

**DENİZ YOLU TAŞIMACILIĞINDA KULLANILAN AMBAR
KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ TASARIMI VE ANALİZİ**

ÖMER ŞENGÜL
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MENDERES KAM

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DENİZ YOLU TAŞIMACILIĞINDA KULLANILAN AMBAR
KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ TASARIMI VE ANALİZİ**

Ömer Şengül tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Menderes Kam
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Menderes Kam
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Hamit Saruhan
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Suat Sarıdemir
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Aydın
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gürcan Atakök
Marmara Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 06/02/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

06/02/2023

Ömer ŞENGÜL

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Menderes Kam'a en içten dileklerle teşekkür ederim. TİK jüri üyelerim Prof. Dr. Hamit Saruhan ve Doç. Dr. Mehmet Aydın hocalarıma da katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-220.22.01.1124 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

06 Şubat 2023

Adı SOYADI
Ömer ŞENGÜL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
EXTENDED ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. AMBAR KAPAKLARI.....	2
1.1.1. İstifli Ambar Kapakları (Stacking)	2
1.1.2. Ponton Tipi Ambar Kapakları (Pontoon Lift Away Type).....	3
1.1.3. Katlanan Tip Ambar Kapakları (Folding Type).....	4
1.2. KANCALAR	5
1.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	10
2. MATERYAL VE YÖNTEM	15
2.1. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	15
2.1.1. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Modelleme.....	15
2.2. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	18
3. ANALİTİK HESAPLAMALAR.....	21
3.1. BİRİNCİ BÖLGE GERİLME HESAPLAMALARI.....	22
3.2. İKİNCİ BÖLGENİN GERİLME HESAPLAMALARI	24
3.3. ÜÇÜNCÜ BÖLGENİN GERİLME HESAPLAMALARI	26
3.4. BÖLGE GERİLME HESAPLAMALARI.....	27
4. YÜKLEME KOŞULLARI ALTINDA AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ DENEYSEL ANALİZİ.....	29
4.1. AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ YÜZEYİNİN HAZIRLANMASI	29

4.2. GERİLİMÖLÇER UYGULAMASI	30
4.3. VERİ TOPLAMA İŞLEMİ.....	31
4.4. GERİLİMÖLÇERLERİN KONUMLANDIRILMASI	32
4.5. KANCA GERİLİMÖLÇÜM DETAYLARI.....	34
4.6. AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ YÜKLEME İŞLEMİNİN YAPILMASI	35
5. ISIL İŞLEMLER VE MEKANİK TESTLER.....	37
5.1. WELDOX700 ÇELİĞİNE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	38
5.2. SERTLİK ÖLÇME TESTLERİ.....	41
5.3. ÇEKME TESTİ.....	43
5.4. CHARPY DARBE TEST	44
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
6.1. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE NÜMERİK ANALİZ VE ANALİTİK ANALİZ BULGULARI.....	46
6.1.1. Sonlu Elemanlar Analizi Bulguları.....	46
6.1.2. Analitik Analiz Bulguları	48
6.2. YÜKLEME ANINDA AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ DENEYSEL ANALİZ BULGULARI	50
6.3. SERTLİK ÖLÇME BULGULARI.....	53
6.4. ÇEKME TESTİ BULGULARI.....	55
6.5. CHARPY DARBE TESTİ BULGULARI.....	61
6.6. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) BULGULARI	63
6.7. ELEMENTER DAĞILIM ANALİZ BULGULARI (EDX)	66
6.8. XRD (X-IŞINI DİFRAKSİYONU) ANALİZİ VE BULGULARI.....	75
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
8. KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. İstifli tipi ambar kapakları [40].....	3
Şekil 1.2. Ponton tipi ambar kapağı [42].	4
Şekil 1.3. Katlanan ambar kapağı [43].	5
Şekil 1.4. C-Tipi yük kaldırma kanca modeli [59].	6
Şekil 1.5. Çok ağır yükleri taşıyan özel vinç kanca modeli [60].	6
Şekil 1.6. Trapez tipi vinç kanca tasarımı [63].	7
Şekil 1.7. Özel tasarlanmış vinç kanca modeli [64].	7
Şekil 1.8. Özel tasarlanmış Trapez Kesitli Vinç Kancası [65].	8
Şekil 1.9. Özel tasarlanmış vinç kancası [66].	8
Şekil 1.10. Özel tasarlanmış dekoratif kanca modeli [67].	9
Şekil 2.1. Yeni tip ambar kapak açma vinç modeli [112].....	15
Şekil 2.2. Ambar kapak açma vinç kancasının teknik resim görüntüsü [112].....	16
Şekil 2.3. Ambar kapak açma vinç kancasının üç boyutlu modeli [112].	17
Şekil 2.4. Analiz programına malzeme veri girişi.	19
Şekil 2.5. Ambar kapak açma vinç kancasının sonlu elemanlar analizi a) Koordinat sistemi b) Yükleme koşulları ve sınır şartları c) Mesh yapısı.	20
Şekil 3.1. Zorlanma durumuna göre maruz kalınan gerilmeler [119].	22
Şekil 3.2. Statik zorlanma durumunda meydana gelen kritik gerilme yerleri ve durumları.	22
Şekil 3.3. Birinci bölgedeki gerilme hesaplama ölçüleri	23
Şekil 3.4. İkinci bölgedeki gerilme hesaplama ölçüleri	24
Şekil 3.5. Üçüncü bölgedeki gerilme hesaplama ölçüleri.....	26
Şekil 4.1. Gerilimölçer sensör uygulanacak bölgelerin temizlenmesi.....	30
Şekil 4.2. Kancalara gerilimölçer sensörlerinin yapılandırılması.	31
Şekil 4.3. Kancalardan veri toplama işlemi.	32
Şekil 4.5. St37 ve Weldox700 çeliği kancaların gerilimölçer sensörlerin kodları	34
Şekil 4.6. St37 ve Weldox700 çeliği kancaların gerilimölçer eksenlerinin gösterimi....	35
Şekil 4.7. Gerilimölçer sensörleri ve yükleme işlemi;.....	36

a) Gerilimölçer sensörler ile kancadan veri alımı, b) St37 ve Weldom700 kancaya
yükleme işlemi. 36



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. St37 yapı çeliği mekanik özellikleri [112], [117].	18
Çizelge 2.2. Weldox700 çeliği mekanik özellikleri [112], [118].	18
Çizelge 5.1. Weldox700 çeliğinin kimyasal bileşenleri.	39
Çizelge 6.1. Sonlu elemanlar analizi sonuçları.	46
Çizelge 6.2. Yükleme anında kancanın gerilmeye maruz kalan bölgelerinin gerilme değerleri.	49
Çizelge 6.3. St37 çeliği kancasının yükleme koşullarında kritik bölgelerdeki nümerik analiz bulguları.	52
Çizelge 6.4. St37 çeliği kancasının yükleme koşullarında kritik bölgelerdeki deneysel analiz bulguları.	52
Çizelge 6.5. Weldox700 çeliği kancasının yükleme koşullarında kritik bölgelerdeki nümerik analiz bulguları.	53
Çizelge 6.6. Weldox700 çeliği kancasının yükleme koşullarında kritik bölgelerdeki deneysel analiz bulguları.	53
Çizelge 6.7. Rokwell (HRc) sertlik bulguları.	54
Çizelge 6.8. Vickers (HV) sertlik sonuçları.	54
Çizelge 6.9. Çekme dayanımı verileri	56
Çizelge 6.10. Akma dayanımı verileri (MPa).	58
Çizelge 6.11. Yükleme koşullarında kancanın emniyet oranları ve yüzdeleri.	59
Çizelge 6.12. Kırılma tokluğu verileri (Joule).	61
Çizelge 6.13. Darbe tokluğu verileri (kJ/m ²)	61
Çizelge 6.14. (S) numunesinin EDX analizi sonuçları.	67
Çizelge 6.15. (Gİ) numunesinin EDX analizi bulguları.	68
Çizelge 6.16. (DKİ60) numunesinin EDX analizi bulguları.	69
Çizelge 6.17. (DKİ180) numunesinin EDX analizi bulguları.	70
Çizelge 6.18. (DKİ240) numunesinin EDX analizi bulguları.	71
Çizelge 6.19. (DKİT60) numunesinin EDX analizi bulguları.	72
Çizelge 6.20. (DKİT180) numunesinin EDX analizi bulguları.	73
Çizelge 6.21. (DKİT240) numunesinin EDX analizi bulguları.	74

KISALTMALAR

AISI	American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
Gİ	Geleneksel Isıl İşlem
DKİ60	Derin Kriyojenik İşlem (60 dak.)
DKİ180	Derin Kriyojenik İşlem (180 dak.)
DKİ240	Derin Kriyojenik İşlem (240 dak.)
DKİT60	Derin Kriyojenik İşlem (60 dak.+ 120 dak. Temperleme)
DKİT180	Derin Kriyojenik İşlem (180 dak.+ 120 dak. Temperleme)
DKİT240	Derin Kriyojenik İşlem (240 dak.+ 120 dak. Temperleme)
EDX	Elementer Dağılım Analizi
EMK	Emniyet Katsayısı
FEM	Finite Element Methods (Sonlu Elemanlar Metodu)
S	Standart Malzeme
SEM	Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
St	Stahl (Alman çelik standart kısaltması)
XRD	X-Işını Difraktometresi

SİMGELER

Ao	Darbe Mukavemeti
A	Alan
Al	Alüminyum
C	Karbon
°C	Santigrat derece
Cr	Krom
E	Elastikiyet Modülü
Fe	Demir
g	Yer çekimi ivmesi
HRc	Rockwell Sertliği
HV	Vickers Sertliği
Hz	Hertz
kg	Kilogram
m	Metre
mm	Milimetre
Mn	Mongan
Mo	Molibden
MPa	Mega Pascal
µm	Mikron
N	Azot
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
τ	Kesme Gerilmesi
W	Mukavemet Momenti
ω	Darbe Enerjisi
σ _{ak}	Akma Gerilmesi
σ _{eş}	Eşdeğer Gerilme
σ _ç	Çekme Gerilmesi
ε	Yüzde Birim Uzama
%	Yüzde

ÖZET

DENİZ YOLU TAŞIMACILIĞINDA KULLANILAN AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ TASARIMI VE ANALİZİ

Ömer ŞENGÜL

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Menderes KAM

Şubat 2023, 96 sayfa

Günümüzde, denize kıyısı olan ülkeler; yük, kargo, vb. taşımacılıklarını gemiler aracılığıyla yapmaktadır. Yük taşıyan bu gemilerin ambar bölgeleri çeşitli tiplerde ambar kapaklarına da sahiptir. Bu ambar kapakları çok ağır olduklarından dolayı, ambar kapak açma vinçler ve bu vinçlerinde yükleri senkronize şekilde ambar kapaklarını açıp-kapatmak için çeşitli kanca tipleri bulunmaktadır. Bu çalışmada ambar kapak açma vinç kancaları için kaynak bağlantısı olmayan ve sökülebilir birleştirme makine elemanları kullanılacak biçimde kanca tasarımı yapılmıştır. Statik ve dinamik yükleme koşulları altında meydana gelecek olumsuzlukları önceden tespit etmek için modellenen özel vinç kancasının, analitik ve nümerik analizleri yapılarak oluşabilecek olumsuz durumlarında önüne geçilerek tasarımda optimum iyileştirmeler sağlanmıştır. St37 ve yüksek dayanımlı Weldom700 çeliği ile üretimi yapılan kancaların nümerik ve analitik analizleri yapılarak optimum düzeyde imalatı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Weldom700 çeliği numunelerine geleneksel ısıtma işlemi, geleneksel ısıtma işlemi tamamlayıcı olan farklı bekletme sürelerinde -180 °C’de derin kriyojenik işlem yapılmıştır. Derin kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi (200 °C’de 120 dakika) uygulanmıştır. Bu işlemler sonrasında deney numunelerinin ayrıntılı mekanik ve morfolojik özelliklerinin analizleri yapılmış, sonuçlar birbirleri ile ayrıntılı bir şekilde kıyaslanmıştır. Bu deneysel veriler, sonlu elemanlar metodu ile ANSYS 2019 R2 analiz programı kullanılarak kancanın yükleme koşulları altında optimum düzeyde emniyetlilik özelliği gösterdiği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Analitik analiz, Ambar kapak açma vinci, Kanca, Sonlu elemanlar analizi, St37 çeliği, Weldom700 çeliği.

ABSTRACT

DESIGN AND ANALYSIS OF HATCH COVER OPENING CRANE HOOK USED IN MARITIME TRANSPORTATION

Ömer ŞENGÜL

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical
Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Menderes KAM

February 2023, 96 pages

The three sides of our country are surrounded by seas and have important transit routes, providing a great advantage in shipping freight and cargo. The countries with the seashore today are also loaded, shipped, etc. cargo haulage is carried out by freighters. The warehouse areas of cargo-carrying ships also had various types of hatch covers. These hatch covers are too heavy and there are various types of hooks to open and close the bin covers in synchronous order to open and close the load on the hatch hoists and hoists. In this study, hook design is designed to use removable assembly machine elements without welding connections for the stack-type hatch opening crane hooks. To pre-detect immortality in static and dynamic loading conditions, the special crane hook is modelled to prevent the adverse conditions that will occur in front of us by performing analytical and numerical analysis, providing optimum improvements to the design. With St37 and high strength Weldom700 steel, the hooks produced are optimized to numerical and analytical analyses. In addition, conventional heat treatment, complementary deep cryogenic treatment at -180°C , as well as tempering after deep cryogenic treatment (120 minutes at 200°C), has been applied to buckets of heavy-duty machines and Weldom700 steel samples used in the heavy industry. After these treatments, detailed mechanical and morphological analyses of the sample samples were performed and these results were compared in detail. These experimental data were found in the ANSYS 2019 R2 analysis program with the finite element method and samples that showed optimum safety under the loading conditions of the hook.

Keywords: Analytical analysis, Cryogenic treatment, Finite element analysis, Hatch opening crane, Hook, St37 steel, Weldom700 steel.

EXTENDED ABSTRACT

DESIGN AND ANALYSIS OF HATCH COVER OPENING CRANE HOOK USED IN MARITIME TRANSPORTATION

Ömer ŞENGÜL

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical
Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Menderes KAM

February 2023, 96 Pages

1. INTRODUCTION

Maritime transportation is widely used in cargo and cargo transport today. It is a cheap and convenient system. Freight is conducted in the sea, stored in the warehouse areas of ships. Negative weather conditions for these warehouse areas, etc. there are several heavy bins covers to protect against adverse conditions. The most used stacking type is built on the bin molds in this study. These hatch covers have specially designed bin opener cranes for safe opening and closing. The hatch opener hoist hooks, designed for these cranes, must work coordinated.

The design and manufacturing hatch opening crane hooks need to be identified by performing analytical analysis of the modeled hook and numerical analysis with the finite element method to identify problems before they are produced. The analysis also results in optimal design and manufacturing, which can also detect engineering problems.

The hook materials are subjected to deformations and wear in loading conditions. Therefore, selection of materials is also of significant importance.

This study uses St37 structural steel and Weldox700 steel with high strength. Analytical and numerical analysis is carried out with the data of these steels. The manufactured hooks are compared to each other in analytical numerical and experimental terms. Heat treatment has been performed at different holding times to improve the mechanical

properties of high strength Weldom700 steel for optimum material selection. Experimental detection of mechanical properties in static and dynamic conditions of heat treated samples performed at different holding times, selecting material sample that shows optimum mechanical characteristics.

2. MATERIAL AND METHODS

Solidworks for stack-type hatch hoists that are important for maritime transportation the design program of 2020 is designed with a special llama-type hook. The hook design uses removable fasteners in place of the weld joints to avoid air conditions. Analytical analysis has been performed to determine the values of resistance before the construction of these special hooks. Through the design model, the ANSYS R3 analysis program simulated the design with numerical analysis. In the analysis results, improvements were carried out in design. The finite element method has been used to determine the negative conditions of the hook, such as tensile deposits, under loading conditions. After the construction of the hook, these stresses have been determined by the strain beads and the voltage values. St37 structural steels and Weldom700 steel are used for hook construction. Conventional heat treatment of Weldom700 steel and deep cryogenic treatment complemented by this process to achieve optimum material specification. 60 min, 180 min. And 240 minutes of standby is performed at -180°C. These samples are also 200°C 120 min. The cleaning has been conducted. These actions have led to charpy impact testing, tensile test, micro and macro hardness tests to determine the mechanical properties of samples. In addition, SEM and XRD analyzes have been conducted to determine the morphological properties of the material.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Numerical and analytical analysis of hooks specifically designed for hatch opening cranes St37 and Weldom700 steel data are used. Using this data, the experimental data and mathematical data were compared with the strain gage sensors in experimental static loading conditions of the hook that was manufactured using these data, and these values came in harmony with each other. Heat treatments in different holding times to improve

the strength characteristics of Weldom700 steel were found to show optimum characteristics because of mechanical testing of the DKIT240 sample. In addition, numerical analysis of the finite element method (FEM) and numerical revealed a 6.37-fold increase in the safety of the DKIT240-coded sample during loading and more reliable data.

4. CONCLUSION AND OUTLOOK

The hooks designed for the hatch opener hoists are important to select this hook material appropriately, as they will be subject to deformation and wear during loading. Errors in material selection in machine systems and the strength characteristics of the material affect the risk of failure and accidents in the work. The boom door opening crane hooks also have problems with synchronization during material loading due to insufficient mechanical properties of the material.

In this study, Weldom700 steel heat treatments were performed in design, manufacturing, analytical and numerical analysis. 60 min, 180 min and 240 min. deep cryogenic treatments were performed during the hold time. In addition to the different samples, 120 min. The cleaning has been conducted. Mechanical tests have been performed to detect changes in mechanical properties of these samples under static and dynamic loading conditions. 240 min of conventional heat treatment, which is a DKIT 240-coded sample after heat treatments. Deep cryogenic treatment with hold time, plus 120 min. The mechanical properties and morphological properties of the sample being cleaned have also been found to be optimally improved.

1. GİRİŞ

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili olması ve önemli ticaret yolları üzerinde olmasından dolayı uluslararası deniz yük taşımacılığında büyük öneme sahiptir. Günümüzde uluslararası ticaretlerde, deniz yolu yük taşımacılığı ekonomik ve avantajlı olduğundan dolayı tüm dünyada yük taşımacılık ticaretinin %90'lık payına sahiptir [1]-[6]. Yük taşımacılık türleri karlılık oranına bakıldığında 2021 yılı verilerine göre, deniz yolu taşımacılığı hava yoluna göre 14 kat, karayoluna göre 7 kat, demir yoluna göre 4,5 kat daha ucuz gerçekleşmektedir [2],[7]. Gemiler aracılığıyla taşınan kuru yük, geminin gövde kısmında bulunan ambar olarak adlandırılan bu bölgelere depolanır. Bu bölgelerin deniz suyu, yağmur, güneş ısı gibi etkenlerden olumsuz etkilenmemesi ve güverte üzerindeki alanların oluşturulabilmesi için bu bölgelerin ambar kapakları ile kapatılmaları gerekmektedir. Ambar kapakları, ambar/kargo bölgesindeki yüklerin üstlerini örtmek ve çevresel olumsuz şartlardan korumak için kullanılmaktadır [8]-[12]. 1940'lı yıllarda yağmur ve deniz suyunun yüklere zarar vermesinden dolayı, ahşaptan yapılmış ambar kapakları kullanılmaktaydı [13]. Bu ambar kapakları ambar bölümünü tam olarak kaplayamamaktadır ve hava şartlarından dolayı da ahşap malzemenin çürümesine ve ambar bölgesindeki yüklerin olumsuz etkilenmesine sebep olmuştur [14],[16]. Endüstrinin gelişmesiyle birlikte, uluslararası denizcilik kuralları ve standartlarında gelişip güncellenerek ahşap ambar kapakları yerine mukavemet değerleri yüksek, su geçirmez dökme demir ve çeşitli çelik türlerinde, ağır ambar kapakları geliştirilmiştir [16]-[22].

Endüstrinin gelişmesi ile uygulama alanlarına göre çok farklı tasarım ve işlevlerde, vinçler tasarlanıp imal edilmeye de başlanmıştır. Kullanım alanlarına göre tasarlanan vinçlerin en büyük sorunları bu vinçlere uygun kancaların, tasarlanıp imal edilememeleridir [22]. Firmaların üretimini yaptıkları kancalar, genel olarak bu kancaların tasarımlarını, birbirlerinden kopyalayarak üretmektedirler [2,16]. Bu kancaların, vinçlere uygun olmamaları birçok iş kazalarını da meydana getirmektedir [23]. Kancaların birbirlerine benzer olmaları ya da bu kancaların yükleme koşulları altında sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizleri yapılmadan; üretiminin doğrudan yapılması, imalat esnasında ya da kancanın yükleme anında meydana gelen mühendislik

hataları çözülememektedir [23].

Bazı literatür çalışmalarında, kancaların imalatı yapılmadan sadece nümerik analiz yapılmıştır [24]-[29]. Nümerik analiz ile deneysel analizlerde de farklılıklar oluşmakta ve bu mühendislik hatalarının göz ardı edilmesi de büyük sorunlar meydana getirmektedir [30]. Kancaların üretimi esnasında çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Bunlardan yaygın olanları st37, st52, st72 yapı çelikleridir [31]-[36]. Bu malzemeler daha çok gemi, uçak, araç vb. ürünlerden artan malzemelerden imal edilmektedirler. Bazı kancalarda dökme demirden imal edilmektedirler [37].

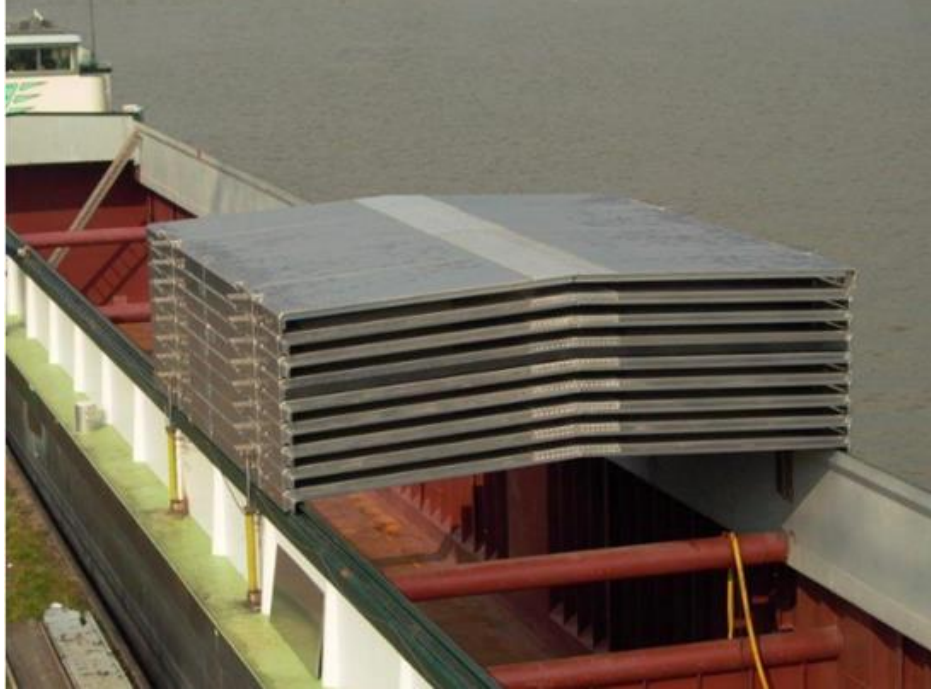
Genel olarak yapılan çalışmalar işlevsel olarak farklı olsalar da, tasarım ve imalat yöntemi olarak birbirlerine çok benzemektedirler.

1.1. AMBAR KAPAKLARI

Günümüzde, tüm dünyada çeşitli ambar kapakları bulunmaktadır. Ülkemizde ve denizyolu taşımacılığı yapan tüm ülkelerde yaygın olarak ponton tipi ambar kapakları kullanılmaktadır.

1.1.1. İstifl Ambar Kapakları (Stacking)

Bu tip ambar kapakları, küçük tonajlıdır ve en fazla 40 ton ağırlığındadır [38]. Bu tip kapaklarda hidrolik kaldıraçlar vasıtasıyla ambar kapaklarının istiflendiği türdedir. Bu tip kapakların en büyük dezavantajı ambar bölgesini açıp-kapamanın çok zaman almasıdır [8], [39]. Bu yüzden kapak tekerleri zamanla aşınabilir ve rayların zamanla aşınması da sık karşılaşılan sorunlar arasında yer alır. Şekil 1’de istifl tipi ambar kapağı gösterilmiştir.



Şekil 1.1. İstifli tipi ambar kapakları [40].

1.1.2. Ponton Tipi Ambar Kapakları (Pontoon Lift Away Type)

Ülkemizde ve Avrupa ülkelerinde yaygın olarak bu tip ambar kapakları kullanılmaktadır. Bu ambar kapakları, çok basit tasarımlı yapıdadırlar. Tasarımları her ne kadar basit olsa da açma - kapatma işlemleri çok zaman alır ve çok dikkat ister. Bu tip ambar kapaklarının herhangi bir mekanizması yoktur. Ambar kapakları özel vinçler ile kaldırılıp üst üste güverteye veya rıhtımlara konulur [41]. Konteyner gemilerinde bu tip ambar kapakları yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Şekil 1.2'de ponton tipi ambar kapağı gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Ponton tipi ambar kapağı [42].

1.1.3. Katlanan Tip Ambar Kapakları (Folding Type)

Katlanabilir ambar kapakları, büyük boyuttaki ambar kapaklarının kapatılmasına uygundur. Panellerin üzerine yükleri yüklemede yüksek esneklik sağlaması da büyük avantajdır. Bu tip ambar kapakları mafsallarla birbirine bağlı olarak iki panelden meydana gelir. Bu tip ambar kapaklarının katlanması, iki panelin katlama sistemi ve iki panelin menteşeler ile sağlanır [43]. Şekil 1.3'te katlanan tip ambar kapağı gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Katlanan ambar kapağı [43].

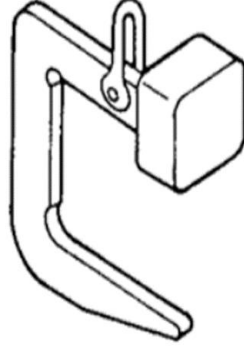
1.2. KANCALAR

Gelişen teknoloji ile birlikte yeni tasarlanan özel vinçler için, farklı şekil ve işlevlerde kancalar tasarlanmaya başlanmıştır. Endüstride vinç kancaları; nakliye, inşaat ve imalat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır [44]. Kancalar bir malzemeyi kaldırmak veya ağır yükleri istenilen yere vinçler aracılığıyla kaldıran oldukça önemli makine elemanlarıdır [44]-[47]. Yapılan bazı akademik çalışmalarda, büyük yükler altında yüksek gerilmelere maruz kalınan bölümlerin sadece nümerik analizleri yapılmaktadır ve bu da kancanın yükleme koşullarında bazı sorunların tespitinde yetersiz kalmaktadır.

Endüstride çok çeşitli kanca tasarımları, imatları ve sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır [48]-[53]. Yapılan çalışmalarda yaygın olarak kancaların tasarımları Solidworks ve Catia gibi tasarım programları kullanılarak yapılmıştır [53]-[57].

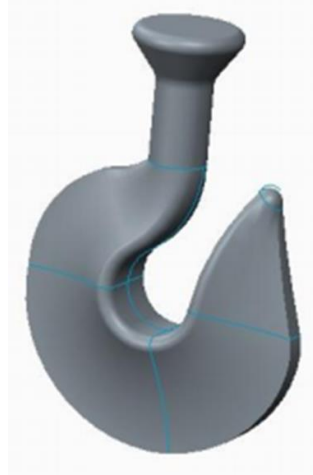
Şekil 1.4'te vinç kancalarına tutturulmuş ağır yükleri dengelemek için C kanca modeli gösterilmiştir. Bu tip kancaların modellenmesi Catia ve Solidworks tasarım programı ile yapılmaktadır [53], [58]. Bu tip kancalar ağır rulo şeklindeki ürünleri ve elektrik bobinlerini taşımak ve kaldırmak için kullanılır. Kanca malzemesi olarak yapı

eliklerinden St52 yapı çeliği kullanılmıştır [59].



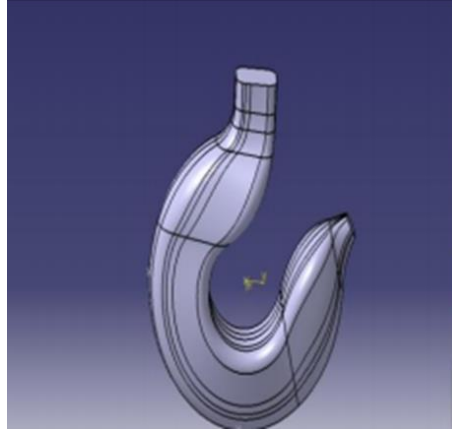
şekil 1.4. C-Tipi yük kaldırma kanca modeli [59].

Endüstride çok ağır yükleri kaldırmak için döküm yöntemi ile yapılmış kancalar vardır. şekil 1.5'te bu tip kancanın modellenmesi gösterilmiştir. Bu kancaların vince monte edilmesi halatlar aracılığıyla yapılmaktadır.



şekil 1.5. Çok ağır yükleri taşıyan özel vinç kanca modeli [60].

şekil 1.6'da trapez kesitli vinç kancası [61] gösterilmiştir, bu tip kancalar zincir ve baklalar yardımı ile yükleri kaldırmak için modellenmiştir. Bu tip yk kancaların çok hassas bileşenleri vardır ve yük kaldırma anında çok çabuk kırılmalar oluşabildiği için ağır iş kazalarına da sebep olmaktadır [62].



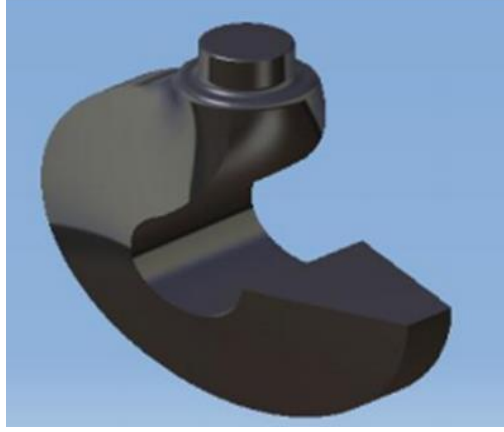
Şekil 1.6. Trapez tipi vinç kanca tasarımı [63].

Şekil 1.7’de tasarımı yapılmış vinç kancası [28] büyük boyutlu vinçler için kullanılmaktadır. Ağır yükleri taşımasından dolayı dövme yöntemi ile üretimi yapılmaktadır. Bu tip kancalar, vinçlere sökülemeyen bağlantı eleman yöntemlerinden kaynaklı bağlantı ile monte edilmektedir.



Şekil 1.7. Özel tasarlanmış vinç kanca modeli [64].

