ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

32CrMoV12-10 ÇELİĞİNE UYGULANAN FARKLI ISIL İŞLEM KOŞULLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE VE NİTRÜRLEMEYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Fatih DEMİR

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Fatih DEMİR tarafından hazırlanan ‘‘**32CrMoV12-10 Çeliğine Uygulanan Farklı Isıl İşlem Koşullarının Mekanik Özelliklere ve Nitrürlemeye Etkisinin İncelenmesi**’’ adlı tez çalışması 16/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI

Jüri Üyeleri :

Başkan **:** Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Bora AKIN
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**32CrMoV12-10 Çeliğine Uygulanan Farklı Isıl İşlem Koşullarının Mekanik Özelliklere ve Nitrürlemeye Etkisinin İncelenmesi**" konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı"yla tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (01/08/2022).

Fatih DEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

32CrMoV12-10 ÇELİĞİNE UYGULANAN FARKLI ISIL İŞLEM KOŞULLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE VE NİTRÜRLEMEYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Fatih DEMİR

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI

32CrMoV12-10 çeliği sanayide dayanım ve tokluğun önemli olduğu uygulamalarda sıkça kullanılan bir malzeme olup silah namluları, dişliler ve rulmanların imalatında kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerden parça üretiminde çoğunlukla ıslah ve yüzey sertleştirme (nitrürleme) ısıl işlemleri uygulanması önem arz etmektedir. Üretilen parçaların çalışma ömürlerinin uzun ve verimli olmaları için ısıl işlem koşullarının uygun bir şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılacak olan 32CrMoV12-10 çeliği ticari olarak temin edilip farklı koşullarda ısıl işleme tabi tutuldu. Üç farklı ısıl işlem sıcaklığı, üç farklı ısıl işlem süresi ve üç farklı soğutma sıvısı kullanıldı. Bu değişkenlerin malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelendi. TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) ile Taguchi Yöntemi kullanılarak ürün kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanıp numune hazırlama, Isıl İşlem ve Soğutma işlemi takip edilerek, deneylerden alınan; darbe çentik, sertlik ve çekme testlerinde numuneler gerekli aralıklarda bulunmuştur. Bulunan sonuçlardan en optimum değerleri veren numunenin ısıl işleminin nitrasyon derinliğine etkisi incelendi. Nitrasyon derinliğinin microvickers cihazında ölçümünden sonra yeterli düzeyde olduğu anlaşılmış ve çalışma sonlandırılmıştır.

2022, 67 sayfa

ANAHTAR KELİMLER: 32CrMoV12-10 çeliği, Taguchi Yöntemi, Isıl işlem, Nitrasyon, Mekanik özellikler

ABSTRACT

Master of Science Thesis

AN INVESTIGATION INTO DIFFERENT HEAT TREATMENT CONDITIONS ON MECHANICAL PROPERTIES AND NITRIDING OF 32CrMoV12-10 STEEL

Fatih DEMİR

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI

32CrMoV12-10 steel is a material that is frequently used in industries where strength and toughness are important in industry and is used in the manufacture of gun barrels, gears and bearings.In the production of parts from these materials, it is important to apply mostly curing and surface hardening (nitriding) heat treatments.It is very important to determine the heat treatment conditions appropriate to achieve a long and efficient fatigue life for produced. The 32CrMoV12-10 steel to be used in this study was supplied commercially and heat treated under different conditions.Three different heat treatment temperatures, three different heat treatment times and three different coolants were used. The effect of these variables on the mechanical properties of the material was investigated. It is aimed to improve product quality by using TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) and Taguchi Method.Sample preparation, Heat treatment and cooling processes were followed and the results of impact notch, hardness and tensile tests were found within the required ranges. The specimen that gives optimum heat treatment value from results, was examined for the effect on nitriding depth. After the nitration depth was measured in the microvickers device, it was understood that it was at a sufficient level and the study was terminated.

2022, 67 pages

Keywords: 32CrMoV12-10 steel, Taguchi Method, Heat treatment, Nitriding, Mechanical properties

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca yaptığım çalışma ve araştırmalarda tüm bilgi ve deneyimini benimle paylaşan gerek direktifleri gerek yönlendirmeleri ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen danışman Prof. Dr. Ahmet YARTAŞI'na şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarıma destek veren, Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye, çalışmalarıma hız kazandıran Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Bora AKIN'a yardımını esirgemeyen kıymetli Öğr. Gör. Dr. Haluk KORUCU ve Öğr. Gör. Dr. Mücahit UĞUR'a teşekkür ederim.

Ayrıca, yüksek lisans tez çalışmalarımda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli meslektaşlarım Mustafa Onur ÇETİN ve Onur Samed ÖZLER'e teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında her zaman desteğini ve yardımlarını eksik etmeyen kıymetli meslektaşım ve eşim Hanife DEMİR'e ve öğrenim hayatım boyunca her zaman sonsuz hoşgörü ve özveriyle beni maddi ve manevi destekleyen değerli annem Munise DEMİR, babam İsmail DEMİR ve ablam Ebrar KÜÇÜKKAYA'ya çok teşekkür ederim.

Fatih DEMİR
Çankırı, Ağustos 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vi**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**
1.GİRİŞ **1**
1.1 Çelik **2**
1.1.1 Orta karbonlu çelikler **3**
1.1.2 32CrMoV12-10 Çeliğinin üretimi ve kullanım yerleri **4**
1.1.3 Çeliklerin alaşım elementleri ve etkileri **5**
1.2 Çeliklerin Isıl İşlem Adımları **6**
1.2.1 Isıl işlem basamakları **6**
1.2.2 Çeliklere uygulanan ısıl işlemlerin neden-sonuç ilişkileri **8**
1.2.3 Çeliklerin ısıl işleminde dikkat edilmesi gereken hususlar **9**
1.2.4 Sertleştirme işlemleri ve basamakları **10**
1.2.5 Isıtma ortamları **10**
1.2.6 Isıtma hızı rampası **10**
1.2.7 Sertleştirme sıcaklığının seçilmesi **11**
1.2.8 Sertleştirme sıcaklığında tutma süresi **11**
1.2.9 Çeliklerin su verme işlemlerinin önemi ve yöntemleri **11**
1.3 Çeliklere Uygulanan Isıl İşlem Yöntemleri **13**
1.3.1 Tavlama işlemi **13**
1.3.2 Yumuşatma tavlaması işlemi **13**
1.3.3 Gerilim giderme tavlaması işlemi **14**
1.3.4 Yeniden kristalleştirme tavlaması işlemi **14**
1.3.5 Normalleştirme tavlaması işlemi **14**
1.3.6 Sertleştirme işlemi **14**
1.3.7 Islah etme işlemi **15**
1.3.8 Menevişleme işlemi **15**
1.3.9 Sementasyon işlemi **15**
1.4 Nitrürleme (Nitrasyon) İşlemi **16**
1.4.1 Nitrürleme işleminin avantajları **19**
1.4.2 Nitrürlemenin amacı ve uygulama alanları **19**

1.4.3 Nitrürleme atmosferi (ortamı) 20
1.4.4 Gaz nitrürleme 20
1.4.5 Tuz banyosunda nitrürleme 20
1.4.6 Plazma nitrürleme 20
1.4.7 Nitrürlenmiş malzemelerin yüzeylerinin mikroyapısı 21
1.5 Deney Tasarımı ve Taguchi Yöntemi 22
1.5.1 Tolerans tasarımı 23
1.6 Topsis Yöntemi 26
2. LİTERATÜR ÖZETİ 30
3. MATERYAL VE METOT 33
3.1 Çalışmada Kullanılacak Materyaller 34
3.2 Isıl İşlem İçin Numunelerin Hazırlanması ve Testlerin Gerçekleştirilmesi 34
3.2.1 Çentik darbe testi numune hazırlama 40
3.2.2 Darbe çentik testinin uygulanması 41
3.3.3 Çekme testi numunesi hazırlama 43
3.3.4 Çekme testinin uygulanması 43
3.3.5 Brinell cihazı ile sertlik testi 45
3.3.6 Micro sertlik ölçümü için numune hazırlığı 46
3.3.7 Micro sertlik ölçümü 47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 49
4.1 Çekme Deneyi Değerlerinin Taguchi Yöntemi ile Analizi 49
4.2 Darbe Çentik Deneyi Taguchi Yöntemi Analizleri 50
4.3 Sertlik Ölçme Deneyinin Taguchi Yöntemi ile Analizleri 51
4.4 Topsis Tabanlı Taguchi Yöntemi Sonuçları 52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 57
KAYNAKLAR 58
EKLER 61
ÖZGEÇMİŞ 67

SİMGELER DİZİNİ

K_A	A faktörünün kademe sayısı
V_A	A faktörünün serbestlik derecesi
V_B	B faktörünün serbestlik derecesi
V_C	C faktörünün serbestlik derecesi
V_T	Dizinin toplam serbestlik derecesi
N	Dizinin toplam veri derecesi
Kn	Nitrürleme potansiyeli
L_n	Ortogonal dizi
ºC	Santigrat derece
S/N	Sinyal/Gürültü
HB	Brinell Sertliği
HV	Vickers Sertliği

KISALTMALAR DİZİNİ

HMK	Hacim merkezli kübik
HSP	Hegzagonal sıkı paket
TOPSIS	İdeal çözümlere yakınlık yoluyla tercihlerin sıralanması tekniği
YMK	Yüzey merkezli kübik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Isıl işlem uygulanabilir çeliklerin metal alaşımlardaki konumu (Callister and Rethwisch 2009) 3
Şekil 1.2 Genel ısıl işlem prosesi ısıtma rampası (Tekin 1984) 7
Şekil 1.3 Fe-C denge diyagramı (Topbaş 1998) 8
Şekil 1.4 Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak aşama kaydeden nitrürleme prosesi 18
Şekil 1.5 Taguchi Yöntemi off - Line ve on - Line olarak ürün ve proses tasarımı 23
Şekil 1.6 Taguchi Yöntemi deney tasarımı akış diyagramı 24
Şekil 3.1 32 CrMoV12-10 Çeliğinin ısıl işleme atölye ortamında hazırlanışı. 33
Şekil 3.2 32CrMoV12-10 Çeliğinden eşit et kalınlıklarında atölye ortamında dilimlenmiş ısıl işleme hazır numuneler 35
Şekil 3.3 Numune ısıl işlem sıcaklığı ve zaman dilimi 37
Şekil 3.4 Atölye ortamında, deney sürecindeki ısıl işlem ve su verme aşamaları 38
Şekil 3.5 Isıl işlem sonrası kabuklu yüzey 39
Şekil 3.6 Kumlamadan (S170) sonra yüzey 39
Şekil 3.7 Darbe çentik testi için ISO 148-1 standardına uygun numunenin şematik gösterimi 40
Şekil 3.8 Darbe çentik testi için hazır ölçülere getirilen numune parçasının çentik kanalı kısmının freze tezgahında açılması işlemi. 40
Şekil 3.9 Darbe çentik test cihazının çalışma prensibini gösteren, kafes sistemi ile korunan iç mekanizmaların şematik gösterimi 41
Şekil 3.10 Atölye ortamında darbe çentik test cihazı 42
Şekil 3.11 Darbe çentik testinden önce ve sonra numune görüntüleri 42
Şekil 3.12 Çekme test çubuğu numunesinin mm cinsinden ölçüleri ve şematik gösterimi 43
Şekil 3.13 Atölye ortamında Galdabini marka çekme testi cihazı 44
Şekil 3.14 Çekme testi numunesinin testten önce ve sonra numune görüntüleri 45
Şekil 3.15 Atölye ortamında Wolpert marka Brinnel sertlik ölçme cihazı 46
Şekil 3.16 Atölye ortamında bakalite alınmış numuneler 46
Şekil 3.17 Atölye ortamında bakalite alınan numunelerin analiz öncesi yüzey temizliği 47
Şekil 3.18 Atölye ortamında Ness marka mikro sertlik analiz cihazı 48
Şekil 4.1 Taguchi Yöntemine göre çekme deneyine ait larger is better önerisi 50
Şekil 4.2 Taguchi Yöntemine göre darbe çentik deneyine ait S/N oranları 51
Şekil 4.3 Taguchi Yöntemine göre sertlik deneyine ait S/N oranları 52
Şekil 4.4 Topsis tabanlı Taguchi Yöntemi larger is better 53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Çelik alaşımları ve etkileri (Tekin 1984) 5
Çizelge 1.2 Euro Norm 20-74'e göre çeliklerin alaşımlı çeliklere dahil olabilmesi için minimum değerleri 6
Çizelge 1.3 Nitrürleme ile ilgili patent çalışmaları (Phadke 1989) 17
Çizelge 1.4 Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu (Phadke 1989) 25
Çizelge 3.1 32CrMoV12-10 Malzemesinin kimyasal analizi (% Ağırlıkça) 34
Çizelge 3.2 Deney tasarımının için kullanılacak faktör ve her faktöre karşılık gelen seviye değerleri 35
Çizelge 3.3 L_9 ortogonal dizisinin oluşturulmasını istediği deney tasarımı (yapılması istenen deneyler), faktörlerin seviye çeşitlerine göre atadığı veri setleri 36
Çizelge 4.1 L_9 Taguchi Yöntemine göre, yapılan deney sonuçları 49
Çizelge 4.2 Isıl işlem deneyleri için ağırlıklı uygulama ile S/N oranlarını kullanarak Topsis Yöntemi uygulaması 55
Çizelge 4.3 Taguchi ve topsis yöntemlerine göre belirlenen (numune 10) ve karşılaştırma yapılması için belirlenen (numune 3) deney sonuçları 55
Çizelge 4.4 Numune 3 ve 10'un nitrasyon işlemi deney sonuçları 56

1.GİRİŞ

Çelik her türlü istenmeyen elementlerden ve bileşimlerden arındırılmış genelde %1,5'dan daha az karbon içeren demir alaşımıdır. Kullanılacak yere göre malzemeye çeşitli özellikler molibden, krom, vanadyum vb. elementlerin belirli oranlarda eklenmesi ile kazandırılır. Kimyasal olarak değişen içyapı malzemenin tokluk, aşınma dayanımlarını arttırır. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli ısıl işlemler tanecik boyut değişikliği ile kullanım amacına göre çeşitli özelliklerde çelik elde edilir.

Çeliklerin büyük bir kısmı ısıl işlemlere karşı duyarlıdır. Kimyasal bileşimine ek olarak uygulanan ısıl işlemler neticesinde istenilen sertlik, fiziksel yapı, elektriksel özellik, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanım özelliklerini gösterir (HASCOMETAL 2017).

Günümüzde 32CrMoV12-10 çeliği sanayide dayanım ve tokluğun önemli olduğu uygulamalarda sıkça kullanılan bir malzeme olup silah namluları, dişliler ve rulmanların imalatında kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerden parça üretiminde çoğunlukla ıslah ve yüzey sertleştirme (nitrürleme) ısıl işlemleri uygulanması önem arz etmektedir. Üretilen parçaların çalışma ömürlerinin uzun ve verimli olmaları için ısıl işlem koşullarının uygun bir şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir (ARMAD 2021).

Isıl işlem ve ısıl işlem sonucundaki parçaların test aşamaları oldukça zahmetli aynı zamanda maliyet olarak da külfetli bir iştir. Bu yüzden deney sayısını indirgeyip bize en mantıklı tahminleri yapan Taguchi Metodunu deneylerde kullanarak hem zamandan hem de maliyetten tasarruf edilmiştir.

Deneyler sonucunda en iyi optimum sonucu veren deney yöntemi analizi için yani tek bir deney yöntemi belirlenebilmesi için Taguchi Yöntemine ek olarak TOPSİS yöntemi kullanılmıştır. Çalışma neticesinde sertlik, darbe çentik ve çekme deneylerinin sonuçları karşılaştırılıp içinden en iyi sonucu veren numunenin deney yöntemi tespit edilmiş olup, seçilen numunenin nitrasyonda gösterdiği derinlik etkisi bizim için oldukça önemlidir.

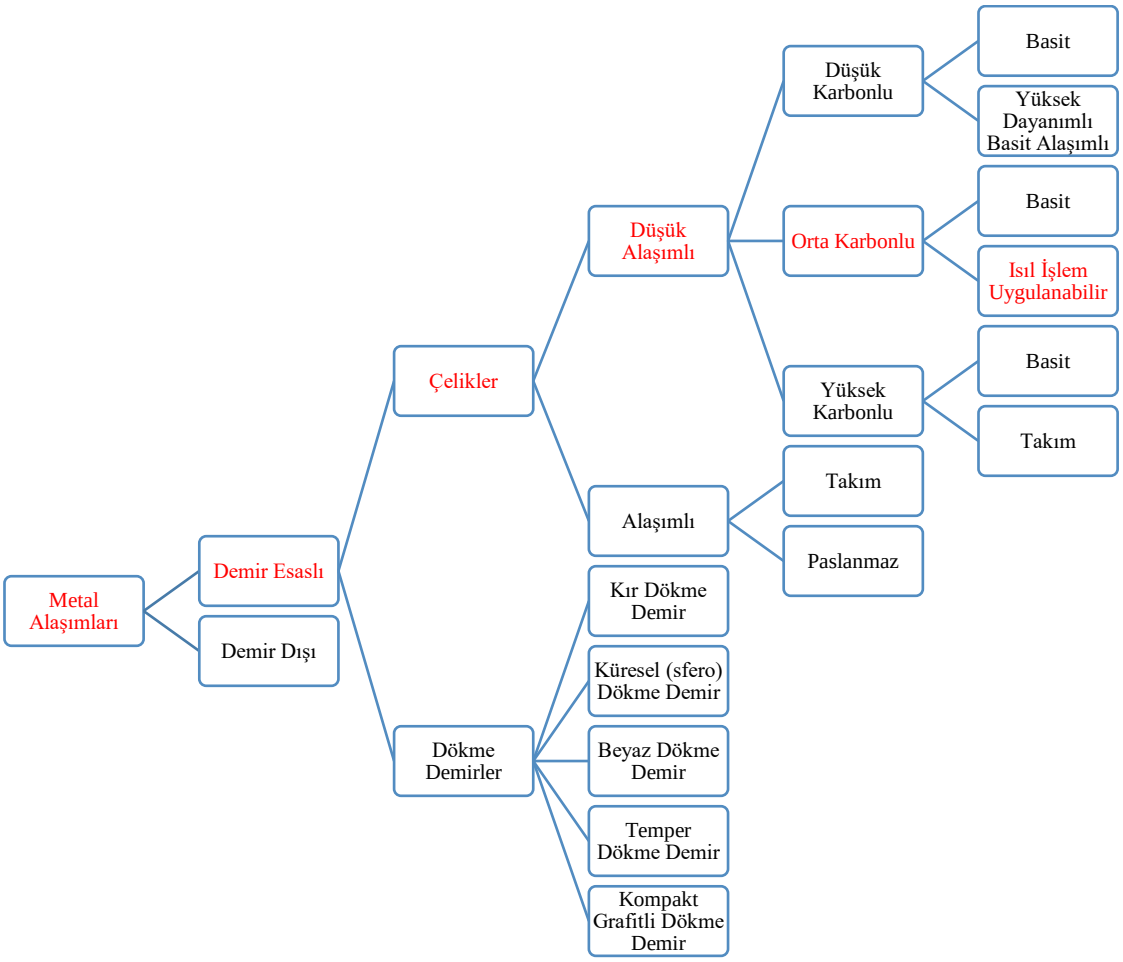
Yapılan ısıl işlem malzemenin nitrasyon kabiliyetini etkiler ve dolayısıyla uygun koşullarda yapılmayan ısıl işlem malzemenin hızlı korozyonuna, düşük aşınma ve yorulma direnci sergilemesine neden olur. Gereken yüzey ve çekirdek sertliği ise nitrasyon işleminden sonra incelenip çalışma tamamlanmıştır.

