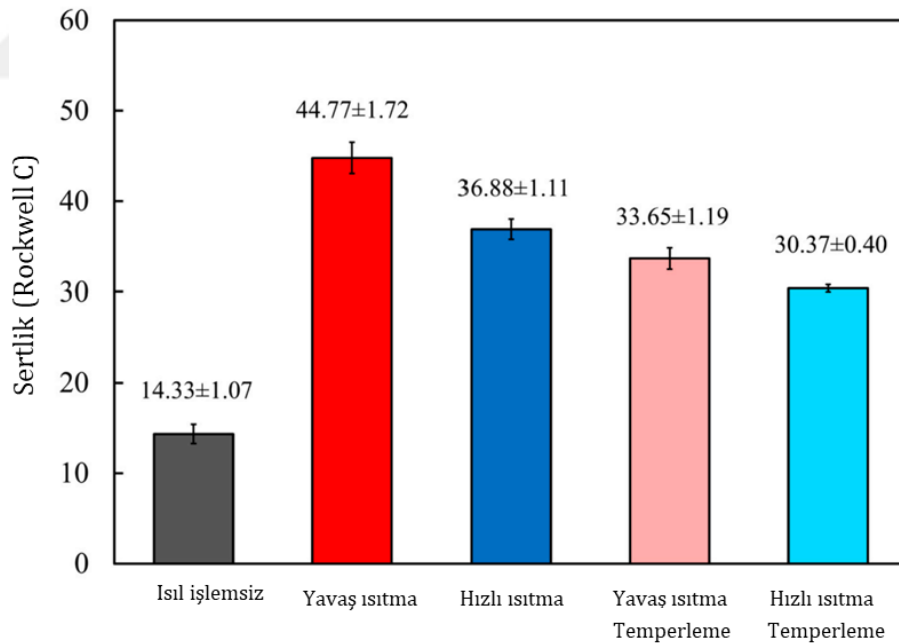
AISI 8620 çeliği sektörde oldukça sık kullanılan bir metalik malzemedir ve bu malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

Tajmiri vd. 2024 yılında yaptıkları bir çalışmada Şekil 3.5'te verilen ısıtım prosedür ve parametrelerini uygulayarak yavaş ve hızlı ısıtmanın etkilerini gözlemlemeyi amaçlamışlar ve Şekil 3.6'da verilen sertlik sonuçlarını elde

etmişlerdir (Tajmiri vd., 2024). Temperleme işleminden sonra yavaş ısıtma için sertlik değerinin 44,77 HRC'den 33,65 HRC'ye ve hızlı ısıtma için sertlik değerinin 36,88 HRC'den 30,37 HRC'ye düştüğü görülmüştür.



Şekil 3. 5. Uygulanan ısıtma prosedürü (Tajmiri vd., 2024)



Şekil 3. 6. Elde edilen sertlik sonuçlarının grafiği (Tajmiri vd., 2024)

Bu tez çalışmasında da farklı temperleme sıcaklıklarının mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Ayrıca, su verme işleminde tuzlu su ve musluk suyu kullanımının faz dönüşümüne etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.

3.6. AISI 420 Çeliğine Uygulanan Isıl İşlemler ve Etkileri

Martenzitik paslanmaz çeliklerde sertleştirme işlemi genellikle 1000°C'nin üzerinde olan dönüşüm sıcaklıklarına ısıtılarak ve havada veya yağda oda sıcaklığına soğutularak gerçekleştirilir. Sertleştirilmiş halde oldukça kırılgan hale gelen malzemede uygun özelliklerin elde edilebilmesi için su verme işleminden sonra temperleme işleminin yapılması gerekir. Elde edilen mekanik özellikler büyük ölçüde temperleme sıcaklıklarına bağlıdır. Bu malzeme için temper gevrekleşmesi sıcaklığından kaçınılmalıdır (Kumar vd., 2012).

AISI 420 çelik için 1050°C'ye kadar yapılan sertleştirme işleminde sertlik artarken 1100°C için düşmektedir. Sertlikteki bu artış aşırı karbon doygunluğu ve martensitin kafes distorsiyonunu artıran karbür çözülmesinin sonucu olarak ortaya çıkar. Doğal koruyucu oksit filminin oluşumu ile elde edilecek korozyon direnci için malzeme bileşiminde minimum %11 krom içeriğinin bulunması gerektiği ve matriste çözünmesi gerektiği bilinmektedir. Bu nedenle korozyon direncini kontrol etmede, temperleme sırasında meydana gelen karbür çökmesi etkilidir. Su verilmiş ve su verilmiş + temperlenmiş malzemenin mikro yapısındaki karbür çökeltileri aynı zamanda sertlik ve aşınma direnci gibi önemli mekanik özellikler üzerinde oldukça etkilidir (Candelaria ve Pinedo, 2003).

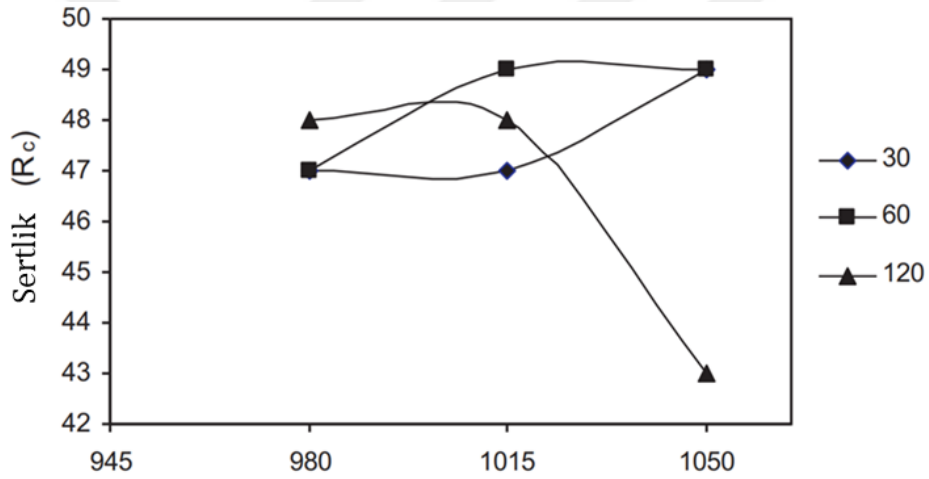
Sertleştirilmiş ve temperlenmiş durumda, orta karbonlu AISI 420 yüksek dayanım, tokluk, korozyon direnci ve mükemmel aşınma direncine sahip olabildiğinden gerekli uygulamalar için uygun ısıl işlemlerin yapılması sonucu ideal seçim haline gelir (Barlow ve Du Toit, 2012).

Nasery vd. yaptıkları çalışmada AISI 420 çeliğinin farklı östenitleme sıcaklıkları ve sürelerinde; sertlik, gerinim ve darbe dayanım değişimlerini incelemişlerdir. 700°C'de tavladıkları numuneleri Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi 980°C, 1015°C ve 1050 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta ve 30-60-90 dakika olarak 3 farklı sürede östenitleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra tüm numuneleri 200°C'de 1 saat süreyle temperleme işlemine tabi tutmuşlardır (Isfahany vd., 2011).

Çizelge 3. 6. Uygulanan ısıt işlem parametreleri (Isfahany vd., 2011)

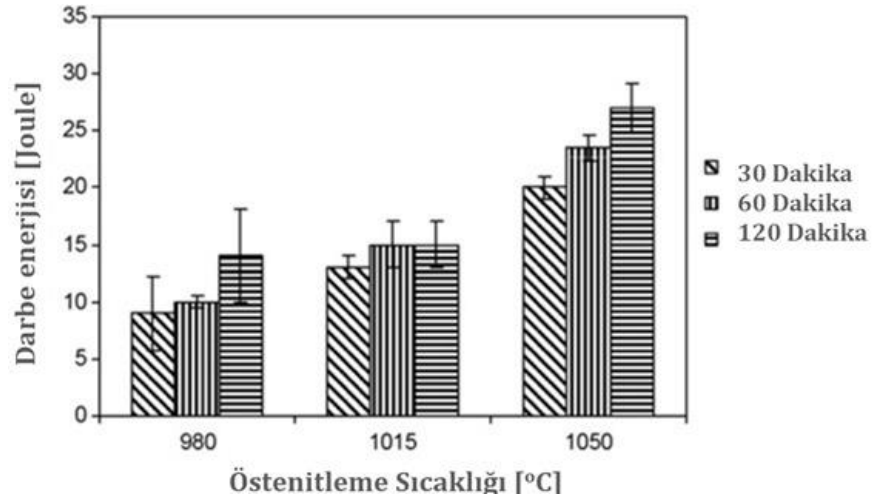
Ostenitleme		
980°C	1015°C	1050°C
30 dakika	30 dakika	30 dakika
60 dakika	60 dakika	60 dakika
90 dakika	90 dakika	90 dakika

Şekil 3.7’de verilen sertlik testi sonuçları göstermiştir ki sertlik, 1050°C-120 dakika işlem parametreleri uygulandığı taktirde düşmektedir. En yüksek sertlik 1015°C ve 1050°C’lerde 60 dakikada elde edilmiştir (Isfahany vd., 2011).



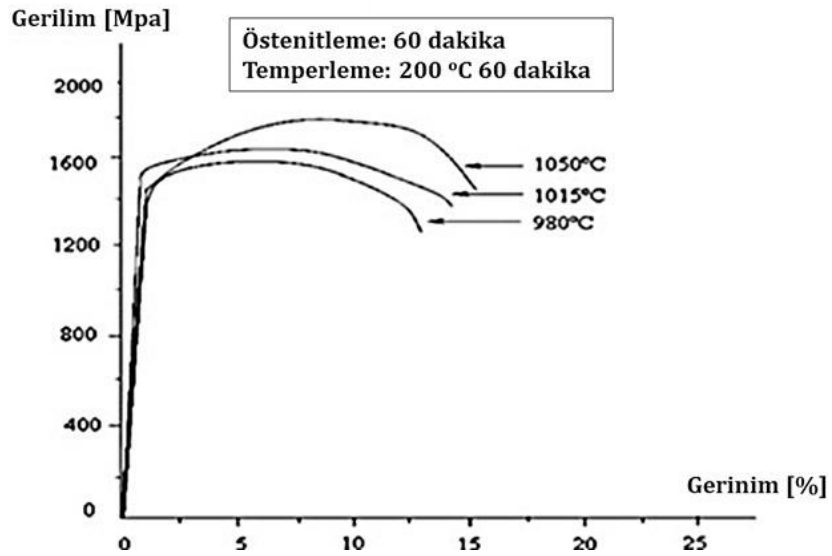
Şekil 3. 7. Sertlik testi sonuçları (Isfahany vd., 2011)

Şekil 3.8’de görülen darbe dayanım test sonuçlarında östenitleme süresi arttıkça darbe dayanımının arttığı görülmüştür. En iyi darbe dayanımının yine 1050°C’de elde edildiği söylenmiştir (Isfahany vd., 2011).



Şekil 3. 8. Darbe dayanımı deneyi sonuçları (Isfahany vd., 2011)

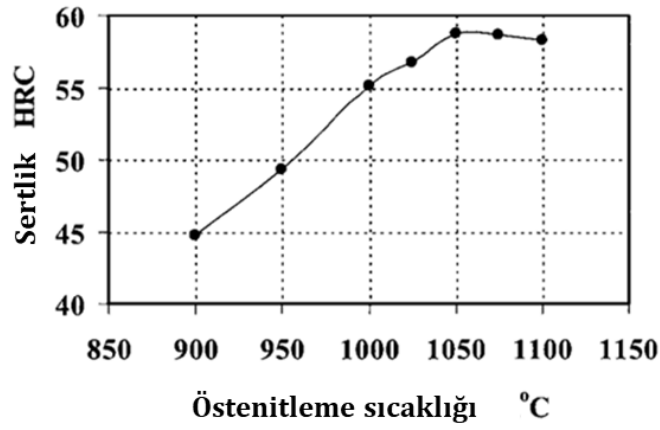
Son olarak Şekil 3.9'da görülen çekme testi sonucunda, her ne kadar 1015°C'de östenitlenmiş numuneler daha yüksek bir akma noktası gösterse de en yüksek süneklik ve çekme dayanımı değerlerinin 1050°C'de elde edildiği görülmüştür (Isfahany vd., 2011).



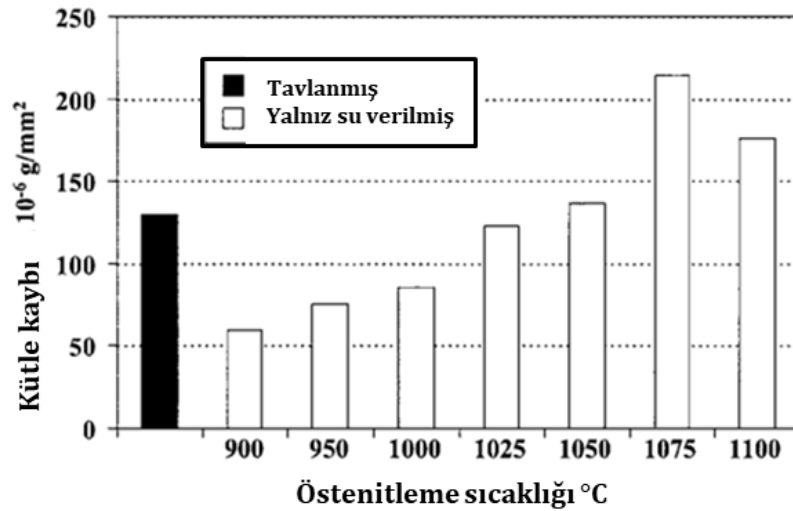
Şekil 3. 9. Çekme testi sonuçları (Isfahany vd., 2011)

Tüm testlerin ardından yazarlar bu çalışmada en iyi mekanik özelliklerin 1050°C-60 dakikada östenitlenen numunelerden elde edildiğini ortaya koymuşlardır (Isfahany vd., 2011).

Bir başka çalışmada Candelaria vd. farklı östenitleme sıcaklıklarının korozyon dayanımı üzerindeki etkisini araştırmışlar ve aynı zamanda bir önceki çalışmaya benzer olarak sertlik değerlerini de incelemişlerdir. 900°C-1100°C arasında farklı östenitleme sıcaklıkları çalışılmış ve sonucunda en yüksek sertlik değerinin 1050°C'de elde edildiği söylenmiştir (Şekil 3.10). Korozyon dayanımları incelendiğinde ise sıcaklık arttıkça korozyon dayanımlarında bir düşüş trendi görülmüştür. 1075°C'de en düşük korozyon dayanımı gözlemlenirken 1075°C'den sonra korozyon dayanımında tekrar bir iyileşme gözlemlenmiştir (Candelaria ve Pinedo, 2003).



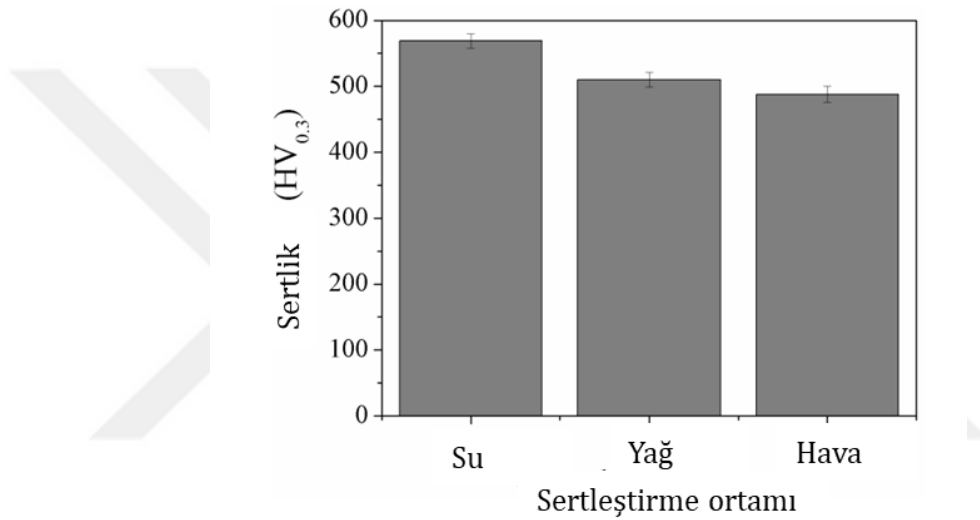
(a)



(b)

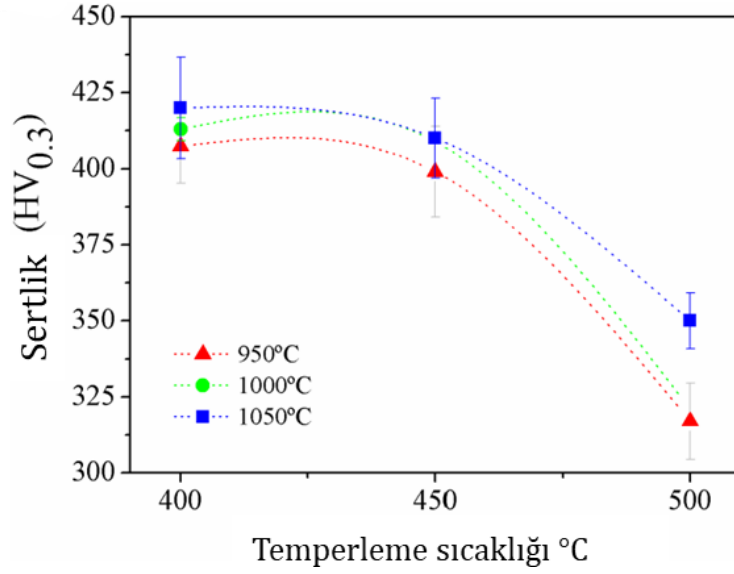
Şekil 3. 10. (a)Sertlik testi ve (b) korozyon dayanımı sonuçları (Candelaria ve Pinedo, 2003)

Bir başka çalışmada ise Scheuer vd. önceki çalışmalardan farklı olarak sabit östenitleme sıcaklığında farklı sertleştirme ortamlarını araştırmışlardır. Numunelerin sertlikleri Şekil 3.11’de de görüldüğü üzere soğutma ortamı ile değişmiştir fakat suda sertleştirilmiş numuneler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra çatlaklar göstermiştir. Bu nedenle AISI 420 paslanmaz çeliği için mekanik özellikler açısından en uygun sertleştirme ortamının yağda sertleştirme olduğu görülmüştür. Bunun üzerine çalışma devamında 950°C, 1000°C ve 1050°C’lerde yağda sertleştirme işlemi yapılmış ve ardından 400°C, 450°C ve 500°C’ler olmak üzere üç farklı temperleme sıcaklıklarını çalışmışlardır (Scheuer vd., 2014).



Şekil 3. 11. Farklı sertleştirme ortamlarına göre sertlik deneyi sonuçları (Scheuer vd., 2014)

Şekil 3.12’de de görüldüğü gibi östenitleme sıcaklığı arttıkça sertlik artarken, temperleme sıcaklığı arttıkça sertliğin düştüğü görülmüştür. 450°C’de yapılan temperleme işleminin ardından tüm östenitleme sıcaklıklarındaki numuneler için sertlik dramatik bir şekilde düşmüştür (Scheuer vd., 2014).



Şekil 3. 12. Isıl işlemlere göre sertlik değerleri (Scheuer vd., 2014)

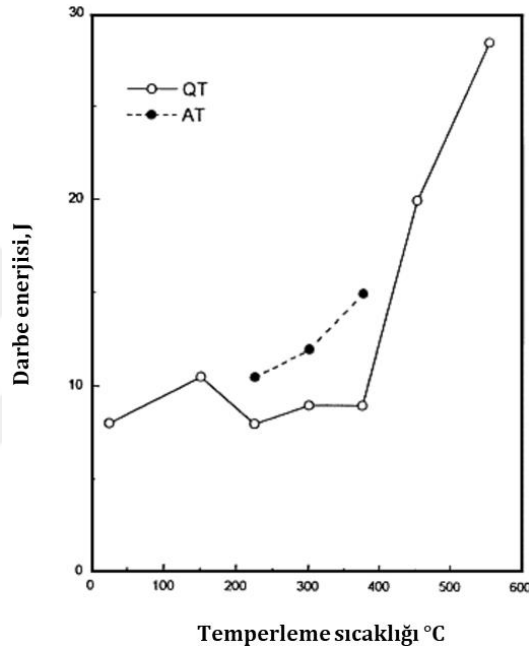
Kumar vd. ise temperleme sıcaklıklarının limitlerini araştırmak için yaptıkları çalışmada temper gevrekleşmesi sıcaklık aralığından kaçınarak 200°C-350°C ve 580°C- 630°C arasında oldukça geniş bir aralıkta mekanik özelliklerin değişimini gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda 200°C’de yapılan temperleme işleminin mekanik özelliklere belirgin bir etkisi gözlemlenmemiştir. Öte yandan 580°C’nin üzerinde yapılan temperleme sıcaklıklarında ise mekanik özelliklerin düştüğü ve sünekliğin arttığı gözlemlenmiştir (Kumar vd., 2012).

3.7. AISI 4140 Çeliğine Uygulanan Isıl İşlemler ve Etkileri

Chuang vd. yaptıkları çalışmada Çizelge 3.7’de verilen su verilmiş numuneleri farklı sıcaklıklarda temperleyerek mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Charpy çentik darbe deneyi sonuçlarının Şekil 3. 13’te verilen grafikte de görüldüğü üzere temperleme sıcaklığının artmasıyla arttığını belirtmişlerdir (Chuang vd., 1998).

Çizelge 3. 7. Uygulanan ısıt işlem parametreleri (Chuang vd., 1998)

Numune Grubu	Östenitleme	Su verme	Temperleme
(1) Su verme + Temperleme	850°C-40 dakika	Yağ ortamı	230°C-1 saat
(2) Su verme + Temperleme	850°C-40 dakika	Yağ ortamı	300°C-1 saat
(3) Su verme + Temperleme	850°C-40 dakika	Yağ ortamı	370°C-1 saat
(4) Su verme + Temperleme	850°C-40 dakika	Yağ ortamı	450°C-1 saat
(5) Su verme + Temperleme	850°C-40 dakika	Yağ ortamı	550°C-1 saat



Şekil 3. 13. Charpy çentik darbe deneyi sonuçları (Chuang vd., 1998)

Nagaraja, 2021 yılında yaptığı bir çalışmada AISI 4140 çeliği için Çizelge 3.8’de verilen farklı ısıt işlem parametrelerinde normalizasyon ve tavlama işlemlerini uygulamış ve sonuçları kıyaslamıştır (Nagaraja, 2021).

