



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SANTRİFÜJ DÖKÜM TEKNİĞİNDE KARŞILAŞILAN KALİTE HATALARININ
İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
AZALTILMASI

Betül SARGINOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Betül SARGINOĞLU tarafından hazırlanan “Santrifüj Döküm Tekniğinde Karşılaşılan Kalite Hatalarının İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri Kullanılarak Azaltılması” adlı tez çalışması 23/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN

.....

Danışman

Prof. Dr. Yakup KARA

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu çalışmadaki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Betül SARGINOĞLU

Tarih: 23/01/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SANTRİFÜJ DÖKÜM TEKNİĞİNDE KARŞILAŞILAN KALİTE HATALARININ İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL YÖNTEMLERİ KULLANILARAK AZALTILMASI

Betül SARGINOĞLU

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Yakup KARA

2023, viii+62 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. Yakup KARA
Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN**

Üretimde kalitenin artırılması, hataların saptanması ve doğru şekilde analizine bağlıdır. Hataların tespit edilip sürecin iyileştirilmesi kaliteye yansımaktadır. Araştırmanın amacı santrifüj döküm imalatı yapılan bir işletmede meydana gelen hata oranlarının fazla olmasından dolayı, müşteri istek ve beklentilerinin karşılanması için ürünlerde gerekli iyileştirmelerin yapılmasıdır. Ancak döküm işlemi çok fazla parametre içerdiğinden hata sebeplerine ulaşım o kadar kolay olmamaktadır. Bu çalışmada hataların meydana gelmesindeki kök nedenlere ulaşım, hata oluşumlarına kalıcı çözümler üretilmesi gerekliliği üzerinde durulmuştur. Değirmen sektörüne hizmet etmekte olan bu işletmede öncelikle hangi ürünlerin ele alınması gerekliliğine karar verilmiştir ve bu ürünlerde ne tür hatalarla hangi sıklıkla karşılaşıldığı tespit edilmiştir. En önemli hatalar sertlik verilerinde olduğundan dolayı sertlik verilerinin düzeltilmesi için gruplandırma, histogram, sebep-sonuç diyagramı ve kontrol grafikleri gibi istatistiksel proses kontrol yöntemleri ile regresyon analizlerinden faydalanıp, durumun analiz edilmesinin ardından uygun çözümler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Döküm, İstatistiksel Proses Kontrol, İyileştirme, Kalite, Santrifüj Döküm

ABSTRACT

MS THESIS

**REDUCTING OF QUALITY DEFECTS USING CENTRIFUGAL CASTING
USING STATISTICAL PROCESS CONTROL TECHNIQUES**

Betül SARGINOĞLU

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Yakup KARA

2023, viii+62 Pages

**Jury
Prof. Dr. Yakup KARA
Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN**

Increasing the quality in production depends on the detection and correct analysis of errors. Detecting errors and improving the process is reflected in quality. Purpose of the research when a mistake is made in a company that produces centrifugal casting, the necessary improvements must be made in the products for customer requests and practices. However, it is not easy to find the mistakes. Considering in this thesis, it was emphasized that the bleeding wound was found and experienced in this situation at the beginning. In this company, which is aimed at serving the milling industry, which product chosen were decided first and it was mistake types found in products determined that these were encountered. Statistical Process Control Techniques such as grouping, histogram, cause-effect diagram and control charts and with the help of regression analyzes, appropriate solutions were presented after the situation was analyzed.

Keywords: Casting, Centrifugal Casting, Improvement, Quality, Statistical Process Control

ÖNSÖZ

Rekabetin artmasıyla pazarda mevcut konumu korumak ve yeni pazar arayışlarına geçebilmek için müşteri istek ve beklentilerinin eksiksiz karşılanması gereklidir. Bu durumda kaliteyi sağlayabilmek için sürekli iyileştirmeler işletme için kaçınılmazdır. İnsan ihtiyaçlarının karşılanması veya hayatın kolaylaştırılması amacıyla hayatımıza giren madenler şekillendirilmiştir. Böylelikle dökümcülük iş kolu oluşmuştur. Zamanla insanların ihtiyaçlarının şekillenmesi ve daha yüksek yüzey kaliteli ürünlere ulaşılma arzusuyla santrifüj döküm yöntemleri oluşturulmuştur. Bu iş kolunun kendine özgü sıkıntıları ve kaliteyi etkileyen engelleri bulunmaktadır. Santrifüj döküm tekniğinde kullanılan santrifüj makineleri, kalıplar, madenlerin miktarı, hammadde kaliteleri, ortam sıcaklığı, maden sıcaklığı, soğutma suyu gibi birçok parametrenin bulunduğu bu ortamda öngörülen hataların yanında henüz keşfedilmemiş hataların da su yüzeyine çıkarılması ve çözüme kavuşturulması gereklidir. Müşteri istek ve beklentilerin karşılanabilmesi için kusurlu ürünlerin azaltılması, yok edilmesi, oluşumlarının da önlenmesi şarttır.

Bu çalışma santrifüj döküm gibi zorlu ve karmaşık üretim ortamlarında hataların keşfedilmesi ve analizlerinin yapılarak çözümlerin sunulabilmesi için kaleme alınmıştır. Hataların keşfine dair üstün ve etkili bir mühendislik yaklaşımını tamamlayan İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri ile kaliteye dair sorunlar tespit edilmekte ve çözüm için etkin metotlar geliştirilmektedir.

Şüphesiz sürekli iyileştirme ve önleme kültürü ile sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı için yapılan yatırımlar, sermayeye bir külfet değil gelecek için bir yatırım olacaktır ve sürekli kazanç sağlayacaktır.

Bu çalışmayı yapmakta beni yönlendiren ve yüreklendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yakup KARA'ya, desteğini üzerimden esirgemeyen Sevgili eşim Ömer Ali'ye ve beni bugünlere getiren annem ve babama şükranlarımı sunuyorum.

Betül SARGINOĞLU

KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Materyal	8
3.1.1. Ürünler	8
3.1.2. Üretim Süreçleri	9
3.1.3. Kalite Planları	11
3.1.4. Ölçüm Cihazları	14
3.1.5. Kalite Verileri	14
3.1.6. Minitab16 Yazılımı	15
3.2. Yöntem.....	16
3.2.1. Verilerin Toplanması	16
3.2.2. Kalite Hatalarının Analizi	17
3.2.3. Dağılım Uygunluk Testi	18
3.2.4. Regresyon Analizi.....	18
3.2.5. Korelasyon Analizi	19
3.2.6. İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri	19
3.2.7. Düzeltici ve Önleyici Faaliyetler	21
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	22
4.1. Hata Analizi Sonuçları	22
4.2. Dağılım Uygunluk Testi Sonuçları	29
4.3. Regresyon Analizi Sonuçları	30
4.4. Korelasyon Analizi Sonuçları	34
4.5. İstatistiksel Proses Kontrol Sonuçları	36
4.6. Düzeltici ve Önleyici Faaliyetler	41
4.7. Tartışma	52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	54
5.1. Sonuçlar	54
5.2. Öneriler	57
KAYNAKLAR	59
EKLER	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

HB	: Brinell
hz	: Frekans birimi
L	: İlk katman kalınlığı
p	: Sıvı yoğunluğu
Q	: Aktivasyon enerjisi
S	: İkinci katmanla birlikte katman kalınlığı
μ	: Sabit viskozite
τ	: Kesme kuvveti

Kısaltmalar

ep	: Aşırı basınç katığı
L	: Liso
K	: Kırıcı

1. GİRİŞ

İnsan ihtiyaçlarının karşılanmasında var olan iyileşme son elli yılda mühendislik faaliyetleri ve imalat yöntemlerinin geliştirilmesine bağlı olarak artmıştır. Bu imalatlardan en eskisi döküm işlemidir. İnsanların metallerle tanışıp malzeme olarak kullanmalarının M.Ö. 6000'den önceki yıllara kadar uzandığı tahmin edilmektedir. Doğada doğal haliyle bulunan altın ve gümüş gibi madenler şekillendirilebilme kolaylıkları nedeniyle çeşitli basit tas vs. ürünler yapılmıştır. Döküm tarihine bakıldığında Hititler'in birçok demirden silah yaptıkları gözlenmiştir. Demirden silah kullanan ilk toplum Hititler olmuştur. Bundan dolayı Hititler yüksek nitelikli demir işçilik ve sanatıyla uğraşan ilk uygarlık olmuştur (Campbell, 2015; Ataçelik Döküm, 2017).

Döküm, çeşitli metal ve madenlerin yüksek sıcaklıkta ergitilerek karışım oluşturulup ve bu karışımın çeşitli yöntemlerle kalıplara dökülerek soğutulup istenilen şekillerin elde edilmesidir. Döküm tarihi çok eskilere dayanan ve çok tehlikeli sınıfta yer alan proses olmasıyla birlikte burada yıpranma payı da yüksektir. Madenlerin birbirleriyle çabuk tepkimeye girebilmeleri, bazı madenlerin hemen parlama ve patlama özelliğine sahip olmaları bu bölümde çalışanların fazlasıyla hassas davranmalarını gerektirmektedir. Ancak buna rağmen döküm işlemi; karmaşık malzemelerin üretimini sağlaması, seri imalata hizmet edebilmesi, tonlarca ağırlıklı ve karmaşık şekillerin üretimine izin vermesi nedeniyle tercih sebebi olmuştur (Aran, 2007).

Bu çalışmada bahsedilen santrifüj döküm, merkezkaç döküm ya da savurma döküm olarak adlandırılmaktadır. Giderek yaygınlaşıp pek çok farklı yapıda parça ve çeşitli alaşım üretiminde kullanılmaya devam edilmiştir. Erimiş metalin bir eksen etrafında döndürülen kalıbın içine dökülüp merkezkaç kuvvetine maruz bırakılması neticesinde parçanın kalıbın şeklini alması ve şekillenerek katılaşması işlemini kapsamaktadır. Döndürme işlemi kalıp veya kalıp dışı bir tertibat ile sağlanır. Merkezkaç kuvveti madenin kalıp içinde homojen bir şekilde yayılımını sağlarken aynı zamanda gözeneksiz bir yapı da oluşturmaktadır (Anonymous, 2016; Pandey ve Kumar, 2017; El-Galy ve ark., 2017).

Bu çalışmada döküm ürünü olan vals silindiri imalatı dikkate alınarak döküm işlemi yapılırken çıkan hataların keşfedilip, ortadan kaldırılması çalışmaları yapılmıştır. Söz konusu ürün değirmen makinelerinin en büyük katma değeri olan Vals Silindirleridir bu ürünler; değirmenlerde buğday, arpa, yağ tohumları öğüterek; un,

çikolata, yem, bira gibi malzemeler ortaya çıkarmaktadır. Bu ürünlerin oluşumunda Vals Silindirlerinin karakteristik özellikleri önemli rol oynamaktadır. Bu karakteristiğin oluşumu da döküm işlemlerine yani döküm kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışma konusunu oluşturan Vals Silindirleri yatay santrifüj döküm yöntemi ile üretilmektedir. Üründe döküm işleminin tamamlanmasının ardından talaşlı imalatta şekillendirilmektedir. Vals imalatı gerçekleştirilirken bazı ürün karakteristiklerini müşteri belirlemektedir. Bunlar; ürün sertliği, boyu, çapı, bombe ve dış ölçüleridir. Bu çalışmada santrifüj döküm yöntemi ile vals silindiri imalatı yapılırken müşterinin vermiş olduğu karakteristiklere uyum ve karakteristiklerdeki hata oranları istatistiksel proses kontrol yöntemleri kullanılarak bulunmuştur.

Bu çalışmada müşteri siparişlerinin özellikle sertlik karakteristiği verileri üzerinde durmaları, sertlik karakteristiğinin ezme ve kırma işlemlerinde önemli rol oynaması, santrifüj döküm tekniği ile dökülen vals silindirlerinde hedeflenen sertlik verilerine ulaşamama durumlarının gözlemlenmesi gibi nedenlerle santrifüj döküm yöntemi ile dökülen vals silindirlerinde sertliklerden dolayı çıkan hatalı valslerin analizlerinin yapıp, sorunların kök nedenlerine ulaşarak uygun çözümlerin bulunması sağlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölüm, santrifüj döküm yöntemi çalışmalarının ortaya koyulması, özelliklerinin belirlenmesi, kaliteyi etkileyen parametrelerin ve çıktıların araştırılması ile literatürde yer alan çalışmalarda ön plana çıkan özelliklere vurgu yapılacak şekilde sunulmuştur.

Santrifüj döküm ve döküm hatalarına ilişkin çalışmalara ilişkin kaynak araştırmalarına aşağıda yer verilmiştir.

Zhou ve ark. (2015), tarafından santrifüj dökümün çalışma prensibi ele alınmıştır. Araştırmalarında farklı makine devirlerinde nasıl sonuçlar elde edileceğine dair sonuçların gözlemlenmesi amacıyla santrifüj döküm makinesi birden fazla devir ile çalıştırılarak makinenin farklı devirlerdeki tepkisi ele alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda dikey santrifüj döküm tekniğinin özel bir döküm tekniği olduğuna karar verilmiştir. Santrifüj döküm yönteminin çalışma prensibi çözülerek; ürüne istenilen şekli vermek amacıyla kullanılan kalıplara madenlerin doldurulması ve katılaşması işlemi yerçekimi ve merkezkaç kuvveti etkisiyle gerçekleştirdiği bildirilmiştir. Araştırmada santrifüj döküm yönteminde döküm kalitesine etki eden parametrelerden biri olan merkezkaç kuvvetinin ürün üzerine olan etkisi incelenmiştir. Merkezkaç kuvveti dönüş hızına bağlı olarak değişmekte olduğu için 3 farklı dönüş hızı ile döküm denemeleri yapılmıştır. Yaptıkları araştırmada doğru ve hassas gaz-sıvı arayüzünün izlenmesinin zor olduğu öngörülmüştür.

Gholami ve ark. (2018), çift katmanlı santrifüj döküm yöntemi kullanılarak üretilen ürünler ve ürünlerde meydana gelen hata türleri araştırılmıştır. Yapılan araştırmada dikey santrifüj döküm yöntemi ele alınmış ve alüminyum ürünler kullanılmıştır. Dikey santrifüj döküm yöntemi ile üretilen ürünün kalitesini etkileyen parametrelerin var olduğuna ulaşılmış ve araştırmalarında bu parametreler açıklanmıştır. Araştırmada öncelikle kullanılacak kalıp için 100 °C'de ısıtma işleminin ardından üründe 200 sn 'de katılaşma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ürün santrifüj işlemi ile döndükçe katılaşma işlemi gerçekleşerek, her dakikada farklı yüzey kalınlıkları oluşumu gerçekleştirilmiştir. Dakikadaki dönüş hızına göre ürün katmanların yüzey kalınlıklarında değişiklikler meydana gelmiştir. Yapılan araştırmada makine devirlerine göre ilk katman kalınlıkları; makine devri 800 devir/dakikada 1210 mm, 1600 devir/dakikada 830 mm, 2000 devir/dakikada 490 mm, birinci ve ikinci katmanın birleşimine ait olan yüzey kalınlıkları ise makine devri 800 devir/dakikada 1480 mm,

1600 devir/dakikada 1020 mm, 2000 devir/dakikada 700 mm olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak santrifüj döküm hızının artması ile birlikte yüzey kalınlığında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen ürünlerde meydana gelen hatalarda araştırma konusu olmuştur. Burada santrifüj döküm tekniği ile üretilen ürünlerin yüzeylerinde çok fazla hava ve gaz kabarcıkları gözlemlenmiştir. Yüzeyde oluşan bu gaz ve hava kabarcıkları kalite hataları olarak kayıtlara geçirilmiştir.

Gunara ve ark. (2019), araştırmaları otomobil endüstrisinde kullanılan motor bileşenlerinden biri olan piston segmanı üretimini santrifüj döküm yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmesi üzerine yapılmıştır. Araştırma boyutları 200 mm uzunluğunda 70 mm çapında olan piston segmanlarının tasarım ve üretimi için yürütülen santrifüj döküm yönteminin kullanılması ve döküm ürünlerinin kalitesinin artırılmasını içermektedir. Yapılan çalışmada döküm sıcaklığı 1280°C-1380°C aralığına ayarlanmıştır. Döküm işleminde gaz boşluklarından dolayı oluşan hatalar keşfedilmiş ve makine dönüş hızı optimum hızda olduğunda hataların azalacağı düşünülmüştür. Optimum hızın belirlenmemesinden kaynaklanan hataların azaltılarak verimin %95'e yükseleceği belirlenmiştir. Araştırmada makine dönüş hızı 600 rpm olup merkezkaç etkisiyle gaz boşluklarında azalma sağlanarak verim %95 oranına çıkartılmıştır. Araştırmada yapılan santrifüj işlemi yatay santrifüj döküm yöntemidir ve santrifüj döküm yönteminin avantajları incelenmiştir. Santrifüj döküm yöntemi ile içi boş silindir üretimi gerçekleştirildiğinde dakika da 600 devir ile dönüş hızı kullanıldığında verimli üretim sağlanmıştır. Diğer döküm yöntemlerinde bu verim %45 iken santrifüj dökümde bu değer %95 olmaktadır. Guanara ve ark. (2019)'da yaptıkları araştırmada santrifüj makinesinin çalışma tekniği ve optimum hızının bulunmasının kaliteye olan etkilerinin incelenmesinin yanında ürünler ile ilgili veri toplanması gerektiği durumlarda ürün sertlik testlerinin yapılması tavsiye edilmiştir. Ürün sertlik değerinin ürün karakteristiği hakkında verilere ulaştırılacağı vurgulanmıştır.

Mohiuddin ve ark. (2020), tarafından santrifüj döküm ele alınmıştır; 20. Yüzyılın başlangıcından sonra geliştirilen bir metal döküm işlemidir. Parça ihtiyacını karşılamak için santrifüj döküm işlemi kullanılmıştır. Santrifüj döküm işleminde, merkezkaç kuvvetinden faydalanılmaktadır. Cisim bir eksen etrafında döndürülerek oluşturulmaktadır. Bu süreçte, kalıp yatay düzleme göre çok yüksek hızda döndürülür ve erimiş maden kalıba dökülür. Böylece erimiş maden, merkezkaç kuvveti nedeniyle boşluğun yüzeyine atılır. Bu nedenle döküm içi boş silindir katılaştırılarak üretilmiştir.

Yatay santrifüj döküm, döküm uzunluğu daha fazla olan parçalar için kullanılmıştır. Diğer yandan çapın olduğu parçalar için dikey santrifüj döküm kullanılmıştır. Cismin kalınlığı, sıvının hacmine göre belirlenmiştir. Bu çalışmada üretilen üründeki verim, yerçekimi döküm işlemi veriminin üzerinde olmuştur. Üretimi gerçekleştirilen ürün 127 mm'lik bir iç çap ve 356.90 mm uzunluğundadır, Çalışmada santrifüj makinesinin önüne kapaklar eklenmiştir, böylece metal dökülmesinin önüne geçilmiştir. Proses parametreleri, malzeme tipi, kalıp dönüşü, dökme sıcaklığı, ön ısıtma sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Simülasyon programının ana çıktısı sıvının yoğunluğunun görselleştirilmesini içermektedir. Böylece üretim gerçekleşmeden oluşabilecek sorunların önceden ön görülmesinin sağlanmasıdır. Tüm santrifüj döküm parametreleri arasında malzeme, döküm sıcaklığı, kalıp rotasyon, ön ısıtma sıcaklığı, gözenekliliği etkileyebilecek dört etkili operasyonel parametre olarak kabul edilmiştir.

Qian ve ark. (2021), santrifüj döküm tekniği kullanılarak üretilen alüminyum boru üretiminde üründe meydana gelen sıcak deformasyon ele alınmıştır. Üretimi gerçekleştirilen alüminyum boru mükemmel korozyon direncine sahip karakteristiktir. Bu nedenle öncelikle denizcilik endüstrisinde kullanılmaktadır. Santrifüj döküm ise merkezkaç kuvveti kullanılarak silindirik malzemelerin döküm işlemidir, santrifüj döküm erimiş metalin hızla dönen silindirik bir kalıba döküldüğünde ve bu işleme erimiş metalin merkezkaç kuvvetinin etkisiyle kalıbın duvarlarına doğru hareket ettirildiğine değinilmiştir. Santrifüj döküm işlemi makine dönmesiyle birlikte üründe katılma gerçekleşerek ürün oluşumudur. Bu katılma iç, orta ve dış katmanda farklı oranlarda gerçekleşmiştir.

Yin ve ark. (2021), dikey santrifüj döküm yöntemi kullanılarak titanyum üretimi ele alınmıştır. Döküm sürecindeki kontrollerin önemi kaliteyi etkilediğini ve bu durumdan dolayı süreç kontrollerinin önemi vurgulanmıştır. Çünkü süreç uygun bir şekilde kontrol edilemezse çeşitli sorunlar oluşabilmektedir. Süreçteki sıkıntılar gaz-sıvı akışında ciddi düzensizliğe neden olur ve daha sonra büzülme gerçekleşerek boşluk ve gözeneklilik oluşmaktadır. Santrifüj makinesi saat yönünde 500 rpm hızda döndürülmüştür. Makineye hız sensörü monte edilmiştir. Akışı ölçmek için debimetre kullanılmıştır. Dökme süresi ve dökme hızı elektrik sinyalleri ile kontrol edilmiştir. Akışkanların sıkıştırılmayacağını ve viskozite katsayılarının değişmeden kalacağını çalışmalarında savunmuşlardır. Çözüm olarak; fiziksel simülasyon deneyi yapılmıştır. Dikey santrifüj dökümde titanyum morfolojik özelliklerini elde etmek için izleme

yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kalıp hareketsizken, tüm sıvı kalıp yönü boyunca ileriye doğru dolar, kalıp döndüğünde, sıvı önce kalıbın alt kısmı boyunca kalıba dolar ve dönüş yönünün karşısındaki yan duvar dolar. Aynı zamanda ön eğrilik merkezi ile kavisli bir yapı oluşturur, dikey santrifüj dökümde hızın artmasıyla birlikte sıvı parçacıklarının kalıp üzerindeki tepe basıncı birkaç kat artar, kalıp hızı 45 rpm'ye ulaştığında tipik türbülanslı girdaplar görülür. Hız 180 rpm'ye ulaşana kadar girdaplar oluşur sonra azalır hız 120 rpm'de minimum olur sonuçlarına ulaşılmıştır.

Patel ve ark. (2021), dökümün metali şekillendirme de en önemli tekniklerden biri olduğu vurgulanmıştır. Santrifüj döküm yatay ve dikey olmak üzere iki teknikten oluştuğu söylenmiştir. İnsanlık tarihinde oklar, mızraklar, kalkanlar dökümün mütevazı parçalarındandır. Döküm işlemi eritilen metalin şekil alacağı kalıba dökülerek gerçekleştiği anlatılmıştır. Çalışmalarını döküm proseslerinin iyileştirilmesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Dökümün büyük parçalar için elverişli olması avantajlı bir durum oluşturmuştur. İyileştirilmesi için süreç optimizasyonu gereklidir. Döküm çeşitlerinden bahsedilerek santrifüj döküm; ince duvarlı silindirleri dökmek için dönen kalıp kullanılarak yapılan hassas döküm tanımı kullanılmıştır. Halka ve silindir gibi şekillerin dikey döküm, boru şekilleri yatay döküm için daha uygun olduğu savunulmuştur. Her iki süreç tek bir parçadan birden fazla parça üretmek için tekrar kullanılabilir kalıplar ile yapılan döküm çeşididir. Araştırmalarında döküm hatalarının üzerinde durulmuştur. Bu hatalar metal döküm işleminde istenmeyen düzensizlik, döküm kusuru olarak adlandırılmıştır. Bazı kusurların giderilir ve bazı kusurların da tamir edilebilir olduğu belirtilmiştir. Kusurların 3 genel kaynağını; döküm tasarımı, üretim tekniği veya teknik-işçilik uygulamalarından olduğu söylenmiştir.