Şekil 1.8’de tel halatlı vinçler için özel tasarlanmış kanca gösterilmiştir [65]. Trapez kesitli yapıdadır ve çok ağır yükler için kullanılamamaktadır. Bu kancalar, kaynak bağlantısı ile vinçlere monte edilmektedir.



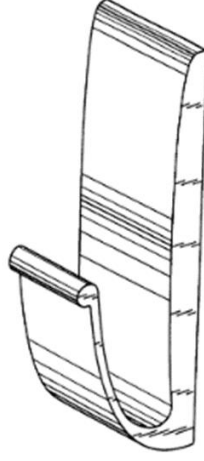
Şekil 1.8. Özel tasarlanmış Trapez Kesitli Vinç Kancası [65].

Şekil 1.9'da özel tasarlanmış kanca [66], tek cıvata bağlantılı bir kancadır. Bu tip kancalar çok hafif yükleri taşımak için kullanılmaktadır.



Şekil 1.9. Özel tasarlanmış vinç kancası [66].

Şekil 1.10'da özel tasarlanmış kanca, dekoratif amaçla modellenmiş kancalardır. Bu tip kancalar ahşap malzemeden yapılarak çok hafif yükler taşımak için tasarlanmıştır.



Şekil 1.10. Özel tasarlanmış dekoratif kanca modeli [67].

Bu tez çalışmasında; deniz yolu ile yük ve kargo taşımacılığı için, gemilerin ambar bölgelerini güvenilir bir şekilde açıp-kapatmak için özel tasarlanmış ponton tipi ambar kapak açma vinçleri için lama tipi bir kanca modellenmiştir. Bu kanca modeli üzerinden yükleme koşulları altında, analitik analiz ve sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizler yapılmıştır. Bu analizler doğrultusunda kanca modelinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Kanca imalatı için, St37 ve Weldom700 çelikleri kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan benzetim verilerinden yararlanarak, yükleme koşulları altında kancada meydana gelen gerilme yığılmalarını ölçmek için KYOWA marka KFGS-5-120-D16-11 L1M3S serisi kablolu iki eksenli (0-90) genel amaçlı gerilimölçer sensörleri yerleştirilerek buradaki gerilme yığılmaları tespit edilmiştir. Veri toplama ölçümleri için 1 adet 16 analog kanallı, 24 bit, 200 kS/s örnekleme hızında Dewesoft Sirius-HD veri toplama sistemi kullanılmıştır. Buradaki deneysel gerilme değerleri nümerik ve analitik analiz verileri ile kıyaslanmıştır.

Ayrıca bu çalışmada Weldom700 çeliğinden elde edilen numunelere; geleneksel ısı işlem, bu işlemin tamamlayıcısı niteliğindeki derin kriyojenik işlem (-180 °C'de 60, 180 ve 240 dakika) ve derin kriyojenik işlem sonrası 200 °C'de 120 dakika temperleme işlemi uygulanmıştır. Bu numuneler üzerinden malzemenin mekanik ve morfolojik özelliklerinin, ayrıntılı şekilde analizleri yapılmıştır. Mekanik ve morfolojik testleri ve analizleri yapılan Weldom700 çeliğinin yeni verileri kullanılarak, sonlu elemanlar metodu ile nümerik analizleri tekrardan yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında, ambar kapak açma vinç kancaları için özgün kanca tasarımı ve bu kancanın imalatı yapılmıştır. Bu kancanın analitik, sayısal ve deneysel analizleri yapılarak bunlar ayrıntılı şekilde birbirleri ile kıyaslanmıştır.

1.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde yapılan çalışmalarda çok sayıda farklı amaçlarla tasarlanmış birçok kanca modeli bulunmaktadır.

Bergaley ve purohit [68] genel amaçlı basit vinç sistemleri için tasarlanan kancaların yapı çelikleri verilerini ve sonlu elemanlar metodunu kullanarak matematik modellemesini yapmışlardır.

Kanwar ve shriyastava [69] özel tasarlanmış vinç kancasının analitik analizlerini yapıp bu analizleri nümerik analizlerle kıyaslamasını yapmış ve bu kancanın gerilme değerlerini teorik olarak incelemiştir.

Pavlovic ve ark. [70] T tipi kanca modelinin optimizasyon algoritmasını Matlap yazılım ve Ms Excel yazılımı ile kancanın algoritmasını inceleyerek kancanın sonlu elemanlar metodu ile matematik modellemesini oluşturmuştur.

Gapichand ve ark. [71] yaptığı çalışmada, vinçlerde kullanmak için Taguchi metodu ile kancanın tasarım, optimizasyonunu yapmış ve kancanın yükleme esnasında meydana gelen gerilme değerlerini analitik yöntemle incelemiştir.

Sahu ve ark. [72] AISI 4140 çelikleri ile trapez tipi kanca tasarımı ve imalatı yapmıştır. İmalatı yapılan kancanın yükleme esnasında meydana gelen enerji birikimlerini deneysel olarak incelemiştir.

Ansari ve ark. [74] 50000 Newton ağırlık kapasiteli basit yapılı vinç kancasını, yaklaşık hesap yöntemi ve timoshenko yaklaşımı ile gerilme analizlerini incelemiştir. Ayrıca eğri eksenli çubuk teoreminin, ağır sanayide kullanılacak vinçlerin ve kren sistemlerinin yük tutma elamanı olan basit tipte kancalara uygulamıştır.

İmrak ve ark. [73] statik yükleme koşullarında basit tip kancanın, yükleme esnasında meydana gelen deformasyon bölgeleri, pro/engineer wildfire 5.0 yazılıp programı ile nümerik analizleri teorik olarak incelemiştir.

Zhang ve ark. [75], Cevat ve ark. [76] raylı sistemlerde kullanmak üzere benzer

tasarımdaki kanca modelinin topoloji optimizasyonunu incelemiştir. Bilgisayar destekli tasarım ve imalatı aracılığıyla, geleneksel yöntemle imalatı mümkün olmayan ürünlerin üretimini sağlamışlardır.

Yük kaldırma makine elemanlarından olan kancaların imalatı çeşitli malzemelerden yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar genel olarak [77]-[80] St37, St52 ve AISI4140 çelikleri ile imalatı yapılmaktadır. Çeşitli amaçlarla kullanılan yük kancaları yükleme esnasında ve hava şartlarından dolayı korozyona uğramaları, malzemenin aşınma direncinin ve yorulma direncinin düşmesine neden olarak vinç mekanizmasından kaynaklanan tehlikeli kazalara sebep olmaktadır [81]-[83]. Malzemenin mekanik özelliklerindeki bu düşüşleri minimuma indirmek ve malzemenin mekanik özelliklerini artırmak için işlemler yapmaya ihtiyaç duyulmuştur.

Gül ve ark. [84] Hastelloy C-22 süper alaşımlı malzemenin aşınma direncini yükseltmek için sıg ve derin kriyojenik işlem uygulayarak, bu malzemede meydana gelen iyileşmeleri karşılaştırarak, derin kriyojenik işlemin bu malzeme türüne göre aşınma direncinde %44 iyileştirdiğini tespit etmiştir.

Kam ve Saruhan [85], [86] AISI 4140 çeliğinden elde edilen millerin, farklı bekletme sürelerinde derin kriyojenik işlemin malzemenin mekanik özelliklerine ve malzemenin dinamik davranışlarına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. 36 saat bekletme süresinde derin kriyojenik işlemin malzemenin çekme dayanımında %10 ve sertliğinde %5 iyileşme olduğunu tespit etmiştir.

Aytaç ve ark. [87] AISI 1008,1040 ve 4140 çeliklerinde ısıl işlemin ve karbon oranının mekanik özelliğe ve mikro yapılara etkilerini incelemiştir. Isıl işlem sonrasında karbon oranının %3 arttığını ve akma gerilmesinin %73 arttığını göstermiştir.

Sert [88] AISI M2 takım çeliğinin derin kriyojenik işlem ve temperlemenin etkisinin mikro yapısındaki ve mekanik özelliğindeki değişimlerini incelemiştir. 24 saat bekletme süresinde (-196 °C) ve 250 °C 2 saat temperleme işlemi uygulanmış numunenin yapısındaki yağlayıcı özellik kalıntı östenit ve karbürler sayesinde sürtünme katsayısının düştüğünü, malzemenin mekanik özelliklerinde %26 iyileşme olduğunu göstermiştir.

Merzalı [89] çalışmasında zırh çeliklerinde kaynak sonrası ısı tesiri altında kalan bölümün, ısıl işlem sonrasında mekanik özelliğindeki değişimleri incelemiştir. Ayrıca bu zırh çeliğinin mikro yapı, tokluk ve sertliğinde iyileşmeler olduğunu göstermiştir.

Kumar ve ark. [90] AISI 4140 çeliğine uygulanan derin kriyojenik işlemin kalıntı gerilme durumunu incelemiş, sıg kriyojenik işlem (-80 °C'de 5 saat) ve derin kriyojenik işlem (-196 °C 'de 24 saat) olmak üzere farklı iki soğutma işlemi uygulamıştır. Kriyojenik işlem sıcaklığının azalması ve bekletme süresindeki artış, östenitin martenzite dönüşmesine yol açmıştır.

Kuzmenko ve Grishokov [91], -196 °C ve 22 °C oda sıcaklığında çeliklerin dayanıklılığı ve yüksek yük frekansının etkisini incelemiş, -196 °C sıcaklıkta malzemeye uygulanan kriyojenik işlem sonrasında da, yorulma deneyi sonucunda, malzemenin yorulma direncinin arttığını gözlemlemiştir.

Steponov ve Iokhankma [92] krom mangan çeliğinin mekanik özelliğini -196 °C'de derin kriyojenik işlemin mekanik testler aracılığıyla incelemiş, çekme mukavemetinin ve yorulma direncinin arttığını görmüştür.

Peciada ve ark. [93] dişli sistemlerinde kullanılan çeliklerin sertliklerini ve aşınma dirençlerindeki değişimleri kriyojenik işlem (-190 °C'de 22 saat) ve 200 °C'de 2 saat temperleme işlemi sonrası, malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimleri deneysel olarak analiz etmiş ve kayda değer miktarda malzeme dayanımında iyileşme meydana geldiğini tespit etmiştir.

Özato ve ark. [94] farklı ısıl işlem uygulanmış Ni-Ti ile üretilen tıbbi cihazların ısıl işlem sonrasında mekanik özelliklerinde meydana gelen iyileşmeleri incelemiştir.

Kızılkaya ve ovalı [95] AISI 4140 çeliğine uygulanan sıg kriyojenik işlemin (2, 4, 6 saat bekletme) sonrasında sürtünme katsayısındaki değişimleri ve iyileşmeyi incelemiştir.

Kara ve ark. [96] borlanmış hardox500 çeliklerinin aşınma davranışlarını incelemiştir.

Genel olarak literatür çalışmaları incelendiğinde; yük kaldırma sistemleri için kullanılan kanca vb. makine elemanlarında, yüksek mukavemetli çelik malzemelerin kullanıldığı çalışmaların oldukça az olduğu gözlemlenmiştir. Savunma sanayisinde ve ağır iş makinelerinde kullanılan Hardox ve Weldox serisi çeliklerin işlenmesi ve kaynak yapılabilme özelliğinin iyi olmasına [93], [95], [96], [97] karşı literatürde yapılan çalışmaların az olduğu da gözlenmiştir.

Tabur ve izciler [97] yüksek mukavemetli aşınmaya dayanıklı Hardox400 çeliğine (2, 4, 6 saat) 850 °C, 900 °C, 950 °C' de sementasyon yöntemi kullanarak bor difüze edilmiş çeliğin bazı mekanik özellikleri incelenmiş, bekletme süreleri ve sıcaklık artışlarının

malzemenin mekanik özelliğinin doğrusal olarak iyileştiğini göstermiştir.

Keleş [98] çalışmasında Hardox çeliğinin malzeme verilerini kullanarak nümerik analizi ile deneysel testleri karşılaştırmış ve aralarındaki ilişkinin optimum düzeyde olduğunu göstermiştir.

Mert ve ark. [99] Weldom700 çeliğinin, kaynak yapılabirliğini incelemiş ve kaynak bölgelerinde meydana gelen mikro çatlakları tespit etmiştir. Çalışmasında, bu durumun malzemede dayanım özelliklerinde olumsuz etki yaptığını belirtmiştir.

Xinke ve ark. [100] künt mermilerle vurulan Weldom700 çelik levhanın balistik direncini tahmin etmiştir. Bu malzemenin hibrit, deneysel ve sayısal yöntemleri kullanarak kalibre özelliğini tespit etmiştir.

Shi ve ark. [101] künt burunlu mermilerden etkilenen Weldom900 çeliğine atış sonrası malzeme davranışlarındaki değişimleri göstermiştir.

Borvik ve ark [102] Weldom460 çelik levhaların künt bir mermi ile delinmesini deneysel olarak test edip, analitik ve nümerik analiz yöntemleri kullanarak analizlerini yapmıştır. Özellikle sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen bulguların deneysel olarak analiz sonrası elde edilen veriler ile uyum içerisinde olduğunu göstermiştir.

Liu ve ark. [103] Weldom460 çelik malzemesi ile sandviç plakaların anti-penetrasyon performansını sonlu elemanlar metodu ile incelemiş ve sayısal, simülasyon sonuçlarının deneysel verilere yol gösterdiğini ileri sürmüştür.

Literatürde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde farklı kullanım özelliğine sahip kancaların tasarımlarının birbirlerine çok benzer olduğu gözlenmiştir. Farklı yükleme koşullarında bu kancaların çok sayıda matematik modellerinin bulunmasına rağmen deneysel çalışma sayısının oldukça az olduğu gözlenmiştir. Literatürde kanca imalatında kullanılan malzemelerin de birbirleri ile benzer olduğu görülmüştür.

Literatürde metalik malzemelerin özelliklerini iyileştirmede, farklı bekletme sürelerinde sığ ve derin kriyojenik işlemlerin uygulandığı, bu işlemlerden sonra malzemelerde olumlu yönde iyileşmeler olduğu gözlenmiştir. Özellikle makine elemanlarında [104]-[109] aşınma dirençlerinde ve malzemenin yorulma dirençlerinde de önemli derecede iyileşmeler olduğu, malzemelerin mikro ve makro sertliğinde, mekanik özelliklerinde oldukça iyi yönde iyileşmeler olduğu gözlenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalarda, yüksek mukavemetli Weldom ve Hardox serisi çelikleri

sürdürülebilir üretimde büyük öneme sahip olmasına rağmen bunlar ile ilgili çalışmaların çok az olduğu gözlenmiştir.

Özellikle ağır sanayide kullanılmak için, hardox ve weldox serisi, yüksek mukavemetli çeliklerin dayanım özelliklerinin iyileştirilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

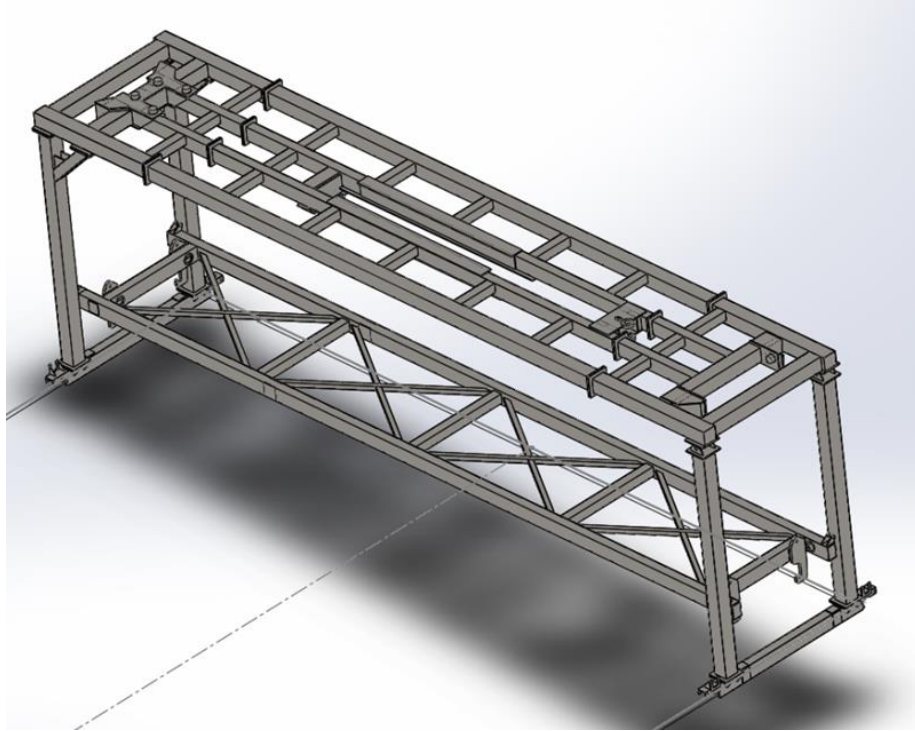
2.1. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Bu bölümde çalışmada kullanılan ambar kapak açma vinç kancasının bilgisayar destekli tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayar destekli (nümerik analiz) yapılmıştır.

2.1.1. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Modelleme

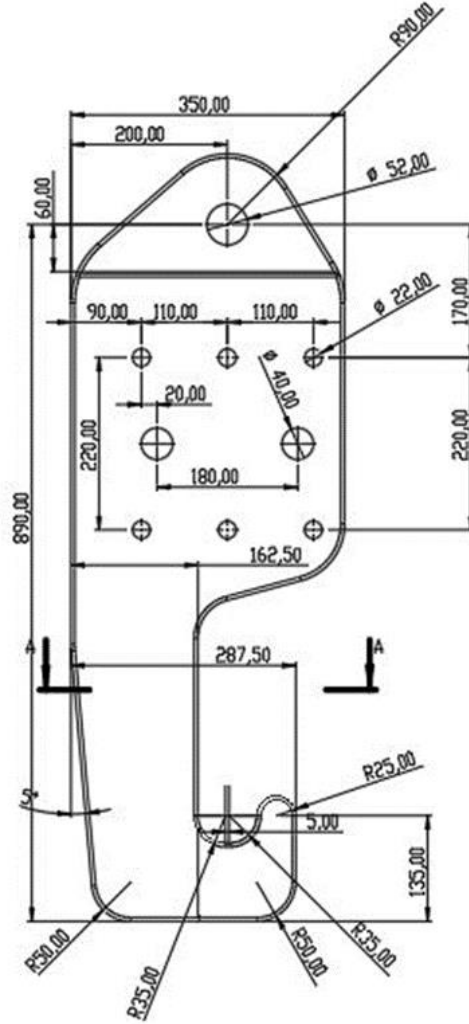
Kancalar, kaldırma sistemlerinin en önemli unsuru olan makine elemanları arasında yer alır. Günümüzde birçok kanca tasarımı bulunmaktadır [110]. Bu çalışmada deniz taşımacılığı için gemilerin ambar bölgelerini hava koşulları vb. olumsuz durumlardan koruyan çelikten yapılmış ponton tipi ambar kapakları için özel tasarlanmış ambar kapak açma vinçler için kanca tasarımı modellenmesi yapılmıştır.

Ambar kapak açma vinçleri diğer yük vinçlerinden farklı yapıdadırlar [111]. Aşağıda Şekil 2.1’de özel tasarımı yapılmış ambar kapak açma vinç tasarımı gösterilmiştir.

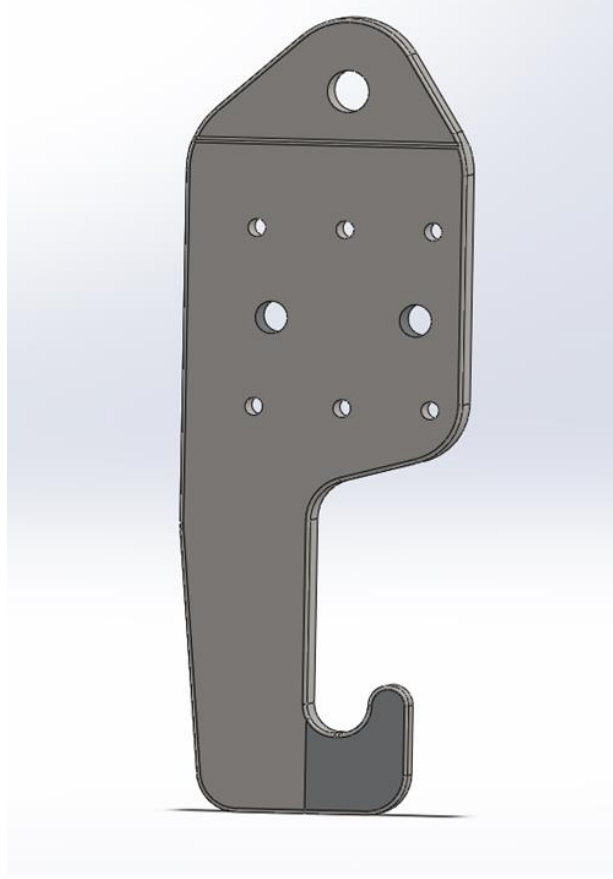


Şekil 2.1. Yeni tip ambar kapak açma vinç modeli [112].

Ambar kapaklarını, güvenilir şekilde açıp kapatmak için kullanılan bu vinçler için 4 adet kanca kullanılmaktadır. Bu çalışmada, maksimum 22 ton ambar kapakları için her biri minimum 6 ton kapasiteli özel tasarlanmış vinç kancaları modellenmiştir. Kanca tasarımı Solidworks 2020 tasarım programı ile modellenmiştir. Şekil 2.2’de ambar kapak açma vinç kancasının teknik resim görüntüsü ve Şekil 2.3’te kancanın üç boyutlu modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Ambar kapak açma vinç kancasının teknik resim görüntüsü [112].



Şekil 2.3. Ambar kapak açma vinç kancasının üç boyutlu modeli [112].

Bu ambar kapak açma vinç kancasının vince bağlantısı; sökülebilir bağlantı elemanlarından, cıvatalar ve pimlerle sağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca ambar kapak açma vinç kancasının, mapa kanca ile birleşik olduğu için tüm kuvvet iletimi kanca üzerinde olacaktır.

2.2. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Sonlu elemanlar analizi, çok çeşitli mühendislik problemlerinin sayısal çözümlemesini elde etmek için kullanılan bir yöntemdir [113]-[115]. Tasarımı yapılan özel ambar kapak açma vinç kancasının analizi ANSYS 2019 R2 analiz programı ile yapılmıştır. ANSYS analiz programı, diğer CAD yazılım programları ile senkronize çalışmaktadır. Çeşitli yapıdaki özel kancaların tasarımları Catia, Solidworks vb. tasarım programları ile tasarlanıp ve analiz programında çözümleme işlemleri ile yapılmaktadır [116]. Analizde malzeme olarak St37 yapı çeliği ve Weldom700 çeliği verileri kullanılmıştır. Çizelge 2.1 ve 2.2’de bu çeliklerin analizde kullanılan verileri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. St37 yapı çeliği mekanik özellikleri [112], [117].

Malzeme	Yoğunluk (kg/cm ³)	Elastikse Modülü (MPa)	Uzama (%)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Poisson Oranı
St37	7,7	210000	15	1158	355	0,3

Çizelge 2.2. Weldom700 çeliği mekanik özellikleri [112], [118].

Malzeme	Yoğunluk (kg/cm ³)	Elastikse Modülü (MPa)	Uzama %	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Poisson Oranı
Weldom700	7,850	205000	14	780-930	650	0,3

Yapılan analizde 60000 Newton statik yükleme koşulları uygulanmıştır. Mesh yapısı olarak free mesh kullanılmıştır. Şekil 2.4’te kancanın ANSYS R2 2019 analiz programına malzeme atama ve özellik girişleri gösterilmiştir. Şekil 2.5’te kancanın yükleme koşullarında koordinat yapısı, sınır şartları ve mesh yapısı verilmiştir.

Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Structural Steel			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from: 1998 ASME BPV

Properties of Outline Row 3: Structural Steel

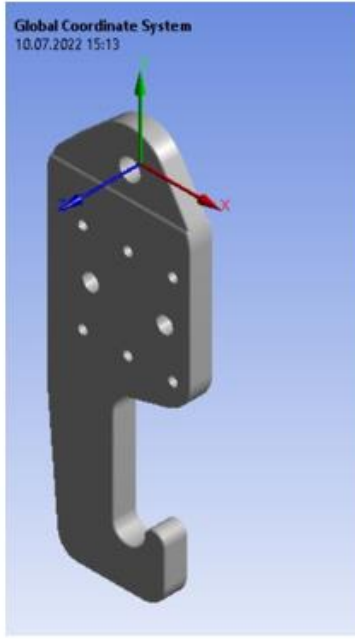
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's ...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0.3			
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa		
12	Strain-Life Parameters				
13	Display Curve Type	Strain-Life			
14	Strength Coefficient	9.2E+08	Pa		
15	Strength Exponent	-0.106			
16	Ductility Coefficient	0.213			
17	Ductility Exponent	-0.47			
18	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa		
19	Cyclic Strain Hardening Exponent	0.2			
20	S-N Curve	Tabular			
21	Interpolation	Log-Log			
22	Scale	1			
23	Offset	0	Pa		
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa		
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa		
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa		
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Table of Properties Row 2: Structural Steel Field Variables

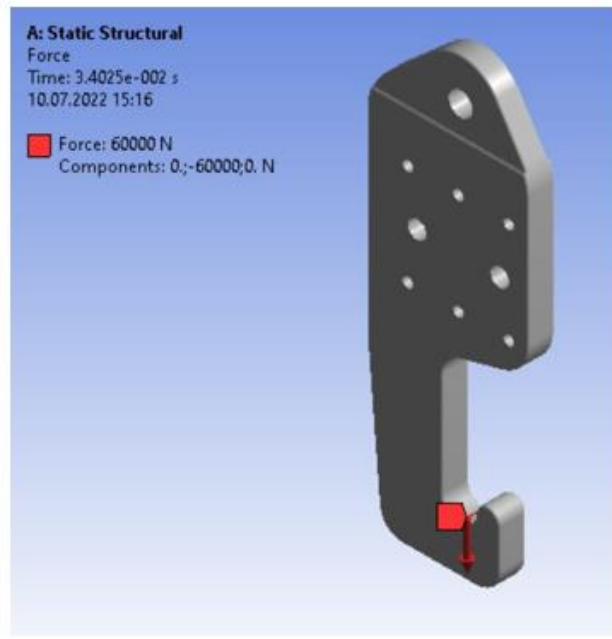
	A	B	C	D	E
1	Variable Name	Unit	Default Data	Lower Limit	Upper Limit
2	Temperature	C	22	Program Controlled	Program Controlled
3	Mean Stress	Pa	0	Program Controlled	Program Controlled

Chart: No data

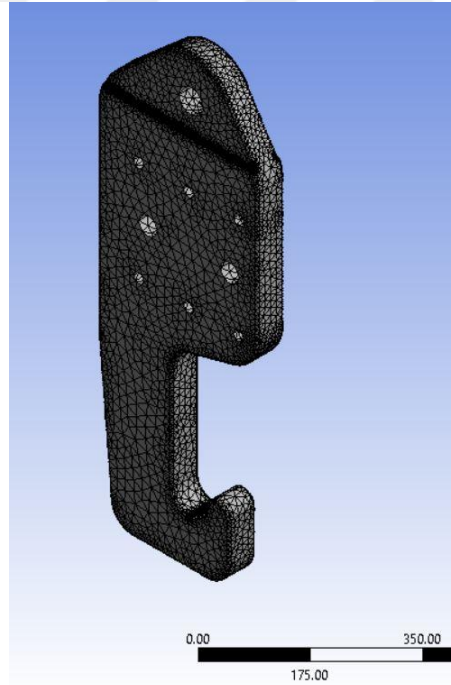
Şekil 2.4. Analiz programına malzeme veri girişi.



a)



b)



c)

Şekil 2.5. Ambar kapak açma vinç kancasının sonlu elemanlar analizi a) Koordinat sistemi b) Yükleme koşulları ve sınır şartları c) Mesh yapısı.

3. ANALİTİK HESAPLAMALAR

Makine elemanlarından olan ve piyasada üretimi bulunan tüm makine elemanlarının tasarımı, malzeme seçimi, güvenilirliği ve konstrüktif çizimleri için mukavemet hesaplamalarına ihtiyaç duyulmaktadır [51], [116].

Bu çalışmada mukavemet hesaplarında Çizelge 2.1'de verilen St37 yapı çeliğine ait veriler kullanılmıştır.

Bir makine elemanı statik ve dinamik zorlama altında 6 tip gerilmeye maruz kalmaktadır. Bunlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Mukavemet hesaplamaları için kullanılan formüller (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7)'de gösterilmiştir.

$$A = h * L \quad (3.1)$$

$$I = L * H^3 / 12 \quad (3.2)$$

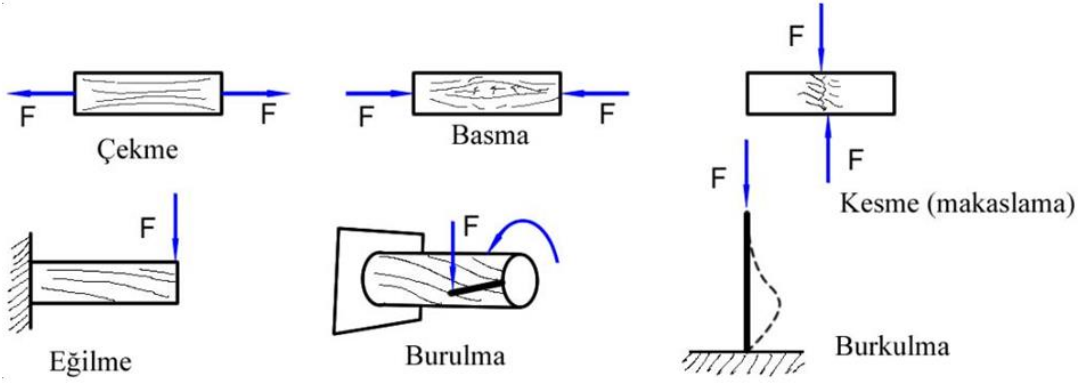
$$T = F / A \quad (3.3)$$

$$\sigma_{\varphi} = F / A \quad (3.4)$$

$$\sigma_{e\varphi} = [(\sigma_e)^2 + 3 * (\tau)^2]^{1/2} \quad (3.5)$$

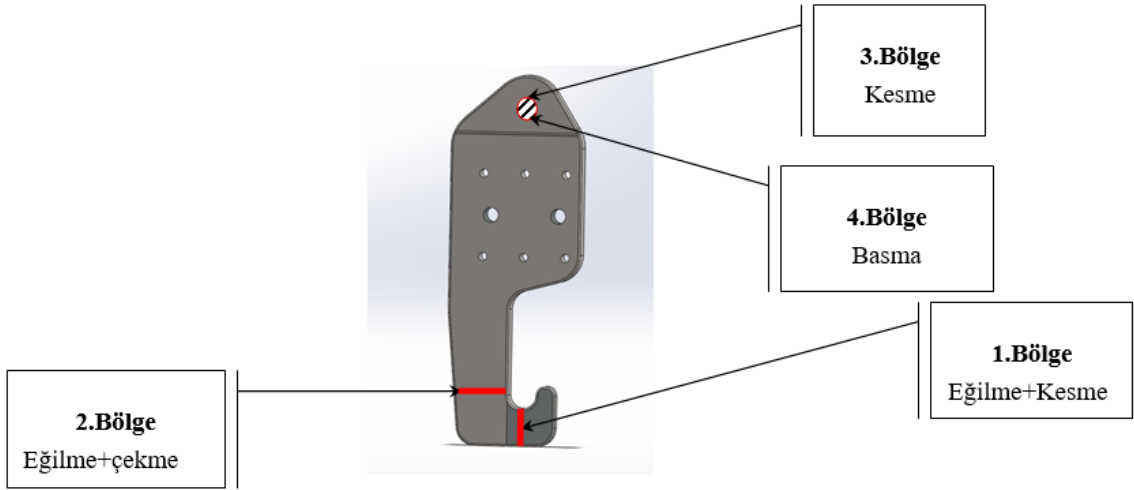
$$\sigma_{e\varphi} = \sigma_e + \sigma_{\varphi} \quad (3.6)$$

$$SF = \sigma_{Ak} / \sigma_{e\varphi} \quad (3.7)$$



Şekil 3.1. Zorlanma durumuna göre maruz kalınan gerilmeler [119].