Çizelge 3. 8. Uygulanan Isıl İşlem Parametreleri (Nagaraja, 2021)

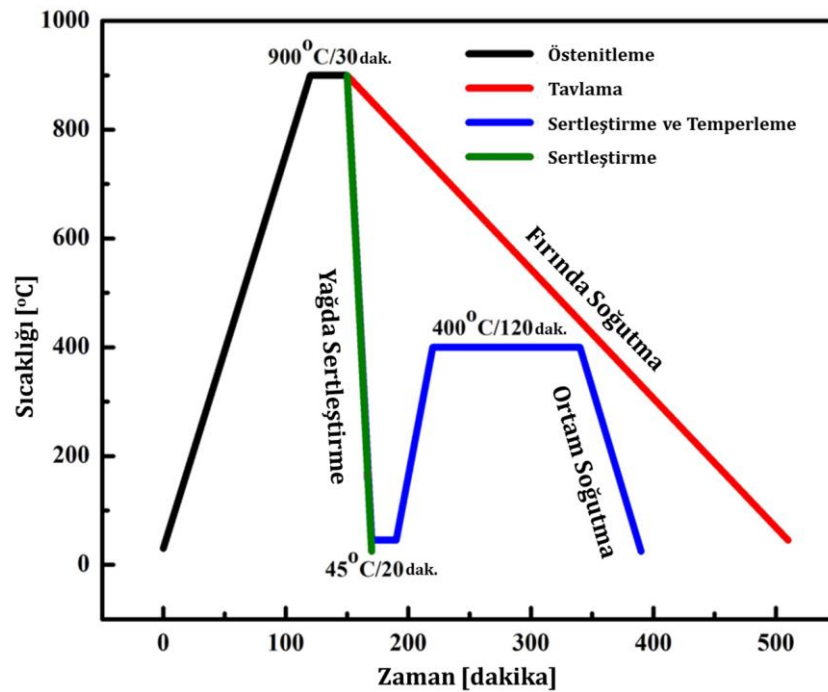
Normalizasyon	Tavlama
Normalizasyon 1100°C	Tavlama 1000°C
(1) 30 dakika	(4) 30 dakika
(2) 45 dakika	(5) 45 dakika
(3) 60 dakika	(6) 60 dakika

Çizelge 3.9’da verilen sonuçlara bakıldığında en iyi akma dayanımı değerinin 60 dakikalık normalizasyon işlemi ardından gözlemlendiğini ve normalizasyon işlemi boyunca akma dayanımının kademeli olarak arttığını söylemiştir.

Çizelge 3. 9. Elde edilen akma ve çekme dayanımı değerleri (Nagaraja, 2021)

Numune Grubu	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (%)
(1)	1017,24	1147,54
(2)	1127,86	1274,58
(3)	1176,57	1276,57
(4)	787,58	917,57
(5)	767,54	917,57
(6)	749,14	931,57

Hafeez vd. 2019 yılında yaptıkları bir çalışmada AISI 4140 çeliği ve 38CrSi çeliklerinin mikro yapısal, mekanik ve elektro kimyasal korozyon karakteristiklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada Şekil 3.14’te verilen ısıl işlem prosedürlerini izlemiş ve Çizelge 3.10’da verilen ısıl işlem parametrelerini uygulamışlardır (Hafeez ve Farooq, 2019).



Şekil 3. 14. Uygulanan ısıl işlem prosedürleri grafiği (Hafeez ve Farooq, 2019)

Çizelge 3. 10. Uygulanan ısıt işlemler parametreleri (Hafeez ve Farooq, 2019)

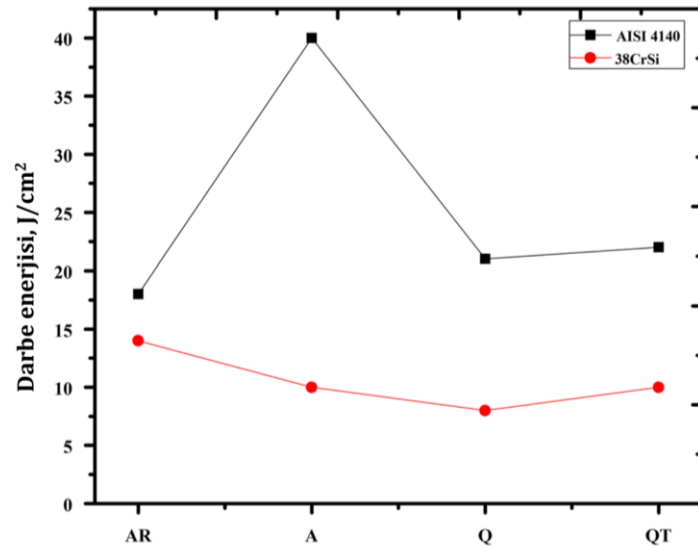
Numune Grubu	Östenitleme	Su verme	Temperleme
Tavlanmış	900°C-30 dakika	-	-
Yağda su verme	900°C-30 dakika	Yağ ortamı	-
Su verme + Temperleme	900°C-30 dakika	Yağ ortamı	400°C-120 dakika

Uygulanan su verme ve temperleme işleminin ardından, yazarlar tarafından karbonun martensitten östenit ve ikincil faz parçacıklarına difüzyonu sonucu AISI 4140 çeliklerinin alındığı durumla kıyaslandığında daha iyi dayanım, darbe tokluğu ve daha az uzama ve alanda azalma ile sonuçlandığı söylenmiştir. Uygulanan ısıt işlemlerin ardından yapılan çekme deneyinden elde edilen çekme dayanımı, akma dayanımı, uzama ve kesit daralması sonuçları Çizelge 3.11’de verilmiştir.

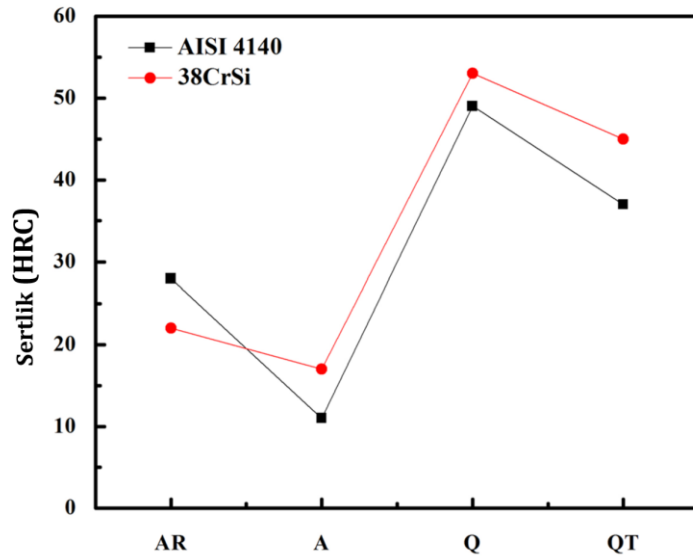
Çizelge 3. 11. Çekme testi sonuçları (Hafeez ve Farooq, 2019)

Numune Grubu	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit daralması (%)
Alındığı gibi	782,650	3,76	3,25
Östenitlenmiş	760,976	19,72	54,33
Yağda su verme	1035,631	0,44	1,44
Su verme + Temperleme	1582,654	7,05	45,13

Şekil 3.15’te yapılan çalışmalar sonucu elde edilen çentik darbe deneyi sonuçları ve Şekil 3.16’da elde edilen sertlik değerlerinin grafikleri görülmektedir. Yazarlar grafiklerden yola çıkarak 400 °C’de su verilip ardından temperlenen numunelerin sertliğinin; martenzit ayrışması, artık östenit ve ikincil faz karbürlerin oluşması nedeniyle azaldığını söylemişlerdir.

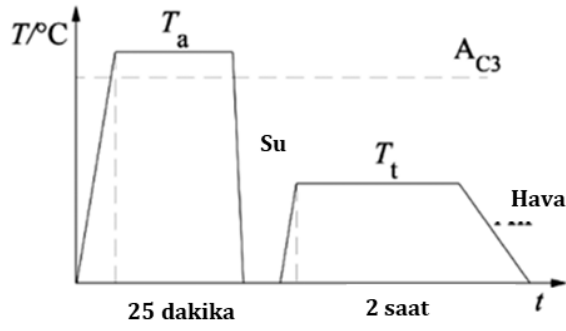


Şekil 3. 15. Çentik darbe deneyi sonuçları (Hafeez ve Farooq, 2019)



Şekil 3. 16. Sertlik değeri sonuçları (Hafeez ve Farooq, 2019)

AISI 4140 çeliği, genellikle su vererek sertleştirme ve ardından temperleme işlemleri uygulanarak kullanılan bir malzemedir. Bu işlemlerin yanında çift su verme ve ardından temperleme veya östemperleme ile de sertleştirme işlemleri de sıklıkla uygulanan ısı işlemlerdir. Hanza vd. 2021 yılında yaptıkları bir çalışmada AISI4140 çeliğinin farklı ısı işlem parametrelerini karşılaştırmak için Şekil 3.17’de gösterilen ısı işlem prosedürlerini uygulamışlardır. Temperleme sıcaklıklarının etkilerinin görülmesi amacıyla uygulanan farklı ısı işlem parametreleri Çizelge 3.12’de verilmiştir (Hanza vd., 2021).



Şekil 3. 17. Uygulanan ısıtım prosedürü (Hanza vd., 2021)

Çizelge 3. 12. Uygulanan ısıtım parametreleri (Hanza vd., 2021)

Numune Grubu	Normalizasyon	Su verme	Temperleme
(1) Normalizasyon	870°C-Durgun havada soğutma	-	-
(2) Su verme + Temperleme	-	850°C-25 dakika-Su	400°C-2 saat-Hava
(3) Su verme + Temperleme	-	850°C-25 dakika-Su	500°C-2 saat-Hava
(4) Su verme + Temperleme	-	850°C-25 dakika-Su	600°C-2 saat-Hava

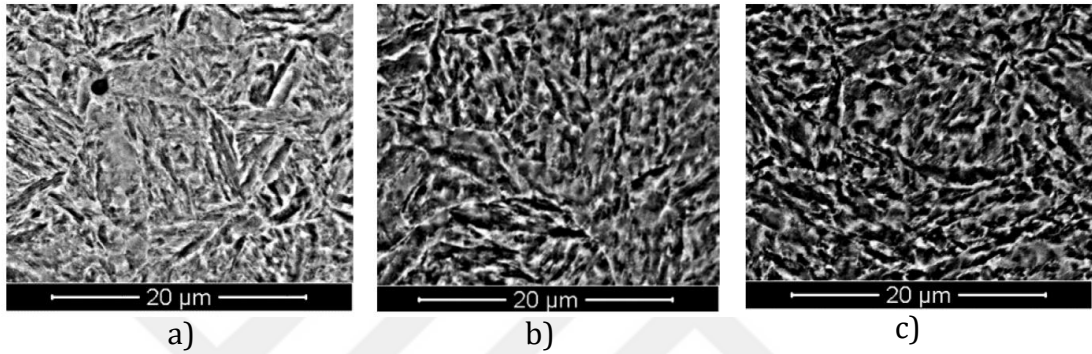
Uygulanan ısıtım işlemleri sonucunda Çizelge 3.13'te verilen sertlik değerlerini elde etmişlerdir.

Çizelge 3. 13. Elde edilen sertlik değerleri (Hanza vd., 2021)

Numune Grubu	Sertlik
(1) Normalizasyon	90 HRB
(2) Su verme + Temperleme	45 HRC
(3) Su verme + Temperleme	37 HRC
(4) Su verme + Temperleme	30 HRC

Mikro yapı incelemelerinde su verilmiş ve temperlenmiş çelik numunelerde temperlenmiş martenzit yapı görülmüştür. Temperleme sırasında yapılan ısıtım işleminden kaynaklanan martenzit ayrışması sonucu ortaya çıkan bu görüntü Şekil 3.18'de verilmiştir. Temperlenmiş martenzit, sürekli bir ferrit matris içinde

düzgün dağılmış sementit tanelerinden oluşur ve temperleme sıcaklığının yükseltilmesi sementit tanelerinin irileşmesine yol açar. Yazarlar, yapılan çalışma sonucunda su verme ve temperleme yapılan numunelerdeki korozyon direncinin yalnızca normalize edilmiş numuneye kıyasla yaklaşık 5 kat arttığını söylemişlerdir. Yazarlar ayrıca yaptıkları korozyon testlerinin sonuçlarına bakıldığında sementit tanelerinin ferrit matris içinde dağılımının homojenleştirilmesinin korozyon direncine olumlu etki edeceğini söylemişlerdir.

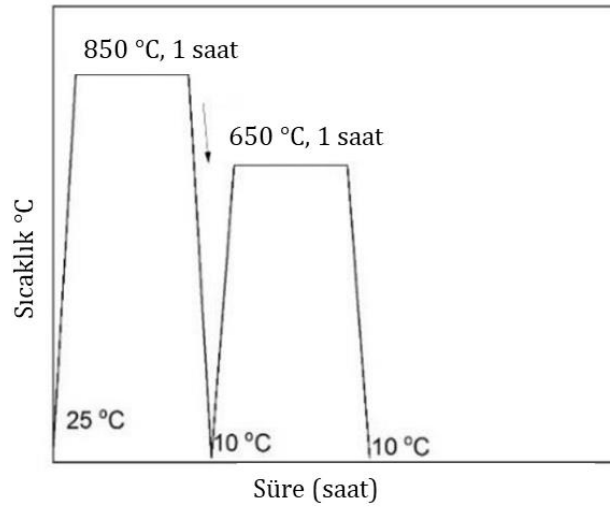


Şekil 3. 18. Mikro yapı görüntüleri, a)Su verme + 400°C'de temperleme, b) Su verme + 500°C'de temperleme, c)Su verme + 600°C'de temperleme (Hanza vd., 2021)

Badaruddin vd. AISI 4140 çelik numunelere Şekil 3.19'da verilen ısıt işlem prosedürlerini Çizelge 3.14'te verilen ısıt işlem parametrelerini kullanarak uygulamışlardır (Badaruddin vd., 2023).

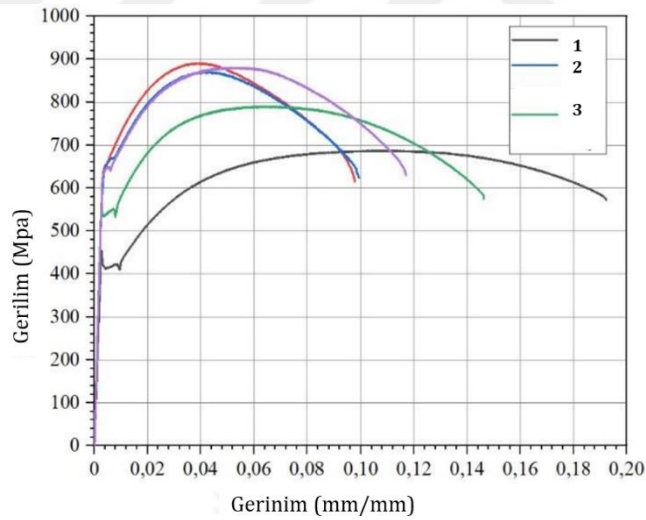
Çizelge 3. 14. Uygulanan ısıt işlem parametreleri (Badaruddin vd., 2023)

Numune Grubu	Su verme	Temperleme
(1) Alındığı gibi	-	-
(2) Su verme	850°C-1 saat-Yağ	-
(3) Su verme + Temperleme	850°C-1 saat-Yağ	650°C-1 saat



Şekil 3. 19. Uygulanan ısıt işlemler prosedürü (Badaruddin vd., 2023)

Uygulanan ısıt işlemlerinin ardından numunelere yapılan çekme deneyi sonuçları Şekil 3.20 ve Çizelge 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3. 20. Isıl işlemler sonucu Gerilim/Gerinim eğrisi (Badaruddin vd., 2023)

Çizelge 3. 15. Çekme deneyi sonuçları (Badaruddin vd., 2023)

Numune Grubu	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Uzama (%)
(1)Alındığı gibi	689,01	414,01	25,0
(2)Su verme	863,31	648,14	13,9
(3)Su verme + Temperleme	790,06	538,62	18,8

3.8. Tezin Amacı

Literatür çalışmalarından görüldüğü üzere AISI 8620, AISI 420 ve AISI 4140 çelik malzemelerinin çok geniş bir kullanım alanı vardır ve birçok farklı alanda bu malzemeye ilişkin çalışmalar yürütülmektedir. Yürütülen çalışmalarda malzemenin kullanılacağı alanlara göre ihtiyaç duyulan mekanik özelliklere ulaşılması ve uygulanan ısıt işlemlerin optimizasyonuna çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, literatür çalışması ile edinilen bilgiler kullanılarak tezin konusu olan av ve spor tüfeklerindeki kritik parçalarda oluşan hasarların önlenmesi, giderilmesi için malzemelere uygulanacak ısıt işlemlerin optimizasyonunun çalışılması ve bu sayede av ve spor tüfeklerinde bulunan kritik parçaların hasara uğramasının önlenmesi ve dolayısıyla tüfeklerin kullanım ömürlerinin artırılması amaçlanmıştır.

Tez çalışmaları boyunca incelenecek malzemeler ülkemizde savunma ve havacılık sanayinde oldukça önemli bir yere sahip olup, özellikle silah sanayinde oldukça yaygın kullanılmaktadır. AISI 8620, AISI 420 ve AISI 4140 çelikleri için hasar modlarının belirlenerek bu hasarların önlenmesi için uygun ısıt işlem parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu malzemeler üzerinde mekanik özelliklerin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalarla literatüre katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

4. MATERYAL VE METOD

Malzemelere uygulanan ısıt işlemlerin ardından tüm parametrelere ait parçaların sertlik ölçümleri, Charpy çentik darbe testleri ve çekme deneyleri yapıldı. Ardından kırık yüzeyler SEM analizi ile incelenerek kırık yüzey inceleme çalışmaları yapıldı.

Sertlik deneyleri, bir batıcı ucun malzemeye batma derinliğine göre malzeme sertliğinin belirlenmesine dayanan ve en yaygın kullanılan sertlik ölçüm metodu olan Rockwell sertlik ölçme yöntemi ile gerçekleştirildi. Sertlik ölçümleri Şekil 4.1’de gösterilen Rockwell tipi sertlik ölçüm cihazıyla A ve C skalaları kullanılarak yapıldı ve tüm sertlik testleri 3 farklı numuneye en az 5 tekrar uygulandı.



Şekil 4. 1. Sertlik ölçümlerinde kullanılan Rockwell sertlik ölçüm cihazı

Darbe dayanımlarının belirlenmesi için Charpy V-çentik darbe deneyi uygulanacak deney numuneleri CNC dik işleme merkezinde ISO 148 standardına uygun olarak hazırlandı (ISO, 2016). Isıt işlemleri tamamlanan numunelerin Charpy V-çentik darbe deneyleri ve sertlik ölçümleri yapıldı. Çentik darbe deneyleri her parametre için 3 numune hazırlanarak uygulandı. Elde edilen sonuçlar kırık kesit alanına bölünerek darbe dayanımı değeri hesaplandı.

Kullanılan 30 kpm kapasiteye sahip Charpy deney cihazının fotoğrafları Şekil 4.2’de gösterildi.

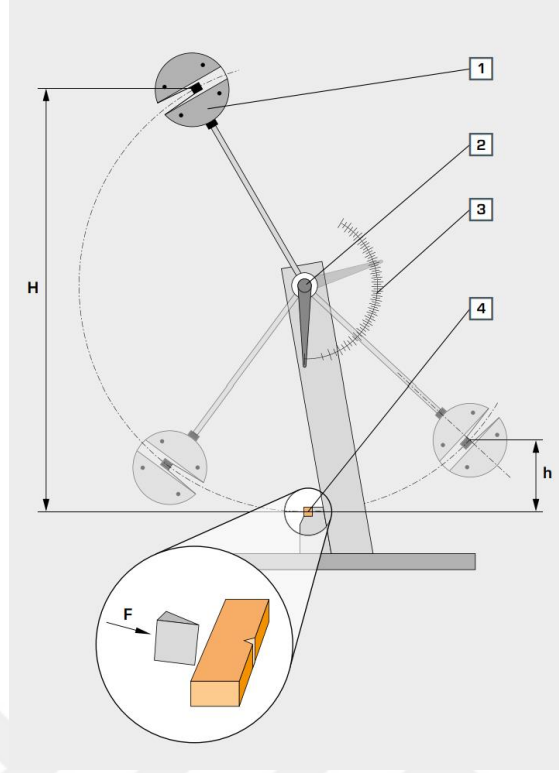


Şekil 4. 2. Testlerde kullanılan Charpy çentik darbe test cihazı a) deneye hazır halinden fotoğraf, b) deney sonundan fotoğraf

Charpy çentik darbe testinde belirli bir H yüksekliğinden bırakılan sarkaç, çentik açılmış standart ölçülerdeki darbe numunesindeki çentiğin tam arkasına vuracak şekilde bırakılır. Vuruş gerçekleştikten sonra sarkacın çıktığı h yüksekliğinden hesaplanan yeni potansiyel enerjisi ile, çentikli numunenin sarkaçtaki enerjinin ne kadarını absorbe ettiği ölçülmüş olur. Bu test sayesinde malzemenin birim alana düşen enerji absorbe etme miktarı J/cm^2 cinsinden hesaplanabilir. Denklem 4.1’de darbe dayanımının formülü ve Şekil 4.3’te Charpy çentik darbe testi prensibi gösterildi (ISO, 2016).