Nosir ve ark. (2022), kaliteli döküm elde etmek için kullanılması gereken külçe miktarlarını hesaplayarak bunların önce eritilmesini ardından şekillendirilmesini açıklamaktadır. Bir indüksiyon ocağı kullanılarak besleme diskinin yerleştirme şeması olacak yüzeyde düzgün bir dağılımı sağlayan döküm kalıbı kullanılmıştır. Araştırmalarında döküm işleminin ucuz bir yöntem olduğunu ancak dökümde kaliteyi artırmak için mekanik ve operasyonel özelliklere dikkat edilmesi gerekliliği savunulmuştur. Yüksek kalite ve ekonomik olarak ucuz alaşımlar üretilirken alaşımın kimyasal bileşimini değiştirmek, işletme koşullarına bağlılık mevcuttur. Çalışma şartları dikkate alınarak sünek beyaz dökme demir üretimi için doğru sisteminin seçilmesi ve iyileştirilmesi gereklidir. Cumhuriyetin bağımsızlığından sonra Özbekistan'ın

gelişmesiyle birlikte metalurji, madencilik ve dökümhane, araştırma çalışmaları gelişmiştir. Böylelikle ithal ürünler ikame edilebilir beyaz dökme demire dönüştürülerek birçok ihtiyaç dışı bağlı olmadan karşılanmaya başlanmıştır. Ancak ürünlerde meydana gelen hataların düzeltilmesi ve iyileştirilmelerine ihtiyaç olduğu kanısına varılmıştır. Yüksek kaliteyi elde edebilmek için beyaz dökme demir teknolojinin kullanılması, modern gereksinimlerle dökümhanelerin düzeltilmesi, optimum bileşim ve ısıl işlemlere ihtiyacın olduğu söylenmiştir. Kum kalıptan yapılan dökümlerde daha büyük gözenekler ve kusurlarla karşılaşmıştır. Soğutma sıcaklığındaki farklılıklardan dolayı ürün yapısında değişiklikler oluşmaktadır. Üründe çatlaklar ve gaz kabarcıkları kusurlu ürünlere sebebiyet verdiği çalışmalarında gözlemlenmiştir.

Literatürde santrifüj döküm değerlendirilirken, santrifüj döküm tekniğinin özellikleri, avantajları ve dezavantajları belirlenmiş olsa da yaşanan hataların farklılıklar göstermesi nedeniyle standart bir yapı elde edilememiştir. Ancak söz konusu araştırmalar, santrifüj dökümün, diğer döküm yöntemlerine göre yüksek yüzey kalitesine sahipliğini göstermektedir. Araştırmalar, elde edilen verilerin nasıl yorumlanacağına, çıktılarının iyileştirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması amacıyla müdahale noktalarının nasıl belirleneceğine ilişkin etkin sonuçlar sunmuştur. Literatürde deney testlerinden ve çeşitli simülasyon programlarından yararlandığı gözlemlenmiştir. Santrifüj döküm yöntemine bağlı olarak üretilen ürünlerle ilgili literatür taramalarının çift katlı döküm yöntemine göre yapılan üretimlerde oldukça az veri bulunduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalar çoğunlukla tek katlı santrifüj döküm yöntemlerini içermektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

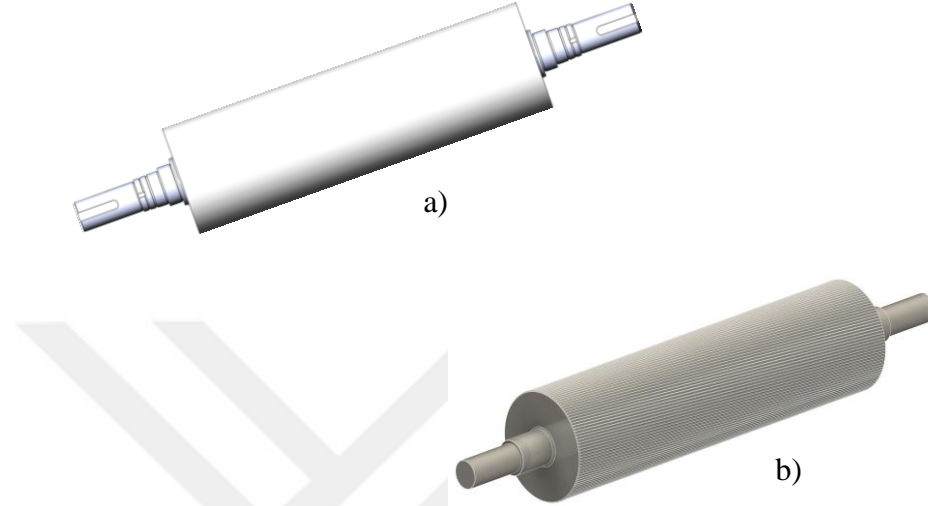
3.1. Materyal

Değirmen vals imalatı gerçekleştirilen bir işletmenin ürün, süreç ve kalite verileri bu çalışmanın temel materyalini oluşturmaktadır. Bu veriler santrifüj döküm tekniği ile üretilen ürünlerin döküm aşamasından müşteriye ulaşana kadar bulunan zaman diliminde keşfedilen hataları kapsamaktadır. Kullanılacak veriler 2021 yılı içerisinde gerçekleşen hatalı ürünlerden oluşmaktadır. Dökümden kaynaklanan hatalar bazen döküm işlemi gerçekleşir gerçekleşmez karşımıza çıkmaz hata ürünün daha alt katmanlarında kalmış olabilir bu sebepten dolayı döküm işlemi tamamlandıktan sonra talaşlı imalat işlemleri esnasında ürünlerin durumu takip edilmiştir. Bu verilere ulaşabilmek için üretimin bazı alanlarında Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) programından destek alınmıştır. ERP sisteminde kayıt altına alınamayan bazı alanlarda bu çalışma için veriler günün belirli saatlerinde örneklemeler alınarak belli ölçümler gerçekleştirilerek toplanmıştır. Toplanan bu veriler veri çeşidine göre nitel veya nicel gruplarda bulunan İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri ile analiz edilmiştir. Verilerin toplanmasında ve analizinde İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri kullanılarak ardından sonuçlar Minitab16 programında analiz işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak materyaller aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

3.1.1. Ürünler

Bu çalışmada, ele alınan ürün santrifüj döküm tekniği kullanılarak değirmen makinelerinin en büyük katma değeri olan vals silindiri olmaktadır. Vals silindirleri çift katlı savurma döküm yöntemiyle dış tabakanın beyaz dökme demirden, iç tabakanın ise gri dökme demirden meydana gelmesiyle oluşmaktadır. Dış katmanı oluşturan beyaz dökme demir yüzeyde aşınma dayanımını sağlarken iç katmanını oluşturan gri dökme demir yapısı ise vals üzerine gelen radyal yüklere dayanım sağlamaktadır. Dış tabaka ile iç tabaka arasında oluşturulan geçiş tabakası ise sertliğin iç bölgeye gidildikçe düzgün bir şekilde düşmesini sağlayarak dışarıdan gelen yükün ve mikro darbelerin sönmülmesi sağlanmaktadır. Değirmen makinelerinde kullanılan değirmen valsleri gıda ürünlerinin kırma ve öğütme işlemlerini gerçekleştirir ve gıda öğütücü sistemlerinin en önemli parçasıdır. Kırma ve ezme özelliklerine göre kırıcı ve liso olarak çeşitlenmektedirler. Kırıcı vals silindirleri üzerinde dişler bulunarak malzemeyi kesme özelliğiyle küçük parçalara ayırmaktadır. Liso vals Silindirleri de yüzeylerinin kumlanmasıyla sahip olduğu pürüzlülük ile soya, mısır, ay çekirdeği gibi ürünleri

ezerek yağlarını çıkarmaktadır. Öğütme işlemlerinin sağlıklı olması Vals Silindirlerinin karakteristikleriyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu da döküm kalitesine bağlı olmaktadır. Liso ve kırıcı vals silindirine ait görseller Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Vals Silindirleri; **a)** Liso Vals Silindiri Görseli **b)** Kırıcı Vals Silindiri Görseli

3.1.2. Üretim Süreçleri

Bu çalışmada üretim süreçleri, santrifüj döküm ve talaşlı imalat işlemlerini kapsamaktadır. İlgili vals topuna ait kokil (şamut, kil ve seramik gibi ısıya dayanıklı malzemelerden üretilir) santrifüj kalıbı, ısıtma fırınından vinç yardımıyla alınarak santrifüj makinesine bağlanır. Döküm işlemi gerçekleşecek ürünün çap ve boy ölçülerine göre döküm parametreleri çizelgesinde yardım alınarak santrifüj süresi ve devir sayıları bulunur. Kalıp ön ve arka kapakları makinenin yanına getirilerek hazırlanır. Döküme yetecek kadar astar ve grafit hazırlanmasıyla birlikte ve makinenin yanına getirilir. Kapakların iç yüzeyleri fırça yardımıyla grafitle sıvanır. Kalıbın içinin temizliği kontrol edilir. Temiz değilse hava tutularak temizlenir. Kalıp iç yüzeyi astarlanır. Kapaklar kalıba yerleştirilir. Kapak sabitleme pimleri çıkmayacak şekilde çekiç kullanılarak yerine çakılır. Kapağın kalıba metal sızdırmayacak şekilde oturup oturmadığı kontrol edilir. Kapak tam oturmamış ise pimler çıkartılır, kalıp ile kapak arasına sıkışmış olabilecek maddeler temizlenir, kapak yeniden yerine çakılarak kapağın tam olarak kalıba oturması sağlanır. Yolluk iç yüzeyleri fırça yardımıyla grafitle sıvandıktan sonra yolluk santrifüj makinesinin önündeki yerine yerleştirilir. Dökülecek metalin eritilmesi tamamlanmış ve döküme hazır ise santrifüj makinesinin çalıştırma

düğmesine basılarak çalıştırılır. Dökülecek top ağırlığına uygun taşıma potası vinç ile ergimiş sert tabaka metalinin bulunduğu ocak potasının önüne getirilir. Döküm iş emrinde belirtilen ağırlık miktarı kadar ergimiş maden askılı kantara bakılarak potaya doldurulur. Ergimiş metal bulunan taşıma potası santrifüj makinesinin önüne getirilir, ergimiş metal çalışmakta olan santrifüj makinesinin yolluğuna acele etmeden, dikkatlice dökülür. Taşıma potasına yumuşak kısım ergimiş metal bulunan ocak potasından ergimiş metal alınır ve aynı şekilde aynı santrifüj makinesinin yolluğuna dökülür. Potadaki maden biterken soğutma suyu açılır.

Santrifüj döküm parametreleri çizelgesinde belirtilen santrifüjleme süresi sonunda makine kapatılır. Makine durduktan sonra kalıbın önündeki yolluklar kenara çekilir. Kalıbın ön ve arka kapakları yerinden çıkartılır. Vinç makinenin önüne yaklaştırılır. Kalıbın içindeki katılaşmış Vals Topu itici yardımıyla kalıptan acele etmeden ve dikkatli bir şekilde çıkartılır. Top kalıptan ilgili aparatlar kullanılarak çıkartılır, kalıptan çıkartılan toplar soğuma alanına taşınır, düzgün olarak sıralanır ve soğumaya bırakılır. Soğuyan vals silindirleri talaşlı imalata taşınarak çeşitli proseslerden geçer ve nihai ürüne dönüşür. Santrifüj döküm görselleri Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Santrifüj Döküm Makinesi

Döküm işlemi gerçekleşen ürün farklı boy ve ebatlarda olabilmektedir. Ürün boyutların da ki değişiklik farklı kalıpların kullanımını getirmektedir. Bu çalışmada ölçüm değeri alınan ürünlerde kullanılan kalıp ölçüleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 İşletmede Kullanılan Santrifüj Döküm Kalıp Ölçüleri

<i>Kalıp No</i>	<i>Kalıp Çapı (mm)</i>	<i>Kalıp Boyu (mm)</i>
27	261	1110
30	265	1055
31	218	1050
32	265	1055
33	265	1055
34	282	1050
35	268	1055
37	268	1055
38	262	1060
40	268	1055

3.1.3. Kalite Planları

Santrifüj döküm işlemleri ile üretimi gerçekleştirilen ürünler de ki hataların gözlemlenebilmesi için süreç ile ilgili verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Üretim süreci boyunca hangi zamanlarda hangi verilerin nasıl alınması gerektiğine firma tarafından karar verilmiştir. Ürünlerde ölçümler yapılırken daha önceki tecrübeler ile oluşturulan kalite planları dikkate alınıp ölçüm işlemleri bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Destek doküman olarak kullanılan kalite planları ürün bittikten sonra ve hala ürünün üretim aşamasındaki kontrolleri kapsamaktadır. Kalite planları Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Nihai Ürün Kalite Kontrol Planı

ÜRETİM SONRASI SON KONTROL			
MUAYENE SORUMLUSU	MUAYENE SIKLIĞI	KALİTE KAYDI	
Kalite Şefliği/Son Kontrol Sorumlusu	Nihai ürün haline gelen mamullerin tamamı % 100 muayene edilir.	ÜR-FR-20	
KONTROL EDİLECEK ÖZELLİKLER	KABUL DEĞERİ VE TOLERANSLARI	MUAYENE VE DENEY	
		TALİMAT	CİHAZI
Yapılış ve Yüzey Özellikleri	Vals toplarında ve kollarında çatlak, leke, döküm boşluğu ve derin çizik bulunmamalıdır. Açılmış vida dişlerinde kırılma ve ezilme bulunmamalıdır. Son kontrolü yapılmak üzere bekleyen topların tamamı % 100 gözle kontrol edilmelidir. Sert maden ile yumuşak maden kesinlikle birleşmiş olmalıdır. Şüphe durumunda ÜR-TA-24 Çatlak Kontrol Talimatı 'na göre kontrol edilmelidir.	ÜR-TA-24	Gözle Kontrol
Boyutlar	Boy ölçümü kumpas, dış çap ölçümü mikrometre ile yapılmalıdır. Kolsuz toplarda kol geçme çapı komparatörle veya iç çap mikrometresi ile; çap dış çap mikrometresi veya kumpasla; kol geçme boyu derinlik kumpası ile ölçülmelidir. Sert tabaka kalınlığı topun her iki alınının birkaç farklı noktasından ölçülmelidir. Kollarında dış bulunan toplarda dış kontrolü Geçer- Geçmez Tampon ve Halka master ile yapılmalı. Boyut kontrollerinde, kalibrasyonu yapılmamış veya kalibrasyon tarihi geçmiş ölçü alet ve cihazı kullanılmamalı.	-	Kumpas, Komparatör, Mikrometre Master
Sert Tabaka Kalınlığı	İlgili Üretim İş Emrinde belirtilmemiş ise Vals Silindiri (Topu) Ürün Standardında belirtilen sert tabaka kalınlık değerlerine uygun olmalıdır.	-	Kumpas
Birleşmeme Kontrolü	Sert ve yumuşak madenin birbirine kesinlikle birleşmiş olması gerekir.	ÜR-TA-24	Sıvı Penetrant Manyetik Partikül

Çizelge 3.3. Proses Kalite Planı

1. DÖKÜM SONRASI MUAYENE	
Muayene Sıklığı	Döküm kalıbından çıkartılan toplar, soğuma alanında bekleyip soğuduktan sonra tamamı % 100 muayene edilir.
Yapılacak Muayene	Gözle döküm boşluğu ve çatlak kontrolü
Kabul Değeri ve Tolerans	Dökümden çıkan toplarda döküm boşlukları ve çatlak olmamalıdır.
Muayene Deney Talimatı	ÜR-TA-11 Döküm Sonrası Kontrol Talimatı
Kalite Kaydı	ÜR-FR-13 Vals Topu Refakat Kartı
2. TALAŞLI İŞLEM AŞAMASI MUAYENELERİ	
2.1. PARÇA MUAYENESİ	
Muayene Sıklığı	Tüm tezgahlarda üretimi ilk başladığında, gün içerisinde tezgah ayarı değiştirildiğinde ve gün içerisinde gerek görüldüğü anda, parti içinde ilk işlenen vals topları parça muayenesine tabi tutulur.
Kontrol Edilecek Özellikler	<u>Yüzey Özellikleri:</u> Vals topu ve kollarının yüzey, kenar ve köşeleri gözle kontrol edilir. <u>Boyutlar:</u> Top Dış Çapı, Kol Fatura Dış Çapları, Kol Fatura Derinlikleri, Dış Ölçüleri, Rulman Yeri Sıklığı kontrol edilir.
Kabul Değeri ve Toleransı	<u>Yüzey Özellikleri:</u> Gözle yapılan kontrolde; vals toplarında ve kollarında çatlak, çapak, döküm boşluğu, derin çizik ve karıncalanma bulunmamalıdır. Kenar ve köşe radyuslarında düzgünlük ve farklılık olmamalıdır. Açılmış vida dişlerinde kırılma ve ezilme bulunmamalıdır: <u>Boyutlar:</u> Kontrol edilen ürünün teknik resmindeki boyutlara uygun olmalıdır.
2.2. ARA KONTROL MUAYENESİ:	
Muayene Sıklığı	Günde birkaç kere ve İmalat Müdürünün gerekli gördüğü zamanlarda olmak üzere Finiş, Freze, Taşlama Tezgahlarında en son işlenen vals toplarından rasgele biri numune alınır ve muayene ve ilgili formlarına kayıt edilir.
Kontrol Edilecek Özellikler	<u>Yüzey Özellikleri:</u> Vals topu ve kollarının yüzey, kenar ve köşeleri gözle kontrol edilir. <u>Boyutlar:</u> Vals Kolları ve Vals Topları teknik resimlerinde belirtilen boyutlar doğrultusunda ölçülür. <u>Birleşmeme Kontrolü:</u> Sert maden ile yumuşak maden arasındaki birleşmeme gözle ve gerekirse sıvı penetrant, ultrasonik veya manyetik ölçü aletleri ile kontrol edilir.
Kabul Değeri Ve Toleransı	<u>Yüzey Özellikleri:</u> Gözle yapılan kontrolde; vals toplarında ve kollarında çatlak, çapak, döküm boşluğu, derin çizik, leke ve karıncalanma bulunmamalıdır. Kenar ve köşe radyuslarında bozukluk ve farklılık olmamalıdır. Açılmış vida dişlerinde kırılma ve ezilme bulunmamalıdır: <u>Boyutlar:</u> Kontrol edilen ürünün teknik resmindeki ölçülerine/refakat kartındaki Kabul Değerlerinde belirtilen ölçülere uygun olmalıdır. <u>Birleşmeme Kontrolü:</u> Tamamen birleşmelidir.
Muayene Ve Deney Talimatı	ÜR-TA-24 Çatlak Kontrol Talimatı

3.1.4. Ölçüm Cihazları

Ölçüm cihazları fiziksel nicelik ölçmeyi sağlamaktadırlar. Vals imalatı yapılırken ürünün sahip olduğu özellikleri ölçmek için bazı ölçüm cihazlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Vals imalatı döküm işleminde karışım oluşturulduktan sonra ocaktan numune bir parça alınır ve bu numunenin içerisindeki element oranlarının kontrolünün sağlanması yapılır. Bu kontrol spektrometre cihazı ile yapılarak ilgili dökümdeki element oranlarını bildiren bir rapor cihaz tarafından oluşturulur. Spektrometre bir analiz cihazıdır. Döküm işlemi yapılması ile birlikte her döküm bir şarj olarak adlandırılarak, ilgili şarjlardan birer adet numune alınır ve bu numuneler spektrometrede analiz edilir. Vals Silindirleri döküm kalite standartlarına göre dökülmektedir. Bu standartlar daha önceki tecrübeler ile oluşturulmuş firmaya özgü standartlardır. Spektrometre sayesinde ölçümler alınarak dökülen ürünlerin standarda yakınlığına bakılır ve duruma göre hala ocakta bulunan maden oranları ayarlanabilir. İmalat işlemi gerçekleşirken ürüne belirli bir miktar sert tabaka kalınlığı verilmektedir. Bu kalınlığın ölçüleri sertliği etkilemektedir. Bu veriler için sert tabaka kalınlığı kumpas ile ölçülürken ürün sertlikleri de sertlik ölçme cihazları ile ölçülür. Sertlik ölçme cihazları portatif ve değişebilen prob uçlar sayesinde üretimde rahatlıkla kullanılabilir. Bir ölçüm alabilmek için Vals Silindiri üzerinde beş ayrı noktadan ölçüm alınır ve sertlik ölçme cihazı bu ölçümlerin ortalamasını vererek ürün sertliğini ortaya çıkartmaktadır. Vals Silindiri imalatında bir diğer önemli karakteristik olan çaplar ise dış çap ölçü aletleri olarak dış çap mikrometreleri ile ölçülür. Her çap aralığı için farklı ebatlarda dış çap mikrometreleri bulunmaktadır.

3.1.5. Kalite Verileri

Vals silindirlerinin spesifikasyonlarını belirleyen kalite parametreleri aşağıda listelenmiştir. Bu çalışmada aşağıda verilen parametrelere ait veriler toplanmıştır.

- ✓ Top Çapı
- ✓ Top Boyu
- ✓ Bombe
- ✓ Sert Tabaka Kalınlığı
- ✓ Sertlik
- ✓ Yüzey Pürüzlülüğü

Ağırlık gibi kalite verileri nitel ve nicel bilgi parçalarının bütünü ifade etmektedir. Bu çalışmada öncelikle hata verileri ele alınmıştır. Bu hata verileri 2021 yılına ait kırıcı ve liso vals silindirlerini içermektedir. İlgili hatalar üretimde ortaya çıktığı noktada sistemde bulunan ERP sistemi vasıtasıyla hatalar hemen kayıt altına alınmakta ve sisteme girişleri operatörler tarafından tamamlanmaktadır. Hata verilerine ulaşıldıktan sonra sistem de en sık yaşanan ve önemi büyük olan hataya karar verilmesinin ardından ilgili hata için ölçümler toplanmaya başlanmıştır. En sık rastlanan ve önem derecesi büyük olan hatanın ürün sertliği olduğuna karar verilmiştir. Sertlik verileri sertlik cihazları ile her üründe ayrı ayrı ölçümler yapıp ilgili vals silindir numarası kullanılarak ERP sisteminde kayıt altına alınmaktadır. Bu veriler 2021 yılı K.250.1000 ve L.250.1000 vals silindirlerinin ölçümlerini kapsamaktadır.

Verilerin toplanması; santrifüj döküm prosesi, saçmalama işlemi, kaba torna, sırt torna, alın torna, delik içi torna, finiş işlemi, frezeleme işlemi, taşlama işlemi, balans, dişleme ve kumlama olmak üzere 12 adet proses içermektedir. Çünkü bazen hatalar kendini hemen ilk operasyonlarda veya direk yüzeylerde göstermeyip, daha derinlerde olabiliyor bu nedenle tüm proseslerde hataların çıkma olasılığı bulunmaktadır. Buna bağlı olarak tüm üretim proseslerinden veriler toplanmalıdır.

Üretim sürecinin iyi gittiği veya süreçlerde sıkıntılar olduğunu gözlemlemek oldukça zor bir süreçtir. Süreç hakkında yorum yapılabilmesi için gözlem ve verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru çözümlere ulaşım; verilerin doğru toplanmasından ve sağlıklı analizlerden geçmektedir. Bu nedenle kalite verileri toplanırken bu veriler güvenilir yerlerden alınmalıdır (Durakovic, 2013; Bayhan ve ark. 2022).

3.1.6. Minitab16 Yazılımı

Microsoft Windows işletim sisteminde kullanılan bir istatistiksel yazılımdır. Bu programda grafikler oluşturulup grafiklerin tekrardan güncellenebilmesi mümkündür. İstatistiksel Proses Kontrol araç setine sahip olmasıyla birlikte karmaşık verileri de analiz edebilmektedir. Problemin kök nedenlerini analiz ederek sebep sonuç diyagramı oluşturabilmektedir. Bir çeşit analiz programı olan Minitab16 birden fazla değişkenin olduğu durumlarda ilgili değişkenlerin birbiri ile ilişkisinin gözlemlenebilmesi için regresyon analizlerine imkan verebilmektedir. Bu analizlerin yapılması ile birlikte değişkenler arasındaki bağlantılar çok rahat bir şekilde görülmektedir. Toplanan kalite verilerinin süreç kapasitesi hakkında analiz edilebilmesi için içerisinde kapasite

analizlerini barındırmaktadır. Verilerin kapasite hakkında analizi grafiklere dökerek vermektedir. Aynı zamanda sürecin zamana göre değişiminin gözlenmesi veya verilerin limitlerin ne kadar dışında olduğunu görmek için akış çizelgesi ve kontrol grafikleri minitab16 programı üzerinden oluşturulmaktadır.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada kalitenin ve verimliliğin artırılması amacıyla hatalı ürünlerin bulunup çözümlerin sunulması için çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda izlenen adımlar aşağıda verilmiştir.

