



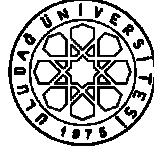
T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEÇİMLİ MONTAJ SÜREÇLERİNDE STOK
BİRİKİMİNİN OPTİMAL KONTROLÜ

Volkan HACIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEÇİMLİ MONTAJ SÜREÇLERİNDE STOK
BİRİKİMİNİN OPTİMAL KONTROLÜ

Volkan HACIOĞLU

Prof.Dr. Erdal Emel
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEÇİMLİ MONTAJ SÜREÇLERİNDE
STOK BİRİKİMİNİN OPTİMAL KONTROLÜ

Volkan HACIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez/...../20... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Erdal EMEL
(Danışman)

Yrd.Doç.Dr. Mehmet AKANSEL

Prof. Dr. Cemal ÇAKIR

ÖZET

Montaj, birden çok bileşenin bir nihai ürün oluşturmak üzere birleştirildiği bir üretim şeklidir. Nihai ürünü oluşturan bileşenlerin talaşlı imalat ile üretildiği birçok durumda bileşenlerin önceden tanımlı imalat toleransları çoğu kez monte edilebilirlik için yeterli koşulu sağlamaktadır. Belirli toleranslara sahip parçaların değiştirilebilirliği her ne kadar montaj süreçlerinin temel ilkesi olarak bilinse de, dar toleransların söz konusu olduğu özel durumlarda, tolerans içinde değişen boyutlardaki parçaların oluşturduğu bir yığın içinden herhangi bir parçanın montaj için seçilmesi geçerli bir yaklaşım olmayabilir. Bu nedenle monte edilecek parça çiftlerinin her biri önceden ölçülerek iyi tanımlanmış boyutsal gruplarda sınıflandırılmalıdır ki, sınıflandırılan gruplardaki eşleşmeler kaliteli bir nihai ürün oluşturabilsin. Bu temele dayanan montaj süreçleri için “seçimli montaj” tanımı kullanılmaktadır. Eşleşeceği parça kümesi içinden bir eş bulamayan parçalar bir sonraki montaj denemesinde kullanılmak üzere yeni bir karşıt parça kümesi gelinceye dek stok bölgesinde bekleyecektir. Seçimli montaj süreçleri üzerine yapılan bilimsel araştırmalarda odaklanılan temel hedef, eşleşecek parçaların sahip oldukları tolerans dağılımına göre gruplamayı sağlayacak etkin bir yöntem geliştirmek olmuştur. Bu tez çalışmasında parçalardan bir tanesinin boyutsal dağılımını değiştirebilmek için kontrol edilebilir süreç ortalamasına sahip birkaç özdeş paralel talaşlı üretim süreci kullanılırken, geniş boyutsal dağılıma sahip diğer parçanın ortalama değeri sabit tutulmuştur. Verilen süreç ortalaması değeri ayarlarında değişebilir boyutlara sahip parçanın öngörülen normal dağılımını sağlayabilmesi için yeterli derecede uzun bir üretim periyodunun tanımlanması gerekmektedir. Eşleşmemiş parça stoğu miktarını en küçükmek için montaj kritik boyutunun normal dağılıma uygun olduğu kabulüne dayalı doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelin çözümü ile verilen üretim periyodu için kontrol edilebilir süreç ortalamalarının en uygun değerleri atanmaktadır. Matematiksel model çözümünün her seferinde artık parça miktarını en küçüklediğini gösterebilmek için üretim sisteminin bir benzetim modeli kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Seçimli montaj, doğrusal olmayan programlama, benzetim modeli.

ABSTRACT

Assembly is a type of production process in which several components are combined to produce a final product. In many cases, predefined manufacturing tolerances of components satisfy the assembly requirements when components are manufactured by machining. The concept of “interchangeable parts” is known as the key issue that initiated the history of assembly lines. However, some specific products with narrow tolerances cannot be assembled by simply picking any part from a population with a specific dimensional distribution. Therefore, each component must be measured and classified into well-defined dimensional group such that any matching from given corresponding groups counter parts can lead to an assembled product of high quality. This relatively newer notion is identified as “selective assembly”. Components that cannot be matched with proper counter-parts for assembly are kept in the surplus inventory until a new batch of counter parts arrives to be used for further matching trials. Mainstream research in selective assembly focuses on developing efficient methods of grouping matching components according to their tolerance distribution. In this study, a number of identical parallel machining processes with controllable process means are used to change the dimensional distribution of one of the components while the mean value for the other component with a wider dimensional distribution is kept constant. For the part with changeable dimension at given process mean value settings, it is required that the assumption for a normal distribution is to be satisfied by determining a sufficiently long enough production period. A non-linear mathematical programming model to minimize the amount of surplus of non-matching parts is developed based on the assumption that the assembly critical dimension is normally distributed. Solving the model, optimal values are assigned to the controllable process means for a given production period. A simulation model of the production system is used to show that the solution of the mathematical model minimizes the surplus parts.

Keywords: Selective assembly, nonlinear programming, simulation.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-----------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| İÇİNDEKİLER..... | iii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | v |
| SİMGELER DİZİNİ..... | vi |
| | |
| GİRİŞ | 1 |
| | |
| 1. KAYNAK ÖZETLERİ..... | 3 |
| | |
| 2. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 12 |
| 2.1. Materyal..... | 12 |
| 2.1.1. Problem Tanımı..... | 12 |
| 2.1.2. Sistem Tanımı Ve Kabuller..... | 13 |
| 2.2. Önerilen Çözüm Yöntemi..... | 15 |
| 2.2.1. Matematiksel Model..... | 18 |
| | |
| 3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI..... | 29 |
| 3.1. Uygunluk Testleri Ve Üretim Parametreleri..... | 29 |
| 3.2. Modelin Çözümlemesi..... | 35 |
| 3.2.1. Deneysel Tasarım..... | 35 |
| 3.2.2. Parametreler..... | 36 |
| 3.2.3. Sonuçlar..... | 37 |
| | |
| 4. TARTIŞMA VE SONUÇ..... | 42 |
| | |
| KAYNAKLAR..... | 44 |
| EKLER..... | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 57 |
| TEŞEKKÜR..... | 58 |

| ÇİZELGELER DİZİNİ | | Sayfa |
|--------------------------|---|--------------|
| Çizelge 3.1 | Parça A dağılım parametreleri | 31 |
| Çizelge 3.2 | Parça A dağılım uygunluk testleri | 32 |
| Çizelge 3.3 | Parça B dağılım parametreleri | 33 |
| Çizelge 3.4 | Parça B dağılım uygunluk testleri | 33 |
| Çizelge 3.5 | Deneysel tasarım 1 | 36 |
| Çizelge 3.6 | Deneysel tasarım 2 | 36 |
| Çizelge 3.7 | Sonuç çizelgesi 1 | 38 |
| Çizelge 3.8 | Sonuç çizelgesi 2 | 40 |

| ŞEKİLLER DİZİNİ | | Sayfa |
|------------------------|--|--------------|
| Şekil 1.1 | Mil ve delik için boyutsal dağılımlar | 7 |
| Şekil 1.2 | Klasik yöntemler için boyutsal dağılım grafikleri..... | 9 |
| Şekil 2.1 | Eşleşen parçalar..... | 13 |
| Şekil 2.2 | Üretim hatları ve stok bölgeleri..... | 14 |
| Şekil 2.3 | Döngüsel çözüm algoritması..... | 17 |
| Şekil 2.4 | Montaj boşluk toleransları..... | 18 |
| Şekil 2.5 | Çap değeri red bölgeleri..... | 19 |
| Şekil 2.6 | A parçası hedef çap sınır değerleri grafiği..... | 27 |
| Şekil 3.1 | Örneklem çap boyutu dağılım grafiği..... | 30 |
| Şekil 3.2 | Parça A örneklem değerleri..... | 30 |
| Şekil 3.3 | Parça A miktarının çap gruplarına dağılımı..... | 31 |
| Şekil 3.4 | Parça B örneklem çap değerleri..... | 32 |
| Şekil 3.5 | Parça B miktarının çap gruplarına dağılımı..... | 33 |
| Şekil 3.6 | Toplam stok grafiği 1..... | 39 |
| Şekil 3.7 | Toplam stok grafiği 2..... | 41 |