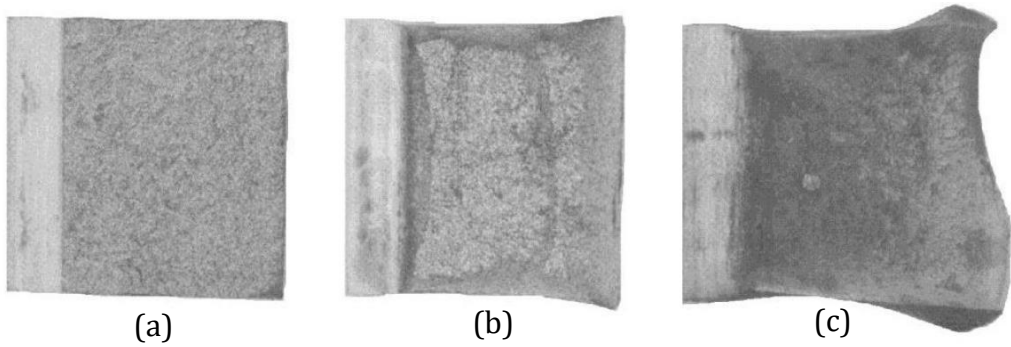
$$M = G. (H - h)/A \quad (4.1)$$

Burada, M, G, H, h ve A sırasıyla çentik darbe dayanımı, sarkaç ağırlığı, sarkacın ilk yüksekliği, sarkacın son yüksekliği ve numunenin çentik altında kalan kesit alanıdır.



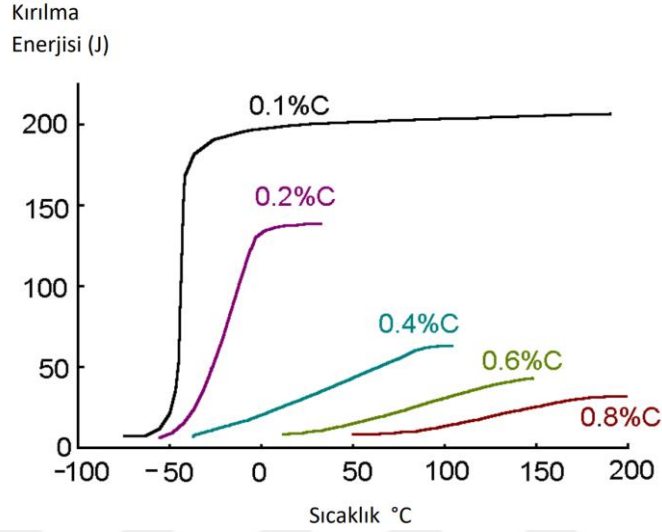
Şekil 4. 3. Charpy darbe dayanım testi prensibi (G.U.N.T., 2024)

Kırılma enerjisi ve darbe mukavemetini etkileyen sıcaklık ve alaşım elementleri gibi birçok etken vardır. Kırılgan ve sünek malzemeler farklı kırılma modları sergilerler. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi gevrek kırılma modunda malzeme klivaj bir kırılma yüzeyi sergiler, öte yandan sünek kırılma modunda ise malzeme gözenekli-çukurcuklu ve sünmüş bir kırılma yüzeyi sergiler (Francis, 2017).

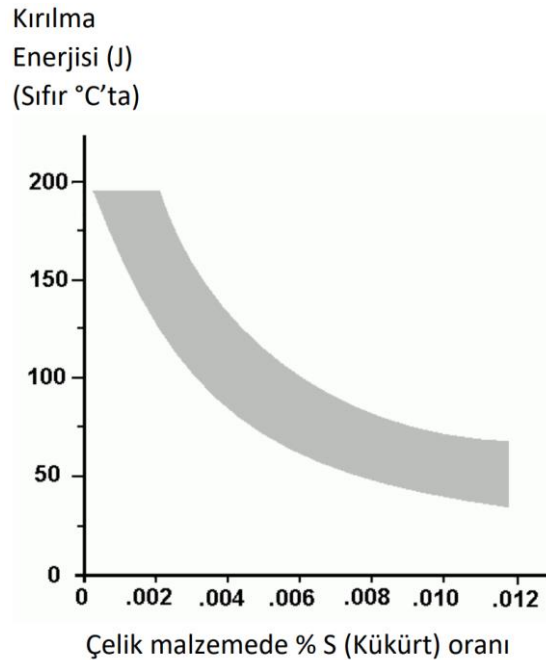


Şekil 4. 4. Charpy darbe deneyi uygulanmış örnek numunelerin kırık yüzey görüntüleri a) Gevrek kırılma modu, b) Karışık kırılma modu, c) Sünek kırılma modu (Francis, 2017)

Şekil 4.5 ve 4.6'da ise kükürt ve karbon oranına bağlı olarak malzemenin darbe direncine etkisi gösterilmiştir. Karbon miktarı arttıkça kırılma enerjisi düşmektedir. Aynı şekilde kükürdün artması da kırılma enerjisini düşürür (Francis, 2017).



Şekil 4. 5. Çelik malzemede darbe direnci (dinamik tokluk) değerine % karbon (C) oranının etkisi (Francis, 2017)



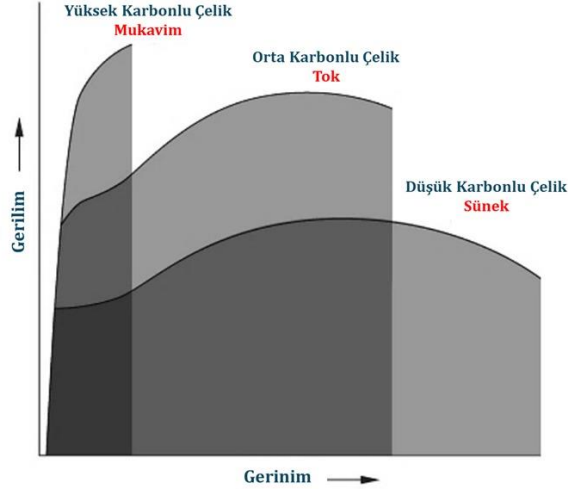
Şekil 4. 6. Çelik malzemede darbe direnci (dinamik tokluk) değerine % kükürt (S) oranının etkisi (Francis, 2017)

Çekme deneyi numuneleri ASTM E8/E8M standardına uygun olarak CNC dik işleme merkezi ve CNC tornada hazırlandı. Isıl işlemleri tamamlanan numunelerin çekme deneyleri Şekil 4.7’de gösterilen çekme testi cihazıyla yapıldı (Standard, 2013).



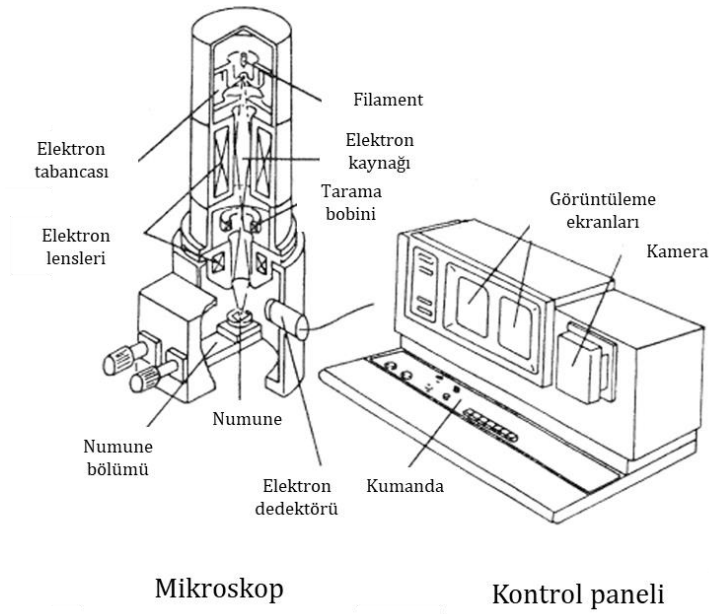
Şekil 4. 7. Testlerde kullanılan çekme testi cihazı

En önemli tahribatlı muayene yöntemi olan çekme deneyi ile malzemenin akma ve çekme dayanımları belirlenir. Standartlara uygun hazırlanmış numune, uçlarında bulunan tutma bölgelerinden test cihazı üzerindeki tutucu uçlara bağlanarak dikey yönde düzgün artan bir çekme kuvveti ile yüklenir. Buradan elde edilen çekme kuvveti (Newton), deney numunesinin kesit alanına bölünerek malzemenin gerilme değerleri bulunur. Aynı şekilde elde edilen uzama (mm), deney numunesinin ilk boyuna bölünerek malzemenin gerinim değeri bulunur. Bu yükleme sonucu numunenin akma, çekme dayanımları ve kopma uzamasına göre malzemenin mekanik özellikleri belirlenir. Şekil 4.8’de çeliklerin ihtiva ettikleri karbon oranına göre örnek gerilim/gerinim eğrileri gösterilmektedir. Görüldüğü üzere karbon oranı düştükçe süneklik artmakta, karbon oranı arttıkça akma dayanımı artmaktadır (Tecer, 2020).



Şekil 4. 8. Çeliklerin karbon oranlarına göre örnek gerilim/gerinim eğrileri (Tecer, 2020)

SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), incelenmek istenen malzemenin bileşimi, kristalografisi, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin ihtiyaç duyulan mikro ölçüde büyütülerek incelenmesi olanağını tanıyan bir yöntemdir. Elektron demetlerinin malzeme üzerinden yansımalarıyla incelenecek malzemeden hazırlanan numunenin yüksek çözünürlüklü mikro yapı fotoğraflarını oluşturur. Lenslerin ve açıklıkların parametreleri ile odaklanan ışının özellikleri ve dolayısıyla görüntüler kontrol edilir. Şekil 4.9'da örnek bir SEM cihazı görülmektedir (Goldstein vd., 2017).



Şekil 4. 9. Örnek bir SEM cihazı ve bileşenleri (Goldstein vd., 2017)

4.1. AISI 8620

Çalışmalar için, alınan AISI 8620 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 1. Kullanılan 8620 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu

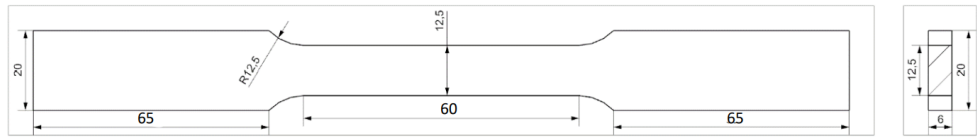
AISI 8620	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo
% miktarı	0.2	0.25	0.76	0.008	0.006	0.49	0.47	0.17

AISI 8620 çelikten işlenen Charpy numunelerinin teknik resmi Şekil 4.10’da verilmektedir.

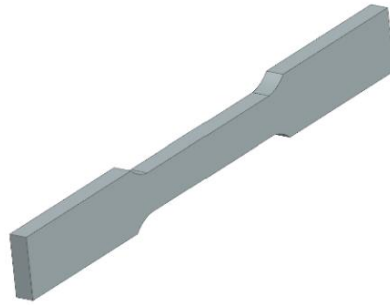


Şekil 4. 10. Charpy çentik darbe test numunelerinin teknik resmi

AISI 8620 çelikten işlenen çekme numunelerinin teknik resmi ve cad çizimi Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.

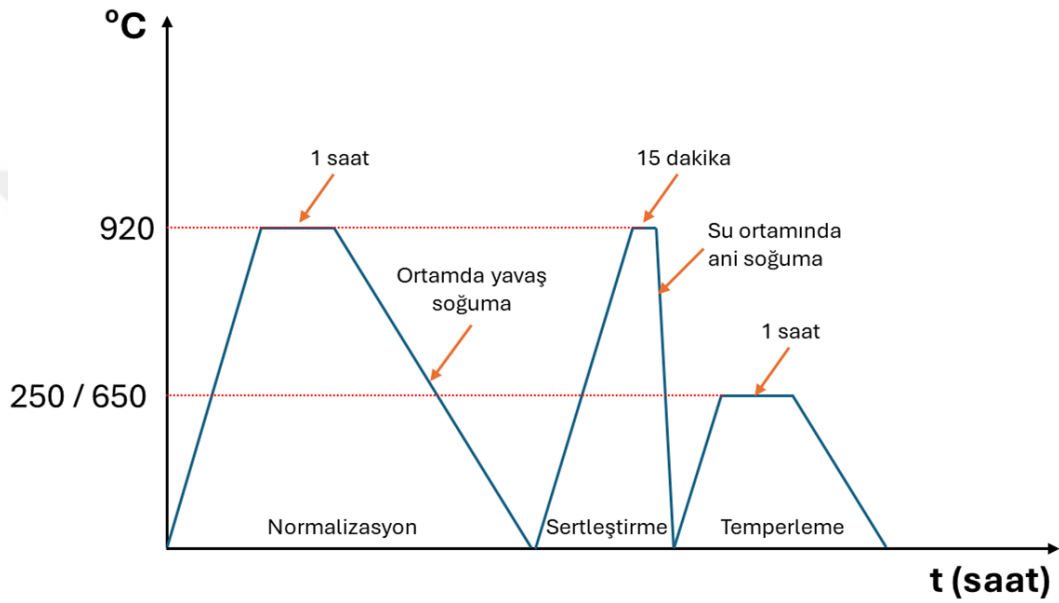


Şekil 4. 11. Çekme testi numunelerinin teknik resmi



Şekil 4. 12. Çekme testi numunelerinin cad çizimi

Talaşlı işlenen numunelere Şekil 4.13'te şematik olarak gösterilen ısıtım işlem prosedürü uygulandı. İlk olarak numunelere normalizasyon tavlaması yapıldı ve ardından su verilerek farklı temperleme sıcaklıklarında temperlendi. Yapılan çalışmada temperleme sıcaklıkları 250°C, 350°C, 450°C, 550°C ve 650°C olarak seçildi. 250°C sıcaklıkta gevreklik oluşup oluşmayacağı ve temperleme işlemindeki 100°C'lik farkın sonuçları ne şekilde etkileyeceğinin gözlemlenmesi amaçlandı.



Şekil 4. 13. Uygulanan ısıtım işlem prosedürünün şematik gösterimi

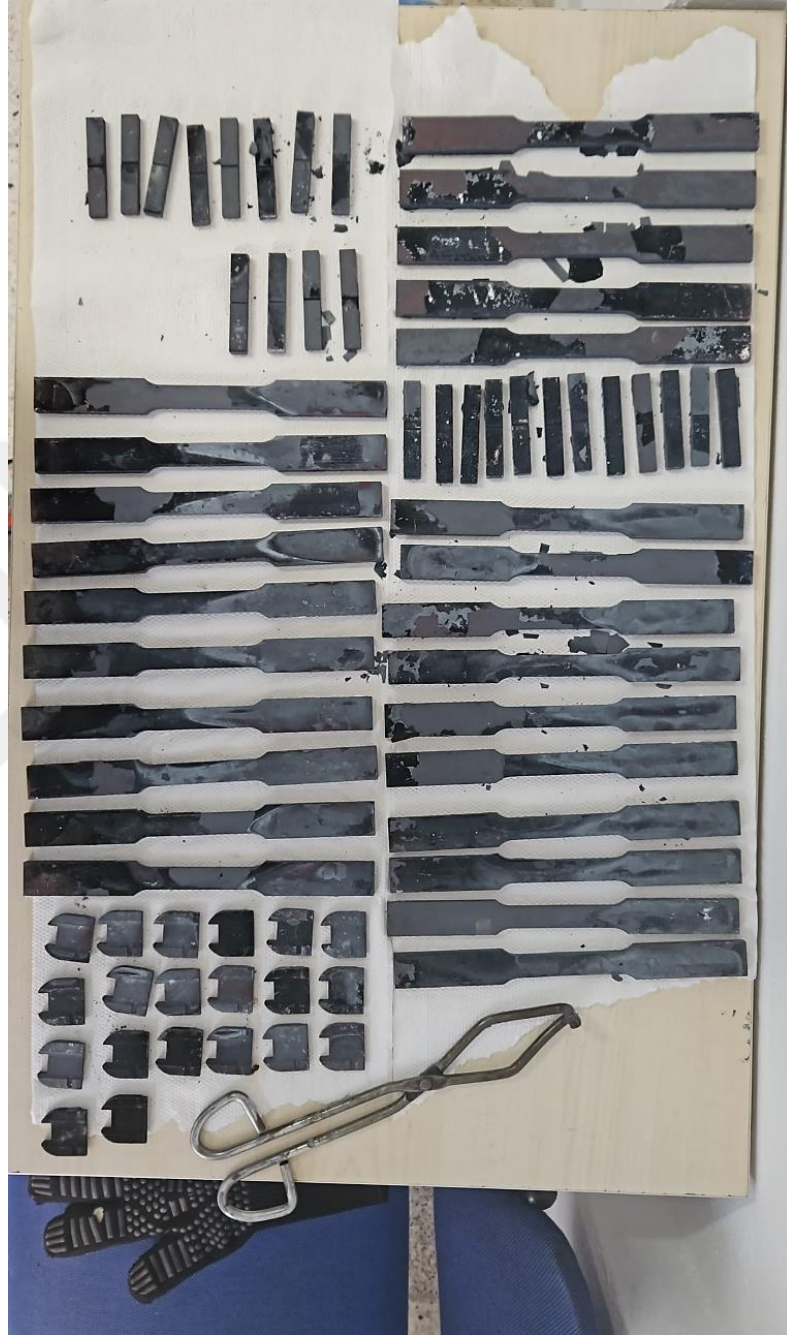
AISI 8620 çelik malzemenin düşük karbon içeriğinden dolayı su verme işleminde %10 derişikli tuzlu su kullanılarak soğuma hızını artırmak dolayısıyla martenzit dönüşümü tamamlamak amaçlandı. Su verme tanklarındaki sıcaklık değişimi Denklem 4.2'den hesaplanarak kazan boyutunun dolayısıyla sıcaklık değişiminin etkisi elimine edildi.

$$Q_{su} = m_{su} c_{p_{su}} \Delta T \quad (4.2)$$

Burada, Q_{su} , m_{su} , $c_{p_{su}}$ ve ΔT sırasıyla enerji, kütle, öz ısı ve sıcaklık farkıdır.

Talaşlı işlenen numunelerden 3 adet numune 1. grup olarak referans numunesi olmak üzere ayrıldı ve kalan tüm numuneler 920°C'ye ısıtılıp 1 saat bekletildikten

sonra durgun havada soğutularak normalizasyon işlemi tamamlandı. Şekil 4.14'te normalize edilmiş AISI 8620 numunelerinin fotoğrafı verildi.



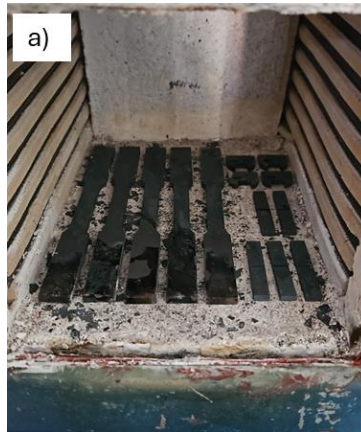
Şekil 4. 14. Normalize edilmiş AISI 8620 çelik numuneleri

Normalizasyon işleminin ardından numuneler, 3'erli deney gruplarına ayrıldı. 2. grup numuneler "sadece normalizasyon işlemi yapılmış numuneler" olarak ayrıldı. 3. ve 4. gruptaki numuneler tekrar 920°C'ye ısıtılarak sırasıyla suda sertleştirme ve tuzlu suda sertleştirme işlemleri uygulandı. Su verme işleminin

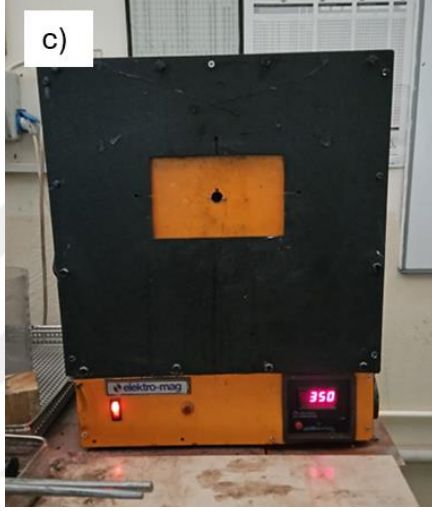
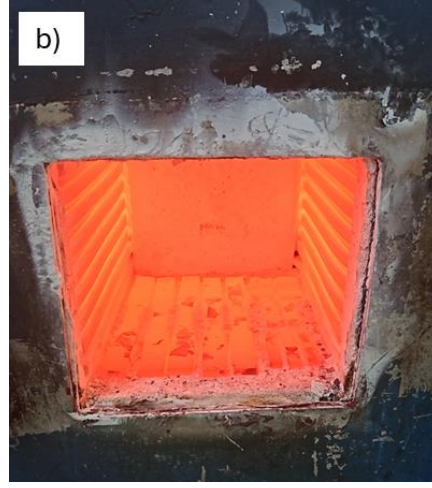
ardından bu numunelere 250°C’de temperleme işlemi yapıldı. Kalan tüm numune grupları da aynı şekilde suda sertleştirme ve tuzlu suda sertleştirme işlemlerine tabi tutularak 350°C, 450°C, 550°C ve 650°C’lerde temperlendi. Çizelge 4.2’de uygulanan ısı işlem parametreleri tablo halinde verildi. Şekil 4.15’te, uygulanan ısı işlem proseslerinden bazı fotoğraflar verildi.

Çizelge 4. 2. Uygulanan ısı işlem parametreleri

Numune Grubu	Normalizasyon	Su verme	Temperleme
1 (alındığı gibi)	-	-	-
2	920°C	-	-
3	920°C	920°C + Musluk suyu	250°C
4	920°C	920°C + Tuzlu su	250°C
5	920°C	920°C + Musluk suyu	350°C
6	920°C	920°C + Tuzlu su	350°C
7	920°C	920°C + Musluk suyu	450°C
8	920°C	920°C + Tuzlu su	450°C
9	920°C	920°C + Musluk suyu	550°C
10	920°C	920°C + Tuzlu su	550°C
11	920°C	920°C + Musluk suyu	650°C
12	920°C	920°C + Tuzlu su	650°C



Şekil 4. 15. Uygulanan ısı işlem prosesinden görseller: a) fırının sıcak haldeki görünüşü b) fırın içinde numunelerin görünüşü, c) fırında temperleme sıcaklığı, d) fırından çıkarılıp soğumaya bırakılmış numuneler



Şekil 4. 15. Uygulanan ısıt işlem prosesinden görseller: a) fırının sıcak haldeki görünüşü, b) fırın içinde numunelerin görünüşü, c) fırında temperleme sıcaklığı, d) fırından çıkarılıp soğumaya bırakılmış numuneler (Devam)

4.2. AISI 420

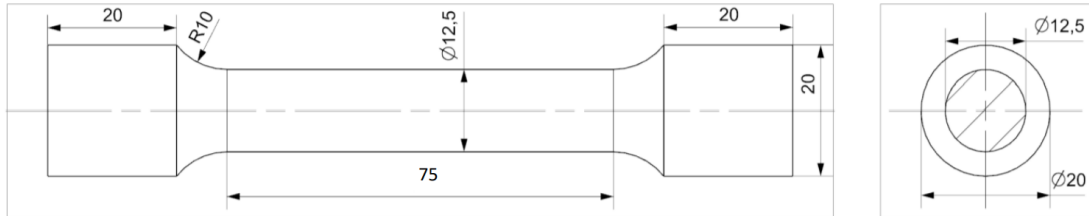
Çalışmalar için, alınan AISI 420 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.3'te verildi. Şekil 4.16'da hazırlanan Charpy numunelerinin ölçüleri ve Şekil 4.17 ile Şekil 4.18'de çekme deneyi numunelerinin teknik resmi ve cad çizimi verildi.