1. Verilerin Toplanması
2. Kalite Hatalarının Analizi
3. Dağılım Uygunluk Testi
4. Regresyon Analizi
5. Korelasyon Analizi
6. İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri
7. Düzeltici ve Önleyici Faaliyetler

Yukarıda verilen adımlar sonraki bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

3.2.1. Verilerin Toplanması

Verilerin toplanmasına santrifüj döküm işlemi gerçekleşirken tüm hammaddelerin ocakta eritildiği andan itibaren başlanmaktadır. Ocaktan alınan her numuneye şarj numarası verilerek spektrometre analiz cihazında içerisinde bulunan element oranları ortaya çıkarılmaktadır. İlgili analiz sonucuna göre hammadde oranlarında gerekli değişiklikler yapılarak üretim sürecine devam edilmektedir. Döküm işlemi gerçekleşip talaşlı imalatta çeşitli proseslerden geçen ürün kalite kontrol aşamasına geldiğinde çap, boy, sert tabaka, sertlik, fatura ölçüleri gibi çeşitli ölçümleri alınarak ERP sisteminde ölçüm verileri kayıt altına alınmaktadır. ERP sistemine giriş yapılırken vals silindirlerinin her biri için ayrı ayrı verilen toplamda yedi haneden oluşan iş emri numaraları kullanılır. Bu iş emri numarası sayesinde ürün izlenebilirliği sağlanarak döküm aşamasından talaşlı imalata kadar tüm aşamaların ölçümleri kayıt altına alınmıştır.

3.2.2. Kalite Hatalarının Analizi

Bu çalışmada, ele alınan vals silindirinin üretimin yapıldığı firma da birden fazla proses bulunmaktadır. Bu proseslerde görevli operatörler ve her operatöre ait veri girişleri yapılacak tabletler mevcuttur. İlgili proseste üründe meydana gelen hata da operatör tabletlere hata girişlerini yapmaktadırlar. 2021 yılı içerisinde toplanan vals silindirlerine ait hata analizleri yapılırken İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemlerinden faydalanılmıştır. Gruplandırma, sebep sonuç diyagramı, histogram ve kontrol grafikleri analizler yapılırken kullanılan tekniklerdendir. Bu teknikler aşağıda açıklanmaktadır.

Gruplandırma: Bu teknik hataların bulunup çözüme kavuşmasında önleyici olan, hataları belirli gruplarda bir araya getirebilen bir tekniktir. Sınıflandırma tekniği verileri ayırarak daha kolay anlaşılır duruma getirilmesini sağlar. Örneğin işletmede gerçekleşen üretim hataları hata kaynaklarına göre sınıflandırılırsa gerçekleşen sorunun hangi durumdan dolayı kaynaklandığı tablolarda ortaya çıkacaktır. Bu teknik, verileri düzenleyerek diğer istatistiksel tekniklere temel kaynak oluşturmaktadır. Fakat tek başına bu teknik sorunları çözümlenme de yeterli olmamaktadır. Ancak diğer istatistiksel tekniklere yardımcı etkili bir yöntemdir.

Histogram (Sütun Grafiği): Histogram bir veri setinin dağılımını tanımlar, veri setindeki değişimin grafiksel özetidir (Karaca, 2012). Histogramda yer alan veriler ne kadar çok olursa, elde edilen histogram o derece gerçeğe yakın olmaktadır. Histogramlar nitel ve nicel verilerin belirli bir zaman dilimindeki gözlem dağılımının değişkenliğini grafiksel olarak yansıtır. İlgili kişiler konu ile ilgili analizler yaparak sürecin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Histogramlar otuz ya da daha fazla gözlem değerine göre oluşturulursa daha faydalı olmaktadır. Uygun sınıf sayısı belirlenerek sınıf aralıkları histogramda bulunmaktadır. Çetele diyagramları ile elde edilen çetelelerden her sınıf için frekans değerlerine ulaşılmaktadır. Frekans değerleri için çubuk diyagramlar yatay eksene yerleştirilmektedir (Birgören ve Koçer, 2004).

Sebep–Sonuç Diyagramı (Balık Kılıcı): Kaoru İshikawa tarafından geliştirilen sebep-sonuç (balık kılıcı) diyagramı amacı bir problemin kök sebebi ile ilgili farklı teoriler arasındaki karşılıklı ilişkileri düzenlemek ve göstermektir. Sebep–sonuç diyagramı sistematik bir şekilde, yapılandırılmış belirli bir problemin, mümkün olan

sebeplerine odaklanarak, bir problem çözüme ekibine, potansiyel sebepler üzerinde düşünüp açığa kavuşturmak için olanak sağlayıp ve hataların gerçek kök sebeplerini keşfetmesi için daha verimli çalışmalarına imkan sunmaktadır.

Kontrol Grafikleri: Kalite kontrol grafikleri, bir süreçte meydana gelen değişimleri ve bu değişimlerin nedenlerini analiz etmede kullanılan istatistiksel araçlardır (Mehrafruz ve Noorossana, 2011; Ilgın ve ark., 2016). İstatistiksel süreç kontrolleri firmanın kalitesini ve verimliliğini artırmak için kullanılan bir süreçtir. Kontrol grafikleri her ne kadar 50 yılı aşkın süredir uygulanmakta olsalar da günümüzde kullanımlarında büyük artış olmuştur. Sebebi de rekabete ve kalite iyileştirmelerine katkı sağlamalarıdır. Kontrol çizelgelerinin uygulanması mühendislik ve bir dizi teknik davranış gerektirmektedir (Kartal, 2002; Liu ve ark., 2013).

3.2.3. Dağılım Uygunluk Testi

Vals silindirlerine ait toplanan hata kayıtları verileri Minitab16 programı aracılığıyla analiz edilmektedir. Programda analiz işlemlerinin yapıp ilgili grafiklerin oluşturulması için verilerin hangi dağılıma uyduğuna bakılması gerekliliğinden dolayı verilerin hangi dağılıma uyduğuna bakılmalıdır. Verilerin dağılımı normal dağılıma uyan veya normal dağılıma uymayan veriler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hangi dağılıma uygunluğuna karar verildikten sonra minitab16 programı üzerinden diğer testler gerçekleştirilmektedir. Dağılıma uygunluk testi gerçekleştirilirken programda normallik testi olarak adlandırılan Probability Plot testi kullanılmaktadır. Testin sonucuna göre dağılım hakkında bilgi edinilmektedir. Uygunluğuna baktığımızda p değeri; 0,05'den küçük olduğu durumlarda dağılım normal dağılıma uymamaktadır. Ancak bu değer 0,05'ten büyük ise dağılım normal dağılıma uymaktadır.

3.2.4. Regresyon Analizi

İki ya da daha fazla nicel değişken arasında ki ilişkiyi ölçmek için kullanılmaktadır. Regresyon analizinde bağımlı ve bağımsız değişkenler bulunmaktadır. Çalışmamızda sertlik karakteristiği bağımlı değişkendir bu değişkenin verilerini etkileyen karbon, mangan ve nikel bağımsız değişkenleri ele alınarak aralarında ki ilişki analiz edilmektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için beta katsayılarının işaretlerinin belirlenmesi gereklidir. Beta katsayısının işareti

negatif ise ters yönlü, işaret pozitif ise aynı yönlü bir etkileşim olduğu anlamına gelmektedir. Regresyon formülasyonu aşağıda verilmiştir.

$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$ burada;

$Y \Rightarrow$ bağımlı (sonuç) değişkeni,

$X \Rightarrow$ bağımsız (sebeup) değişkeni temsil eder,

$\alpha \Rightarrow$ sabit olup $X = 0$ olduğunda Y 'nin aldığı değerdir,

$\beta \Rightarrow$ regresyon katsayısı olup, X 'de meydana gelecek bir birimlik değişimin

Y de ki etkisini gösterir,

$\varepsilon \Rightarrow$ tesadüfi hata terimidir,

Bu çalışmada tek değişkenli regresyon analizi yapılmıştır.

3.2.5. Korelasyon Analizi

İstatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan korelasyon analizi iki değişken arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Yapılan bu korelasyon analizi sayesinde iki değişken arasındaki ilişkinin yönü ve derecesi ortaya çıkmaktadır. Korelasyon analizinde istatistiksel olarak anlamlı olan ilişkiler yorumlanmaktadır.

Korelasyon analizine ilişkin istatistiksel hipotezler aşağıda verilmiştir.

H_0 : Korelasyon analizi istatistiksel olarak anlamsızdır.

H_1 : Korelasyon analizi istatistiksel olarak anlamlıdır.

H_0 hipotezi reddedildiğinde korelasyon katsayısının anlamlı olduğu kanısına varılır.

Korelasyon analizinde ortaya çıkan sonuçlar $p < 0,05$ ise korelasyon katsayısının anlamlı olduğu kanısına varılır. Korelasyon kat sayısı r olarak gösterilmektedir. r , -1 ile +1 arasında değer almaktadır.

3.2.6. İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri

Bu çalışmada öncelikle gruplandırma metodundan yararlanılarak sistemde ne tür hataların olduğu ortaya çıkartılmıştır. Gruplandırma metodu verileri belirli gruplara ayırarak ilgili grup başlığında nicel veriler vermektedir. Veriler belirli gruplara ayrılması analizi sade hale getirmektedir. Bir diğer kontrol tekniği histogramlardır, veri sıklıklarının grafiksel olarak ortaya dökülmesini sağlayan analizler olarak adlandırılır ve histogramlar da gruplandırma metodu gibi verilerin yorumlanmasını kolaylaştıran araçlardır. Bu çalışmada histogramlara da yer verilmiştir. Histogram çalışmalarının

tamamlanmasının ardından hataların meydana gelmesinde ki kök nedenleri inceleyen sebep-sonuç diyagramları kullanılmıştır. Bu diyagramların amacı bir problemin kök nedeni ile ilgili farklı teoriler arasındaki karşılıklı ilişkileri düzenlemek ve göstermektir. Bu çalışmada sebep-sonuç diyagramları ile sertlik verilerinin neden istenilen değerlerde olmadığı analiz yapılmıştır. Sebep-sonuç diyagramı sistematik bir şekilde, yapılandırılmış belirli bir problemin, mümkün olan sebeplerine odaklanarak, bir problem çözme ekibine, potansiyel sebepler üzerinde düşünüp açığa kavuşturmak için olanak sağlayarak ve takımın gerçek kök sebep veya sebepleri keşfetmek için daha verimli çalışmalarına imkan sunmuştur. Firmanın kalitesini ve verimliliğini artırmak için etkin bir süreç olan İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemlerinden bir diğeri de kontrol grafikleridir. Kontrol grafiklerinin kullanımları oldukça yoğundur. Bu çalışmada kalite karakteristiklerinin ölçülebilen, sayısal olarak ifade edilebilen değişkenleri için kullanılmıştır. Sürecin zaman içerisinde de ki değişimi gözlemlenerek prosesin kontrol limitlerinde olup olmadığı hakkında analiz yapılmaktadır (Akyurt, 2020). Prosesi etkileyen iki etki söz konusudur bunlardan biri yaygın etki diğeri özel etkidir. Yaygın etki müdahale edemeyeceğin, değiştirilemeyecek etkidir örneğin titreşim bir yaygın etkidir. Özel etki ise müdahale edilebilir ve düzeltilebilir durumlardır örneğin kesici uç kırılması söz konusu olduğu durumlardır. Kontrol grafikleri belirlenen limitler ışığında verilerdeki sapmaları gösteren grafiklerdir. Sorunların nedenleri söylemese de sorunlar hakkında ip uçları verilmektedir. Kontrol grafiklerinin kullanımları verilerin türlerine ve miktarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin sekizden fazla verinin olduğu durumlarda X Bar-S Kontrol Grafikleri daha sağlıklı sonuçlar vermesinden dolayı X Bar-S Kontrol Grafiği kullanılmalıdır. Bu çalışmada kullanılan veriler sekizden fazla olduğu için X Bar-S Kontrol Grafiği kullanımı tercih edilmiştir. Çalışmada faydalanılan bir başka kontrol grafiği ise I-MR Kontrol Grafikleridir. Bu grafiklerde ardışık veriler arasındaki mutlak değerlerin alınarak çizilen grafikler olup süreli ve her ürün için ölçüm içeren verileri gösteren grafiklerdir. Bu grafiklerde ürünlere bağlı sapmalar gözlemlenerek süreçler yorumlanmaktadır (Bayraktar, 2007; Kaya ve Ağa, 2011; Yıldırım ve Karaca, 2013; Arslan, 2020).

3.2.7. Düzeltici ve Önleyici Faaliyetler

Ölçüm hatalarının fazla olması, süreç kapasitesinin doğru ölçülmesini önleyerek, kök sebeplerin bulunmasını zorlaştıracak ve sonuç olarak süreç iyileştirme çalışmalarının başarıya ulaşmasını engelleyecektir (Kuvvetli ve ark., 2022). Bu nedenle bu çalışmada, düzeltici faaliyetlerde bulunabilmesi için verilerin doğru bir şekilde toplanması sağlanmıştır.

Üründe veya süreçte meydana gelen olumsuz durumlarda olumsuzluğu ortadan kaldırmak düzeltici faaliyet olmaktadır. Ancak olumsuzluklar ile karşılaşmadan oluşabilecek durumların önceden tahmin edilerek oluşmasını engellemek için yapılan çalışmalarda önleyici faaliyetler olarak adlandırılmaktadır. Hataları elimine etmek, süreçleri iyileştirmek, kayıpları azaltmak veya verimliliği sağlamak için bu faaliyetlere aktif bir şekilde ihtiyaç duyulmaktadır (Duran ve ark., 2012; Girma ve Sahu, 2020).

Düzeltilici faaliyetler hataların keşfedilmesinin ardından hataların tekrar yaşanmaması için süreçte ters giden durumların çeşitli yöntemlerle bulunarak ortadan kaldırılmasını sağlayarak önleyici faaliyetler ile hataların meydana gelmeden önce hataların oluşma ihtimallerinin bulunup onların ortadan kaldırılmasıdır. Düzenli bir şekilde yapılan önleyici faaliyetler sistemde oluşabilecek hataların önceden ön görülmesini destekleyecek veriler oluşturarak hataların yaşanmasını azaltacaktır. Ayrıca düzeltici faaliyetlerde alınan aksiyonlar kayıt altına alınarak tekrar bir olumsuzluk yaşandığında daha önce kayıt altına alınan çözümler çalışmalara katkı sağlayacaktır. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan verilerin yorumlanmasıyla birlikte çıkan hatalar gözlemlenmiştir. Düzeltici faaliyetlerde bulunması kararı alınmıştır. Bu çalışmada ele alınan konu sertlik verilerinin müşteri isteklerine uygun bir şekilde üretilmemesinden dolayı yaşanan hataların düzeltici faaliyetler ile ortadan kaldırılması ve tekrar yaşanmaması için önleyici faaliyetler ile desteklenmesi olmuştur (Juran ve Godfrey, 1999).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hata Analizi Sonuçları

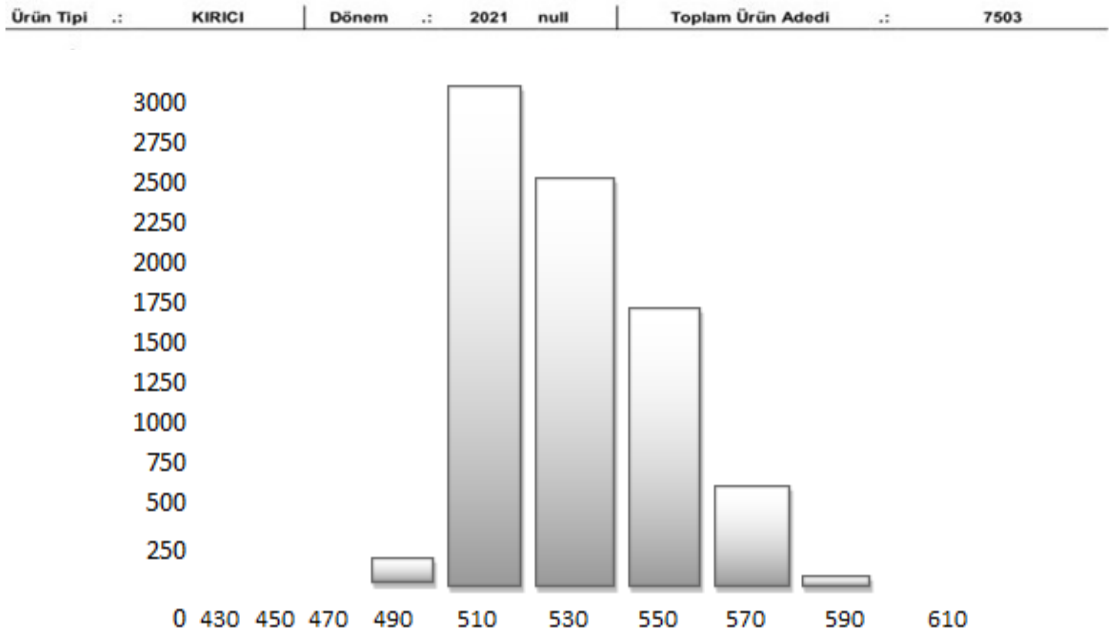
Bu çalışmanın amacı santrifüj döküm tekniği ile üretimi gerçekleştiren Vals Silindirlerinde meydana gelen hataların sebepleri araştırılarak hataların kök nedenlerine ulaşıp sorunları ortadan kaldırmak ve tekrar yaşanmamasının sağlanarak hata oranlarının düşürülüp verimliliğin artırılmasıdır. Yapılan çalışmada hataların iyileştirilmesi için öncelikle ne tür sorunlar ile karşılaşıldığının görünmesi amacıyla hatalar gözlemlenmiştir. Hataların gözlemlenmesinin ardından önem derecelerine göre hatalar elenerek firma için en önemli sorun ele alınmıştır. Hata çeşitleri ulaşılrken İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemlerinden biri olan gruplandırma metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada firma için önem derecesi yüksek olan sorun sertlik verilerinin müşteri isteklerine uygun olmaması olmuştur. Çizelge 4.1’de yapılan gruplandırma metodu ile firmada çıkan hata türleri gösterilirken sertlik verileri daha detaylı olarak Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de buluna grafiklerde gösterilmiştir (Aydın ve Kargı, 2018).

Çizelge 4.1. Ürün Bazında Çıkan Hataların Gruplandırması

Hata Türü	K.180.800	K.220.600	K.250.600	K.250.800	K.200.1400	K.250.1000	K.250.1250	K.250.1500	K.300.1000	K.300.1200	K.300.1250	K.300.1500	K.457.914	K.800.2100	L.250.800	L.250.1000	L.250.1250	L.310.1000	L.310.1200	P.300.1000	Toplam (Adet)
Top Tüzeyinde Çatlamalar				2		23	15	1	1	1		1	1	1	1	4	5	1	1	1	59
Alın Çatlağı		1	1			4										1	1				8
Sert Tabaka İncelmesi						1															1
Düşük Yüzey Kalitesi					1	2	8	1								2	2				16
Üründe Kırılmalar-Patlamalar	1					1	2														4
Hasarlı Ürün							1														1
Küçük Kılcal Çatlamalar							1														1
Türbülans											1										1
Sıvı Metal Akması						2															2
Top Bozulması						1										4					5
Yüzey Hataları								1													1
Toplam (Adet)	1	1	1	2	1	34	27	3	1	1	1	1	1	1	1	11	8	1	1	1	99

Çıkan hataların en büyük çoğunluğu yüzeyde çatlamalardan meydana gelmektedir. Ancak müşteri isteklerine bakıldığında müşteriler ürünlerinin belirli bir sertlikte olmalarını talep etmektedirler. Ürünlerde istenilen bu değerlerin oluşturulması oldukça zor olmaktadır. Sebebi ise döküm ortamında sertlik verisini etkileyen birden fazla parametrenin bulunmasıdır. Sertlik vals silindirlerinin en büyük katma değerini oluşturan özelliklerden birisidir. Buğday, soya, arpa gibi ürünler çok sert ürünler olması nedeniyle işlenirken vals silindirlerinde aşınmalar yaşanabilmektedir. Vals silindirlerinin bu ürünlere karşı direnç gösterebilmesinden dolayı belirli sertlik değerlerine sahip olmaları verimli ve uzun ömürlü olmalarını sağlamaktadır. Bunun bilincinde olan müşteriler siparişlerini verdiklerinde istedikleri sertlik değerlerini de belirterek ürünlerini belirtmiş oldukları sertlik değerlerinde almak istemektedirler.

Yani sertlik değeri müşterinin önemseydiği değer de olduğu için kalitemizde önemli bir yere sahiptir. Çünkü kalite müşteri memnuniyetinin sağlanmasıdır. Bu sebepten sertlik verilerinin toplanıp analiz edilmesi ve bu verilerde iyileştirmelerin yapılması kanısına varılmıştır. Ürün sertliği için veri analizleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

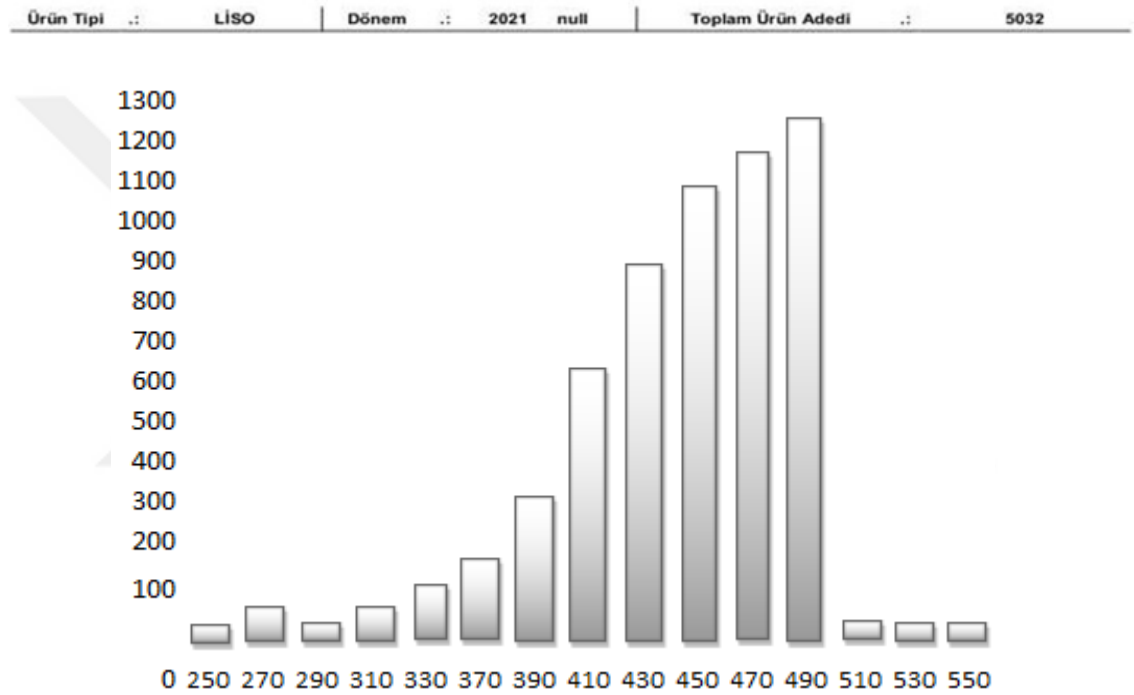


Şekil 4.1. Kırıcı Vals Silindirleri Sertlik Dağılımları

Şekil 4.1’de gösterilen veriler 2021 yılı içerisinde santrifüj döküm yöntemi ile üretimi gerçekleşen kırıcı vals silindirlerine ait sertlik verileridir. Kırıcı vals

silindirlerine ait ürünlerin sertlikleri tek tek ölçülüp kayıt altına alınmıştır. Toplamda 7503 adet kırıcı vals silindirleri için belirlenen toleranslar 500-550 HB'dır. Grafiklere bakıldığında toleranslar dışında kalan vals silindiri oranı %1,86 yani 7503 vals silindirinin de 140 adettir.