1.1 Çelik

Çelik, yapısında demir ve karbon ihtiva eden bir alaşımdır. Çeliğin yapısında karbondan başka farklı oranlarda alaşım elementleri ve safsızlık elementleri bulunur. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin iç yapısıdır. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vb.) ile içyapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özelliklerde çelik elde edilir (HASCOMETAL 2017).

Çeliklerin mekanik özellikleri içerdikleri karbon miktarından önemli ölçüde etkilenir ve karbon miktarı çoğunlukla %1'in altındadır. Çok kullanılan bazı çeliklerin düşük karbonlu, orta karbonlu ve yüksek karbonlu çelikler olarak da alt gruplara ayrıldığı görülür. Aynı şekilde içerdikleri diğer alaşım elementleri miktarına bağlı olarak da bazı alt gruplandırmalar söz konusudur. Örneğin basit (yalın) karbonlu çelikler sadece karbon ve az miktarda Manganez içerirken alaşımlı çelikler, özellikle belirli miktarlarda ilave edilmiş olan diğer alaşım elementlerini de içerirler. Düşük karbonlu çelikler tüm çelik türleri içinde en çok üretilen ve en geniş kullanım alanına sahip çelik grubunu oluşturur. Bu çelikler genellikle ağırlıkça % 0,25'den daha az oranlarda karbon içerir ve martenzitik dönüşümü hedefleyen ısıl işlemlere duyarsızdır. Bu nedenle, daha çok soğuk şekillendirme ile dayanımları arttırılabilir. Bu çeliklerin mikro yapıları ferrit ve perlitten oluşur. Bunun neticesinde, nispeten yumuşak ve düşük dayanımın yanı sıra, yüksek süneklik ve tokluk özelliklerine sahiptirler. Ayrıca bu çelikler talaşlı imalata, kaynakla birleştirmeye uygun özellikler sergilemekte olup diğer tüm çeliklere oranla daha düşük maliyetle üretilebilir. Tipik olarak otomotiv sektöründe araç gövdesi ve parçalarının imalatında, I profil, U profil gibi muhtelif kesitlerdeki yapı çelikleri şeklinde çeşitli mühendislik yapılarının imalatında, saç ve levha gibi şekillerde ise boru hatları, binalar, köprüler ve içecek kutularının imalatı gibi uygulamalarda kullanılır.

Çelik ile demir benzer bir yapıdadır. Saf demir yumuşak bir yapıya sahiptir. Onun içine % 1,8 oranında karbon katılması ile inanılmaz bir mukavemet, sertlik ve mekanik özellik kazanmış olur. Bu yüksek mukavemetli yapıya çelik denir. Demirin kolay ve ucuz elde edilmesi nedeniyle çeliğin de kullanımı yaygınlaşmıştır. Isıl işlem uygulanabilir çelikler Şekil 1.1'de gösterilmiştir (Callister and Rethwisch 2009).



Şekil 1.1 Isıl işlem uygulanabilir çeliklerin metal alaşımlardaki konumu (Callister and Rethwisch 2009)

1.1.1 Orta karbonlu çelikler

Orta karbon çelik sınıfında karbon oranı % 0,25 - % 0,6 aralığında yer alır. Mekanik özellikleri ısıl işlem ile (östenit, su verme ve temperleme) iyileştirilebilir. Temperlenmiş martenzit olarak kullanılan bu çelik sınıfı düşük sertleşme kabiliyetine sahiptir. Ancak temperleme işlemlerinden sonra ani soğutma (su verme) ile çok iyi sertleştirme

kazanımı sağlanmış olur. Orta karbonlu çeliklerin yapısına vanadyum, krom, molibden ilavesi çeliğin ısıl işlem performansını artırır. Bu sayede farklı dayanım, aşınma süneklik kabiliyetleri çeliğe kazandırılmış olur (Callister and Rethwisch 2009).

1.1.2 32CrMoV12-10 Çeliğinin üretimi ve kullanım yerleri

Bilindiği üzere kimyasal karbon element içeriği % 2'ye kadar olan demir alaşımına çelik, % 2'den fazla karbon içeriğine sahip olan alaşımlar ise pik demiri olarak adlandırılmaktadır. 32CrMoV12-10 çeliğinin üretim prosesinde birinci aşama olarak hurda çeliği bir ergitme potası içine alınarak başlatılır, karbon elektrotlar vasıtasıyla ergitme işlemi başlatılır. Oksijen üfleme ve deoksidasyon (potaya Al ve Si elementleri oksijen giderici olarak eklenir ve cüruf olarak dışarı alınır) süreçleri ile ilerleyen proses elektrot gücü ve üretim miktarına bağlı olarak ergitme süresi değişiklik gösterebilir. İkinci aşamada eriyik potası alaşım kazandırma ünitesine alınır. Cr, Mo, V, alaşım elementleri istenilen üretim miktarına bağlı olarak eklenir ve argon gazı vasıtasıyla karıştırma homojen olarak sağlanır. İstenilen kimyasal içerik değerleri alaşım işlemi devam ederken kontrol edilir ve optimum sonuç yakalandığında diğer aşamaya geçilir. Üçüncü aşamada ise çeliğin kullanım aşamasında mekanik özelliklerini olumsuz yönden etkileyen en önemli iki unsur, içinde bulunan hidrojen ve kükürt içeriğidir, bunların giderimi için vakumlama ünitesine taşınan pota 15-20 dakika sürebilen vakumlamadan sonra potadaki eriyik üretimi yapılacak ürüne göre farklı tonajlarda 5-15-20 tonluk kalıplara dökülür ve çelik alaşımı hazırlanmış olur. Bu işlemlerden sonra çeliğin kullanım amacına ve boyutuna göre dövme ile şekillendirme aşamasına getirilmektedir. Dövme işlemine başlamadan önce tav fırınlarında haddeleme sıcaklığına getirilen çeliğin dövme işlemine başlanır ve proses sonlandırılır (HASCOMETAL 2017).

Endüstride yaygın kullanım alanına sahip ıslah çelikleri; kimyasal bileşimlerindeki karbon miktarı (% 0,25 C ile % 0,6 C) bakımından, sertleştirilmeye oldukça elverişli ve ıslah işlemi uygulanması sonucunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir. Islah işlemi, çelik malzemeleri sertleştirme ve arkasından temperleme işlemi uygulanmasıyla yüksek tokluk özelliğinin kazandırılması olarak tanımlanmaktadır. Bu çelikler ıslah işlemi

sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerinden dolayı orta kalibre silah yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca makine parçaları, krank mili, aks mili ve yivli mil gibi parçaların imalatında olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahip malzemelerdir (ARMAD 2021).

1.1.3 Çeliklerin alaşım elementleri ve etkileri

Çizelge 1.1 Çelik alaşımları ve etkileri (Tekin 1984)

Alaşım Elementi	Alaşıma Etkisi
Karbon (C)	Çeliklerin özelliklerini etkileyen en önemli faktör alaşımındaki karbon yüzdesidir. Karbon çeliğin akma ve çekme dayanımını artırırken şekil alma yüzdesel uzama ve kaynak kabiliyetini azaltır. Karbon miktarı artıkça işlene bilirliği azalırken dayanım kuvveti artmaktadır.
Mangan (Mn)	Mangan çeliğin dayanım kuvvetini, kaynak kabiliyetini, sertleşe bilirliğini artırıcı etki gösteren östenit bir kararlaştırıcıdır. Manganın en temel işlevi kırılganlığa sebep olan FeS oluşumunu engellemektir.
Silisyum (Si)	Malzemenin akma ve çekme dayanımını artırır. Yüksek süneklik gerektiren çeliklerin alaşımında kullanılır.
Kükürt (S)	Kükürt malzemenin tokluğunu ve yüzde uzamasını artıran bir elementtir. Çelikteki tokluğu ve sünekliği ise önemli ölçüde azaltıcı etkisi vardır. Alaşımda FeS bileşimi sıcak kırılganlığa sebep olur. Bu reaksiyonu engellemek için alaşım içine mangan eklenerek MnS bileşiğinin oluşması sağlanır.
Krom (Cr)	Paslanmaz çeliklerde korozyon ve oksidasyon direnci sağlayan temel bileşik elementidir. Aynı zamanda çeliğin sertleşme kabiliyetini artırır.
Nikel (Ni)	Yüksek basınca dayanıklı yerlerde kullanılan çelikler için baş alasım elementi olan nikel darbe dayanımı artırır. Aynı zamanda paslanmaz çeliklerde korozyonu önleyen kromdan sonra en önemli alaşım elementidir.
Molibden (Mo)	Molibden tane kabalaşmasını önleyerek malzemenin sertleşebilme özelliğini artırarak aşınma direncine katkı sağlayan bir alaşım elementidir. Tane inceltici etkisi ile çeliklerde akma ve çekme dayanımını artırır. Tane inceltici ve karbür yapıcı etkisinden dolayı niyobyum ve titanyum ilebirlikte mikro alaşımlı çeliklerde kullanılır.
Vanadyum (V)	Tane inceltici etkisi ile çeliklerde akma ve çekme dayanımını artırır. Tane inceltici ve karbür yapıcı etkisinden dolayı niyobyum ve titanyum ile birlikte mikro alaşımlı çeliklerde kullanılır

Çizelge 1.2 Euro Norm 20-74'e göre çeliklerin alaşımlı çeliklere dahil olabilmesi için minimum değerleri

Element	Alt Sınır Element Değerleri(%)
Cr	0.30
Mo	0.08
V	0.10
Mn	1.60
Co	0.10
Ni	0.30
P	0.05
S	0.05

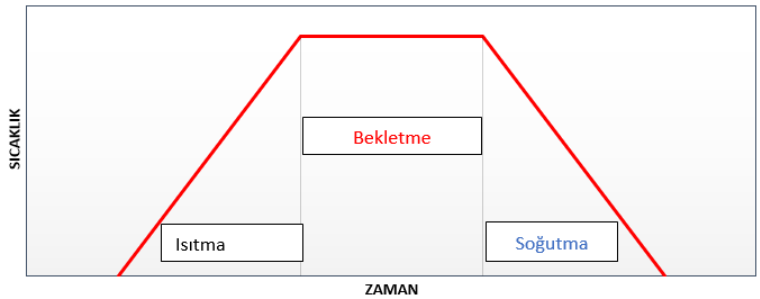
1.2 Çeliklerin Isıl İşlem Adımları

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte çeliklerin yaygın kullanımı ve buna bağlı olarak mekanik ve metalografik özelliklerinin geliştirilmesinde, çeliğe uygulanan ısıl işlemlerin önemi artmaktadır (Callister and Rethwisch 2009).

Isıl işlem, çeliklere üstün performans kabiliyeti kazandırmak amacıyla uygulanan tekniklerin başında gelir. Teknolojik yöntemlerle kazanılan bu özellikler, çeliği ısıl işlem yöntemi ile istenilen düzeye getirir. Bu işlem çeliğin yapımı kadar önemlidir. Isıl işlem yöntemi ile mekanik özellikler değiştirilebilir, gerek imalat sırasında işlem kolaylığı sağlamak için gerekse imalat sonrası kullanım yerinin gerektirdiği değerleri sağlamak için çeşitli işlemlerle değiştirilebilir (Uzkut ve Özdemir 2001).

1.2.1 Isıl işlem basamakları

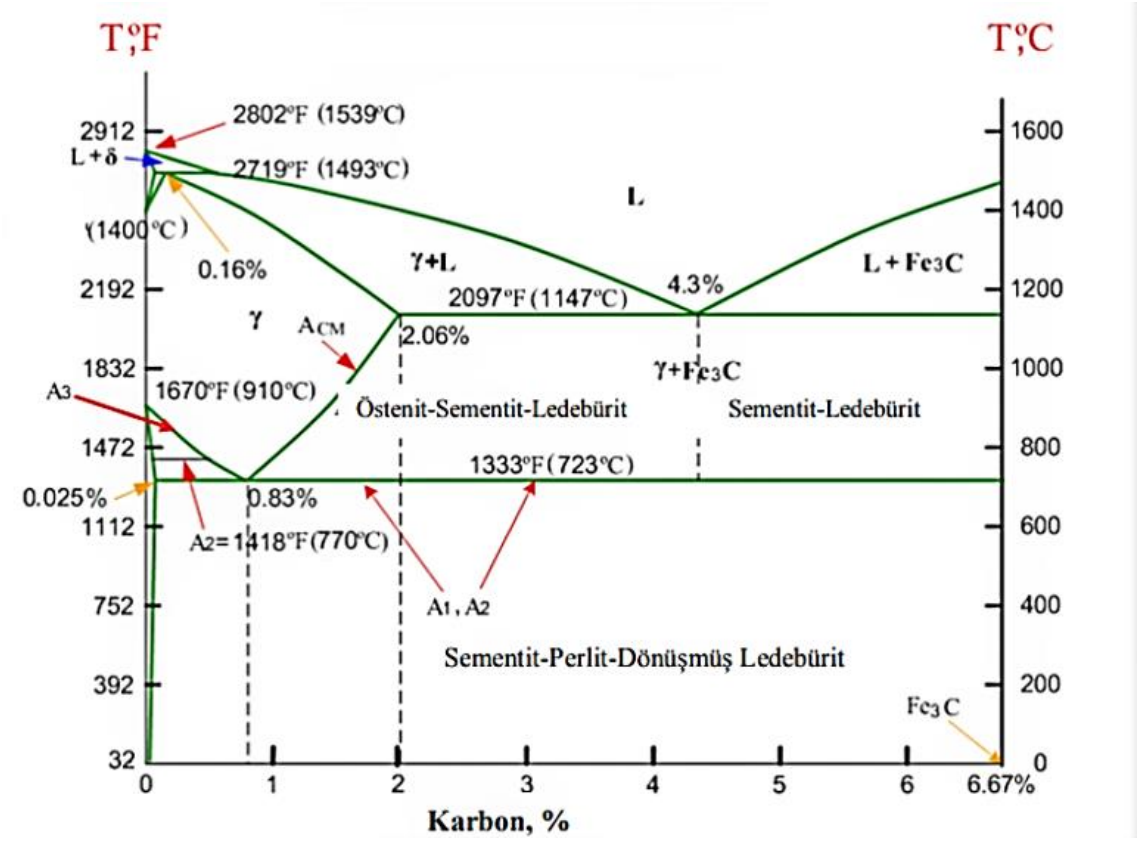
Bir çeliğin sertleştirme işlemi sonrası yapısı, bu işlemi takiben uygulanacak temperleme ile değişebilme kabiliyetine sahip bir başlangıç yapısı olarak irdelenebilir. Sertleştirme işleminin sonucu, her biri önemli olabilecek çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler sıcaklık, sıcaklığı homojen sağlayabilme, sıcaklık süreleri ve su verme şeklinde sıralanabilir. Su vermede kullanılan ısı transfer yağı, tuzlu su gibi çeşitli kimyasalların değişkenliğine göre farklı sonuçlar elde edilebilir (Callister and Rethwisch 2009).



Şekil 1.2 Genel ısıl işlem prosesi ısıtma rampası (Tekin 1984)

Çeliklere uygulanan bütün temel ısıl işlemler östenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Başka bir deyişle; bir çeliğin fiziksel ve mekanik özellikleri içerdiği dönüşüm ürünlerinin cinsine, miktarına ve metalografik yapısına bağlıdır (Topbaş 1998).

Şekil 1.3'deki diyagramın % 2C bileşimine kadar olan kısmının çelik olduğu görülmektedir. Belirli bir karbon bileşimine sahip bir çelikte amaçlanan uygulama için, farklı ısıl işlem prosedürleri uygulanarak çeliğin yapısının kazanacağı özellik Fe-C denge diyagramı bakılarak anlaşılabilir.



Şekil 1.3 Fe-C denge diyagramı (Topbaş 1998)

1.2.2 Çeliklere uygulanan ısıl işlemlerin neden-sonuç ilişkileri

Isıl işlemin çelikler üzerindeki davranışları, malzemenin yüzdesel olarak içermiş olduğu alaşım elementlerinin katkı miktarına doğrudan bağlıdır. Buna göre her bir çeliğe özel alaşım miktarına bağlı olarak Fe-C denge diyagramı mevcuttur. Isıl işleme başlamadan önce bu diyagram göz önünde bulundurularak, malzemede istenen özelliklere (mukavemet, tokluk, süneklik vb.) göre ısıl işlem parametresi belirlenip uygulanır. Aynı zamanda malzemede imalat sırasında çatlağa sebep olacak gerilmeler olabilir, talaşlı ya da talaşsız imalatta yani kaynaklanma ve talaş kaldırma işlemleri sırasında meydana gelen bu gerilimi gidermek için özel ısıl işlem prosesleri izlenerek malzemenin uzun ömürlü olması sağlanır.

Bu verilen örnekler gerek kimyasal gerekse fiziksel anlamda alaşımın yapısının amaçlanan yere ve uygulamaya göre her birine farklı ısıl işlem yöntemleri uygulanarak nihai sonuç alınabilir.

1.2.3 Çeliklerin ısıl işleminde dikkat edilmesi gereken hususlar

Kristal yapısı bozuk ve içinde serbest H atomu bulunduran alaşımlara sertleştirme işlemi uygulanırsa malzeme çarpılır ve çatlamalar meydana gelir. Sertleştirme işleminin sağlıklı olabilmesi için tane kabalaşması olmayan malzeme gereklidir. Çünkü iri taneli malzemelerin sertleştirme işleminden sonra gevreklik, kırılganlık oranı artmaktadır. Bu yüzden sertleşme özelliği kazandırılmadan çeliğin yapı dokusu incelenmeli, düzensizlikler ve tane irilikleri uygun ıslah yöntemi (normalize) ile giderilmelidir (Topbaş 1998).

Malzemenin homojen bir şekilde ısıtılması gerekmektedir, bu işlem aynı cins termokupllardan oluşan ve kalibrasyon ayarı düzgün ölçüm cihazlarıyla yapılır. Düzgün homojen bir ısıtma sistemi olmaz ise sertlik malzemenin her yerinde aynı olmayacaktır. Homojen bir ısıtma için fırın dinamiği sabit aynı zamanda PID kontrollü zaman ayarlı fırın tercih etmek de yarar vardır (Topbaş 1998).

Malzeme sertleştirme işlemine başlamadan önce malzemenin hem üzerinde hem de malzeme delikli ise iç cidarlarda bulunabilecek yağ, kir ve oksit gibi yabancı maddeler mümkünse pamuklu iz bırakmayan eldiven ile yahut harbi vasıtasıyla temizlenmelidir. Bu temizliğin amacı sertleştirme sırasında bu maddelerin bulunduğu kısımlar bir difüzyon engelleyici tabaka misali ısının malzemenin diğer kısımlarına nazaran daha az sıcaklığa maruz kaldığından dolayı homojen olmayan ve istenmeyen bir sertlik dağılımı gözlenir

Malzeme üzerindeki kızak, delik, kanal, vida dişleri ve keskin köşelerin yüksek sıcaklıktan dolayı et kalınlığı, ince cidarlı olması vb. durumlardan dolayı çarpılma olur.