Çizelge 4. 3. Kullanılan 420 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu

AISI 420	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu
% miktarı	0.17	0.44	0.79	0.028	0.005	12.08	0.35	0.03	0.10



Şekil 4. 16. Charpy çentik darbe test numunelerinin teknik resmi



Şekil 4. 17. Çekme testi numunelerinin teknik resmi



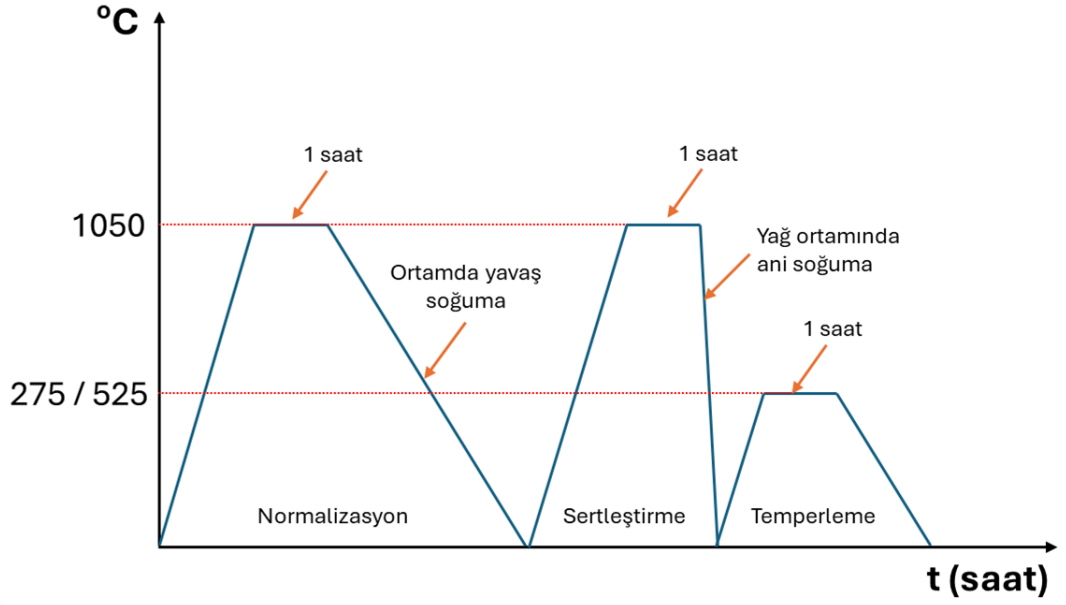
Şekil 4. 18. Çekme deneyi numunelerinin cad çizimi

Talaşlı işlenen numunelere ilk olarak normalizasyon tavlaması yapıldı. Şekil 4.19'da normalizasyon işlemi uygulanmış AISI 420 çelik parçaların fotoğrafı verildi.



Şekil 4. 19. Normalizasyon işlemi uygulanmış AISI 420 çelik parçalar

Normalizasyon işleminin ardından sertleştirme işlemi yapılarak yağda hızlı soğutma uygulandı. Ardından numuneler farklı temperleme sıcaklıklarında temperlendi. Yapılan çalışmada temperleme sıcaklıkları 275°C, 425°C, 475°C ve 525°C olarak seçildi ve temperleme işlemindeki sıcaklık farkının sonuçları ne şekilde etkileyeceğinin gözlemlenmesi amaçlandı. Numunelere uygulanan ısıtma işlem prosedürü Şekil 4.20'de şematik olarak gösterildi. Şekil 4.21'de numunelerden fotoğraflar verildi.



Şekil 4. 20. Uygulanan ısıtım prosedürünün şematik gösterimi.



Şekil 4. 21. Normalizasyon işlemi öncesi ve sonrası numuneler

Talaşlı işlenen numunelerden 3 adet numune 1. grup olarak referans numunesi olarak ayrıldı ve kalan tüm numuneler 1050°C'ye ısıtılıp 1 saat bekletildikten sonra durgun havada soğutularak normalizasyon işlemi tamamlandı. Normalizasyon işleminin ardından numuneler, 3'erli deney gruplarına ayrıldı. Tüm numuneler tekrar 1050°C'ye ısıtılarak sıcaklığın homojen dağılması için 1 saat beklendikten sonra yağda sertleştirme işlemi uygulandı. Sertleştirme işleminin hemen ardından numuneler üçerli gruplar halinde 275°C, 425°C, 475°C

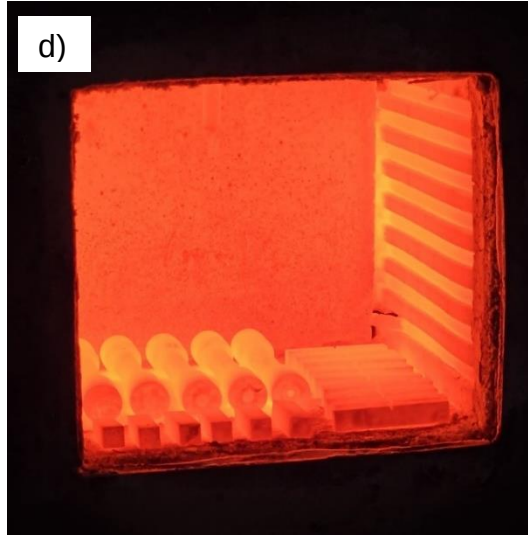
ve 525°C'lerde temperlendi. Çizelge 4.4'te uygulanan ısıt işlem parametreleri tablo halinde verildi. Şekil 4.22'de uygulanan ısıt işlemlerden fotoğraflar verildi.

Çizelge 4. 4. Uygulanan ısıt işlem parametreleri

Numune Grubu	Normalizasyon	Sertleştirme	Temperleme
1 (alındığı gibi)	-	-	-
2	1050 °C	-	-
3	1050 °C	1050 °C + yağda hızlı soğutma	275 °C
4	1050 °C	1050 °C + yağda hızlı soğutma	425 °C
5	1050 °C	1050 °C + yağda hızlı soğutma	475 °C
6	1050 °C	1050 °C + yağda hızlı soğutma	525 °C



Şekil 4. 22. Isıt işlem uygulamalarından fotoğraflar; a)Temperleme aşaması, b)Sertleştirme aşaması, c)Normalizasyon aşaması, d) Fırının içinden bir görünüş



Şekil 4. 22. Isıl işlem uygulamalarından fotoğraflar; a)Temperleme aşaması, b)Sertleştirme aşaması, c)Normalizasyon aşaması, d) Fırının içinden bir görünüş (Devam)

4.3. AISI 4140

Çalışmalar için, alınan AISI 4140 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.5'te verildi. Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te hazırlanan Charpy numunelerinin ölçüleri ve fotoğrafı, Şekil 4.25 ile Şekil 4.26'da çekme testi numunelerinin teknik resmi ve cad çizimi verildi.

Çizelge 4. 5. Kullanılan 4140 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu

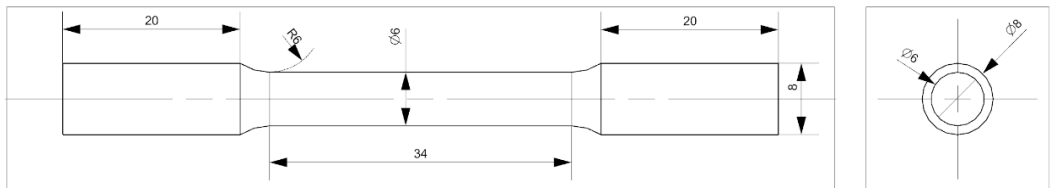
AISI 4140	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Al	%Cu	%Sn
% miktarı	0.41	0.20	0.81	0.007	0.024	1.04	0.07	0.21	0.019	0.19	0.007



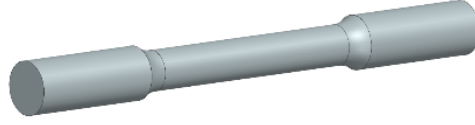
Şekil 4. 23. Charpy çentik darbe deneyi numunelerinin teknik resmi



Şekil 4. 24. Charpy deney numunesinin fotoğrafı

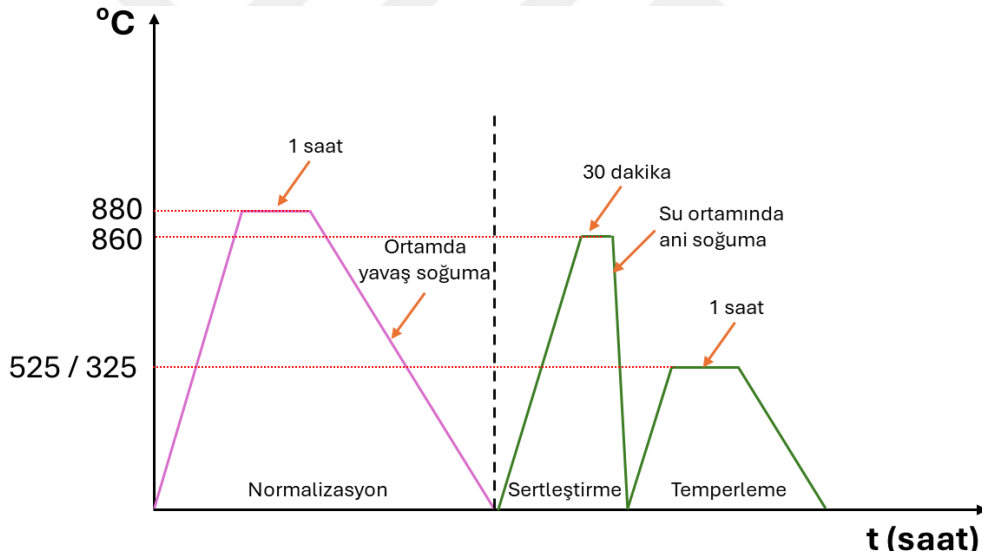


Şekil 4. 25. Çekme deneyi numunelerinin teknik resmi



Şekil 4. 26. Çekme deneyi numunelerinin cad çizimi

Talaşlı işlenen numunelerden 3 adet numune 1. grup olarak referans numunesi olarak ve kalan numuneler üçerli gruplar halinde ayrıldı. 2. grup numuneler 880°C’de normalizasyon işlemine tabi tutuldu, 3. grup numuneler 860 °C’ye ısıtılarak su verme işlemine ve ardından 325°C’de temperleme işlemine tabi tutuldu. 4. grup numuneler 860 °C’ye ısıtılarak su verme işlemine ve ardından 525°C’de temperleme işlemine tabi tutuldu. Şekil 4.27’de uygulanan ısıtım prosedürünün grafiği ve Çizelge 4.6’da uygulanan ısıtım işlem parametreleri tablo halinde verildi. Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da bazı fotoğraflar verildi.



Şekil 4. 27. Uygulanan ısıtım işlem prosedürünün şematik gösterimi

Çizelge 4. 6. Uygulanan ısıtım işlem parametreleri

Numune Grubu	Normalizasyon	Sertleştirme	Temperleme
1 (alındığı gibi)	-	-	-
2 (Normalizasyon)	880 °C	-	-
3 (Su verme+Temperleme)	-	860 °C + Su ortamı	325 °C
4 (Su verme+Temperleme)	-	860 °C + Su ortamı	525 °C



Şekil 4. 28. Normalizasyon işlemi öncesi çekme numunelerinin genel görünüşü



Şekil 4. 29. Isıl işlemlerden fotoğraflar; a)Temperleme işlemi, b)Sertleştirme işlemi, c)Su verme işlemi esnasından genel görünüşler



Şekil 4. 29. Isıl işlemlerden fotoğraflar; a)Temperleme işlemi, b)Sertleştirme işlemi, c)Su verme işlemi esnasından genel görünüşler (Devam)

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. AISI 8620

5.1.1. Mekanik özellikler

Talaşlı işlenen numunelere, belirlenen ısıtma işlem parametrelerine uygun olarak ısıtma işlemleri tamamlandıktan sonra sertlik ölçümleri, Charpy çentik darbe deneyleri ve çekme deneyleri yapıldı.

Her parametre için gerçekleştirilen sertlik deney sonuçlarının ortalaması alındı ve standart sapmaları hesaplanarak Çizelge 5.1’de verildi. Ölçülen sertlik değerlerinin standart sapmalarına bakıldığında sertlik değerlerinin çok fazla dağılım göstermediği görülmektedir. Buradan hareketle uygulanan ısıtma işlemlerin numune boyunca homojen uygulanmış olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5. 1. Sertlik deneyi sonuçları

	Ortalama Sertlik (hrA)	Standart Sapma
1- Alındığı gibi	65,61	2,51
2 - Normalizasyon	53,69	2,45
3- Su verme (musluk suyu) + Temperleme (250°C)	73,21	1,01
4- Su verme (tuzlu su) + Temperleme (250°C)	71,58	0,55
5- Su verme (musluk suyu) + Temperleme (350°C)	72,86	2,99
6- Su verme (tuzlu su) + Temperleme (350°C)	70,50	1,66
7- Su verme (musluk suyu) + Temperleme (450°C)	72,06	0,32
8- Su verme (tuzlu su) + Temperleme (450°C)	69,42	0,28
9- Su verme (musluk suyu) + Temperleme (550°C)	71,00	1,63
10- Su verme (tuzlu su) + Temperleme (550°C)	68,81	2,33
11- Su verme (musluk suyu) + Temperleme (650°C)	62,35	0,25
12- Su verme (tuzlu su) + Temperleme (650°C)	59,25	3,57

Çentik darbe deneylerinden okunan kp.m değerleri Joule'e çevrilip, kesit alanına bölünerek J/cm² olarak darbe enerji değerleri hesaplandı. Her parametre için yapılan 3'er Charpy çentik darbe deneyinin sonuçlarının aritmetik ortalaması alındı ve standart sapması hesaplanarak Çizelge 5.2'de verildi.

Çizelge 5. 2. AISI 8620 çelik malzemenin darbe dayanım test sonuçları

Alındığı gibi							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	2,5	24,515	0,4	61,2875	63,74	±	2,00
2	2,6	25,4956	0,4	63,739			
3	2,7	26,4762	0,4	66,1905			
Normalize edilmiş							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	1,3	12,7478	0,4	31,8695	54,75	±	17,26
2	3	29,418	0,4	73,545			
3	2,4	23,5344	0,4	58,836			
Su verme (musluk suyu)+ Temperleme (250°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	3,1	30,3986	0,4	75,9965	74,36	±	1,16
2	3	29,418	0,4	73,545			
3	3	29,418	0,4	73,545			
Su verme (tuzlu su)+ Temperleme (250°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	2,5	24,515	0,4	61,2875	63,74	±	5,30
2	2,9	28,4374	0,4	71,0935			
3	2,4	23,5344	0,4	58,836			
Su verme (musluk suyu)+ Temperleme (350°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	2,7	26,4762	0,4	66,1905	65,37	±	1,16
2	2,6	25,4956	0,4	63,739			
3	2,7	26,4762	0,4	66,1905			
Su verme (tuzlu su)+ Temperleme (350°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	2,8	27,4568	0,4	68,642	67,82	±	1,16
2	2,7	26,4762	0,4	66,1905			
3	2,8	27,4568	0,4	68,642			

Çizelge 5. 2. AISI 8620 çelik malzemenin darbe dayanım test sonuçları (Devam)

Su verme (musluk suyu)+ Temperleme (450°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	3,3	32,3598	0,4	80,8995	74,36	±	5,04
2	2,8	27,4568	0,4	68,642			
3	3	29,418	0,4	73,545			
Su verme (tuzlu su)+ Temperleme (450°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	3	29,418	0,4	73,545	78,45	±	4,00
2	3,2	31,3792	0,4	78,448			
3	3,4	33,3404	0,4	83,351			
Su verme (musluk suyu)+ Temperleme (550°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	4,3	42,1658	0,4	105,415	100,51	±	4,00
2	3,9	38,2434	0,4	95,6085			
3	4,1	40,2046	0,4	100,512			
Su verme (tuzlu su)+ Temperleme (550°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	4,2	41,1852	0,4	102,963	103,78	±	1,16
2	4,3	42,1658	0,4	105,415			
3	4,2	41,1852	0,4	102,963			
Su verme (musluk suyu)+ Temperleme (650°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	3,5	34,321	0,4	85,8025	77,22	±	7,01
2	2,8	27,4568	0,4	68,642			
3	3,15	30,8889	0,4	77,2223			
Su verme (tuzlu su)+ Temperleme (650°C)							
Test No	kp.m	Jolue	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	3,1	30,3986	0,4	75,9965	82,53	±	16,67
2	2,7	26,4762	0,4	66,1905			
3	4,3	42,1658	0,4	105,415			

Şekil 5.1’de kırılma enerjisi ve uygulanan ısıtma işlem parametreleriyle beraber bazı numunelerin eğilme açıları verildi.



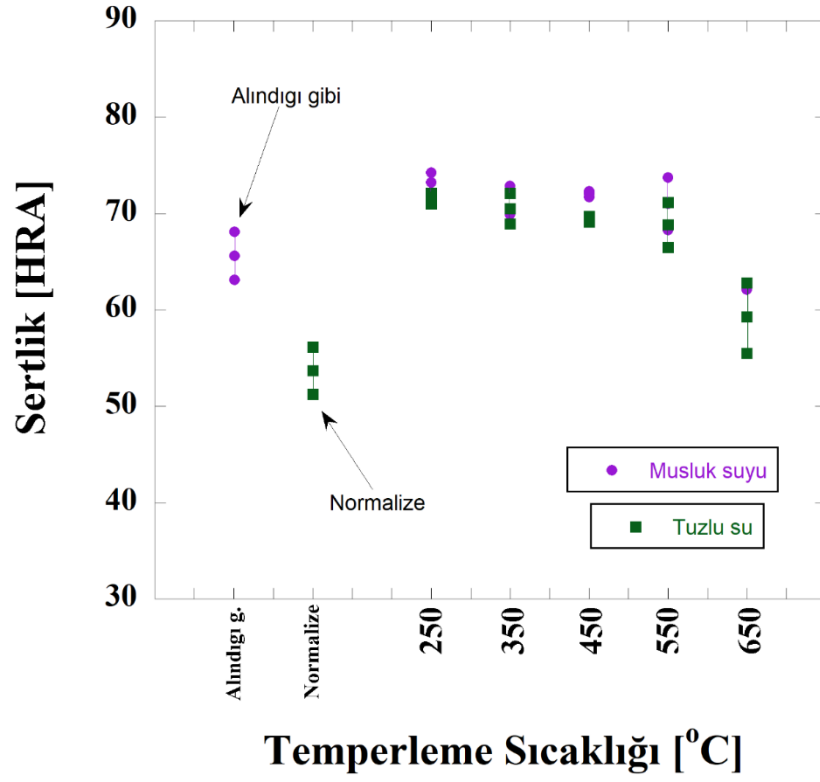
Şekil 5. 1. Bazı çentik darbe numunelerinin deney sonrası genel görünüşleri ve sonuçları

Uygulanan çekme testi sonuçlarından elde edilen akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması tablo halinde Çizelge 5.3'te verildi.

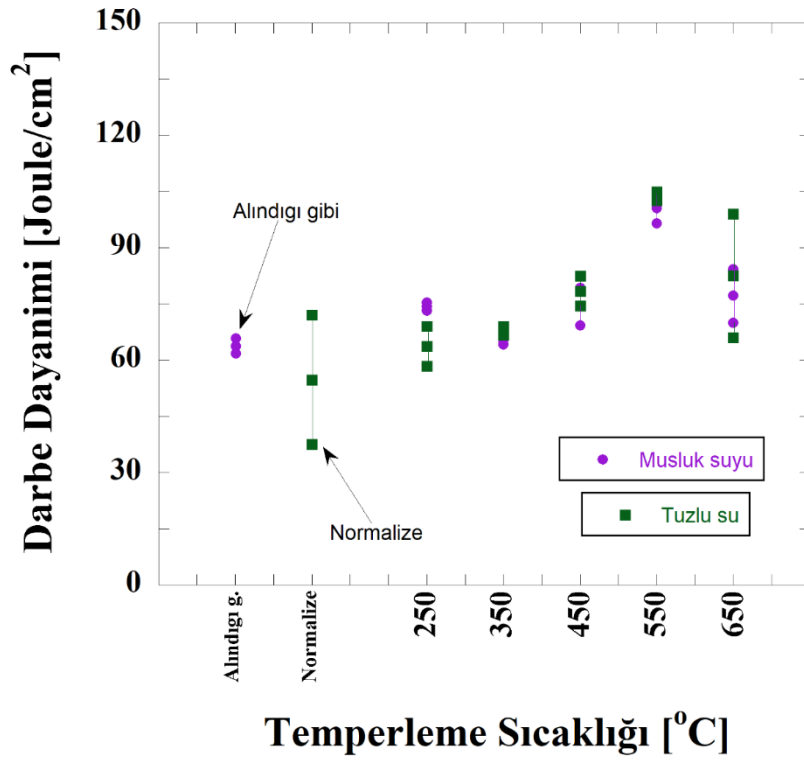
Çizelge 5. 3. Çekme testi sonuçları

Temperleme Sıcaklığı °C	Akma Dayanımı [Mpa]	Çekme Dayanımı [Mpa]	Kopma Uzaması [%]
Alındığı gibi	230	640	24,9
Normalize	220	592	26,5
250 °C (Musluk suyu)	955	1310	10,4
250 °C (Tuzlu su)	980	1340	10
350 °C (Musluk suyu)	1050	1200	10,8
350 °C (Tuzlu su)	1075	1215	10,2
450 °C (Musluk suyu)	875	940	12,9
450 °C (Tuzlu su)	875	936	13
550 °C (Musluk suyu)	785	860	16,9
550 °C (Tuzlu su)	840	875	15,2
650 °C (Musluk suyu)	590	645	21,6
650 °C (Tuzlu su)	630	680	21

Sonuçların daha iyi irdelenebilmesi adına sertlik ve çentik darbe deneyi verileri grafik haline getirilerek Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te verildi.