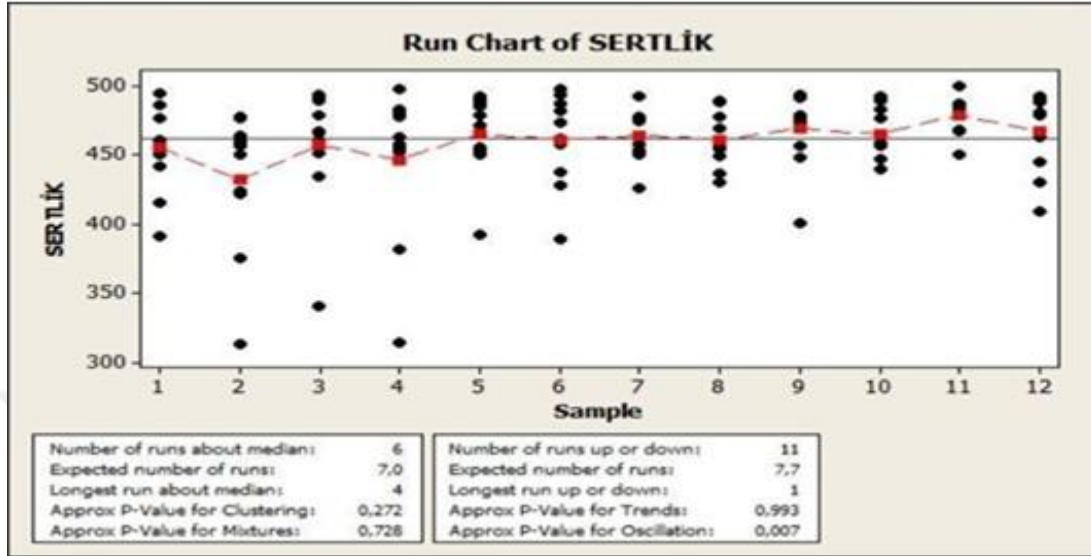
Bir diğer analiz de piyasada en çok talep edilen liso vals silindirleri için yapılmıştır. Şekil 4.2'de gösterilen veriler liso vals silindirlerine aittir. Liso vals silindirleri için tolerans aralığı 430-490 HB olarak belirlenmiştir. Grafikte de görülmek üzere sertlik verilerinde %1,9 yani 5032 vals silindirinde 95 adet olmaktadır.



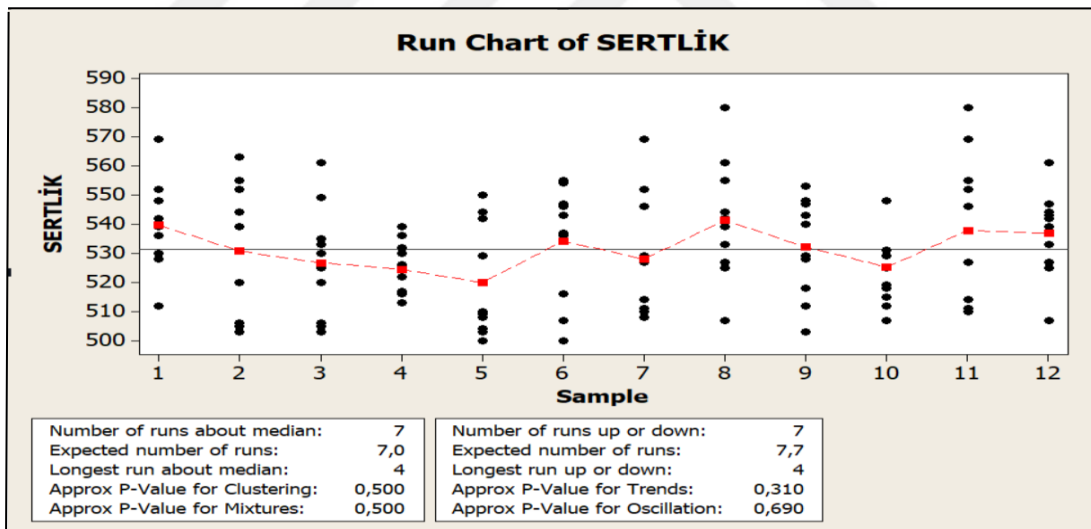
Şekil 4.2. Liso Vals Silindirleri Sertlik Dağılımları

Sürecin performansının izlenmesi amacıyla Minitab16 programında oluşturulan Run Chart grafiklerinden yararlanılmıştır. Şekil 4.3'de gösterilen grafikte L.250.1000 Vals Silindirlerine ait sertlik verileri mevcuttur. Bir yıl için on iki ay ayrı ayrı gösterilmiştir. Grafikte kırmızı noktalar ilgili ayda bulunan on verinin ortalamasını temsil ederken siyah noktalar verilerin kendini temsil etmektedir. Run Chart oluşturulurken tüm veriler kullanılmamıştır. Her ay için karışık on adet numune seçilerek toplamda yüz yirmi adet vals silindiri analizi yapılmıştır. Şekil 4.3.'te ki grafiklere bakıldığında veriler arasındaki mesafe çok fazla ve verilerin çok değişken olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda sürecin performansının kötü olduğunu

göstermiştir. Aynı durum Şekil 4.4.'te gösterilen K.250.1000 Vals Silindirleri için de geçerlidir. Kırıcı vals silindirleri için de her ay on adet olmak üzere toplamda yüz yirmi adet veri için analiz gerçekleştirilmiştir.



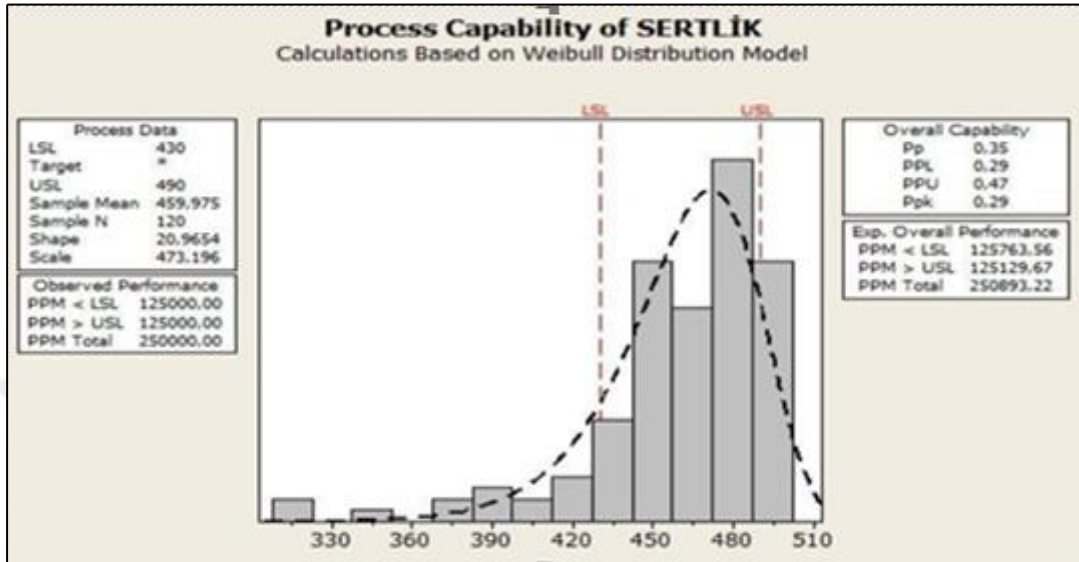
Şekil 4.3. L.250.1000 Vals Silindiri Run Chart



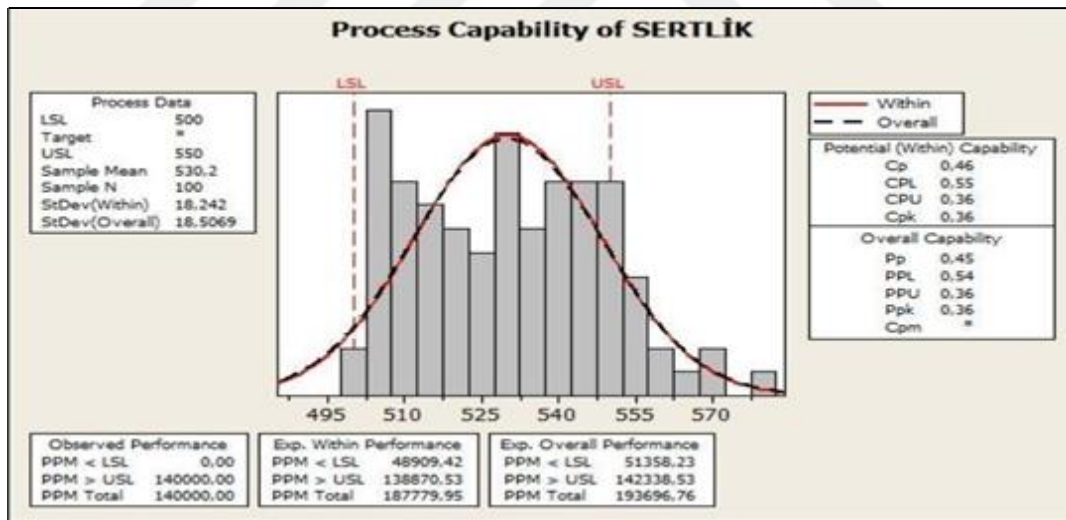
Şekil 4.4. K.250.1000 Vals Silindiri Run Chart

Bu çalışmada düzeltilmesi gereken hata türüne karar verilmesinin ardından ilgili hata türünün analizleri yapılmıştır. Öncelikle miktar analizleri yapıлып ardından süreçteki performans gözlemlenmiştir. Sertlik verileri için proses kapasitesi de gözlemlenerek süreç yeterliliğine bakılmıştır. Teorilere bakıldığında iyi bir proses için kapasite analizinde bulunan CPK değeri 1,33'ün üzerinde olması durumunda prosesin durumunun iyi olduğu söylenebilmektedir. Şekil 4.5.'de gösterilen L.250.1000 Vals

Silindirleri için proses kapasitesi gözlemlenmiştir. Bu çalışmada CPK değeri 0.21, Şekil 4.6.'da kırıcı vals silindirleri için de CPK değeri 0.36 olmaktadır. Bu değerler kabul edilmeyen değerler olup süreçte iyileştirmelerin yapılması gerekliliğini söylemektedir.

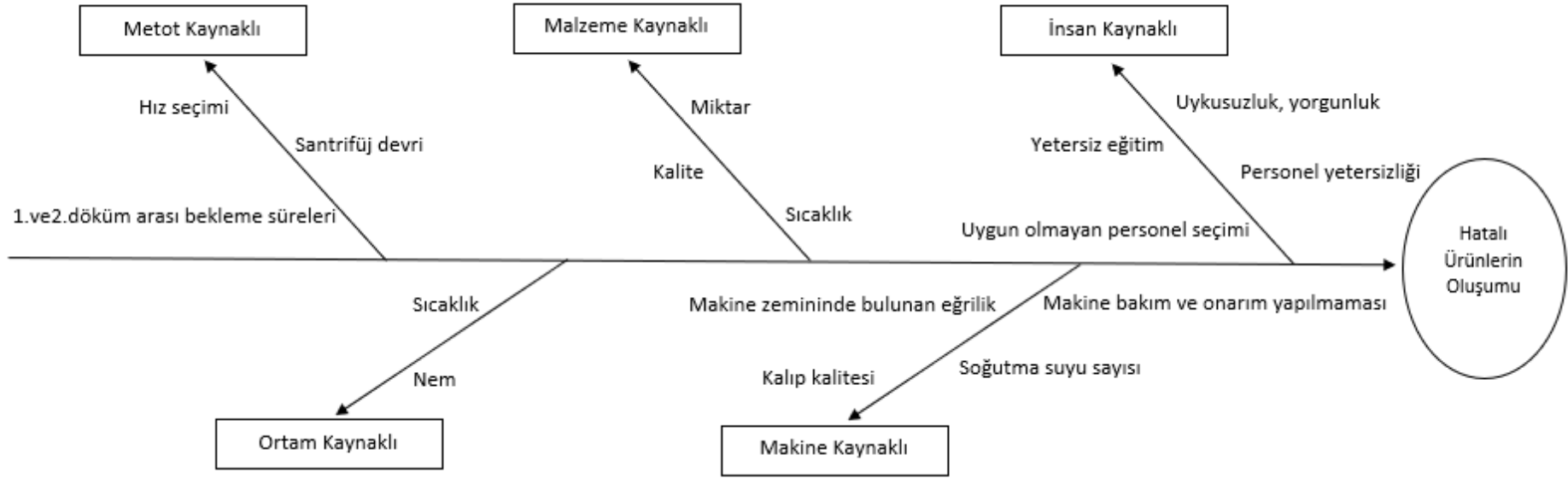


Şekil 4.5. L.250.1000 Vals Silindiri Proses Analizi



Şekil 4.6. K.250.1000 Vals Silindiri Proses Analizi

Hataların çeşitlerinin ve miktarlarının ortaya çıkartılmasından sonra bu hataların oluşum sebeplerinin kök nedenlerine sebep-sonuç diyagramı ile bakılmıştır. Bu diyagram ile hataların oluşum sebeplerinin hangi kaynaktan oluşabileceği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sebep-sonuç diyagramı Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



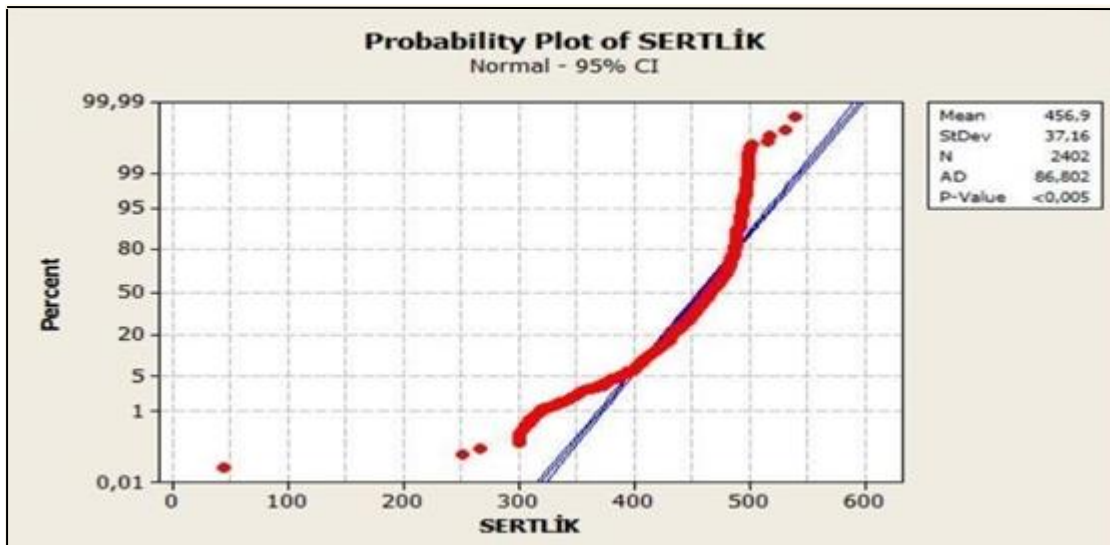
Şekil 4.7. Santrifüj Döküm Hatalarına Yönelik Sebep-Sonuç Diyagramı

Şekil 4.7’de gösterilen sebep–sonuç diyagramında ele alınan başlıklara bakıldığında; hataların sebepleri İnsan Kaynaklı, Malzeme Kaynaklı, Metot Kaynaklı, Makine Kaynaklı, Ortam Kaynaklı olabilmektedir. Hata kaynakları İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemlerinden sebep–sonuç diyagramı ile incelenmiştir. Hataya sebebiyet veren kaynaklardan biri **insan** kaynaklı hatalardır çünkü döküm işleminde üretim akışında insana bağlılık çok fazla olmaktadır. Bu da çalışanın gerek uykusuz olması gerek yetersiz yetkinliklerinden dolayı hatalar yapmasına sebebiyet vermektedir. Çalışanın üretimi etkileyen parametrelerin optimum düzeyde yerine getirebilmesi için gerekli eğitimi almış ve üretim ortamına uyum sağlayabilecek durumda olması önemli bir etkidir. **Malzeme** kaynaklı olabilme ihtimallerine bakıldığında üretimde hatalı ürünler olsa da sağlam ürünlerin oranları daha fazladır ve hepsinde aynı kalitede hammadde kullanılmaktadır. Yani malzeme kaynaklı olsaydı sağlam ürün oranı daha fazla olamazdı. **Metot** kaynaklı olma ihtimali de mevcut, çift katlı döküm yapılırken dış maden döküldükten sonra araya bir zaman girmesinin ardından iç maden dökülüyor bu ardaki zamanın ayarlanmasında sıkıntılar hataya sebebiyet verebilir. Hataların **makine** kaynaklı olması durumuna bakıldığında hatalı ve sağlam ürünlerin kullanıldığı makineler ile kalıplar incelendiğinde makine ve kalıp sıkıntısı görülmemiştir. Ancak makine çalışma prensibinde devir oranının ayarlanmasında bir sıkıntı olmuş olabilir. Son olarak da hataların bir oluşum sebebi de **ortamdan** kaynaklanabilir, sıcaklık nem ürün karakteristiğinde büyük etken oluşturduğu için ortamın durum da sertlik verilerinde etkili olabilmektedir.

4.2. Dağılım Uygunluk Testi Sonuçları

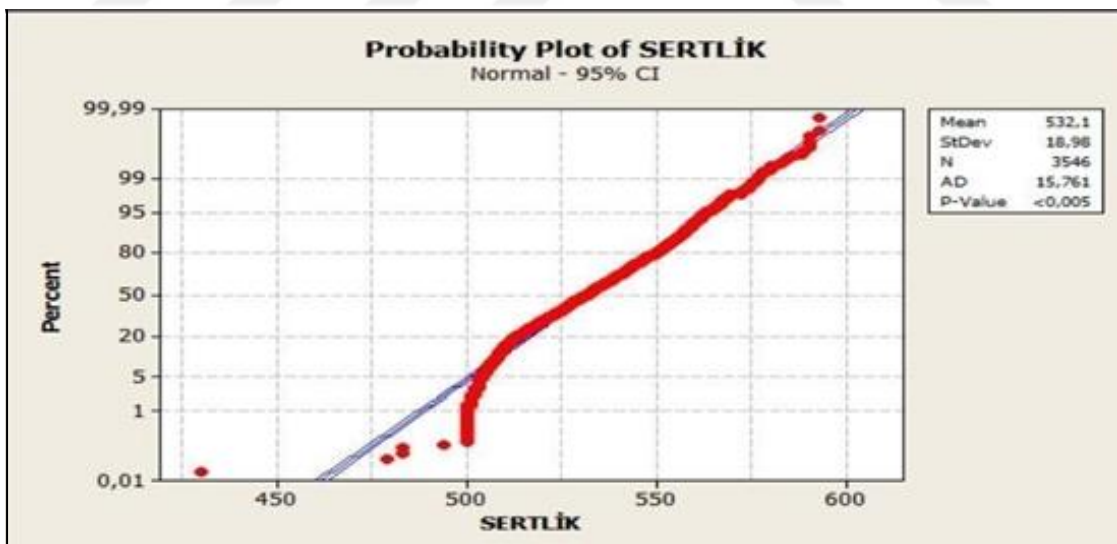
Toplanan verilerin analiz edilmesi için Minitab16 Programından yararlanılmıştır. Ancak programdan bazı analizlerin yapılabilmesi için verilerin normal dağılıma uyup uymadığı önemli bir ayrıntı olmaktadır. Bu nedenle analizleri yapılan K.250.1000 ve L.250.1000 vals silindirleri için toplanan sertlik verilerinin normal dağılım uyumlarına bakılmıştır. İlgili uyumlar aşağıda verilmiştir.

L.250.1000 vals silindiri için normallik testinde elde edilen verilerin normal dağılıma uygunluğuna baktığımızda p değeri; 0,005’dir. Bu değer 0,05’den küçük olduğu için bu dağılım normal dağılıma uymamaktadır. Kırmızı noktalar verilerimizi ifade etmektedir. Şekil 4.8.’de görüldüğü üzere doğrudan sapmalar çok fazladır bu sürecin normla dağılımdan uzaklaştığını göstermektedir.



Şekil 4.8. L.250.1000 Vals Silindiri Normallik Testi

K.250.1000 vals silindiri için normallik testinde P değeri; 0,005'dir. Bu değer 0,05'den küçük olmasından dolayı kırıcı vals silindir verileri de normal dağılıma uymamaktadır. Ancak kırıcı vals silindirlerinin standart sapması liso vals silindirlerine oranla daha küçük olduğu görülmektedir. Kırıcı vals Silindiri için normallik testi Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. K.250.1000 Vals Silindiri Normallik Testi

4.3. Regresyon Analizi Sonuçları

Sertlik karakteristiğinin oluşumunda kullanılan hammaddelerin etkilerini görebilmek için regresyon analizi yapılmıştır. Kullanılan hammaddelerden üç element; karbon, mangan ve nikel ile sertlik verileri arasındaki bağlantı minitab16 programından

destek alınarak incelenmiştir. Regresyon analizi yapılırken 2021 yılı içinde bulunan tüm verilerden sadece ilk altı ayı içeren K.250.1000 ve L.250.1000 vals silindirlerine ait verilerin regresyon analizi yapılmıştır. Kullanılan veriler aşağıdaki Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir.

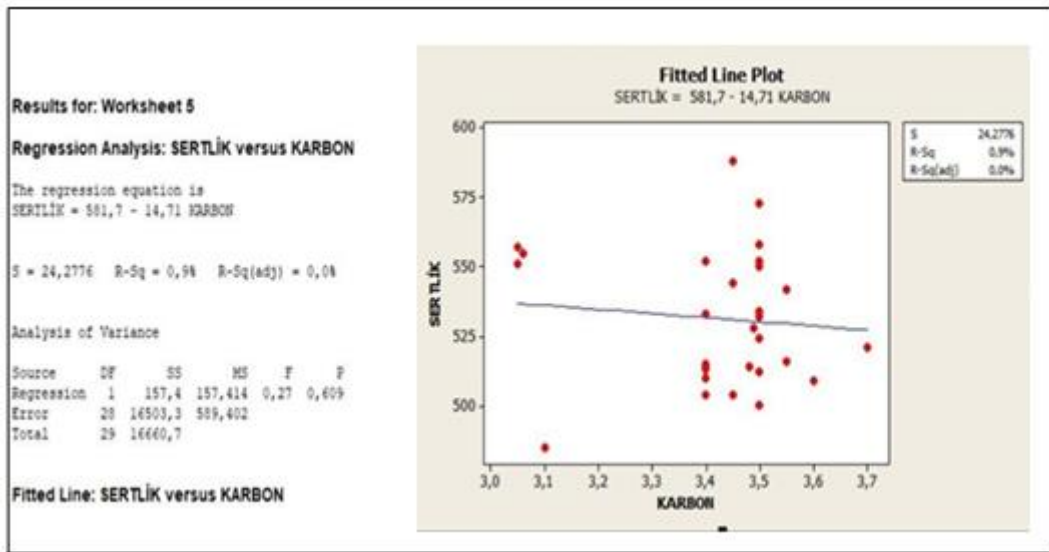
Kırıcı ve liso vals silindirleri için karbon, mangan ve nikel değişkenlerindeki değişimler aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.

Hipotezler aşağıdaki gibi kurulmuştur.

Ho: Kurulan regresyon modeli geçerli değildir.

H1: Kurulan regresyon modeli geçerlidir.