Bunu engellemek adına ateş toprağından yapılmış çamur veya kömür tozu ile kaplanması işlemleri yeterli olacaktır (Topbaş 1998).

1.2.4 Sertleştirme işlemleri ve basamakları

Bir çeliğin sertleştirme işlemi sonrası yapısı, bu işlemi takiben uygulanacak temperleme ile değişebilme kabiliyetine sahip bir başlangıç yapısı olarak irdelenebilir. Sertleştirme işleminin sonucu, her biri önemli olabilecek çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler sıcaklık, sıcaklığı homojen sağlayabilme, sıcaklık süreleri ve su verme, su vermede kullanılan ısı transfer yağ, tuzlu su gibi çeşitli kimyasalların değişkenliğine göre farklı sonuçlar elde edilebilir (HASCOMETAL 2017).

1.2.5 Isıtma ortamları

Elektrikle ısıtılan fırınlar anlık geri besleme kontrollü, elektrik akımının ısı enerjisine dönüştüğü ve bu ısının homojen olarak dağılmasını aynı zamanda havanın çeliğin içine girmesini engelleyen retort kısmından oluşur. Eğer fırınlar kontrollü atmosferli değillerse, bu fırınlarda yapılan ısıtmalar için çelik, tavlama kutusu (retort) içine bir miktar koruyucu malzeme ile paketlenerek konur. Koruyucu malzemenin mümkün olduğu kadar nötr olmasına dikkat etmelidir. Bu malzeme sadece belli bir karbon miktarındaki ve belli bir sıcaklıktaki çeliğe karşı nötr özelliktedirler (HASCOMETAL 2017).

1.2.6 Isıtma hızı rampası

Isıtma hızı rampası malzemenin cinsine, et kalınlığına göre değişebilen bir faktördür, bu rampanın eğimi malzemenin homojen ısınması gerektirir, eğer hızlı bir ön ısıtma yapıldıktan sonra üst sıcaklık değerlerine çıkılırsa malzemenin dış çapı ile merkezi arasında yüksek sıcaklık farkı olacağından dolayı homojen olmayan bir sıcaklık

dağılımı ve düzensiz sertleşme olup ile malzemenin yapısı bozulacaktır. Çeliğin dönüşüm sıcaklığına yakın bir ön ısıtma yapılırsa malzemede çatlak ya da distirsiyona rastlanmaz (ATAÇELİK 2017).

1.2.7 Sertleştirme sıcaklığının seçilmesi

Deney seti bilgi paketlerine dayanarak her bir grup çelik için sertleştirme sıcaklık aralığı saptanmıştır. Su verme aralığı adı verilen sıcaklık değeri yüksek mukavemet ve sertlik ile ince tane yapılı bir çelik yapısı oluşturacak şekilde seçilmesi gerekmektedir (HASCOMETAL 2017).

1.2.8 Sertleştirme sıcaklığında tutma süresi

Amaçlanan uygulamada kullanılacak çelik sıcaklığın doğru seçilmesi halinde, sertleşme sıcaklığına ulaştığı an östenitik bir yapıya sahiptir. Sertleşme sıcaklığında östenit süresi, katı eriyik içine alınması istenilen karbür miktarına bağlıdır, buda seçilen her çelik tipi için kimyasal bileşimine göre fark göstermektedir (Topbaş 1998).

1.2.9 Çeliklerin su verme işlemlerinin önemi ve yöntemleri

Sertleştirme için uygulanan soğutma yöntemleri, çeliğin cinsine, parçanın şekline ve çeliğe kazandırılacak özelliklere bağlıdır (Callister and Rethwisch 2009).

Su verme işlemi malzemenin belirli sıcaklığa kadar ısıtılması ve ani olarak soğutulmasıyla sertleştirilmesi şeklinde tarif edilebilir. Bu bağlamda, sertleştirme sıcaklığının seçiminin önemi kadar su verme sıcaklığının seçimi de önem arz etmektedir (HASCOMETAL 2017).

Seçilen sertleştirme sıcaklığı malzemenin en küçük tane yapısı aynı zamanda maksimum sertliği verecek şekilde belirlenmiştir. Bu sıcaklık değerlerinin dışına çıkıldığında istenilen sonuçların alınamayacaktır. Bunlara ek olarak seçilen sertleştirme

sıcaklığının tutma süresi, malzemenin alaşımına tane boyutuna da bağlıdır (Topbaş 1998).

Malzemenin soğutma ortamının tercihi doğrudan malzemenin alaşım miktarına bağlı olarak değişir. Düşük alaşım için su ve tuzlu su çözeltisi tercih edilirken, yüksek alaşımlı malzemeler için ısı transfer yağ tercih edilir. Çünkü yağ çarpılmayı önleyici, daha yumuşak aynı zamanda suya nazaran daha uzun soğutma süresi vardır (HASCOMETAL 2017).

1.2.9.1 Suda soğutma işlemi

Bu yöntemde herhangi bir katkı maddesi olmadan direkt su ile soğutma gerçekleştirilir. Suyla su vermede en dikkat edilecek husus suyun sıcaklığının minimum $20^{o}C$, maksimum $40\ ^{o}C$ olacak şekilde işlem yapılmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda doğal olarak soğutma kapasitesi düşecektir (Joseph 1973).

1.2.9.2 Yağda soğutma işlemi

Isı transfer yağında su verme işlemi 50-80 ^{o}C aralığında yapılmaktadır. Bu yöntemde malzeme daha yumuşak ve çarpılma riskinin en az olduğu ortamla karşılaşacaktır. Yağ ile su vermede yağ sıcaklığı yüksek olduğu için karıştırıcılar muhakkak kullanılmalıdır bu sayede homojen ve kısa sürede soğutma işlemi gerçekleşecektir (Joseph 1973).

1.2.9.3 Tuzlu su çözeltisinde soğutma işlemi

Bu işlem suda su vermedeki verimi arttırmak için suya % 10 konsantrasyonda NaOH ya da NaCl ilavesidir. NaCl (sofra tuzu) korozyona sebep olduğu için daha çok NaOH tercih edilmektedir. Tuzlu su kullanımdaki amaç yüksek sertleşme derinliğini arttırarak iç yapıdaki gerilmeleri azaltmaktır (Topbaş 1998).

1.2.9.4 Havada soğutma

Yüksek hız çeliklerinde tercih edilir. Soğuma hızı zorlanmış taşınım olmadığı için oldukça yavaştır. Normal sakin bir havanın soğutma hızı suyun soğutma hızından % 1'den daha azdır (ATAÇELİK 2017).

1.3 Çeliklere Uygulanan Isıl İşlem Yöntemleri

Çeliğin mukavemetini, tokluğunu aynı zamanda sünekliğini kullanım amacına göre optimum seviyede tutmak için belirli ısıl işlem yöntemleri mevcuttur, bu işlemler gerektiğinde tane yapısına bağlı olarak tekrar edilebilir niteliktedir. (ATAÇELİK 2017).

1.3.1 Tavlama işlemi

Tavlama işlemi sıcak haddeleme öncesi belirli sıcaklıklara çıkılarak malzemenin plastik şekillendirme kabiliyetini arttırmak ya da malzemenin içyapısındaki özellikleri değiştirmek amacıyla belirli sıcaklığa çıkarılıp yavaş soğuma işlemlerine tabi tutulma sürecidir (Tekin 1984).

1.3.2 Yumuşatma tavlaması işlemi

Bu tavlama yönteminde amaçlanan, malzemenin talaşlı imalata hazırlanmasıdır. Yumuşatma tavlaması malzemenin sertliğini minimum sertliğe getirir dolayısı ile işlenmesini kolaylaştırmış olur (Tekin 1984).

Küreleştirme tavlaması olarak da bilinen bu işlemden sonra ince uzun yapıdaki karbür plakalar, daha kısa ve küresel bir yapıya dönüştürülür, dolayısı ile çelik daha yumuşak ve işlenmesi kolay bir hal alır (Tekin 1984).

1.3.3 Gerilim giderme tavlaması işlemi

Çeliğin işlenmesi, kaynaklanması, aşırı ısıtılıp ani soğutulması gibi durumlar sonucunda malzeme içinde farklı yönlerde gerilmeler meydana gelir. Gerilim giderilmesi amacıyla faz dönüşüm sıcaklığının altında en fazla iki saat bekletilerek iç gerilmelerin giderilmesi sağlanır (HASCOMETAL 2017).

1.3.4 Yeniden kristalleştirme tavlaması işlemi

Rekristalizasyon olarak da bilinen bu yöntemde amaç plastik şekil verme yöntemiyle şekillendirilen çeliğin tane yapılarında özellikle cidarlarında bozukluklar meydana gelir, bu yapı bozuklukları elektrik iletkenliği ile sünekliğin azalmasına, sertliğin ise artmasına sebep olur. Bu dezavantajların giderilmesi için faz dönüşüm sıcaklığının altında bir saat bekletilir ve deformasyon öncesi özellikleri malzemeye geri kazandırılır (ATAÇELİK 2017).

1.3.5 Normalleştirme tavlaması işlemi

Normalizasyon olarak da bilinen bu tavlama metodu diğer tavlama metotlarından ayıran temel özellik sakin havada hızlı soğutma işlemidir. Buna tabi olan malzemede tane yapıları daha ince olmaktadır (HASCOMETAL 2017).

1.3.6 Sertleştirme işlemi

Malzeme üretim prosesinin sonunda parçanın kullanılacağı yere göre parçanın tamamı, bir kısmı ya da çekirdeğe kadar olan kısmı sert istenir, bunlara istinaden farklı ısıl işlem prosesleri uygulanarak parçaların istenilen mukavemette üretimi sağlanır (HASCOMETAL 2017).

1.3.7 Islah etme işlemi

Çelik malzemenin tokluk dayanımını artırmak işlenebilirliğini kolaylaştırmak için yapılan bir ısıl işlem şeklidir. Östenitleme sıcaklığına kadar ısıtma, bekletme, soğutma ve akabinde yüksek sıcaklıkta menevişleme şeklinde uygulanır. Çelik malzemenin östenitleme sonrası yağda, havada veya suda soğutulmasını müteakip 400 - 675 ^{o}C'ler arasında tavlama (menevişleme) yapılması işlemine ıslah etme denir (Tekin 1984).

1.3.8 Menevişleme işlemi

Sertleştirilmiş çelik malzeme, bünyesinde çok miktarda kalıntı gerilme ihtiva edeceğinden, muhakkak gerilimlerin çok düşük seviyelere inmesini sağlayan menevişleme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Parçalar 150-675 ^{o}C arasında arzu edilen mukavemet değerini yitirmeyecek şekilde uygun sıcaklıkta menevişlenmelidir. Ancak martenzit miktarındaki azalma dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla sertleştirme esnasında olduğu gibi menevişleme esnasında da kristal yapıda önemli değişmeler olmaktadır (Tekin 1984).

Menevişleme işleminde en dikkat edilecek husus malzeme su verilmeye tabi tutulduktan sonra oda sıcaklığına kadar beklenip menevişleme yapılırsa malzemede çatlama meydana gelecektir, bundan dolayı su vermeden hemen sonra menevişleme işlemi yapılmalıdır (HASCOMETAL 2017).

1.3.9 Sementasyon işlemi

Daha çok düşük karbonlu çeliklere uygulanan diğer bir adı ile karbürleme işlemi yüzeye karbon elementinin difüzyonu ile ardından yağ ile su verme işleminden sonra son bulur. Bu yöntem ile yüzeye sertlik kazandırılırken malzemenin çekirdeğine kadar inemeyen karbon malzemeyi aşınma direnci yüksek ve çekirdekteki yumuşaklıktan dolayı darbe dayanımı yüksek tok bir malzeme elde edilmiş olur.

Sementasyon işlemi katı, sıvı ve gaz fazlı ortamlarda yapılabilir. Katı ortam sementasyonunda odun kömürü kullanılır. Sıvı faz sementasyonu daha çok küçük parçaların operasyonlarında tercih edilen ve karbon difüzyon maddesi olarak da sodyum siyanür ve potasyum siyanür kullanılır. Kontrol açısından en kolay yapılabilen sementasyon gaz fazında elde edilir. Karbon verici olarak karbon monoksit ya da metan kullanılır. Sementasyonda yüzeye % 0,7 - % 0,8 oranlarında karbon difüzyon ettirilir, bu miktarın üzerine çıkıldığında malzeme cidarında karbon çökelmesi olacağından kırılmalar gerçekleşir. Sementasyonda asıl kriter etkin sementasyon derinliğinin malzemeye kazandırılmasıdır. Sementasyon işleminden sonra su verme ile cidar sertleşir ancak maksimum sertlik ihtiva etmez, bu sertliği elde edebilmek için mutlaka menevişleme işlemine tabi tutulmalıdır (HASÇELİK 1968).

Sementasyon işleminin avantajı yüzeyi sert özü yumuşaktır. Vuruntulu ve darbeli çalışan yerlerde önemli avantajlar sağlar (Tekin 1984).

1.4 Nitrürleme (Nitrasyon) İşlemi

Sert bir yüzeyin aşınma dayanımı, yumuşak malzemelere nazaran çok yüksek olup birçok malzemenin aşınma dayanımının yüksek olması gerektiği yerler vardır. Aşınma direncini arttırmanın yollarından biride nitrasyon işlemidir. Bu işlemin temelinde çeliğin yüzeyine ve belli derinliklerine azotun difüzlenmesi işlemi yatmaktadır (Friehling ve Somers 2000).

Nitrürleme çelik malzemelerin yüzey performans ömürlerini arttırmak (yorulma, aşınma ve korozyon)amacıyla ilk önce 19. Yüzyılın başlarında başlamış bir yöntem olup, nitrürleme ile ilgili ilk çalışma 1921'de "Çelik alaşımlarının azotlama ile sertleştirilmesi yöntemi" isimli ilk patentin alınmasıyla başlamıştır. Bu işlem oldukça faydalı olduğu için bu çalışmayı hızlı bir şekilde 1961'de nitrokarbürleme patenti ve diğer araştırmaların patentleri takip etmiştir. Çizelge 1.3'de adı geçen patent çalışmaları ve nitrürleme yöntemleri gösterilmektedir (Yang 2012).

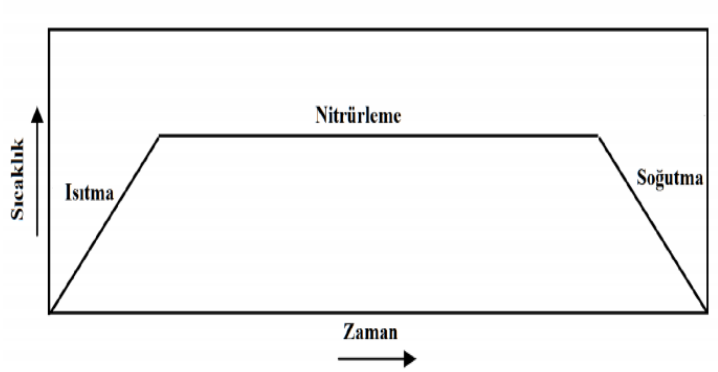
Çizelge 1.3 Nitrürleme ile ilgili patent çalışmaları (Phadke 1989)

Proses	Açıklama	Proses Durumu	Örnek Tepkime
Nitrürleme	Termokimyasal yöntemle çelik yüzeyine azot difüzyonu aynı zamanda difüzyona bağlı olarak beyaz tabaka oluşumu.	Gaz Plazma	NH_3, $NH_3+N_2(H_2)$ N_2+H_2
Nitrokarbürleme	Termokimyasal yöntemle çelik yüzeyine azot ve karbon ile ve bu elementleri içeren bileşik tabakasının altında zenginleşme durumu.	Tuz Banyosu Gaz Plazma Toz	Siyanür/Siyanür içeren eriyik NH_3, CO/CO_2^- içerikli ek gazlar $N_2+H_2+CH_4$ Kalsiyum siyanami d+ Aktivatör
Sulfonitrürleme	Termokimyasal yöntemle çelik yüzeyinin azot ve kükürt ile zenginleşmesi.	Gaz (Plazma)	

Nitrürleme işlemi ferritik termokimyasal bir süreç olup atomik hidrojenin 500-590^oC sıcaklıkları arasında ferrit faza geçişi kapsamakta ve sonuç olarak oda sıcaklığında soğuma sırasında faz dönüşümü olması söz konusu değildir (Tekin 1984).

Aslında nitrürleme, azot atomlarının bombardımanı ile çeliğin yüzeyine azot atomunun arayer atomu olarak gönderilmesi işlemidir (Phadke 1989).

Nitrürleme prosesinin akışı şematik olarak Şekil 1.4 de gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak aşama kaydeden nitrürleme prosesi

Gaz nitrasyonda NH_3'ün adsorbsiyonu ve gazların ayrışması sırasında gerçekleşen reaksiyonlar sırası ile Denklem (1.1), Denklem (1.2), Denklem (1.3), Denklem (1.4), Denklem (1.5) ve Denklem (1.6)'da verilmiştir (Weststrate 1979).

$$NH_3(g) \rightarrow NH_{3ad} \quad (1.1)$$

$$NH_{3ad} \rightarrow NH_{2ad} + NH_{ad} \quad (1.2)$$

$$NH_{2ad} \rightarrow NH_{ad} + H_{ad} \quad (1.3)$$

$$NH_{ad} \rightarrow N_{ad} + H_{ad} \quad (1.4)$$

$$2H_{ad} \rightarrow H_2(g) \quad (1.5)$$

$$2N(H_x)_{ad} \rightarrow N_2(\mathrm{g}) + (\mathrm{x}H_2)_{(\mathrm{x}=0,1,2,3)} \quad (1.6)$$

1.4.1 Nitrürleme işleminin avantajları

Menevişlenme tehlikesinin azaltılmasıyla (martenzit yapının kaybedilmesiyle) beraber yüksek yüzey sertliği ve aşınma dayanımı elde edilir. Temperlemeye karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklık sertliği kazanılır. Yüksek yorulma dayanımı ve düşük yorulma çentik hassasiyeti elde edilmiş olur. Paslanmaz olmayan çelikler için iyileşmiş korozyon direnci elde edilir ve böylece yüksek boyutsal kararlılık sağlanmış olur (Tekin 1984).

1.4.2 Nitrürlemenin amacı ve uygulama alanları

Malzeme yüzeylerinin aşınma direncinin arttırılması örneğin, bir silah namlusunun içindeki kovan yatağını ve aynı zamanda kovandan çıkan çekirdeğin namlu yiv setine sürtülmesi suretiyle ortaya hem yüksek basınçtan hem de yüksek sıcaklıktan dolayı bir aşınma meydana gelir.

Bilindiği üzere sert olan malzeme sürtünme esnasında en az aşınmaya uğrayan kısım olacaktır. Bundan dolayı yüzey sertliği oldukça önemli bir kriter olup belli sertliğe sahip namlu yada herhangi bir çeliğe uzun servis ömrü sağlar (Tekin 1984).