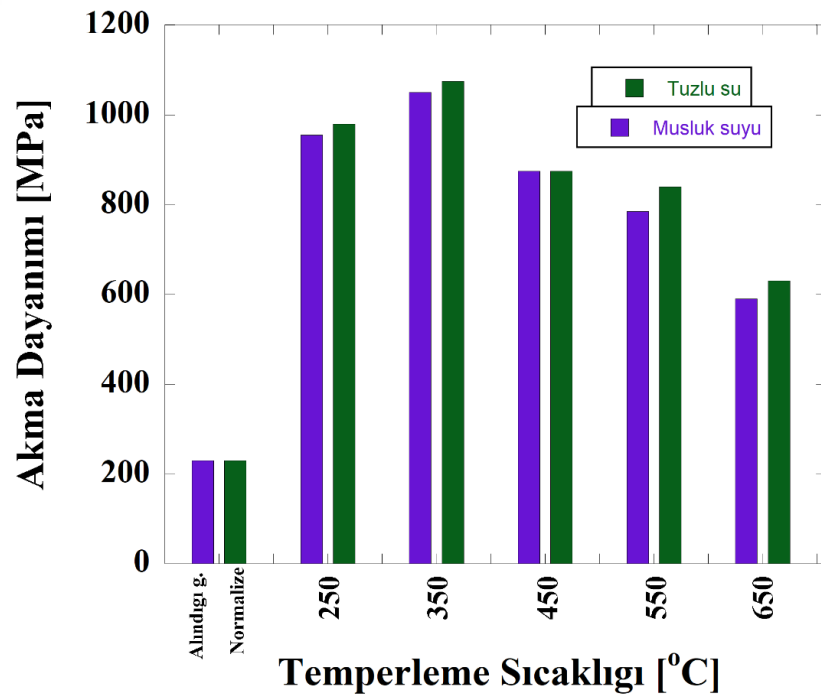
Şekil 5. 2. Sertlik deneyi sonuçları grafiği



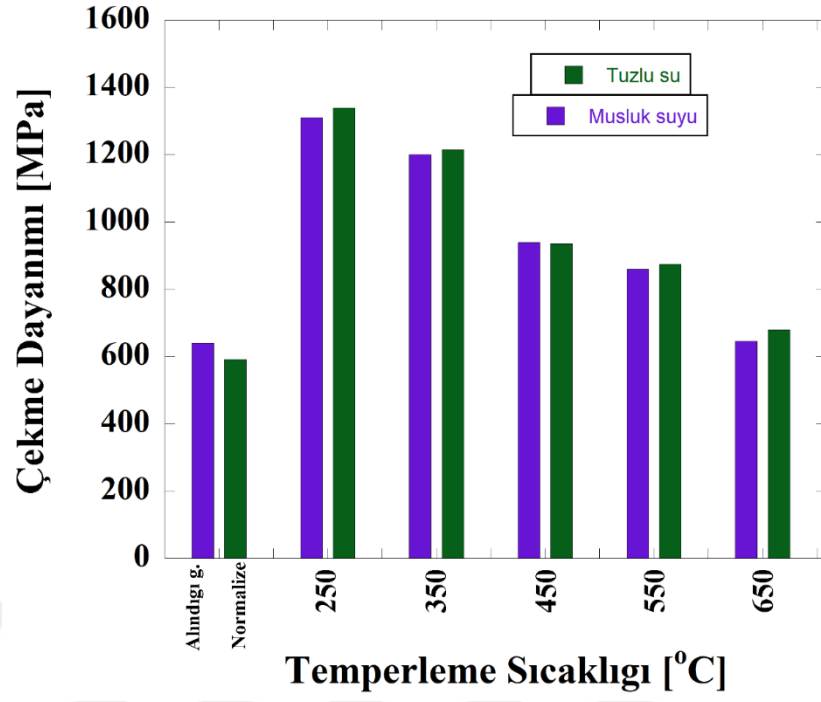
Şekil 5. 3. Darbe dayanımı deneyi sonuçları grafiği

Grafiklerde de görüldüğü gibi, normalizasyona kıyasla su verme + temperleme yapılan numunelerin sertlik değerlerinde belirgin bir artış gözlenirken; farklı sıcaklıklarda temperleme işlemi yapılan numunelerin kendi arasında daha küçük farklar gözlemlenmektedir. Öte yandan darbe testi sonuçları incelendiğinde 350°C’de temperlenen numuneler, hiç işlem görmemiş numuneler ile belirgin bir fark göstermezken; 550°C’de temperleme işlemi görmüş numuneler ile kıyaslandığında 550°C’de temperleme yapılan numunelerin darbe dayanımlarının oldukça arttığı görülmektedir. Aynı şekilde grafiklerdeki tüm trend tutarlıdır ve temperleme sıcaklığının artmasıyla sertlik düşmekte, darbe direnci değerleri ise artmaktadır. Musluk suyu ve tuzlu suda su verilen numuneler kendi içerisinde incelendiğinde sertlik açısından yine belirgin bir fark gözlenmezken, tuzlu su ile su verilen numunelerin darbe dayanımlarında her beş sıcaklık için de bir miktar artış gözlemlenmiştir.

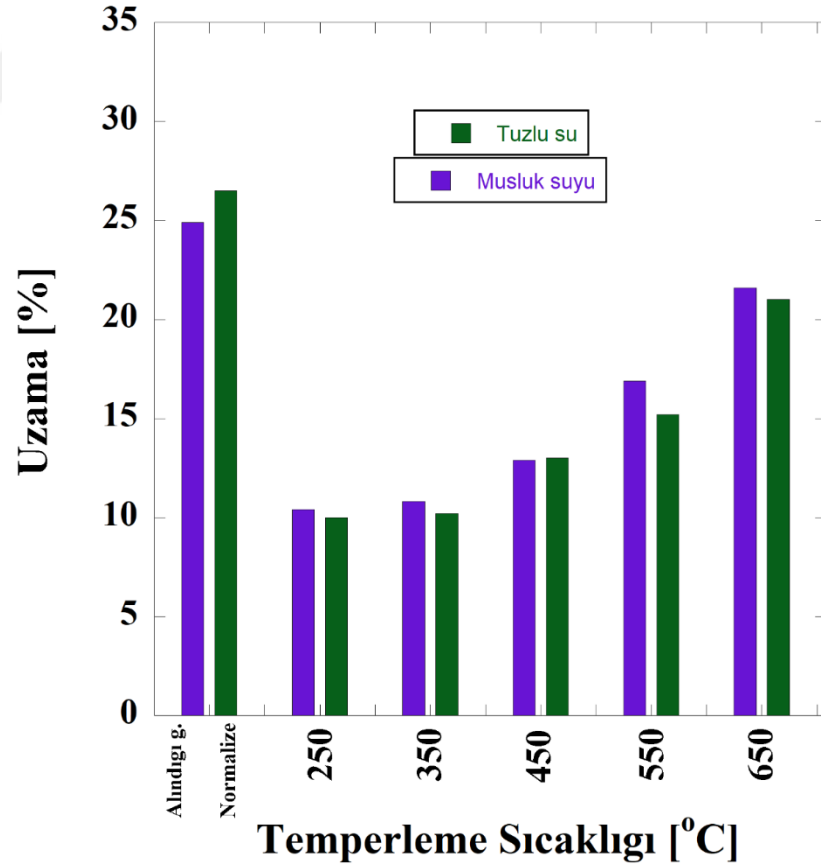
Çekme deneyi sonuçları da daha iyi incelenebilmesi amacıyla grafik haline dönüştürülerek Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verildi.



Şekil 5. 4. Akma dayanımı değerlerinin toplu halde grafiği

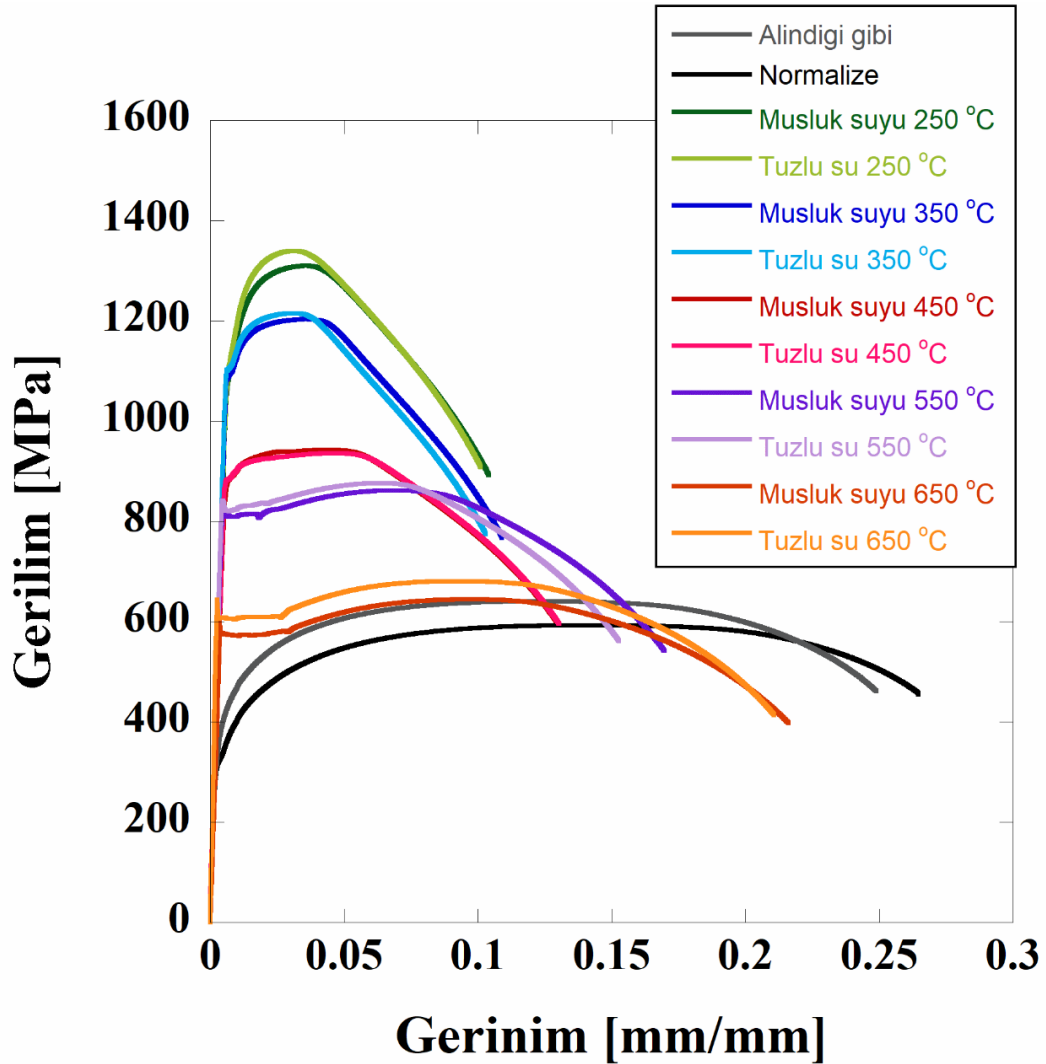


Şekil 5. 5. Temperleme sıcaklıklarına göre çekme dayanımı değerleri grafiği



Şekil 5. 6. Temperleme sıcaklıklarına göre uzama değerleri grafiği

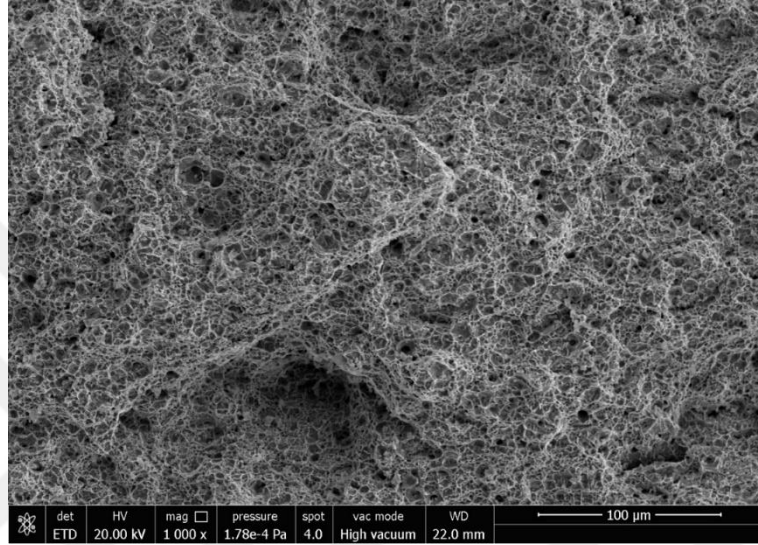
Çekme deneyi sonuçlarından gerilme-gerinim grafiği çıkarılarak tüm sonuçlar Şekil 5.7’de verilmiştir. Malzemenin normalizasyon işleminden sonra, alındığı gibi haline göre sünekliği artmış ve çekme dayanımı düşmüştür. Sertleştirme işlemi yapılmış ve ardından temperleme işlemi gerçekleştirilmiş numuneler incelendiğinde temperleme sıcaklığı arttıkça malzemenin dayanımı düşmüş ve gevrekliği azalmıştır. Tüm örneklerde görülmüştür ki, sertleştirme ortamı tuzlu su olan malzemelerin, musluk suyu olanlara kıyasla temperleme işleminin ardından sünekliği daha çok artmış olup buna karşın çekme dayanımlarında daha yüksek bir düşüş görülmüştür.



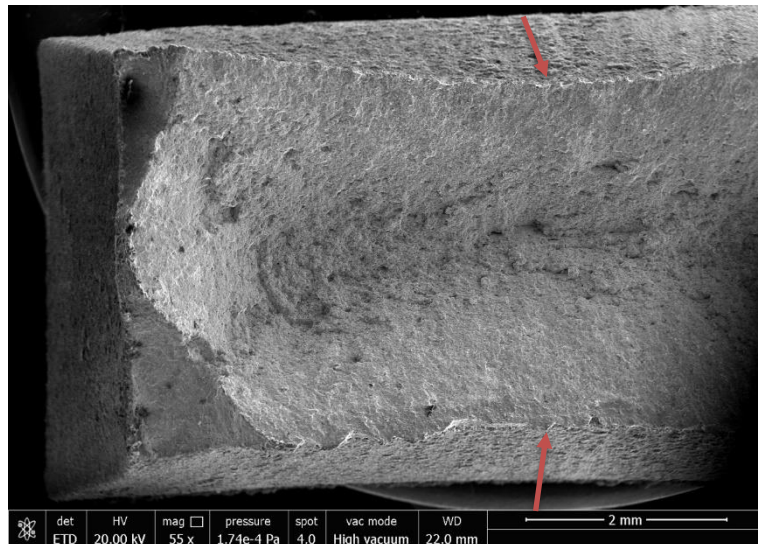
Şekil 5. 7. Gerilme-gerinim grafiklerinin toplu halde gösterilmesi

5.1.2. Kırık yüzeyi incelemeleri

Şekil 5.8’de gösterilen, sadece normalizasyon işlemi uygulanmış çekme numunesinin SEM görüntüsünde mikro seviyede koni çatlak türü (sünek) kırılma tüm yüzeyde bütünüyle görülmektedir. Şekil 5.9’da görünen bel verme bölgesi sünek kırılma olduğunu ve kırılma enerjisinin yüksek olduğunu göstermektedir.

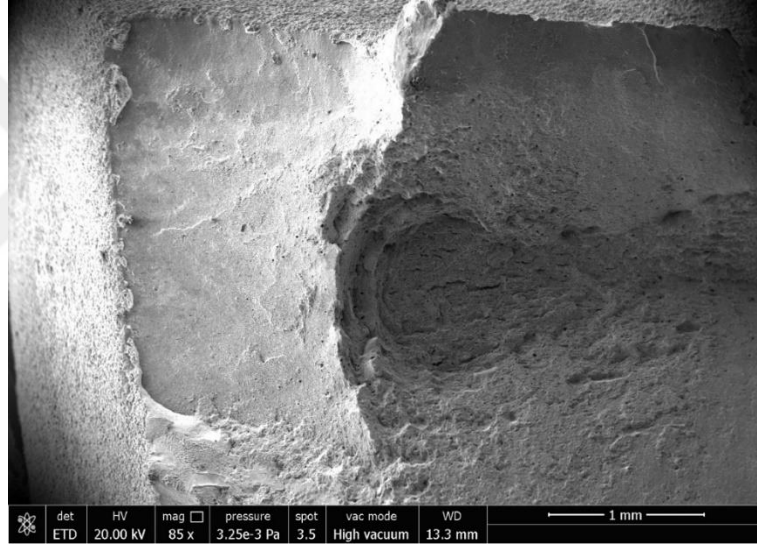


Şekil 5. 8. Sadece normalizasyon yapılmış çekme numunesi; Akma dayanımı: 220 MPa, Çekme dayanımı: 592 MPa, Kopma Uzaması: %26,5



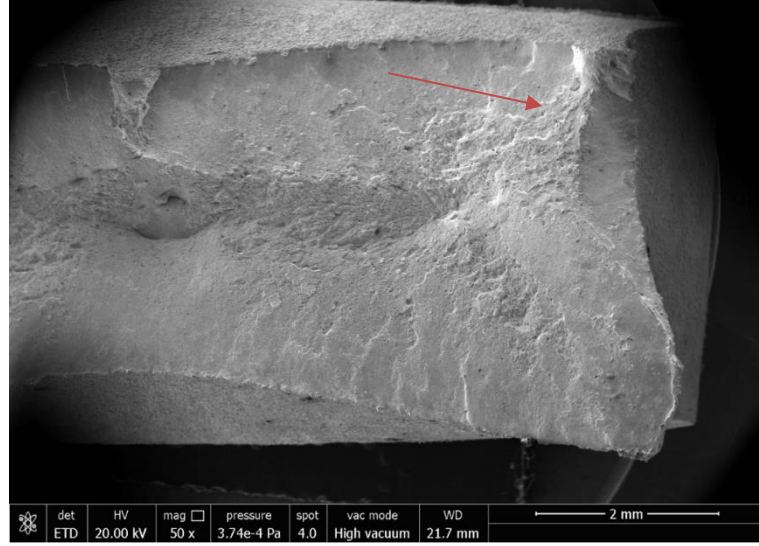
Şekil 5. 9. Sadece normalizasyon yapılmış çekme numunesinin kırık yüzeyi makro görüntüsü; Akma dayanımı: 220 MPa, Çekme dayanımı: 592 MPa, Kopma Uzaması: %26,5

Suda sertleştirme (musluk suyu) ve ardından 250°C'de temperleme işlemi uygulanan çekme numunesinin SEM görüntüsünün verildiği Şekil 5.10'a bakıldığında, iki farklı kırık yüzey bölgesinin mevcut olduğu görülmektedir. Gevrek ve sünek kırılma bölgesi olarak iki ayrı kırılma türü aynı kesitte görülmektedir. Bu durum karışık kırılmayı gösterir. Kırık yüzeyine makro açıdan bakıldığında kesitin orta bölgesinde daralma olduğu görülmektedir. Bu durum makro açıdan sünek kırılmanın olduğunun önemli bir göstergesidir. Son kırılma yüzeyi gevrek davranış gösterirken yan yüzeylerde dudaklanma olduğu ve sünek kırılmanın bir göstergesi olduğu dikkat çekmektedir. Buradan, görüntülerin tabloda verilen kırılma enerjileri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

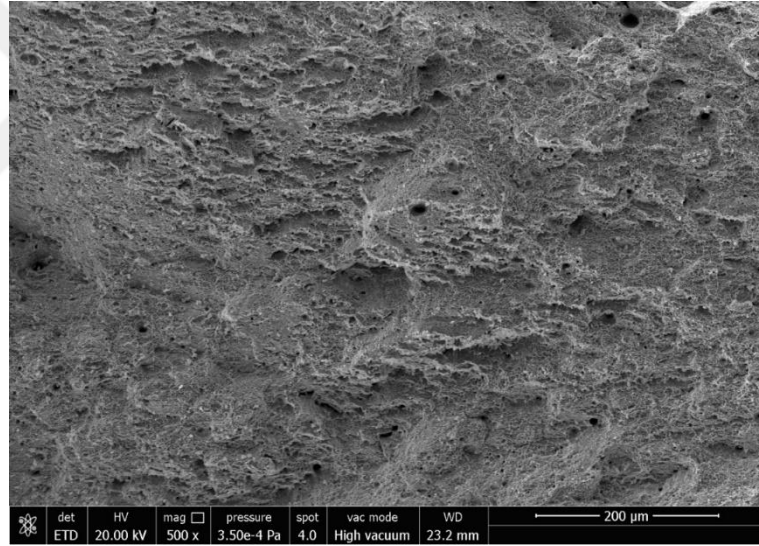


Şekil 5. 10. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 955 MPa, Çekme dayanımı: 1310 MPa, Kopma Uzaması: %10,4

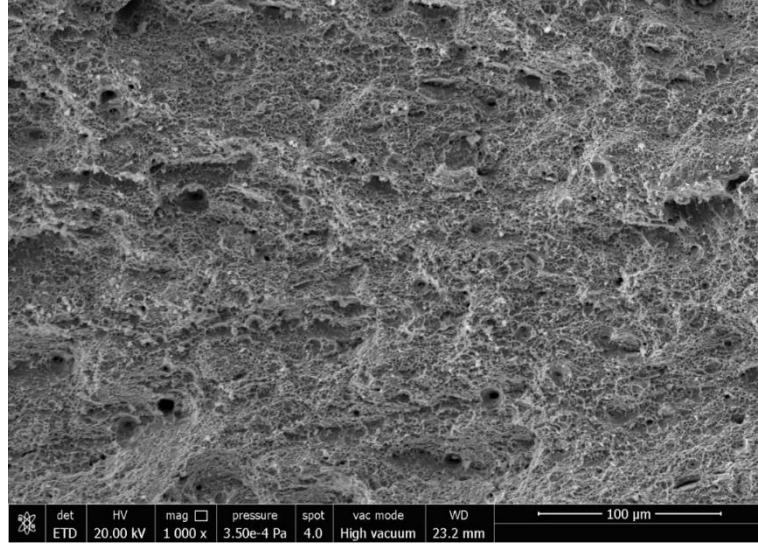
Şekil 5.11'de sağda gösterilen gevrek kısım dışında kalan yapının sünek olduğu görülmektedir. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te de genel anlamda sünek kırılma bölgesi görülmektedir. Şekil 5.14'te verilen SEM görüntüsüne bakıldığında sertleştirme işleminin tuzlu suda yapılmış olmasının musluk suyunda sertleştirme işlemi yapılan numuneye kıyasla çok farklı bir yapı göstermediği söylenebilir.