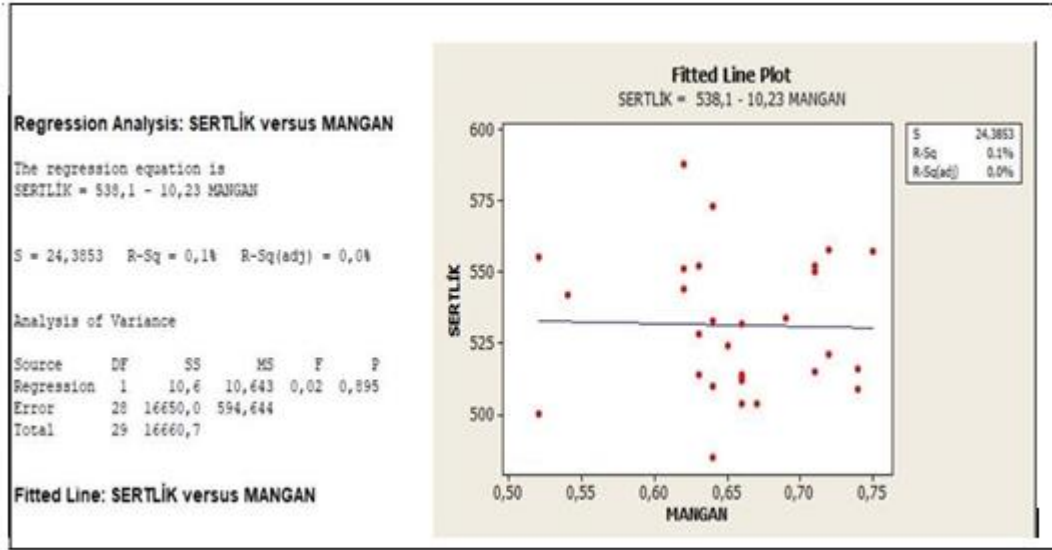
K.250.1000 vals silindiri için karbon ve sertlik arasındaki ilişkiye bakıldığında sertlik bağımlı değişken, karbon ise bağımsız değişkendir. P değeri $0,609 > 0,05$ olmasından dolayı Ho hipotezi kabul edilir yani bu durumda kurulan regresyon modeli geçerli olmamaktadır. Kırıcı vals silindirleri için karbon değeri sertlik verilerini etkilememektedir. Şekil 4.10'da kırıcı vals silindiri için Karbon-Sertlik oranı gösterilmiştir.



Şekil 4.10. K.250.1000 Vals Silindiri Karbon – Sertlik Regresyonu

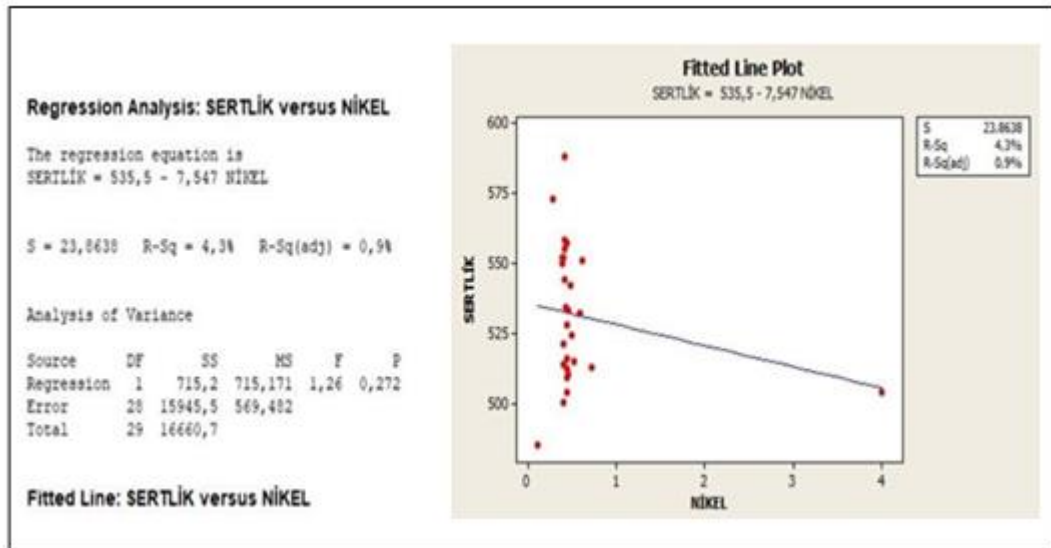
K.250.1000 vals silindiri için mangan ve sertlik arasındaki ilişkiye bakıldığında sertlik bağımlı değişken, mangan ise bağımsız değişkendir. P değeri $0,895 > 0,05$ olmasından dolayı Ho hipotezi kabul edilir yani bu durumda kurulan regresyon modeli geçerli olmamaktadır. Kırıcı vals silindirleri için mangan değeri sertlik verilerini

etkilememektedir. Şekil 4.11’de kırıcı vals silindiri için Mangan-Sertlik oranı gösterilmiştir.



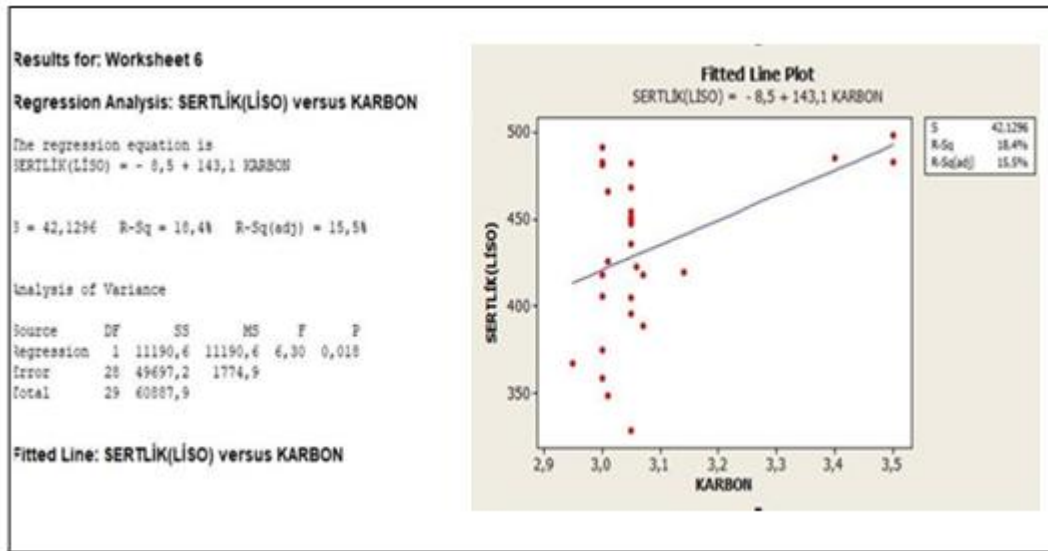
Şekil 4.11. K.250.1000 Vals Silindiri Mangan – Sertlik Regresyonu

K.250.1000 vals silindiri için nikel ve sertlik arasındaki ilişkiye bakıldığında sertlik bağımlı değişken, nikel ise bağımsız değişkendir. P değeri $0,272 > 0,05$ olmasından dolayı H_0 hipotezi kabul edilir yani bu durumda kurulan regresyon modeli geçerli olmamaktadır. Kırıcı vals silindirleri için nikel değeri sertlik verilerini etkilememektedir. Şekil 4.12’de kırıcı vals silindiri için Nikel-Sertlik oranı gösterilmiştir.



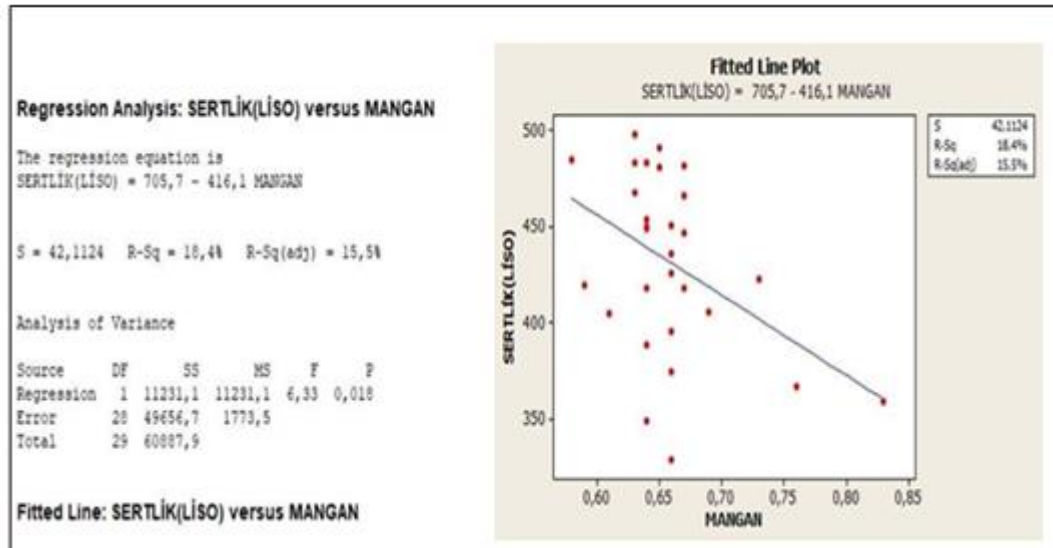
Şekil 4.12. K.250.1000 Vals Silindiri Nikel – Sertlik Regresyonu

L.250.1000 vals silindiri için karbon ve sertlik arasındaki ilişkiye bakıldığında sertlik bağımlı değişken, karbon ise bağımsız değişkendir. P değeri $0,018 < 0,05$ olmasından dolayı H_0 hipotezi red edilir yani bu durumda kurulan regresyon modeli geçerli olmaktadır. Liso vals silindirleri için karbon değeri sertlik verilerini etkilemektedir. Şekil 4.13’de liso vals silindiri için Karbon- Sertlik oranı gösterilmiştir.



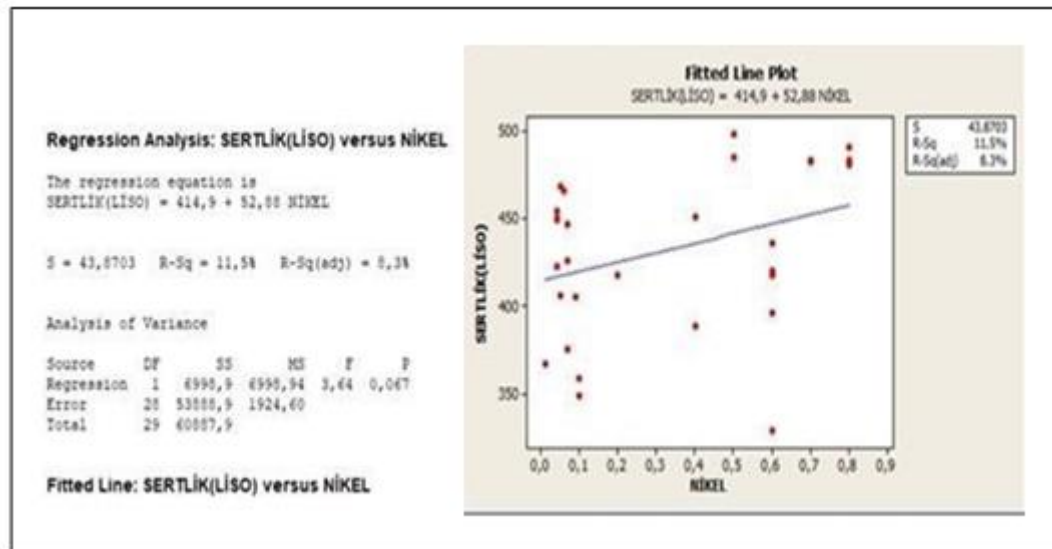
Şekil 4.13. L.250.1000 Vals Silindiri Karbon– Sertlik Regresyonu

L.250.1000 vals silindiri için mangan ve sertlik arasındaki ilişkiye bakıldığında sertlik bağımlı değişken, mangan ise bağımsız değişkendir. P değeri $0,018 < 0,05$ olmasından dolayı H_0 hipotezi red edilir yani bu durumda kurulan regresyon modeli geçerli olmaktadır. Liso vals silindirleri için mangan değeri sertlik verilerini etkilemektedir. Şekil 4.14’te liso vals silindiri için Mangan- Sertlik oranı gösterilmiştir.



Şekil 4.14. L.250.1000 Vals Silindiri Mangan – Sertlik Regresyonu

L.250.1000 vals silindiri için nikel ve sertlik arasındaki ilişkiye bakıldığında sertlik bağımlı değişken, nikel ise bağımsız değişkendir. P değeri $0,067 > 0,05$ olmasından dolayı H_0 hipotezi kabul edilir yani bu durumda kurulan regresyon modeli geçerli olmamaktadır. Liso vals silindirleri için nikel değeri sertlik verilerini etkilememektedir. Şekil 4.15’de liso vals silindiri için Nikel- Sertlik oranı gösterilmiştir.



Şekil 4.15. L.250.1000 Vals Silindiri Nikel – Sertlik Regresyonu

4.4. Korelasyon Analizi Sonuçları

Ürünlerin karakteristikleri üzerinde etkili olan 3 adet elementin sertlik karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Ele alınacak elementler Karbon, Mangan ve

Nikel'dir. Bu elementler ile sertlik değeri arasında ilişki olup olmadığı korelasyon analizi ile incelenmiştir.

Çizelge 4.2. Döküm İşleminde Kullanılan Element Oranları; a) Liso Vals Silindirlere ait Element Oranı, b) Kırıcı Vals Silindirlere Ait Element Oranı

a)

L.250.1000							
OCAK				ŞUBAT			
Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)	Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)
3,05	0,64	0,04	454	3	0,69	0,05	406
3,05	0,64	0,04	450	3	0,69	0,07	375
3,05	0,64	0,04	405	3,05	0,66	0,4	451
3,05	0,64	0,04	454	3	0,83	0,1	359
3,05	0,64	0,04	449	3	0,64	0,7	483
MART				NİSAN			
Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)	Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)
3,01	0,67	0,06	466	3,05	0,63	0,05	468
3,01	0,66	0,07	426	3,05	0,66	0,6	396
2,95	0,76	0,01	367	3,07	0,64	0,4	389
3,06	0,73	0,04	423	3,05	0,66	0,6	436
3	0,67	0,6	418	3,05	0,66	0,6	329
MAYIS				HAZİRAN			
Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)	Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)
3,05	0,67	0,07	447	3,5	0,63	0,8	483
3,14	0,59	0,6	420	3	0,65	0,8	481
3,01	0,64	0,1	349	3,4	0,58	0,5	485
3,07	0,64	0,2	418	3,5	0,63	0,5	498
3,05	0,67	0,7	482	3	0,65	0,8	491

b)

K.250.1000							
OCAK				ŞUBAT			
Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)	Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)
3,05	0,71	0,39	550	3,6	0,74	0,44	509
3,07	0,72	0,41	521	3,4	0,63	0,41	552
3,05	0,71	0,39	550	3,4	0,71	0,53	515
3,05	0,64	0,29	573	3,45	0,66	0,44	504
3,05	0,71	0,39	552	3,4	0,66	0,73	513
MART				NİSAN			
Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)	Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)
3,45	0,62	0,42	544	3,05	0,75	0,45	557
3,45	0,62	0,42	588	3,06	0,52	0,42	555
3,5	0,66	0,59	532	3,05	0,62	0,62	551
3,4	0,63	0,4	514	3,55	0,74	0,44	516
3,5	0,52	0,4	500	3,55	0,54	0,48	542
MAYIS				HAZİRAN			
Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)	Karbon(kg)	Mangan(kg)	Nikel(kg)	Sertlik(HB)
3,4	0,64	0,46	510	3,4	0,67	4	504
3,5	0,69	0,43	534	3,1	0,64	0,11	485
3,4	0,64	0,46	533	3,49	0,63	0,45	528
3,5	0,65	0,5	524	3,5	0,66	0,44	512
3,5	0,72	0,42	558	3,48	0,66	0,41	514

İlgili elementlerin kırıcı ve liso vals silindirleri için ayrı ayrı korelasyon katsayıları minitab16 programı aracılığıyla bulunmuştur. Bu değerler Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Vals Silindirlerine Ait Korelasyon Katsayıları; a) Liso Vals Silindirlerine ait Korelasyon Katsayıları, b) Kırıcı Vals Silindirlerine Ait Korelasyon Katsayıları

a)

<u>LİSO 250.1000 VALS SİLİNDİRİ</u>		
<i>Element</i>	<i>P</i>	<i>Korelasyon Katsayısı</i>
Karbon	0.018	0.429
Mangan	0.895	-0.025
Nikel	0.272	-0.207

b)

<u>KIRICI 250.1000 VALS SİLİNDİRİ</u>		
<i>Element</i>	<i>P</i>	<i>Korelasyon Katsayısı</i>
Karbon	0.609	-0,097
Mangan	0.018	-0.429
Nikel	0.067	0,339

4.5. İstatistiksel Proses Kontrol Sonuçları

Toplanan verilerin yorumlanabilmesi ve çözümlenebilmesi bilgi gerektirmektedir. Bu nedenle bu çalışmada öncelikle ele alınan K.250.1000 ve L.250.1000 vals silindirleri için temel istatistiksel veriler minitab16 programı aracılığıyla bulunmuştur. Bulunan değerler aşağıda belirtilmiştir.

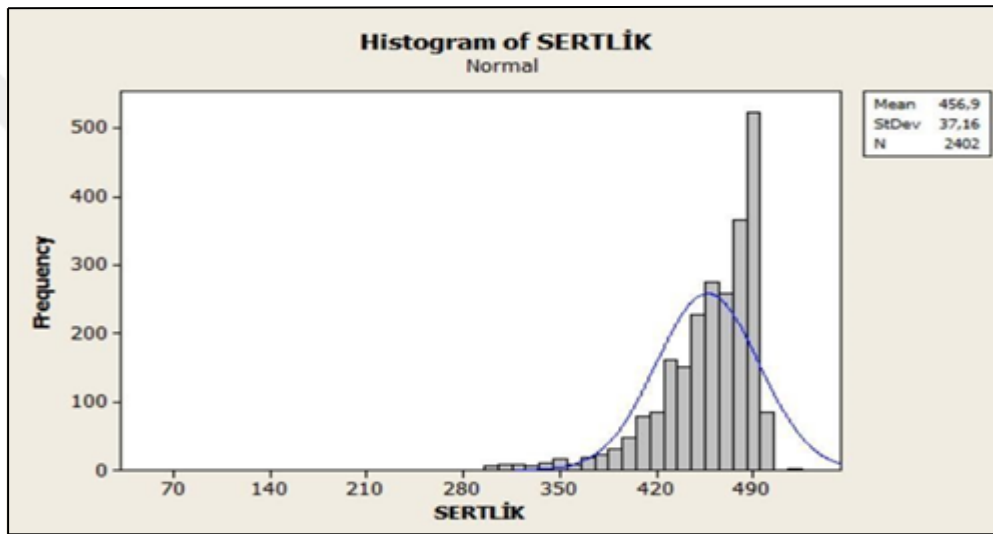
L.250.1000 Vals Silindiri İçin İstatistiksel Değerler;

- ✓ Ortalama değer: 456,91
- ✓ Standart sapma değeri: 37,16
- ✓ Medyan değeri: 466
- ✓ Minimum değer: 44
- ✓ Maksimum değer: 539 olmaktadır.

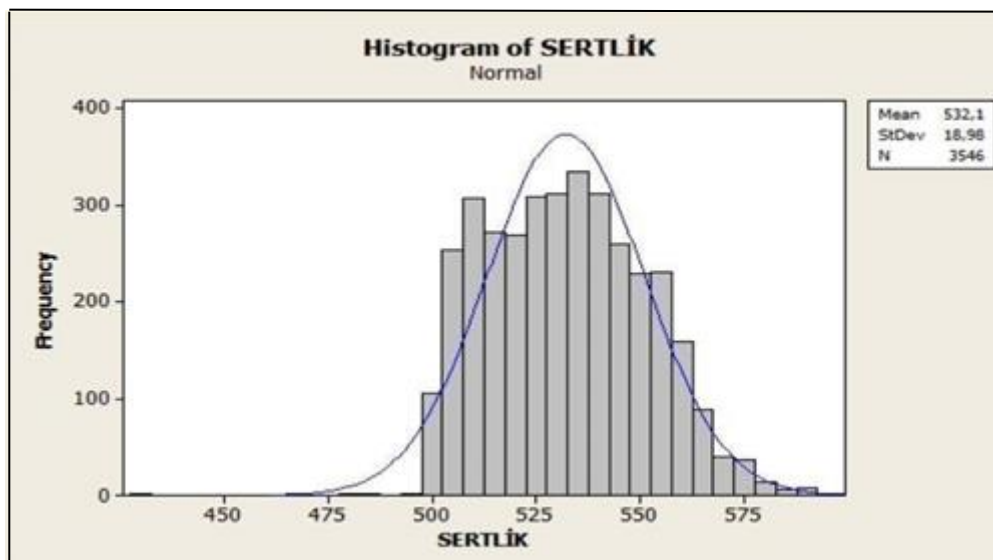
K.250.1000 Vals Silindiri İçin İstatistiksel Değerler;

- ✓ Ortalama değer: 532,09
- ✓ Standart sapma: 18,98
- ✓ Medyan değeri: 532
- ✓ Minimum değeri: 430
- ✓ Maksimum değeri: 593 olmaktadır.

Elde edilen veriler ile ilgili temel istatistiksel sonuçlara ulaşılmasının ardından Histogram Grafikleri elde edilmiştir. Veri sıklıklarının grafiksel olarak ortaya konulmasını sağlayan histogramlar verilerin dağılımları hakkında bilgi vermektedir. L.250.1000 ve K.250.1000 vals silindirlerinin 2021 yılı sertlik verileri için histogramlar çizilmiştir. İlgili histogramlar incelendiğinde dağılımların bir yere yığıldığını ve değişkenlik aralığının çok fazla olduğu görülmektedir. Bu histogram bize süreçte olumsuzlukların olduğu söylemektedir. İlgili histograma Şekil 4.16'de gösterilmiştir. Şekil 4.17'de verilen grafik değişkenliğin azaltılması ve değerler arasındaki farkın daraltılması gerektiğini ifade etmektedir.