SİMGELER DİZİNİ

| | |
|------------------------|--|
| X^{Aj} | - j. paralel süreçte üretilen A parçası için dış çap boyutu (mm) |
| X^B | - B parçası için iç çap boyutu (mm) |
| μ^{Aj} | - j. tezgahta üretilen A parçası için çap boyutu ortalaması (mm) |
| μ^B | - B parçası için çap boyutu ortalaması (mm) |
| σ^{Aj} | - j. tezgahta üretilen A parçası için çap boyutu standart sapması (mm) |
| σ^B | - B parçası için çap boyutu standart sapması (mm) |
| r^{Aj} | - j. paralel süreçte üretilen A parçası üretim oranı |
| n | - Tolerans aralığı adedi |
| m | - A parçasını üreten paralel süreç adedi |
| D^-, D^+ | - X^A ve X^B çap boyutu değerleri için teknik alt ve üst sınır |
| τ | - σ^A/σ^B , $0 \leq \tau \leq 1$ |
| C | - Montaj boşluk değeri |
| c_i | - i. tolerans sınıfı için üst sınır (mm) |
| h | - Tolerans sınıfları için tolerans aralığı (mm) |
| s_i | - i. tolerans aralığında ki dönem sonu stok miktarı |
| s_i^A, s_i^B | - A ve B parçaları için i. tolerans aralığında ki dönem sonu stok miktarı |
| s_i^+, s_i^- | - i. tolerans grubu için dönem sonu stok miktarının negatif ve pozitif bileşenleri |
| $s_i^{A_0}, s_i^{B_0}$ | - A ve B parçaları için i. tolerans aralığında ki dönem başı stok miktarı |
| $F(c)$ | - Dönem sonu alt ürün stok miktarı toplamı |
| $P(c_i)^A$ | - A Parçası için i. tolerans aralığına üretilen parça adedi |
| $P(c_i)^B$ | - B Parçası için i. tolerans aralığına üretilen parça adedi |
| T | - Hedef çap değerinin yeniden ayarlanma zaman aralığı |
| t | - Hedef çap değerinin yeniden ayarlanma zaman aralığı indisi |
| v | - Üretim hızı (parça /birim zaman) |
| $\phi(z)$ | - Standart normal dağılım fonksiyonu |
| $\Phi(z)$ | - Kümülatif standart normal dağılım fonksiyonu |
| R | - A parçası için nominal çap ortalaması limit katsayısı |
| μ_{min}^A | - A parçası en küçük nominal dağılım ortalaması değeri |
| μ_{max}^A | - A parçası en büyük nominal dağılım ortalaması değeri |
| X_{min}^B | - B parçası örneklem dağılımı en küçük değeri |
| X_{max}^B | - B parçası örneklem dağılımı en büyük değeri |
| μ^A | - A parçası örneklem dağılımı ortalama değeri |
| X_{min}^A | - A parçası örneklem dağılımı en küçük değeri |
| X_{max}^A | - A parçası örneklem dağılımı en büyük değeri |

GİRİŞ

Talaşlı imalat ile üretilen ürünlerde öngörülen makine girdileri her zaman istenen çıktıyı vermeyebilir. Girilen makine ayarlarına rağmen talaşlı imalat sürecinde sapmaya neden olan pek çok etken mevcuttur. Bu etkenler ortadan kaldırılamadığında ürün özelliklerinde rassal sapmalar meydana gelir. Rassal dağılıma sahip bu ürünlerin toleranslar içinde sınıflanması ve sınıflandırılmış stok kontrolünün yapılabilmesi önemli bir planlama problemidir. Çoklu ürün kontrol sistemlerinde, tekli ürün kontrol sistemlerinde ortaya çıkmayan, farklı ürünlerin eş zamanlı üretimi, stok kontrolünde sayısal dengeleme, farklı üretim parametrelerinin ortak takibinin zorluğu gibi problemler de gözlenebilmektedir.

Üretim süreçleri ürün özelliklerinde değişimlere neden olan bazı iç ve dış faktörlerden etkilenebilirler. Seçimli parçaların montajında bu değişimlerin seviyesi önem kazanmaktadır. Yüksek kalitede montajlanmış ürün elde edebilmek için montaj parçalarının toleransları kontrol altında tutulmalıdır. Üreticiler müşterilerine kaliteli ürünü kısa zamanda ve düşük bir maliyetle sunabilmek için yoğun çaba sarf etmektedirler. Modern üretim ortamında bazı parçaların nihai ürüne dönüştürülmesinde montaj süreçleri önemli bir rol oynamaktadırlar. “Değişebilir parçalar” kavramı çok uzun zamandır etkin bir montaj sisteminin asli unsurlarından kabul edilmektedir ve atölye tipi üretimden yığın üretime geçişte ve sonrasında yaşanan değişimlerde katkısı büyüktür.

Ancak, hassas toleransları nedeniyle değişebilir parçalar mantığı ile montaj süreçleri tanımlanamayan ürünlerde bulunmaktadır. “Piston ve silindir montajı, biyel kolu montajı, bilyeli yatak montajı, vites kutusu montajı, yakıt püskürtme sistemleri montajı gibi yüksek hassasiyetteki montaj süreçlerinde seçimli montaj kavramı son derece faydalı olabilmektedir. Seçimli montaj görel olarak düşük hassasiyetteki montaj parçalarından yüksek hassasiyette montajlanmış ürün elde etme yöntemi olarak açıklanabilir ve genellikle daha düşük toleranslı alt ürün ile çalışmaktan daha düşük

maliyet getirmektedir. Birçok uygulamada nihai ürün toleransı alt ürün toleranslarının toplamı şeklinde hesaplanmaktadır. Geleneksel seçimli montaj metodunda alt parçalar tolerans değerlerine göre gruplara ayrılırlar ve bitmiş üründe dar tolerans değerleri yakalayabilmek için, montaj toleransı açısından uygun gruplarda yer alan parçalar değişimli olarak montajlanırlar.

Konu üzerine geçmişte yapılmış çalışmaların içinde montaj alt parçalarının üretim süreçleri üzerine az sayıda çalışma bulunsa da, birçok araştırmacı ürünlerin nasıl sınıflandırılması gerektiği konusuna odaklanmıştır.

Bu çalışma kapsamında sınıflandırması önceden ürün teknolojik özelliklerine göre yapılmış ve tolerans aralıkları belirlenmiş seçimli alt ürünlerden oluşan genel bir montaj sisteminin bu tolerans aralıklarında en düşük stok seviyesi ile yönetilebilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Üretim dönemler halinde ele alınmış ve her dönem sonunda stok bölgesinde kalan alt ürün miktarının çap sınıflarına dağılımı temel alınarak yeni dönem için üretim parametreleri üretilmeye çalışılmıştır. Bu parametrelerin üretilmesinde doğrusal olmayan matematiksel bir model geliştirilmiştir. Dönem sonlarında biriken alt ürün stoğunu belirleyebilmek için ise üretim sisteminin bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan doğrusal olmayan programlama modeli ile benzetim modelinin döngüsel olarak çalıştığı bir çözüm algoritması önerilmiştir. Sonuçlar kısmında öncelikle ele alınan sistemin oluşturulan çözüm algoritmasında yer alan varsayım ve kabullere uygun bir sistem olduğu kanıtlanmış, ardından çeşitli senaryolar için çözüm algoritması çalıştırılarak, en uygun üretim parametreleri bulunmaya çalışılmıştır.