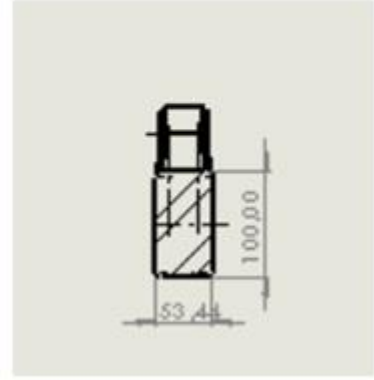
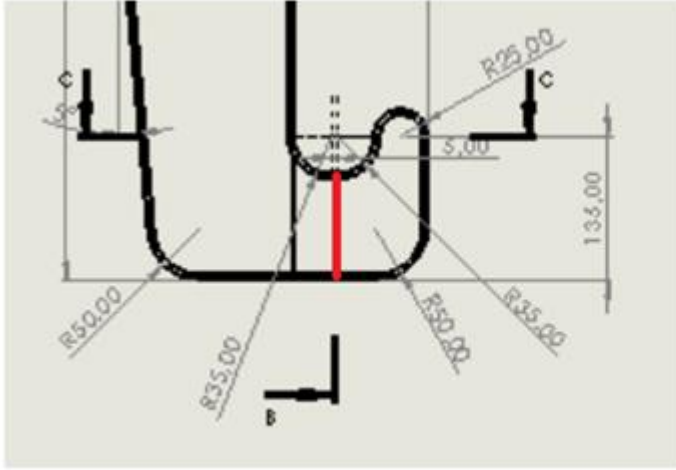
Bu bölümde, statik yükleme koşulları altında 60000 Newton yükte makine elemanında meydana gelen kritik bölgeler ve maruz kalınan gerilme türleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Statik zorlanma durumunda meydana gelen kritik gerilme yerleri ve durumları.

3.1. BİRİNCİ BÖLGE GERİLME HESAPLAMALARI

Kanca bu bölgede statik yükleme esnasında eğilmeye ve kesmeye maruz kalmıştır. Bunların hesaplama ölçüleri Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Birinci bölgedeki gerilme hesaplama ölçüleri

Şekil 3.2’de gösterilen ambar kapak açma vinç kancasının bu bölümünde kancada, eğilme ve kesme gerilmesi meydana gelmiştir. Eğilme momentine maruz kalan makine elemanları eğilme ve kesme gerilmelerine maruz kalır [119]. Şekil 3.3’te gösterildiği gibi malzeme genişliği 53,44 mm, yüksekliği 100 mm’dir.

Alan

$$A = h * L \quad (3.8)$$

Atalet momenti

$$I = L * H^3 / 12 \quad (3.9)$$

Moment

$$\text{Moment kolu} = L_1 = 62,5 \text{ mm} \quad M = L_1 * F \quad (3.10)$$

W=Mukavemet momenti

$$W = I / (0,5 * h) \quad (3.11)$$

Kesme Gerilmesi

$$\tau = F/A \quad (3.12)$$

Eğilme Gerilmesi

$$\sigma_e = M/W \quad (3.13)$$

Bileşke Gerilmesi

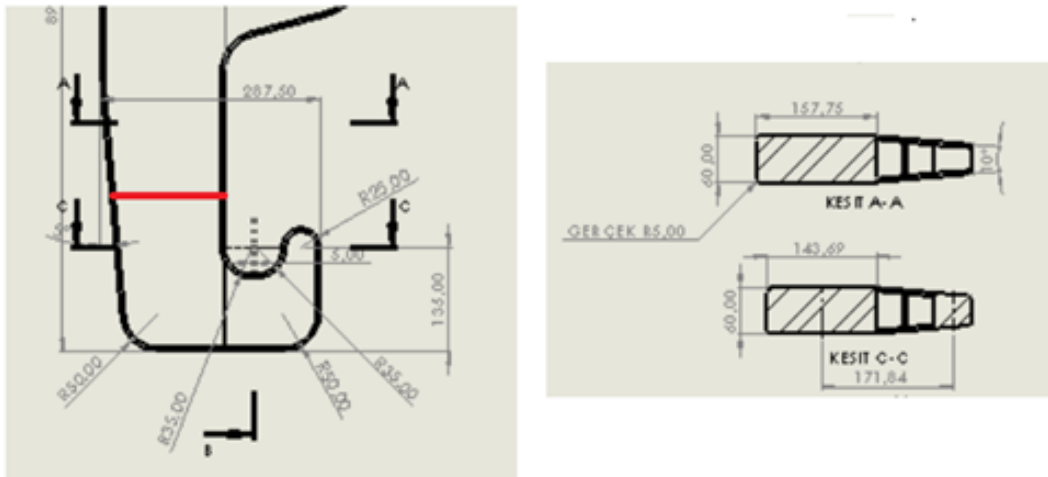
$$\sigma_{eş} = [(\sigma_e)^2 + 3*(\tau)^2]^{1/2} \quad (3.14)$$

Güvenlik Faktörü

$$\sigma_{Ak} = 355 \text{ N/mm}^2 \quad \text{EMK} = \sigma_{Ak} / \sigma_{eş} \quad (3.15)$$

3.2. İKİNCİ BÖLGENİN GERİLME HESAPLAMALARI

Şekil 3.4'te gösterilen ambar kapak açma vinç kancasının bu bölümünde çekme ve kesme gerilmesi meydana gelmiştir. Çekme gerilmesi, makine elemanının veya sistemin çekmeye karşı gösterdiği dirençtir [120]. Çekme gerilme değeri kuvveti kesit alanına bölünmesi ile elde edilir.



Şekil 3.4. İkinci bölgedeki gerilme hesaplama ölçüleri

$$L= 60 \text{ mm} \quad h= 143 \text{ mm}$$

Kesit Alan

$$A= h*L \tag{3.16}$$

Atalet Momenti

$$I= L*H^3/12 \tag{3.17}$$

Moment

Moment kolu $L1= 171 \text{ mm}$

Mukavemet Momenti

$$W=\text{Mukavemet momenti} \quad W= I/(0,5*h) \tag{3.18}$$

Çekme Gerilmesi

$$\sigma_{\varphi} = F/A \tag{3.19}$$

Eğilme Gerilmesi

$$\sigma_e = M/W \tag{3.20}$$

Bileşke Gerilme

$$\sigma_{e\varphi} = \sigma_e + \sigma_{\varphi} \tag{3.21}$$

Güvenlik Faktörü

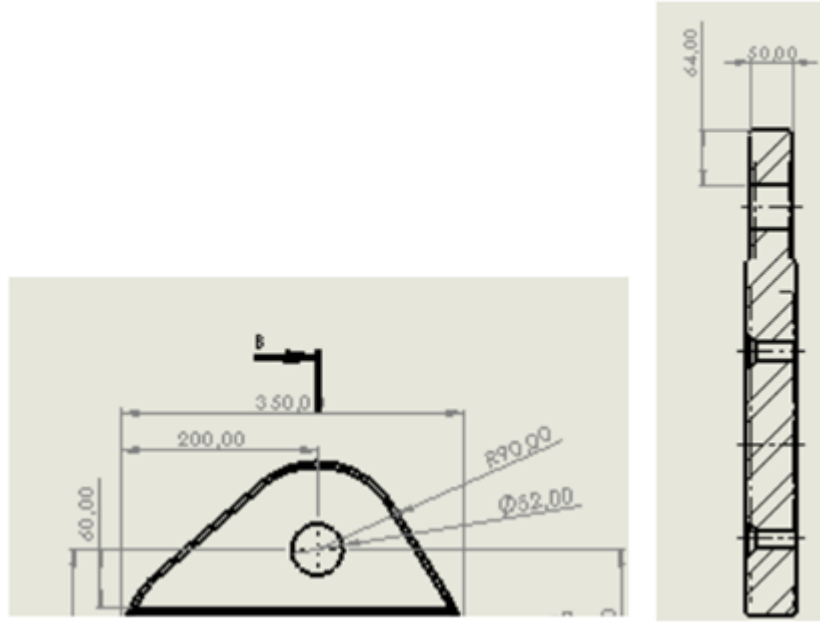
$$\sigma_{Ak} = 355 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

$$EMK = \sigma_{Ak} / \sigma_{eş}$$

$$(3.22)$$

3.3. ÜÇÜNCÜ BÖLGENİN GERİLME HESAPLAMALARI

Şekil 3.5'te gösterilen ambar kapak açma vinç kancasının bu bölümünde sadece kesme gerilmesi meydana gelmiştir. Sistemin veya makine elemanının kesitine paralel şekilde uygulanan kuvvete kesme kuvveti denir. Uygulanan kesme kuvvetinin birim alana etkisine kesme gerilmesi denir [119].



Şekil 3.5. Üçüncü bölgedeki gerilme hesaplama ölçüleri

$$\text{Delik Çapı} = D = 40\text{mm}$$

$$\text{Adet} = 2$$

Alan

$$A = \pi * D^2 / 4$$

Pim yükü

$$F= 60000 \text{ N} \quad P = F/2 \quad (3.22)$$

Kesme Gerilmesi

$$\tau = F/A \quad (3.23)$$

Güvenlik Faktörü

$$\sigma_{Ak}= 355 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)} \quad \text{EMK} = \sigma_{Ak} / \sigma_{eş} \quad (3.24)$$

3.4. BÖLGE GERİLME HESAPLAMALARI

Şekil 3.5'te gösterilen ambar kapak açma vinç kancasının bu bölümünde basma ve kesme gerilmesi meydana gelmiştir. Mapa yuvası basma gerilmesine maruz kalmıştır. Mapa delik üstü ise kesme gerilmesine maruz kalmıştır. Basma gerilmesi, makine elemanının ezmeye ve boyunu kısaltmaya çalışan kuvvete karşı oluşan içsel dirençtir [121].

Hesaplama 3.4.1. mapa yuvası

Delik Çapı= D= 50 mm

Delik Genişliği L= 52 mm

Alan

$$A= D*L \quad (3.25)$$

Basma Gerilmesi

$$F= 60000 \text{ N} \quad \sigma_B = F/A \quad (3.26)$$

Güvenlik Faktörü

$$\sigma_{Ak} = 355 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

$$EMK = \sigma_{Ak} / \sigma_{Bi} \quad (3.27)$$

Hesaplama 3.4.2. mapa delik yuvası

$$\text{Delik Çapı} \quad D = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Delik Genişliği} \quad L = 64 \text{ mm}$$

Alan

$$A = D \cdot L \quad (3.28)$$

Kesme Gerilmesi

$$F = 60000 \text{ N} \quad \tau = F/A$$

Güvenlik Faktörü

$$\sigma_{Ak} = 355 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)}$$

$$EMK = \sigma_{Ak} / \sigma_{eş} \quad (3.29)$$

4. YÜKLEME KOŞULLARI ALTINDA AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ DENEYSEL ANALİZİ

Bu bölümde tasarımı ve imalatı yapılmış ambar kapak açma vinç kancasının, sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analiz sonuçlarına göre gerilmeye maruz kalınan bölgelerinden gerilimölçer (strain gage) sensörleri kullanılarak gerilme değerleri ölçülmüştür.

4.1. AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ YÜZEYİNİN HAZIRLANMASI

Gerilimölçerlerin doğru sonuç vermesi için belirlenen noktaların üzerindeki metal çapaklar spiral taşla temizlenmiştir. Bu bölgelerin yüzeylerindeki yağ, kir ve toz, izopropil alkol kullanarak temizlenmiştir. Temiz yüzeye ayrıca zımparalama işlemi de yapılmıştır. Her adımda yüzey izopropil alkol kullanılarak ve steril gazlı bezlerle temizlenmiştir. Şekil 4.1'de kancanın gerilimölçer sensör uygulanacak bölgelerinin temizlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Gerilimölçer sensör uygulanacak bölgelerin temizlenmesi.

4.2. GERİLİMÖLÇER UYGULAMASI

Gerilimölçer uygulaması için, gerilimölçer uygulama kiti ve iki eksenli gerilimölçer sensörü kullanılmıştır. Uygulama prosedürü; yüzey hazırlama, gerilimölçer konumlandırma, yapıştırma ve kablolama işlemlerinden oluşmaktadır. Kancanın gerilme ölçümleri için KYOWA marka KFGS-5-120-D16-11 L1M3S serisi kablolu iki eksenli (0-90) genel amaçlı gerilimölçerler kullanılmıştır. Gerilimölçerleri yüzeye yapıştırmak için CC-33A cyanoacrylate tabanlı yapıştırıcı kullanılmıştır. Bir damla yapıştırıcı gerilimölçerin dirençsiz arka yüzeyine damlatılarak ve bir dakika süre ile gerilimölçer sensörünün üzerine parmak basıncı uygulanarak yapıştırıcının kuruması sağlanmıştır. Gerilimölçer sensörlerin üstünü tozdan ve nemden korumak için özel koruma bandı (WM Teyp) ile kaplanmıştır. Şekil 4.2’de kancalara gerilimölçer sensörlerin yapıştırılması aşaması gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Kancalara gerilimölçer sensörlerinin yapıştırılması.

4.3. VERİ TOPLAMA İŞLEMİ

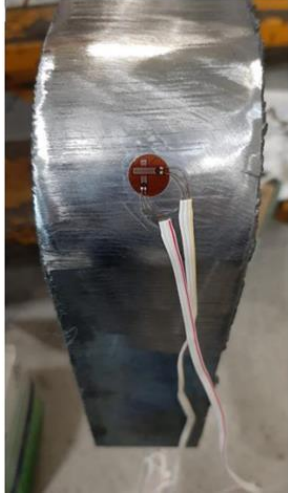
Veri toplama işleminde, gerilme ölçümleri için; 1 adet 16 analog kanallı, 24 bit, 200 ks/s örnekleme hızında Dewesoft Sirius-HD veri toplama sistemi kullanılmıştır. Gerilimölçerler, 1 metre kablolu olup üç kablo bağlantılı olarak yerleştirilmiştir. Kabloların veri toplama sistemlerine bağlantıları D-Sub 9 Pin konektörlerle gerçekleştirilmiştir. İşlemin yapılaş aşaması Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



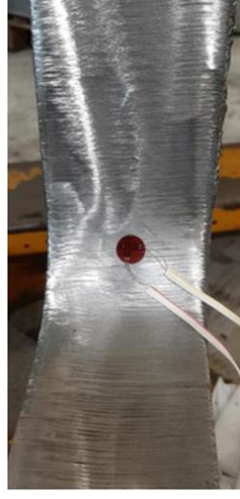
Şekil 4.3. Kancalardan veri toplama işlemi.

4.4. GERİLİMÖLÇERLERİN KONUMLANDIRILMASI

Gerilimölçer sensörleri konumlandırma amacıyla cetvel, kumpas ve kalem kullanılarak gerilimölçer sensörlerin yapıştırılacağı bölgeler dikey ve yatay olarak işaretlenmiştir. Temizlenmiş bir cam yüzey ve şeffaf bant kullanılarak gerilimölçer sensörlerin uygulama konumuna getirilerek yapıştırıcı uygulanmıştır. Şekil 4.4' te konumları gösterilmiştir.



a)



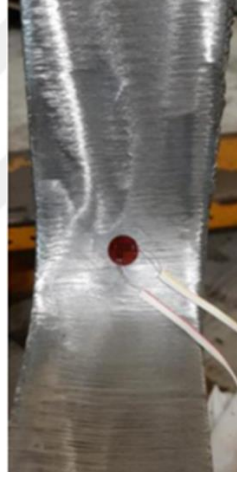
b)



c)



d)



e)

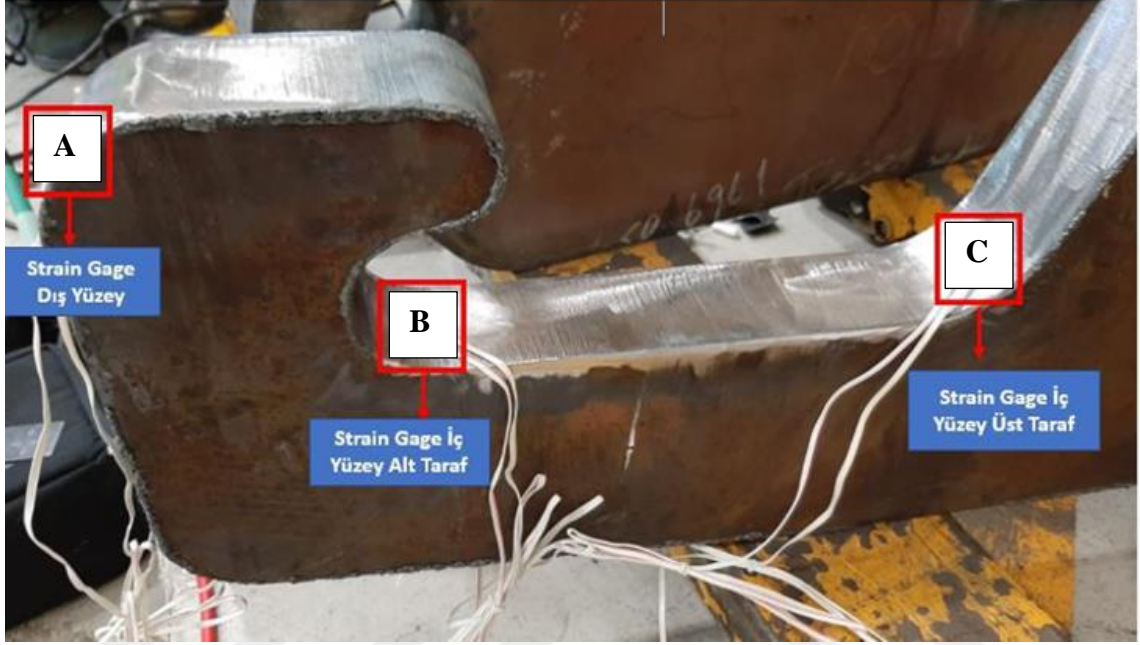


f)

Şekil 4.4.Kanca gerilimölçer sensörlerinin konumlandırılması a) St37 çeliği kancanın gerilimölçer sensörün dış yüzey konumu b) St37 çeliği kancanın gerilimölçer sensörün iç yüzey üst taraf konumu c) St37 çeliği kancanın gerilimölçer sensörün iç yüzey alt taraf konumu d) Weldox700 çeliği kancanın gerilimölçer sensörün dış yüzey konumu e) Weldox700 çeliği kancanın gerilimölçer sensörün iç yüzey üst taraf konumu f) Weldox700 çeliği kancanın gerilimölçer sensörün iç yüzey alt taraf konum.

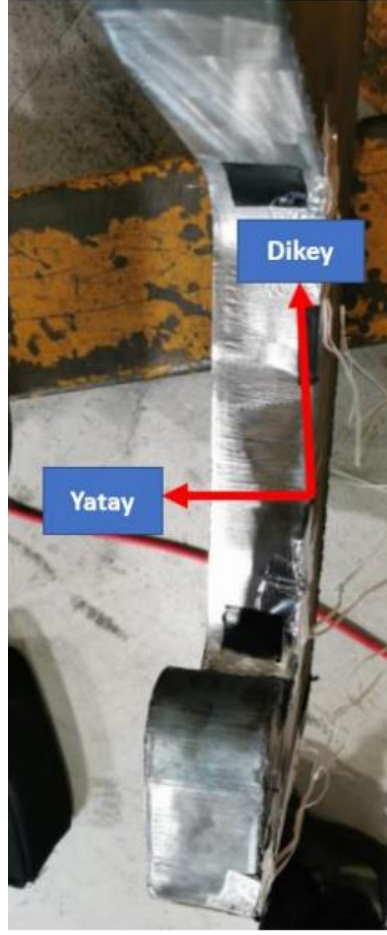
4.5. KANCA GERİLİMÖLÇÜM DETAYLARI

Bu bölümde ölçüm için 3 adet olmak üzere toplam 6 adet iki eksenli gerilimölçer sensörü, St37 ve Weldox700 çelikleri ile imal edilen kancaların yüzeylerine yerleştirilmiştir. Tüm bilgiler 20000 Hz'de toplanmıştır. Kancaların gerilimölçer kodları Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. St37 ve Weldox700 çeliği kancaların gerilimölçer sensörlerinin kodları

Bir yapısal eleman çekme veya basmaya maruz kaldığında uzunluğu, uzama veya kısalma göstererek, kesit alanı ise malzemenin poisson oranına bağlı olarak değişmektedir. Boyda uzama olması halinde (+), boyda kısalma olması halinde (-) işareti ile gösterilmektedir. Mühendislik uygulamalarında, yapısal elemanlar genellikle çok küçük deformasyonlara uğramakta ve kesit alanındaki değişim çok küçük olduğundan ihmal edilebilmekte ve sabit kaldığı varsayılmaktadır. Şekil 4.6'da St37 ve Weldox700 çeliği kancalarında gerilimölçer sensörlerinin eksenleri gösterilmiştir.



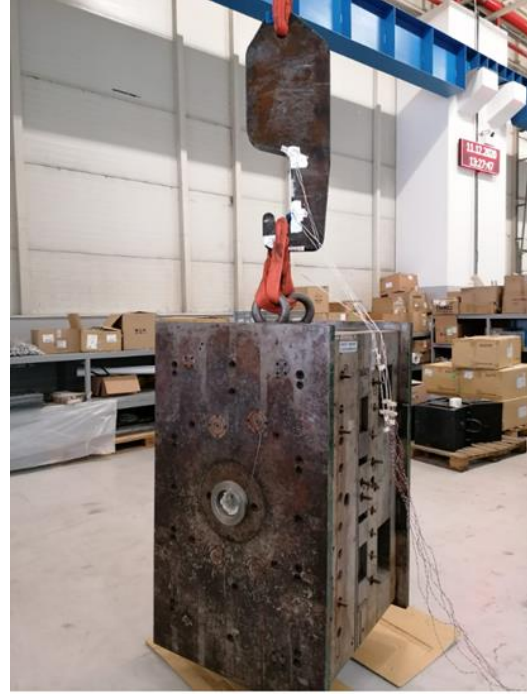
Şekil 4.6. St37 ve Weldom700 çeliği kancaların gerilimölçer eksenlerinin gösterimi.

4.6. AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ YÜKLEME İŞLEMİNİN YAPILMASI

St37 yapı çeliği ve Weldom700 yüksek mukavemetli çelik ile üretilen ambar kapak açma vinç kancasının yükleme koşulları altında temsili olarak 60000 Newton enjeksiyon kalıbı ile yükleme işlemi yapılmıştır. Şekil 4.7’de gerilimölçer sensörleri ve yükleme işlemi gösterilmiştir.



a)

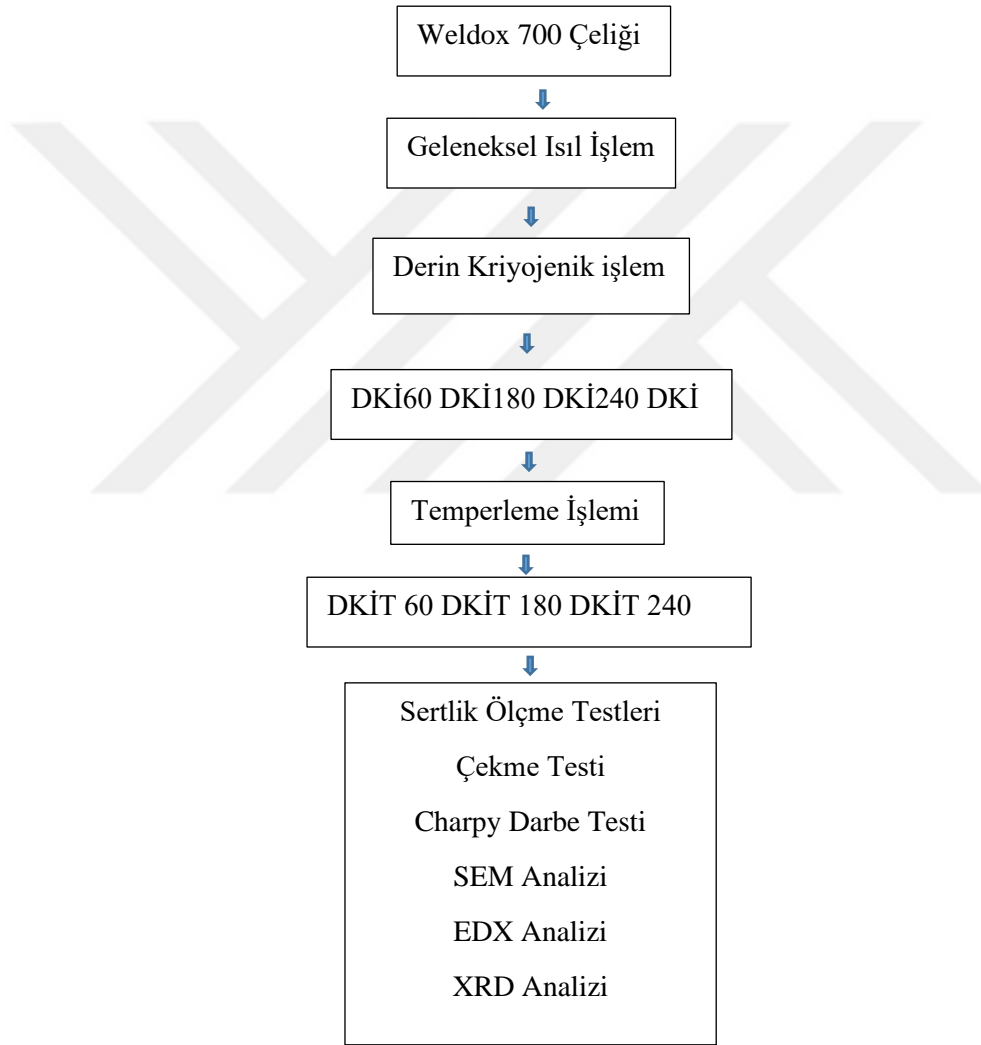


b)

Şekil 4.7. Gerilimölçer sensörleri ve yükleme işlemi;
a) Gerilimölçer sensörler ile kancadan veri alımı, b) St37 ve Weldom700 kancaya yükleme işlemi.

5. ISIL İŞLEMLER VE MEKANİK TESTLER

Bu bölümde Weldom700 çeliğinin mukavemet özelliklerini iyileştirmek için ısıt işlemler uygulanmış ve belirlenen numunelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için mekanik testler yapılmıştır. Şekil 5.1’de Weldom700 çeliğine uygulanacak işlemlerin akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Akış diyagramı.

Numuneler ısıt işlemlere alınmadan önce kodlanmıştır. Bunların kodları aşağıda sıralanmıştır.

S: Standart Weldom700 eliği

Gİ: Geleneksel ısıl işlem

DKİ60: Derin kriyojenik işlem (60 dak.)

DKİ180: Derin kriyojenik İşlem (180 dak.)

DKİ240: Derin kriyojenik İşlem (240 dak.)

DKİT60: Derin kriyojenik İşlem (60 dak.) + 120 dak. temperleme

DKİT180: Derin kriyojenik işlem (180 dak.) + 120 dak. temperleme

DKİT240: Derin kriyojenik işlem (240 dak.) + 120 dak. temperleme

5.1. WELDOX700 ELİğİNE UYGULANAN ISIL İşLEMLER

Yüksek mukavemetli çeliklerden olan Weldom700 eliği; yüksek aşınma direncine sahip ve oldukça sert, dayanıklı bir malzemedir. Bu elik aynı zamanda kendi türündeki çeliklerden de daha hafiftir [122]-[124]. Bu özelliği Weldom700 eliğinin kullanım alanlarında da birçok avantaj sağlamaktadır [124].

Bu bölümde ilk olarak standart Weldom700 eliğinin kimyasal yapısını belirlemek için spektral analiz yapılmıştır. Bu test için LECO marka CS744 MODELİNDE XFR spektrometre test cihazı kullanılmıştır. Şekil 5.2’de spektral analiz test cihazı, Şekil 5.3’te test numunesi ve izelge 5.1’de Weldom700 eliğinin kimyasal kompozisyonu verilmiştir.



Şekil 5.2. Spektral test cihazı.

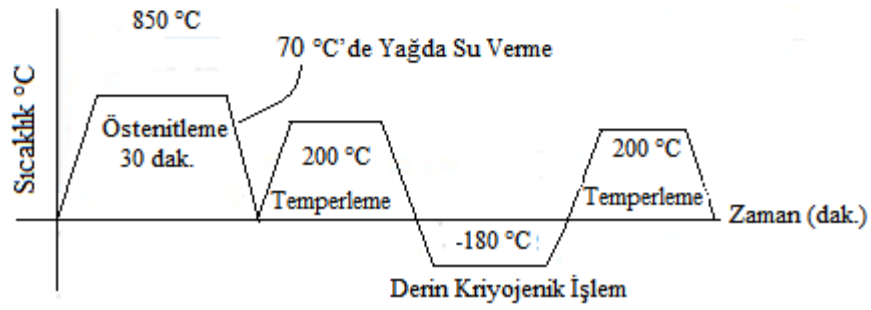
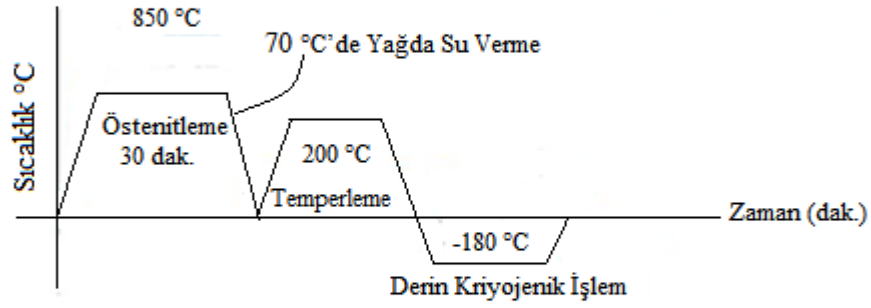
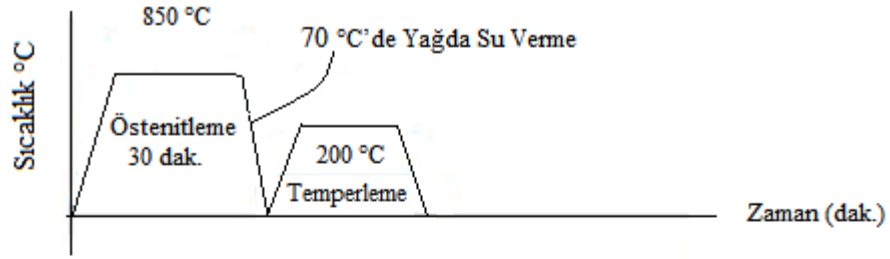


Şekil 5.3. Spektral test numuneleri.