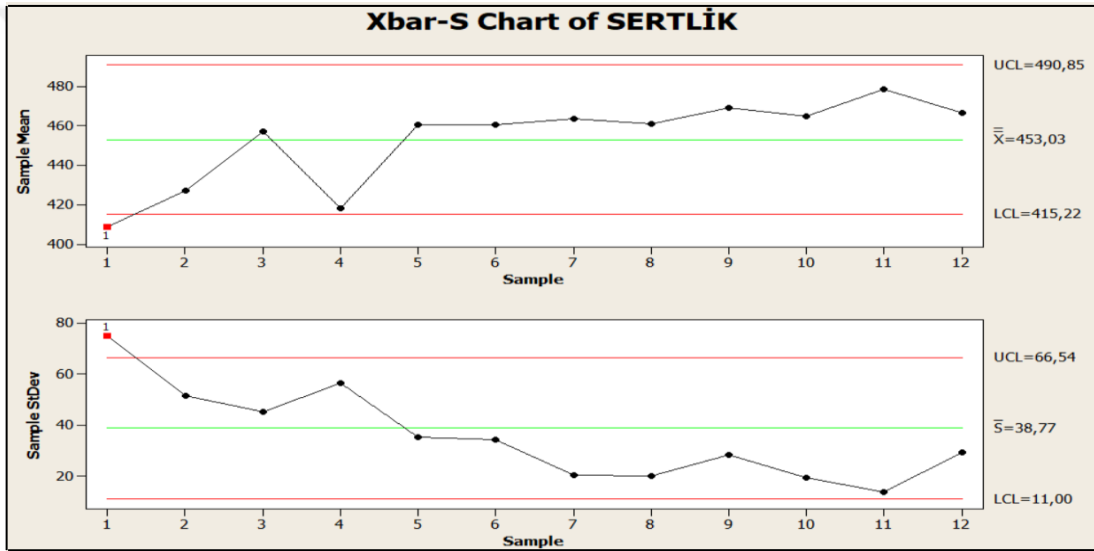


Şekil 4.16. L.250.1000 Vals Silindiri Histogram Dağılımı

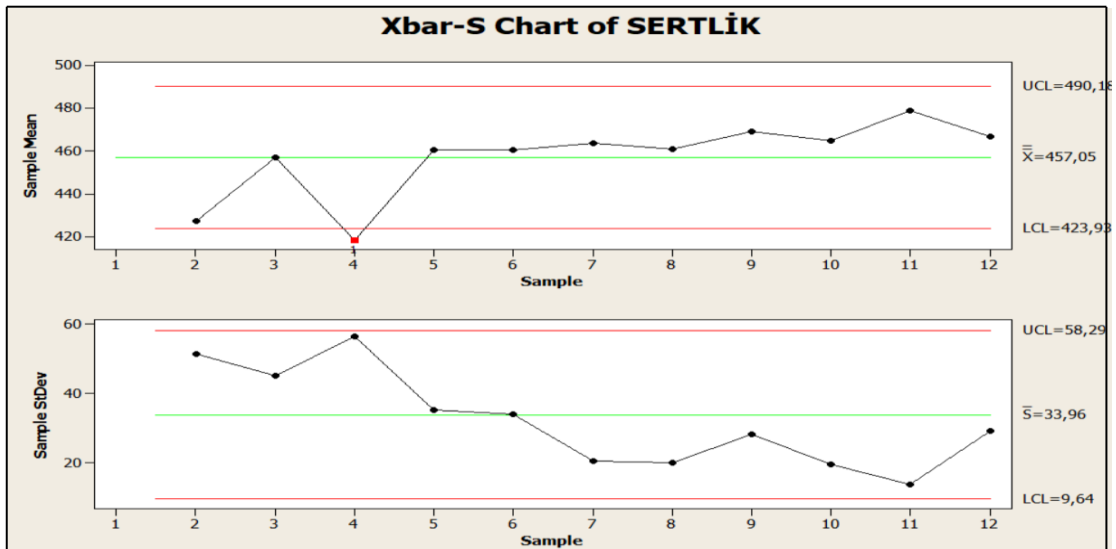


Şekil 4.17. K.250.1000 Vals Silindiri Histogram Dağılımı

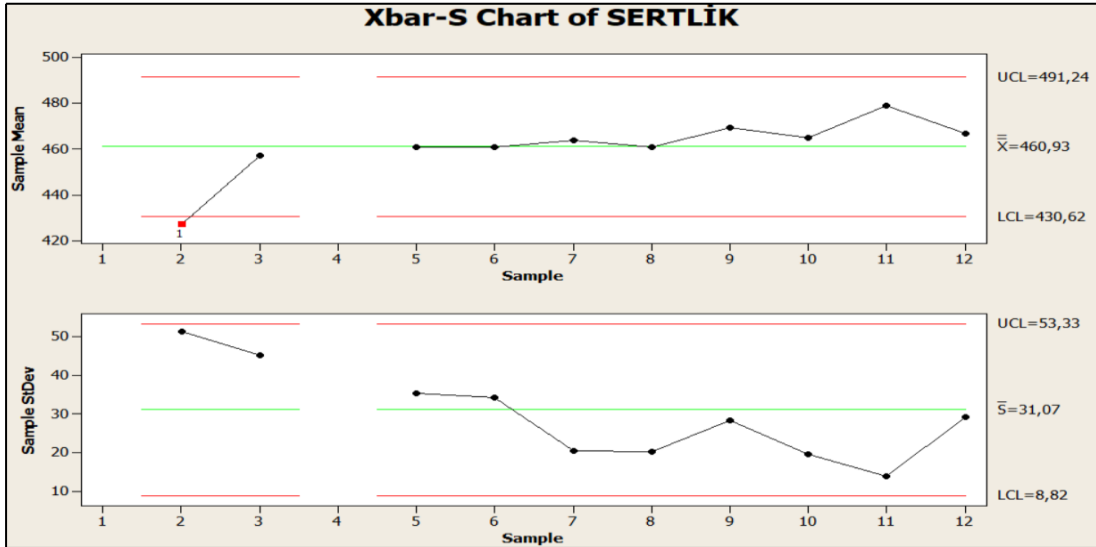
L.250.1000 vals silindiri için; Verilerin zaman içerisindeki değişimlerini gözlemek amacıyla kontrol grafiklerinde incelemeler yapılmıştır veri adetleri 8'den fazla olduğu için kullanılacak kontrol grafiği Xbar-S grafiği olmuştur. Grafiğe baktığımızda ocak ayında limit dışına çıkmalar görülmüştür. Sağlıklı bir grafiğe ulaşmak için limit dışına çıkan tüm veriler tek tek elimine edilerek grafik her limit dışına çıkan verinin ortadan kaldırılması ile birlikte yeniden çizilmiştir (Firuzan ve Ayvaz, 2005). İlgili grafikler çizilirken verilerin ortalama değerlerinden yararlanılmıştır. Limit dışına çıkan görsellere ait grafikler Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Limit dışına çıkan değerler elimine edilerek ortaya çıkan grafik Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



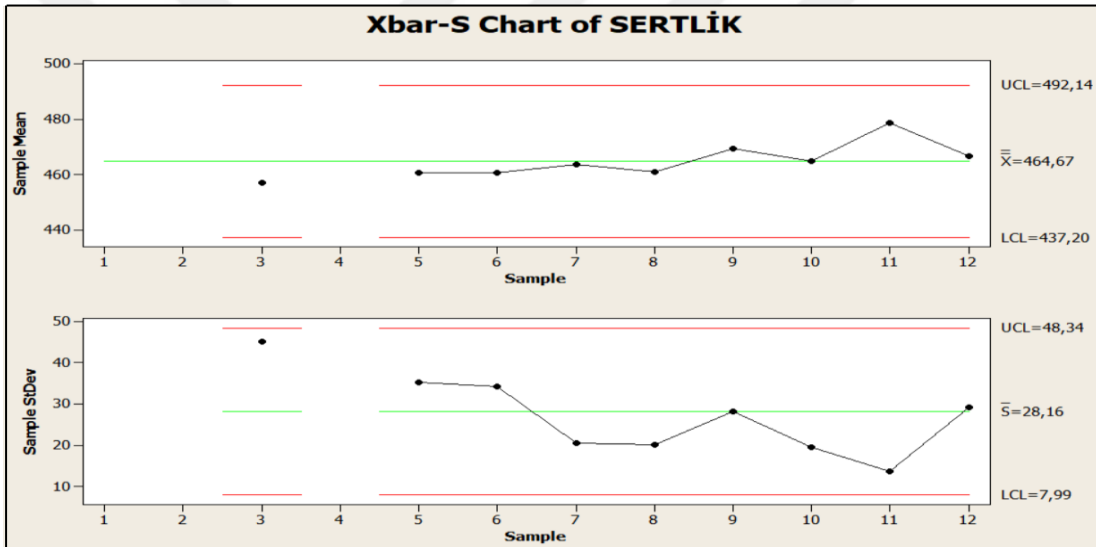
Şekil 4.18. L.250.1000 Vals Silindiri Xbar-S Grafiği (İlk değerler)



Şekil 4.19. L.250.1000 Vals Silindiri Xbar-S Grafiği (1. Değer Çıkarıldı)

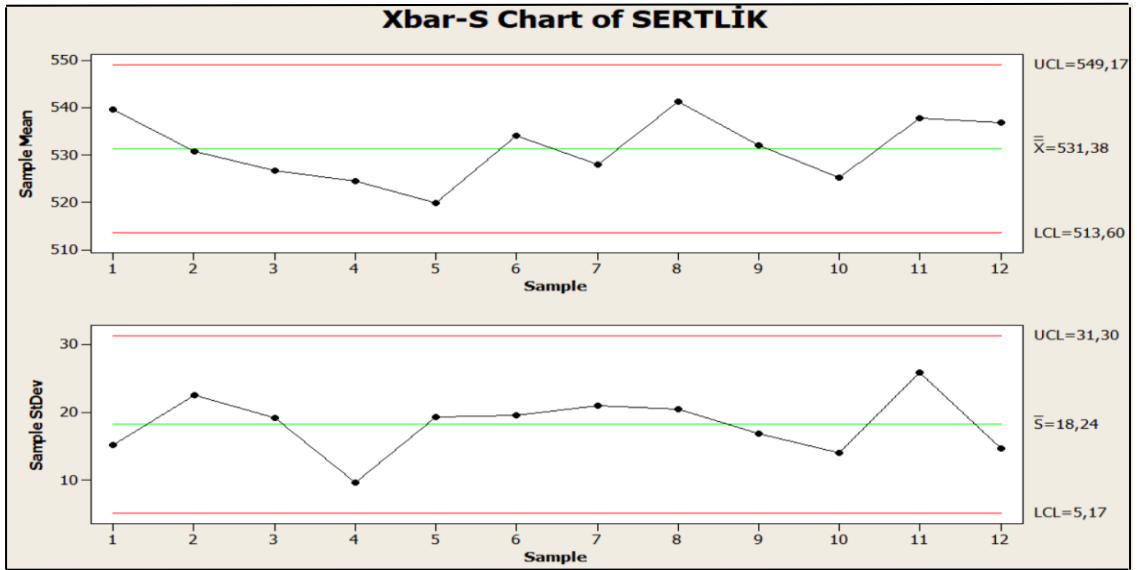


Şekil 4.20. L.250.1000 Vals Silindiri Xbar-S Grafiği (4. Değer Çıkarıldı)



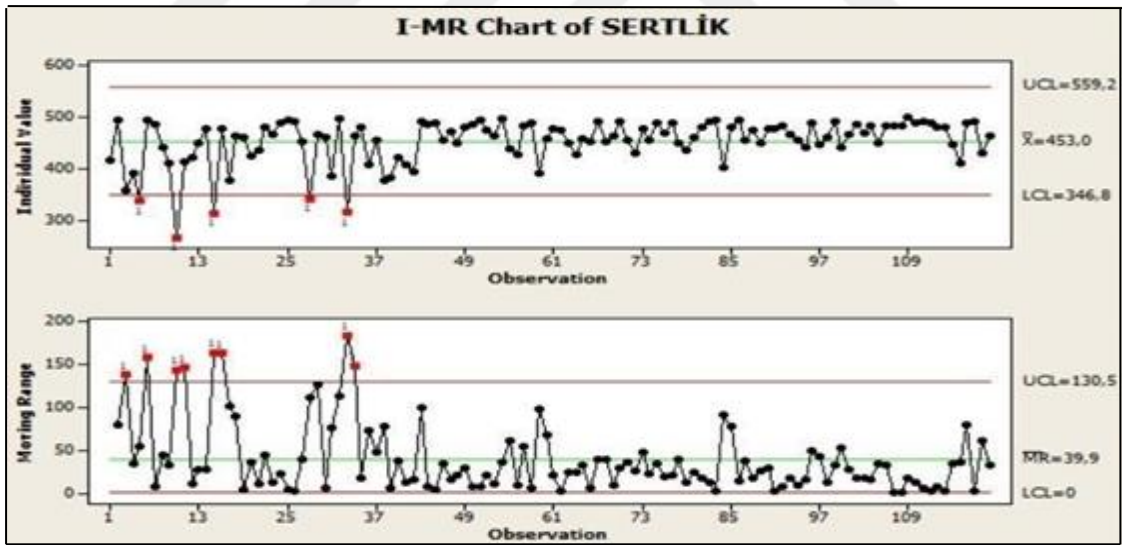
Şekil 4.21. L.250.1000 Vals Silindiri Xbar-S Grafiği (2. Değer Çıkarıldı)

K.250.1000 vals silindiri için Xbar-S grafiği oluşturulduğunda limit dışına çıkan değerlerin varlığı gözlemlenmemiştir. Kırıcı vals silindirine ait grafik Şekil 4.22'de gösterilmiştir.

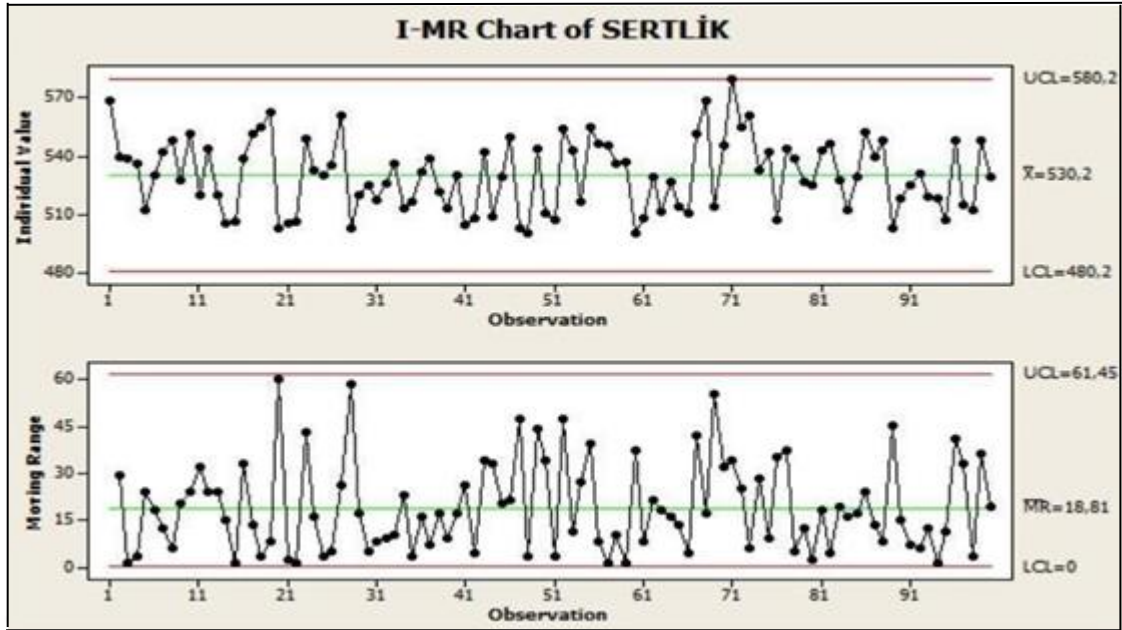


Şekil 4.22. K.250.1000 Vals Silindiri Kontrol Grafiği

Ardışık veriler arasındaki mutlak değerleri alınarak çizilen grafik süreli ve her ürün için ölçüm içeren verilerdir. Grafiklerde ürünlere bağlı sapmalar Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de gözlemlenmiştir.



Şekil 4.23. L.250.1000 Vals Silindiri I-MR Grafiği



Şekil 4.24. K.250.1000 Vals Silindiri I-MR Grafiği

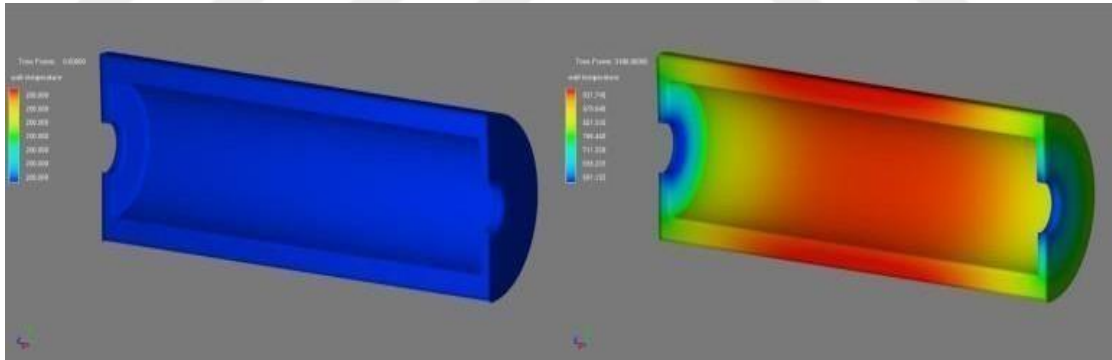
4.6. Düzeltici ve Önleyici Faaliyetler

Bu çalışmada düzeltici faaliyet uygulamalarının hata analizlerinin yapılması ile birlikte sertlik verileri üzerinde yapılmasına karar verilmiştir. Ürün sertliklerindeki değişkenliklerin fazla olması ürün müşteri isteklerine uyumun azalmasını sağlamaktadır. Ürün sertliklerinde müşteri istek ve beklentilerinin karşılanması amacıyla istenilen sertlik değerlerine ulaşılarak ürünlerin ortaya konulması kalite olarak karşımıza çıkmıştır. Bu durumun sağlanabilmesi için toplamda 3 adet örnek çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu örnek çalışmalar detaylı bir şekilde aşağıda anlatılmıştır.

Simülasyon yöntemi kullanılarak yapılan iyileştirme; yapılan bu çalışmada vals silindirlerinin sertlik verilerinde iyileştirmeler yapılması gerekliliği gözlemlenmiştir. İyileştirmelerin yapılabilmesi için santrifüj döküm işlemi gerçekleştirirken var olan parametrelerin optimum değerlere getirilmesiyle istenilen sertlik karakteristiğine ulaşılmalıdır. Döküm üretim hattında bu durum ancak deneme yanılma yoluyla yapılabilmektedir. Bazı parametreler sabit kalıp bazı parametreler değiştirilerek yapılan döküm sonuçları analiz edildiğinde belli başlı sonuçlara ulaşılmaktadır. Ancak gerek hammadde maliyeti gerek döküm şartlarından dolayı bu durum hem maliyetli hem de zaman kaybına sebebiyet vermektedir. Bu durumdan dolayı ilgili sorunu çözmek için belli başlı araştırmalar yapılarak, bu sorunun çözümü için yüksek teknolojinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bunun üzerine yapılan araştırmalar ile simülasyon programı bulunmuştur bu program döküm prosesini simüle ederek üretim hattını

kullanmadan bilgisayar programında döküm yapılarak sonuçlar gözlemlenebilmektedir. Bu sayede dökümde kullanılması gereken veriler simülasyon programı tarafından belirlenerek üretimde optimum değerlerde üretimin yapılması sağlanacaktır. Bu çalışma sonucunda firmaya simülasyon programının alınması kararı verilmiştir. Bu program sanal ortamda gerçek döküm ortamını oluşturup döküm sıcaklığı, parça ağırlığı ve katman besleme süreleri ile oynanarak vals silindirlerinin hangi şartlarda döküldüğünde hangi karakteristiği verdiği verisini ortaya koyacaktır. Yapılması gereken düzeltici ve önleyici faaliyet döküm prosesinde simülasyon programı kullanarak döküm öncesi simüle işlemini gerçekleştirip parametrelerin programdan alınıp döküm şartlarının parametrelere uygun olmasının sağlanmasıdır.

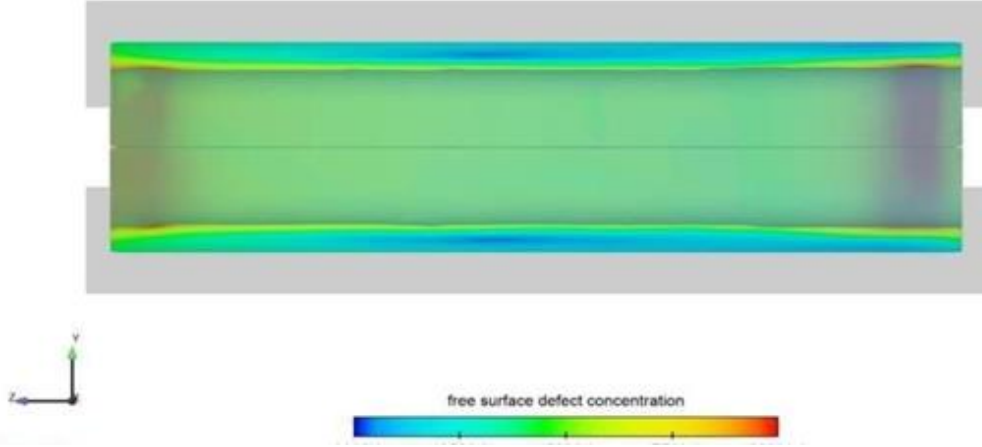
Simülasyon programında ilk olarak kalıp içindeki ısı dağılımını sağlamak için kalıp ısıtma simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Kalıp ısıtma simülasyonu özelliği kullanılarak 3 adet döküm üst üste yapılmıştır, başlangıçta homojen 200 derece sıcaklıktaki kalıp üzerinde bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bu simülasyonla toplam 3000 saniyelik süreç simüle edilmiştir. Kalıbın başlangıç ve bitiş sıcaklıkları aşağıda görülebilir. Dolum simülasyonu bu sıcaklık dağılımına sahip kalıbın üzerine yapılmıştır. Kalıp için yapılan simülasyon görseli Şekil 4.25 'de verilmiştir.



Şekil 4.25. Kalıp Isıtma Simülasyonu

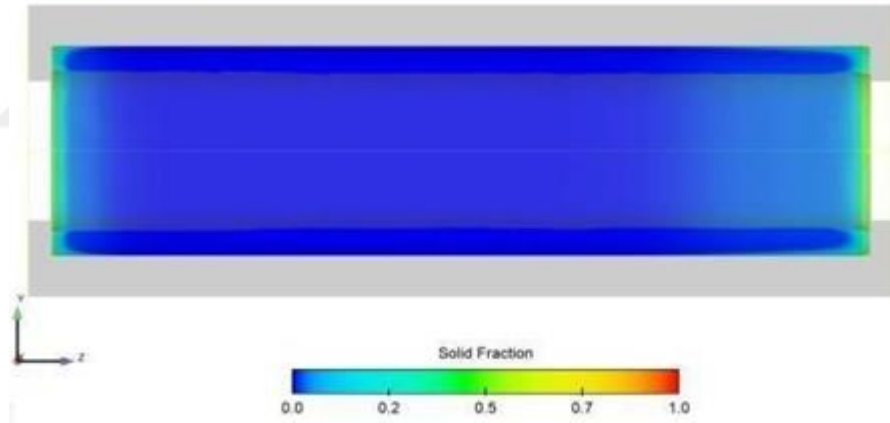
Kalıp ısıtıldıktan sonra ilk katmanın dolum işlemi gerçekleşecektir. Burada alaşımın döküm sıcaklığı; 1400 °C, döküm ağırlığı; 170 kg, 1. Katmanın beslenme süresi; 40 sn'dir. Bu şartlar dolum simülasyonu Şekil 4.26'de verilmiştir.

Time = 50.00



Şekil 4.26. Birinci Dolum Simülasyonu

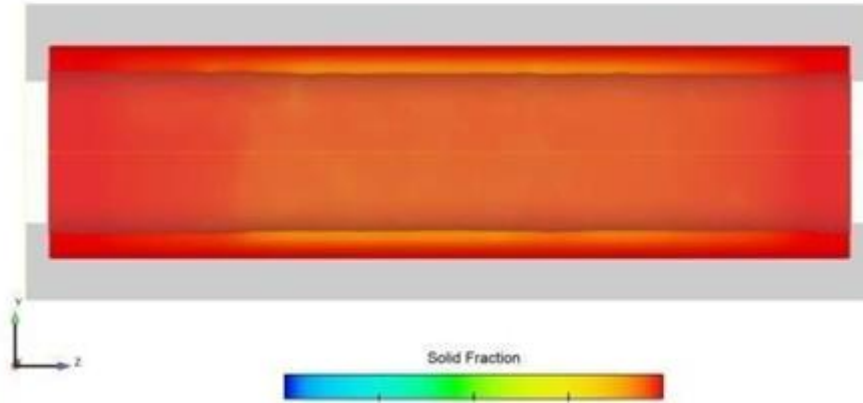
İlk dolum tamamlandıktan sonra sırada ürünün katılaşma simülasyonu gerçekleştirilmiştir. İlgili görsel Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. Katılaşma Simülasyonu (55. saniyede)

Parçanın tamamen katılaşması toplamda 600 saniye sürmüştür. Gerçekte santrifüj makinelerinden kalıba uygulanan su soğutma sistemi de simülasyon sürecine eklenmiştir. Kalıp dış yüzeyine uygulanan yüksek ısı transfer katsayısı ve sabit 20 °C sıcaklık tanımlanarak sıvı soğutmanın etkisi modellenmiştir. Katılaşma anına ait görsel Şekil 4.28’de verilmiştir.