1. KAYNAK ÖZETLERİ

Hassas toleranslar ile üretimi yapılan parçaların montajında kalite ve maliyetler açısından yaşanan belli başlı problemler için sürekli geliştirme ve iyileştirme çalışmaları günümüzde halen devam etmektedir. Bugün, tüketici yalnızca kalite, hassasiyet ve problemsiz ürün istemez, bunları aynı zamanda uygun bir fiyatla ister. Bir ürünün iki veya daha fazla bileşeni var ise, ürünün kalitesi montajın kalitesine de bağlıdır. Yüksek kalitede montajı başarmak için bileşenler dar bir toleransla üretilmek zorundadır ve bu ürünün maliyetini arttıran bir etkidir.

Seçimli montaj (Literatürde seçimli montaj terimi seçimli ya da seçimli montaj olarak da adlandırılabilir) düşük hassasiyette bileşenlerden yüksek hassasiyette montajlar elde etmenin metodudur. Eşleşen parçalar geniş toleranslarda üretilir. Eşleşecek parça yığını daha sonra seçimli gruplar oluşturmak için bölümlenir. Birbirine karşılık gelen seçimli gruplar kendi içinde değişmeli olarak monte edilir.

Seçimli montajda karşılaşılan en büyük problem karşılıklı gruplara denk gelen parça adetlerinin sürekli olarak farklılık göstermesinden dolayı eşleşmenin sağlanamamasıdır. Bu durum genellikle üretim sürecindeki doğal değişkenlikten kaynaklanmaktadır. Bu konu üzerine ilk temel çalışmalardan birini Mansoor (1961) "Doğal Süreç Toleransı" kaynaklı seçimli montaj problemini tanımlayarak ve tolerans teknik özellikleri ile etkileşimini örnek çalışmalar üzerinden sınıflandırarak yapmıştır. Bu sınıflandırmada, parçaların tek tek tasarım toleranslarının (t_H , t_S) yanı sıra montaj içinde bir süreç uygunluk toleransı (T_{fit}) tanımlamıştır. Tanımladığı kavramlar şu şekilde verilebilir;

T_H : Delik için tasarlanan tolerans

T_S : Mil için tasarlanan tolerans

T_{fit} : Montaj için tasarlanan tolerans

t_H : Delik için süreç toleransı

t_S : Mil için süreç toleransı

Montaj koşulunu ise parçaların tek tek süreç toleranslarının toplamının montaj için tasarlanan toleranstan küçük olması şeklinde belirlemiştir.

$$t_H + t_S < T_{fit}, \quad T_{fit} = T_H + T_S \quad (1.1)$$

Bu koşullarda seçimli montaj için sistemleri üç ana grupta toplamıştır. Bu gruplar şu şekildedir.

Grup (a): Parçalardan birinin süreç toleransının, tasarlanan montaj toleransının yarısından küçük ya da yarısına eşit olduğu durum;

$$t_H \text{ ya da } t_S \leq \frac{1}{2} T_{fit} \quad (1.2)$$

Grup (b): Parçaların ikisinin de süreç toleranslarının, tasarlanan montaj toleransının yarısından küçük ve birbirlerine eşit olduğu durum;

$$t_H \text{ ve } t_S > \frac{1}{2} T_{fit}, \quad t_H \cong t_S \quad (1.3)$$

Grup (c): Parçaların ikisinin de süreç toleranslarının, tasarlanan montaj toleransının yarısından büyük ve birbirlerinden farklı olduğu durum;

$$t_H \text{ ve } t_S > \frac{1}{2} T_{fit}, \quad t_H \ll t_S \text{ yada } t_S \ll t_H \quad (1.4)$$

Mansoor bu çalışma sonunda elde ettiği sonuçları şu şekilde özetlemektedir;

1. Olasılıksal olarak kontrol edilen seçimli montaj metodu, yüksek sayıda grup barındıran üretim sistemleri için uygundur.
2. Eşleşen parçaların tasarlanan toleransları her zaman eşit olmak durumunda değildir. Bu durum makinelerin doğal süreç toleransına bağlıdır.

3. Olasılıklı sistemlerde geleneksel değiştirilebilir parçalara dayalı yöntemler yerine seçimli montaj yöntemleri önerilebilir.

Bir diğer çalışmada Desmond ve Sety (1962) ölçü ve performans arasındaki ilişkiyi belirleyerek, performans gerekliliklerini karşılayacak montaj limitlerini kurmak için bir yöntem tavsiye eder. Bu yöntemde montaj parçalarının dengelenmesinde ölçüler değil parça miktarları esas alınmıştır. Bu durumda süreç yeteneklerinin tam olarak bilinmesi ve üretilen parçaların hedef değeri karşılama garantisi eden bir kalite kontrol şeması oluşturmak gerekli olacaktır. Bu kalite kontrol şemasının kullanımı ile tüm parçalar kabul edilebilir bir zaman aralığında üretilirse eşleşme olasılığı ortadan kalkacaktır.

Eşleşen parçalar genellikle farklı süreçlerde ve farklı makinelerde üretildiğinden parçaların standart sapmaları birbirinden farklı olacaktır. Bu nedenle seçimli gruplardaki parça sayısı aynı olamaz. Eşleşen parçaların standart sapmaları arasındaki farktan dolayı yüksek miktarda artık parça oluşabilmektedir. Artık parça adedinin kontrol altına alınabilmesi için Allen Pugh (1986) seçimli montajda eşleşen parçaların bölünmesi üzerine bir yöntem (bilgisayar programı) önermiştir. Bu yöntem ile eşleşen parçaların gruplarını tanımlamaya ve grup sayısını belirlemeye çalışmıştır.

Allen Pugh (1992) farklı bir çalışmada bileşenlerin farklı dağılımlara sahip olduğu durumlarda, geniş varyanslı bileşen dağılımlarını keserek sınırlandırmak için bir yöntem sunmuştur. Sonuç bileşen varyansları eşittir. Dağılımın sınırlarında üretilen parçalar montaj süresince ıskarta edilmiştir. Bu metodun artık parça miktarının en küçüklenmesi ve daha dar boşluk değerlerini karşılama yeterliliği kısıtlıdır. Çalışmada ayrıca bu yöntem ile yapılan bazı denemelerin benzetim modeli sonuçları sunulmuş ve uygulamadaki potansiyel hata kaynakları tartışılmıştır.

Seçimli montajın doğruluğu esas olarak oluşan grup sayısına ve grupların genişliğine bağlıdır. Eşleşen parçaların dengesizliği özellikle de beklenmeyen boyutsal dağılımlar artık parçaların yüksek oranda oluşmasına neden olmaktadır. Fang ve Zhang (1995) dengelenmiş olasılıklarla gruplama yapmak için grup tolerans aralıklarının farklı tutulduğu bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemde, parçalar tolerans teknik özellikleri

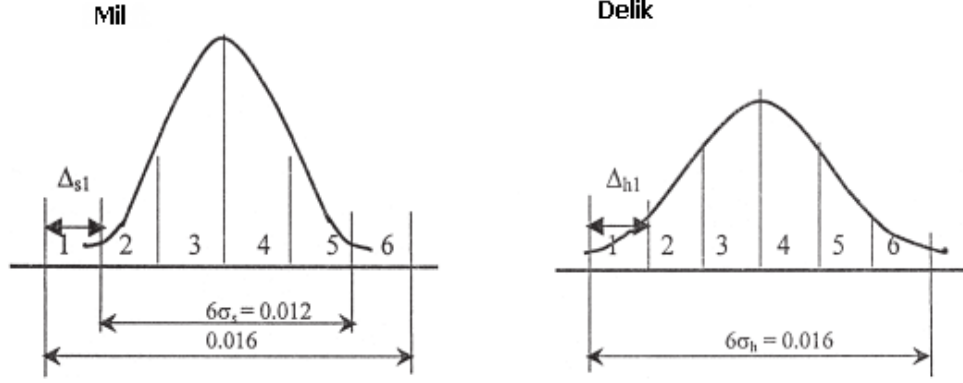
içinde üretilmiştir ve gruplama üretimden sonra planlanmıştır. Bu sayede üretim ortalamaları artık parçaların en küçüklenmesi için uygun biçimde elde edilebilmektedir. Bu yöntem boşluk değerinin eşleşen parçalar arasındaki standart sapmadan büyük olduğu durumda uygundur.