Çizelge 5.1. Weldom700 çeliğinin kimyasal bileşenleri.

Element (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb
Değeri	0.16	0.3	0.14	0.002	0.001	0.57	0.4	0.04	0.002	0.004	0.022	0.017
Element (%)	V	W	Pb	Sn	As	Zr	Ca	B	Zn	Fe	Ti	
Değeri	0.008	0.02	0.005	0.0015	0.003	0.0015	0.0018	0.001	0.004	97	0.001	

Weldom700 çeliği numuneleri, 8 gruba ayrılmıştır. Bu numunelerden, ilk numune Standart (S) Weldom700 çeliğidir ve hiçbir işlem yapılmamıştır. Diğer numunelere ilk önce geleneksel ısıtma işlemi; 850 °C’de 30 dakika ısıtılarak östenitleme ve sonrasında 70 °C’de yağda su verme işlemi uygulanmıştır. İkinci numuneye sadece geleneksel ısıtma işlemi; 3, 4 ve 5’inci numunelere geleneksel ısıtma işlemi tamamlayıcı olarak farklı bekleme sürelerinde -180 °C’de derin kriyojenik işlem yapılmıştır. 6, 7 ve 8’inci numunelere ise derin kriyojenik işlem ek olarak 120 dakika, 200 °C’de temperleme işlemi uygulanmıştır. Şekil 5.4’te ısıtma işlemi ve kriyojenik işlem eğrisi ve Şekil 5.5’te ise kriyojenik işlem fırını gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Isıl işlem ve kriyojenik işlem eğrisi (Gİ, DKİ, DKİT).



Şekil 5.5. Kriyojenik işlem fırını.

5.2. SERTLİK ÖLÇME TESTLERİ

Sertlik ölçümlerinde; standart Weldom 700 çeliği ve farklı bekletme sürelerinde ısıl işlem görmüş 10x20x10 mm ölçülerinde numuneler hazırlanmıştır. Sertlik ölçümlerinde, numunelerin beş farklı yerinden ölçüm yapılarak ortalama değeri referans alınmıştır. Mikro sertlik ölçmek için, insron wolpert testör 2100, makro sertlik ölçmek için digirock-RB sertlik ölçme cihazları kullanılmıştır. Mikro sertlik ölçme testini Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Mühendisliği laboratuvarında, makro sertlik ölçme testlerini Düzce Üniversitesi (DÜBİT)'de yapılmıştır. Testler 2000 gramda 10 saniye bekletilerek yapılmıştır. Şekil 5.6'da sertlik ölçme test numuneleri ve Şekil 5.7'de ise mikro ve makro sertlik ölçme test cihazları gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Mikro, makro sertlik ölçme numuneleri.



a)



b)

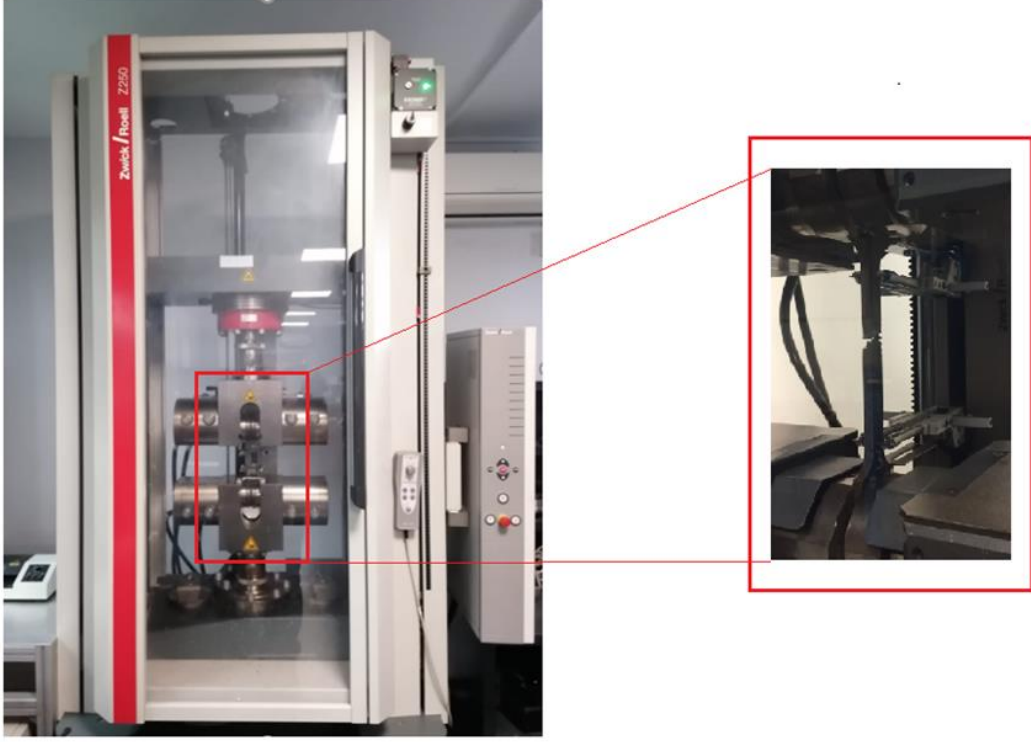
Şekil 5.7. Sertlik ölçme test cihazları; a) Mikro sertlik ölçme test cihazı, (b) Makro sertlik ölçme test cihazı.

5.3. ÇEKME TESTİ

Bu çalışmada, standart Weldom700 çeliği ve farklı bekletme sürelerinde ısıtım işlem görmüş numunelerin, mekanik özelliklere etkisini tespit etmek için çekme test uygulamaları yapılmıştır. Test numuneleri olarak TS EN ISO 6892-1 lama tipi çekme test standardı kullanılmıştır. Çekme testlerini, Gedik Üniversitesi Malzeme Mühendisliği laboratuvarında ZWICK ROELL Z250 marka test cihazı ile yapılmıştır. Çekme testlerinde çekme hızı 2 mm/dakika olarak alınmıştır. Testler, 5 adet farklı numune üzerinden gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8’de çekme test numuneleri ve Şekil 5.9’da çekme test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Çekme test numunesi.

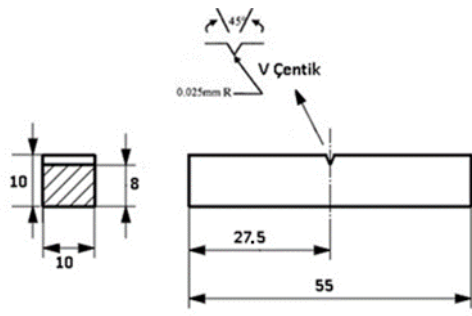


Şekil 5.9. Çekme test cihazı.

5.4. CHARPY DARBE TEST

Malzemelerin dinamik yüklemeler altında dayanabilecekleri maksimum kırılma enerjilerini belirlemek ve malzemenin, ani darbe anında absorbe edebileceği enerji miktarını tespit etmek ve malzemenin sünekliliği veya gevrekliği hakkında bilgi edinmek için charpy darbe testi yapılmaktadır [125]-[128]. Bu çalışmada Standart Weldom700 çeliği ve farklı bekletme sürelerinde ısıl işlem görmüş numunelerin mekanik özelliklere etkisini tespit etmek için charpy darbe testleri yapılmıştır.

Bu çalışmada, charpy darbe testi numunesi için ASTM D256 standartı kullanılmıştır. Charpy darbe testleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 5.10'da charpy darbe test numunesi ve Şekil 5.11'de charpy darbe test cihazı gösterilmiştir. Charpy darbe testi için her numuneden 5 adet charpy darbe testi yapılmıştır. Bunların aritmetik ortalama değerleri referans değeri olarak belirlenmiştir.



a)



b)

Şekil 5.10.Charpy darbe test standardı ve numunesi a) Test standardı, b) Test numunesi.



Şekil 5.11.Charpy darbe test cihazı.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, yapılan sonlu elemanlar metodu ile nümerik analiz, analitik analiz ve deneysel analiz bulgularına yer verilmiştir. Tüm bu bulgular birbirleri ile karşılaştırılmış ve yapılan çalışmalarla tartışılmıştır.

6.1. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE NÜMERİK ANALİZ VE ANALİTİK ANALİZ BULGULARI

6.1.1. Sonlu Elemanlar Analizi Bulguları

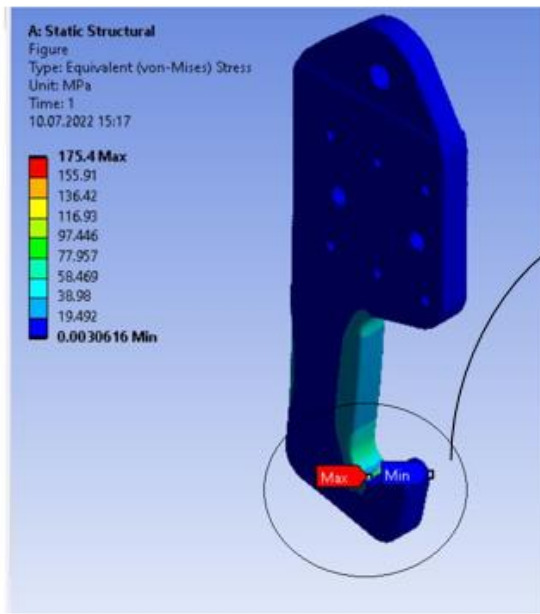
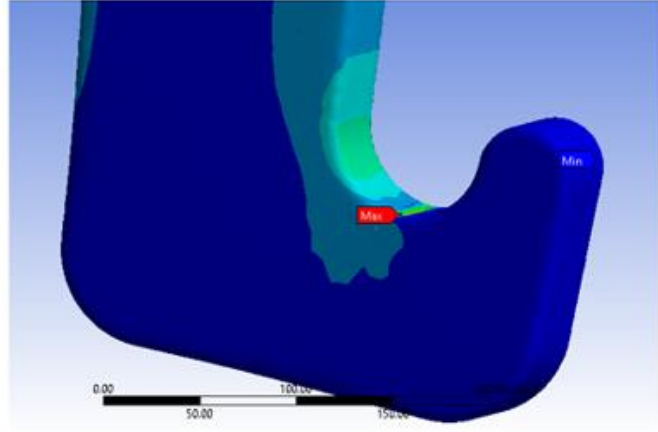
Ambar kapaklarını açıp kapatmak için tasarlanan vinçler için özel olarak tasarlanmış kanca ve 60000 Newton yükleme koşulunda, St37 ve Weldom700 çeliği verileri kullanılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde kancanın kütlesi 112,24 kg, düğüm nokta sayısı 201715 ve eleman sayısı da 127973 adet çıkmıştır. Kancanın sınır şartları incelendiğinde; x ekseninde 350 mm, y ekseninde 980 mm ve z ekseninde 60 mm bulunmuştur. Kanca malzemesinin hacmi 14299000 mm³ olarak hesaplanmıştır.

Mesh yapısı sonuçları incelendiğinde element boyutu 51,96 mm, minimum kenar uzunluğu 1,51mm, ortalama yüzey alanı 5402,80 ve eğrilik normal açısı 70,40° dir.

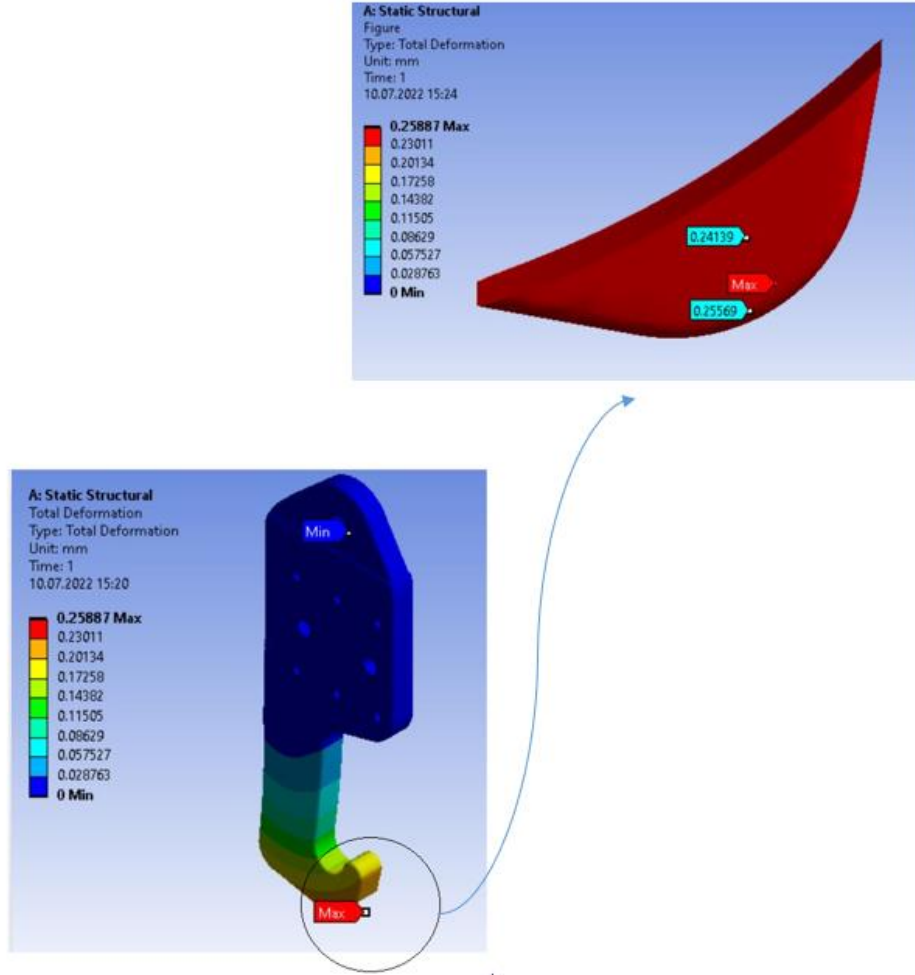
Analiz sonuçları Çizelge 6.1’de, yükleme koşulunda eşdeğer gerilme (von mises) bulguları ve görüntüleri Şekil 6.1’de, toplam deformasyon bulguları ve görüntüleri ise Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Sonlu elemanlar analizi sonuçları.

	Maksimum	Minimum	Ortalama
Eşdeğer Gerilme (Von Mises) Analizi (MPa)	175,40	0,00306	6,096
Toplam Deformasyon (mm)	0 mm	0,259	0,129



Şekil 6.1. Yükleme koşulunda eşdeğer gerilme (von mises) analiz bulguları.



Şekil 6.2. Yükleme koşulunda toplam deformasyon analiz bulguları.

60000 Newton yükleme anında ANSYS 2019 R2 ile simülasyon sonuçları doğrultusunda özel tasarlanmış kancanın tasarımında iyileşmeler yapılarak optimum düzeyde tasarım ve modeli yapılmıştır. Ayrıca kancanın yükleme anında gerilme birikimleri tespit edilerek bu bölümler deneysel olarak incelemede yol gösterici olmuştur. Literatürde [75] sonlu elemanlarla yapılan yapısal analizlerin deneysel çalışmalarda %80-90 arası doğrulukla işlem yapılabileceğini göstermiştir.

6.1.2. Analitik Analiz Bulguları

Ambar kapak açma vinç kancası, yükleme anında, eğilme, çekme, basma ve bazı bölümlerde de kesme gerilmelerine maruz kalmıştır. Kancanın bu gerilmelere maruz kalan bölümlerini incelemek için analitik (dayanım) hesaplama yöntemine başvurulmuştur, Kancanın gerilmelere maruz kaldığı bölümlerdeki gerilme verileri Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Yükleme anında kancanın gerilmeye maruz kalan bölgelerinin gerilme değerleri.

Ambar Kapak Açma Vinç Kancası	Kesme Gerilmesi (MPa)	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Basma Gerilmesi (MPa)	Bileşke Gerilme (MPa)	Emniyet Katsayısı
1.Bölge	11,32	44,45	X	X	47,10	7,53
2.Bölge	X	50,15	6,99	X	57,16	6,21
3.Bölge	23,87	X	X	X	X	14,87
4.Bölge (Mapa yuvası)	X	X	X	23,07	X	15,73
4.Bölge (Mapa delik yuvası)	18,75	X	X	X	X	18,93

Analitik analiz sonuçları ile sonlu elemanlar metodu ile yapılan nümerik analizler birbiri ile uyumlu çıkmıştır. Nümerik analizlerle analitik analizler arasındaki küçük farklılıkların sebebi, kancanın eğimli yapıda olması ve nümerik analizleri yapılırken ayrıntılı mesh kullanılmasıdır. Literatürde yapılan [133]-[135] düzgün geometrik şekilleri olmayan yapıların analitik analiz ile nümerik analizlerinde mesh yapılarından dolayı farklılıklar çıktığını göstermiştir.

6.2. YÜKLEME ANINDA AMBAR KAPAK AÇMA VİNÇ KANCASININ DENEYSEL ANALİZ BULGULARI

Bu çalışmada, St37 ve Weldom700 çelikleri ile üretilen ambar kapak açma vinç kancalarının yükleme esnasında oluşan gerilme değerleri test edilmiştir. Test sırasında kaldırma işlemi esnasında kancada meydana gelen gerilme değerlerini, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler ve simülasyon verilerinden yola çıkarak kancanın belirlenen noktalarına gerilimölçer sensörleri uygulanmıştır. Deneysel analiz bulguları Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

Alt Dış Dikey Mikro Gerilim (Ch1)

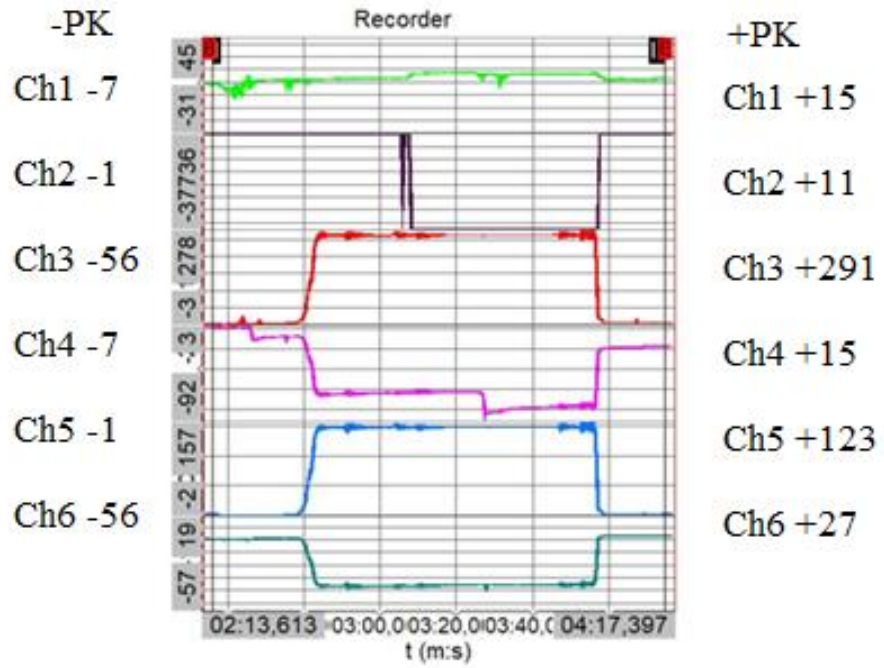
Alt Dış Yatay Mikro Gerilim (Ch2)

Alt İç Dikey Mikro Gerilim (Ch3)

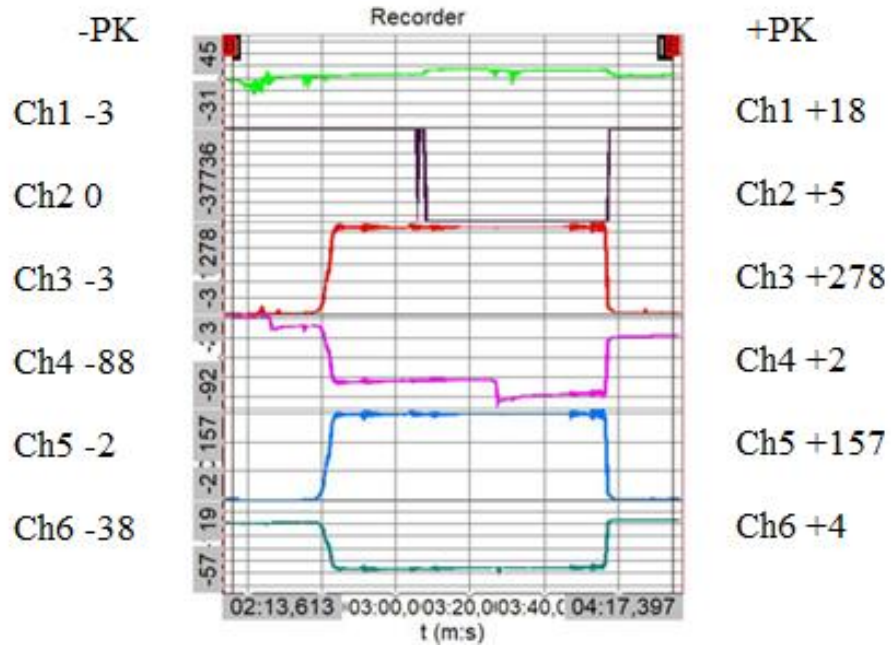
Alt İç Yatay Mikro Gerilim (Ch4)

Üst İç Dikey Mikro Gerilim (Ch5)

Üst İç Yatay Mikro Gerilim (Ch6)



a)



b)

Şekil 6.3. Gerilimölçer bulguları; a) St37 çeliği b) Weldom700 çeliği

Yükleme anında sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan nümerik analiz bulguları birbirleri ile uyum içinde çıkmıştır. Yapılan deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analiz bulguları karşılaştırıldığında St37 çeliği ile üretilen kancada %1,81, Weldom700 çeliği ile üretilen kancada ise %6 hata payı çıkmıştır. Bu da deneysel ve matematiksel verilerin birbiri ile uyum içinde ve güvenilir olduğu saptanmıştır. Çizelge 6.3'te St37 kancasının yüklenme şartlarında meydana gelen, kancanın kritik bölgelerindeki gerilmelerin nümerik analiz bulguları gösterilmiştir. Çizelge 6.4'te St37 kancasının yüklenme şartlarında kritik bölgelerde meydana gelen gerilmelerin deneysel analiz bulguları gösterilmiştir. Çizelge 6.5'te weldox700 çeliği kancasının yüklenme şartları altında meydana gelen kritik bölgelerindeki gerilmelerin nümerik analiz bulguları gösterilmiştir. Şekil 6.6'da weldox700 çeliği kancasının yüklenme şartlarında kritik bölgelerde meydana gelen gerilme değerlerinin deneysel analiz bulguları gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. St37 çeliği kancasının yüklenme koşullarında kritik bölgelerdeki nümerik analiz bulguları.

St37 çeliği kancası (Nümerik Analiz)	Gerilme Değeri (MPa)
Dış yüzey (A) Bölgesi	2,83
Yüzey alt (B) Bölgesi	61,12
Yüzey üst (C) Bölgesi	45,57

Çizelge 6.4. St37 çeliği kancasının yüklenme koşullarında kritik bölgelerdeki deneysel analiz bulguları.

St37 çeliği kancası (Deneysel Analiz)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Ortalama (MPa)
Dış yüzey (A) Bölgesi	1,46	3,83	2,65
Yüzey alt (B) Bölgesi	12,47	60,03	36,25
Yüzey üst (C) Bölgesi	16,27	25,94	21,11

Çizelge 6.5. Weldox700 çeliği kancasının yükleme koşullarında kritik bölgelerdeki nümerik analiz bulguları.

Weldox700 Çelik kancası (Nümerik Analiz)	Gerilme Değeri (MPa)
Dış yüzey (A) Bölgesi	2,83
Yüzey alt (B) Bölgesi	61
Yüzey üst (C) Bölgesi	32,90

Çizelge 6.6. Weldox700 çeliği kancasının yükleme koşullarında kritik bölgelerdeki deneysel analiz bulguları.

Weldox700 Çelik kancası (Deneysel Analiz)	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Ortalama (MPa)
Dış yüzey (A) Bölgesi	0	3,85	1,93
Yüzey alt (B) Bölgesi	18,14	57,26	28,52
Yüzey üst (C) Bölgesi	7,84	61,12	34,48

6.3. SERTLİK ÖLÇME BULGULARI

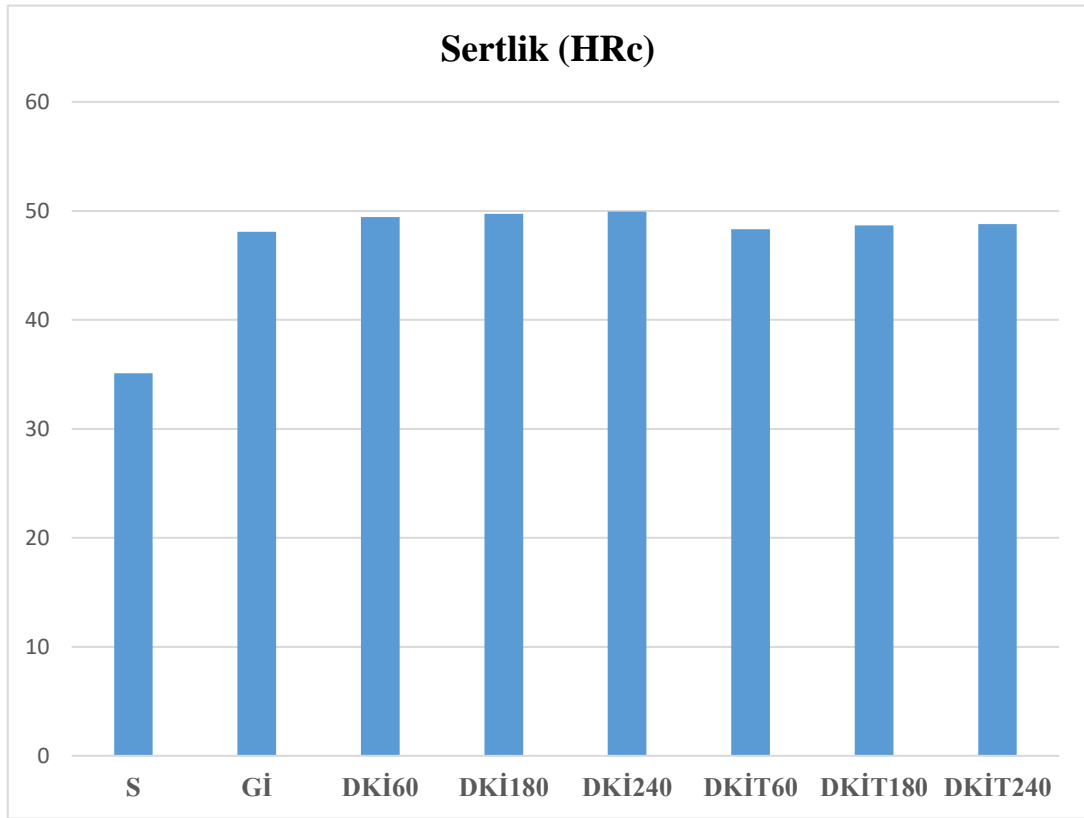
Malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde büyük öneme sahip olan sertlik ölçme testleri; diğer mekanik özellikleri belirleme testlerine göre basit olması ve malzemeye çok az zarar vermesinden dolayı bu testin kullanılmasında büyük avantaj sağlamaktadır. Bir malzemenin mikro ve makro sertlik değerlerinin doğru tespiti yapıldığında, malzemenin mekanik özelliklerin saptanmasında ve değerlendirilmesinde detaylı bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır.

Test numunelerinin her birine geleneksel ısıl işlem, farklı bekletme sürelerinde derin kriyojenik işlem (60, 180 ve 240 dakika) yapılmış ve son olarak bu derin kriyojenik işlem yapılmış numunelere 120 dakika süre ile temperleme işlemi yapılmıştır. Numunelere uygulanan bu işlemler sonrasında Rokwell (HRC) sertlik ölçüm cihazı ve Vickers (HV) sertlik ölçüm cihazlarında sertlik ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 6.7’de Rokwell (HRC) sertlik ölçüm bulguları, Çizelge 6.8’de Vickers (HV) sertlik ölçüm bulguları gösterilmiştir.

Şekil 6.3’te Weldox700 çeliğine uygulanan ısıl işlemler sonucunda malzemedeki Rokwell (HRC) sertlik değişimleri ve Şekil 6.4’te Vickers (HV) sertlik değişimleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Rokwell (HRc) sertlik bulguları.

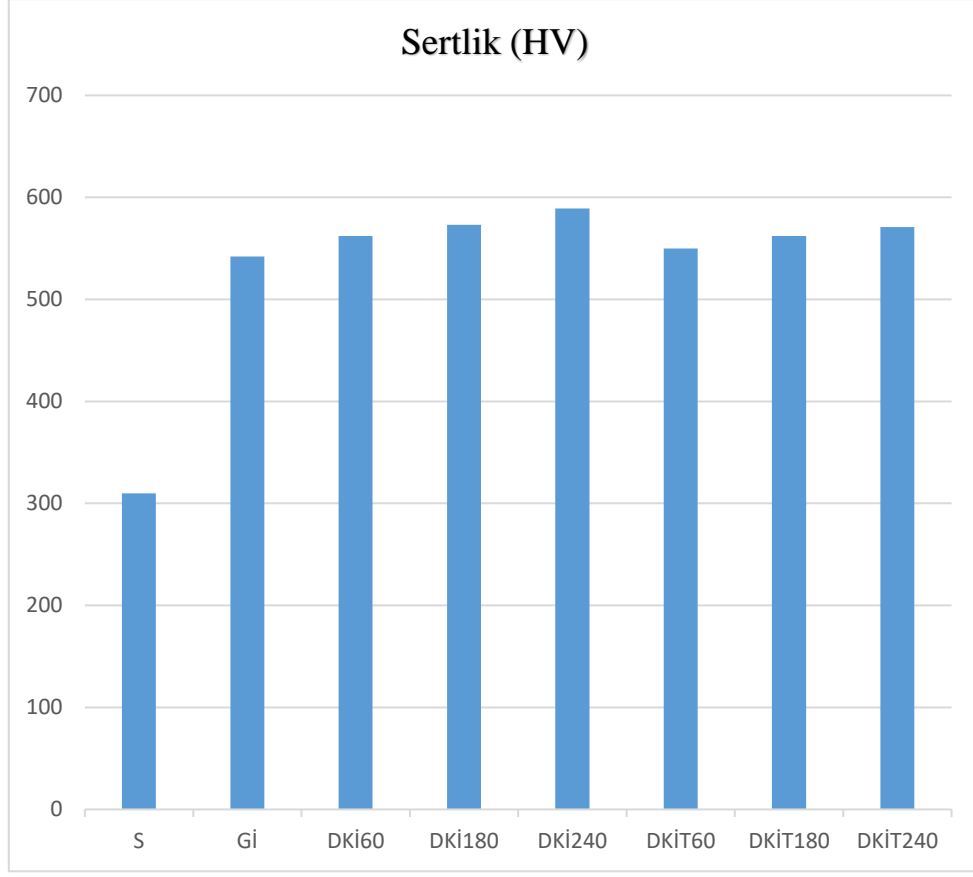
Numune Kodu	S	Gİ	DKİ60	DKİ180	DKİ240	DKİT60	DKİT180	DKİT240
Ortalama Değer	35,09	48,08	49,42	49,71	49,92	48,32	48,66	48,78



Şekil 6.3. Rokwell (HRc) sertlik değişimleri.