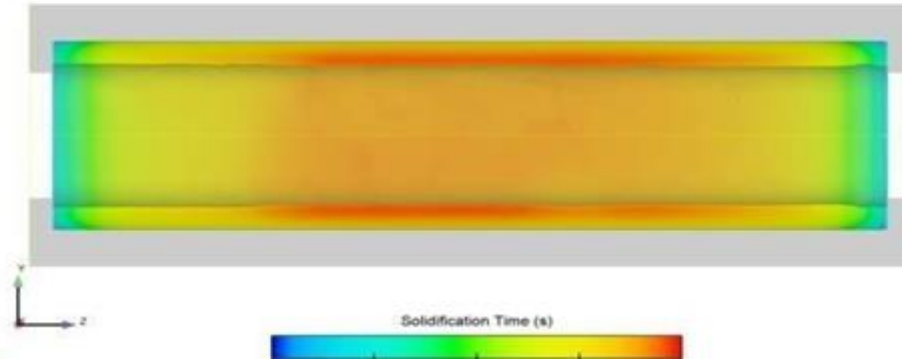
Time = 423.4061



Şekil 4.28. Katılaşma Simülasyonu (423. saniyede)

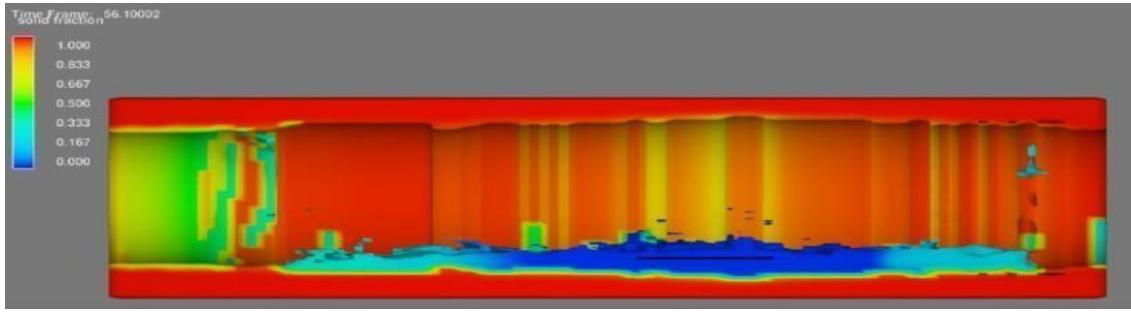
İlk ve son katılaşan bölgeler süreleri ile birlikte verilmiştir. Kırmızı bölgeler en son katılaşan bölgelerdir. Ürünün 596. saniyesindeki görüntü Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

Time = 596.5082



Şekil 4.29. Katılaşma Simülasyonu (596. saniyede)

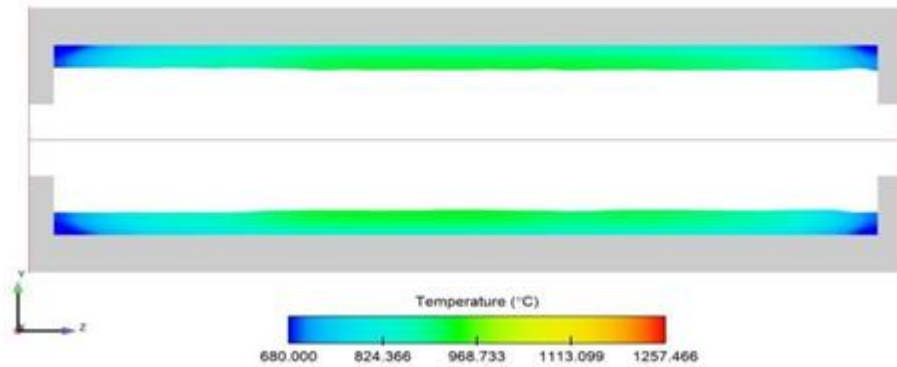
Bu çalışmada ele alınan vals silindirleri çift katmanlı döküm tekniği ile üretilen ürünler olmasından dolayı simülasyon programında da ilk katmanın döküm işleminin tamamlanmasının ardından ikinci katmanın döküm işlemine geçilmiştir. İlk katman kalınlığı 36 mm olarak ölçülmüştür. İkinci katman simülasyonu yapılırken ilk deneme çalışmalarında 1000 devir/dakika'nın yeterli olmadığı görülmüş, simülasyonlara 1200 devir/dakika ile devam edilmiştir. 1000 devir/dakika ile yapılan çalışmada Şekil 4.30'da görüldüğü gibi uygun olmayan ürün elde edilmiştir.



Şekil 4.30. İkinci Katman Dolumu (1000 devir/dakika)

Çalışmada maden besleme hızı simülasyon parametresi olarak seçilmiştir. Toplamda 180 kg'lık ikinci katman madeni sırayla 45, 75, 150 saniyelik sürelerde beslenmiş, besleme sonuçlarının etkisi incelenmiştir. İkinci katman dolum simülasyonları gerçekleşmeden önce ürünün son hali Şekil 4.31'de verilmiştir.

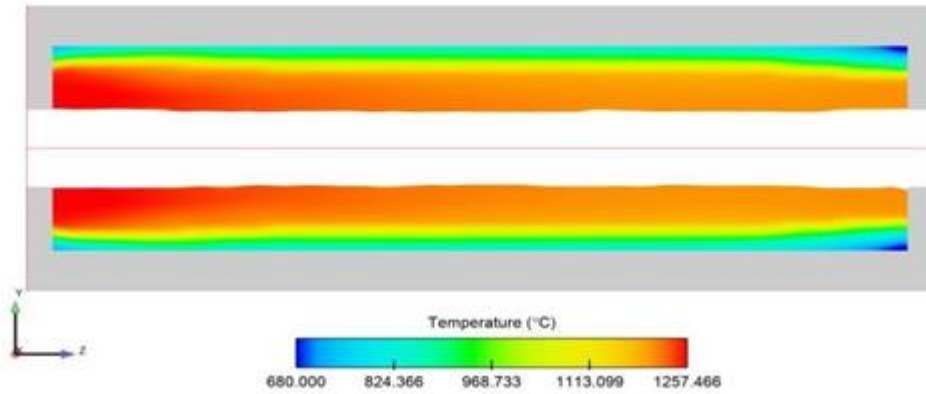
Time = 0.00



Şekil 4.31. İkinci Katman Dolum Başlangıcı

Daha önce 1000 devir/dakika da yapılan denemenin başarısız olmasının ardından makine devri 1200 devir/dakikaya çıkartılmıştır. 45 saniyede ikinci madenin dökülme süreci Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

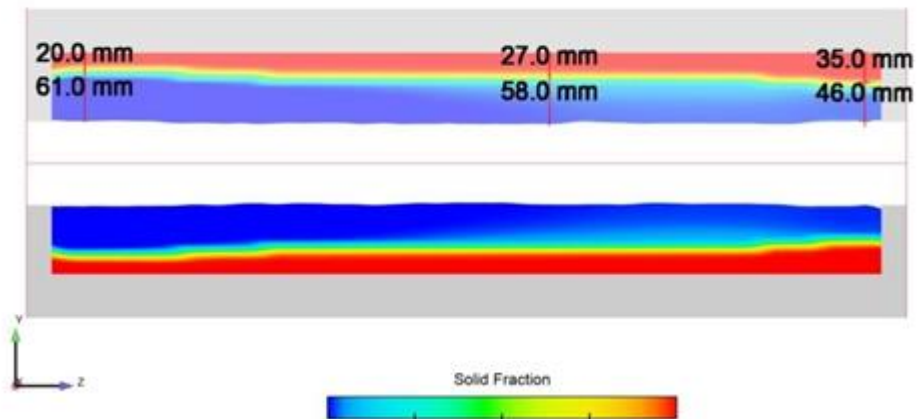
Time = 45.00



Şekil 4.32. İkinci Katman Dolumu Sıcaklık Dağılımı (1200 devir/dakika)

İkinci dökümün ardından toplam parça kalınlığı 80-83 mm arasında ölçülmüştür. İlk katmanın kalınlığı en ince yerde 15 mm, en kalın yerde ise 25 mm olarak ölçülmüştür. Aşağıda mavi alanlar ilk katman, kırmızı alanlar ikinci katman, diğer renkler karışımı göstermektedir. 45 saniyede yapılan ikinci döküme ait görseller Şekil 4.33'de gösterilmiştir.

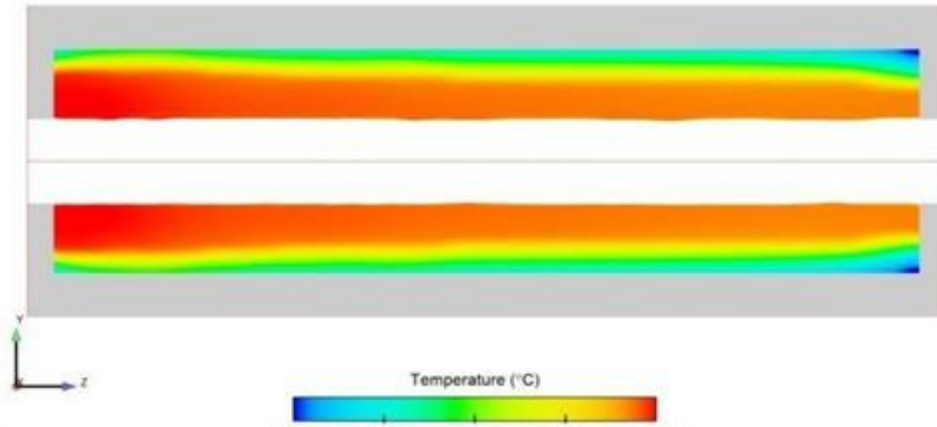
Time = 45.00



Şekil 4.33. İkinci Katman Dolumu Katılaşması (45. saniyede 1200 devir/dakika)

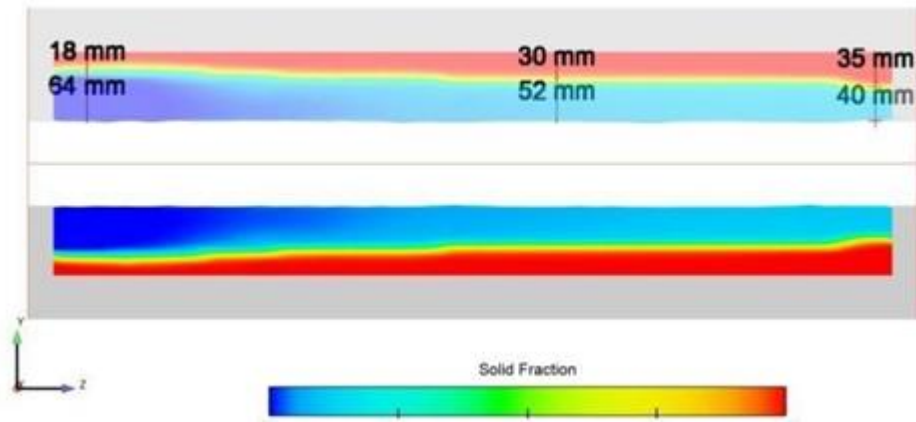
İkinci dolum için 75 saniye senaryosunda metal besleme ağzından kalıba verilen maden miktarı 75 saniye boyunca saniyede 2,4 kg olarak ayarlanmıştır. Bu haliyle madenin çıkış hızı yaklaşık 0,5 m/s olarak gerçekleşmiştir. Yatay kesitte ikinci dolum öncesi ve sonrası sıcaklık dağılımları Şekil 4.34'da verilmiştir.

Time = 80.00



Şekil 4.34. İkinci Katman Dolumu Sıcaklık Dağılımı (80. saniye 1200 devir/dakika)

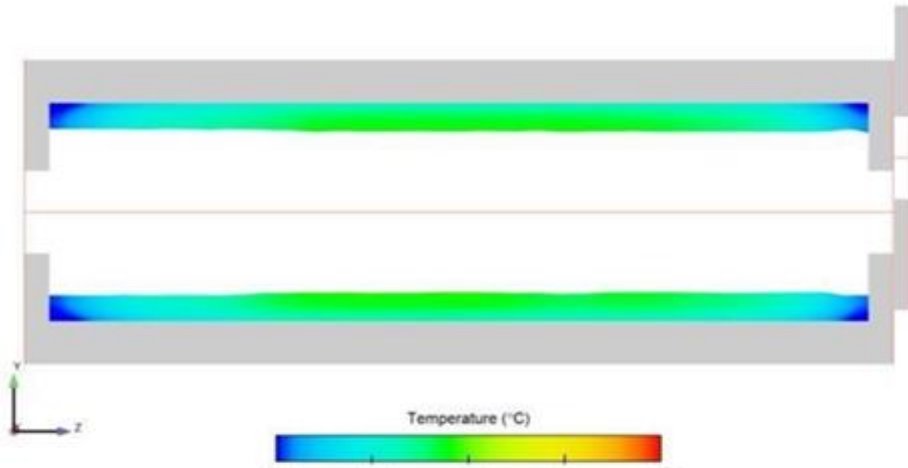
Dolum sonunda toplam parça kalınlığı 75-83 mm arası ölçülmüştür. İlk katman kalınlığı en ince yerde 18 mm, en kalın yerde ise 35 mm olarak ölçülmüştür. Katman kalınlıklarına ait görseller Şekil 4.35’de gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Katman Kalınlıkları (80. saniye 1200 devir/dakika)

Son senaryo 150 saniye için beslenme açısından kalıba verilen maden miktarı 150 saniye boyunca saniyede 1,20 kg olarak ayarlanmıştır. Bu haliyle madenin çıkış hızı yaklaşık 0,25 m/s olarak gerçekleşmiştir. Yatay kesitte ikinci dolum öncesi ve sonrası sıcaklık dağılımları Şekil 4.36’da verilmiştir.

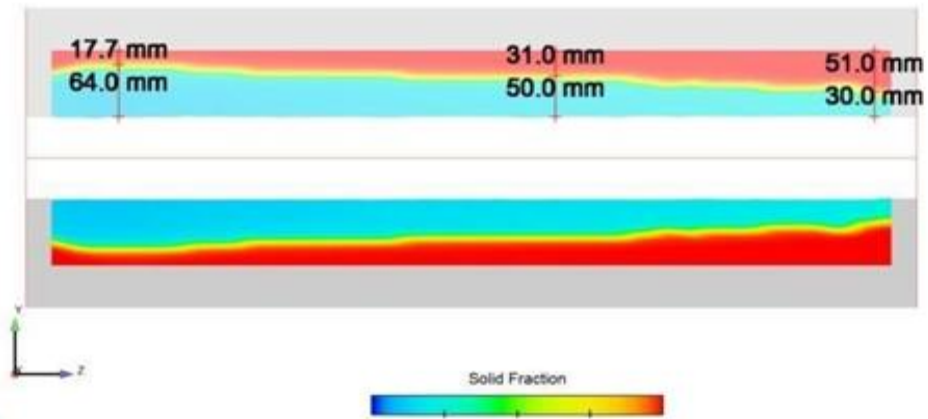
Time = 0.00



Şekil 4.36. İkinci Katman Dolumu Sıcaklık Dağılımı (158.40. saniye 1200 devir/dakika)

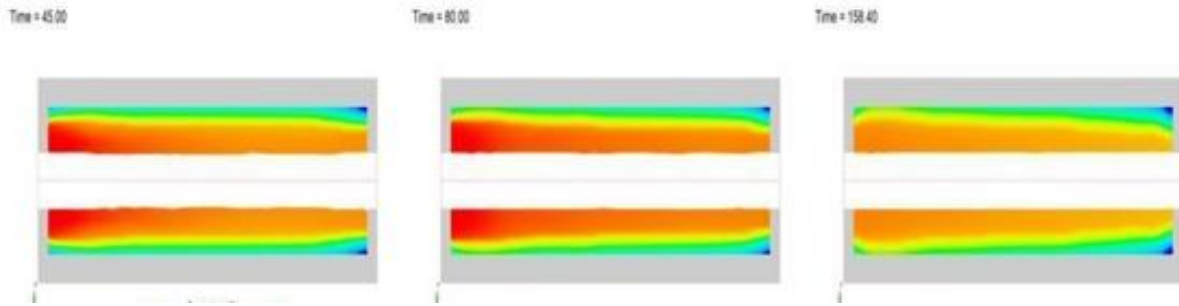
Dolum sonunda toplam parça kalınlığı 81-82 mm arası ölçülmüştür. İlk katman kalınlığı en ince yerde 17,70 mm, en kalın yerde ise 51 mm olarak ölçülmüştür. Katman kalınlıkları ve katı sıvı bölgeleri Şekil 4.37’de gösterilmiştir.

Time = 158.40

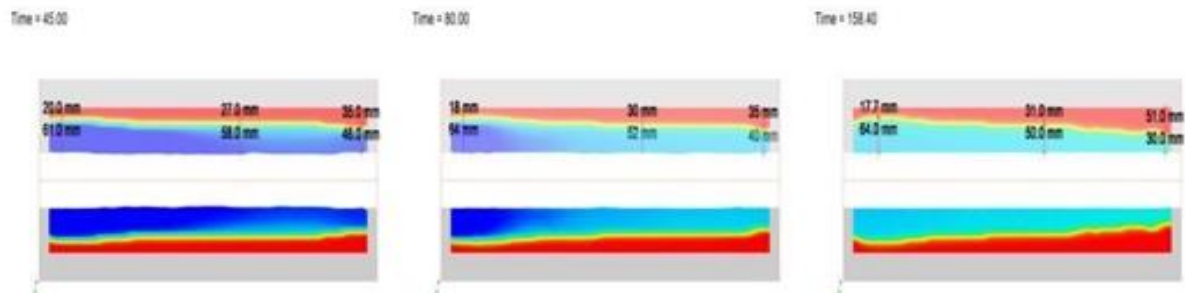


Şekil 4.37. Katman Kalınlıkları (158.40 saniye 1200 devir/dakika)

Üç farklı zamanda gerçekleşen simülasyonun karşılaştırılması Şekil 4.38’de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Üç Farklı Zaman İçin Sıcaklık Karşılaştırılması (1200 devir/dakika)



Şekil 4.39. Üç Farklı Zaman İçin Tabaka Kalınlıkları (1200 devir/dakika)

3 farklı zamanda yapılan besleme hızına göre silindirin başı ortası ve sonu için katman kalınlıkları farklı değerler almıştır. Bu değerlerin karşılaştırılması Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Katman Kalınlıklarının Karşılaştırılması

	45 SANİYE		75 SANİYE		150 SANİYE	
	<u>1. Katman</u>	<u>2. Katman</u>	<u>1. Katman</u>	<u>2. Katman</u>	<u>1. Katman</u>	<u>2. Katman</u>
<u>Silindirin Başı</u>	20 MM	61 MM	18 MM	64 MM	17,7 MM	64 MM
<u>Silindirin Ortası</u>	27 MM	58 MM	30 MM	52 MM	31 MM	50 MM
<u>Silindirin Sonu</u>	35 MM	46 MM	35 MM	40 MM	51 MM	30 MM

Soğutma suyunun açılma parametresinde iyileştirme çalışması; bu çalışmada ürün kalitesini etkileyen parametreler araştırılmış ve istenilen kalitede ürün üretilmesi için bu parametrelerin optimum değerde olması gerektiğine ulaşılmıştır. Döküm hattındaki parametrelerden biri olan ve sertlik karakteristiğini direk olarak etkileyen soğutma suyu için bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada diğer tüm parametreler sabit tutularak aynı şartlar altında beş adet numune ürün incelenmiştir. Bu ürünler için soğutma sularının açıldığı saniyeler değiştirilerek ürün sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Yapılan bu çalışmada soğutma suyu erken açıldığında ürünün yüksek derecelerde bulunan sıcaklığı hızlı bir şekilde düştüğü için daha hızlı bir soğuma

gerçekleşerek ürün daha sert bir karakteristiğe ulaşmıştır. Bunun üzerine yapılan deneme dökümlerde uygun sıcaklık bulunarak ürün için istenen sertlik değerine ulaşmak için soğutma suyunun açılma zamanı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan ürün kırıcı olup ölçüm değerleri 250x1000 olmaktadır.

İyileştirme olmadan önce yapılan deneme döküm verileri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Bu verilere göre soğutma suyunun erken açılması durumunda ürün sertliği daha fazla olmuştur.

Çizelge 4.5. İyileştirmeden Önce Yapılan Deneme Dökümleri

<i>Numuneler</i>	<i>Ürün Sertliği (Hb)</i>	<i>Soğutma Suyunun Açıldığı Saniye (Sn)</i>
Numune 1	485	14
Numune 2	482	14
Numune 3	490	12
Numune 4	450	15
Numune 5	573	8

Yapılan deneme dökümlerinin ardından 500-550 (HB) değerlerine ulaşmak için Soğutma suları 9-10-11 (sn)’lerine ayarlanarak yapılan denemeler Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. İyileştirmeden Sonra Yapılan Deneme Dökümleri

<i>Numuneler</i>	<i>Ürün Sertliği (Hb)</i>	<i>Soğutma Suyunun Açıldığı Saniye (Sn)</i>
Numune 1	511	11
Numune 2	551	9
Numune 3	532	10
Numune 4	520	10
Numune 5	528	10

Kalıp parametresinde iyileştirme çalışması; bu çalışmada yine daha önceki örnekte yapıldığı gibi değişken tüm parametreler sabit tutularak kalıp kalınlığı ile oynayarak kalıp kalınlığındaki değişimin ürün sertlik değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kırıcı ve liso vals silindirleri için ayrı ayrı onar adet deneme ürünü yapılmıştır. Kırıcı vals silindirlerine ait değerler Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Kırıcı Vals Silindiri Deneme Dökümleri

Nikel	Mangan	Karbon	Makine Devri	Kalıp Kalınlığı	Kalıp Ölçüleri			Sertlik
					Kalıp Ön Çap	Kalıp Arka Çap	Kalıp Boyu	
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 31	218	318	1050	560
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 27	261	390	1110	547
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 34	282	420	1050	530
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 38	262	302	1060	566
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 32	265	420	1055	526
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 31	218	318	1050	561
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 38	262	302	1060	568
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 32	265	420	1055	526
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 38	262	302	1060	567
0,34	0,62	3,65	930	Kalıp 30	265	420	1055	503

Bir diğer çalışmada liso vals silindirleri için yapılmıştır. Bu çalışmada makine devri 930 devir/dakikadır. Buna bağlı olarak yapılan deneme ürünlerine ait deneme dökümleri Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Liso Vals Silindirleri Deneme Dökümleri

Nikel	Mangan	Karbon	Makine Devri	Kalıp Kalınlığı	Kalıp Ölçüleri			Sertlik
					Kalıp Ön Çap	Kalıp Arka Çap	Kalıp Boyu	
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 40	268	420	1055	459
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 31	218	318	1050	487
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 40	268	420	1055	456
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 37	268	420	1055	451
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 32	265	420	1055	418
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 31	218	318	1050	496
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 33	265	420	1055	421
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 37	268	420	1055	447
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 35	268	420	1055	464
0,06	0,58	3,02	930	Kalıp 32	265	420	1050	425

Bu çalışmada yapılan deneme dökümlerinin sertlikleri incelendiğinde kalıp kalınlıklarının değişmesi ile birlikte sertlik değerlerinde de değişiklikler gözlenmiştir. Et kalınlığı daha fazla olan kalıplarda döküm işleminin gerçekleşmesi ürünün geç soğumasını ve geç soğuyarak daha yumuşak kalmasını sağlamıştır. Bu nedenle kalıp et kalınlıkları kalın olan kalıplarda yapılan döküm işlemlerinde ürünlerin sertlik değerleri daha az, ince et kalınlığına sahip olan ürünlerin ise sertlik değerleri daha yüksek olmuştur.

4.7. Tartışma

Bu çalışmada üretimde meydana gelen problemlerde sorunları bulabilmek için ve bulunan sorunları analiz edebilmek için İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri kullanılmıştır. Bu teknikler üretimdeki hatalar ile ilgili bize veriler vererek analiz sonuçlarında hataların durumu gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda çözüme kavuşturulması gereken en önemli problemin ürünlerdeki sertlik değerlerinde müşteri isteklerine uyulmaması görülmüştür. Yapılan analizlerde sertlik verilerinde oluşan sapmalar ortaya konulmuştur. Verilerin süreç içerisindeki değişimleri ve değişkenler arasındaki farklar grafiklere dökülmüştür. Ürün sertliklerinde yapılacak iyileştirmeler üretimi etkileyen birçok parametrenin optimum değere ulaşması halinde gerçekleşeceği için diğer hata türlerinde de azalma olacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda kırıcı vals silindirlerinde limit dışı verilerin liso vals silindirlerine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Makine ve kalıp türleri ile bakım onarımları, hammadde kalitesi, döküm sıcaklığı, döküm hızı gibi parametreler ürün karakteristiğini doğrudan etkilemektedir. Bu parametreler de yapılan oynamalar ile sertlik verileri değişmektedir. Sertlik verilerini düzeltebilmek için ilgili parametrelerin optimum değerlere getirilmesi gereklidir. Bu değerlerin bulunması birkaç deneme dökümün yapılmasıyla sağlanabilir. Ancak fazla zaman alıp profesyonel olmayan bir metot olacaktır. Bir başka alternatif yol ise yüksek teknolojinin kullanılmasıdır. Araştırmalar sonucu bulunan simülasyon programı ile sanal ortamda gerçek döküm şartları girildiğinde ortaya çıkacak ürün ile ilgili verileri almak mümkündür. Program sayesinde döküm israfı olmadan ürünün hangi sıcaklıkta dökülmesi gerektiği, döküm katmanları arasındaki bekleme süreleri, kalıp sıcaklığı, makine devri gibi verilerin optimum değerleri ortaya çıkmaktadır, bu veriler ışığında döküm orta mı daha sağlıklı ve daha verimli hale dönüşecektir. Programdan parametrelerin bulunması ile birlikte müşteri istek ve beklentileri de rahatlıkla

karşılacaktır. Ürünler de istenilen karakteristiklerin ayarlanması daha pratik ve kesin çözümlü olacaktır.