Chan ve Linn (1998) yalnızca normal dağılıma uygun üretilen parçalar için değil aynı zamanda farklı dağılımda parçaların seçimli montajını da gerçekleştirebilmek için bir gruplama yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde gruplama boşluk toleranslarını karşılayacak biçimde eşleşen parçaların birikimli olasılıklarını temel alarak yapılmıştır. Bunun için 3 farklı durum tanımlanmıştır. Normal durum (iki parça arasındaki boşluk gerekli limitler arasındadır), en küçük boşluğun altında kalınan durum ve en büyük boşluğun üzerine çıkılan durum. Önerilen yöntem ile bu üç farklı durum için, eşit olasılıklar prensibine dayalı bir algoritma geliştirilerek, artık parça miktarını en küçükleyecek biçimde teknik kısıtları karşılayan gruplar oluşturulmuştur. Ayrıca yöntem farklı dağılıma sahip çeşitli ürün grupları için denenerek etkinliği gösterilmiştir.

Konu üzerine çeşitli çalışmaları bulunan Kannan and Jayabalan normal dağılıma sahip delik ve mil montajında eşit aralıklı gruplama ve eşit olasılık yaklaşımları ile sabit süreç ortalamasını sağlamak amacıyla formüller geliştirmiştir. Belirleyici teknik özelliklere bağlı seçimli montaj sorununu sınıflandırmış, artık parçaları en küçüklemek için bu teknik özellikleri kullanarak imalatı tasarlayan bir yöntem geliştirmişlerdir. Önceden önerilen yöntemler grup toleranslarının hesaplanmasına dair doğrudan bir çözüm vermemektedir. Piston ve silindir, pim ve burç, yakıt enjeksiyon pompası tetikleyicisi ve kovan gibi parçalar bu montajın en yaygın tipleridir.

Geleneksel seçimli montajlarda grupların sayısı ve grupların sınırları sabitlenmiştir. Geleneksel yaklaşım yalnızca eşleşen parçaların standart sapmalarının aynı olduğu veya birbirlerine benzer olduğu durumlarda doğru sonuç verir. Uygulamada, bu durum mümkün değildir ve standart sapmalar arasındaki farktan etkilenen eşleşecek parçaların bazıları artık olabilir.

Kannan ve Jayabalan (2001a) ilk olarak deliğin (σ_h) standart sapmasının milin (σ_s) standart sapmasından büyük olduğu bir durumu (Şekil 1.1) ele almışlardır.



Şekil 1.1: Mil ve delik için boyutsal dağılımlar

(Kaynak: Kannan ve Jayabalan 2001a.)

Geliştirilen yöntem, parçaların montaj boşluğu en küçük ve en büyük limitlerle tanımlı olduğundan grup sayısını en uygun değerini belirlemek üzerine kurulmuştur ve iki farklı yöntem oluşturulmuştur.

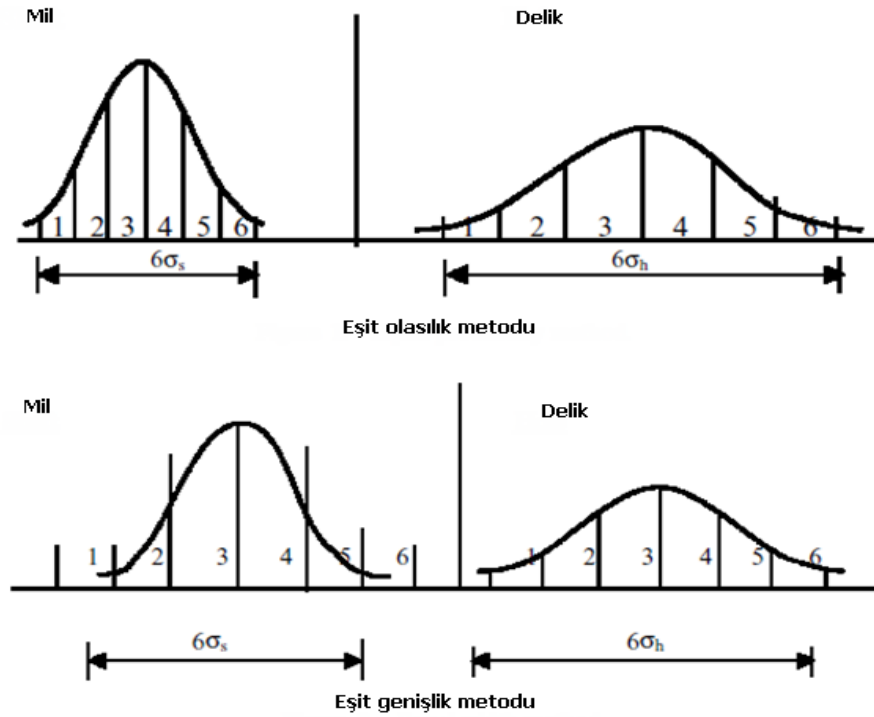
Bu yöntemlerden birincisi eşit aralıklı gruplama metodudur. Bu yöntemde delik ve milin imalatındaki ortalama, seçimli montaj için parçalar üretilmeden planlanır. Delik için üretim ortalaması referans olarak alınır, çünkü deliğin standart sapması daha büyüktür (σ_h). Bu kabul ile mil için üretim ortalaması hesaplanır. Milin hesaplanan ortalamalarla üretilmesinden sonra, parçalar ayrı ayrı grup toleranslarına göre bölümlenir. Karşılık gruplardaki parçalar seçimli olarak monte edilir. Birinci yöntem uniform gruplama boşluk aralığı eşleşen parçaların standart sapmalarından büyük montajlar için uygundur. Artık parça yoktur ve grup toleransları da aynı zamanda uniformdur.

İkinci yöntem ise eşit olasılık metodudur. Bu yöntemde delik yığını ve mil yığını karşılık seçimli gruptaki bileşen sayısına göre bölümlenmiştir. İlk mil grubunun en büyük ölçüsünün ve n . mil grubunun en küçük ölçüsünün aritmetik ortalaması mil için

en uygun üretim ortalamasını verecek şekilde bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem boşluk aralığı eşleşen parçaların standart sapmalarından küçük montajlar için uygundur. Grup toleransları boşluk için teknik özellikleri belirtecek biçimde tanımlanır ve karşılık gruplardaki parça sayıları eşittir.

Kanan ve Jayabalan aynı yıl yaptıkları bir diğer çalışmada (Kannan ve Jayabalan 2001b) eşleşen 3 farklı parça (rulman, iç yuva, dış yuva) ile karmaşık bir montaj hattını ele almışlardır. Seçimli grupların oluşturması ve parti büyüklüklerinin bölünmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem ile, artık parçaların miktarı geniş ölçüde düşürülmüştür. Açıklık değişimi en küçüklenmiştir ve grupların toplam sayısı geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında daha azdır. Çalışmada kıyas yöntemleri olarak ele alınan geleneksel yöntemler Şekil 1.2’de verilen eşit olasılık ve eşit aralık yöntemleridir.

Geleneksel eşit olasılık yönteminde, delik ve mil yığını eşit parçalara bölünmüştür. Karşılıklı gruplar içten değişmeli olarak monte edilir. Bu yöntemde, hiçbir artık parça olmayacaktır, fakat açıklık aralığı eşleşen parçaların standart sapmalarına kıyasla çok yüksek olacaktır.