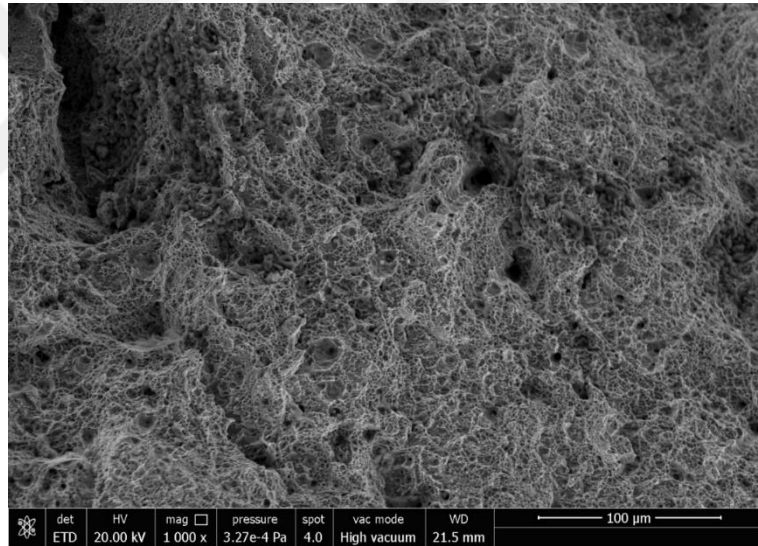
Şekil 5. 11. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 955 MPa, Çekme dayanımı: 1310 MPa, Kopma Uzasması: %10,4



Şekil 5. 12. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 955 MPa, Çekme dayanımı: 1310 MPa, Kopma Uzasması: %10,4

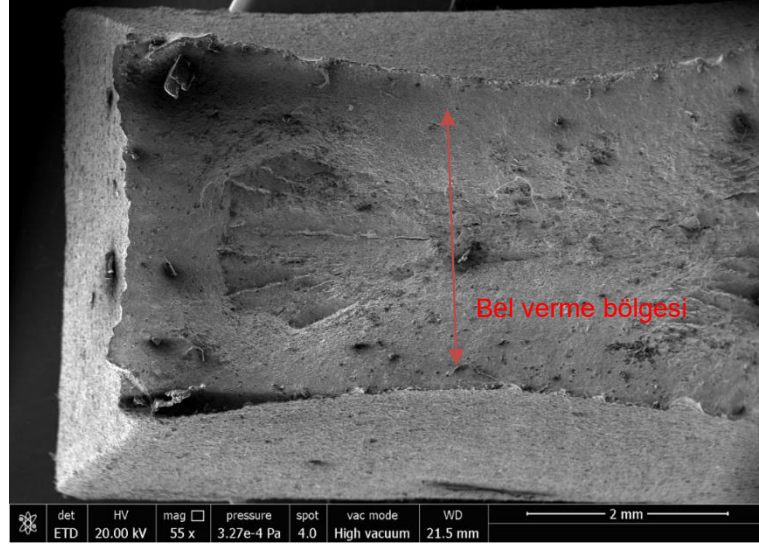


Şekil 5. 13. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme çekme numunesi Akma dayanımı: 955 MPa, Çekme dayanımı: 1310 MPa, Kopma Uzaması: %10,4

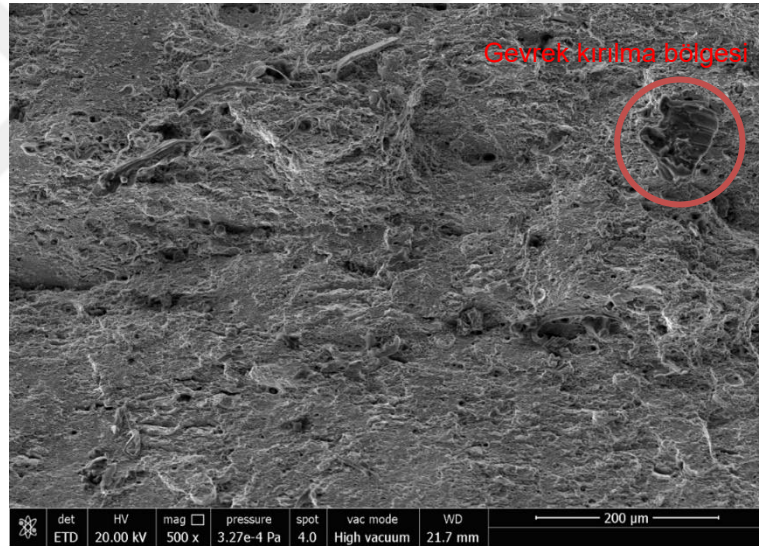


Şekil 5. 14. Su verme (tuzlu su) + 250°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 980 MPa, Çekme dayanımı: 1340 MPa, Kopma Uzaması: %10

Su verme (musluk suyu) ve 450°C'de temperleme işlemi yapılan çekme numunelerinin SEM görüntüsünün verildiği Şekil 5.15'te numunenin bel verme bölgesi görülmektedir ve iç kısımdaki daralma sünekliğin göstergesidir. Şekil 5.16'ya bakıldığında yapıda gevrek kırılmış bir bölge olduğu, kalan yapının ise sünek olduğu görülmektedir.

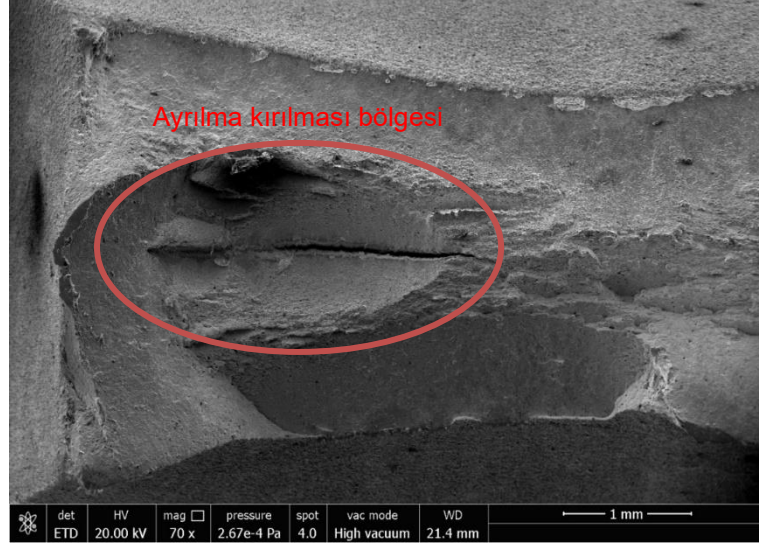


Şekil 5. 15. Su verme (musluk suyu) + 450°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 875 MPa, Çekme dayanımı: 940 MPa, Kopma Uzasması: %12,9



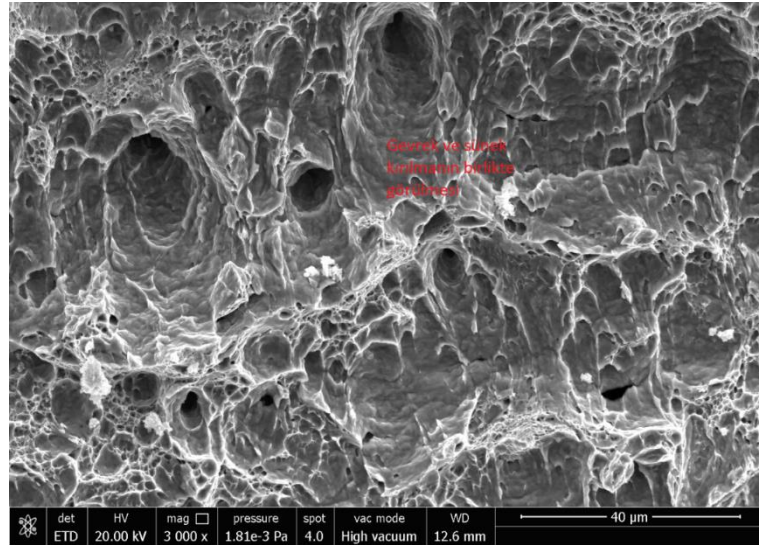
Şekil 5. 16. Su verme (musluk suyu) + 450°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 875 MPa, Çekme dayanımı: 940 MPa, Kopma Uzasması: %12,9

Su verme işleminin ardından 650 °C'de temperlenmiş çekme numunelerinin SEM görüntüsü Şekil 5.17'de verilmiştir ve aşırı zorlanmış bölgede ayrılma kırılması görülmektedir.

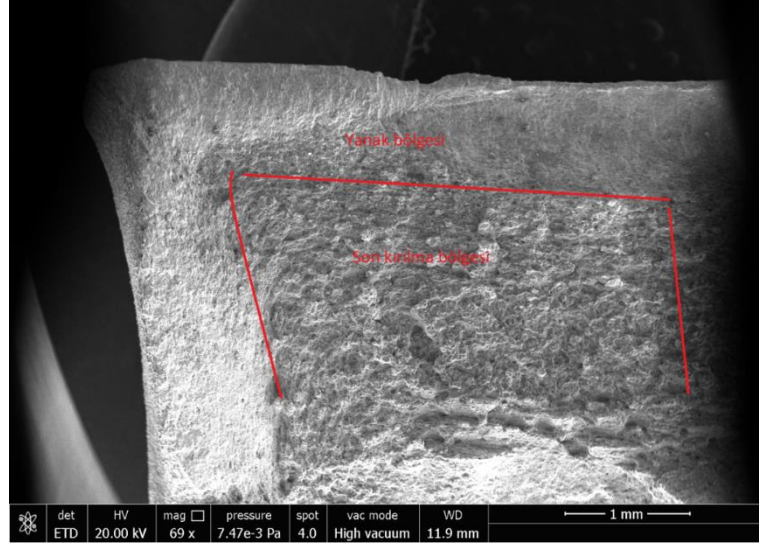


Şekil 5. 17. Su verme (musluk suyu) + 650°C temperleme çekme numunesi; Akma dayanımı: 590 MPa, Çekme dayanımı: 645 MPa, Kopma Uzaması: %21,6

Darbe deneyi numunelerinin SEM görüntülerine bakıldığında Şekil 5.18’de su verme işleminin ardından 250 °C’de temperlenmiş numunede gevrek ve sünek kırılmanın bir arada görüldüğü karışık kırılma görülmektedir. Tuzlu suda su verme işlemi gerçekleştirilmiş numunenin Şekil 5.19’da verilen SEM görüntüsünde yanak bölgesi ile son kırılma bölgeleri ayırt edilmektedir. SEM görüntüleri ile darbe deneyi sonuçlarının tutarlı olduğu görülmüştür.

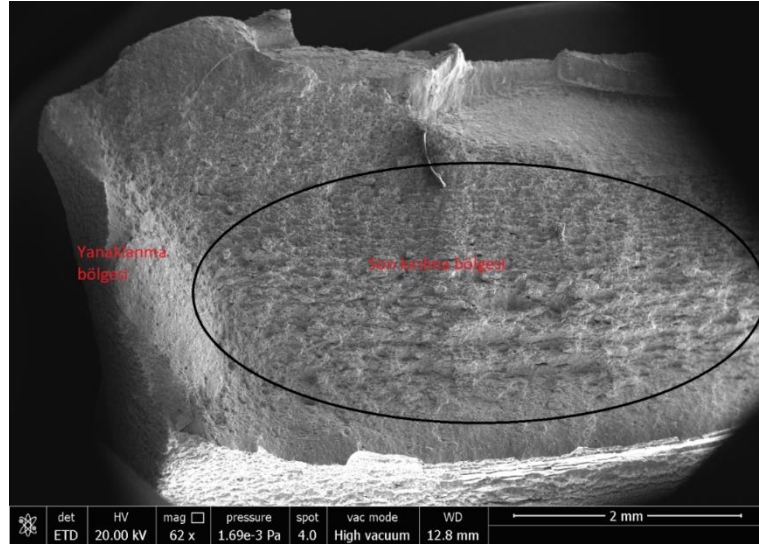


Şekil 5. 18. Su verme (musluk suyu) + 250°C temperleme darbe testi numunesi, darbe dayanım değeri: 75,996 J/cm²

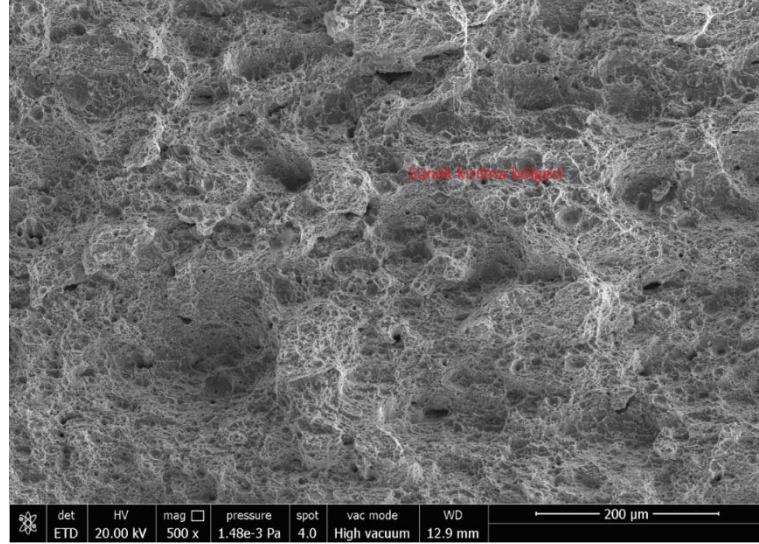


Şekil 5. 19. Su verme (tuzlu su) + 250°C temperleme darbe testi numunesi, darbe enerjisi değeri: 58,83 J/cm²

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de su verme işleminin ardından 450 °C’de temperlenmiş çentik darbe deneyi numunelerinin görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.20’de numunenin yanaklanma bölgesi ile son kırılma bölgesi belirgin olarak ayırt edilmektedir. Şekil 5.21’de sünek kırılma bölgesi görülmektedir. SEM görüntüleri ile darbe deneyi sonuçlarının tutarlı olduğu görülmektedir.

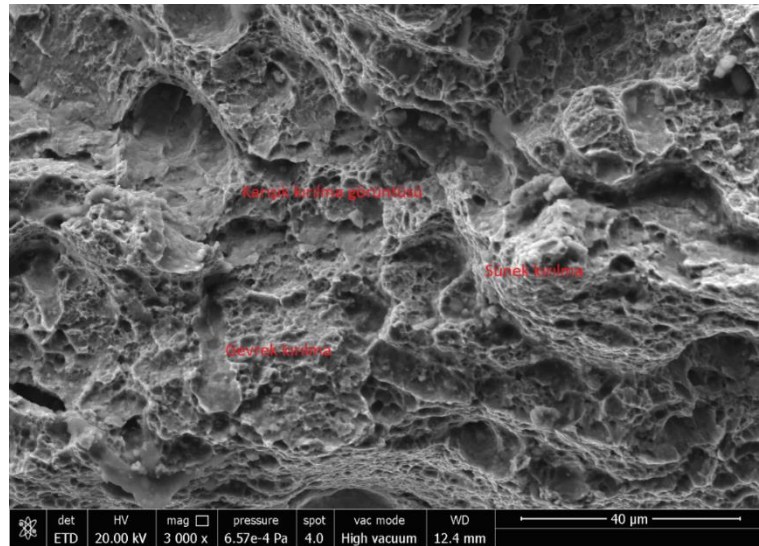


Şekil 5. 20. Su verme (musluk suyu) + 450°C temperleme darbe testi numunesi, darbe dayanım değeri: 80,89 J/cm²



Şekil 5. 21. Su verme (musluk suyu) + 450°C temperleme darbe testi numunesi, darbe dayanım değeri: 80,89 J/cm²

Şekil 5.22’de tuzlu suda su verilme işleminin ardından 650°C’de temperleme işlemi yapılan çentik darbe testi numunesinde gevrek ve sünek kırılmalar aynı kesitte görülmektedir. Bu, yapıda karışık kırılma bölgesi olduğunu gösterir. Kırık yüzeyi görüntüsü ile darbe deneyi sonucu uyumludur.



Şekil 5. 22. Su verme (tuzlu su) + 650°C temperleme darbe testi numunesi, darbe direnci değeri: 105,415 J/cm²

5.2. AISI 420

5.2.1. Mekanik özellikler

Isıl işlemleri tamamlanan numunelerin sertlik ölçümleri, Charpy çentik darbe testleri ve çekme testleri yapıldı. Her parametre için gerçekleştirilen sertlik deney sonuçlarının ortalaması alındı ve standart sapmaları hesaplanarak Çizelge 5.4'te verildi.

Çizelge 5. 4. Sertlik değerleri tablosu

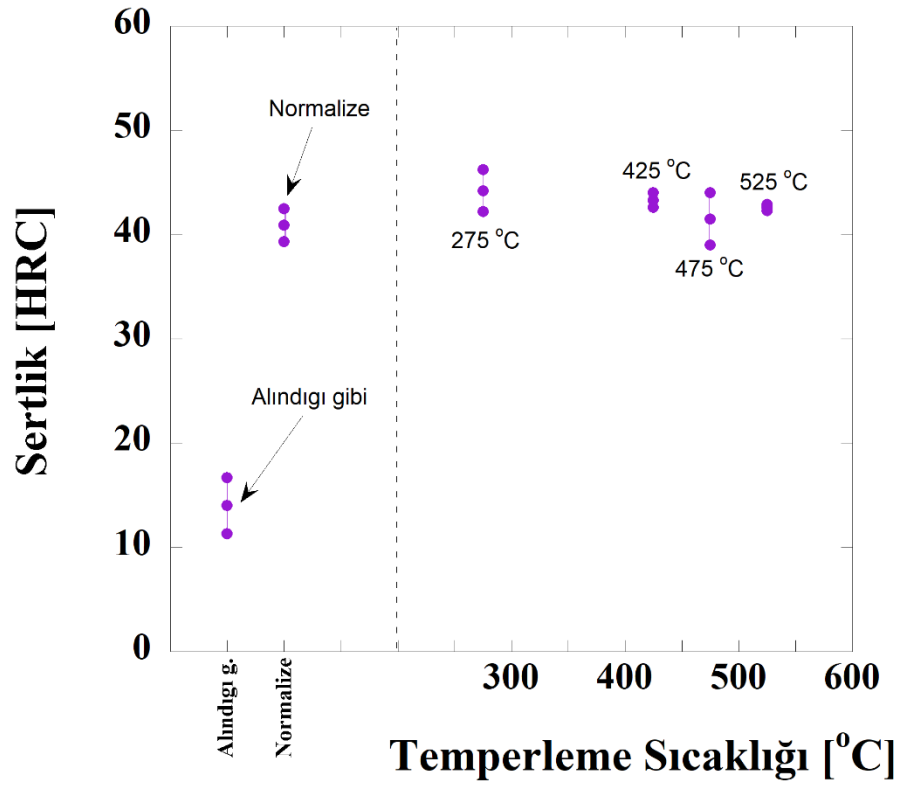
	Ortalama Sertlik (HRC)	Standart Sapma
1- Alındığı gibi)	14,07	2,78
2 - Normalizasyon	40,94	1,68
3- Temperleme (275 °C)	44,25	1,84
4- Temperleme (425 °C)	43,33	0,76
5- Temperleme (475 °C)	41,45	2,53
6- Temperleme (525 °C)	42,65	0,35

Çentik darbe testlerinden okunan kp.m değerleri Joule'e çevrilip, kesit alanına bölünerek J/cm² olarak darbe dayanımları hesaplandı. Her parametre için yapılan 3'er Charpy çentik darbe testinin sonuçlarının aritmetik ortalaması alındı ve standart sapması hesaplanarak Çizelge 5.5'te verildi.