Malzemeye nitrürlemenin başlıca amaçları; korozyon direncini arttırması, yorulma dayanımını arttırması, yüksek hız çeliklerinden imal edilen freze, matkap, vs. takım uçlarının hem sıcak hem soğuk iş çeliklerinde kullanım ömrünü uzatması özellikleri eklenebilir.

Aşınma ve korozyon davranışları bileşik - beyaz tabaka ile tespit edilir. Nitrürleme ve nitrokarbürleme birçok gelişmiş ülkede endüstriyel anlamda oldukça çok kullanılmakta olup otomobillerin dişli kutularında, kalıp elemanlarında, hidrolik parçaları gibi birçok yaygın kullanım alanına sahiptir (Friehling and Somers 2000).

1.4.3 Nitrürleme atmosferi (ortamı)

Nitrürleme işlemi 500-550^{o}C gibi bir sıcaklıkta toz, gaz, sıvı ve plazma nitrürleme şeklinde uygulanabilir (Tekin 1984).

1.4.4 Gaz nitrürleme

Gaz nitrürleme prosesi amonyak içeren bir gaz atmosferinde ya da amonyak ve endotermik üretilmiş karbonmonoksit, azot ve hidrojen içerisinde yapılır. Gaz nitrürlemede, amonyak gazı 500-600^{o}C sıcaklıkları arasında hidrojen ve azota ayrışır. Açığa çıkan azotun çelik yüzeyine difüze olmasıyla nitrürleme gerçekleşmekte olup nitrürleme süresi 50-100 saat arasında değişebilir. Ayrıca, nitrürleme süresi arttıkça yüzeyin sertliği azalır (Haefer 1991).

1.4.5 Tuz banyosunda nitrürleme

Malzemelerin iç cidarlarının korunması gereken yerlerde, parçaların muhtelif kısımlarının diş bağlantı noktası gibi sertlik alması istenmeyen kısımlarda bu nitrürleme yöntemi tercih edilir.

Proses 570^{o}C±10 sıcaklığında bulunan siyanür banyosunda yapılmaktadır. Sıvı nitrürleme de siyanür içeriğinde bulunan karbon, çeliğe azotla beraber bir miktarda olsa yayınır. Isınmanın hızlı olması doğal olarak proses sürecini 1-10 saat gibi kısa bir zamana kısaltır. Sıvı nitrürleme de gaz nitrürlemede görülen aşırı temperleme tehlikesi yoktur (Haefer 1991).

1.4.6 Plazma nitrürleme

Plazma nitrürleme yöntemi çok iyi vakum edilmiş (0,1-100 mbar) soğuk duvarlı (duvar ceketinde süreli soğutma suyu sirkülasyonu olan) bir kaplama ünitesinde uygulanır.

Bu proseste nitrürleme uygulanacak iş parçası katot (negatif) kaplama reaktörünün duvarları ise anot (pozitif) olarak görev yapar.

Proseste 1000 V doğru akım kaynağından, iş parçası üzerinden akım uygulanır ve içerde plazma oluşur. Kaplama işleminde reaktör içerisine ilk etapta hidrojen gazı gönderilir ve dolayısıyla iş parçasının yüzeyini ısıtan, temizleyen bir akkor boşalması meydana gelir, daha sonra azotun reaktöre ilavesi ile nitrürleme başlar (Haefer 1991).

Bu yöntemde malzemenin ölçüsünde ve şeklinde herhangi bir değişiklik olmaz. Plazma nitrürlemede prosesin süresi istenilen nitrürleme derinliğine bağlı olarak 10 dakika ile 60 saat arasında değişiklik gösterebilmektedir.

Plazma nitrürlemenin avantajları olarak beyaz tabakanın kontrolü, yorulma dayanımı, düşük gevreklik, yüksek aşınma dayanımı, yüksek süneklik, üretim maliyetinin düşük olması ve ozon tabakasını kirletmemesi şeklinde verilebilir (Friehling and Somers 2000).

1.4.7 Nitrürlenmiş malzemelerin yüzeylerinin mikroyapısı

Nitrasyon işleminden sonra malzemenin yüzeyinde bir beyaz tabaka ve bunun altında malzemenin derinliğine göre değişen azot difüzyon tabakası bulunur. Nitrasyon tabakası, difüze olan element veya elementler ile ana malzemenin oluşturduğu bir veya birden fazla oluşan kimyasal bileşikten meydana gelir.

Sert ve kırılgan olan beyaz tabaka işlem gören malzemelerin korozyon ve aşınma direncine büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Difüzyon tabakası ise malzemenin yorulma dayanımını ciddi ölçüde geliştirmektedir (Du *et al.* 2000).

Çok gevrek yapıda olan beyaz tabakanın malzeme içinde oldukça az olması istenmektedir. Bu tabakanın kalınlığı bazı nitrürleme teknikleri ile istenilen ölçüde azaltılabilir.

Difüzyon tabakası, özellikle Ti. Al, V, Cr, Mo ve W gibi nitrür yapıcı alaşım elementlerinin, değişik sıcaklık aralıklarında metal nitrürler halinde çökeldiği kısımdır.

1.5 Deney Tasarımı ve Taguchi Yöntemi

Gelişen teknolojiye ve endüstriye ayak uydurmak için tüm üretim sektörü kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda istedikleri ürünleri, daha hızlı, kaliteli ve aynı zamanda malzemeyi en düşük fiyata mal ederek firmalar birbirleri ile rekabet etmek zorundadır (Erdal ve Canyılmaz 2003).

Sektörlerdeki işletmelerin pazardaki varlıklarını devam ettirebilmeleri aynı zamanda pazarda tutunabilmeleri için ürün yelpazesini yükseltmeleri rekabet açısından önem arz etmektedir (Şirvancı 2011).

Rekabet, üretim yönetiminde gelişmelere ön ayak olmuştur. Bu doğrultuda yeni metotlar ve yeni üretim teknikleri uygulamaya konulmuştur. Taguchi yaptığı araştırma ve geliştirmeler sonucunda az deneme ile çok iyi sonuçlar veren ortogonal dizileri ortaya koymuştur (Erdal ve Canyılmaz 2003).

Ortogonal diziler, faktörlerini birer birer değiştirmektense, senkron değiştirmeyi önermektedir. Bundan dolayı, deney tasarımında Taguchi Yöntemi, kimya ve elektronik alanlarında olduğu gibi üretim alanında da kabul görmüştür (Özay 2009).

Taguchi Yönteminin amacı, kontrol edilebilen değişkenleri maliyet ve zaman açısından etkin kılmak, kontrol edilemeyen faktörlerin ise bütün olasılıklarına karşı duyarsız prosesler ve ürünler tasarlamaktır. Bu deney tasarım yöntemi ürünlerin hem kaliteli hem de ürünün kalitesini daha ileri seviyelere taşıyabilmek için minimum deney sayısı ile çok iyi sonuç almayı hedefler (Kaya 2017).

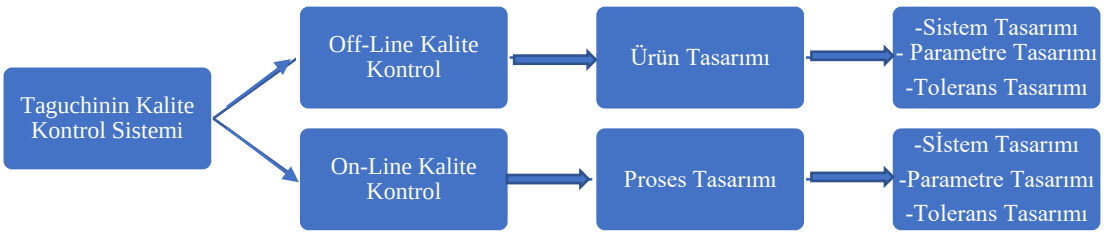
Kalite analizini çevrim içi ve çevrim dışı olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi Şekil 1.5'de gösterilmiştir (Özay 2009).

Çevrim içi kalite kontrol sistemi, imalatına başlanan malzemenin muayene yöntemleri ile kalitesinin belirlenmeye çalışıldığı aşamadır.

Çevrim dışı kalite kontrol sistemi; ürün ve imalat prosesinin geliştirilmesi, pazar araştırması çalışmalarını kapsar. Yapılan bu çalışmalar ürüne direkt müdahale yerine, üretimden önce istenilen tasarım çalışmalarıdır (Ross 1998).

Çevrim dışı kalite kontrol metotları ürünlerin daha uzun vadede kullanılması, maliyetinin azaltılması ve iyi bir ürün geliştirmek için kullanılır. Taguchi üç aşamalı bir yöntemle güvenilirliği sağlamıştır (Ross 1998).

Taguchi Yöntemi'nin kalite parametreleri ayrıntılı olarak Şekil 1.5'te gösterilmiştir (Cengiz 2019).



Şekil 1.5 Taguchi Yöntemi off - Line ve on - Line olarak ürün ve proses tasarımı

1.5.1 Tolerans tasarımı

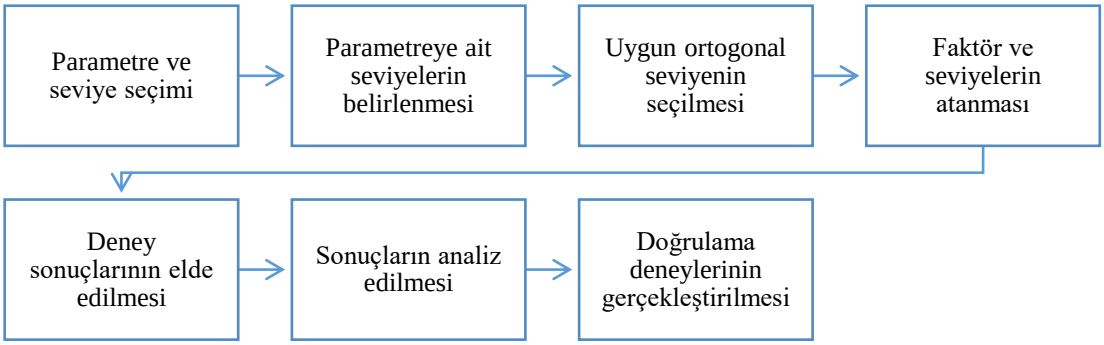
İstenilmeyen değişkenleri işlem basamakları ile dönüştürmede başarılı olunmadığı durumlarda tolerans tasarımı yönteminden faydalanılır. Üretimde düşük maliyetli, kullanılabilirliği yüksek ürün ve teknikler ile hedeflenen ürün kalitesini istenilen değere getirmek için tolerans tasarlama sistemi kullanılır. Tolerans tasarımında üç farklı kalite değişkeni bulunur (Gür and Kaya 2017).

Bu değişkenler;

En Büyük En İyi: Deney sonuçlarının değerlendirilebilmesi için bir kalite üst sınırı olmalıdır, buna göre en büyük en iyi kalite sonuç analizi yapılabilir.

En Küçük En İyi: Yine aynı şekilde, deney sonuçlarının değerlendirilebilmesi için bir kalite alt sınırı olmalıdır, buna göre en küçük en iyi kalite sonuç analizi yapılabilir.

Hedef Değer Nominal En İyi: En az iki adet tolerans tasarımı mevcut olup, hedef değer bu iki toleransın arasında kalan kısımdır. Taguchi'nin deney tasarım aşamaları Şekil 1.6'de gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Taguchi Yöntemi deney tasarımı akış diyagramı

Uygun ortogonal dizi seçiminin genel gösterimi $L_d(a)^k$ şeklinde olup;

d: Toplam deney sayısını

a: Parametre seviyesi

k: Parametre sayısı

L: Ortogonal dizi (deney matrisi) harfleri ile temsil edilir.

Yönteme uygun olarak deney matrisi seçilirken; toplam serbestlik derecesi hesaplanır ve toplam serbestlik derecesinin uyumlu olduğu dizi böylece seçilmiş olup parametrelere ait toplam serbestlik derecesi ise tüm parametrelerin serbestlik derecelerinin toplamına eşit olacaktır (Yıldırım 2011).

Ortogonal dizinin seçiminde kullanılacak formüller;

$$V_A=K_A-1 \quad (1.7)$$

$$V_T= N-1 \quad (1.8)$$

Taguchi ortogonal dizi tablosundan Çizelge 1.4'deki değerler kullanılarak ve kurallara bağlı kalarak dizi seçimi yapılır.

Çizelge 1.4 Taguchi ortogonal dizi seçim tablosu (Phadke 1989)

Kademe (Seviye) Grubu	Kademe Derecesi	Faktör Sayısı	Ortogonal Dizi
2 Seviye İçin	2	3	L_4
	2	7	L_8
	2	11	L_{12}
	2	15	L_{16}
	2	31	L_{32}
3 Seviye İçin	3	4	L_9
	3	8	L_{18}
	3	13	L_{27}
4 Seviye İçin	4	5	L_{16}
5 Seviye İçin	5	4	L_{25}
	5	7	L_{50}

Prosese etki eden faktör ve seviyeler belirlendikten sonra, S/N dışı yani sadece etkin olan faktör ve seviyelere bakılarak bir model belirlenir. Elde edilen model uygulanır, doğrulama deneyleri gerçekleştirildikten sonra varyans analizi, belirlenen faktör etkilerinin grafikleri ve sapmaları gibi çeşitli analiz yöntemleri uygulanabilmektedir.

1.6 Topsis Yöntemi

Topsis (Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution) yöntemi hedeflenen değerlerin minimuma ulaştırmak istenilen kriterlerin en küçük seviyeye, hedeflenen değerlerin maksimuma ulaştırmak istenilen kriterlerin ise en büyük seviyeye ulaştırarak ve en ideal çözüme yakınlık açısından seçimleri kolaylaştırır. Karar matrisi oluşturulduktan sonra norm bir ölçülendirme birimleri elde edebilmek için hedef değerlerin normalleştirilerek ağırlık verilmesi gerekir. Topsis yöntemine ait bir uygulama adımları aşağıda gösterilmiştir (Hwang and Yoon 1981).

1. Adım: Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında deney tasarımındaki sıralanmak istenen (en büyük en iyi ya da en küçük en iyi) karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak olan değerlendirme kriterlerinden oluşur. Karar matrisi kullanıcı tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Denklem (1.9)'daki ilk matristir (Şimşek 2014).

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

A_{ij}: Matrisinde m deney tasarımındaki deney sayısını (alternatif sayısı)

n: Değerlendirme faktörü (kriter) sayısını verir

2. Adım: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması.

Standart Karar Matrisi, 1. Adımda oluşturulan karar matris sonuçları kullanılarak Eşitlik 5.2 kullanılarak hesaplanır ve Denklem (1.10)'daki standart karar matrisi elde edilir:

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} a_{kj}^2}} \tag{1.10}$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{1.11}$$

3. Adım: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Hesaplamalarda ilk olarak değerlendirme kriterlerine ait ağırlıklı değerlerin toplamı Denklem (1.12)'deki gibi belirlenir (Şimşek 2014).

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \tag{1.12}$$

Daha sonra standart karar matrisinin her bir sütunundaki değer kriterlere ait ağırlık değeri (w_i) ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisini Denklem (1.13)'deki gibi oluşturur (Şimşek 2014).

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_{11} r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \tag{1.13}$$

4. Adım: İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması

İdeal çözüm kümesini meydana getirebilmesi için ağırlıklı standart karar matrisindeki standardize edilmiş kriterlere ait değerlerin en büyükleri seçilir. Pozitif ideal çözüm kümesinin oluşturulması aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

$A^{*}=\{(^{\max}_{i}V_{ij}\left|j\epsilon J\right.),(^{\min}_{i}V_{ij}\left|j\epsilon J'\right.\}$

formülünden hesaplanacak küme $A^{*}=\{v_1^{*},v_2^{*},\dots,v_n^{*}\}$ şeklinde ifade edilebilir.

Negatif ideal çözüm kümesi ise, ağırlıklı standart karar matrisindeki normalize edilmiş kriterlere ait değerlerin en küçükleri seçilebilir. Negatif ideal çözüm kümesinin bulunması aşağıda gösterilmiştir (Şimşek 2014).

$A^{-}=\{(^{\min}_{i}V_{ij}\left|j\epsilon J\right.),(^{\max}_{i}V_{ij}\left|j\epsilon J'\right.\}$

A^{-}formülünden hesaplanacak küme şeklinde ifade edilebilir.

$A^{-}=\{v_1^{-},v_2^{-},\dots,v_n^{-}\}$

İki formülde de J fayda (hedef en büyük), J ise kayıp (hedef en küçük) değerini göstermektedir. Pozitif ideal yada negatif ideal çözüm kümesi, değerlendirme faktörü sayısı olan n elemandan oluşmaktadır.

5. Adım: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

İdeal ve negatif ideal çözüm kümesinden sapmaların belirlenebilmesi için karar noktalarına ait sapma değerlerinin belirlenebilmesi gerekir. Bu değerler, pozitif ideal Ayırım Denklem (1.14) ve negatif ideal ayırım Denklem (1.15) değeri olarak ifade edilmektedir (Şimşek 2014).

$$S_i^{*}=\sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij}-v_j^{*}\right)^2} \qquad (1.14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_j^-\right)^2} \quad (1.15)$$

Hesaplanacak (S_i^*) ve (S_i^-) sayısı deney tasarımındaki çıktıların sayısı kadar olacağı açıktır (Şimşek 2014).

6. Adım: İdeal Çözüme Göreli Uzaklığının Hesaplanması

Karar noktalarının ideal çözüme uzaklığının Denklem (1.16) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden faydalanılır. İstenen sonuç, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki oranıdır. İdeal çözüme göreli uzaklık değerinin hesaplanması Denklem (1.16)'daki gibi verilmiştir (Şimşek 2014).

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (1.16)$$

Denklem (1.16) daki C_i^* değeri $(0 \leq C_i^* \leq 1)$ aralığında bir sonuç alır.

Topsis yöntemiyle analiz edilen her tasarım için ideal çözüme uzaklığı (C_i^*) Taguchi yöntemine göre en büyük, en iyi olacak şekilde analiz ettirilir. Analizlerden sonra çoklu kriterleri sonuçlara göre parametrelerin seviyelerine ait optimum şartlar belirlenmiş olur. Normal şartlarda gerçekleştirilen deneye doğrulama deneyi denir. Deney sonuçlandığında bulunan değer en iyi performanslı hedef değere ulaştırırsa istenen değer ve sonuç gerçekleşmiş olur (Hwang and Yoon 1981).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Çelik malzemelere belirli bir özellik kazandırabilmek adına gerek korozyona gerekse aşınmaya karşı direnç göstermek için, çeşitli kaplama (lazer, krom, vb.), üretim yöntemi ve ısıl işlem yöntemlerinin uygulandığı belirtilmektedir (Saklakoğlu vd. 2016). Bundan dolayı üretilecek malzemenin ısıl işlem proses parametrelerinin, üretim yönteminin talaşlı ve talaşsız imalat üzerinde yüzeydeki sertlik, gerilme gibi davranışları etkilediği bildirilmektedir (Toktaş *at al*. 2017).

Silahların teknolojik olarak gelişimi tarihsel süreç açısından incelendiği zaman teknolojiye paralellik göstererek yeni aşamalar kaydettiği ve bu sayede yüksek mukavemet, yüksek tokluk aynı zamanda maksimum aşınma ve maksimum korozyon direncinin giderek iyileştiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda silah namlularının hafifletilmesi ve yıpranma açısından üstün özellikler barındırdığı tespit edilmiştir (GÖKSU 2015).