Şekil 1.2: Klasik yöntemler için boyutsal dağılım grafikleri

Kaynak: Kannan ve Jayabalan 2001b.

Geleneksel eşit genişlik yönteminde grup toleransları karşılık gruplar monte edildikten sonra belirlenir ve boşluk teknik özelliklerini karşılarlar. Milin ve deliğin boyutsal dağılımları ve eğri altında kalan alanlar farklıdır. Sonuç olarak karşılık gruplardaki parça sayıları farklı olacaktır, bu da artık parça olarak sonuçlanacaktır.

Geliştirilen yeni yöntemde ise montaj parçalarının montaj boyutu ortalamaları, iç yatak, bilye ve dış yatak, boşluk teknik limitleri göz önünde bulundurularak üretime başlanmadan önce hesaplanır. Bilye iç yatak ile olduğu kadar dış yatak ile de eşleşir. Grup toleransları 2 aşamada hesaplanır.

İlk aşamada, bilye ve iç yatak eşleşmesi gruplama için göz önüne bulundurulur. Bilye ve iç yatak için grup toleransları boşluk teknik limitlerini karşılamak ve artık parçaları en küçükleme için bilye boyutunun referans alınması ile hesaplanır. İkinci aşamada, bilye grupları referans olarak alınır ve dış yatak grup toleransları boşluk teknik özellikleri göz önünde bulundurularak hesaplanır.

Önerilen gruplama metodu etkin biçimde karmaşık montajlar için uygulanabilir. Bu yöntemde, seçimli montaj için bölümlenecek grup sayısı geleneksel yöntemlere kıyasla azdır. Buna ek olarak, artık parçalar önemli ölçüde en küçüklenmiştir. (Kannan ve Jayabalan 2001b).

Montaj süreçlerinde montajı yapılan ürünün fonksiyonel performansı ve üretim maliyeti bir araya getirilen ürünlerin toleranslarından doğrudan etkilenmektedir. Seçimli montaj metodu bir araya getirilen bu geniş toleranslı ürünlerden daha dar toleranslı bir nihai ürün elde etme olanağı vermektedir. Bileşenler belirlenmiş gruplara göre sınıflanarak, rassal olarak birleşmek yerine amaç doğrultusunda tanımlanmış bir stratejiye göre bir araya getirildiğinde düşük maliyetle yüksek hassasiyette toleranslar elde edilebilmektedir.

Kannan ve arkadaşları (2005) önerdikleri yeni yöntemde en az sayıda tolerans grubu elde etmek amacıyla eşleşmeyi yalnızca karşılıklı gruplar içinde değil aynı zamanda farklı gruplardan parçalar için de mümkün tutmuşlardır. Bu yolla boşluk varyasyonlarını en küçükleyebilmek ve en uygun montaj grubu kombinasyonunu elde edebilmek için bir genetik algoritma oluşturmuşlardır.

Geliştirilen genetik algoritmada eşleşen parçaların boyutsal olarak 6σ toplam genişliğinde bir normal dağılıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle eşleşen iki parça tipi içinde 6 adet seçimli boyut grubu tanımlanmıştır. Tüm parçaların kullanılmasını sağlamak amacıyla montaj üç aşamada tamamlanmıştır. İlk aşamada her altı grup da montaj işlemine dahil edilmiş ve 1. ve 6. gruplar bu aşamada tüketilmiştir. Bu şekilde dıştan içe doğru her bir aşamada 2 adet grup için parçalar tüketilerek toplam üç aşamada tüm parçaların kullanıldığı bir sonuç elde edilmiştir.

Kannan ve arkadaşları (2008) üretilerek eşleştirilen parçalar için dağılım ortalaması kaymalarının etkisi ve seçimli montajda kullanılacak grup sayısını analiz ederek, tanımlanan aralıkta en küçük toleransı elde etmek için yeni bir model geliştirmişlerdir. Kullandıkları Taguchi Metoduna göre bir ürünü sadece belirtilen

teknik özelliklerde üretmek her zaman yeterli olmayabilir, bunun yanında hedeflenen ölçüleri sağlayabilmek de önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmalarında tanımlı teknik özellikleri karşılayacak biçimde montaj boşluklarını en küçükleme için boyutsal grupların sayısını değişken, boyut ortalamalarını ise kaydırılabilir kabul ederek bir model oluşturmuşlardır. Ortalamadan sapmaları ölçmek için seçimli montajda Taguchi'nin kayıp fonksiyonunu kullanmışlar ve belirlenen boşluk toleranslarına göre kullanılmayan (kayıp) parça sayısını en küçükleme ve en iyi seçimli grup kombinasyonunu elde etmek için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ayrıca eşleşen parçaların boyutsal dağılımlarının kaliteye etkisi de bu anlayış ile analiz edilmiştir.

Geçmiş dönemde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda odaklanılan noktaların parça tolerans gruplarının sayısı ve genişliği olduğu görülebilmektedir. Bunun yanında tolerans grup sayısı ve genişliği sabit iken üretim sürecine yapılacak müdahalelerle eşleşme oranının en küçüklenmesi fazlaca irdelenmiş bir konu değildir. Bu çalışma kapsamında tolerans grupları sayısı ve genişliği sabit olan bir üretim süreci için eşleşmemiş stok miktarlarını en küçükleyecek bir yöntem geliştirilmeye çalışılacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Giriş bölümünde bahsedilen talaşlı üretimin doğasından kaynaklanan ve talaşlı üretim süreçlerinde sapmaya neden olan etkenler sistem maliyetlerini ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkenler aynı zamanda çözüme ulaştırılması gereken farklı boyutları beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada üretilen farklı iki alt ürünün çap sınıfı tolerans değerlerine göre eşleşmesi gerekliliği benzer şekilde probleme farklı bir boyut getirmektedir.

2.1. Materyal

Eğer talaşlı imalat süreçlerindeki sapmaların niteliği belirlenebilir ve kontrol edilebilirse, belirli niteliklere sahip ürünler için stok kontrolü modelleri geliştirilebilir. Birçok durumda yeterli sayıda örneklem alındığında parametrelerin belirli bir dağılım fonksiyonuna ve özellikle normal dağılıma uyduğu gösterilebilmektedir. Ancak olasılıklı dağılıma sahip ürünlerde en uygun stok kontrol politikaları oluşturmak karmaşık bir iştir ve uygulamada mümkün olmayabilmektedir.

2.1.1 Problem tanımı

Bu çalışmada, çap boyutunda önceden tanımlı tolerans aralıkları üzerinde normal dağılmış, birbiri ile eşleşecek iki ayrı parça için eşleşme olasılığını en büyükleyecek stok seviyesi problemi ele alınmaktadır. Tolerans aralıklarına göre sınıflandırılan parçalar daha sonraki montaj sürecinde eşleştirilmektedirler.

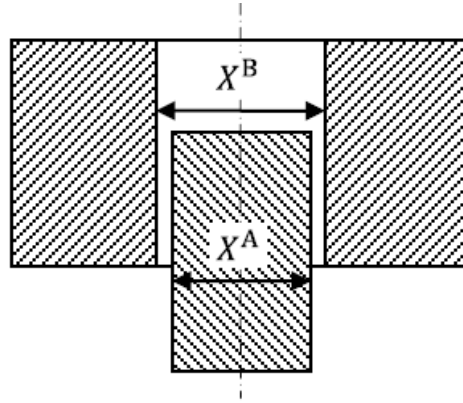
Ancak farklı süreçlerde üretilen iki parçanın dağılımlarındaki farklılıklardan dolayı toplam stok miktarının kontrolü karmaşık bir yapıya sahiptir. Burada olasılık dağılımı ile tolerans sınıfları tanımlanabilen alt ürünlerden bir tanesinin üretim parametrelerine müdahale edilerek dağılımı yönlendirilebilir iken, diğer alt ürün tedarikçi süreçte üretilen, üretim parametrelerine müdahale edilemeyen ve talepleri oluşturan parça olarak kabul edilmiştir. Böylece çözülecek problem, hem üretim

parametreleri hem de talep parametreleri olasılık fonksiyonları ile tanımlanan bir stokastik stok kontrol problemi halini almıştır.