Soğutma suyunun açılma saniyeleri ürün sertliklerini etkileyen bir diğere önemli parametredir. Ürün soğuma esnasında hızlı soğuma işlemi üründe daha sert bir yapı oluşturacaktır. Yavaş soğuyan ürün ise daha yumuşak bir halde olacaktır. Santrifüj döküm işlemi gerçekleştirilirken döküm esnasında ürüne saf su verilerek ürün sıcaklığında hızlı bir düşüş sağlanması ürünü sertleştiren bir yöntemdir. Ancak bu soğuma için soğutma suyunun açılacağı saniye oldukça önemli olup ürün sertlik değerlerini oluşturmaktadır. Bu değerlerin optimum değerlerde tutulması müşteri istek ve beklentilerini karşılayacak ürün sertliklerinin elde edilmesini sağlayacaktır.

Bu çalışmada, santrifüj döküm yöntemi gerçekleştirilirken ürün karakteristiğini etkileyen birçok parametre ele alınmıştır. Sertlik karakteristiğini etkileyen parametrelerden biri de kalıp kalınlığıdır. Aslında bu çalışmada ürün karakteristiğini etkileyen parametrelerden biri olarak kalıp sıcaklığı gösterilmiştir. Kalıp et kalınlığı kalıp sıcaklığını doğrudan etkileyen bir etmen olduğu için ele alınan bir konu olmuştur. Kalıp et kalınlığına bağlı olarak kalıbın soğuma hızı değişiklik gösterecektir. Soğuma hızında meydana gelen değişiklikler ürün karakteristiğini özellikle sertlik verisini etkileyecektir. Et kalınlığı daha çok olan kalıplar daha geç soğuyarak ürün soğumasını daha yavaş sağlayacağı için daha yumuşak yapıda bir ürün elde edilir. Aynı şekilde kalıp et kalınlığı daha az olan kalıplarda bulunan ürünler daha çabuk soğuyacağı için ürün sertlikleri daha yüksek olacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

İnsanlık tarihinde insanların temel ihtiyaçları karşılanmak amacıyla çeşitli madenler eritilip şekillendirilerek belli başlı araç gereçler yapılmıştır. Tarih boyunca insanların hayatında bulunan döküm her geçen zaman daha da farklı bir noktaya ulaşarak gelişimine devam etmiştir. İlkel yöntemlerle başlanan döküm işlemi günümüzde yüksek teknolojiyle ilerlemektedir. Birçok çeşide sahip olan döküm yöntemleri sayesinde günümüzde çok çeşitli ürünler üretilmektedir. Santrifüj döküm yöntemi de bu döküm yöntemlerinden biridir. Döküm işlemi esnasında merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak döndürme işlemi yapılmaktadır. Bu sebepten silindir tarzı malzemelerin üretimi için çok daha uygundur.

Bu çalışmada santrifüj döküm tekniği ile değirmenlerde kullanılan vals silindirlerinin imalatı gerçekleştirilmektedir. 2021 yılı vals silindirlerine ait üretim verileri ve bu üretim dönemlerindeki aylık hata verileri çıkarılmıştır. Bu hatalar gruplandırma metodu ile ne tür hatalar olduğu ve yoğunlukları keşfedilmiştir. Üretimi gerçekleştiren ürünler nihai ürün haline gelene kadar çeşitli proseslerden geçmektedir. Hatalı ürünler döküm anından başlayıp son prosese kadar hatalar ayrıntılarıyla incelenmiştir. Ürünlerde hataların keşfedilmesi ile hata durumuna göre gerekli kararlar alınarak çalışma tamamlanmıştır. Üretimde hatalı ürünlerin çıkmasının sonucunda verilen kararlar 4 türde olabilir.

1. Yeniden Döküm
2. Yeniden İşleme
3. Karantinadan Sonra Yeniden İşleme
4. Düzeltme Faaliyetine Gerek Görülmemesi

Her ne kadar verilen karar çeşitli olsa da hepsi müşteri istek ve beklentilerini karşılamayıp, işçilik, zaman ve diğer malzemelerde kayıplara sebep olmasından dolayı istenmeyen durumdur. Bu durumları üretimde görmemek olabildiğince azaltmak verimliliği artırıp kar marjını yükseltecektir. Bu sebepten dolayı hataların bulunması ve analizleri yapılarak düzeltici faaliyetlerle bu hataların tekrar yaşanmasını engellemek en iyi çözüm olacaktır.

Yapılan literatür çalışmalarının desteğiyle santrifüj dökümdeki kaliteyi etkileyen parametreler bulunarak göz ardı edilmeyecek noktalar belirlenmiştir. Santrifüj döküm tekniği ile üretilen bu ürünler de meydana gelen hataların türleri ve hata oranlarının bulunması için İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemlerinden faydalanılmıştır. İlgili

tekniklerden ilk olarak gruplandırma metodu kullanılmıştır. Bu metot ile hata türleri ortaya çıkartılmıştır. Çıkan hata türlerinde miktarı en fazla olan ve etkisi büyük olan hata türünün sertlik karakteristiğindeki verilerin olduğuna karar verilmiştir. Bunun üzerine sertlik verilerinin iyileştirilmesi kararı alınmıştır. Sertlik verilerinin iyileştirilmesi için öncelikle bu durumun kök neden analizi yapılmıştır. Üretimdeki sertlik değerlerindeki hata adetleri çıkartılmıştır. Tüm bu veriler minitab16 programında ilgili grafiklere dökülerek detaylı analizleri gerçekleştirilerek incelenmiştir.

Sebep–sonuç diyagramında sertlik verilerinin etkilenmesinin sebeplerinden biri hammaddeler olacağı kanısına varılmıştır. Buradan yola çıkarak karbon, mangan ve nikel elementleri ile sertlik verisi arasındaki ilişki regresyon ve korelasyon analizi yapılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada K.250.1000 ve L.250.1000 Vals Silindirlerinin 2021 yılına ait ilk altı aylık verileri ele alınmıştır. Bu çalışmada kırıcı vals silindirleri ile karbon, mangan ve nikel elementlerinin bir ilişkisi olmadığı bu veriler sertlik verilerini doğrudan etkilemediği ortaya çıkmıştır. Ancak liso valslerinde karbon ve mangan oranları sertlik verilerinde etkili olarak nikel miktarı ile liso sertlik verilerinde bir ilişki gözlemlenmemiştir.

Santrifüj döküm yöntemi ile üretimi en sık olan K.250.1000 ve L.250.1000 vals silindirlerin de sertlik verileri kontrol grafiklerinde istenilen limitlerin dışına çıkan ürünlerin fazla olduğu görülmüştür. Ürün sertliklerini etkileyen parametrelerin; hammadde kalitesi, kalıpların titreşime maruz kalması, ortamdaki sıcaklık, nem, madenin sıcaklığı, madenin dökülme hızı, makine devri, kalıp türleri, birinci ve ikinci katmanlar arasındaki bekleme süreleri, operatörün yetkinliği ve makine bakım ve onarımların zamanında yapılmasına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Üründe sertlik verilerinin istenilen değerlerde bulunması için ilgili parametrelerin optimum değerlere getirilmesi gereklidir (Gerald, 1993). Ancak üretim ortamındaki zorlu koşullar ve parametrelerin oldukça fazla olması süreci oldukça zorlamaktadır. Parametrelerin optimum değerlere getirilmesi için belirli değerleri sabit tutup belirli değerleri değiştirilerek bulunabilir. Bu durum deneme yanılma yöntemiyle uzun çalışmalar sonucunda çözülebilir ancak ürünlerin maliyetlerinin çok yüksek olması ve üretimde deneme yanılma yöntemiyle çalışma istenmeyen bir durum olmasından ötürü yüksek teknolojiye yönelik çalışmalar gündeme alınmıştır.

Döküm prosesleri için var olan simülasyon programı keşfedilmiştir. İlgili programda var olan kalıplar, 1. ve 2. katman dökümleri dikkate alınmıştır. Öncelikle kalıp ısıtma simülasyonu ile başlayan program kaç saniyede kalıbın hangi sıcaklık değerine ulaşacağını göstermektedir. Kalıp ısıtma işleminin tamamlanmasından sonra ilk katman

oluşturma simülasyonuna geçilmiştir. Dolum simülasyonu ısıtılan kalıbın üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu şartlar altında döküm sıcaklığı, dökülen parça ağırlığı ve birinci katmanın beslenme süresinin program tarafından oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Dolum simülasyonun gerçekleşmesi ile birlikte sırada katılma işlemi gerçekleşecektir. Bu işlemde parçanın tamamen katılması için geçen süre 600 saniye olduğu gözlemlenmiştir. Normalde üretim işlemi gerçekleşirken soğutma suyu da sisteme dahil edilerek kalıp dış yüzeyinden uygulanan su ile soğutma işlemi de simülasyona dahil edilmiştir. Böylelikle katılma simülasyonu da tamamlanmıştır. Ardından ikinci katman dolum işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu simülasyon işlemi ile makine devir sayısı, sıcaklık, malzeme ağırlıkları, katman kalınlıkları ve zaman verilerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Yapılan bu örnek çalışmada Vals Silindirlerinde hata oranlarının azaltılması ve verimliliğin artırılması için simülasyon programı alınarak çalışmalara program desteğiyle devam edilmesi önerilmiştir.

Yapılan ikinci düzeltici faaliyet çalışmasında soğutma suyunun ürün karakteristiği üzerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada beş adet aynı şartlar altında üretimi gerçekleşen ürün seçilerek sertlik verileri ölçülmüştür. Bu ürünler üretimin en başından takip edilerek soğutma suyunun açıldığı saniyeler tek tek kayıt altına alınmıştır. Buradan çıkan verilerle soğutma suyunun açıldığı saniyelerde oynama yapılarak tekrar beş adet aynı koşullarda üretilen ürünler incelenmiştir. İlk ele alınan numunelerden yola çıkılarak saniyelerdeki oynamalar bu numunelere bağlı olarak belirlenmiştir. Saniyeler belirlenirken herhangi bir matematiksel model kurulmamış tamamen sezgisel olarak belirlenmiştir. Sertlik karakteristiği ürünün hammaddesine bağlı olduğu kadar üretim metodu da sertlik verileri üzerinde değişikliklere sebebiyet vermektedir. Döküm ortamında bulunan parametreler ürün kalitesine doğrudan etki ettiğinden yapılan çalışmada diğer parametreler sabit tutularak sadece soğutma suyunun açıldığı parametre ile oynanmıştır. Yapılan çalışmada öncelikle döküm işlemi yapılan beş adet K.250.1000 ürünü seçilmiştir. Bu ürünler aynı oranda elementler içeren, aynı kalıplara dökülen ve aynı makinelerde üretilen ürünler olmaktadır. İlk alınan numune için soğutma suyunun açılma saniyesi 14 olduğunda ürün sertliği 485 HB, ikinci numune için soğutma suyunun açılma saniyesi 14 olduğunda ürün sertliği 482 HB, üçüncü numune üründe soğutma suyu 12. saniyede açıldığında ürün sertliği 490 HB'e çıkmıştır. Dördüncü numunede soğutma suyunun açılma saniyesi 15 olduğunda ürün sertliği 450 HB olmuş ve son numune de suyun açılma saniyesi 8 olduğunda ürün sertliği oldukça fazla çıkarak 573 HB olmuştur. İlgili numunelerde görüldüğü gibi tüm şartlar aynı olduğunda üretimde kullanılan

soğutma suyunun açıldığı zaman ürün üzerinde değişikliğe sebep olmuştur. Ürün hızlı soğuduğunda karbon diğer elementlerle bağ kurarak yüzeye çıkar ve moleküllerin bir arada bulunma durumları daha yoğun olduğundan üründe sertlik meydana gelecektir. Bu çalışmada üründe istenilen sertlik verilerine ulaşabilmek için soğutma suyunun önemi gösterilmiştir.

Yapılan üçüncü düzeltici faaliyette ise kalıp et kalınlığının ürün üzerindeki etkisi incelenmiştir. Makine devri, hammadde oranları, soğutma suyu açılma saniyeleri sabit tutularak farklı kalıplarda döküm işlemi gerçekleştirilerek ürün sertlik verileri kayıt altına alınmıştır. Yapılan çalışmada kalıp et kalınlığının ürün sertliğini etkileyen bir faktör olduğu görülmüştür. Üründe meydana gelen sertlik ürün soğuma hızına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Hızlı soğuma sertliği artırırken yavaş soğuma daha yumuşak bir yapı elde etmeyi sağlayacaktır. Kalıp kalınlığı ise ürünün soğuma hızını etkileyen bir faktör olarak sertliğe etki edecektir. Kalıp et kalınlığı kalın olduğunda üründe soğuma daha yavaş gerçekleşerek ürün daha yumuşak kalabilecektir. Kalıp et kalınlığı inceldikçe üründe soğuma da hızlı bir şekilde gerçekleşip sertliğinde de artış olacaktır. Yapılan çalışmada liso ve kırıcı vals silindirlerine ait onar adet ürün incelenmiştir. Kalıplar ile oynanarak diğer parametreler sabit tutulup ürün sertlikleri ölçülmüştür. Ölçümler kayıt altına alınarak kalıp et kalınlığı kalın olan ürünlerde sertlik daha düşük, kalıp et kalınlığı ince olan ürünlerde sertlik daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebini de soğumaya bağlı olarak değiştiği çalışmada gözlemlenmiştir.

5.2. Öneriler

Günümüzde döküm yöntemlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Birçok ürün oluşturma yetkinliğine sahip bu proses zorlu şartları içerse de karmaşık yapıları ürünlerin oluşumuna elverişli bir süreçtir. Döküm sektörüne hizmet eden firmaların Pazar paylarını artırmaları ve rakipleri ile mücadele edebilmeleri için müşteri istek ve beklentilerini karşılamaları gereklidir. Bunun da yolu kaliteli üretimden geçmektedir. Kaliteli üretim için de döküm parametrelerin sağlıklı bir şekilde belirlenip optimum değerlerde tutulması şarttır.

Üretimde kalitenin sağlanabilmesi için öncelikle mevcut durumun ortaya çıkartılıp gerekli analizlerin yapılması sorunların çözülebilmesi için önemli bir adımdır. Bu durumun ortaya çıkarılması için kullanılan İstatistiksel Proses Kontrol Yöntemleri oldukça etkilidir. İstatistiksel Proses Kontrol, kısaca İPK proseslerdeki değişkenliğin ölçülmesi ve irdelenmesi için istatistiksel tekniklerin uygulanmasında oldukça faydalıdır. Kullanımları

kolay ve pratik olan bu teknikler süreç hakkında bize sağlıklı veriler vererek sürecin şekillendirilmesinde destek olmaktadır.

Üretim sürecinin iyi gittiği veya süreçlerde sıkıntıların olduğunu gözlemlemek zor bir süreçtir. Süreç hakkında yorum yapılabilmesi için verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru çözümlere ulaşım; verilerin doğru olmasından ve sağlıklı analizlerden geçmektedir. Bu nedenle kalite verileri toplanırken bu veriler güvenilir yerlerden alınmalıdır.

Verilerin sağlıklı bir şekilde toplanması kadar onların analizlerinin de sağlıklı olması doğru çözümlere ulaşmak için şarttır. Bunun için analiz programı olan minitab16 programından destek alınması daha doğru analizlere götürecektir. Minitab16 programının kullanımının oldukça pratik olması çalışmalarda zaman kaybını önlemektedir. Verilerin grafiklere dökülmesini sağlayan program analizlerin daha kolay yorumlamasını sağlamaktadır. Probleme etki eden değişkenlerin sorun ile ilişkisini görebilmek için regresyon grafikleri oldukça çözüm odaklı olmaktadır. Değişkenler arasındaki ilişkinin bulunması problemin daha doğru yorumlanmasını sağlamaktadır.

Üretim ortamında çalışma şartlarının zor olmasından dolayı bu tür ortamlarda yüksek teknolojiden destek alınması işleri oldukça kolaylaştıracaktır. Üretim ortamında yaşanan sıkıntıların ortadan kaldırılması üretim verimliliğini sağlamakla birlikte üretim güvenliğini de sağlamaktadır. Özellikle birçok parametrenin bir arada bulunduğu ortamlarda optimum değerlerin bulunması karmaşık ve zaman alıcı olmaktadır. Bu tür durumlar için simülasyon programı oldukça etkilidir. Zorlu üretim şartlarında sağlanması zor olan parametrelerin önceden bir programda simüle edip sonuçları görüp ilerlemek sistemi direkt çözüme götürmektedir.

Bir yerde iyileştirme yapabilmek için öncelikle sorunun keşfedilmesi gereklidir. Soruna uygun çözümler bulunabilmesi içinde sorunun kök nedenine inilebilmesi ve sorunun tüm detaylarının yüzeye çıkarılması şarttır. Bunun için kullanılması gereken birçok teknik vardır. Hata çeşitlerine göre kullanılacak teknikler değişiklik göstermektedir. Bu teknikler ile sorunların anlaşılması sonucu çözüme giden yol haritalarının belirlenmesi kolaylaşacaktır. Verilerin analiz edilmesi bizi sonuca götüreceği için veri toplarken bu işlemlerin sağlıklı olması gereklidir.

KAYNAKLAR

- Akyurt, İ. Z., 2020, Gıda sektöründe istatistiksel proses kontrolü endüstriyel ekmek üretim tesisi uygulaması, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(1), 235–257.
- Anonim, <https://www.flow3d.com/products/flow-3d-cast/> [Ziyaret Tarihi: 10.01.2022].
- Anonim, 2016, Centrifugal casting, Mimoza-Marmara Üniversitesi.
- Aran, A., 2007, Döküm teknolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arslan, V., 2020, Statistical process control for Çayeli copper companies using X-R control charts and multidimensional scaling analysis, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 22 (66), 681–690.
- Ataçelik Döküm, 2017, Döküm sektörü hakkında bilgiler ve Türkiye döküm tarihi, <http://www.atacelik.com/dokumtarihi.html>, [Ziyaret Tarihi: 03.01.2022].
- Aydın, Z. B. ve Kargı, S. A., 2018, İstatistiksel kalite kontrol teknikleri ile otomotiv sektöründe bir uygulama, Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 16 (1), 41-63.
- Baran, F., Özel, A., Ertürk S. Ö. ve Çamur, E.C., 2022, Dökme demirlerde döküm simülasyonu yazılımı ile dart hatası oluşumunun analizi ve önlenmesi, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (1), 26-31.
- Bayhan, M., Yacan, İ., ve Demirel, A., 2022, Üretim süreçlerinde istatistiksel kalite kontrolü uygulamaları üzerine bir araştırma, Uluslararası Akademik Fikir Araştırma Dergisi, 14-28.
- Bayraktar, E., 2007, Üretim ve hizmet süreçlerinin yönetimi, Birinci Baskı, Çağlayan Kitabevi.
- Birgören, B. ve Koçer, B., 2004, İstatistiksel proses kontrol çizelgelerinde hata teşhisine yönelik yaklaşımlar, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 17 (4), 59-69.
- Campbell, J., 2015, Complete casting handbook, Second Edition, Elsevier.
- Durakovic, B., Basic, H., 2013, Continuous quality improvement in textile processing by statistical process control tools a case study of medium-sized company, Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 1 (1), 39-46.
- Duran, C. ve Çetinkaya, A., 2012, Konfeksiyon sanayinde faaliyet gösteren bir işletmede istatistiksel proses kontrol teknikleri ile ürün hatalarının analiz edilmesi, Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 21 (2), 233-254.

- El-Galy, I. M., Ahmed, M. H., Bassiouny, B. I., 2017, Characterization of functionally graded Al-SiCp metal matrix composites manufactured by centrifugal casting, *Alexandria Engineering Journal*, 56, 371-381.
- Firuzan, A. R. ve Ayvaz, Y. Y., 2005, Shewhart Kontrol Kartlarında Tasarım Parametrelerinin Seçimi Üzerine Bir Uygulama, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 12(1), 1-9.
- Gerald, M. S., 1993, *Statistical process control and quality improvement*, MacMillan Publishing, 53.
- Gholami, M. and Divandari, M., 2018, Interfacial phases and defects characteristics of AL/Cu-Zn bimetal produced via centrifugal casting process, *Iranian Journal of Materials Science & Engineering* Vol. 15, 4, December 2018.
- Girma, D. and Sahu, O., 2020. Improving process performance of cotton spinning by using statistical process control techniques, *Research Journal of Textile and Leather*, 1, (1), 15-22.
- Gunara, S. and Kusnowo, R., 2019, Design and manufacture of cylindeical rings using the centrifugal casting method as an alternative to improving the quality of cast products, *Dinamika Teknik Mesin* 9, 140-146.
- Ilgın, M. A., Söyler, D. ve Sözen, K., 2016, İstatistiksel süreç kontrolü prensiplerini kullanarak bir kestirimci bakım bilgi sisteminin geliştirilmesi, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9, 2.
- Juran, J., M. and Godfrey, A. B., 1999, *Juran's quality handbook*, 5th Edition, New York, Mcgraw-Hill.
- Karaca, E., 2012, Üretim sürecinde istatistiksel proses kontrol uygulamaları ve elektronik sektöründe bir inceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kartal, M., 2002, Shewhart kontrol grafiklerinde tesadüfiliğin yeni bir yöntemle belirlenmesi, *Ekev Akademi Dergisi*, 12.
- Kaya, İ. ve Ağa, A., 2011, Kalite iyileştirme sürecinin yedi temel aracı ve motor-traktör imalatı yapan bir işletmede uygulanması, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11.
- Kuvvetli, Ü., Vahaplar, A., Firuzan, A. R., ve Önçağ, A. Ç., 2022, Otobüs yedek parça üretiminde ölçüm sistem analizi uygulaması, *İzmir İktisat Dergisi*, 37(3), 655-672.
- Liu, L., Yu, M., Ma, Y., and Tu, Y., 2013, Economic and economic-statistical designs of an X control chart for two-unit series systems with condition-based maintenance, *European Journal of Operational Research*, 226, 491-499.

- Mehrafrooz, Z. and Noorossana, R., 2011, An integrated model based on statistical process control and maintenance, *Computers & Industrial Engineering*, 61, 1245-1255.
- Mohiuddin, M. V., Ahmed, K., and Hussainy, S. F., 2020, Parameter optimization of aluminium alloy centrifugal casting using simulation technique, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13-20, Oct. 2020.
- Nosir, S., Tokhir, K., and Anvar, T., 2022, Technology for obtaining high quality casting from resistance white cast iron, *Eurasian Journal of Engineering and Technology*, 2795-7640, April, 2022.
- Pandey, S. and Kumar, J. S., 2017, Casting defects and its optimization method in centrifugal casting process, *A Review*, 19-21.
- Patel, P. R., Patel, V. D., Patel U. J., and Patel V.P., 2021, Review of casting processes, defects and design, *International Journal for Research in Engineering Application & Management*, 25454-9110, Oct 2021.
- Qian, X., Zhang, Y., Wang, Z., Li, Y., and Li, J., 2021, Hot deformation activation energy of a 5E83 alloy prepared with centrifugal casting, *Journal of Physics Conference Series* 1885.
- Yıldırım, H. ve Karaca, E., 2013, Üretim sürecinde istatistiksel proses kontrol uygulamaları ve elektronik sektöründe bir inceleme, *Marmara Üniversitesi*, 39 (10), 77-87.
- Yin, Y., Peng, X., Xiao, G., Qie, X., Shen, X., Wan, P., Ji, X., and Zhou, J., 2021, Experiment on fluid regime under different rotate velocity in physical simulation of titanium vertical centrifugal casting, A Version of Preprint Was Published at *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology* on February 2nd. August 24th, 2021.
- Zhou, J. X., Shen, X., Yin, Y. J., Guo, Z. and Wang, H., 2015, Gas-liquid two phase flow modelling of incompressible fluid and experimental validation studies in vertical centrifugal casting, *Materials Science and Engineering*, 84.

EKLER**EK-1 ÖZGEÇMİŞ**