Günümüzde, dünya silah pazarında hafif, orta ve yüksek kalibreli silahların alım şartnamelerinde namluların atım ömrünün artması ciddi anlamda standartların üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Kalibreye göre değişen atım ömrü hafif silahlarda 50.000 atım iken, orta kalibreye doğru bu atım sayısı yüksek basıncı bağlı olarak düşmektedir. Silahların bu atım ömrünü belirlemek için seçilen malzeme ve malzemenin ısıl işlemi ile kaplama türü önemli rol oynadığı belirtilmektedir (Rutci 2019).

Yapılan araştırmalarda silahların çalışması esnasında yüksek basınç ve sıcaklıklara çıktığı gözlemlenmiştir. Mühimmat çekirdeği kovanı terk ettiği anda kovan yatağında ciddi anlamda sıcaklık ve basınç artışı ile hem barutun namlu içine basınç ile sıvanması hemde aynı zamanda namlu çeliğinde anlık sıcaklık artışının malzemenin gerilmesine sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı malzeme seçerken yüksek boyutsal kararlılıkta uzun ömür elde edilmesi adına malzemelerin tok, mukavemetli aynı zamanda yüksek darbe direncine sahip olması gerekmektedir (Karslı vd. 2021).

Yapılan bir çalışmada, 36CrB4 ve 42CrMo4 çeliklerinin ısıl işlemlerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada 42CrMo4'ün 36CrB4'e göre daha maliyetli olduğu bilinmektedir. Bu bilgiler ışığında, 36CrM4 çeliğinin menevişleme sıcaklığını değiştirilmesi ile birlikte 42CrMo4 çeliği ile aynı mekanik özellikleri yakalanmış ve maliyet olarak tasarruf sağlanmıştır (Karslı vd. 2021).

Diğer yapılan bir çalışmada ise X40CrMoV51 yüksek alaşımlı çeliğini temperleme işlemi ve su verme ardından iyon nitrürleme işlemlerini uygulayarak, çalışmada bu malzemelerin XRD(X-Ray Diffraction) sonuçları ve sertliği incelenmiştir. Nitrürleme yapılmış yüzeyin sertliğinin su verilmiş yüzeye göre iki kat daha fazla olduğu gözlemlenmiş ve sertliğin önemli olduğu yerlerde malzemenin hem korozif hem de aşınmaya karşı direncinin fazla olması ömür artışını yüksek oranda etkilediği belirtilmiştir (Karslı vd. 2021).

32CrMoV12-10 çeliğine uygulanan gaz nitrürlemenin çeliğin yüzeyine vermiş olduğu sertlik, su verme ve temperleme işlemine göre en az 1,5 kat fazla çeliğin yüzeyine sertlik kazandırdığı tespit etmiştir (Karslı vd. 2021).

AISI H13, N-8550 ve AISI P20 çeliklerine gaz, plazma ve katı nitrasyon uygulayarak, çeliklerin yüzey sertliklerinin, arttığını gözlemlemişlerdir (Almeida *et al*. 2015).

Başka bir çalışmada ise AISI 420, 416, 410NiMo ve 410 martenzitik paslanmaz çeliklerine birbirlerinden farklı sıcaklıkta plazma nitrasyon uygulamışlar ve martenzitik paslanmaz çeliklerin yüzey sertliklerinin arttığını gözlemlenmiştir. Fakat, 500°C'de 410NiMo çeliği haricindekilerde 450°C'de yapılan nitrürleme işlemine göre azotu bağlayan Cr alaşımı, CrN çökelmesinden dolayı yüzey sertliklerinde düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir (Ferreira *et al*. 2015).

Diğer bir çalışmada ise DIN1.2344 sıcak iş takım çeliğine gaz nitrasyonu uygulayarak aşınma direncinde artış meydana geldiğini belirtmiştir (Bakdemir *et al*. 2020).

Yapılan bu çalışmada ise talaşlı ve talaşsız imalat için haddelenmiş veya dövülmüş olarak fabrika ortamına gelen 32CrMoV12-10 çeliğine Topsis tabanlı Taguci Yöntemi ile üç faktör, üç seviyeli bir deney tasarımı uygulanmış olup elde edilen sonuç ile çeliğin talaşlı veya talaşsız olarak tezgahlarda işleme sürecine başlamasına ya da başlamamasına karar verilmiştir. Bununla beraber çeliğin üretim sürecine girebilmesi için kalite kontrol sürecinden geçerek zaman, maliyet ve hurda kaybının önlemesinin yanı sıra kalite kontrol sürecinden başarı ile geçen veya geçemeyen malzemenin nitrürlemede göstermiş olduğu performanslarının karşılaştırılması incelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında 32CrMoV12-10 çeliğine farklı ısıl işlem koşulları uygulanıp çeliğin mekaniksel dayanımları incelenip Taguchi yöntem ile hangi ısıl işlem koşulunun daha verimli sonuçlar vereceği ve bununla beraber en iyi mekaniksel dayanım sonucunu veren çeliğin nitrürlemeye etkisinin incelenmesi olacaktır.

Deneyin işlem basamakları;

100mm x70mm (hxR) boyutlarında 3 adet silindirik 32CrMoV12-10 Çeliği numunesi temin edilip testerede en az 15 mm et kalınlığında olacak şekilde dilimlendi ve numuneler numaralandırıldı. Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 32 CrMoV12-10 Çeliğinin ısıl işleme atölye ortamında hazırlanışı

Silindirik biçimde bulunan numuneler, dokuz farklı ısıl işlem sürecinden geçirilmek için, aynı et kalınlığını sağlayacak ölçüde kesilip, ısıl işleme hazır duruma getirilecektir.

Numuneler çekme, darbe çentik ve sertlik ölçüm deneylerinin incelemelerinden sonra sonuçları Taguchi Yöntemine göre istenilen değer aralığını en iyi ve en kötü sonucu veren iki deney şartı tespit edilerek o deney numuneleri nitrürleme işlemine tabi tutulmuş. İki ayrı deney şartların malzeme nitrasyon alma kabiliyeti ve azot nüfuziyetinin maksimum kaç mikronda olduğu tespit edilerek karşılaştırılmıştır.

3.1 Çalışmada Kullanılacak Materyaller

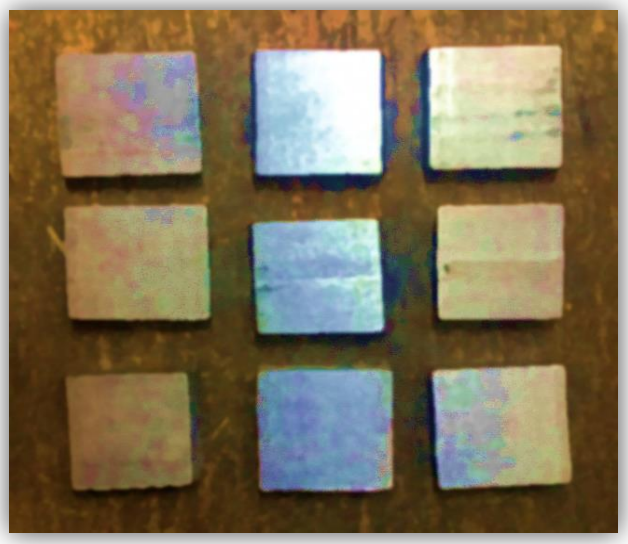
Bu çalışmada, sertleşmeye ve temperlemeye uygun 32CrMoV12-10(1.7765) çeliği kullanılacaktır. 32CrMoV12-10 çeliği kimyasal bileşen analizi; Çizelge 3.1'de verilmiştir (SIJ GROUP 2020).

Çizelge 3.1 32CrMoV12-10 Malzemesinin kimyasal analizi (% Ağırlıkça)

Kimyasal Bileşen	% Bileşen Miktarı
C	0.32
Cr	3
Mo	1
V	0.30
Si	Max. 0.35
Mn	Max. 0.60

3.2 Isıl İşlem İçin Numunelerin Hazırlanması ve Testlerin Gerçekleştirilmesi

Isıl işlem uygulanacak, aynı et kalınlığına sahip çelik test malzemeleri 12x12 cm^2 ölçülerinde atölye ortamında dokuz ayrı parça olacak şekilde hazırlandı. Şekil 3.2'de plaka şeklinde dilimlenmiş numuneler görülmektedir.



Şekil 3.2 32CrMoV12-10 Çeliğinden eşit et kalınlıklarında atölye ortamında dilimlenmiş ısıl işleme hazır numuneler

Deney tasarımı Taguchi Yöntemine göre Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de gösterilmiş verilerden faydalanılarak gerçekleştirilecektir. Deney tasarımın da kontrol edilebilen üç değişken (faktör A, B ve C) ile her faktörün üç seviyesi (seviye1, seviye2 ve seviye3) mevcuttur.

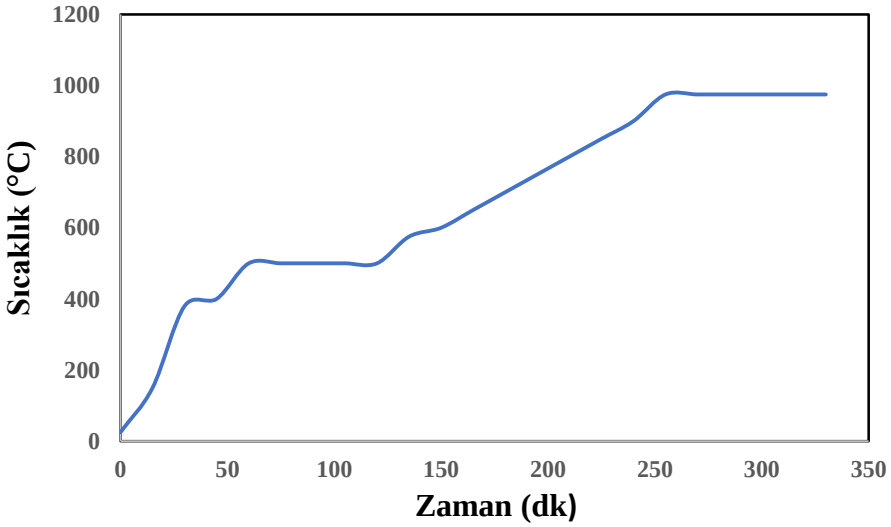
Çizelge 3.2 Deney tasarımının için kullanılacak faktör ve her faktöre karşılık gelen seviye değerleri

Faktörler	**Seviye (1)**	**Seviye (2)**	**Seviye (3)**
A- Sıcaklık (°C)	925	950	975
B- Zaman (dk)	45	60	75
C- Su Verme Ortamı	Su	Isıl İşlem Yağı	%10'luk Tuzlu Su

Çizelge 3.3 L_9 ortogonal dizisinin oluşturulmasını istediği deney tasarımı (yapılması istenen deneyler), faktörlerin seviye çeşitlerine göre atadığı veri setleri

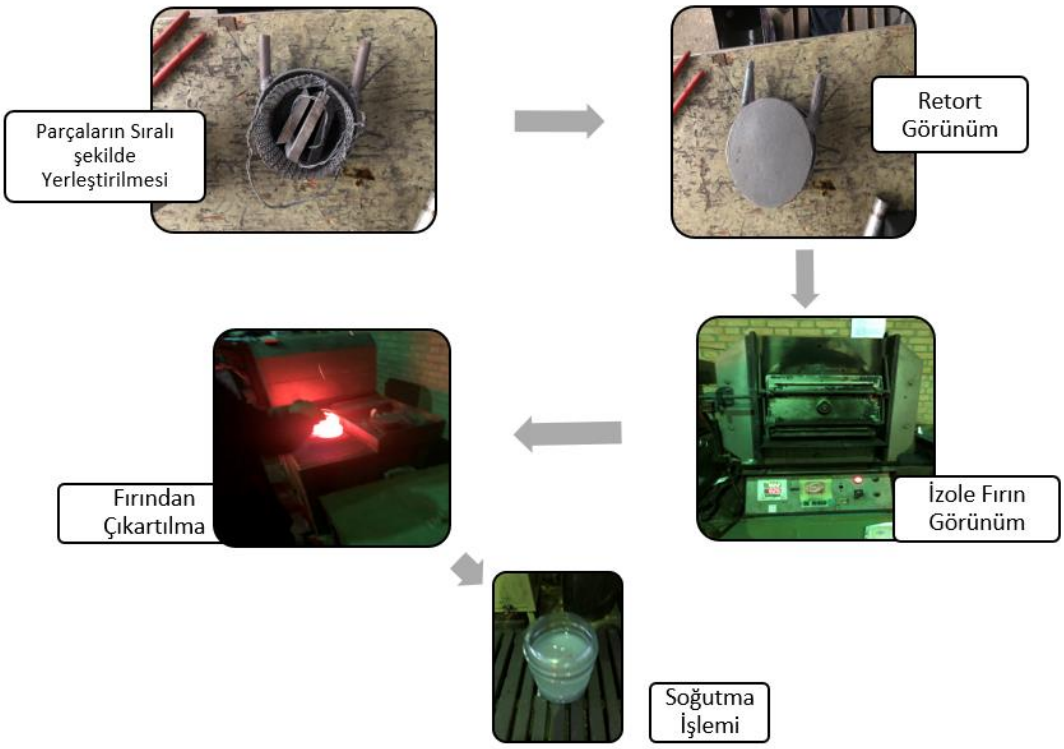
Deney No	Faktörler		
	A	**B**	**C**
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Isıl işlem uygulanırken izlenen grafik Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bu grafikte ilk adım olarak ön ısıtma mevcuttur, bu işlem ani soğumanın önüne geçer, yani sıcaklık malzemeye daha iyi nüfuz eder aynı zamanda ısı tesiri altındaki bölgede daha sünek bir tane yapısı (perlitik) oluşumunu sağlar. İkinci adım olarak grafikte asıl ıslah sıcaklığına malzeme ısıtılır östenitleme sıcaklığına ulaşan numuneler verilen zaman aralığından sonra su verme olayı gerçekleştirilerek, malzemenin sertleşmesi sağlanmış olur. Örnek temsil eden bu grafiğin 9 ayrı numune için olanları Ek.1'de mevcuttur.



Şekil 3.3 Numune ısıl işlem sıcaklığı ve zaman dilimi

Isıl işlem prosesi L_9 ortogonal dizilimine göre atanan değişken ve seviyelerin kontrolü çerçevesinde sırası ile Şekil 3.4'de görülmek üzere retortun içine yerleştirilir, daha sonrası ısıl işlem için fırına alınan numuneler, belli zaman dilimine göre ayarlanan fırın sıcaklığı ön ısıtma rampası ve ıslah sıcaklığından sonra su verme ortamına alınarak sertleştirme işlemi gerçekleşmiş olur.



Şekil 3.4 Atölye ortamında, deney sürecindeki ısıl işlem ve su verme aşamaları

Şekil 3.3'de gösterilen grafikte ısıl işlemin maksimum 330 dakika sürdüğü gözlemlenir, bu sürecin devamında ise Şekil 3.4'de görüldüğü gibi su verme işleminden sonra numuneler temperleme işlemi (550 °C de 300 dakika) uygulanır. Bu işlemdeki ana amaç malzemeye tokluk özelliği kazandırmaktır.

Isıl işlemden çıkan numuneler Şekil 3.5'de, test ortamına girebilmesi için S170 çelik bilye ile kumlanmıştır. Şekil 3.6'da görülmektedir. Kumlama işlemi malzeme yüzeyindeki gerek yağ ve pas gerekse metal kabuklarından arındırılmak için uygulanmış olup böylece yüzey laboratuvar ortamına hazırlanmış olur.



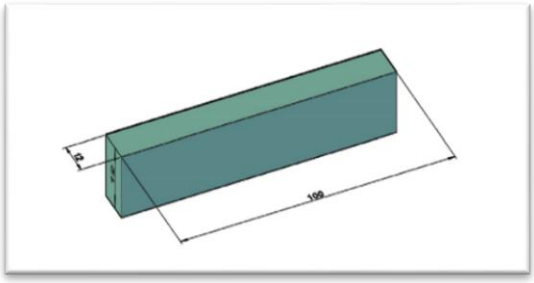
Şekil 3.5 Isıl işlem sonrası kabuklu yüzey



Şekil 3.6 Kumlamadan (S170) sonra yüzey

3.2.1 Çentik darbe testi numune hazırlama

Isıl işlemden çıkan 12x100 mm ebadındaki malzemeler freze tezgahında işlenerek ISO 148-1 standardına göre çentik darbe testi numunesi haline getirildi. Şematik Gösterim Şekil 3.7 Çentikler Şekil 3.8'deki freze tezgahında açılarak hazır hale getirildi.



Şekil 3.7 Darbe çentik testi için ISO 148-1 standardına uygun numunenin şematik gösterimi

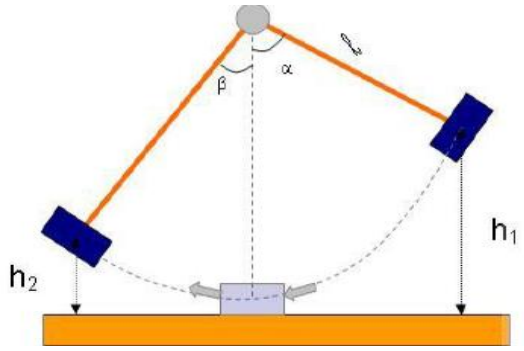
Darbe çentik testi için numunenin tam orta kısmından, parçanın enine 9 mm, derinliğine ise 2 mm ölçülerde ISO 148-1 standardına uygun açılması işlemi Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Darbe çentik testi için hazır ölçülere getirilen numune parçasının çentik kanalı kısmının freze tezgahında açılması işlemi

3.2.2 Darbe çentik testinin uygulanması

Darbe çentik testi, bir kafes içinde Şekil 3.9'da gösterilen şematik diyagramdaki gibi dairesel hareket edebilen çekiç yardımı ile test parçasının kırılması ile ilk çarpma anında joule cinsinden kaydedilen enerjinin tespitine dayanmaktadır.