Çizelge 6.8. Vickers (HV) sertlik sonuçları.

Numune Kodu	S	Gİ	DKİ60	DKİ180	DKİ240	DKİT60	DKİT180	DKİT240
Ortalama Değer	310	542	562	573	589	550	562	571



Şekil 6.4. Vickers (HV) sertlik değışimleri.

Rokwell (HRC) sertlik değeri incelendiğinde en büyükten küçüğe DKİ240, DKİ180, DKİ60, DKİT240, DKİT180 ve S olarak sıralanmıştır. Vickers (HV) sertlik değeri ise en büyükten küçüğe DKİ240, DKİ180, DKİ60, DKİT240, DKİT180, Gİ ve S olarak sıralanmaktadır.

DKİ240 ve DKİ180 numunelerinin en yüksek sertlik değeri olmasının nedeni, malzemeye uygulanan derin kriyojenik işlemin Weldom700 çeliğinin iç yapısında bulunan östenit fazının sert bir yapıda olan mertenzit fazına dönüşmesi ile daha gevrek bir yapının oluşmasına bağlanmıştır [134], [136]. Malzemeye uygulanan temperleme işlemi sonrasında, malzemelerin sertlik değeri düşmüştür ve tokluk değeri de artış meydana gelmiştir. Bu veriler literatürde [134], [135], [137]'de benzerlik göstermektedir.

6.4. ÇEKME TESTİ BULGULARI

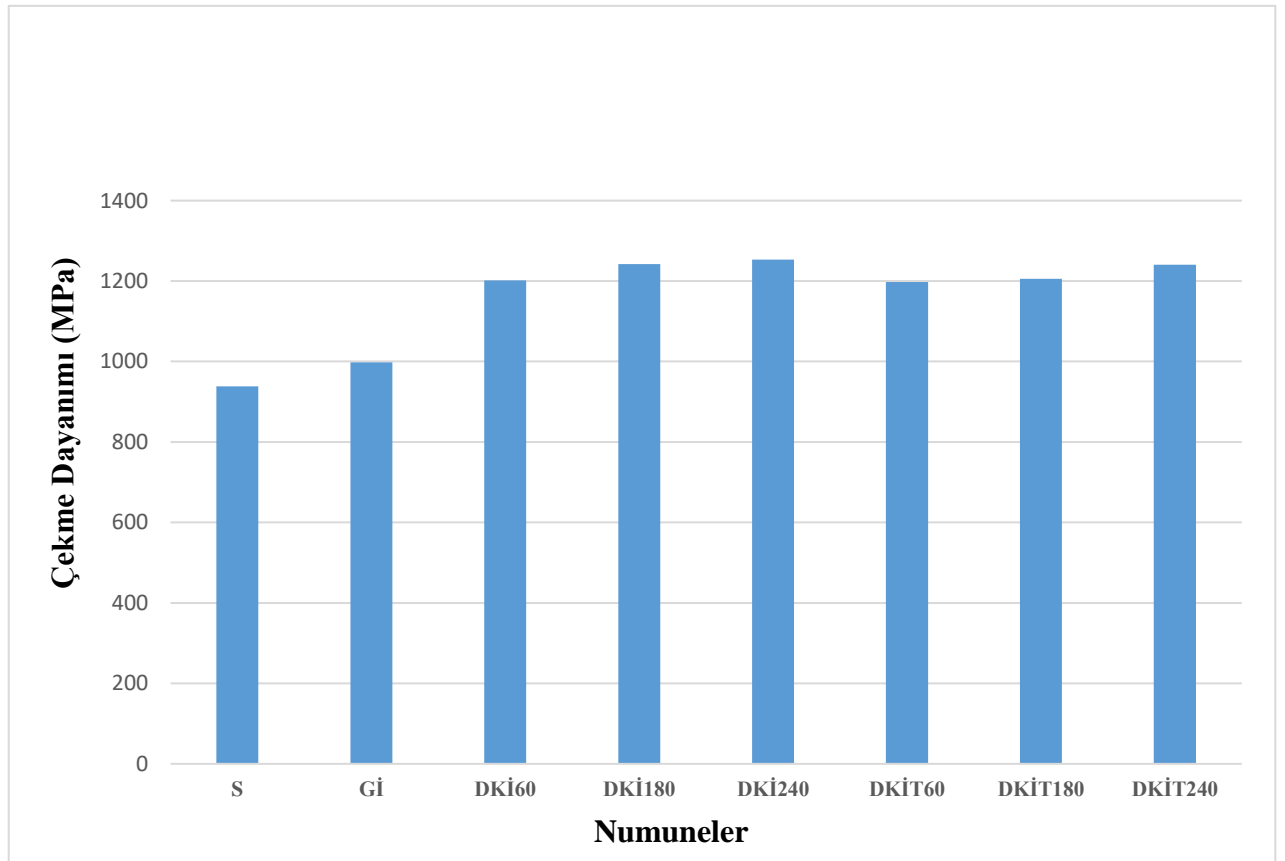
Isıl işlemlerin malzemenin mekanik özelliklerini kayda değer miktarda iyileştirdiği birçok çalışma mevcuttur [129]-[132]

Weldox700 çeliğinin mekanik özelliğini artırmak için, geleneksel ısıtma işlemi, farklı bekleme sürelerinde derin kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem sonrası numunelere temperleme işlemi yapılmıştır. Çekme testleri her numune için, 5 adet yapılmış ve ortalama değerleri referans değeri olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.9’da numunelerin çekme dayanımı verileri ve Şekil 6.5’te çekme dayanımı değerlerinin değişimleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.9. Çekme dayanımı verileri

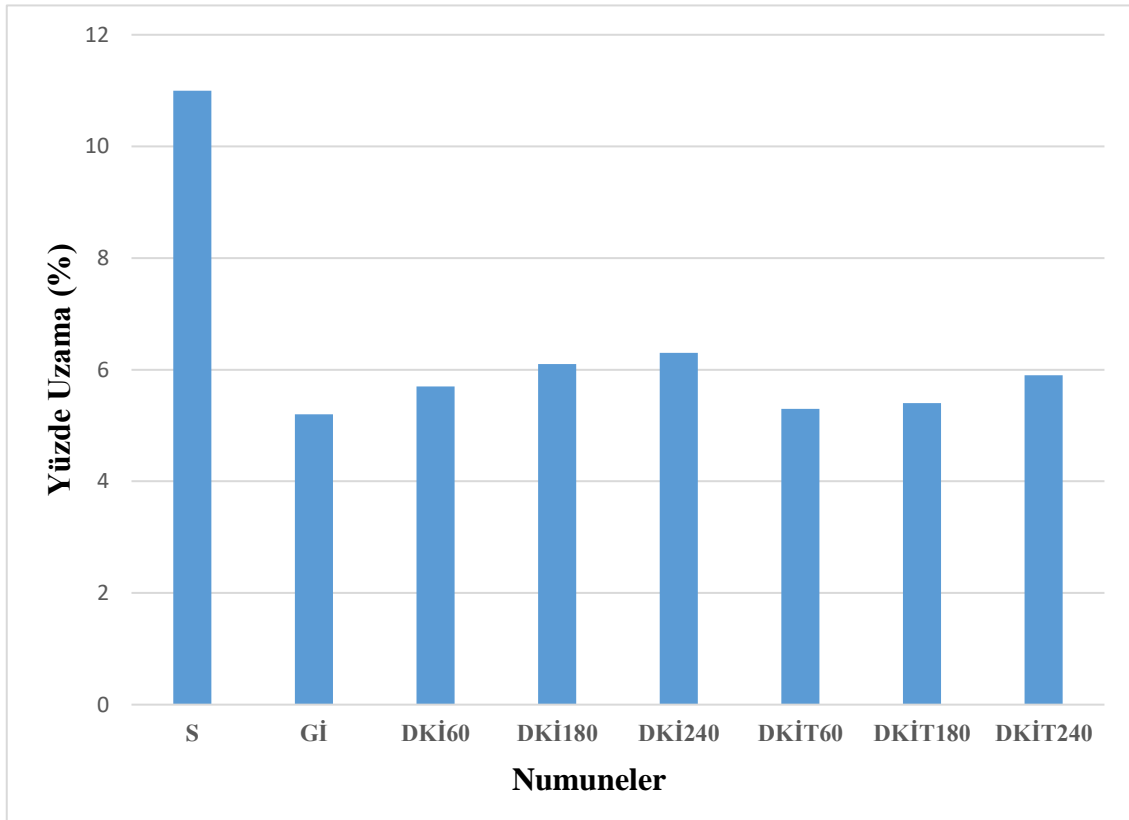
Numune Kodu	S	Gİ	DKİ60	DKİ180	DKİ240	DKİT60	DKİT180	DKİT240
Ortalama Değer	938	998	1202	1242	1253	1198	1206	1241



Şekil 6.5. Çekme dayanımı değerlerinin değişimi (MPa).

Çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde; en yüksek çekme dayanımı değeri DKİ240 numunesinde, en düşük çekme dayanımı standart Weldom700 çeliğinde olduğu tespit edilmiştir. Burada en yüksek çekme dayanımına sahip olan numunenin derin kriyojenik işlemin en fazla bekletme süresi olan DKİ240 ve bunun yanında temperleme işleminin derin kriyojenik işlem sonrasında malzemenin dayanım özelliklerinde çok az miktarda azalma olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi Weldom700 çeliğinin içyapısındaki yumuşak yapıda olan ostenit fazının sert yapıya sahip olan martenzit fazına dönüşmesidir ve karbür tanelerinin daha düzenli olarak dağılmasıdır. Temperleme işlemi ile derin kriyojenik işlem uygulanmış numunelerde kalıntı gerilmelerin azaldığı ve malzemenin sünekliliği artarak tokluğunda da artış meydana gelmiştir [141]. Çekme mukavemetinde optimum düzeyde numunede iyileşme %33,58 meydana gelmiştir.

Literatürdeki çalışmalar [85], [86], [107], [109], [142] derin kriyojenik işlem sonrasında numunede kayda değer miktarda iyileşme olduğunu bildirmiştir. Çekme test sonuçları incelendiğinde malzemedeki yüzde uzamalarda azalma olduğu gözlenmiştir. Bu da malzemenin gevrek yapıya geçtiğini göstermiştir. Şekil 6.6'da malzemenin ısı işlemler sonrası yüzde uzamalarındaki değişimler gösterilmiştir.



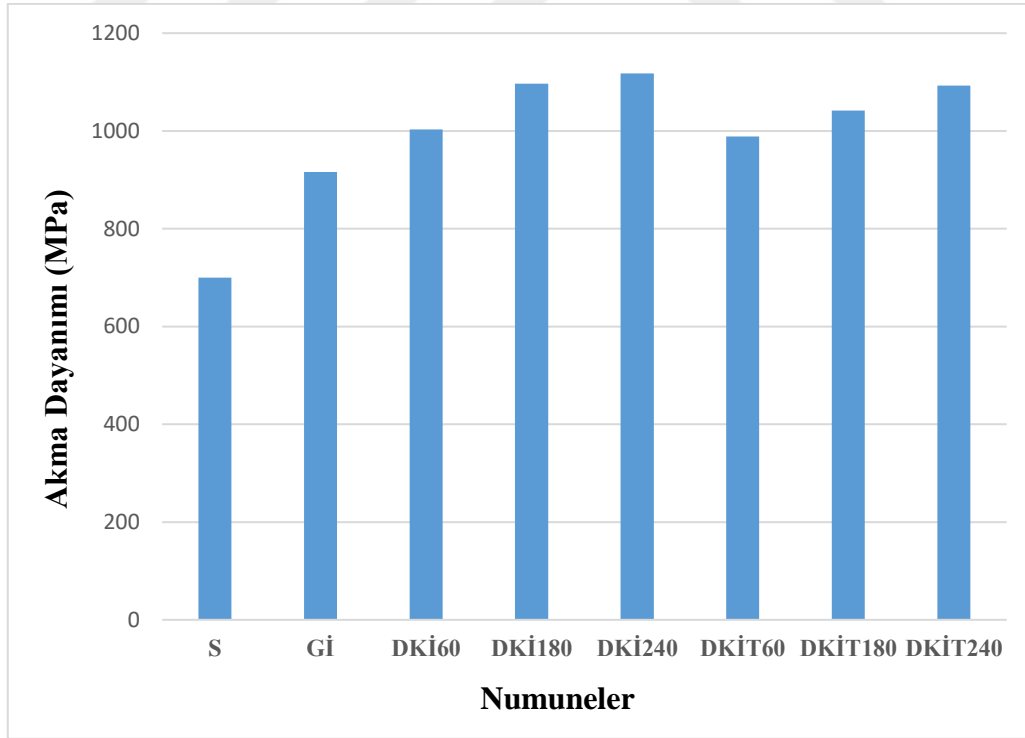
Şekil 6.6. Yüzde uzama (%) değerleri.

Çekme testinde, numunelerin kopma anında yüzde uzama bulguları incelendiğinde çekme test sonuçlarının literatürle benzer sonuçlar gösterdiği gözlenmiştir [85], [86], [107], [109], [142].

Numunelerin akma dayanımındaki değişimler, statik ve dinamik yükleme koşullarında malzemenin işlev göstermesi esnasında emniyetli çalışıp çalışmadığı hakkında fikir vermektedir. Çizelge 6.10’da numunelerin akma dayanımı bulguları verilmiştir. Şekil 6.7’de ise numunelerin akma dayanımındaki değişimleri gösterilmiştir.

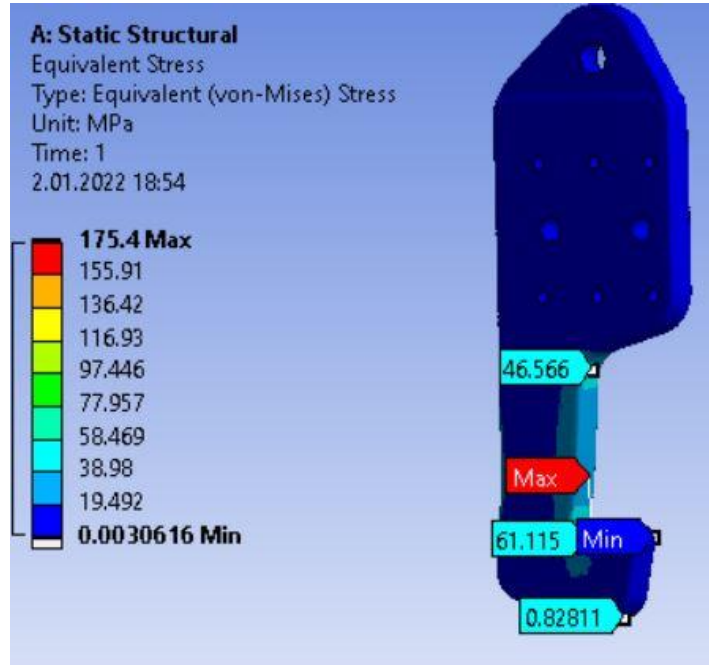
Çizelge 6.10. Akma dayanım verileri (MPa).

Numune Kodu	S	Gİ	DKİ60	DKİ180	DKİ240	DKİT60	DKİT180	DKİT240
Ortalama Değer	700	916	1003	1097	1118	989	1042	1093



Şekil 6.7. Numunelerin akma dayanım değerlerinin değişimi (MPa).

Sonlu elemanlar yöntemi ile yükleme koşullarında numunedeki maksimum ve minimum gerilme değerleri Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Burada deneysel olarak çekme testinde meydana gelen akma dayanımı verileri incelendiğinde ve kancanın yükleme anında emniyet katsayılarının artış oranları Çizelge 6.11’de verilmiştir. Buradaki bulgular ısı işlemlerin numune dayanıklılığında büyük iyileşmeler olduğunu göstermiştir.



Şekil 6.8. Yükleme koşullarında sonlu elemanlar analizi bulguları.

Çizelge 6.11. Yükleme koşullarında kancanın emniyet katsayıları ve yüzdeleri.

Weldox700 çeliği	S	Gİ	DKİ	DKİ	DKİ	DKİT	DKİT	DKİT
			60	180	240	60	180	240
Artış oranı (kat)	3,99	5,22	5,71	6,25	6,37	5,63	5,94	6,23

Weldox700 kancası ile imal edilen kancanın ve ısı işlem, derin kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işleme ek temperleme işlemi yapılmış numunelerin sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, 240 dakika bekletme süresinde derin kriyojenik işlem ve buna ek olarak 120 dakika temperleme işlemi yapılmış numune ile

üretilecek kancanın, yükleme şartları esnasında optimum emniyetlilik özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Literatür çalışmalarında [21], [23], [50], [51], [61], [133] bu değerlerin uyumlu ve benzer sonuçlar gösterdiğini söylemek mümkündür. Buradaki bulgulardan üretilen kancanın teorik ve deneysel olarak yapılan işlemin birbirini desteklediğini göstermektedir. Şekil 6.9’da çekme testi esnasında malzemenin kopma görüntüleri gösterilmiştir



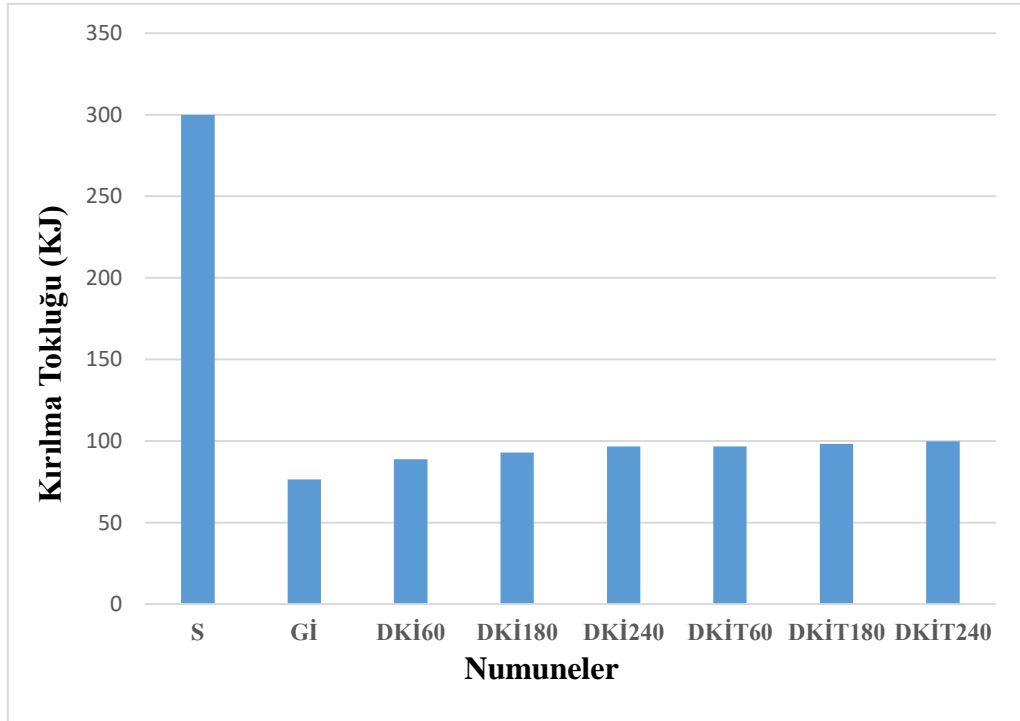
Şekil 6.9. Çekme testi esnasında numunelerin kopma görüntüleri.

6.5. CHARPY DARBE TESTİ BULGULARI

Charpy darbe testinin farklı ısıl işlem parametrelerinde kırılma tokluğu, Çizelge 6.12’de ve darbe tokluğu da Çizelge 6.12’de gösterilmiştir. Bu değerlerin birbirlerine göre değişimleri de Şekil 6.10’da kırılma tokluğu ve Şekil 6.11’de ise darbe tokluğundaki değişimler gösterilmiştir.

Çizelge 6.12. Kırılma tokluğu verileri (Joule).

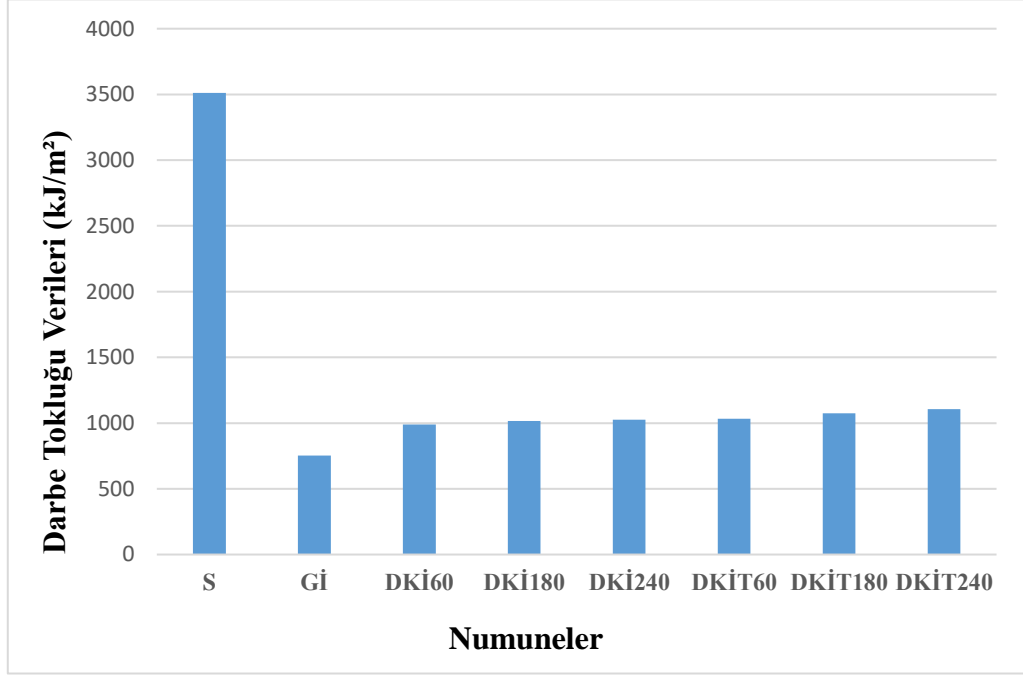
Numune Kodu	S	Gİ	DKİ60	DKİ180	DKİ240	DKİT60	DKİT180	DKİT240
Ortalama Değer	299,93	76,37	88,79	92,98	96,64	96,71	98,27	99,86



Şekil 6.10. Kırılma tokluğu değerlerinin değişimi (Joule).

Çizelge 6.13. Darbe tokluğu verileri (kj/m²)

Numune Kodu	S	Gİ	DKİ 60	DKİ 180	DKİ 240	DKİT 60	DKİT 180	DKİT 240
Ortalama Değer	3512	752	988	1016	1025	1034	1074	1107



Şekil 6.11. Darbe tokluğu değerlerinin değişimi (kJ/m²).

Metal malzemeler özellikle gevrek kırılmaya elverişlidir [125]. Malzeme, ısı işlemler sonrasında Charpy darbe testi bulgularında en yüksek sünekliliğe sahip olduğu anlaşılır [145]. Standart numunenin darbe mukavemeti en yüksek değerde çıkmıştır, bu da test bulgularının literatür ile benzer sonuçlar gösterdiği söylenebilir.

Darbe mukavemetlerinin düşük çıktığı numunelerin, uygulanan derin kriyojenik işlemin etkisi ile malzemenin homojen yapısının oluşması ile ilişkilendirebilir [142].

Literatürde yapılan çalışmalarda derin kriyojenik işlemin bekletme sürelerine bağlı olarak numunelerin darbe direncinde iyileşmeler sağladığını göstermiştir [140], [143].

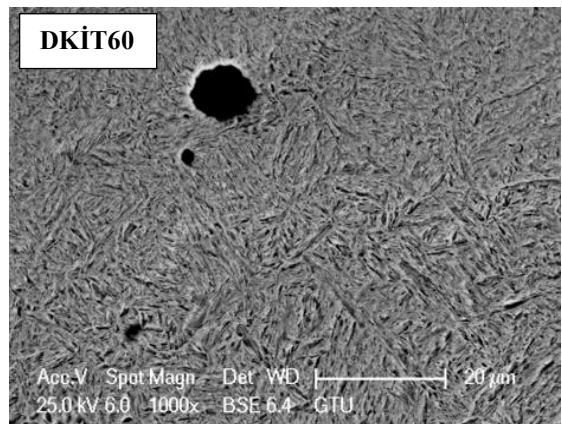
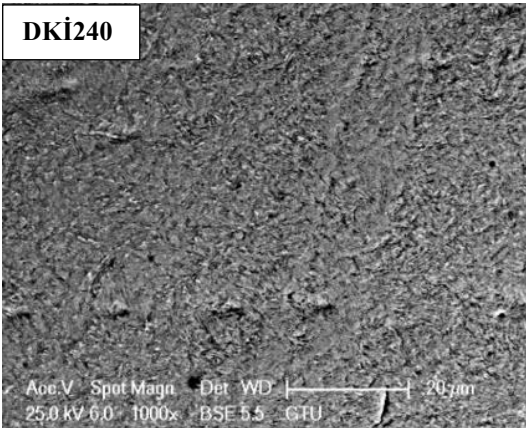
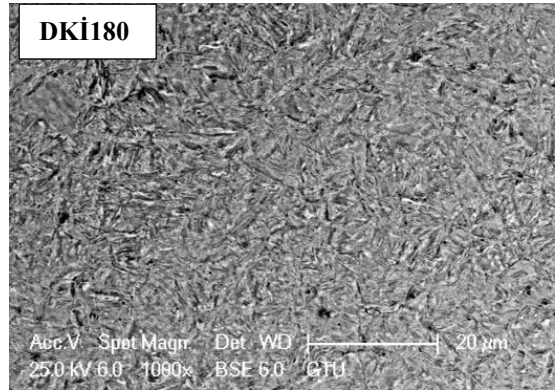
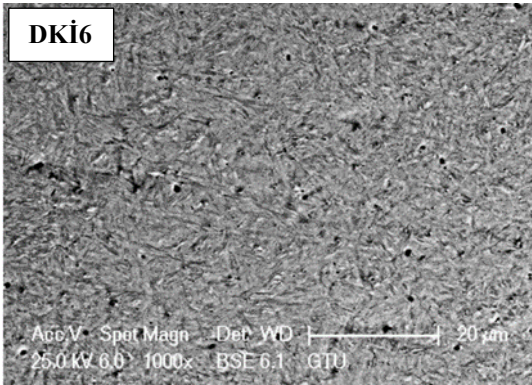
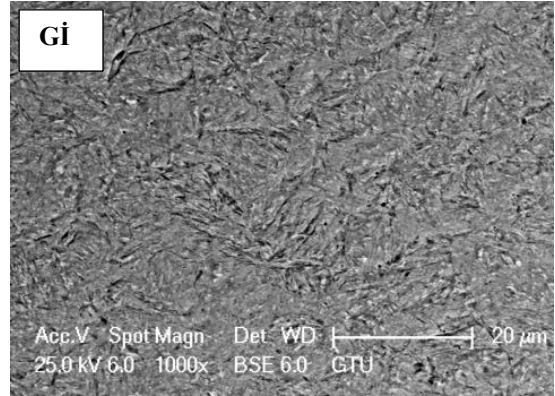
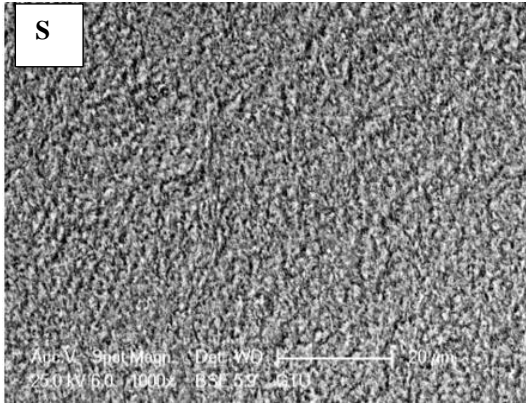
Derin kriyojenik işlem sonrasında malzemenin darbe tokluğunda azalma göstermesi malzemenin gevrek yapıya geçtiğini göstermektedir ve bu da literatürde yapılan

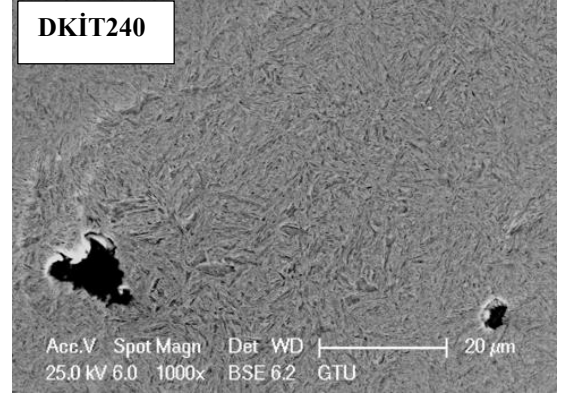
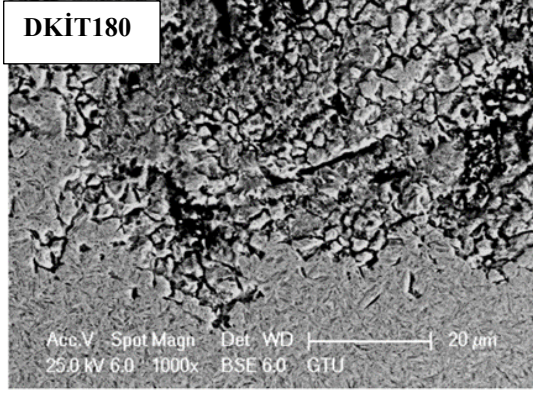
çalışmalarla[140-144] benzer bulgular gösterdiği söylenebilir.