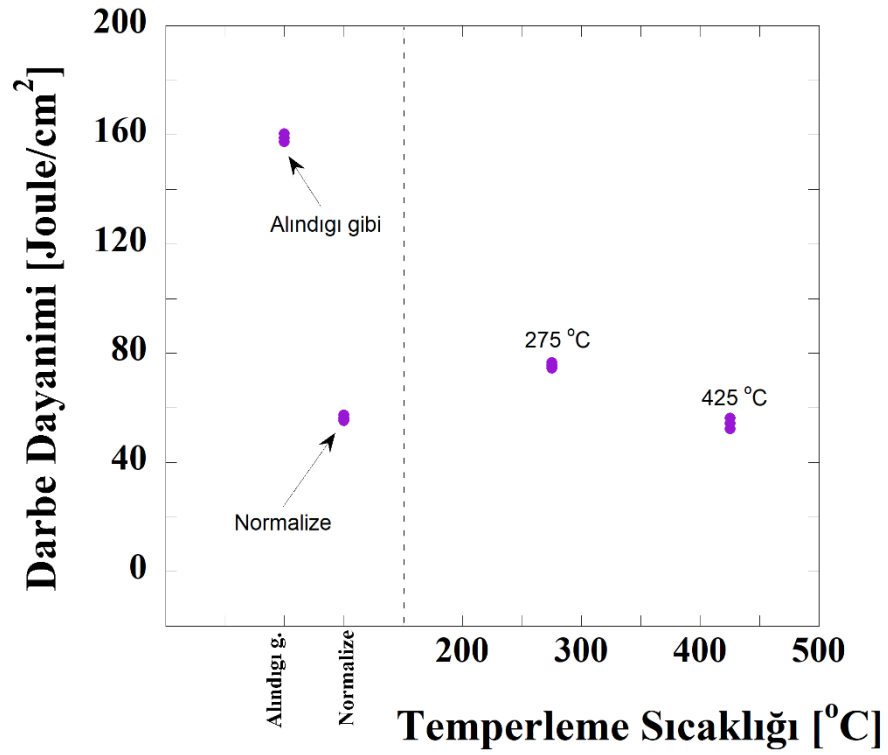
Çizelge 5. 5. Çentik darbe testi sonuçları tablosu

Alındığı gibi							
Test No	kp.m	Joule	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	13,1	128,459	0,8	160,573	158,94	±	1,53
2	13	127,478	0,8	159,348			
3	12,8	125,517	0,8	156,896			
Normalize Edilmiş							
Test No	kp.m	Joule	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	4,5	44,127	0,8	55,1588	56,38	±	1,00
2	4,6	45,1076	0,8	56,3845			
3	4,7	46,0882	0,8	57,6103			
275 °C'de temperlenmiş							
Test No	kp.m	Joule	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	6,3	61,7778	0,8	77,2223	75,59	±	1,16
2	6,1	59,8166	0,8	74,7708			
3	6,1	59,8166	0,8	74,7708			
425 °C'de temperlenmiş							
Test No	kp.m	Joule	A (cm ²)	J/cm ²	Average Impact Strength (J/cm ²)		
1	4,2	41,1852	0,8	51,4815	54,34	±	2,08
2	4,5	44,127	0,8	55,1588			
3	4,6	45,1076	0,8	56,3845			

Sonuçların daha iyi irdelenebilmesi amacıyla sertlik ve çentik darbe testi verileri grafik haline getirilerek Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te verildi.



Şekil 5. 23. Sertlik sonuçlarının toplu halde verilen grafiği



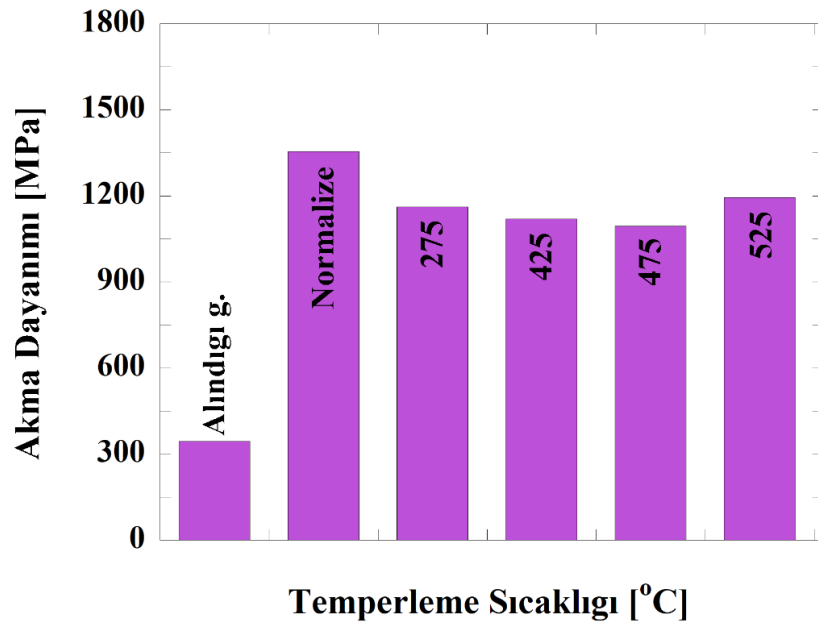
Şekil 5. 24. Çentik darbe deneyi sonuçlarının toplu haldeki grafiği

Uygulanan çekme testi sonuçlarından elde edilen akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri tablo halinde Çizelge 5.6'da verildi.

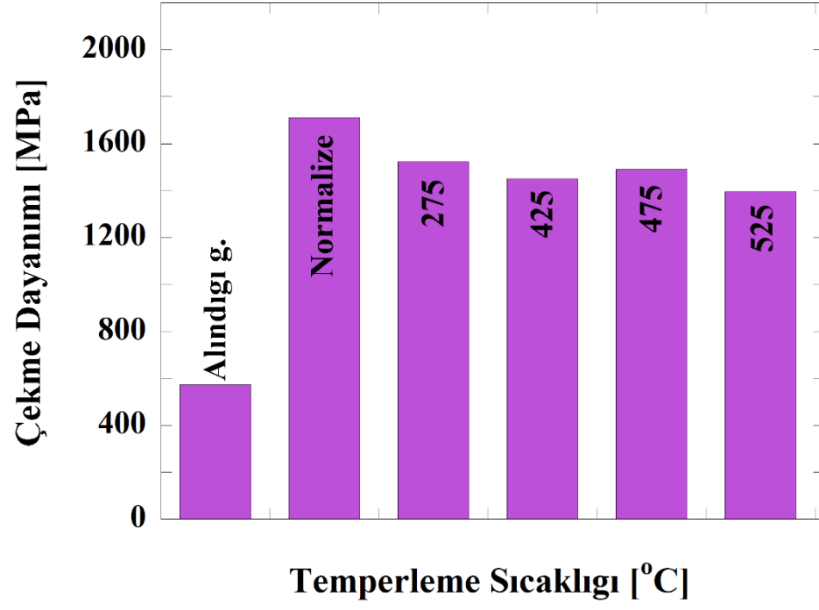
Çizelge 5. 6. Çekme deneyi sonuçları tablosu

Temperleme Sıcaklığı °C	Akma Dayanımı [Mpa]	Çekme Dayanımı [Mpa]	Kopma Uzaması [%]
Alındığı gibi	345	573	36,3
Normalize	1355	1711	20
275	1161	1522	24,7
425	1120	1450	26,3
475	1095	1490	18
525	1194	1395	14

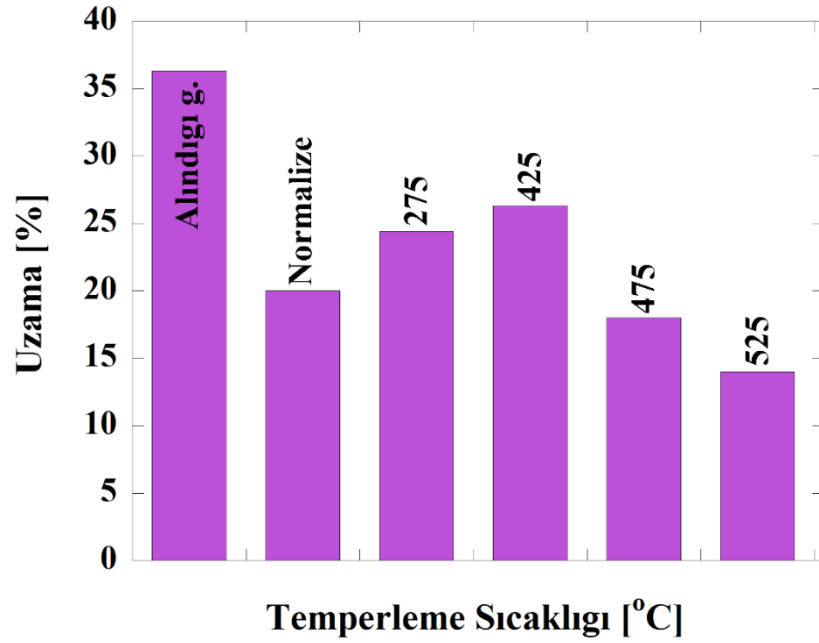
Çekme deneyi sonucunda çıkan akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri grafik haline getirilerek Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'de verildi.



Şekil 5. 25. Temperleme sıcaklığı-akma dayanımı ilişkisi grafiği

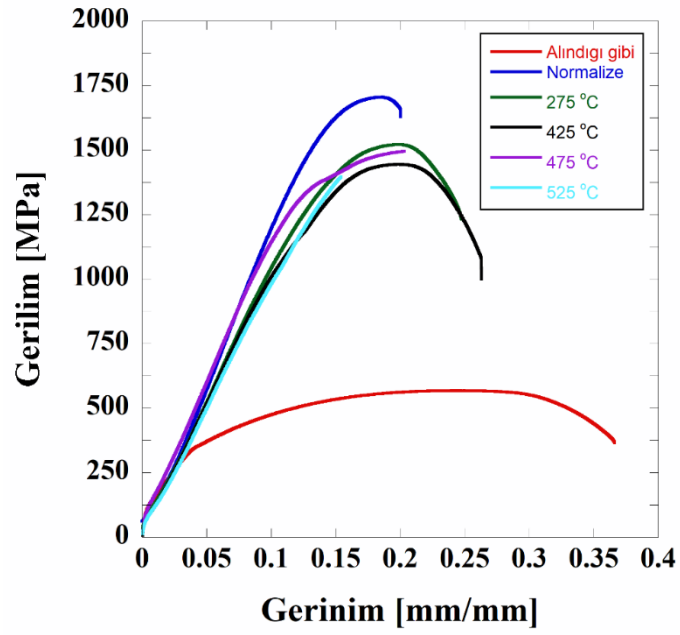


Şekil 5. 26. Temperleme sıcaklığı-çekme dayanımı ilişkisi grafiği



Şekil 5. 27. Temperleme sıcaklığı-kopma uzaması ilişkisi grafiği

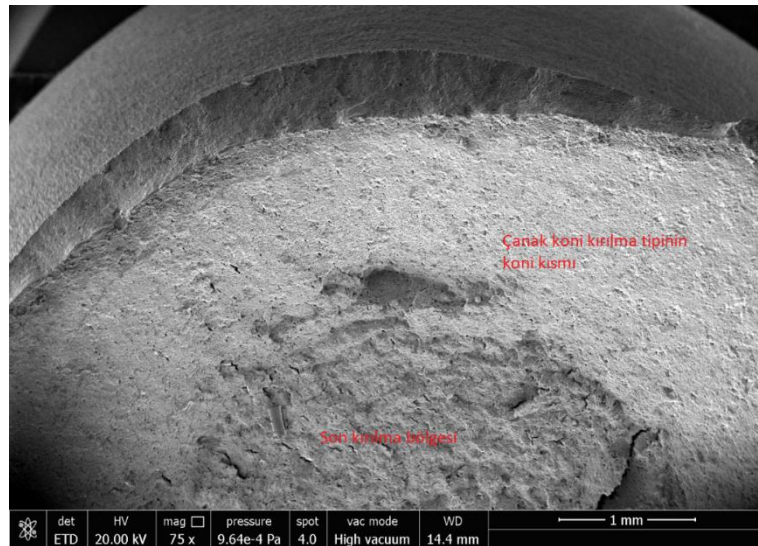
AISI 420 için elde edilen çekme deneyi sonuçlarından gerilme-gerinim grafiği oluşturularak Şekil 5.28'de verildi.



Şekil 5. 28. Gerilme-gerinim eğrilerinin toplu halde görünüşü

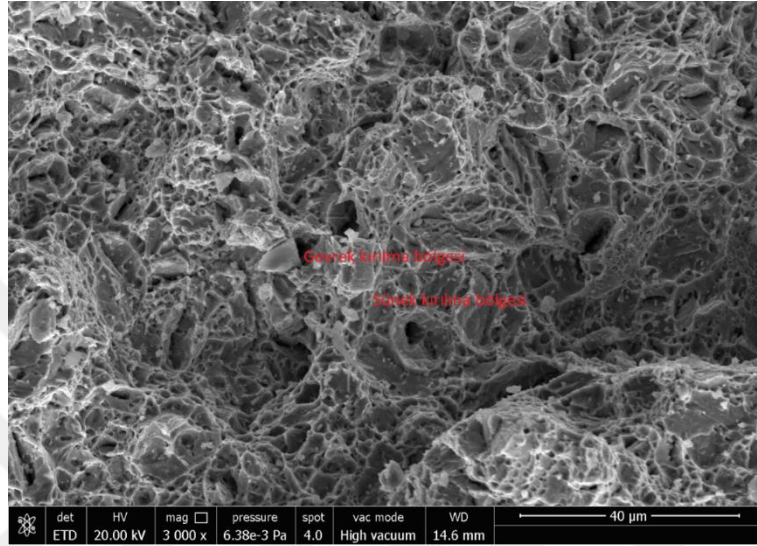
5.2.2. Kırık yüzeyi incelemeleri

AISI 420 malzemenin alındığı haldeki çekme numunesinin Şekil 5.29’da verilen SEM görüntüsünde orta kısımda son kırılma bölgesi ve çanak koni tipi kırılma açıkça görülmektedir.



Şekil 5. 29. Çekme deneyi numunesi (alındığı gibi); Akma dayanımı: 345 MPa, Çekme dayanımı: 573 MPa, Kopma Uzaması: %36,3

Şekil 5.30'da iki farklı kırık yüzey bölgesinin mevcut olduğu görülmektedir. Aynı kesitte gevrek ve sünek kırılma bölgesi olmak üzere 2 farklı kırılma mevcuttur. Çoğunlukla bal peteği görüntüsü görünmekte ve bu sünek kırılmayı göstermektedir. Bu sünek kırılma görüntüsü ile deney sonucundan elde edilen kopma uzaması değeri birbirini desteklemektedir.

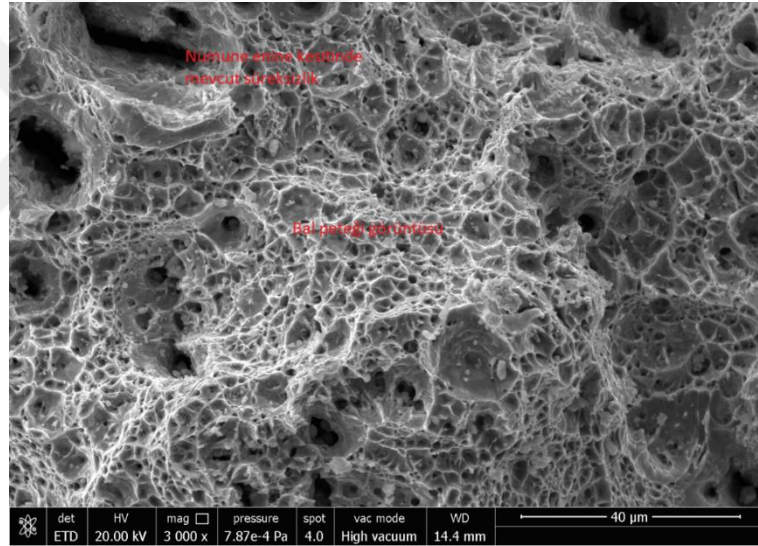


Şekil 5. 30. Sadece normalizasyon yapılmış çekme numunesi; Akma dayanımı: 1355 MPa, Çekme dayanımı: 1711 MPa, Kopma Uzaması: %20

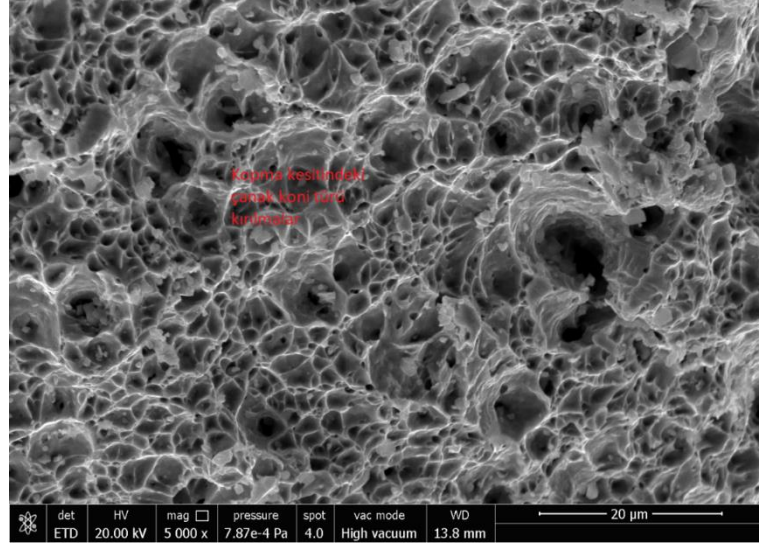
Şekil 5.31'de 275 °C'de temperlenmiş numunenin makro boyutta kayma bölgesi ve son kırılma bölgesi görülmektedir. Şekil 5.32'de görüntünün orta kısımlarında bal peteği görüntüsü görülmekte iken sol üst tarafta numunenin enine kesitindeki süreksizlikler görülmektedir. Şekil 5.33'deki görüntüye baktığımızda numunenin kopma bölgesinde çanak koni türü kırılmaların mevcut olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 31. 275 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1161 MPa, Çekme dayanımı: 1522 MPa, Kopma Uzaması: %24,7

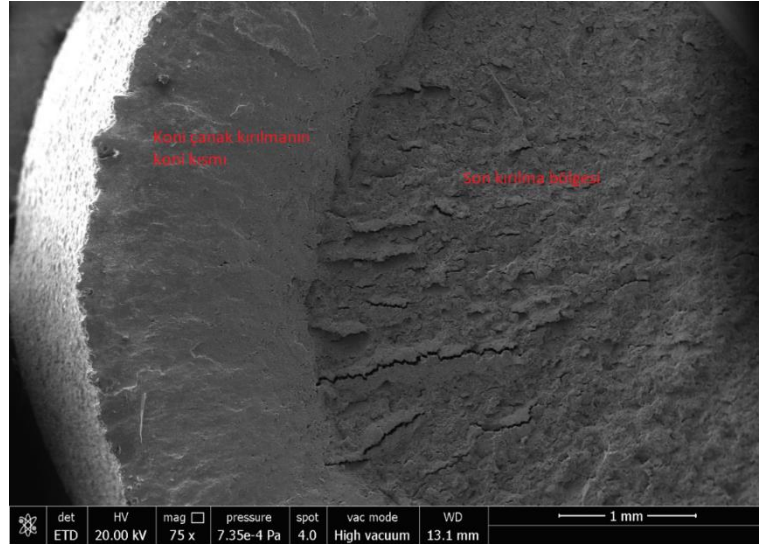


Şekil 5. 32. 275 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1161 MPa, Çekme dayanımı: 1522 MPa, Kopma Uzaması: %24,7

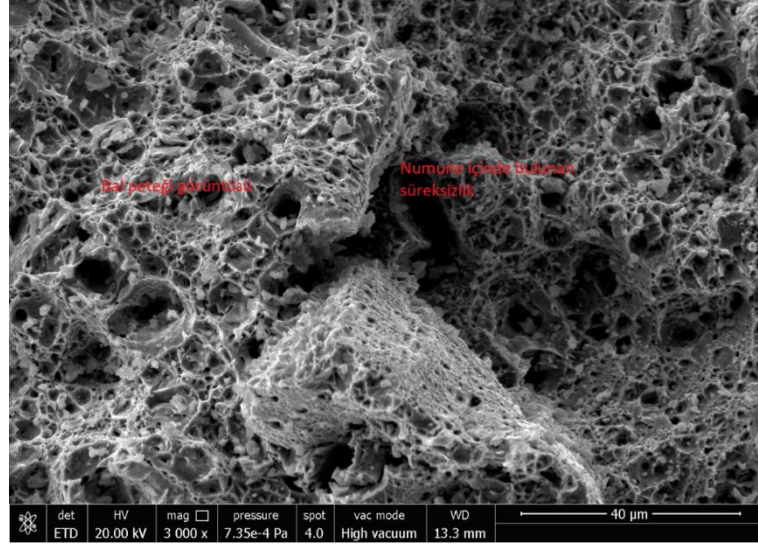


Şekil 5. 33. 275 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1161 MPa, Çekme dayanımı: 1522 MPa, Kopma Uzaması: %24,7

425 °C'de temperlenmiş çekme numunesinin Şekil 5.34'te makro boyutta görüntüsüne bakıldığında numunenin kenarlarında koni çanak kırılmanın koni kısmı belirgin olarak görülürken iç kısımlara ilerledikçe son kırılma bölgesi görülmektedir. Şekil 5.35'te mikro boyutta numunede bulunan süreksizlikler ve bal peteği görüntüsü görülmektedir.