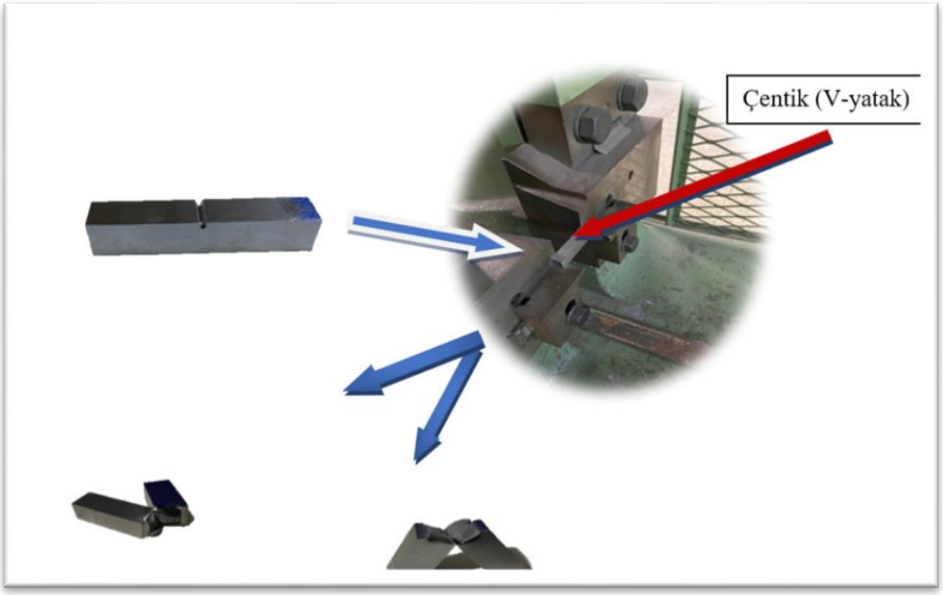
Şekil 3.9 Darbe çentik test cihazının çalışma prensibini gösteren, kafes sistemi ile korunan iç mekanizmaların şematik gösterimi

İç mekanizmasında dairesel hareket edebilen bir çekiç ve çekicin sabit kalabilmesini sağlayan tertibat ile numunenin konumlandırıldığı örsten oluşan ve bu tüm sistemi, numunenin çekiç darbesi ile etrafa sıçrayıp zarar vermemesi için bir tel örgü ile kafesleyen dış muhafazadan oluşan, darbe çentik test cihazı Şekil 3.10'da gösterilmektedir



Şekil 3.10 Atölye ortamında darbe çentik test cihazı

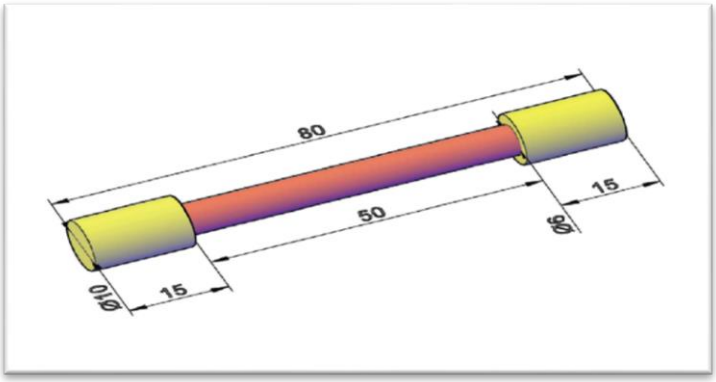
Sırası ile ISO 148-1 standardına uygun darbe çentik test numunesi, örs üzerine çentik (v yatak) iç kısma gelecek şekilde konumlandırılıp, çekiç çentiğin arka kısmından belli bir h yüksekliğinden serbest bırakıldığında dikey ve yatay olarak görüntülenen numuneler son formunu alır. Şekil 3.11'de sırası ile darbe çentik deney mekanizmasının çalışması ile deney sonucunda alınan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Darbe çentik testinden önce ve sonra numune görüntüleri

3.3.3 Çekme testi numunesi hazırlama

Isıl işlemden çıkan numuneler üniversal torna tezgahında işlenerek TS EN ISO 10002-1 standardına uygun hale getirilerek her iki ucuna torna tezgahında M10 diş açılarak çekme testine hazır hale getirilmiştir. Numune boyutları Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Çekme test çubuğu numunesinin mm cinsinden ölçüleri ve şematik gösterimi

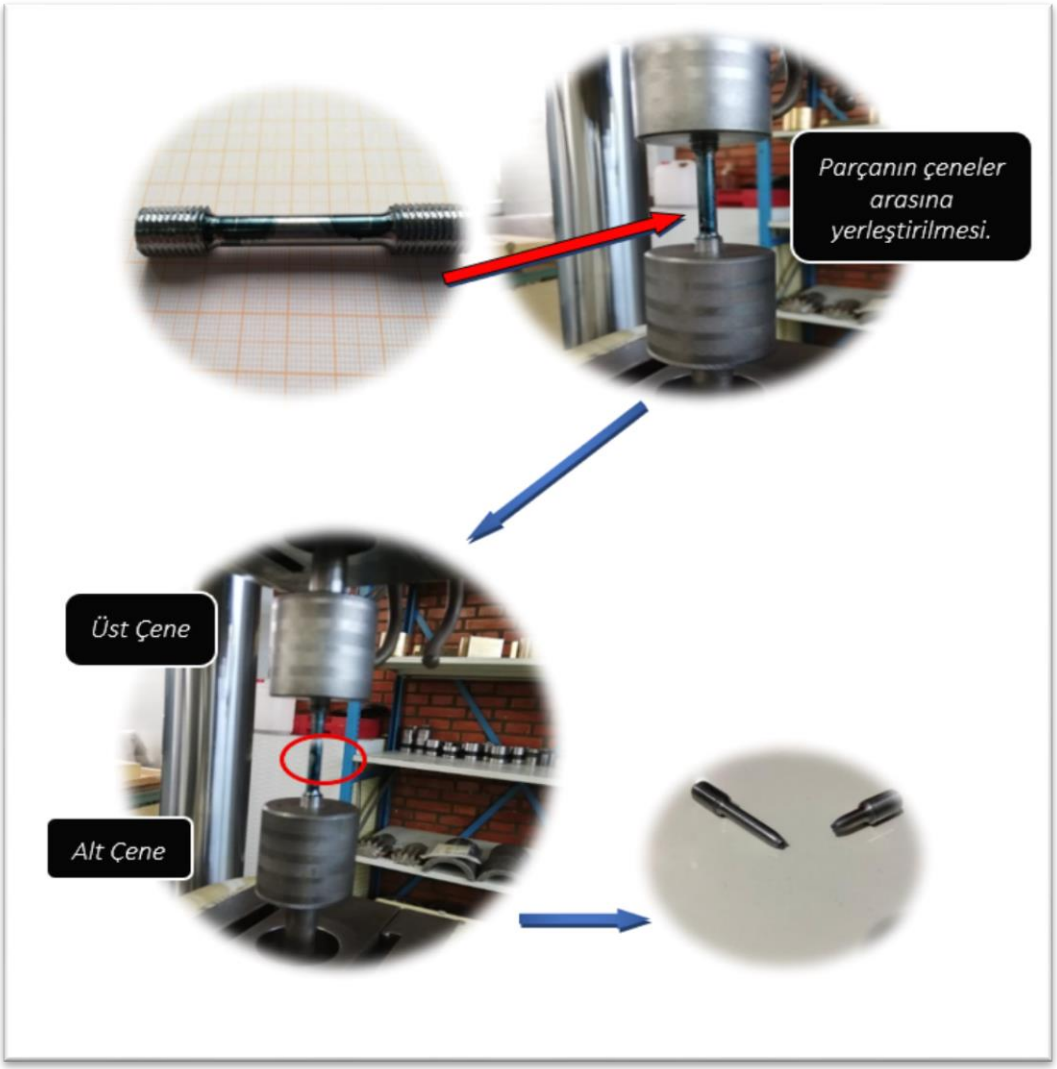
3.3.4 Çekme testinin uygulanması

Numunelerin akma, çekme ve yüzde uzama değerlerini ölçmede Şekil 3.13'de görülen 20 tonluk Galdabini markalı çekme testi cihazı kullanılmıştır. Test yapılacak parça için açılan dişin çapına göre test cihazının iki çenesine malzeme bağlanır. Sabitlenen parçaya test cihazı giderek artış gösteren yukarı ve aşağı yönlü F kuvveti uygular bu sırada F kuvveti ile plastik deformasyonu elde ettiğimiz bir grafiği çizerek maksimum çekme kuvvetinin hesaplanacağı eğri, çekme test cihazından elde etmiş olunur.



Şekil 3.13 Atölye ortamında Galdabini marka çekme testi cihazı

Elde edilen ölçümler Sonuçlar ve Tartışma bölümünde verilmiştir. Çekme Test aşamaları Şekil 3.14'de görülmektedir. Sırası ile çekme test çubuğu, iki çene arasına bağlanmış çekme çubuğu, kırmızı elips ile gösterilen yer belli bir uzamanın olduğu, malzemenin plastik deformasyona uğradığını gösteren bölge ve bu malzemenin kopması ile sonuçlanan çekme testi akış diyagramı Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Çekme testi numunesinin testten önce ve sonra numune görüntüleri

3.3.5 Brinell cihazı ile sertlik testi

Wolpert marka sertlik ölçme cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir yapılan ölçümler değerlendirilip çift tekrarlı olarak raporlara işlendi.

Sertlik ölçümü laboratuvar ortamında bulunan Wolpert marka cihaz ile Şekil 3.15'de görüldüğü üzere malzemenin alt tablaya konumlandırılıp, yükün serbest bırakılarak malzemeyi ezmesi neticesinde, manuel olarak cetvel ve ışık yardımı ile izin çapı ölçülerek sertlik sonucu bulunmuştur.



Şekil 3.15 Atölye ortamında Wolpert marka Brinnel sertlik ölçme cihazı

3.3.6 Micro sertlik ölçümü için numune hazırlığı

Micro sertlik ölçümü için numuneler bakalit içerisine yerleştirilip preslenmiş olup Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Daha sonra Şekil 3.17'deki gibi parlatma işlemine tabi tutuldu.



Şekil 3.16 Atölye ortamında bakalite alınmış numuneler



Şekil 3.17 Atölye ortamında bakalite alınan numunelerin analiz öncesi yüzey temizliği

3.3.7 Micro sertlik ölçümü

Ness Marka cihazla, hazırlanan bakalitlerde numunelerin nitrasyon nüfuziyeti, çekirdek sertliği ölçülerek numunenin azot difüzyonu hakkında sonuçlara Şekil 3.18'deki cihaz ve bilgisayar entegresi ile yazılım sonuçları elde edildi.

Ness marka mikro sertlik analiz cihazı kalibrasyonu yapıldıktan sonra numuneler kırmızı daire ile işaretli bölgeye Şekil 3.18'deki gibi yerleştirilir. Cihaz çalıştırıldıktan sonra, mercekler konumu tespit ederek, ilk önce iz daha sonra açılan izin ölçümü için 100x ve 1000x büyütme ile yaklaşık 20 dakikalık bir tarama sonucunda veriler elde edilir.



Şekil 3.18 Atölye ortamında Ness marka mikro sertlik analiz cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

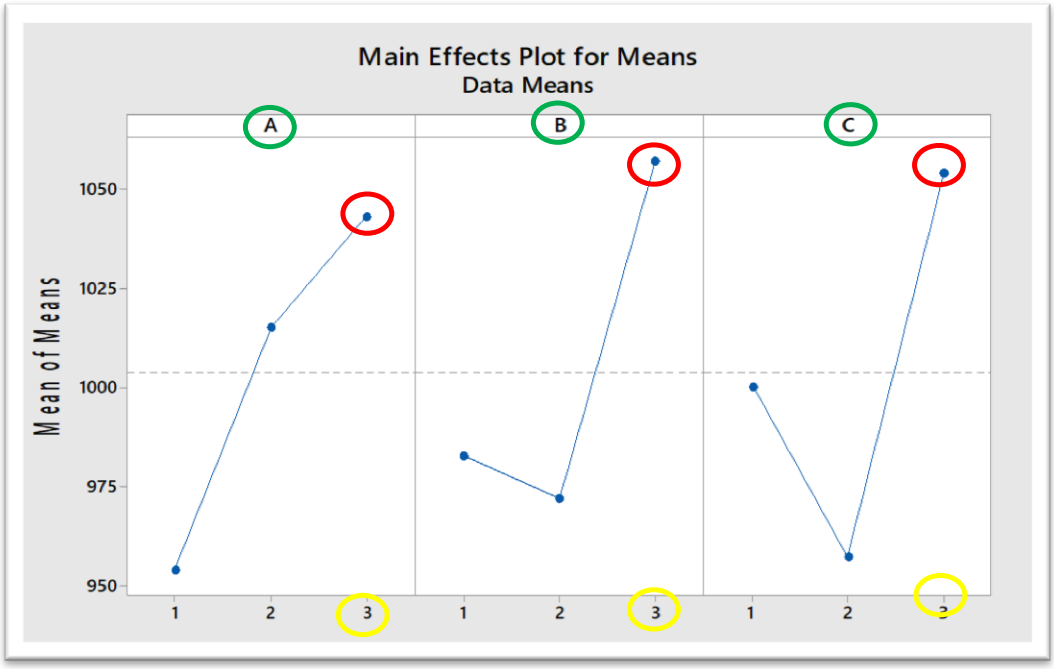
L_9 ortogonal diziye otomatik olarak faktörlere atanan seviyelere göre deney tasarımı tamamlandı ve alınan çift tekrarlı çekme dayanımı, darbe çentik ve sertlik deney sonuçları Çizelge 4.1'de, Minitab programında Taguchi Yöntemi kullanılarak deney sonuçları L_9 ortogonal dizilerine göre işlenmiştir.

Çizelge 4.1 L_9 Taguchi Yöntemine göre, yapılan deney sonuçları

Deney Sonuçları		Çekme Dayanımı		Darbe Çentik		Sertlik	
Numune No	Gerekli Değerler	$\frac{N}{mm^2}$ 970-1040		$\geq 40\ J$		$\frac{N}{mm^2}$ 970-1040	
1		874	877	181	178	930	965
2		940	945	180	175	965	995
3		1049	1035	133	138	1125	1120
4		929	935	180	177	965	962
5		976	983	150	149	1060	1045
6		1135	1129	124	127	1190	1155
7		1137	1142	124	123	1118	1155
8		997	986	153	150	1060	1045
9		1003	989	156	159	1060	1048

4.1 Çekme Deneyi Değerlerinin Taguchi Yöntemi ile Analizi

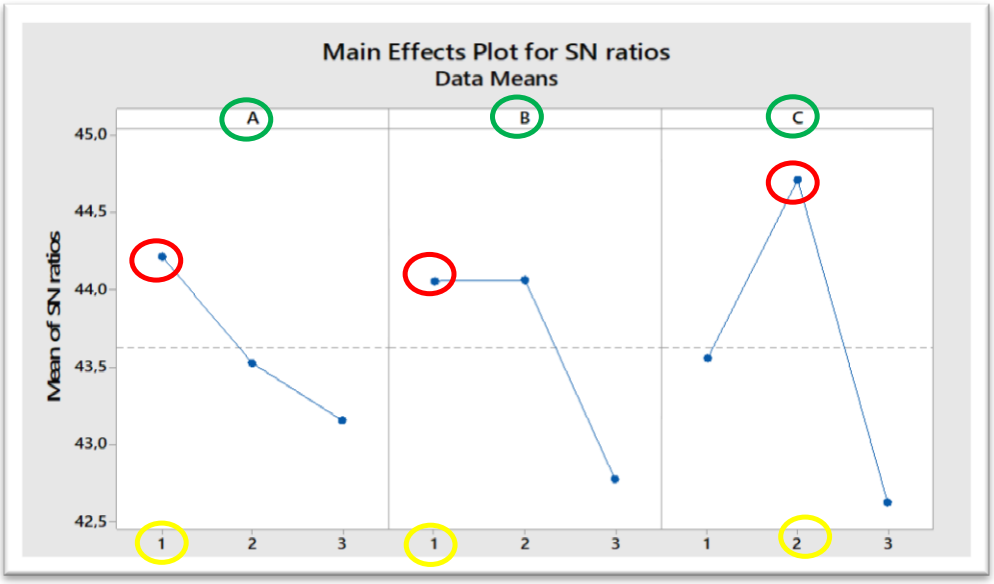
Çekme deneyinden alınan çift tekrarlı sonuçlar Taguchi Yöntemine göre (larger is better) en büyük en iyidir, değişkenlerine göre analiz edilmiştir. Bu yöntemin seçilmesindeki amaç faktörler (A, B, C) ve seviyelere (seviye1, seviye2 ve seviye3) bağlı kalarak en büyük değerin elde edilmesidir. Şekil 4'deki yeşil daireler faktörleri, sarı daireler seviyeleri, kırmızı daireler ise faktör ve seviyelere bağlı kalarak elde edilmek istenen en büyük değerlerdir. Minitab paket programında Taguchi Yöntemine göre en büyük en iyidir, analizinin çekme deney sonuçları yer almaktadır. Şekil 4.1'de kırmızı daire ile belirtilen noktalardan alınan veriler, Topsis yöntemi ile tek bir sonuca indirgemek için kullanılacaktır.



Şekil 4.1 Taguchi Yöntemine göre çekme deneyine ait larger is better önerisi

4.2 Darbe Çentik Deneyi Taguchi Yöntemi Analizleri

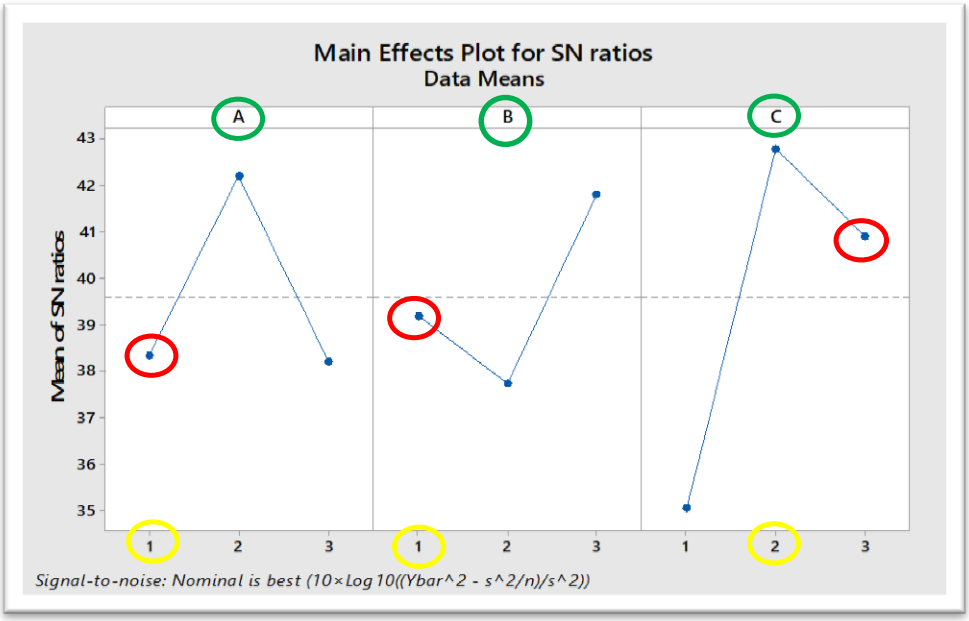
Darbe çentik deneyinden alınan çift tekrarlı sonuçlar Taguchi Yöntemine göre (larger is better) en büyük en iyidir, Taguchi Yöntemine göre analiz edilmiştir. Bu yöntemin seçilmesindeki amaç faktörler (A, B, C) ve seviyelere (seviye1, seviye2 ve seviye3) bağlı kalarak en büyük değerin elde edilmesidir. Şekil 4.2'de yeşil daireler faktörleri, sarı daireler seviyeleri, kırmızı daireler ise faktör ve seviyelere bağlı kalarak elde edilmek istenen en büyük değerlerdir. Minitab paket programında Taguchi Yöntemine göre en büyük en iyidir, analizinin darbe çentik deney sonuçları yer almaktadır. Kırmızı daire ile belirtilen noktalardan alınan veriler, Topsis yöntemi ile tek bir sonuca indirgemek için kullanılacaktır.