6.6. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) BULGULARI

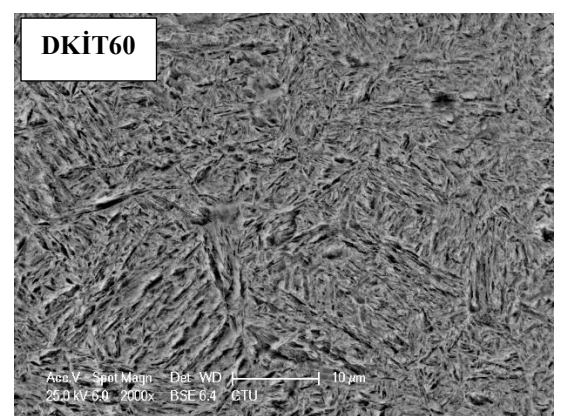
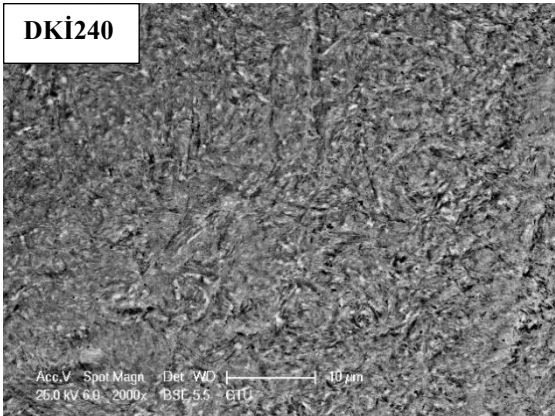
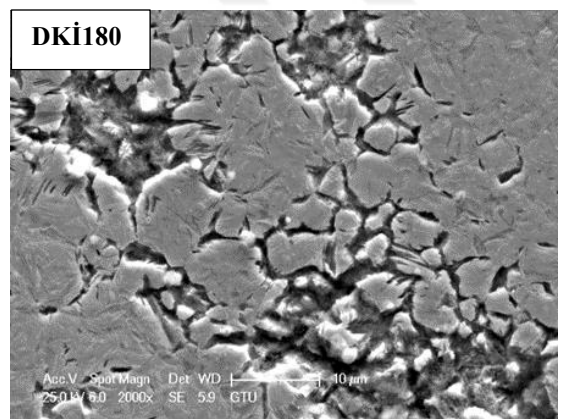
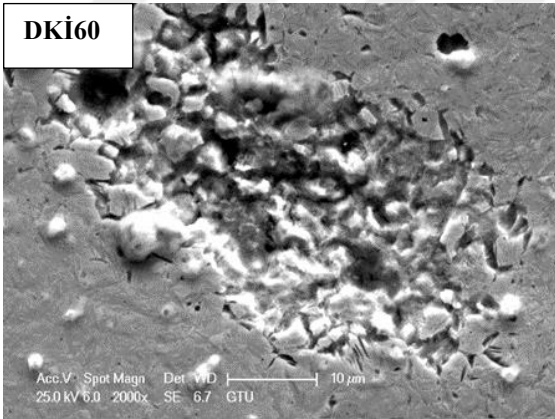
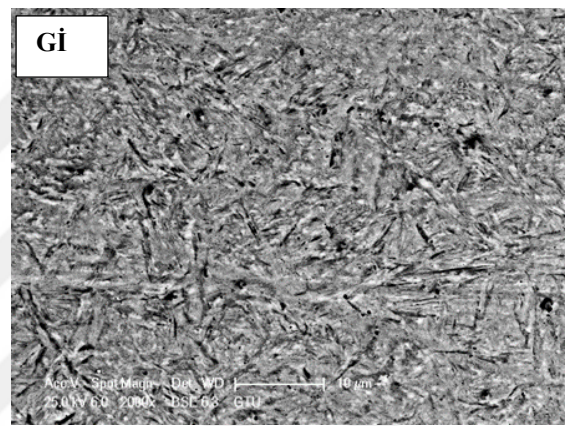
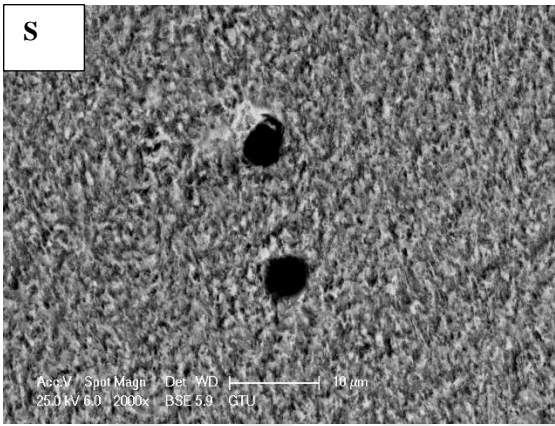
Isıl işlemler, malzemelerin mekanik özelliklerini etkilediği için malzemelerin mikro yapılarının incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Literatürde yapılan çalışmalarda malzemeye uygulanan ısıl işlemler sonrasında yapılan mikro görüntülerde, yumuşak bir faz olan kalıntı östenit yapısındaki fazının, sert bir yapıda olan martenzite dönüşmesi, eta ve ince karbür yapıların çökmesi, homojen yapıda mikro yapının oluşumu olarak yorumlanmışlardır [147]-[150]. Weldox700 çeliğinin ana malzemesi martenzit fazına sahiptir. Derin kriyojenik işlem sonrasında martenzitik yapı, daha da homojen hale geldiği gözlenmiştir. Weldox700 çeliğine geleneksel ısıl işlem, farklı bekletme sürelerinde kriyojenik işlem ve bu işlem sonrasında temperleme işlemi yapılmış numunelerdeki morfolojik değişimleri Şekil 6.12’ de 1000x büyütme (20 µm), Şekil 6.13’te 2000x büyütme (10 µm) durumlarında gösterilmiştir. Weldox700 çeliğinin mikro yapısı incelendiğinde, herhangi bir işlem uygulanmamış (S) numunenin perlitik yapıdaki yoğun siyah bölge ve çok az miktarda beyaz yapıda olan ferritik yapı gözlenmiştir. Geleneksel ısıl işlem sonrasında Gİ numunesinde, Weldox700 çeliğin östenit olan yapısı büyük oranda martenzitik yapıya dönüşmüştür. Martenzite dönüşmeyen kalıntı östenitin, mikro ve makro sertlik testlerinde tespit edildiği gibi malzemenin sertlik değerini düşürmüştür. Farklı bekletme sürelerinde derin kriyojenik işlem sonrasında, Weldox700 çeliğinin küçük ve küresel karbürlerin homojen olarak dağıldığı görülmektedir. Kriyojenik işlem ile malzemenin içyapısında bulunan yumuşak yapıdaki östenit fazının sert bir yapıya sahip olan martenzit dönüşümünün ardından martenzitin kriyojenik sıcaklıkla bekletme sürelerinin etkisinin, malzemenin bazı bölgelerinde dislokasyon ve kristal kusurlar meydana geldiği de gözlenmiştir. Bu bağlamda, literatürde yer alan çalışmalara paralellik gösterdiğini söylemek mümkündür [146], [149], [154].



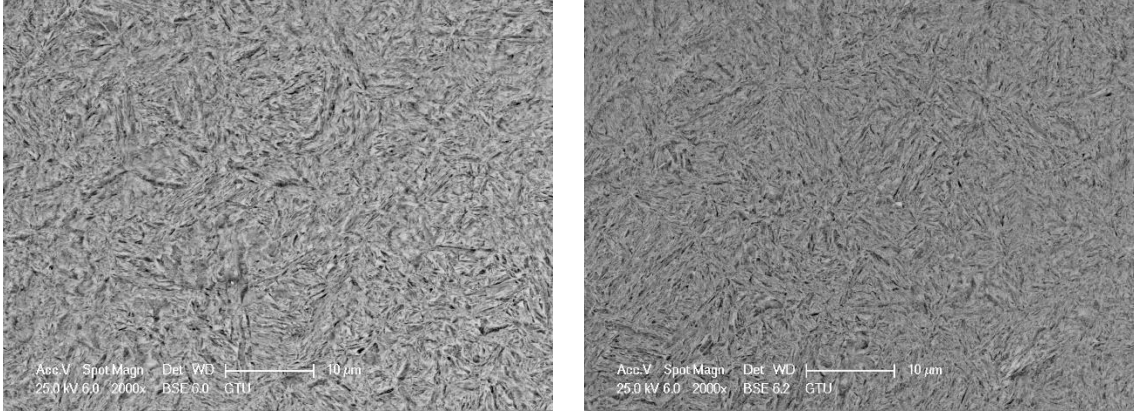


Şekil 6.12. Weldox700 çeliği numunelerinin mikro yapı görüntüleri (20 µm).



DKİT180

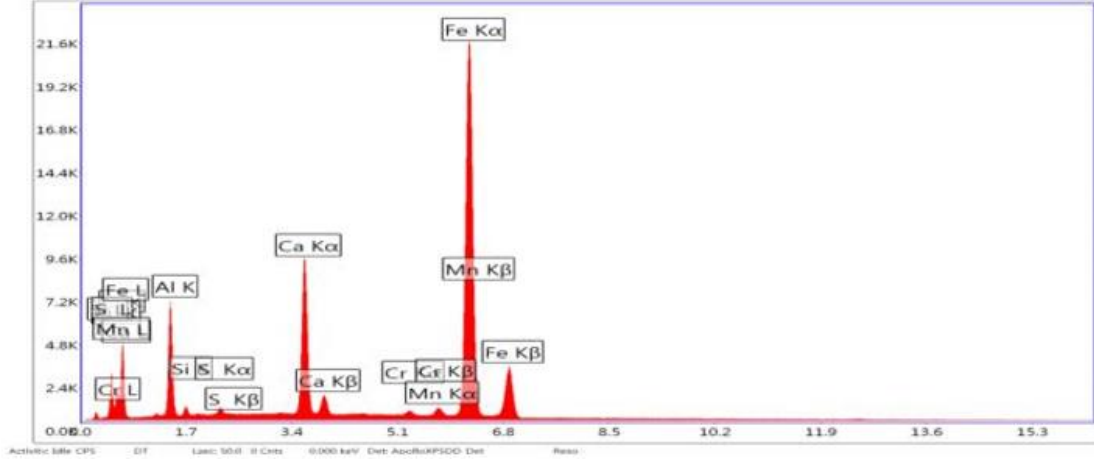
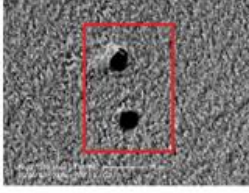
DKİT240



Şekil 6.13. Weldom700 çeliği numunelerinin mikro yapı görüntüleri (10 µm).

6.7. ELEMENTER DAĞILIM ANALİZ BULGULARI (EDX)

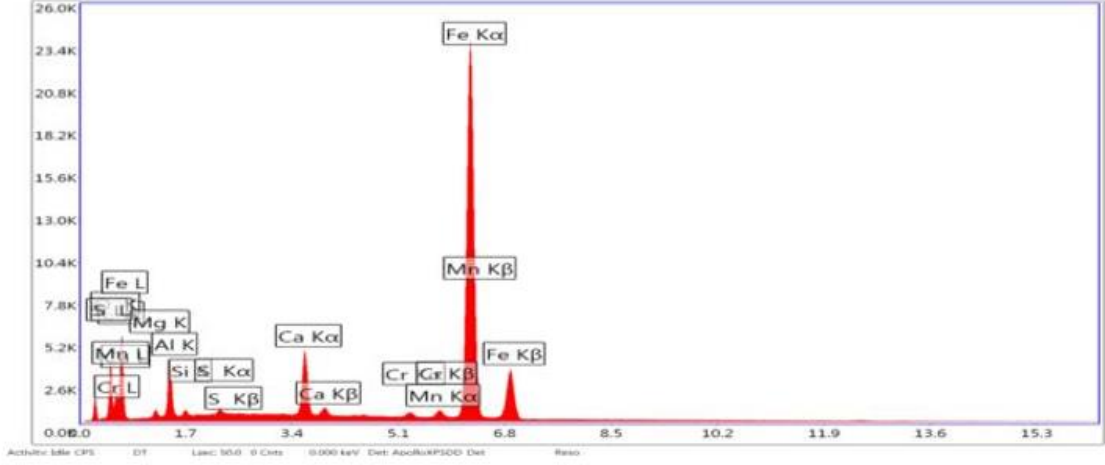
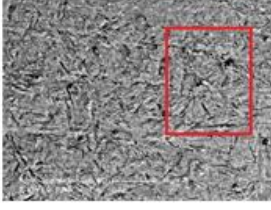
Bu bölümde; ısıl işlem sonrasında Weldom700 çeliğinin içyapısındaki elementler incelenmiştir. EDX analizi sonucunda vanadyum, krom, demir ve molibden karbürlerin oluştuğu gözlenmiştir. Geleneksel ısıl işlem uygulanmış numunede demir ve molibden fazlarında artış olduğu gözlenmiştir. Derin kriyojenik işlem ve bekletme sürelerindeki artışla demir ve molibden fazında düşmeler olduğu gözlenmiştir. Farklı bekletme sürelerinde derin kriyojenik işlem (180 dakika) ve buna ek olarak 120 dakika temperleme işlemi yapılmış DKİT180 numunesinin diğer bekletme sürelerindeki kriyojenik işlem uygulanmış numunelere göre demir ve molibden fazında maksimum düzeyde demir ve molibden fazında artış oranı gözlenmiştir. EDX analiz bulguları incelendiğinde, literatürde yapılan çalışmalarla[152]-[154] paralellik göstermektedir. Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17, Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de Weldom700 çeliği numunelerine EDX analiz sonuçları, Çizelge 6.14, Çizelge 6.15, Çizelge 6.16, Çizelge 6.16, Çizelge 6.17, Çizelge 6.18, Çizelge 6.19, Çizelge 6.20, Çizelge 6.21’de EDX analizi verileri gösterilmiştir.



Şekil 6.14. (S) numunesinin EDX analizi.

Çizelge 6.14. (S) numunesinin EDX analizi sonuçları.

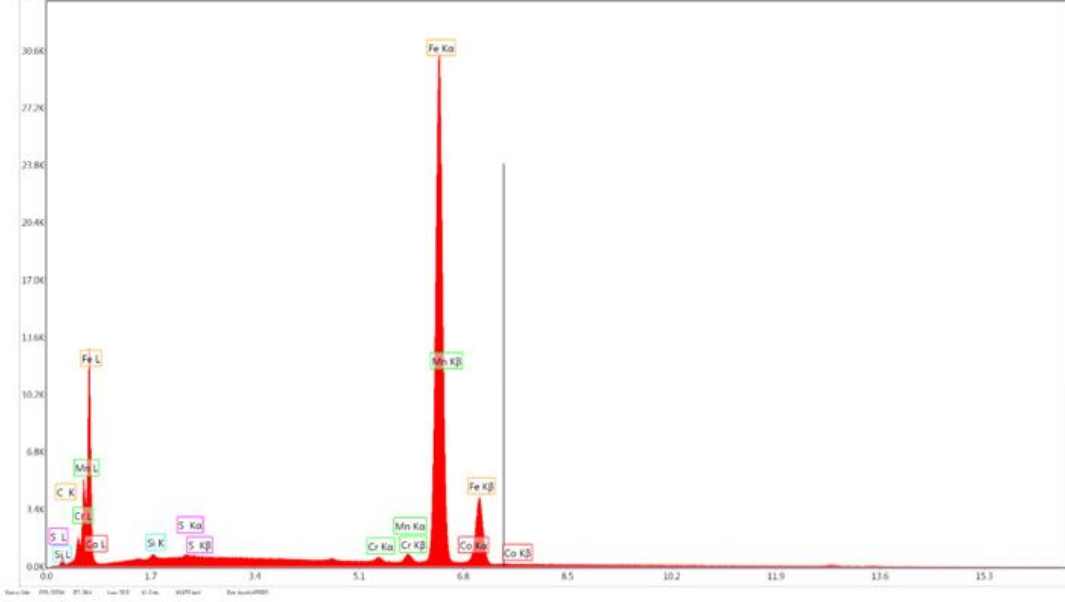
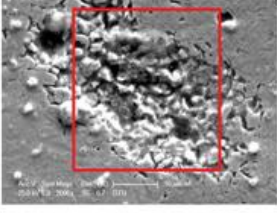
Element	Ağırlık (%)	Atom miktarı (%)
C K	3,80	11,5
O K	9,59	21,81
AlK	7,64	12,99
SiK	6,61	0,79
SK	0,53	0,6
CaK	9,16	10,13
CrK	1,09	0,76
MnK	1,62	1,07
FeK	61,97	40,35



Şekil 6.15. (Gİ) numunesinin EDX analizi.

Çizelge 6.15. (Gİ) numunesinin EDX analizi bulguları.

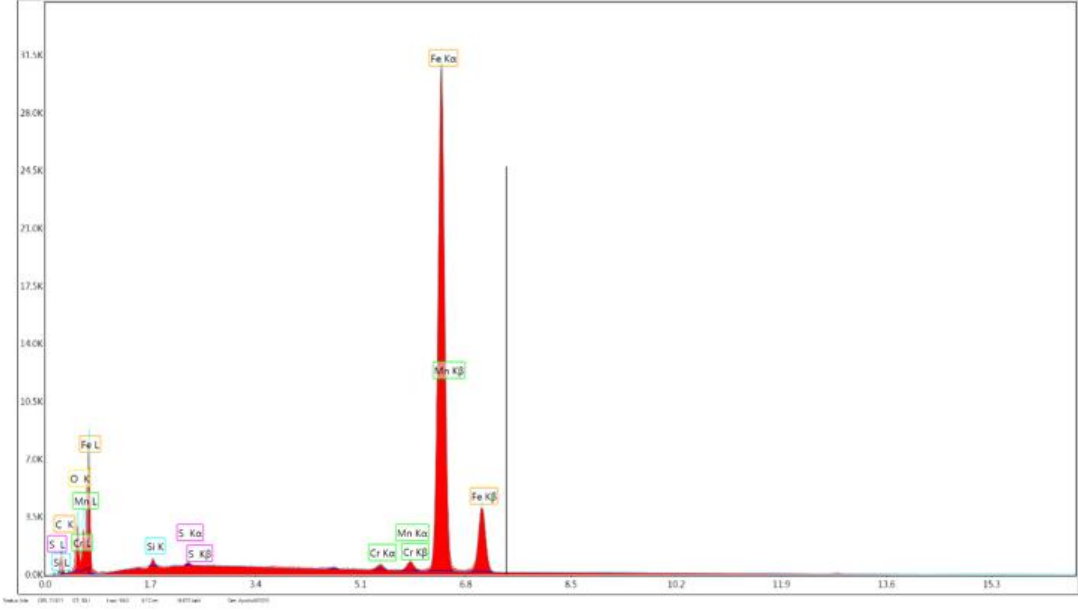
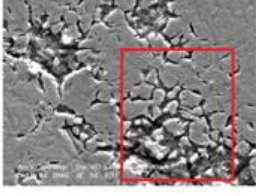
Element	Ağırlık (%)	Atom miktarı (%)
C K	2,94	12,3
SiK	0,19	0,33
CrK	0,14	0,22
MnK	1,53	2,02
FeK	94,57	85,13



Şekil 6.16. (DKİ60) numunesinin EDX analizi.

Çizelge 6.16. (DKİ60) numunesinin EDX analizi bulguları.

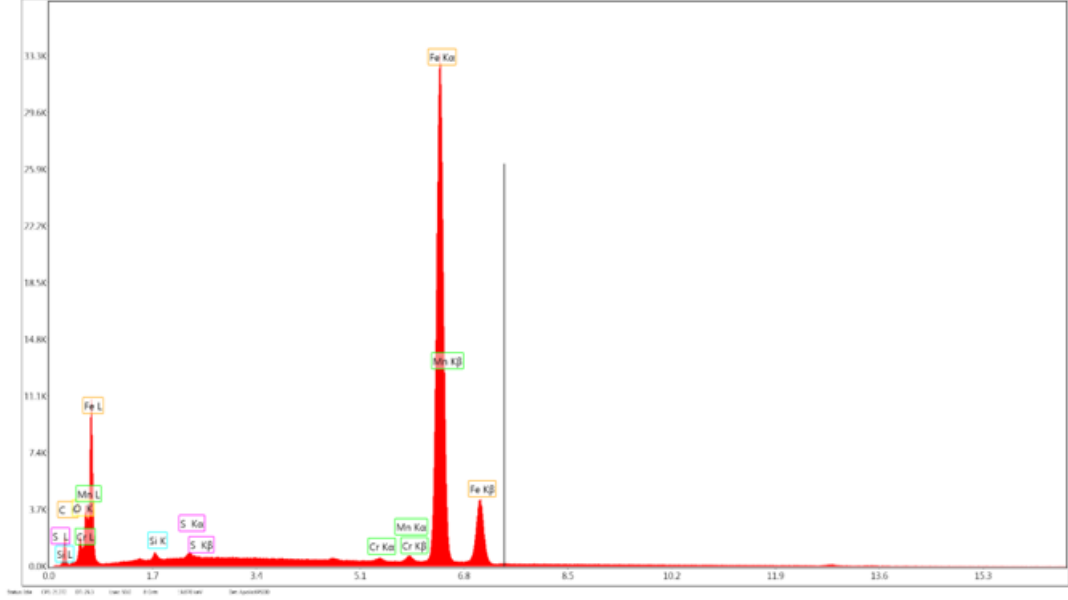
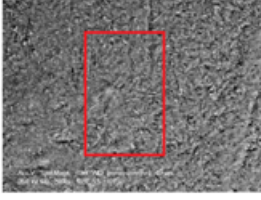
Element	Ağırlık (%)	Atom miktarı (%)
C K	6,11	23,17
SiK	0,23	0,37
S K	0,43	0,25
CrK	1,12	0,38
MnK	1,12	0,93
FeK	91,09	74,25
CoK	0,84	0,65



Şekil 6.17. (DKİ180) numunesinin EDX analizi.

Çizelge 6.17. (DKİ180) numunesinin EDX analizi bulguları.

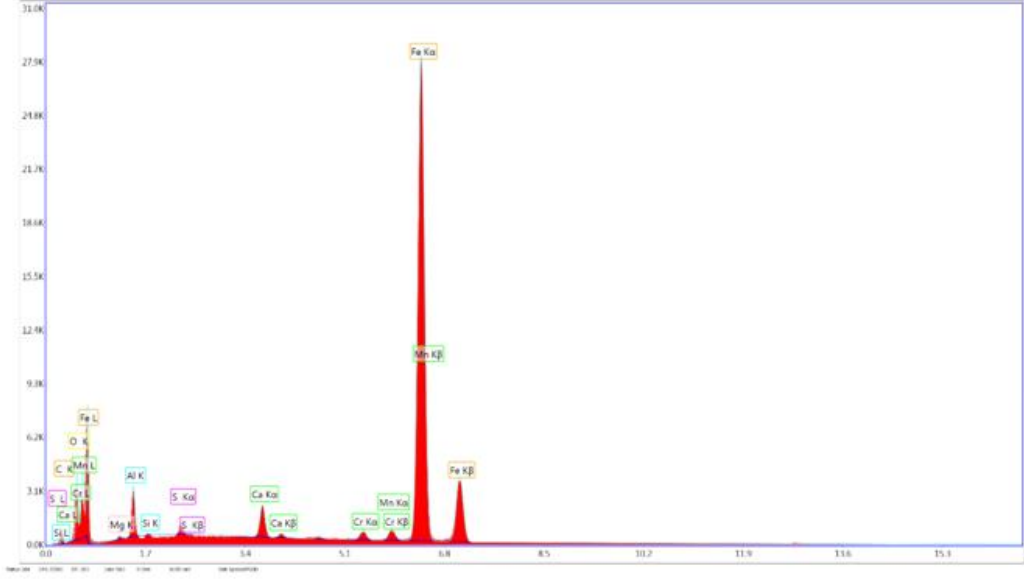
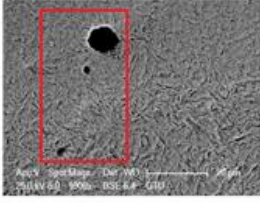
Element	Ağırlık (%)	Atom miktarı (%)
C K	9,66	33,11
SiK	0,22	0,32
S K	0,19	0,25
CrK	0,41	0,33
MnK	1,02	0,76
FeK	88,49	65,23



Şekil 6.18. (DKİ240) numunesinin EDX analizi.

Çizelge 6.18. (DKİ240) numunesinin EDX analizi bulguları.

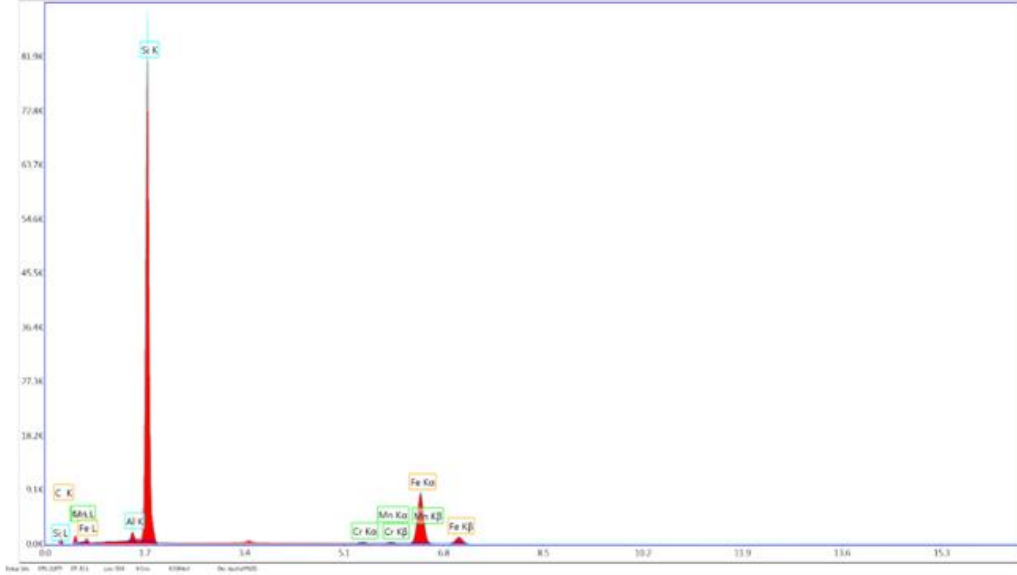
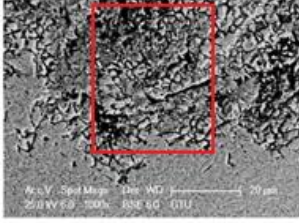
Element	Ağırlık (%)	Atom miktarı (%)
C K	10,66	31,44
O K	7,09	15,68
SiK	0,65	0,82
S K	0,51	0,55
CrK	1,18	0,81
MnK	2,27	1,47
FeK	77,64	49,23



Şekil 6.19. (DKİT60) numunesinin EDX analizi.

Çizelge 6.19. (DKİT60) numunesinin EDX analizi bulguları.

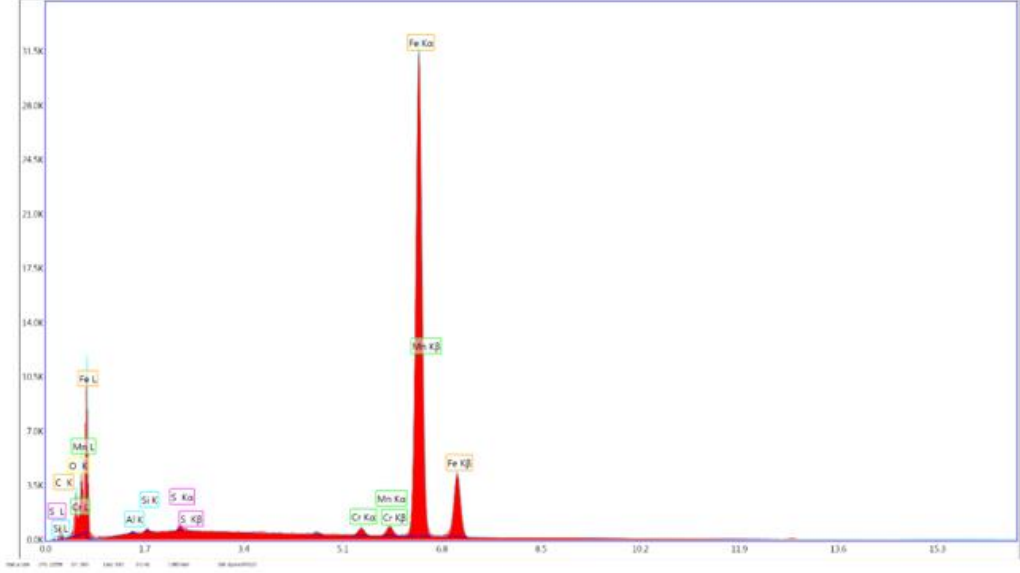
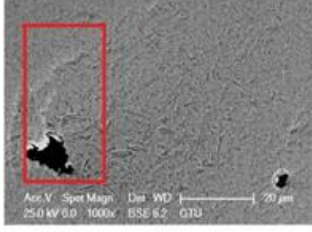
Element	Ağırlık (%)	Atom miktarı (%)
C K	8,54	20,12
O K	8,49	19,61
MgK	0,28	0,43
SiK	0,07	0,09
S K	0,49	0,57
CrK	0,78	0,55
MnK	1,33	0,90
FeK	75,88	50,23
AlK	4,11	5,63
CaK	2,04	1,88



Şekil 6.20. (DKİT180) numunesinin EDX analizi.

Çizelge 6.20. (DKİT180) numunesinin EDX analizi bulguları.

Element	Ağırlık (%)	Atom miktarı (%)
C K	4,90	17,39
O K	4,99	13,30
SiK	0,48	0,72
S K	0,12	0,16
CrK	1,10	0,90
MnK	1,07	0,83
FeK	87,34	66,69



Şekil 6.21. (DKİT240) numunesinin EDX analizi.