Şekil 5. 34. 425 °C'de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1120 MPa, Çekme dayanımı: 1450 MPa, Kopma Uzaması: %26,3



Şekil 5. 35. 425 °C’de temperlenmiş çekme numunesi; Akma dayanımı: 1120 MPa, Çekme dayanımı: 1450 MPa, Kopma Uzaması: %26,3

Çentik darbe deneyi numunelerinden 425 °C’de temperlenmiş 2. numunede, kaymaya zorlanmış çanak türü kırık görüntüleri gözlenmektedir. Numunenin darbe direnci değeri 55.16 J/cm²’dir ve kırık yüzey görüntüsü Şekil 5.36’da verilmiştir. Bu değer ile SEM görüntüsünün uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 36. 425 °C’de temperlenmiş darbe testi numunesi, darbe dayanım değeri: 55,16 J/cm²

5.3. AISI 4140

5.3.1. Mekanik Özellikler

AISI 4140 numunelerine uygulanan ısıt işlemlerin ardından yapılan sertlik ölçümlerinin sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir. Standart sapmaların çok fazla dağılım göstermediği görülmüş ve buna bağlı olarak uygulanan ısıt işlemlerin numunenin tamamında homojen uygulanmış olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5. 7. Sertlik değerleri tablosu

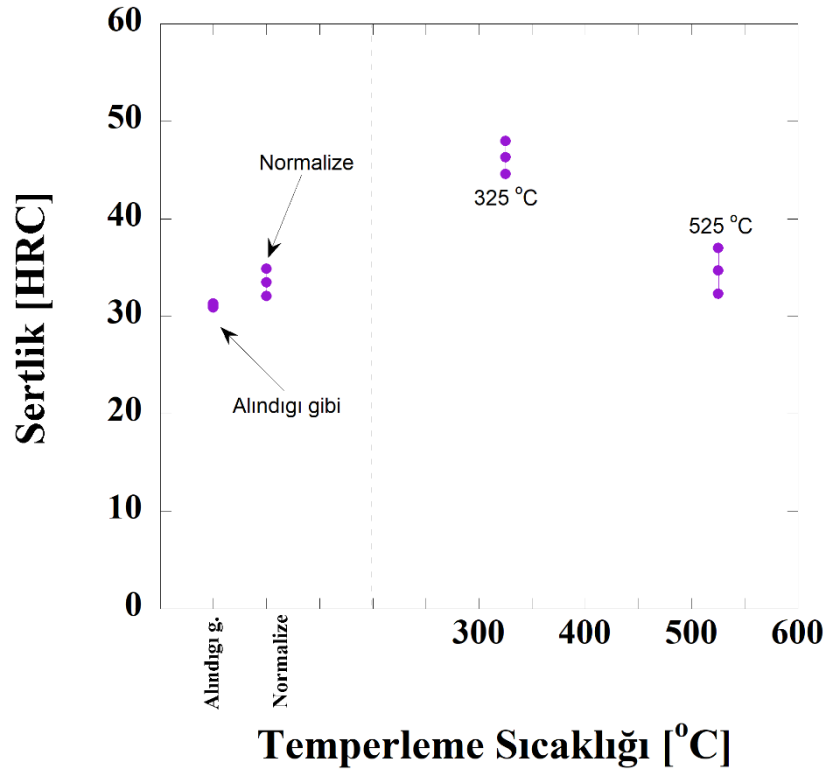
	Ortalama Sertlik (HRC)	Standart Sapma
1- Alındığı gibi)	31,1	0,2
2 – Normalizasyon	33,56	1,4
3- Temperleme (325 °C)	46,27	1,7
4- Temperleme (525 °C)	34,68	2,3

Çentik darbe deneylerinden okunan kp.m değerleri Joule’e çevrilip, kesit alanına bölünerek J/cm² olarak darbe enerji değerleri hesaplandı. Her parametre için yapılan 3’er Charpy çentik darbe deneyinin sonuçlarının aritmetik ortalaması alındı ve standart sapması hesaplanarak Çizelge 5.8’de verildi

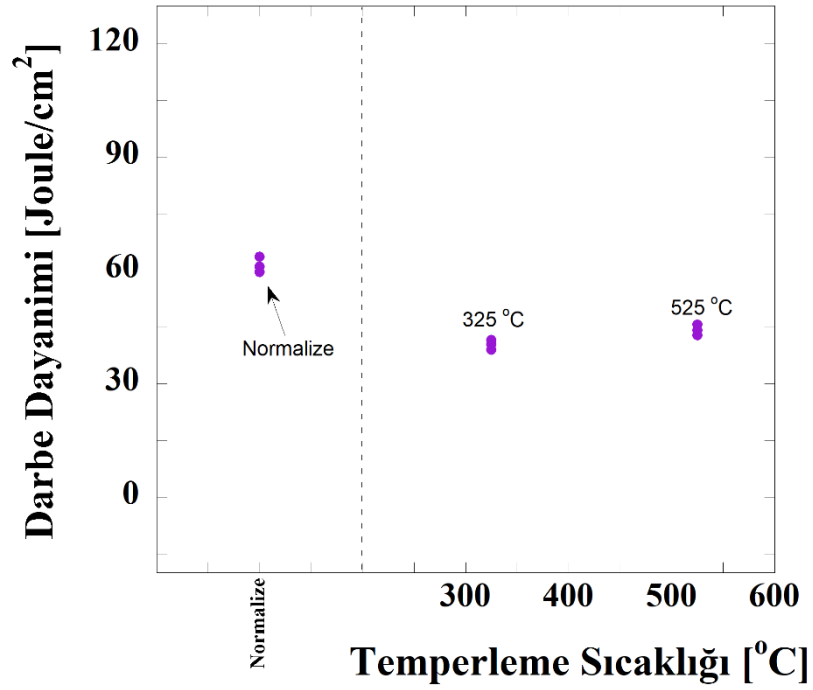
Çizelge 5. 8. Charpy çentik darbe deneyi sonuçları

	Darbe Enerjisi (J/cm ²)	Standart Sapma
2 – Normalizasyon	60,99	2,6
3- Temperleme (325 °C)	40,38	1,3
4- Temperleme (525 °C)	44,23	1,4

Sonuçların daha iyi irdelenebilmesi için Şekil 5.37 ve Şekil 5.38’de sertlik ve darbe enerjisi değerleri grafik haline dönüştürülerek verilmiştir. Deney sonuçlarından temperleme sıcaklığı arttıkça sertlik değerlerinin düştüğü ve darbe enerjisi değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 5. 37. Sertlik deneyi sonuçlarının toplu haldeki grafiği



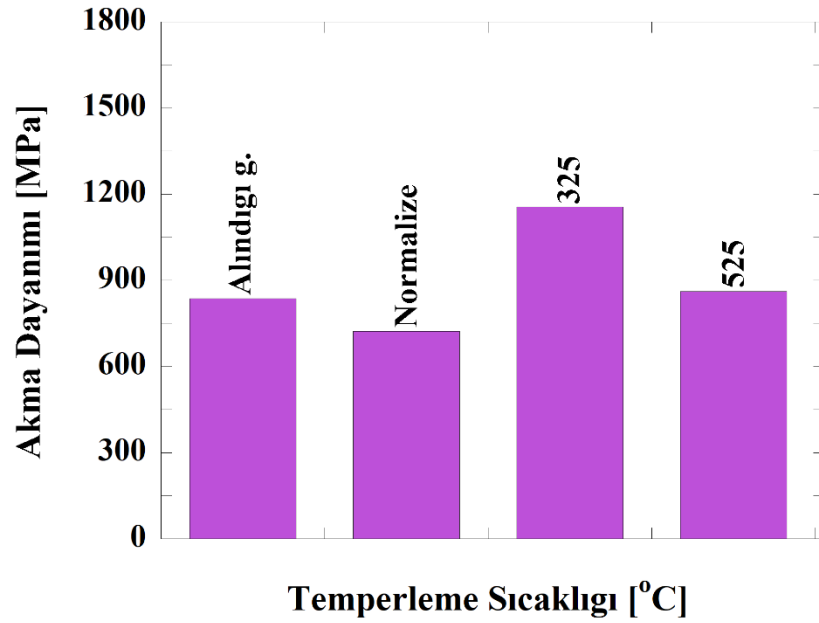
Şekil 5. 38. Charpy çentik darbe deneyi sonuçlarının toplu haldeki grafiği

Yapılan çekme deneylerinin sonuçları toplu halde Çizelge 5.9'da verildi.

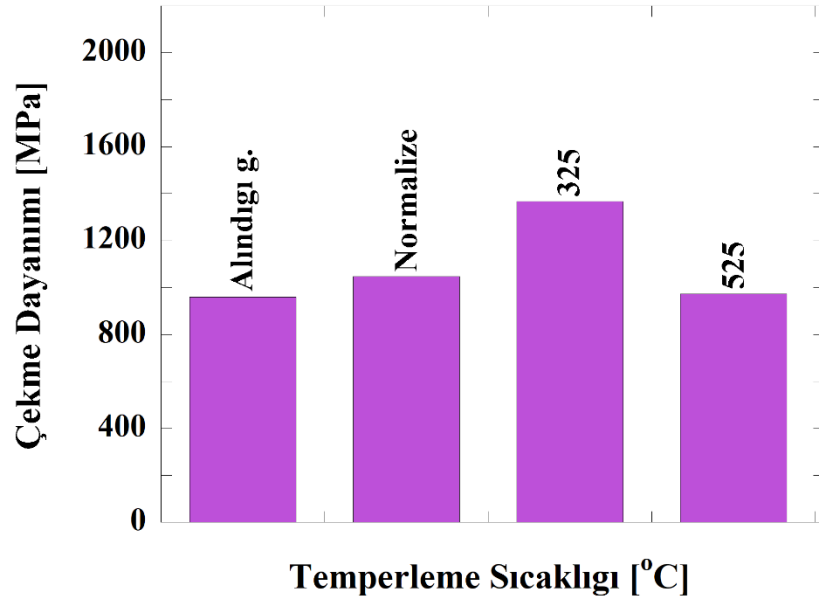
Çizelge 5. 9. Çekme deneyi sonuçları

Temperleme Sıcaklığı °C	Akma Dayanımı [Mpa]	Çekme Dayanımı [Mpa]	Kopma Uzaması [%]
Alındığı gibi	836	959	18,6
Normalize	723	1046	18,2
325	1155	1367	10,3
525	862	973	12,8

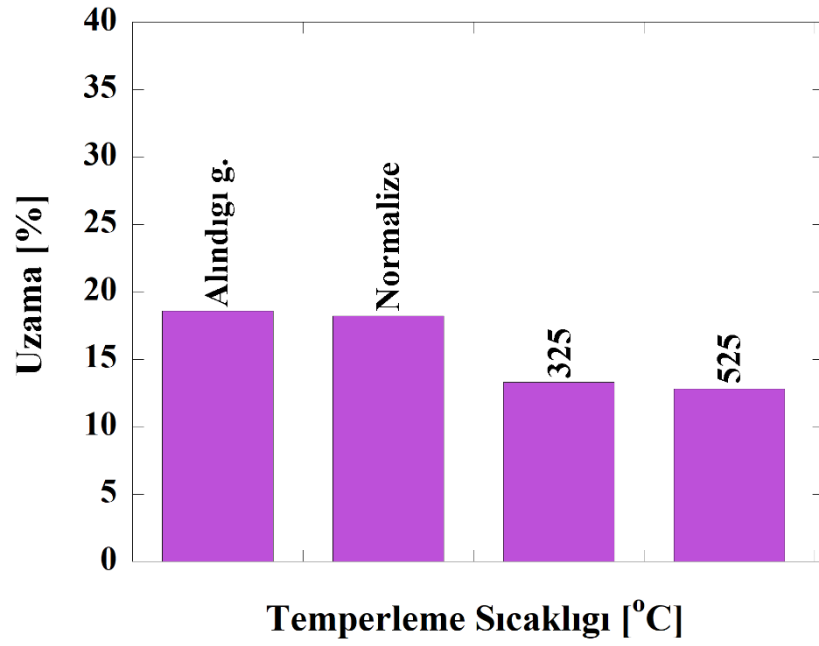
Çekme deneyi sonuçlarından elde edilen akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri grafik haline getirilerek toplu halde Şekil 5.39, Şekil 5.40 ve Şekil 5.41’de verildi.



Şekil 5. 39. Akma dayanımı değerlerinin toplu haldeki grafiği



Şekil 5. 40. Çekme dayanımının toplu haldeki grafiği



Şekil 5. 41. Kopma uzaması değerlerinin toplu haldeki grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kritik tüfek parçalarında kullanılan AISI 8620, AISI 420 ve AISI 4140 malzemelerinde kullanım yerine uygun olarak aranan mekanik özelliklere ulaşmak için literatür araştırması yapılarak uygun ısıtım işlem parametrelerinin optimizasyonuna çalışıldı. Seçilen ısıtım işlem parametreleri kullanılarak AISI 8620, AISI 420 ve AISI 4140 malzemelerinin numuneleri ısıtım işlemlere tabi tutuldu. Isıtım işlem uygulanmış numunelerin sertlik ölçümleri, Charpy çentik darbe deneyleri ve çekme deneyleri gerçekleştirildi. Kırık yüzeyler SEM analizi ile incelenerek yorumlandı.

AISI 8620 çeliği için yapılan çalışmada, numunelere normalizasyon tavlamasından sonra musluk suyu ve tuzlu su olmak üzere iki farklı ortamda su verme işlemi yapılmıştır. Sertleştirilen numunelere 250°C, 350°C, 450°C, 550°C ve 650°C olmak üzere beş farklı sıcaklıkta temperleme işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda farklı temperleme sıcaklıkları için numune sertliklerinde belirgin bir fark gözlenmezken, normalize edilmiş numune ile kıyaslandığında su verilmiş + temperlenmiş numunelerin sertlik değeri %25 oranında artış göstermiştir. Charpy çentik darbe deneyi sonuçlarında darbe dayanımlarının temperleme sıcaklığıyla birlikte genel anlamda arttığı gözlenmiştir. Test sonuçlarına göre normalize edilmiş numune ile kıyaslandığında 350°C'de temperleme işlemi görmüş numunelerde darbe enerjisi %16 artmıştır. 550°C'de temperleme işlemi uygulanmış numunelerde ise darbe dayanımı normalize edilmiş numunelere kıyasla %46, 350°C'de temperlenmiş numunelere göre ise %35 iyileşmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, AISI 8620 çelik malzemeden yapılan kritik tüfek parçası için kullanıma uygun olan ve aranan 63,5-66 HRA değerlerinin elde edildiği tuzlu suda su verme işlemi yapılmış ve 550°C'de temperlenmiş numunelerin uygun olduğu görülmüştür. Çentik darbe deneylerinde en iyi dayanım değerine sahip olan bu ısıtım işlem parametrelerinin çekme deneyi sonuçlarının da tutarlı olduğu görülmüştür. Musluk suyu ve tuzlu su ile sertleştirme arasındaki farka bakıldığında ise akma ve çekme dayanımı değerlerinin de musluk suyunda su verme işlemi yapılan numunelere göre tuzlu suda soğutma yapılanlarda daha iyi olduğu görülmüştür.

AISI 420 elik malzemeden üretilen kritik tüfek parçası için aranan spesifik sertlik değeri aralığı olan 38-41 HRC değerlerine ulaşabilmek için temper gevrekliği aralığının dışında daha yüksek temperleme sıcaklıklarında işlem yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Deney sonuçlarında genel değişim trendlerine bakıldığında temperleme sıcaklığı arttıka sertliğin düştüğü ve darbe dayanım değerlerinin arttığı söylenebilir. Satın alındığı gibi numunelere kıyasla ısıl işlem uygulanan numunelerin sertlik, akma dayanımı ve çekme dayanımı değerlerinde önemli ölçüde iyileşme belirlenmiştir.

AISI 4140 malzemesinden üretilen parça için kullanıma uygun 32-36 HRC sertlik aralığı için 325°C ve 525°C’de yapılan temperleme işlemleri karşılaştırıldığında 525°C’de yapılan temperleme işleminin istenen dayanım değerlerini verdiği görülmüştür.

Sonuç olarak ısıl işlem uygulamalarıyla AISI 8620, AISI 420 ve AISI 4140 malzemelerinin mekanik özellikleri iyileştirilmiş ve AISI 8620 ile AISI 4140 malzemeleri için kritik parçaların kullanım yerlerine uygun olarak belirlenen ısıl işlem parametrelerinden istenen sonuçlar elde edilebilmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda özellikle AISI 420 paslanmaz elik malzemenin ısıl işlem parametrelerinin belirlenmesinde temper gevrekliği aralığının mutlaka belirlenmesi ve bu aralıklardan farklı sıcaklıklarda temperleme işlemi uygulanarak en uygun ısıl işlem parametrelerinin ortaya konulması gerçekleştirilmelidir. Buradan hareketle tüfek parçası olarak imal edilen mobil şok parçalarındaki hasarların nlenmesine yönelik çalışmalar yapılmış olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Arslan, M. M., Kar, H., Üner, B., & Çetin, G. (2011). Firing distance estimates with pellet dispersion from shotgun with various chokes: an experimental, comparative study. *Journal of forensic sciences*, 56(4), 988-992.
- Badaruddin, M., Pratama, R., Sugiyanto, S., & Harnowo, H. (2023). Effect of single and double quenching-tempering heat treatments on microstructures and tensile strength of AISI 4140 in annealing condition. AIP Conference Proceedings,
- Barlow, L. D., & Du Toit, M. (2012). Effect of austenitizing heat treatment on the microstructure and hardness of martensitic stainless steel AISI 420. *Journal of materials engineering and performance*, 21, 1327-1336.
- Bonfanti, M., & De Kinder, J. (2015). Shotgun ammunition on a target. *Firearm and Toolmark Examination and Identification*, 35-40.
- Bringas, J. E. (2004). *Hand Book of Comparative World Steel Standard s*.
- Caimi, M. (2024). Per chi guarda alla sostanza: Yildiz Elegant A3 T calibro 12/76. *Caccia Magazine*, 88-93.
- Candelaria, A., & Pinedo, C. (2003). Influence of the heat treatment on the corrosion resistance of the martensitic stainless steel type AISI 420. *Journal of materials Science letters*, 22(16).
- Chuang, J.-H., Tsay, L.-W., & Chen, C. (1998). Crack growth behaviour of heat-treated 4140 steel in air and gaseous hydrogen. *International journal of Fatigue*, 20(7), 531-536.
- Das, P. K., Das, L. P., & Das, D. P. (2021). *Science and Engineering of Small Arms*. CRC Press.
- Digges, T. G., Rosenberg, S. J., & Geil, G. W. (1966). *Heat treatment and properties of iron and steel*. US Government Printing Office.
- Dixit, V., Singh, I., Rajora, V., & Baddi, H. (2016). Design and analysis of a gun barrel chamber. rd 3 NATIONAL CONFERENCE rd 3 NATIONAL CONFERENCE rd 3 NATIONAL CONFERENCE,
- Dossett, J. L. (2007). Make Sure Your Specified Heat Treatment Is Achievable. *Heat Treating Progress*, 7(2), 23-27.
- Francis, R., A. (2017). *An Introduction of Metallurgy of Steel and Its Alloys* (Vol. 1).
- G.U.N.T.(2024).https://www.gunt.de/images/download/mechanical_testing_methods_english.pdf.

- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W., Scott, J. H. J., & Joy, D. C. (2017). *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*. Springer.
- Greener, W. W. (1910). *The gun and its development*. Cassell.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.
- Hafeez, M. A., & Farooq, A. (2019). Effect of heat treatments on the mechanical and electrochemical corrosion behavior of 38CrSi and AISI 4140 steels. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 8, 479-487.
- Hanza, S. S., Štic, L., Liverić, L., & Špada, V. (2021). Corrosion behaviour of tempered 42CrMo4 steel. *Materials and Technology*, 55(3), 427-433-427-433.
- Hong, S., Lin, H., Yang, C., Tseng, L., & Lin, K. (2007). Effects of heat treatment and composition modification on SAE 8620 steels. *Materials science forum*,
- IGARI, E. (2002). Learning process of core technology in sporting gun industry of Japan. *Annals of Business Administrative Science*, 1(3), 57-64.
- Isfahany, A. N., Saghafian, H., & Borhani, G. (2011). The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel. *Journal of alloys and compounds*, 509(9), 3931-3936.
- ISO, E. (2016). 148-1 (2016) Metallic materials—Charpy pendulum impact test part 1: test method. *ISO, Geneva, Switzerland*.
- Kovacı, H., Hacısalıhoğlu, İ., Yetim, A., & Çelik, A. (2019). Effects of shot peening pre-treatment and plasma nitriding parameters on the structural, mechanical and tribological properties of AISI 4140 low-alloy steel. *Surface and Coatings Technology*, 358, 256-265.
- Kumar, A., Kumar Gupta, R., Karthikeyan, M., Ram Kumar, P., & Sinha, P. P. (2012). Comparative study on tempering response of martensitic grade AISI-420 stainless steels with varying carbon content. *Materials Science Forum*,
- Kumar, R., Ghosh, P., & Kumar, S. (2017). Thermal and metallurgical characteristics of surface modification of AISI 8620 steel produced by TIG arcing process. *Journal of Materials Processing Technology*, 240, 420-431.
- Lenda, O. B., Tara, A., Lazar, F., Jbara, O., Hadjadj, A., & Saad, E. (2020). Structural and mechanical characteristics of AISI 420 stainless steel after annealing. *Strength of Materials*, 52, 71-80.
- Maitre, M., Chiaravalle, A., Horder, M., Chadwick, S., & Beavis, A. (2021). Evaluating the effect of barrel length on pellet distribution patterns of sawn-off shotguns. *Forensic science international*, 320, 110685.

- Nagaraja, T. (2021). Investigation of effect of mechanical properties and Influence of Heat treatment on AISI 4140 steel. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,
- Neto, J. d. M., Duarte Vieira, M., Silva Guedes, A. E. D., Neto, J. E., Freitas, B., Moreira, G. S., Cruz, L. C., Dias, W. S., Girard, N., & Santiago, E. L. G. (2018). Effect of Niobium and Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of SAE 8620 Steel. Materials Science Forum,
- Otai. (2024). <https://www.astmsteel.com/product/aisi-8620-steel-alloy/>
<https://www.astmsteel.com/product/aisi-8620-steel-alloy/>
- Rakshit, S. (2020). *DESIGN, ANALYSIS AND MANUFACTURING OF AR-15 FIRING PINS* Indian Institute of Engineering Science and Technology, Shibpur].
- Riyanto, E., Yani, I., Arifin, A., & Zahir, M. (2019). Design Optimization in Stress Distribution of Firing Pin Rifle by Impact Force Using Finite Element Modelling. Journal of Physics: Conference Series,
- Sanborn, B., Song, B., Thompson, A., Reece, B., & Attaway, S. (2017). High strain rate tensile response of A572 and 4140 steel. *Procedia Engineering*, 197, 33-41.
- Scheuer, C., Fraga, R., Cardoso, R., & Brunatto, S. (2014). Effects of heat treatment conditions on microstructure and mechanical properties of AISI 420 steel.
- Schmid, S. R., & Kalpakjian, S. (2006). *Manufacturing engineering and technology*. Pearson Prentice Hall.
- Standard, A. (2013). E8-13a. *Standard Test Method Tension Testing of Metallic Materials*.
- Sverdlin, A. V., & Ness, A. R. (1997). Fundamental concepts in steel heat treatment. *Steel heat treatment handbook*, 1-44.
- Tajmiri, S., Haider, W., & Shabib, I. (2024). Effect of Heating Rate on Microstructure and Corrosion Resistance of Quenched and Tempered 8620 Low Carbon Alloy Steel. *Corrosion and Materials Degradation*, 5(3), 370-386.
- Tecer, M. M. (2020). Effects of various heat treatment procedures on the toughness of AISI 4140 low alloy steel. *The International Journal of Materials and Engineering Technology*, 3(2), 131-149.
- TS870. (2019). Ateşli silahlar - Yivsiz-setsiz tüfekler - Av, spor ve müsabakalar için. In: Türk Standartları Enstitüsü.
- Yıldız Shotgun. Erişim: 05.07.2024, <https://yildizsilah.com/tr/mainpage.html>