Şekil 4.2 Taguchi Yöntemine göre darbe çentik deneyine ait S/N oranları

4.3 Sertlik Ölçme Deneyinin Taguchi Yöntemi ile Analizleri

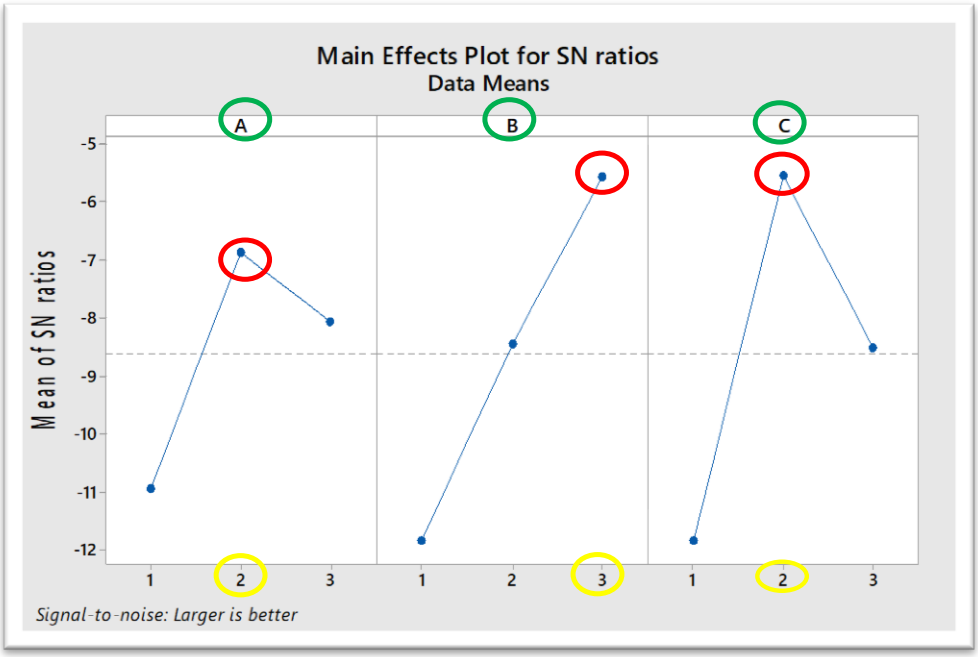
Sertlik ölçme deneyinden alınan çift tekrarlı sonuçlar Taguchi Yöntemine göre (nominal is best) (ortalama) olan, en iyidir, değişkenine göre analiz edilmiştir. Bu yöntemin seçilmesindeki amaç faktörler (A, B, C) ve seviyelere (seviye1, seviye2 ve seviye3) bağlı kalarak en büyük değerin elde edilmesidir. Şekil 4.3'de yeşil daireler faktörleri, sarı daireler seviyeleri, kırmızı daireler ise faktör ve seviyelere bağlı kalarak elde edilmek istenen en büyük değerlerdir. Minitab'de Taguchi Yöntemine göre normal (ortalama) olan en iyidir, analizinin sertlik deney sonuçları yer almaktadır. Kırmızı daire ile belirtilen noktalardan alınan veriler, Topsis yöntemi ile tek bir sonuca indirgemek için kullanılacaktır.



Şekil 4.3 Taguchi Yöntemine göre sertlik deneyine ait S/N oranları

4.4 Topsis Tabanlı Taguchi Yöntemi Sonuçları

Çekme, çentik ve sertlik ölçme deney verilerinin çift tekrarlı sonuçları Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'den Taguchi Yöntemine göre (nominal is best) normal (ortalama) olan iyidir ya da (larger is better) en büyük en iyidir, değişkenine göre analiz edilmiştir. Üç adet faktörün dağılımının seviyelere göre değişimi incelenmiş olup, bu kırmızı daire ile gösterilen değerlerin birbirlerini mukavemet, kırılma ve tokluk açısından etkilediği için en iyi optimum değerlerin Topsis yöntemi ile bir adet en iyi deney tasarımını seçmek için kullanılır. Topsis yönteminden alınan veriler ile tekrar Taguchi Yönteminden faydalanılarak en yüksek mukavemeti ve tokluğu deney tasarımının verebilmesi için (larger is better) en büyük en iyidir, yöntemi seçilmiş olup analiz işlemi yapılmıştır. Sonuçlar ise Şekil 4.4'de verilmiş olup, yeşil daireler faktörleri, sarı daireler seviyeleri, kırmızı daireler ise faktör ve seviyelere bağlı kalarak elde edilmek istenen en büyük değerleri ifade etmektedir.



Şekil 4.4 Topsis tabanlı Taguchi Yöntemi larger is better

Taguchi yöntemi ile minitab programından alınan sonuçlar Topsis Yöntemi ile tek bir sonuç olacak indirgendi, (Çizelge 4.2) bu deney 950°C sıcaklık (A2), 75 dakikadaki 950°C'lik ısıl işlem süresi (B3) ve ısıl işlem yağı ile soğutma yöntemi (C2) olarak son deney gerçekleştirildi.

Taguchi ve Topsis yönteminin uygulanmasından sonra elde edilen veriler ile optimum istenen değerlere en yakın çift tekrarlı sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çekme deneyi için istenen değer aralığı 970-1040 N/mm^2 dir. Çekme deneyi sonucunda malzemenin elastik modülü, akma değeri, kopma dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk gibi süneklik değerleri belirlenir. Malzemenin sünekliği ve tokluğu istenilen aralıkta olduğu için, ısıl işlemde seçilen sıcaklık, zaman ve su verme ortam koşullarının uygunluğunu teyit etmiş olmaktadır. Nitrasyon işlemine 540°C'de 72 saat tutulan 10 numaralı numune değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Darbe çentik deneyi, metallerin kırılma davranışının belirlenmesi için yapılmış olup metallerin özellikle gevrek kırılmaya elverişli şartlardaki mekanik özellikleri hakkında bir fikirmizin olmasını sağlar. Literatüre göre, darbe çentik deneyleri $\geq 40\,J$ olması gerekmektedir. Uygulanan deney tasarımına göre en büyük en iyidir, koşulunu sağlayan değerler 154-157 aralığında olduğu, Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Numune, plastik şekil değiştirmeye fırsat bulamadan kırılma meydana geliyorsa, buna gevrek kırılma denir. Ancak bu deney sonucundan da anlaşılacağı üzere, deney esnasında, numune kırılmadan önce çoğu zaman plastik şekil değiştirme meydana gelir. Uygulanan kuvvet etkisi ile normal (dik) gerilime ilaveten, bununla yaklaşık olarak 45^{o}'lik farklı bir kayma gerilimi etki etmeye başlar. Kayma gerilimi, kayma dayanımının (kritik kayma) aşıldığı andan itibaren, elastik şekil değiştirme sona erer ve plastik şekil değiştirme başlar. Bu şekilde ilk önce plastik şekil değiştirme, sonra ise kırılma meydana gelir. Buna da sünek kırılma hali denir. Kırılma yüzeyi, girintili çıkıntılı ve lifli olduğu Şekil 3.11'de görülmüştür. Dolayısıyla deney tasarımı, bu veri sonucunun literatür teyidi ile uygunluğunu göstermektedir.

Brinell sertlik ölçme yöntemi ile yüzeye belirli bir yükün, belirli çaptaki sert bir malzemeden yapılmış bir bilye yardımıyla belirli süre uygulanması sonucunda meydana gelen iz çapının ölçülmesinden ibarettir. Deneyden alınan sonuçlar 880-1030 N/mm^2 aralığında olduğu, literatüre göre uygun olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Sertlik deneyinin bu aralıkta olması hem malzemenin aşırı sert olup gevreklik den dolayı kırılmaması yani tok bir malzeme olmasını aynı zamanda fazla yumuşak olmayıp malzemenin aşınma direncinin maksimum olması ile sertliğin belirgin bit optimum noktada dengede tutulması sağlanmış ve deneyde istenen sonuç elde edilmiştir.

Malzemenin uzama eğrisi altında kalan alan tokluğu gösterir, bu alan gevrek ve sünek malzemelerde büyük farklılıklar gösterir. Ancak bu eğri altında kalan alan aslında kırılmaya karşı oluşabilecek plastik deformasyon kabiliyetinin büyüklüğünü gösterir yani ani darbelere, kuvvetlere karşı gösterdiği tokluk olarak nitelendirilemez. Bu yüzden deney tasarımı gözlemlenirken tüm deney sonuçları, çekme dayanımı, darbe çentik ve

sertliği bir arada incelememiz gerekirse tokluğu ve/veya sünekliği doğru bir şekilde analiz edebilelim.

Çizelge 4.2 Isıl işlem deneyleri için ağırlıklı uygulama ile S/N oranlarını kullanarak Topsis Yöntemi uygulaması

Karar Matrisi (S/N Oranları)				**Ağırlıkça Normalize Karar Matrisi**				**Si***	**Si-**	**Ci**
Yanıtlar	**R_1**	**R2**	**R_3**		***vi1***	***vi2***	***vi3***			
Ağırlıklar	**0,333**[b]	**0,333**	**0,333**							
R1	54,11	45,13	31,66	→	0,13	0,11	0,09	**0,05**[c]	**0,01**[d]	**0,14**[e]
R2	49,34	45,06	33,29	→	0,12	0,11	0,09	0,05	0,01	0,22
R3	40,59	42,44	50,03	→	0,10	0,11	0,14	0,02	0,06	0,75
R4	47,27	45,13	53,14	→	0,11	0,11	0,15	0,01	0,06	0,83
R5	45,88	43,52	39,93	→	0,11	0,11	0,11	0,03	0,03	0,48
R6	48,21	41,94	33,51	→	0,11	0,11	0,09	0,05	0,01	0,24
R7	50,80	41,90	32,76	→	0,12	0,11	0,09	0,05	0,01	0,15
R8	42,09	43,61	39,93	→	0,10	0,11	0,11	0,03	0,03	0,52
R9	40,13	43,94	41,88	→	0,10	0,11	0,12	0,04	0,19	0,82
-	***140,13***[a]	***130,94***	***120,74***	*A*=*	0,11	0,11	0,14	-	-	-
-	-	-	-	*A-=*	0,13	0,11	0,09	-	-	-

[a] *Sütunlardaki her elamanın karelerinin toplamı*
[b] *Denklem (1.10): 0,333*[(54,11/140,13)]=**0,13;***
[c] *Denklem (1,14): {((0,13-0,11+… …+[(0,09-0,14)]}$^{1/2}$=**0,05***
[d] *Denklem (1,15): {[(0,13-0,13+… …+[(0,09-0,09)]^2}$^{1/2}$=**0,01***
[e] *Denklem (1,16): 0,01/(0,01+0,05)=**0,14***

Çizelge 4.3 Taguchi ve topsis yöntemlerine göre belirlenen (numune 10) ve karşılaştırma yapılması için belirlenen (numune 3) deney sonuçları

Deney Sonuçları		**Çekme Dayanımı**		**Darbe Çentik**		**Sertlik**	
Numune No ↓ →	**Gerekli Değerler**	$\frac{N}{mm^2}$ 970-1040		$\geq 40\ J$		$\frac{N}{mm^2}$ 970-1040	
10		1006	1009	154	151	1030	1028
3		1049	1035	133	138	1125	1120

Taguchi Yönteminden alınan verilerin, faktörleri (A, B ve C) birbiri ile bağımlı olarak optimum sonucu vermesini sağlayan bir algoritmaya sahip olduğu görülmektedir. Bu sonucu mekanik özellikler olarak veren açıklayıcı iki deney sonucu Çizelge 4.2'de verilmiştir. Tüm değerlerinin literatüre göre uygunluğunu veren deney 10 numaralı yani, Taguchi'nin bize vermiş olduğu faktör ve seviyeye göre deneyin gerçekleştirilmesi neticesinde aldığımız veri sonuçlarıdır.

Bu deney koşullarının nitrasyonda göstermiş olduğu performans değerleri Çizelge 4.4'de görülmektedir.

Çizelge 4.4 Numune 3 ve 10'un nitrasyon işlemi deney sonuçları

Nitrasyon İşlemi	Üst Yüzey Sertlik ≥700 HV	Çekirdek Sertliği ≥ 300 HV	Nitrürleme Derinliği ≥0,1 mm
10 Numaralı Numune	870	417	0,10
3 Numaralı Numune	860	415	0,10

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çeliklerin kimyasal içerikleri her ne kadar istenilen standarda göre uygun olsada, dökümden döküme malzemenin gerek vakumda az tutulması ve gerekse istenmeyen elementlerin cürufa karışmamasından dolayı inkülizyon olayı ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı bu tip inkülizyonla karşılamamak için, haddelenmiş veya dövülmüş olarak gelen her çelik kısa bir zaman içinde detaylı bir kalite kontrol sürecinden geçmek zorundadır.

Deneysel yöntem olarak belirlediğimiz Topsis Tabanlı Taguchi Yöntemi, analizlerin kısa bir zaman içinde yapılmasını sağlar. Aynı zamanda, bu durum istenen yüksek güvenlik seviye kriterinin minimize etmeden gerekli deney tekrarının azaltılmasıyla istenilen deney sonuçları elde edilmesini sağlar.

Topsis Tabanlı Taguchi Yönteminin bütün faktörleri (A, B ve C) birbiri ile bağımlı olarak optimum sonucu vermesini sağlayan bir algoritmaya sahip olduğu görülmektedir. Bu sonucu mekanik özellikler olarak veren en belirleyici iki deney sonucu Çizelge 4.2'de verilmiştir. Mekanik özelliklerin literatüre göre uygunluğunu veren deney sonucu 10 numaralı numunede kullanılarak yapılan denemelerde görülmüştür.

Çekme dayanımı testine ait sonuçlar incelendiğinde 5, 8, 9 ve 10 numaralı deneyler istenilen (970-1040 N/mm^2) test aralığına girmiştir. Darbe çentik dayanım testinde elde edilen sonuçlar ise istenilen seviye olan (>40J) değeri üzerinde elde edilmiştir. Sertlik testinin sonuçları ise (2 ve 10 numaralı deney numuneleri) istenilen seviye olan (970-1040 N/mm^2) değerleri arasında çıkmıştır (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.3).

Bu deney koşullarının nitrasyonda göstermiş olduğu performans değerleri Çizelge 4.4'de görülmektedir. Deney tasarımının değiştirilmesi ise malzemenin, nitrasyon kabiliyeti ya da performansına farklı bir etki yapmadığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

ARMAD, 2021. Web sitesi. https://www.aubertduval.com. Erişim Tarihi: 05.06.2022.

Almeida, E. A. D., Costa, C. E., Milan, J. C. G., 2015. Study of the nitrided layer obtained by different nitriding methods , MatériaRio de Janeiro, 20: 465.

Bakdemir, S. A., Özkan, D., Türküz, M. C., Uzun, E., Salman, S., 2020., Effect of the nitriding process in the wear behaviour of DIN 1.2344 hot work steel", Journal of Naval Sciences and Engineering, 16(1), 45-70.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. 2009. Materials Science and Engineering: An Introduction, 8th, John Wiley & Sons, pages 968, New York.

Cengiz M., 2019., Hardox 400 Çelik Yüzeyinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Alaşımlandırılması ve Taguchi Metoduyla Değerlendirilmesi., DÜMF Mühendislik Dergisi 10(3): 969-979.

Du, H., Somers, M. A. J., Agren, J., 2000. Metallurgical and Materials Transactions, Physical Metallurgy and Materials Science, 31, 195- 211.

Erdal, F., Canyılmaz, K., 2003. Taguchı Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ, Vol. 18, No. 3, Pp. 51–63.

Ferreira, L. M., Brunatto, S. F., Cardoso, R. P., 2015. Martensitic stainless steels lowtemperature nitriding: dependence of substrate composition, Materials research, 18: 622-627.

Friehling, P. B., Somers, M. A. J., 2000. Growth Kinetics of the Compound Layer on Gaseous Nitriding of Iron: The Effect of the Surface Reaction, Mass and Carge Transport in Inorganic Devices: Fundamentals to Devices, Part B, Techna Srl.

GÖKSU, 2015. Web sitesi. https://www.otuken.com.tr. Erişim Tarihi: 03.01.2022

Gür A. K., Kaya S., 2017. Abrasive wear resistance optimization of three different carbide coatings by the Taguchi method, Mater. Test., vol. 595, pp. 450–455.

HASCOMETAL, 2017. Web Sitesi http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=68 Erişim Tarihi: 01.09.2021

HASÇELİK, 1968. Web Sitesi https://hascelik.com/celik-hakkinda-genel-bilgiler/celik-nedir Erişim Tarihi: 01.05.2022

Haefer R., Ilschner B., 1991. Oberflachen- und Dünnschicht- Technologie, Springer Verlag, Graz, 245-257.

Hwang, C. L., Yoon, P. 1981. Multiple attribute decision making in: Lecture notes in economics and mathematical systems. Springer, Verlag-Berlin, Germany.

Joseph R., 1973., Heat Treatments of Steels, 10th edition , ASM.: 91., 465 pages, American Society for Metals.

Karslı, M., Kemikoğlu. U., Yavuz, S. 2021. Tabanca namlu malzemesi 32CrMoV12-10 alaşımına uygulanan gaz nitrasyon ve su verme işlemlerinin darbe dayanımına etkisinin incelenmesi. Güfbed/Gustij, 11(4): 1198-1207.

Kaya, S., 2017. Yüzeyi Modifiye Edilmiş Ferritik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Direncinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Malzeme Bilim Dalı, 105 sayfa, Elazığ.

Phadke, M.S., 1989, Quality Engineering Using Robust Design Book, Library of Congress Catologing AT & T Bell Laboratories, New Jersey, USA

Şirvancı, M., 2011.Kalite için deney tasarımı, Taguchi Yaklaşımı, Literatür yayınları, 112 sayfa, İstanbul.

Özay, Ç., 2009. Teğetsel tornalama-frezeleme yönteminde işleme parametrelerinin teorik ve deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı Talaşlı Üretim Bilim Dalı, Elazığ.

Ross, P.J., 1998. Taguchi Techniques for Quality Engineering, Loss Fuction, Orthogonal Exp. Param. Toler. Des., pages 279., Mcgraw-Hill.

Rutci, A. T. 2019. Hafif silahlarda kullanılan namlu malzemesinin geliştirilmesi ve işleme parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Saklakoğlu, N., Gençalp İrizalp, S., İldaş, G. ve Demirok, S. 2016. Microstructure and wear properties of Fe-based hardfacing alloy / Feesaslı sert kaplama alaşımının mikroyapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi. Celal Bayar University Journal of Science, 12(3), 517-523.

SIJ GROUP, 2020. Web sitesi. https://www.sij.si/en/sij-brands/sinoxx/. ErişimTarihi: 01.09.2021.

Şimşek B. 2014, Hazır betonun optimal karışım oranlarının belirlenmesi için bir çok yanıtlı modelleme ve en iyileme uygulaması: Topsis tabanlı Taguchi yaklaşımı ile cevap yüzey yöntemi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara

Tekin, A., 1984. Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Ofset Yayınları, 616 sayfa, İstanbul.

Toktaş, G., Toktaş, A. and Duran, M. 2018. Investigating the wear behaviour of ınduction hardened 100Cr6 steel. Sakarya University Journal of Science, 225, 1174-1180.