Her iki sürecin de müdahale edilebilir olduğu bir sistem için ayrı bir çalışma yapmak mümkündür. Ancak bu çalışmanın konusu tek sürecin müdahale edilebilir olduğu durum için sınırlanmıştır.

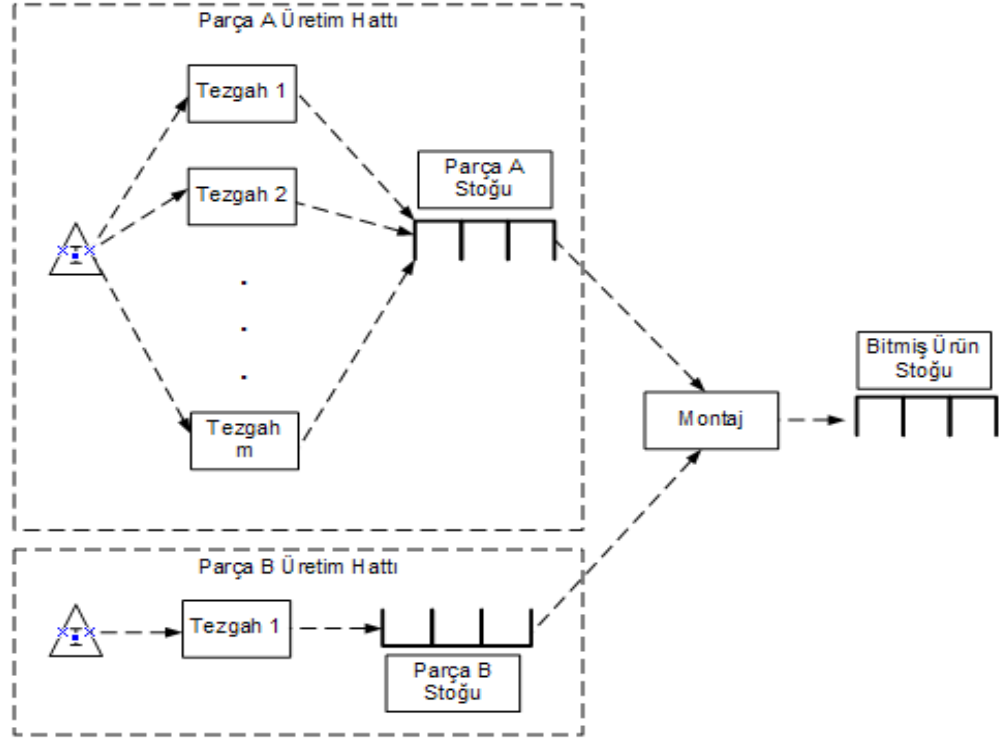
2.1.2. Sistem tanımı ve kabuller

Nihai ürün, iki farklı alt ürünün (Parça A ve Parça B) çap boyutu (işleme parametresi) değerlerine göre belirli boşluk toleranslarını sağlayacak biçimde iç içe montajı sonucunda oluşmaktadır. X^A A parçası dış çapını, X^B ise B parçası iç çapını göstermektedir (Şekil 2.1). Boşluk toleransını ise nihai ürünün teknolojik kısıtı belirlemektedir.



Şekil: 2.1 : Eşleşen Parçalar

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi A parçası birbirine paralel birden çok tezgahta işlenerek son halini alırken, B parçası tek bir tezgahtan çıkmaktadır. A parçasını üreten paralel tezgâhların üretim parametrelerine müdahale edilebilirken, B parçasını üreten tezgahın üretim parametresine müdahale edilememektedir. Başka bir deyişle B parçası çıktıklarına müdahale edilemeyen müşteri sürecinde üretilen montaj parçasıdır.



Şekil 2.2: Üretim hatları ve stok bölgeleri

Alt ürünler belirtilen tezgâhlarda talaşlı üretim süreçlerinden geçmekte ve hat sonlarındaki stok bölgelerinde çap boyutu tolerans değerlerine göre sınıflanmaktadır. Yine bu çap değerlerine göre montaj sürecinde eşleşen alt ürünler, nihai ürün stoklarının tutulduğu üçüncü bir stok bölgesinde stoklanmaktadır. Bu tolerans değerlerine göre eşleştirilemeyen alt ürünler ise hat sonlarındaki stok bölgelerinde birikerek alt ürün stoklarını oluşturmaktadır. Bu noktada her iki alt ürünün üretildiği hatların üretim hızlarının birbirine eşit olduğunu belirtmek gerekmektedir. Başka bir deyişle çap değerleri yüzde yüz eşleşmeyi sağlayacak biçimde yönetilebilse artık malzeme stoğu oluşmayacaktır. Ancak bu durum talaşlı üretim sürecinin doğası gereği ortaya çıkan sapmalar nedeniyle sağlanamadığından, her zaman alt ürün stoğu oluşması beklenmektedir.

Bu nedenle stok seviyelerinin kontrol edilebilmesi amacıyla alt ürün işleme parametrelerinin yapısının tanımlanması önem kazanmaktadır. Parça A üretiminin yapıldığı paralel tezgah sayısı (m), parça A üretiminin kaç adet farklı hedef işleme

parametresi ile şekillendirilebileceğini belirlemektedir. Parça B için ise tek bir hedef işleme parametresi bulunduğu kabul edilmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi Parça B için bu hedef parametre müşteri süreçte belirlenmekte ve değiştirilememektedir.

Talaşlı imalat nedeniyle çap grubu parametre değerleri olasılıklı bir yapıya sahiptir ve daha sonra inceleneceği gibi normal dağılıma uygun biçimde değişmektedir. A parçası için birbirinden bağımsız çalışabilen tezgâhlarda çap boyutu dağılım ortalaması, tezgahlara girilen hedef çap boyutu parametresi ile birbirinden farklı olarak oluşabilmekte, ancak tezgâhların özdeşliği nedeniyle dağılım yayılımı sabit kalmaktadır.