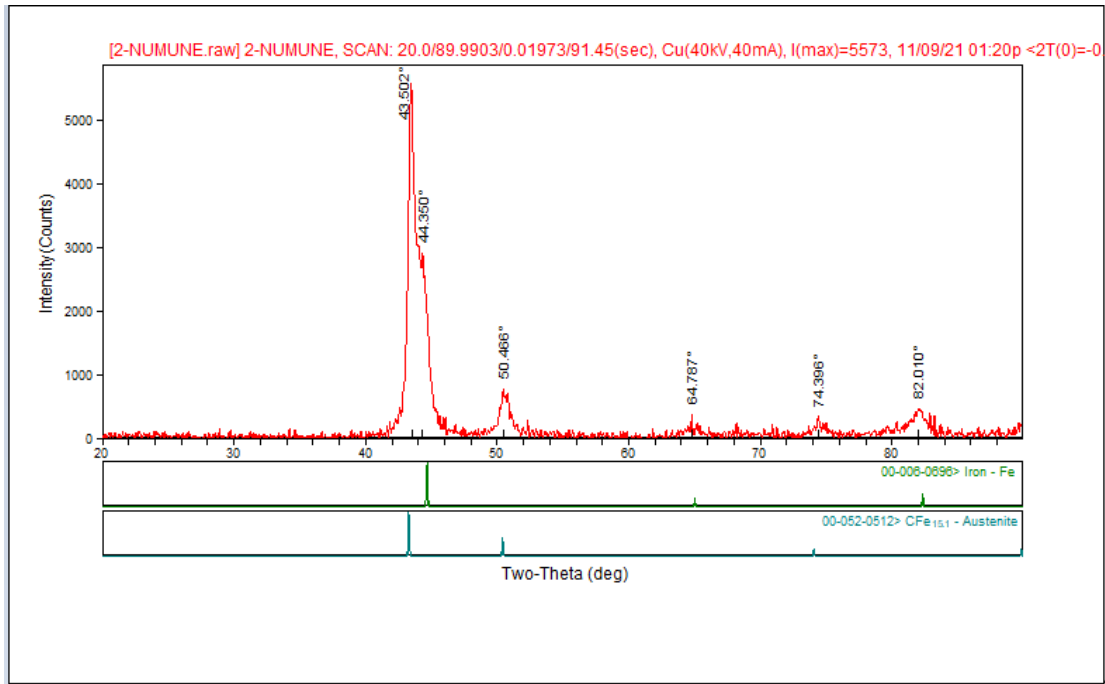
Çizelge 6.21. (DKİT240) numunesinin EDX analizi bulguları.

Element	Ağırlık (%)	Atom miktarı (%)
C K	8,48	25,68
O K	8,73	19,86
SiK	0,31	0,4
S K	0,15	0,16
CrK	0,8	0,56
MnK	1,43	0,95
FeK	79,84	52,02
AlK	0,27	0,36

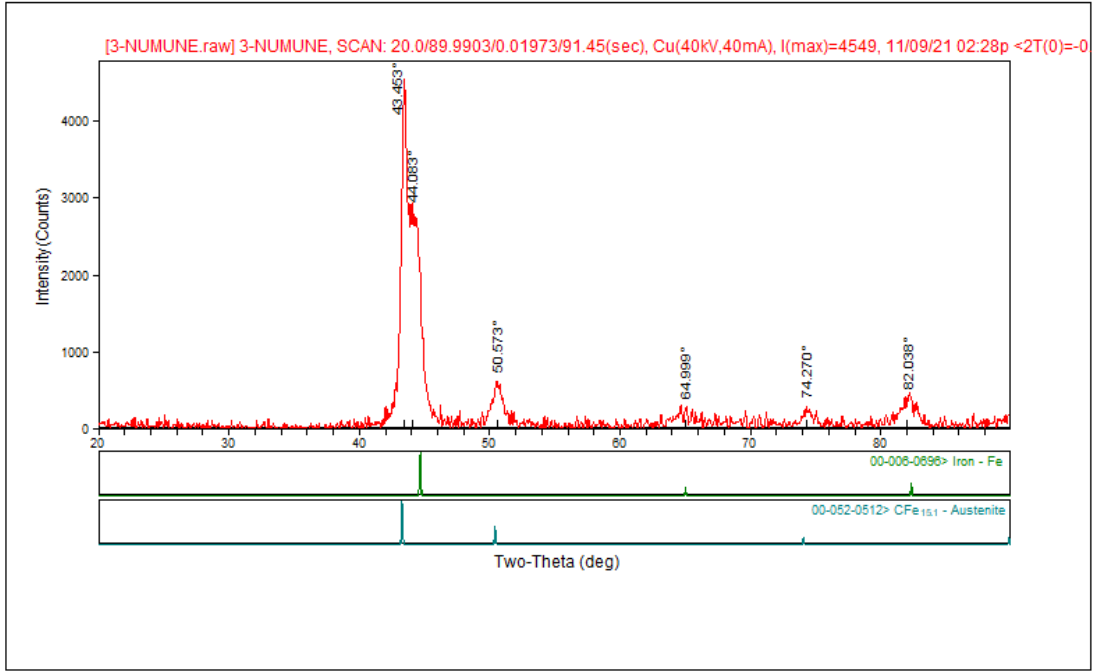
6.8. XRD (X-IŞINI DİFRAKSİYONU) ANALİZİ VE BULGULARI

XRD analizi, malzemenin kristal yapısını incelemek için kullanılan ve malzemeye zarar vermeden, kriyojenik işlem görmüş numunelerin kalıntı ostenit miktarını tespit eder [153]-[155].

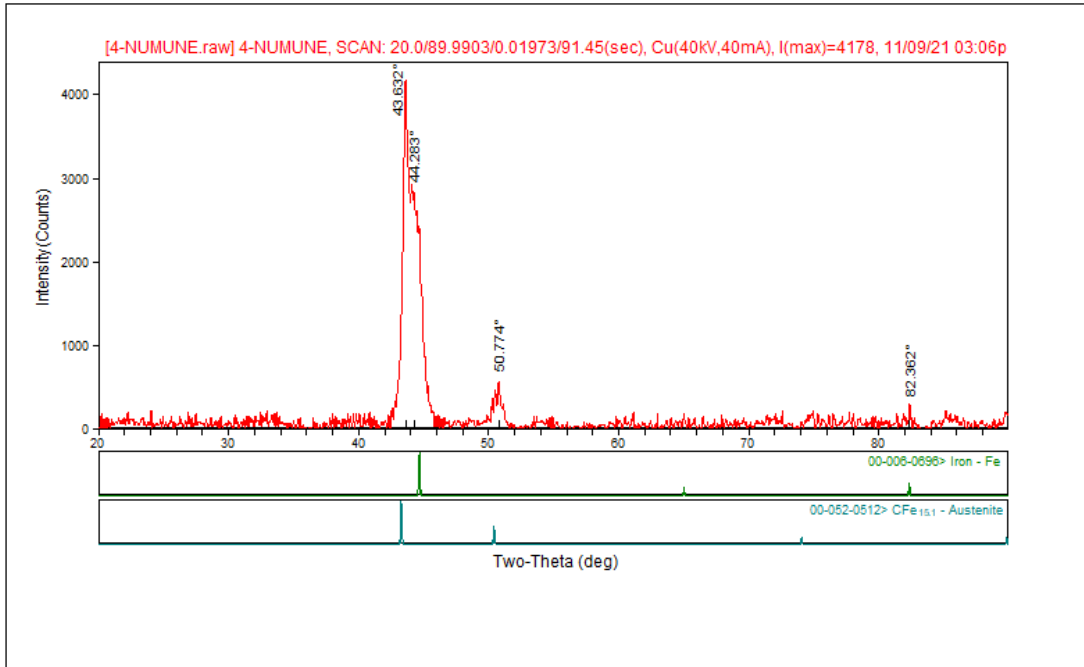
Farklı bekletme sürelerinde, Weldom700 çeliğine derin kriyojenik işlem ve sonrasında bu işleme ek olarak temperleme işlemi uygulanan numunelere XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24, Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27’de kriyojenik işlem görmüş Weldom700 çeliğinin XRD analizleri gösterilmiştir.



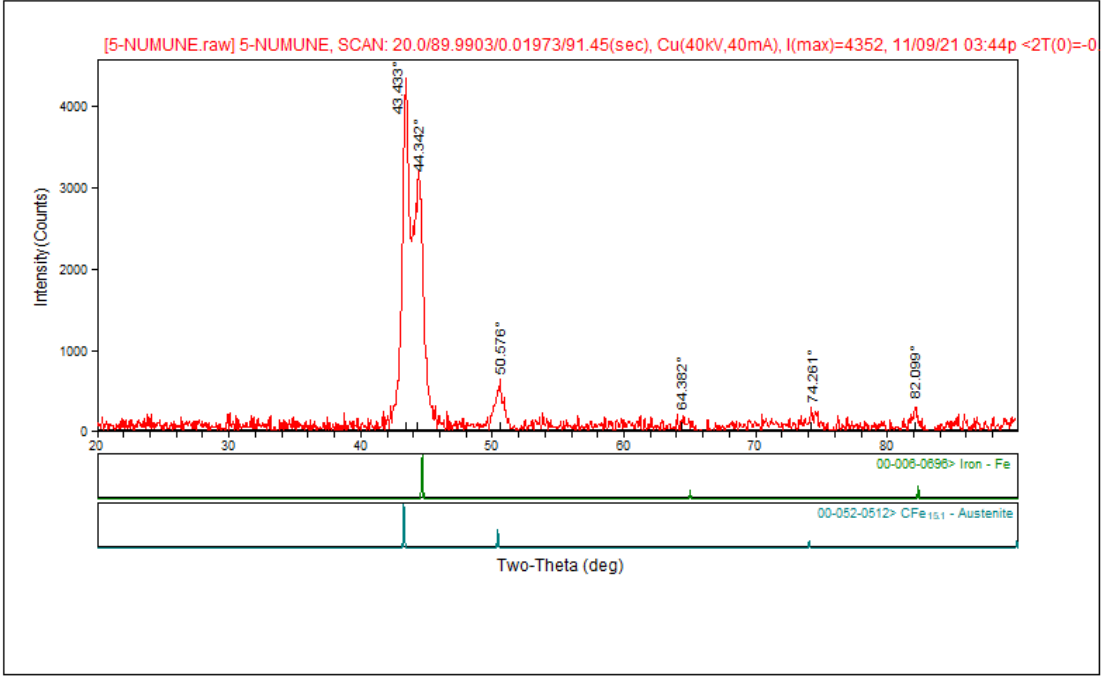
Şekil 6.22. (DKİ60) numunesinin XRD analizi.



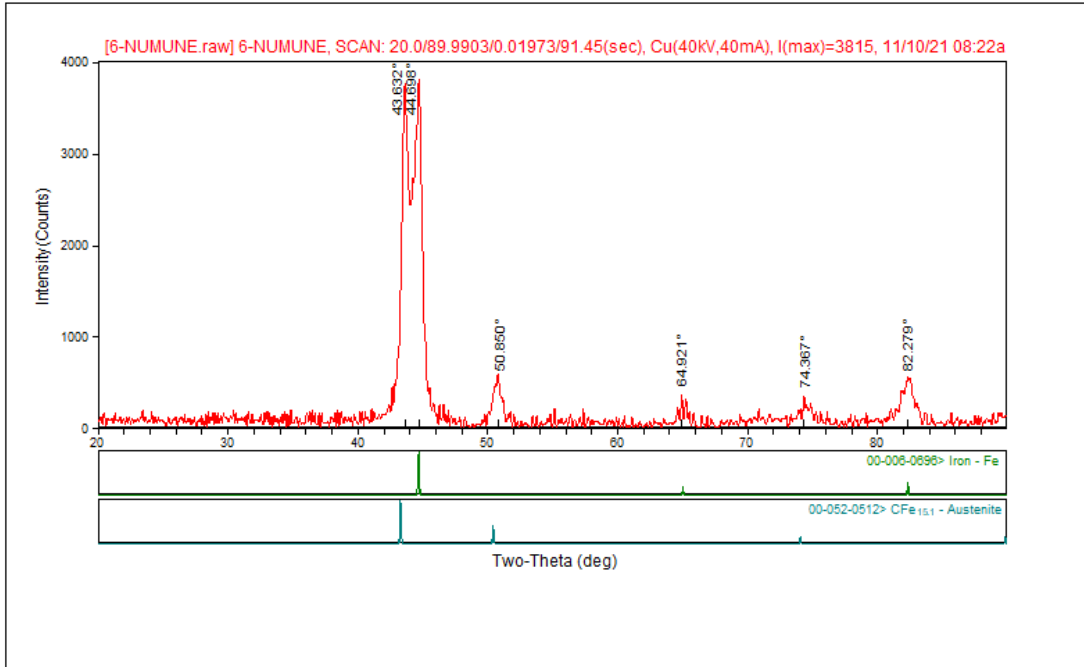
Şekil 6.23. (DKİ180) numunesinin XRD analizi.



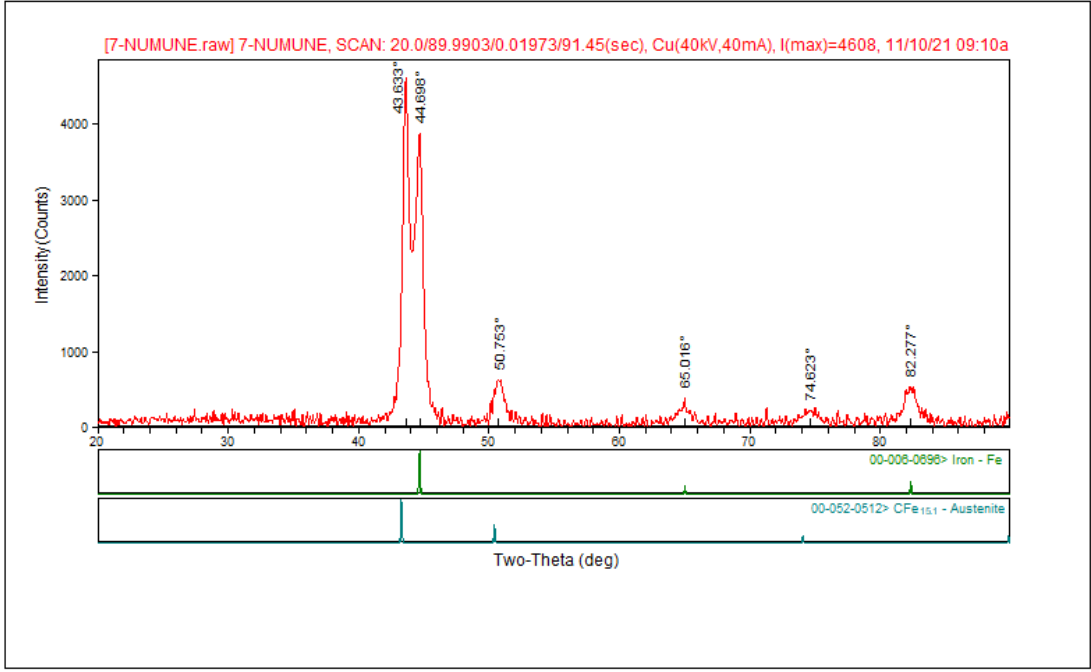
Şekil 6.24. (DKİ240) numunesinin XRD analizi.



Şekil 6.25. (DKİT60) numunesinin XRD analizi.



Şekil 6.26. (DKİT180) numunesinin XRD analizi.



Şekil 6.27. (DKİT240) numunesinin XRD analizi.

XRD analiz bulgularında, 240 dakika bekletme süresinde ve buna ek olarak 120 dakika temperleme işlemi yapılan (DKİT240) numune de XRD pik şiddeti fazla olduğu gözlenmiştir ve bu da bu numunenin östenit fazının daha kararlı olduğunu göstermiştir. Bu da DKİT240 dayanım değerinin optimum düzeyde ve aşınma direncinin de düştüğünü ve literatürde yapılan çalışmalarla [87], [88], [105] paralellik göstermiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gemi ve kargo taşımacılığı için kullanılan ambar bölgelerinin, kapaklarını açmak ve kapatmak üzere imal edilmiş vinçler için kancalar tasarlanmıştır. Bunların 60000 Newton'luk yükleme koşulları altında analitik, nümerik ve deneysel olarak analizleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada, St37 ve Weldom700 çelikleri kanca malzemesi olarak kullanılmıştır. Kancaların yükleme koşulları altında deneysel veri toplama işlemi, gerilimölçer sensörleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Üretimi yapılan kancalarda, St37 ve yüksek mukavemetli Weldom700 çeliği kullanılmıştır.
- Sonlu elemanlar analizinin sonucu olarak kancada 201715 düğüm noktası ve 127973 eleman elde edilmiştir.
- Sonlu elemanlar analizi sonucunda St37 çeliğinde; A bölgesinde 2,83 MPa, B bölgesinde 61,12 MPa ve C bölgesinde 45,57 MPa gerilme değeri elde edilmiştir.
- St37 çeliği ile üretilen kancada gerilimölçer sensörlerle yapılan ölçümlerde, A bölgesinde ortalama gerilme değeri 2,65 MPa olarak elde edilmiştir. B bölgesinde maksimum gerilme değeri 60,03 MPa ve C bölgesinde maksimum gerilme değeri 25,94 MPa olarak ölçülmüştür.
- Sonlu elemanlar analizi sonucunda Weldom700 çeliğinde; A bölgesinde 2,83 MPa, B bölgesinde 61 MPa ve C bölgesinde 32,90 MPa gerilme değeri bulunmuştur.
- Weldom700 çeliği ile üretilen kancada gerilimölçer sensörlerle yapılan ölçümlerde, A bölgesinde ortalama gerilme değeri maksimum 3,85 MPa olarak ölçülmüştür. B bölgesinde maksimum gerilme değeri 57,26 MPa ve C bölgesinde maksimum gerilim değeri 61,12 MPa olarak ölçülmüştür.
- Deneysel, nümerik ve analitik analizler ile karşılaştırıldığında sayısal analiz sonuçları, St37 yapısal çelik kancasında %1,8, Weldom700 çeliği kanca'da %6 hata miktarı tespit edilmiştir. Bu da deneysel ve matematiksel analizlerin birbiriyle uyumlu ve emniyetli sonuçlar olduğunu göstermiştir.

Ayrıca bu çalışmada kanca imalatında malzemenin en uygun düzeyde dayanıklılık özelliği göstermesi için malzemeye geleneksel ısıtım işlemi, kriyojenik işlem ve kriyojenik işleme ek olarak temperleme işlemi yapılmıştır. Bu işlem uygulanmış ve işlemlenmemiş Weldox700 çeliklerine; mikro ve makro sertlik testi, çekme testi, Charpy darbe testi, SEM analizleri, EDX ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerden elde edilen verilerin detaylı analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre,

- İşlem sonrasında numunelerin sertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir. Sertlik testleri sonucunda geleneksel ısıtım işlemi ve farklı bekletme sürelerinde uygulanan kriyojenik işlemler sonucunda sertlik mikro ve makro sertlik değerleri artmıştır. Mikro sertlik değerinde %84, makro sertlik değerinde %39 iyileşme meydana gelmiştir.
- Çekme testi sonuçlarına göre, en uygun çekme mukavemeti %33,58 iyileşme gösteren DKİ240 numunesinde elde edilmiştir.
- Charpy darbe testinde yüzey kırılma direncinin arttığı ve yüzey gerilmelerinin numunesinde en uygun seviyede azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumda numunelerin dayanım değerleri azaldığı gözlemlenmiştir.
- DKİ240 numunesinde en uygun düzeyde mukavemet değerleri artmış ve bu sayede kısa bir süre içinde daha düşük bir maliyetle mekanik özelliklerde oldukça iyi bir artış elde edilmiştir.
- Mekanik testler sonucunda akma dayanımının, iyileşmede en uygun düzeyde %59,71 artış gösteren DKİ240 numunesinde, nümerik analiz sonuçlarında da, yükleme koşulları altında emniyetlilik katsayısı 6,37 kat artmıştır.

7.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada, yükleme sistemlerinde büyük öneme sahip olan makine elemanlarından olan kanca; gemi taşımacılığı için, gemilerin ambar bölgelerini açıp kapatmak için özel tasarlanmış ambar kapak açma vinçleri için özel kanca tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Ayrıca Weldox700 çeliğinden imal edilmiş kancaların statik ve dinamik yükleme koşullarında mekanik davranışlarına ve çalışma kararlılığına olumlu etkiler yaptığını göstermiştir. Bu alanda çalışma yapmak isteyen araştırmacılar için öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Bu çalışmada lama tipi kanca tasarım ve imalatı yapılmıştır. Bu kancanın vince montajı yapılırken, sökülebilir bağlantı elemanları ile modellenip imalatı yapılmıştır. Bu da yükleme koşulları altında kancada meydana gelen deformasyon, aşınma ve yorulma gibi olumsuz durumlarda vince zarar vermeden kancanın değişimi yapılabilecektir.
- Kanca tasarımı sonrasında sonlu elemanlar metodu ile analizleri yapılarak kancadaki mühendislik sorunları önceden tespit edilmiştir. Bu da yapılacak çalışmalara yön gösterebilecektir.
- Standartlaşmış bir kanca tasarımı yapıldığından dolayı, araştırmacıların yapacakları çalışmalarda bu tip kanca modeli kullanımına olanak sağlayacaktır.
- Bu çalışmada kanca malzemesi olarak kullanılan Weldom700 çeliğine sadece 200 °C'de temperleme işlemi uygulanmıştır. Farklı bekletme sürelerinde derin kriyojenik işlem uygulanmış ve DKİT240 işlemlili numune de optimum düzeyde iyileşme görülmüştür. Araştırmacıların yapacakları çalışmalarda Weldom700 çeliğine, farklı bekletme sürelerinde derin kriyojenik işlem sonrasında farklı temperleme sıcaklıklarında (300, 400, 500 °C) malzemenin mekanik özelliklerindeki etkileri incelenebilir.
- İş makineleri ve otomotiv sektörlerinde kullanılan yüksek mukavemetli Weldom700 çeliğinin yanı sıra bu alanda yaygın olarak kullanılan Weldom ve Hardox serisi çeliklerle imal edilen makine elemanları için derin kriyojenik işlem ve temperleme işlemlerinin makine elemanının mekanik davranışlarına ve çalışma kararlılıklarına etkileri incelenebilir.
- Weldom700 çeliğinden imal edilen kanca vb. makine elemanları için yüzey sertleştirme yöntemleri (indüksiyon, alevle yüzey sertleştirme vb.) ile yalnızca numunenin yüzeyine işlem yapılarak geleneksel ısıtma işlemi ve kriyojenik işlem (sığ kriyojenik ve derin kriyojenik) ile karşılaştırılabilir.
- İndüksiyon sertleştirme işlemi uygulanan kanca ve makine elemanları için uygulanan derin kriyojenik işlemin mekanik davranış sonuçları incelenebilir.
- Dövme işlemi ile üretilen kancaların, dövme işlemi sonrasında uygulanacak derin kriyojenik işlemin mukavemet özelliklerindeki etkileri karşılaştırılabilir.
- Weldom700 çelikleri ile üretilen kanca vb. makine elemanları için, uygulanacak geleneksel ısıtma işlemi, derin kriyojenik işlem ve derin kriyojenik işlem sonrası malzemede meydana gelen yorulma ve aşınma deneyleri yapılabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] F. Bitiktaş, "Digitalization in Business to Business Marketng: Development of Strategies and Technologies for the transformation of maritime transportation", Doktora tezi, Dokuz Eylül University, 2020.
- [2] T. Yao, A. Magaino, T. Koiwa ve S. Sato, "Collapse strength of hatch cover of bulk carrier subjected to lateral pressure load", *Marine Structures*, c.16, sayı 8, ss. 687-709, 2003. doi: 10.1016/j.marstruc.2004.01.001
- [3] K. Ünlügençoğlu, F. Alarçin ve G. Kökkülünk, "Yeni geliştirilmiş veri toplama ve hesaplama yazılımı ile nakliye emisyonlarının tahmini, Ambarlı Limanı 0 için bir örnek olay", *International Journal of Global Warming*, c. 19, sayı 3, ss. 293-307, 2019. doi: 10.1504/ijgw.2019.103723
- [4] H. Görgün, "A case study work on self heating and explosion risks of coal cargo in maritime transportation" , Yüksek lisans tezi, İTÜ, İstanbul, 2022.
- [5] J. F. Balmat, F. Lafont, R. Maifret ve N. Pessel, Maritime Risk Assessment (MARISA), a fuzzy approach to define an individual ship risk factor. *Ocean Engineering*, c. 36 sayı 14, ss.1278-1286, 2009. doi: 10.1016/j.ssci.2014.12.010
- [6] S. Kum ve B. Şahin, "A root cause analysis for Arctic Marine accidents from 1993 to 2011". *Safety Science*, c. 74, sayı 3, ss. 206-220, 2015.
- [7] M. Saban ve G. Gülerçin , "Deniz Taşımacılığı İşletmelerinde Maliyetleri Etkileyen Faktörler ve Sefer Maliyetleri", Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, cilt 1, sayı. 1, s. 1-16, Mart 2009
- [8] B. Saraç, "Ro-Ro kargo gemisi için tanımlanan kurutuculu buharlaşmalı soğutma sistemlerinin termodinamik analizi", *DEU Muhendislik Fakültesi Fen ve Muhendislik Dergisi*, c. 21, sayı 63, ss. 733-740, Eylül 2019. doi:10.21205/deufmd.2019216305
- [9] S. Dedetaş, "Composite hatch cover application for cargo ships", Yüksek lisans tezi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, 2019.
- [10] A. L. Tunçel, E. Yüksek yıldız ve V. Çalışır, "Dökme yük ve genel kargo gemilerinin karıştığı deniz kazalarının değerlendirilmesi," *IV. International Scientific and Vocational Studies Congress-Engineering*, c. 4, sayı 4, ss 150-155, Ankara 2019.

- [11] Y. K. Küçük and A. Topçu , "Deniz taşımacılığında kaynaklanan kirlilik", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, c. 4, sayı. 2, ss. 75-80, Oct. 2012, doi:10.1501/Csaum_0000000067
- [12] T. Yoo, A. Magainob, T. Koiwab ve S. Satoa, "Collapse strength of hatch cover of bulk carrier subjected to lateral pressure load", *Marine Structures*, c. 16, sayı 8, ss. 687-709, 2003.
- [13] B. E. Tawfik, H. Leheta, A. Elhewy ve T. Elsayed, "Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, c.25, sayı 32, ss.567-579 2016. doi:/10.1016/j.ijnaoe.2016.09.005
- [14] P. Lengvarský, M. Mantič ve R. Huňady, "Design and strength analysis of C-hook for load using the finite element method", *MATEC Web Conf.* c. 31 sayı 126, ss. 618-715, 2020.
- [15] F. Atar, Y.V. Aydoğdu, O. Duru and Y. E. Şenol , "Kısa Mesafe Deniz Taşımacılığının Avantajları ve Kombine Taşımacılıktaki Önemi Üzerine Bir Çalışma", *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, c. 5, sayı. 1, ss. 75-91, Mar. 2013
- [16] E. Akyuz, "Application of fuzzy FMEA to perform an extensive risk analysis in maritime transportation engineering", *International Journal of Maritime Engineering*, c. 59, sayı 157, ss. 99-105, 2017.
- [17] Y. Ünsan, "Geniş ambar ağızlı gemilerin mukavemet yönünden incelenmesi", Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 1995.
- [18] I. Ionel Chirica, S. D. Musat, R. Chirica ve E. F. Beznea, "Torsional behaviour of the ship hull composite model", *Computational Materials Science*, c. 50, sayı 124, ss. 1381–1386, 2011.
- [19] S. Faghih-Roohi, M. Xie, ve K. M. Ng, "Accident risk assessment in marine transportation via Markov modelling and Markov Chain Monte Carlo simulation", *Ocean Engineering*, c. 91, sayı 125, ss. 363-370, 2014.
- [20] Ö. Şengül ve M. Kam, "An evaluation on computer aided design, analysis and mechanical properties of hatch cover opening hooks", *International Journal of Analytical, Experimental and Finite Element Analysis*, c. 7, sayı 4, ss. 91-100, 2020. doi:/10.26706/ijaefea.4.7.20200807
- [21] İ. Kökcü, "Kule vinç tasarımı ve analizi", Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2015.
- [22] Nazlıoğlu, A. "İnşaat sektöründe kullanılan kule vinçler ile yapılan çalışmalarda karşılaşılan risklerin tespiti ve korunma yolları", İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara, 2014.