Topbaş, A. M., 1998. Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı. Ekim Ofset Yayınları, 553, İstanbul.

Uzkut, M., Özdemir, İ., 2001. Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:3, Sayı:3, 65-73.

Yang, M., 2012. Nitriding- Fundamentals, modeling and process optimization, Doktora Tezi, Worcester Polytechnic University, Material Science and Engineering, Worchester/ABD

Weststrate, C. J., 2006. Hydrocarbon And Ammonia Chemistry On Noble Metal Surfaces, Doktora Tezi, Leiden Universty Leiden Institute of Chemistry LIC , Faculty of Science, Leiden/Hollanda

EKLER

EK 1. Numune faktör A=1, B=1, C=1

EK 2. Numune faktör A=1, B=2, C=2

EK 3. Numune faktör A=1, B=3, C=3

EK 4. Numune faktör A=1, B=3, C=3

EK 5. Numune faktör A=2, B=2, C=3

EK 6. Numune faktör A=2, B=3, C=1

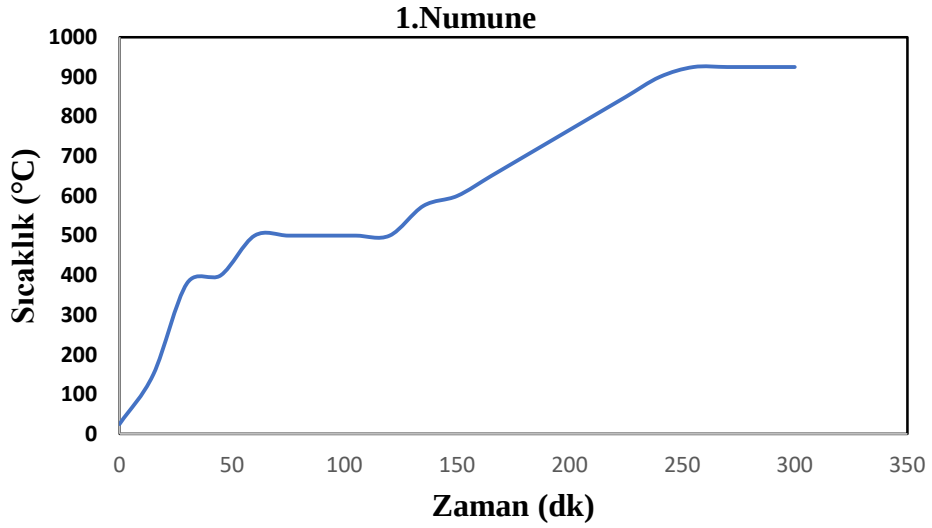
EK 7. Numune faktör A=3, B=1, C=3

EK 8. Numune faktör A=3, B=2, C=1

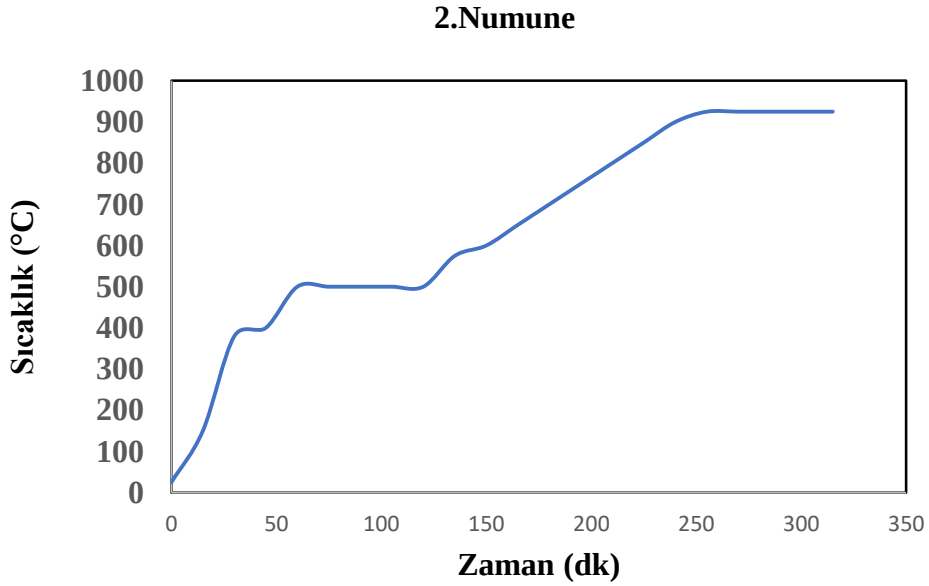
EK 9. Numune faktör A=3, B=3, C=2

EK 10.Numune faktör A=2, B=3, C=2

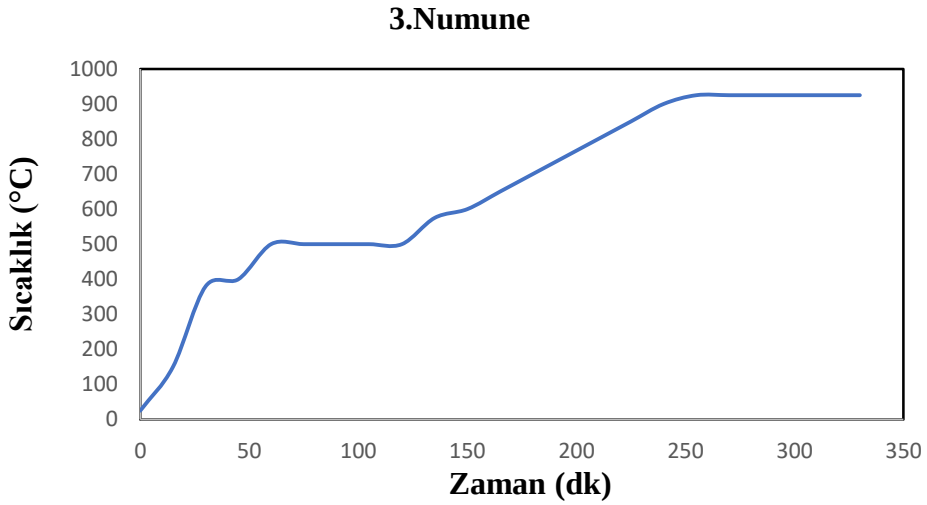
EK 1. Numune faktör A=1, B=1, C=1



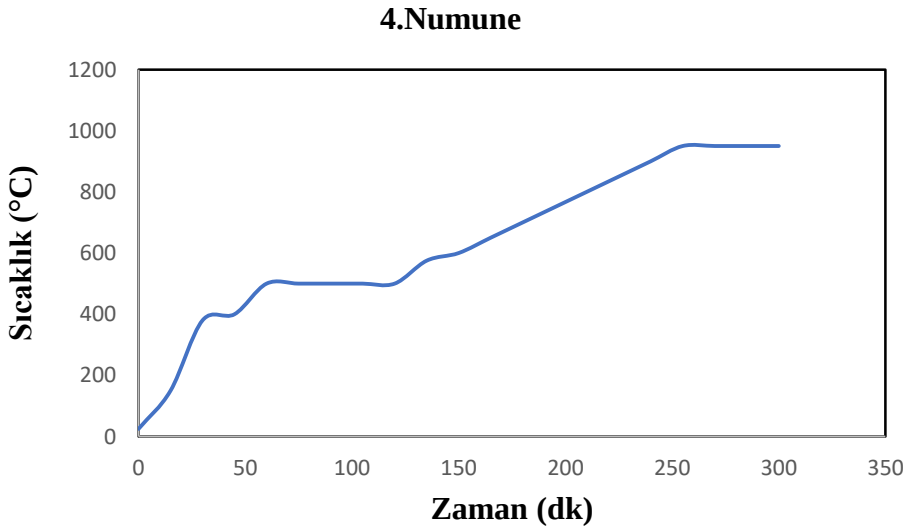
EK 2. Numune faktör A=1, B=2, C=2



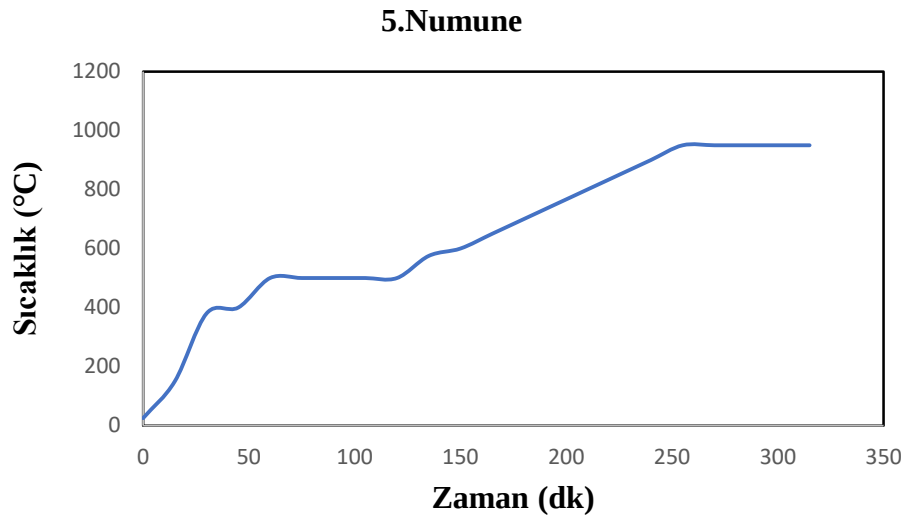
EK 3. Numune faktör A=1, B=3, C=3



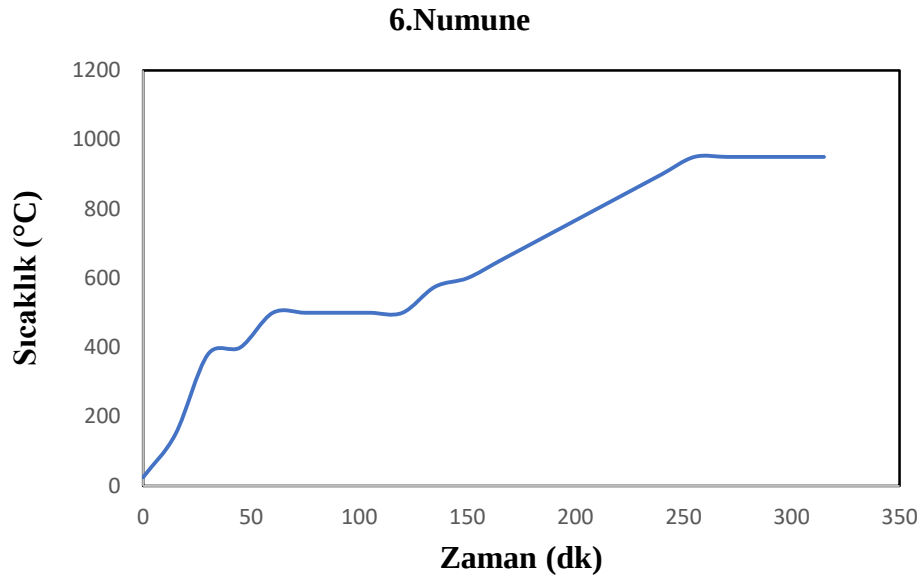
EK 4. Numune faktör A=1, B=3, C=3



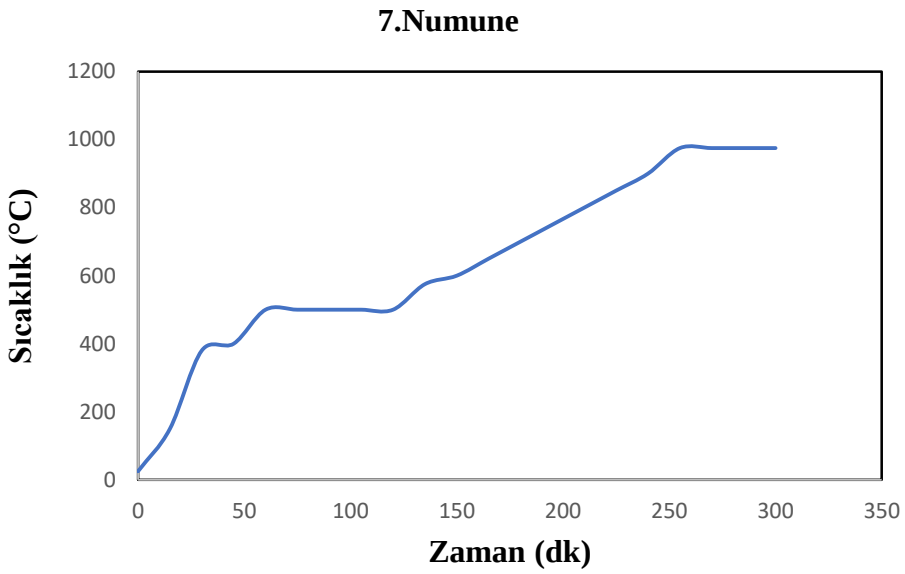
EK 5. Numune faktör A=2, B=2, C=3



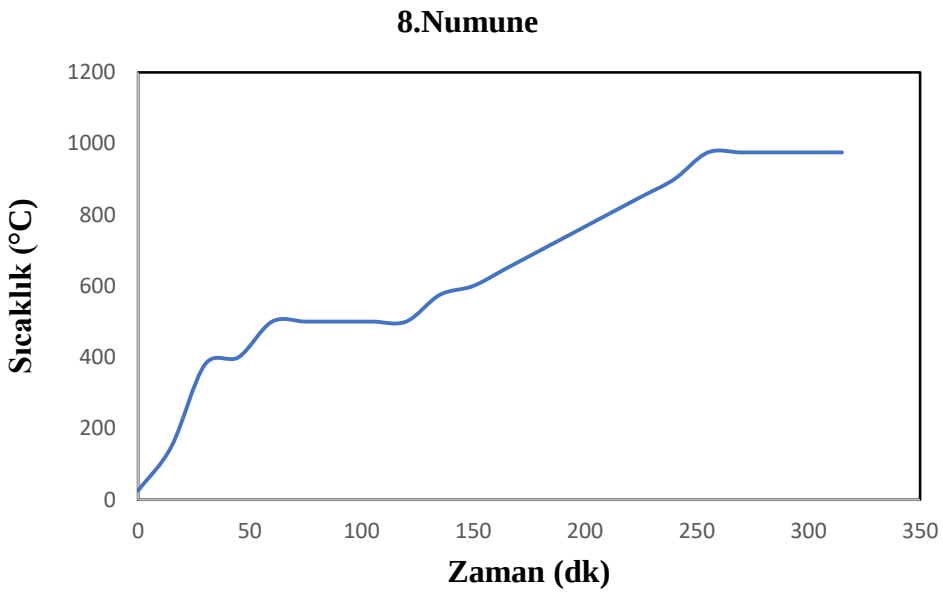
EK 6. Numune faktör A=2, B=3, C=1



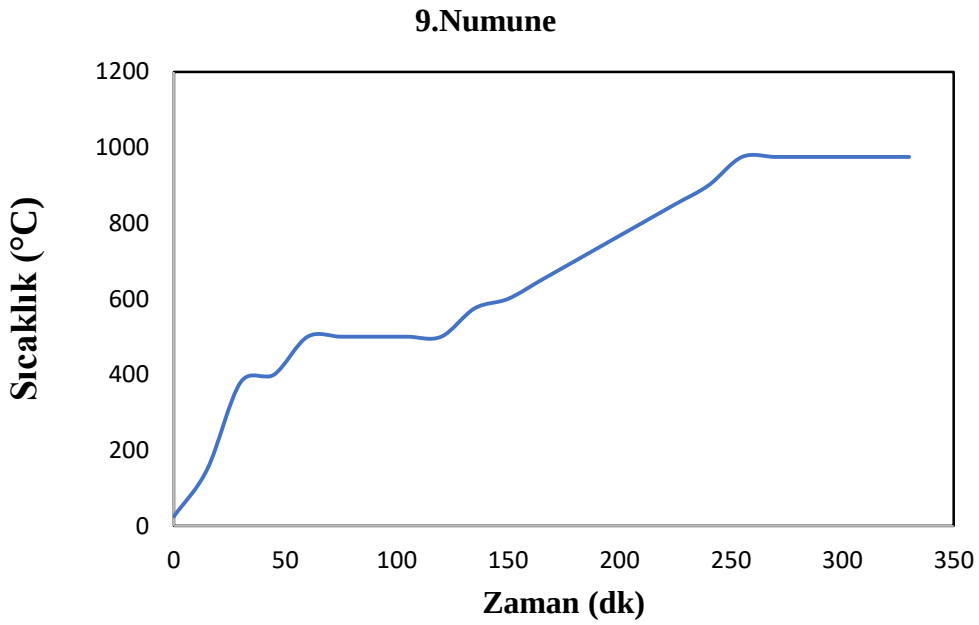
EK 7. Numune faktör A=3, B=1, C=3



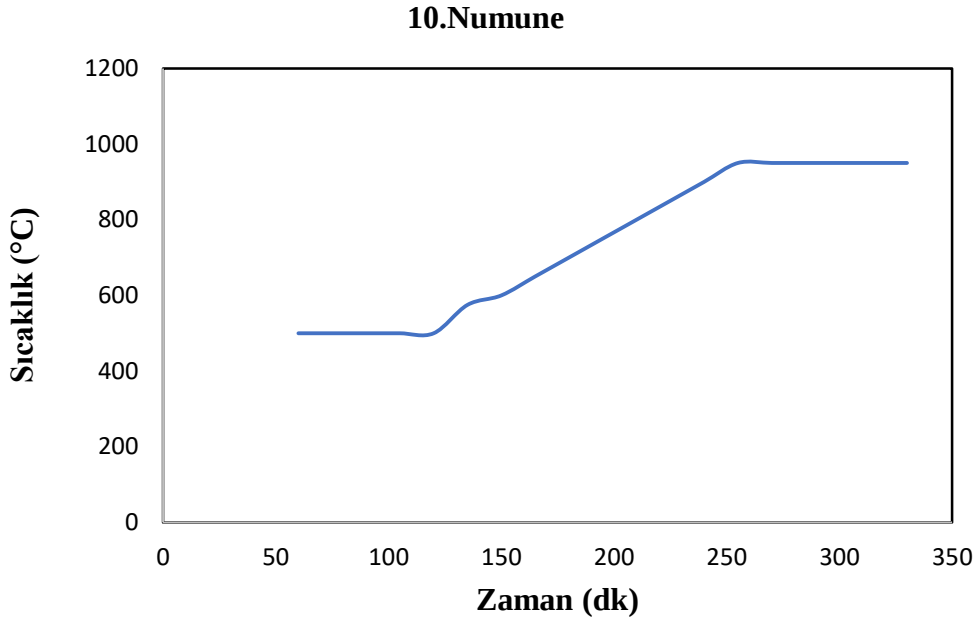
EK 8. Numune faktör A=3, B=2, C=1



EK 9. Numune faktör A=3, B=3, C=2



EK 10. Numune faktör A=2, B=3, C=2



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Fatih DEMİR

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	2018-2022
Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü	2014-2018
Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü (Ç.A.P.)	2015-2018
Ön Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektronik Haberleşme Bölümü	2012-2014

İş Deneyimi

Yıl	**Kurum**	**Görev**
2022-Halen	MKE A.Ş. Çankırı Silah Fabrikası	Üretim Mühendisi