2.2. Önerilen Çözüm Yöntemi

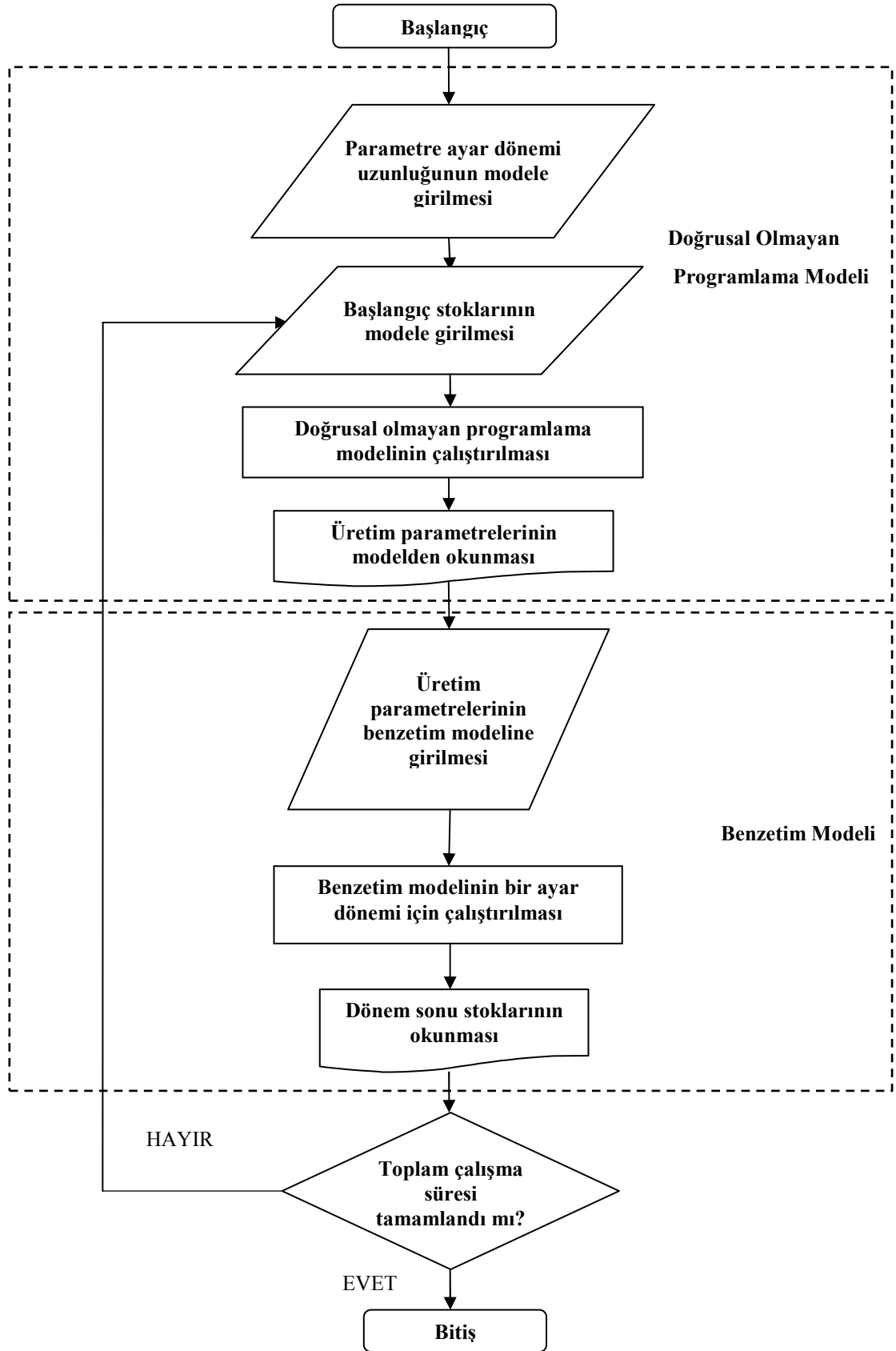
Çalışma kapsamında oluşturulacak optimizasyon modeli ile kısım 2.1.2’de genel olarak anlatılan eşleşme problemindeki alt ürün birikimi en küçüklenmeye çalışılacaktır.

Optimizasyon modelinde geliştirilecek amaç fonksiyonunda A parçasının imalatını yapan tezgahlarının hedef parametre değerleri karar değişkeni olarak yer alacaktır. Bu değişkenlerin tek bir defada optimize edilmesi anlık olarak uygun değerleri verecek ve belli bir süre için stok birikimini en küçükleyecektir. Ancak bu optimizasyonun belli aralıklarla yenilenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde optimizasyonla stok birikimi önlenemediği için alt ürün stok miktarı bir süre sonra üretimle doğru orantılı olarak artmaya başlayacaktır. Bu nedenle ya oluşturulacak amaç fonksiyonunda tezgah hedef değerleri yanı sıra ayar sıklığını belirleyecek başka bir karar değişkeni daha belirlemek, ya da bu ayar sıklığını deneysel olarak izlemek gerekecektir.

Eğer ayar sıklığını amaç fonksiyonu içine bir karar değişkeni olarak alacak olursak ayar sürelerinin maliyetinin de modele ilave edilmesi gerekli olacaktır. Aksi takdirde ayar sıklığı karar değişkeni sürekli olarak en küçük değerini almaya eğilimli olacaktır. Bu çalışma kapsamında ayar süreleri maliyetleri ya da elde tutma maliyetleri gibi maliyet kalemleri kapsam dışında tutularak, sadece zaman içindeki stok miktarları

birikiminin en küçüklenmesi hedeflenmiş ve ayar dönemleri deneysel olarak ele alınıp analiz edilmiştir. Bahsedilen diğer maliyetlerin incelendiği ve ayar sıklığının karar değişkeni olarak amaç fonksiyonunda yer aldığı bir model bu çalışmanın devamında ele alınabilir.

Tezgahların üretim yapacağı hedef çap değerlerinin başlarında belirlendiği ve dönem boyunca geçerli kaldığı ayar dönemlerinin her biri için oluşturulan doğrusal olmayan programlama modelinin yeniden çözülmesi ile m farklı talaşlı üretim tezgahında oluşan hedef çap değerleri eniyilemeye çalışılacaktır. Modele girdi teşkil edecek başlangıç stok miktarları ise bir önceki dönemin sonunda oluşan eşleşmemiş alt ürün stok miktarı olarak alınacaktır. Her iki alt ürün ve her tolerans grubu için dönem sonu eşleşmemiş stok miktarlarını ayrı ayrı belirleyebilmek amacıyla, sistemi temsil eden bir benzetim modeli oluşturularak, optimizasyon modelinden elde edilen tezgah hedef çap değerleri ile çalıştırılacaktır. Böylelikle, oluşturulan doğrusal olmayan programlama modeli ve benzetim modelinin döngüsel bir algoritma içerisinde sürekli eniyileme sağlanması hedeflenmektedir. Programlama modeli başlangıç stok değerleri sıfır kabul edilerek bir kez çalıştırılacak ve çıktıları, yani A özdeş tezgahlarının hedef çap değerleri, benzetim modelinin girdileri olacaktır. Benzetim modelinin çıktıları, yani her tolerans grubu için ayrı ayrı stok birikim miktarları ise, bir sonraki döngüde programlama modelinin girdileri olacaktır. Bu döngüsel algoritma Şekil 2.3'de verilen akış diyagramı ile gösterilebilir.



Şekil 2.3: Döngüsel Çözüm Algoritması

2.2.1 Matematiksel model

X^A ve X^B , Şekil 2.4’de gösterilen A ve B parçaları için montaj boyutlarını tanımlasın. Montaj sürecinde A iç parça, B ise dış parça olduğundan X^B , B parçasının iç çap değerini ve X^A ise, A parçasının dış çap değerini vermektedir. Bu çap değerlerinin her iki parça için de normal dağılıma uygun olarak oluştuğu kabul edilmektedir. μ^A, μ^B normal dağılım ortalamalarını, σ^A, σ^B ise normal dağılımın sapmasını göstermektedir.

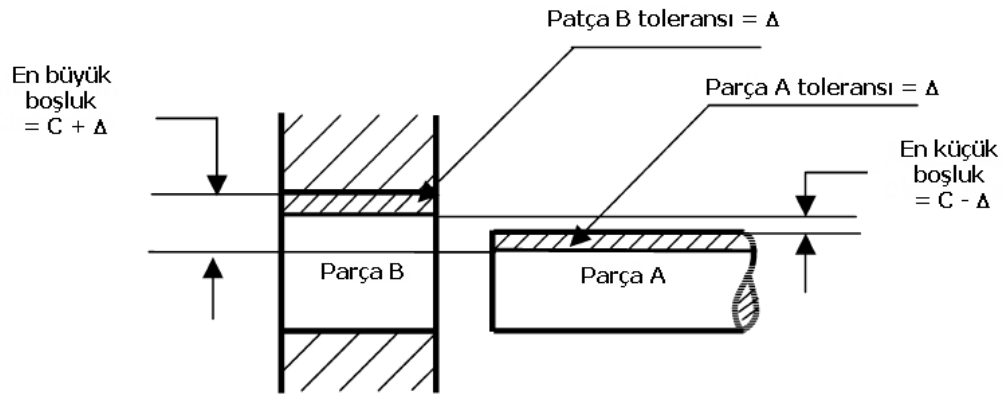
$$X^A \in N(\mu^A, \sigma^A) \text{ ve } X^B \in N(\mu^B, \sigma^B) \quad (2.1)$$