- [23] R. A. Pawar, V. W. Wagh ve K. H. Munde, "Stress analysis of crane hook with different cross section using finite element method", *2019 JETIR*, c. 6, sayı 1, ss. 536-548, 2019.
- [24] Ö. Aydıngöz and S. N. Bilsel, "The comparison of pull out strengths of the pedicle hooks of different spinal instrumentation systems on human cadaver spines," *The Journal of Turkish Spine Surgery*, c. 2, sayı 3 ss. 12-19, 1996.
- [25] U. Tae-Sub, Roh, I. Myung, "Optimal dimension design of a hatch cover for lightening a bulk carrier," *Int. J. Nav. Archit. Ocean. Eng.*, c. 7, sayı 9, ss. 270-287, 2015. doi:10.1515/ijnaoe-2015-0019
- [26] J. Steven Cooke, L. LaRochelle, J. A. Danylchuk, S. C. Danylchuk, L. P. Griffin, "Through-the-gill hook removal method for deeply hooked", *Smallmouth Bass*, c. 251, sayı 523 ss. 106-129, 2022. doi:10.1016/j.fishres.2022.106322
- [27] K. A. Meyer, J. M. Fennell ve L. V. Chiaramonte, "Effect of hook eye alignment on deep hooking rates for stream-dwelling trout caught with baited circle and J hooks", *Journal of Applied Ichthyology*, c. 19, sayı 29-8, ss. 259-268, 2022. doi:10.1111/jai.14337
- [28] Y. Onur, "Computer aided lifting hook modeling and stress analysis", *Erzincan University, Journal of Science and Technology*, c. 11, sayı 2, ss. 231-236, 2018. doi:10.18185/erzifbed.371751
- [29] Ö. Şengül ve M. Kam, "Özel vinç kancasının nümerik ve deneysel analizi," *7. Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi (IMASCON 2021)*, c. 7, sayı 7, ss. 1259-1268, Kocaeli, 2021.
- [30] Ö. Şengül ve M. Kam, "Kapak atma rampasının sonlu elemanlar metodu ile statik analizi," *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, c. 5, sayı 6, ss. 1269-1281, 2019, Kocaeli, 2019.
- [31] T. Savaşkan, *Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi*, Papatya Bilim Yayıncılık, c. 2, sayı 16, 2019.
- [32] M. Najafi, H. Mirzadeh ve M. Alibeyki, "Improved mechanical properties of structural steel via developing bimodal grain size distribution and intercritical heat treatment", *Journal of Materials Engineering and Performance*, c. 28, sayı 9, ss. 5409-5414, 2019.
- [33] N. Köksal, M. Uzkut ve B. Ünlü , "Farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısı işlemlerle değişimi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 6, sayı 2, ss. 95-100, 2004.
- [34] G. E. Kocamanoğlu, U. Arabacı ve U. Özdemir, "Yakma alın kaynağıyla

- birleştirilmiş S355JR yapı çeliklerinde ITAB ın karakterizasyonu”, *European Journal of Science and Technology*, c. 12, sayı 34, ss. 354–359, 2022.
- [35] L. Teh ve M. E. Uz, “Ultimate shear-out capacities of structural-steel bolted connections”, *Journal of Structural Engineering*, c. 141, sayı 6, ss. 4014152–0, 2015. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001105
- [36] V. Karakale, “Use of structural steel frames for structural restoration of URM historical buildings in seismic areas,” *Journal of Earthquake and Tsunami*, c. 11, sayı 4, 2017. doi:10.1142/S1793431117500129
- [38] Ö. Şengül ve M. Kam, Mühendislik Alanında Teknolojik Gelişmeler: Vinç Sistemlerinde Kullanılan Kancaların Tasarımı, İmalatı ve Sonlu Elemanlar Analizi, Editörler: Hülya Kalaycıoğlu ve Senai Yalçınkaya. Güven Plus Grup Yayıncılık. A.Ş, c. 3, sayı 7, ss. 169 -187.
- [39] A. Hansen, “Reliability Methods for the Longitudinal Strength of Ships, *Danmarks Tekniske Universitet*, c.12, sayı 26, ss 125-132 , 1995.
- [40] K. T. Gürsel, “Konteyner gemilerinde yükleme-boşaltma ve emniyete alma-çözme işlemlerinin mekanizasyonu”, *Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Teknolojisi Teknik Kongresi*, c. 5, sayı 12, ss 623-633, İstanbul, 1999.
- [41] Ö. Akkuş, “Yükleme ve boşaltma operasyonlarında dökme yük gemileri için mukavemet analizi”, yüksek lisans tezi, İTÜ, 2011.
- [42] H. Kuo ve J. Chang, “A simplified approach to estimate the ultimate longitudinal strength of ship hull”, *Journal of Marine Science and Technology*, c.11, sayı 3, ss. 130-148, 2003.
- [43] M. S. Haffner, Cost modeling and design for manufacturing guidelines for advanced composite fabrication, Doktora tezi, Massachusetts Institute of Technology, 2002.
- [44] H. Düzcükoğlu ve M. Karagöz, “Vinç hareketli kabinin tasarımı ve gerilme analizi,” *6th International Advanced Technology Symposium (IATS’11)*, c. 6, sayı 15, ss. 1298-1308, Elâzığ, Turkey, 2011.
- [45] T. Barışık ve F. Yalçın, “Subjective evaluation of possible occupational accidents with employees in tower cranes,” *International Refereed Journal of Occupational Health and Safety*, c.2, sayı 3, ss 1201-1216, 2017. doi:10.17372/UHIGCSD.2017.3.04
- [46] A. Sarı, Ö. F. Nemutlu ve B. Balun, “Vinç kancalarının farklı malzeme özellikleri ve yükleme kapasitelerine göre yorulma dayanımlarının incelenmesi kırılma mekaniği yaklaşımı,” *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, c. 1, sayı 1, ss. 199–216, 2021. doi:10.46810/tdfd.872501
- [47] Y. A. Onur ve H. Gelen, “Design and deflection evaluation of a portal crane

subjected to traction load,” *Materials Testing*, c. 62, sayı 11, ss. 1131–1137, 2020. doi:10.3139/120.111597

- [48] S. Toker, F. Türkmen, O. Pekince, İ. H. Korucu ve M. N. Karalezli, “Extension block pinning versus hook plate fixation for treatment of mallet fractures,” *The Journal of Hand Surgery*, c. 40, sayı 8, ss. 1591–1596. 2015.
- [49] R. Eren ve K. Sezen, “Kam mekanizması içeren kanca tahrik mekanizmalarının kinematik tasarımı ve kanca hareket eğrisinin analizi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, sayı 2, ss. 253–262, 2003.
- [50] İ. T. Teke, “Bir yük kancasının topoloji optimizasyon ile tasarım ve analizi”, Yüksek lisans tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, 2021.
- [51] S. Tigabey, “Optimization and fatigue analysis of crane hook using finite element method”, Yüksek lisans tezi. Addis Ababa University, Addis Ababa, 2018.
- [52] A. Berndtsson ve A. Mattiasson, “Topology optimization with parametrization of hardpoint positions”, Yüksek lisans tezi, Chalmers University of Technology, Gothenburg, 2019.
- [53] H. P. Patil ve D. M. Patel, “FEA analysis method of stress calculation of various cross section of crane hook”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, c.3, sayı 12, ss 123-139, 2020.
- [54] A. Özdemir, “Yük kancalarının tasarımı, teorik ve deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, 2018.
- [55] A. Özgül, A. Ulaş, A. Lök, F. O. Düzbastılar ve C. Metin, “Comparison of alternative circle hook kahle hook and J style hook performance in experimental pelagic longline fishery in Turkey”, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, c. 15, sayı 19, ss. 19–27, 2015. doi:10.4194/1303-2712-v15_1_03
- [56] I. Gerdemeli, S. Kurt, ve G. Akgun, “Design and analysis with numerical method of gantry crane hook block”, *International Conference on Innovative Technologies*, c.3, sayı 12, ss 1278-1293, 2013.
- [57] T. Yıldırğan, “Eğri eksenli çubuk olarak kancanın bilgisayar yardımı ile tasarımı”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1999.
- [58] R. A. Pawar, V. W. Wagh ve K. H. Munde, “Stress analysis of crane hook with different cross section using finite element method”, *2019 JETIR*, c. 6, sayı 1, ss. 139-148, 2019.
- [59] G. İrsel , "Research on electrical strain gages and experimental stress analysis: Case study for a full wheatstone bridge", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 12, sayı. 5, ss. 783-792, Ocak. 2021, doi:10.24012/dumf.1051434

- [60] E. Taşkan, Y. Gündüz ve Y. Şahin, “Kanca ucu tipinin çelik tel donatılı betonların mekanik özelliklerine etkisi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, sayı 3, ss. 796-803, 2019. doi:10.35414/akufemubid.500425
- [61] G. Akgün, “2x400 ton portal kren tasarımı ve sayısal yöntemle analizi”, Yüksek lisans tezi, İTÜ, 2013.
- [62] A. Sarı, Ö. F. Nemutlu ve B. Balun, “Vinç kancalarının farklı malzeme özellikleri ve yükleme kapasitelerine göre yorulma dayanımlarının incelenmesi kırılma mekaniği yaklaşımı,” *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, c.1, sayı 1, ss. 199–216, 2021. doi:10.46810/tdfd.872501
- [63] Y. Tripathi ve U. K. Jashi, “Comparison of stress between winkler-bach theory and ansys finite element method for crane hook with a trapezoidal cross-section”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, c. 5, sayı 12, ss 1023-1034, 2013.
- [64] A. Reddy, “Static analysis of crane hook with t-section using ansys,” *International Journal of Engineering Trends and Technology*, c. 25, sayı 1, ss. 53-58, 2015. doi:10.14445/22315381/IJETT-V25P209
- [65] A. Sarı, Ö. F. Nemutlu ve B. Balun, “Vinç kancalarının farklı malzeme özellikleri ve yükleme kapasitelerine göre yorulma dayanımlarının incelenmesi kırılma mekaniği yaklaşımı,” *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, c. 1. sayı 1, ss. 190–200, 2021. doi:10.46810/tdfd.872501
- [66] S. Çürükova Kale, Y.B. Demirel, O. Sönmez, M. A Çınar ve B.Alboyacı , "Elektrikli Lokomotif Sistemlerinde Cer Transformatorü ve Baraların Oluşturduğu Manyetik Alanların Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesaplanması", *Demiryolu Mühendisliği*, c.7. sayı. 17, ss. 54-65, Ocak 2023, doi:10.47072/demiryolu.1175771
- [67] R. Eren ve K. Sezen, “Kam mekanizması içeren kanca tahrik mekanizmalarının kinematik tasarımı ve kanca hareket eğrisinin analizi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, sayı 2, ss. 253–262, 2003.
- [68] A. Bergaley ve A. Purohit, “Structural analysis of crane hook using finite element method”, *Int. J. Sci. Mod. Eng.*, c. 1, sayı 10, ss. 3-17. 2013.
- [69] J. Kanwar ve B. Shrivastava, “Simulation of crane hook eye using finite element analysis”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, c. 11, sayı 7, ss. 2369-2373, 2022.

- [70] G. Pavlović, M. Savković, N. Zdravković, G. Marković ve J. Stanojković, “Analysis and optimization of t-cross section of crane hook considered as a curved beam”, *Research and Delevopment in Heavy Machinery*, c. 24, sayı 32, ss 102-119, 2018. doi:10.5937/IMK1802051P
- [71] A. Gopichand, R. V. S. Lakshmi, B. Maheshkrishna, “Optimization of designparameters for crane hook usingtaguchi method”, *IJIRSET*, c. 2, sayı 12, ss 1258-1263,2013.
- [72] S. Sahu, R. Dewangan, M. Patnaik ve N. Yadav, “Study of crane hook having trapezoidal section by finite element method & design of experiments”, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, c. 2, sayı 4, ss. 2779-2781, 2012.
- [73] C. E. İmrak, İ. Gerdemeli ve M. C. Fetvacı, “Yük kancasının eğri eksenli çubuk olarak gerilme analizi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, c. 20, sayı 2, ss. 217-223, 2005.
- [74] O. A. Ansari ve P. S. Rao, “Design and analysis of crane hook forload conditions, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)* c. 7, sayı 5, ss. 75-83, 2016. ID: IJMET_07_05_009
- [75] S. Zhang, H. Li, ve Y. Huang, “An improved multi-objective topology optimization model based on SIMP method for continuum structures including self-weight,” *Struct. Multidiscip. Optim.*, c. 63, sayı 1, ss. 211-230, 2021. doi:10.1007/s00158-020-02685-2.
- [76] C. Özarpa, H. Botsalı ve B. F. Kınacı, "Raylı sistemlerde kullanılan cer kancasının topoloji optimizasyonuna uygunluğunun değerlendirilmesi", *Demiryolu Mühendisliği*, c. 9, sayı. 15, ss. 1-12, 2022. doi:10.47072/demiryolu.1016373
- [77] K. Mhapsekar, M. McConaha ve S. Anand, “Additive manufacturing constraints in topology optimization for improved manufacturability”, *J. Manuf. Sci. Eng.*, c. 140, sayı 5, ss. 1236-1245, 2018. doi: 10.1115/1.4039198
- [78] A. Sarı, Ö. F. Nemutlu ve B. Balun, “Vinç kancalarının farklı malzeme özellikleri ve yükleme kapasitelerine göre yorulma dayanımlarının incelenmesi kırılma mekaniği yaklaşımı,” *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, c. 3, sayı 1, ss. 190–200, 2021. doi:10.46810/tdfd.872501
- [79] A. Díaz, I. Cuesta, J. Alegre, A. de Jesus ve J. Manso, “Residual stresses in coldformed steel members: Review of measurement methods and numerical modelling”, *Thin-Walled Struct.*, c. 15, sayı 21, ss. 99-115, 2021. doi:10.1016/j.tws.2020.107335
- [80] M. Bosco, M. Daniello, R. Londalfo, C. Ponniteri ve P. Ross, “Overstrength and deformation capacity of steel members with cold-formed hollow cross-section”, *Journal of Constructional Steel Research*, c. 11, sayı 10, ss. 71-87, 2022. doi:10.1016/j.jcsr.2022.107187

- [81] H. Gerengi, C. Tascioglu, C. Akcay ve M. Kurtay, "Impact of copper chrome boron CCB wood preservative on the corrosion of St37 steel," *Industrial Engineering Chemistry Research*, c. 53, sayı 49, ss. 19192-19198, 2014. doi:10.1021/ie5033342
- [82] G. Özer, "1 4462 AISI 2205 dubleks paslanmaz çelikte ısıl işlem koşullarının faz değişimi sertlik ve korozyon davranışı üzerine etkilerinin incelenmesi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 10, sayı 1, ss. 426-431, 2021. doi:10.28948/ngumuh.806495
- [83] Y. Duysak ve G. Yavuz, "Korozyonun farklı kalınlıktaki çelik elemanların davranışı üzerine etkisinin incelenmesi," *International Science and Academic Congress (INSAC)*, c. 6, sayı 25, ss 2085- 2092, 2019.
- [84] M. S. Gül, H. Gökkaya, B. Kondul ve M. H. Çetin, "Makine konstrüksiyonunda kullanılabilirlik için hastelloy C-22 süper alaşımının aşınma direncinin kriyojenik işlem ile etkileşiminin incelenmesi", *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 10, sayı 1, ss. 175-188, 2022. doi:10.36306/konjes.1024523
- [85] M. Kam ve H. Saruhan, "Derin kriyojenik işlemin farklı bekletme sürelerinin AISI 4140 (42CrMo4) çeliğin mekanik özelliklerine etkisi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, sayı 3, ss. 553-564, 2018.
- [86] M. Kam, "Kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi," Doktora tezi, Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [87] A. Aytaç, M. S. Işık, B. Çanakçı, T. Özdemir, K. Aztekin ve H. İpek, "AISI 1008 1040 ve 4140 çeliklerinde ısıl işlem, karbon oranı ve alaşım elementlerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", *Savunma Bilimleri Dergisi*, c. 17, sayı 2, ss. 2148-1776, 2018.
- [88] A. Sert, "AISI M2 takım çeliğinin mikroyapısı ve mekanik davranışları üzerine derin kriyojenik ısıl işlemin ve temperlemenin etkisi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 22, sayı 66, ss. 801-811, 2020. doi:10.21205/deufmd.2020226615
- [89] C. E. Merzalı, "Zırh çeliklerinde kaynak sonrası ısı tesiri altında kalan bölgenin özelliklerinin ısıl işlem ile iyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2013.
- [90] D. Senthilkumar ve I. Rajendran, "Influence of shallow and deep cryogenic treatment on tribological behavior of en 19 steel," *Journal of Iron and Steel Research International*, c. 18, sayı 9, ss. 53-59, 2011.
- [91] V. A. Kuzmenko ve S. V. Grishakov, "Influence of high loading frequency on the endurance of several structural alloys at low (-196°C) and room temperatures", *Strength Mater*, c. 6, sayı 10, ss. 1195-1200, 1974.
- [92] A. Stepanov ve L. K. Lokhankina, "Low-cycle fatigue of chrome-manganese steel

at +20 and -196°C,” *Strength Mater.*, c. 11, sayı 8, ss. 847-849, 1979.

- [93] M. Preciado, P. M. Bravo ve J. M. Alegre, “Effect of low temperature tempering prior cryogenic treatment on carburized steels,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 176, sayı 203, ss. 41-44, 2006.
- [94] M. Yeniçeri Özata, S. Falakaloğlu ve G. Akın Tartuk, “Effect of different heat treated ni-ti instruments on remaining root canal filling and apical debris extrusion in retreatment procedures”, *Turkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, c. 3, sayı 11, ss. 1302-1317, 2021. doi:10.5336/dentalsci.2021-82792
- [95] E. Kızılkaya ve İ. Ovalı, “AISI 4140 çeliğine uygulanan sığ kriyojenik işleminin mekanik özellikler üzerindeki etkisi”, *GU J Sci, Part*, c. 6, sayı 1, ss. 137-148, 2018, doi:<http://dergipark.gov.tr/tr/pub/http-gujsc-gazi-edu-tr>
- [96] R. Kara, Y. Kayalı ve F. Çolak, “Borlanmış hardox 500 çeliklerin aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 8, sayı 1, ss. 151-158, 2021. doi:10.35193/bseufbd.852948
- [97] M. Tabur ve M. İzçiler, “Farklı şartlarda borlanan hardox 400 çeliğinin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, *Teknik Bilimler Dergisi, Teknik Bilimler E - Dergisi*, c. 12, sayı 7, ss. 15-22, 2019. doi:10.35354/tbed.510831
- [98] M. Keleş, “Numerical and experimental analysis of the mechanical properties of hardox steel”, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, 2002.
- [99] T. Mert, M. Tumer ve M. Z. Kerimak, “The effect of MAG and FCAW methods on microstructure and impact toughness of multi-pass welded weldox 700”, *8th International Advanced Technologies Symposium (IATS'17)*, c. 8, sayı 18, ss. 1369-1405, Elazığ, Türkiye.
- [100] X. Xinke, W. Yaopei, V. Vladislav, C. L. Vershinin ve L. Yanshan, “Effect of Lode angle in predicting the ballistic resistance of Weldox 700 E steel plates struck by blunt projectiles”, *International Journal of Impact Engineering*, c.128, sayı 154, ss. 46-71, 2009. doi:10.1016/j.ijimpeng.2019.02.004
- [101] Y. Shi, A. Hu, T. Du, X. Xiao ve B. Jia, “Experimental and numerical study on the protective behavior of weldox 900’e steel plates impacted by Blunt-Nosed Projectiles”, *Failure Analysis in Metallic Materials*, c. 15, sayı 23, ss. 2036-2049, 2022. doi:10.3390/met12010141
- [102] T. Børvik, O. Hopperstad, M. Langseth, K. A. Molo, “Effect of target thickness in blunt projectile penetration of Weldox 460 E steel plates”, *International Journal of Impact Engineering*, c. 28, sayı 4, ss. 413-464, 2003. doi:10.1016/S0734-743X(02)00072-6
- [103] Q. Liu, S. P. Wang, X. Lin, P. Cui ve S. Zhang, “Numerical simulation on the anti-penetration performance of polyurea-core Weldox 460 E steel sandwich plates”, *Composite Structures*, c. 236, sayı 269, ss. 1118-1231,

doi:10.1016/j.compstruct.2019.111852

- [104] K. ASLANTAŞ, A. HASÇELİK ve A. ÇİÇEK, “Al7075-T6 alaşımının mikro öğütülmesinde DLC ve NCD kaplamalarının performans değerlendirmesi,” *Üretim Süreçleri Dergisi*, cilt. 81, s. 976–990, Ocak 2022.
- [105] M. Ö. Öteyaka, B. Karahisar ve H. C. Öteyaka, “The impact of solution treatment time t6 and deep cryogenic treatment on the microstructure and wear performance of magnesium Alloy AZ91,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, c. 12, sayı 24, ss. 1025-1032, 2020.
- [106] B. Gassama, G. Özden ve M. Ö. Öteyaka, “The effect of deep cryogenic treatment on the wear properties of AZ91 magnesium alloy in dry and in 0.9 wt % NaCl medium,” *Sādhanā*, c. 47, sayı 1, 2022. doi:10.1007/s12046-021-01794-y
- [107] Y. Arslan, “DIN 1 2080 soğuk iş takım çeliği zımbalarda derin kriyojenik işlem ve temperlemenin alın aşınmasına etkisi,” *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 3, sayı 1, ss. 45–55, 2014.
- [108] A. Çiçek, E. Ekici, İ. Uygur, S. Akıncıoğlu ve T. Kıvak, “AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde derin kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılması,” *SDU International Journal of Technological Science*, c. 4, sayı 1, ss. 1–9, Jun. 2012.
- [109] F. Gül, H. Dilipak ve O. Yamanoğlu, “Kriyojenik işlem yapılmış soğuk iş takım çeliklerinin abrasif aşınma davranışlarının incelenmesi ve istatistiksel analizi,” *Journal of Polytechnic*, c. 24, sayı 3, ss. 1129–1135, 2021. doi:10.2339/politeknik.477373
- [110] A. Özgül, A. Ulaş, A. Lök, F. O. Düzbastılar, and C. Metin, “A Comparison Of Alternative Circle hook Kahle Hook and J. Style Hook Performance in Experimental Pelagic Longline Fishery in Turkey,” *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, c. 15, sayı. 1, ss. 19–27, Feb. 2015. ISSN:1303-2712
- [111] V. Alver, “Mobil hidrolik vinçler için kontrol sistemi geliştirilmesi ve uygulaması”, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2012.
- [112] Ö. Şengül ve M. Kam, “Comparative analysis of hatch cover stocking gantry crane hooks manufactured from St37 and weldox700 steels under static loading conditions”, *Surface Review and Letters*, c. 29, sayı 5, ss. 225-236, 2022. doi:10.1142/S0218625X22500615
- [113] A. Tekcan ve N. Köse, “Evaluation of load transmission to the knee joint in a three-dimensional femur model using a finite element analysis method,” *European Archives of Medical Research*, c. 37, sayı 45, ss. 63–70, 2021. doi:10.4274/eamr. galenos.2020.69772
- [114] Ö. Şengül ve M. Kam, “Analysis of radial tire design and dynamic analysis for

sustainable production,” *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar)* , c. 4, sayı 9, ss. 236-1243, Kocaeli, 2019.

- [115] B. Bolat, B. Aşçıoğlu Temiztaş , M. Boğoçlu ve B. Bayraktaroğlu, "Kaldırma ve iletme makinalarında kullanılan halatlarının deneysel ve nümerik analizi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 11, sayı 3, ss. 1093-1101, 2020 doi: 10.24012/dumf.691208
- [116] D. Arslan, "The approximate solution of singularly perturbed burger-huxley equation with RDTM," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 10, sayı 3, ss. 703–709, 2021.
- [117] M. M. Topaç ve İ. Bahar, "Bir askeri hizmet taşıtında kullanılan parabolik yaprak yayın yay karakteristiğinin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla belirlenmesi," *Journal of Polytechnic*, c. 22, sayı 1, ss. 115–120, Jan. 2019. ISSN:2147-9429
- [118] T. Çelik, İ. Mutlu, A. Özkan, and Y. Kişioğlu, "How does the material variation of dynamic hip screw affect the cut-out risk in the treatment of intertrochanteric femoral fractures ," *International Journal of Experimental and Computational Biomechanics*, c. 4, sayı 1, ss. 49–58, Jan. 2016. ISSN:1755-8735
- [119] Ö. Şengül ve M. Kam, "Ambar kapak açma vinç kancasının analitik analizi", *6. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, c. 6, sayı 6, ss 1259-1305, 2021.
- [120] T. Çelik, Ş. Tanrıverdi, A. Ural ve F. K. Fırat, "Kenet batma mesafesinin kayma dayanıma etkisinin sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi," *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, c. 12, sayı 2, ss. 63–68, 2020.
- [121] E. Demir, İ. Toktaş, M. T. Özkan, ve J. Gattmah, "Comparison with different models of tensile and compressive stress analysis on a cantilever beam model," *Second International Symposium on Engineering, Artificial Intelligence and Applications*, c. 6, sayı 12, ss. 103-115, 2014.
- [122] C. Özorak, F. Okay, E. Özorak, ve S. Islak, "Wear and microstructural properties of coatings on Weldox 700 steel," *Materials Testing*, c. 62, sayı 6, ss. 645–651, 2020.
- [123] X. Xinke, W. Yaopei, V. Vladislav, C. L. Vershinin ve L. Yanshan, "Effect of Lode angle in predicting the ballistic resistance of Weldox 700 E steel plates struck by blunt projectiles", *International Journal of Impact Engineering*, c.128, sayı 130, ss. 46-71, 2009. doi:10.1016/j.ijimpeng.2019.02.004 <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2019.02.004>
- [124] C. Özorak, F. Okay, E. Özorak ve S. Islak, "Wear and microstructural properties of coatings on Weldox 700 steel", *Materials Testing*, c.19, sayı 26, ss 263-379 2020. doi: 10.3139/120.111526

- [125] C. Kızılırmak, S. Aydın ve M. Y. Yardımcı, “Çelik lif kanca geometrisinin yüksek dayanımlı lifli betonların statik ve darbe yükleri altında eğilme özelliklerine etkisi,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 34, sayı 3, ss. 1609–1628, 2019.
- [126] Ö. Y. Bozkurt, A. Erkliğ ve M. Bulut, “Hybridization effects on charpy impact behavior of basalt aramid fiber reinforced hybrid composite laminates,” *Polymer Composites*, c. 39, sayı 2, ss. 467–475, 2018. doi:10.1002/pc.23957
- [127] M. Albayrak ve M. O. Kaman, “Charpy darbe testinin deneysel ve sayısal analizi,” *DÜMF Mühendislik Dergisi*, c. 10, sayı 3, ss. 945–957, 2019.
- [128] İ. Demirci ve İ. Sarıtaş, “Effects of nanographene added to the matrix material at different rates on the Charpy impact energy,” *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, c. 20, sayı 3, ss. 105–107, 2021.
- [129] A. Çiçek, E. Ekici, İ. Uygur, S. Akıncıoğlu ve T. Kıvak, “AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde derin kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılması,” *SDU International Journal of Technological Science*, c. 4, sayı 1, ss. 1–9, Haziran. 2012.
- [130] C. Özek ve M. Bal, “Termal sürtünmeli delme işleminde oluşan kovan boyutları ve mikro sertlik değişimlerinin araştırılması,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 36, sayı 1, ss. 511–525, 2021. doi:/556943
- [131] T. Teker, S. Karataş, and S. O. Yılmaz, “Hardness Changes of AISI 1020 Steel Surface Modified by Hardox 450 and FeB Powder Mixture,” *presented at the European Conference in Technology and Society*, Sarajevo, c.10, sayı 11,ss 458, 2013. ISSN:2303-4580
- [132] A. Kaya, H. İ. Kurt, M. Oduncuoğlu, ve E. Ergül, “The influence of mg on the tensile and hardness properties of Al-Cu-Mg-MgO-nanocomposites,” *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, c. 7, sayı 3, ss. 41–44, 2019.
- [133] H. Özden, K. Gök, S. İnal, F. Taşpınar, S. Orak, S. Öz ve E. Gülbandırlar, “Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak temporal kemiğin zayıf noktalarının statik analizi ve klinik uygulaması”, *Osmangazi Tıp Dergisi*, c. 39, sayı 2, ss. 11-17, 2017. doi:10.20515/otd.308056
- [134] F. Şen ve H. Palancıoğlu, “Çapraz takviye edilmiş kare delikli termoplastik kompozit levhalarda ısı gerilme analizi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 12, sayı 2, ss. 173-181, 2006.
- [135] H. Adin, “Düzlemsel yüklenmiş ortasında dairesel delik bulunan kompozit plakada oluşan elastik gerilmelerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi”, *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, c. 6, sayı 1, ss. 1-6, 2007.

- [136] F. Kaya, G. İnce, M. Avcı ve L. Yünlü, "Kalça protezi tasarımının sonlu elemanlar yöntemi ile statik analizi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 9, sayı 1, ss. 199-208, 2021. doi: 10.21923/jesd.839995
- [137] G. Özer, "1 4462 AISI 2205 Dupleks paslanmaz çelikte ısıtım işlem koşullarının faz değişimi sertlik ve korozyon davranışı üzerine etkilerinin incelenmesi," *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 10, sayı 1, ss. 426-431, 2021. doi:10.28948/ngumuh.806495
- [138] Y. Arslan, İ. Uygur ve H. Bayraktar, "Kriyojenik işlem uygulanmış soğuk iş takım çeliği zımba ile AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemenin işlenebilirlik performansının araştırılması," *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 2, sayı 3, ss. 61-75, 2013.
- [139] A.B. Özturan, G. İrsel ve B. N. Güzey, "A Study of the microstructure and mechanical property relationships of gas metal arc welded dissimilar Hardox 450 and S355J2C+N steel joints", *Materials Science and Engineering*, c. 6, sayı 12, ss 536-542, 2022. doi:10.1016/j.msea.2022.143486
- [140] G. İrsel, "Strength-based design of a fertilizer spreader chassis using computer aided engineering and experimental validation", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, c. 13, sayı 23, ss 2362-2375, 2021. <https://dx.doi.org/10.1177/0954406221993847>
- [141] D. Taştımür ve S. Gündüz, "AISI H10 sıcak iş takım çeliğinin mekanik özelliklerine temperleme ve yaşlanma işlemlerinin etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 36, sayı 3, ss. 1387-1398, 2021. doi:10.17341/gazimmfd.630497
- [142] A. Kalemtaş ve G. Arslan, "Silisyum karbür alüminyum karma yapılarında alüminyum karbür oluşumunun taramalı elektron mikroskobu ile incelenmesi," *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 10, sayı 1, ss. 249-257, 2009.
- [143] S. Başkut ve S. Turan, "Kaplama malzemelerin taramalı elektron mikroskobunda tahribatsız kimyasal analizleri," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 10, sayı 12, ss. 448-464, 2022. doi:10.29130/dubited.950588
- [144] O. Torun, İ. Çelikyürek, İbrahim. "FE3AL ve TI6AL4V Alaşımlarının Difüzyon Kaynağı". *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 235-240 . <https://doi.org/10.31796/ogummf.767224>
- [145] S. Güleç ve M. Çakmakkaya, "Demir esaslı intermetalik malzemelere paslanmaz çelik, çelik ve alüminyum saplamaların kondansatör deşarjlı saplama kaynağı ile birleştirilmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 13, sayı 8, ss.1-9, 2013.

- [146] M. Suzuki, T. Kameda, A. Doi, S. Borisov ve S. Babin, “Modeling of electron-specimen interaction in scanning electron microscope for e-beam metrology and inspection: challenges and perspectives,” *Proc. SPIE 10585, Metrology, Inspection, and Process Control Microlithography* c. 32, syı 35, ss 259-267, 2018. doi: 10.1117/12.2301383.
- [147] M. Özdemir, H. Gökmeşe, H. Dilipak ve V. Yılmaz, “Aşınmaya karşı dirençli sac malzemenin mikro yapısal karakterizasyonu ve şekillendirilebilirliğinin incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Tasarım ve Teknoloji*, c. 3, sayı 1, ss. 385–393, 2015.
- [148] M. C. Şenel, M. Gürbüz ve E. Koç, “SIC takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve mikro yapısının incelenmesi,” *Technological Applied Sciences*, c. 13, sayı 2, ss. 122–133, 2018.
- [149] B. Yavuzer ve D. Özyürek, “Tikso şekillendirme ile üretilen a356 alaşımında sıkıştırma süresinin mikro yapı ve sertlik üzerine etkisi,” *Uluslararası Mühendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi*, c. 13, sayı 3, ss. 9–14, 2021. doi:10.29137/umagd.1038092
- [150] M. Kam ve M. Demirtaş, “Analysis of tool vibration and surface roughness during turning process of tempered steel samples using taguchi method,” *Proceedings Of The Institution of Mechanical Engineers Part E-Journal of Process Mechanical Engineering*, c. 235, sayı 5, ss. 1429–1438, 2021. doi:10.1177/09544089211001976
- [151] M. Kam, “Effects of deep cryogenic treatment on machinability hardness and microstructure in dry turning process of tempered steels,” *Proceedings Of The Institution of Mechanical Engineers Part E-Journal of Process Mechanical Engineering*, c. 235, sayı 4, ss. 927–936, Ağustos. 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.1177/0954408920979446>
- [152] M. Kam ve U. Kabasakaloğlu, “Surface roughness analysis of cryo-treated and tempered steels in cylindrical grinding operation,” *Surface Review and Letters*, c. 28, sayı 11, ss 1123-1129, 2021. doi:10.1142/S0218625X21501079
- [153] D. Eraslan, A. Balcı, B. Çetin, vd. “Machinability evaluations of austempered ductile iron and cast steel with similar mechanical properties under eco-friendly milling conditions”, *Journal of Materials Research and Technology*, c.11, sayı 13 ss. 1443–1456, 2021. doi:10.1016/J.JMRT.2021.01.123
- [154] S. Buytoz, “AISI 4140 çelik yüzeyinde termoreaktif difüzyon yöntemiyle elde edilen tic kaplamasının mikroyapı özelliklerinin incelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 31, sayı 2, ss. 473-480, 2019. doi: 10.35234/fumbd.556225

- [155] A. K. Gr., M. H. Cengiz ve S. Taşkaya, "Mikroalaşımlı hardox 400 elik yüzeyinin plazma transferli ark kaynak yöntemiyle alaşımlandırılması ve incelenmesi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 10, sayı 3, ss. 969-979, 2019. doi:10.24012/dumf.529451