Ayrıca A parçasının sapmasının B parçasının sapmasından küçük olduğu kabul edilmektedir. τ iki parçanın standart sapmalarının oranını tanımlasın. Bu durumda σ^A ’nın σ^B ’ye oranı 0 ile 1 arasında kalmak durumundadır.

$$\tau = \sigma^A / \sigma^B, \quad 0 \leq \tau \leq 1 \quad (2.2)$$

$X^B - X^A$ olarak ifade edilen çap değerleri farkı ise montaj boşluğu olarak adlandırılabilir ve montaj edilebilirlik açısından belirli bir değer altında kalması gerekmektedir. Bu montaj boşluğu için C hedef boşluğu, h ise bu boşluk değerinin her iki taraftan ($\pm\Delta$) toplam toleransını tanımlasın. Bu durumda montaj edilebilirlik koşulunu şu şekilde yazmak mümkün olmaktadır.

$$C - \Delta \leq X^B - X^A \leq C + \Delta, \quad h = 2\Delta \quad (2.3)$$

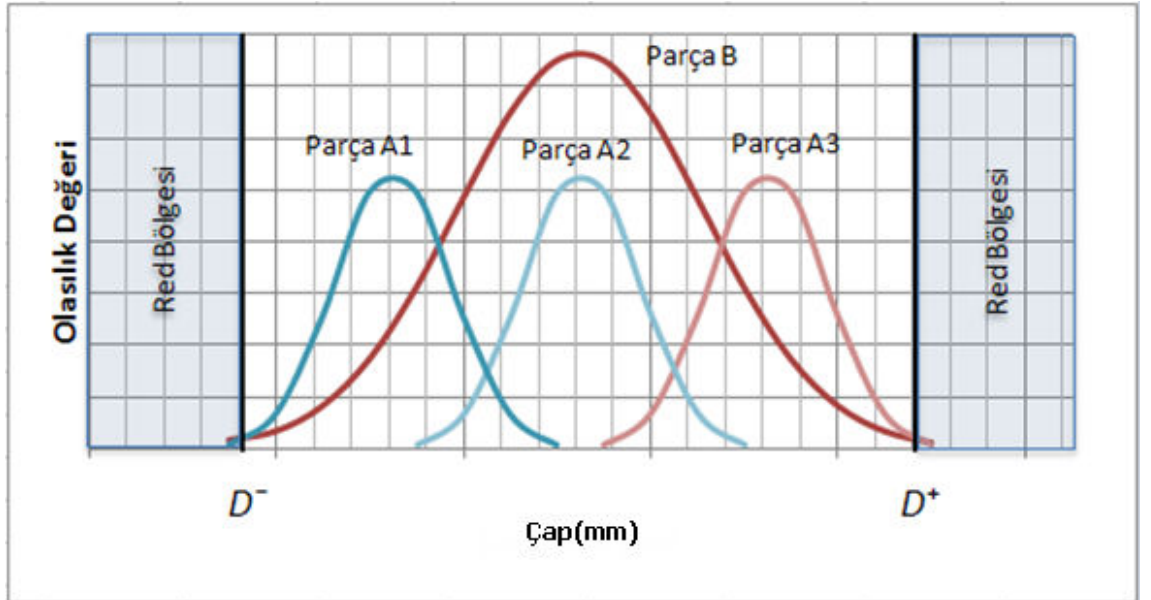


Şekil 2.4: Montaj Boşluk Toleransları

Ayrıca montaj boşluğu negatif değer alamayacağından otomatik olarak $C > \Delta$ şeklinde bir kısıt oluşmaktadır. D^- ve D^+ ise X^A ve X^B için monte edilebilirlik koşulu gereği alt ve üst çap limitlerini tanımlasın;

$$D^- \leq X^A \leq D^+ \quad \text{ve} \quad D^- \leq X^B \leq D^+ \quad (2.4)$$

Bu durumda çap değerleri $(-\infty, D^-)$, $(D^+, +\infty)$ aralıklarında yer alan parçalar reddedilerek, monte edilmeyecektir. Çap değeri için ıskarta parçaları belirleyen red bölgeleri Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Çap değeri red bölgeleri

(D^-, D^+) aralığındaki tolerans grubu adedi n olsun. Bu değerın hesaplanması için boşluk toleransının (h) biliniyor olması önemlidir. Birçok sistemde bu değerin alt ve üst sınır değerleri ve dolayısı ile büyüklüğü, teknolojik kısıttan dolayı sabit kabul edilmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi (Δ^-, Δ^+) aralık büyüklüğü h olarak alınmaktadır. Böylece tolerans aralığı adedi n , toplam kabul edilebilir çap boyutu aralığının boşluk toleransına bölünmesi ile hesaplanabilir.

$$n = \left\lceil \frac{2D}{h} \right\rceil \quad (2.5)$$

Tolerans gruplarının tamamı ise $(D^- + h, D^- + 2h, \dots, D^+ - h, D^+)$ olarak verilebilir.

$$F(c) = \int_{D^-}^{D^+} |\phi^B(c) - \phi^A(c)| dc \quad (2.6)$$

$D^- \leq x \leq D^+$ aralığında her bir tolerans bölgesi için parça adetlerinin mutlak farkı, o tolerans grubunda eşleşmeden stok olarak bekleyecek miktarı oluşturacaktır. Bu mutlak farkların toplamı ise her dönem sonundaki toplam stoğu oluşturacaktır. Toplam stok miktarı $F(c)$ fonksiyonu ile tanımlansın. Bu durumda c , çap değerlerine karşılık gelen rassal değişken, $F(c)$, parça A ve parça B adetlerinin her tolerans grubu için mutlak farklarının toplamı olacaktır. Ancak denklem 2.6'da verilen integral ifadesi stok miktarlarını değil stok birikiminin olasılıksal karşılığını ifade etmektedir. Bu ifadenin miktara dönüşümü için denkleme üretim hızını ve üretim süresini temsil eden iki farklı çarpanın eklenmesi gerekmektedir. Bu aşamada bahsi geçen çarpanlar birim değer olarak alındığından denklemde gösterilmemiştir.

Bu denklemde $\phi(c)$, (D^-, D^+) aralığında μ ve σ ortalama ve standart sapma değerlerine bağlı olarak tanımlanan normal dağılım fonksiyonudur. Birikimli standart normal dağılım fonksiyonu ise $\Phi(Z)$ ile tanımlansın. O halde $F(c)$ fonksiyonu için aşağıdaki eşitliği yazmak mümkündür.

$$F(c) = \Phi\left(\frac{c - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{D^- - \mu}{\sigma}\right), \quad D^- \leq c \leq D^+ \quad (2.7)$$

Her bir tolerans grubu için $F(c_i)$ fonksiyonunun değeri hesaplanmak istendiğinde fonksiyonu tolerans alt ve üst limitleri ile sınırlamak gerekmektedir. c_i , i . tolerans bölgesi için üst limiti tanımlansın, bu durumda tolerans bölgesinin alt limiti $c_i - h$ olacaktır. Tolerans aralığı ise şu şekilde ifade edilecektir.

$$(c_i - h, c_i], \quad D^- + h \leq c_i \leq D^+ \quad (2.8)$$

$(c_i - h, c_i]$ aralığında oluşacak değeri veren birikimli fonksiyonlar farkı ise;
 $F(c_i) - F(c_i - h)$ ile tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} F(c_i) - F(c_i - h) &= \Phi\left(\frac{c_i - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{D^- - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{c_i - h - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{D^- - \mu}{\sigma}\right) \\ &= \Phi\left(\frac{c_i - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{c_i - h - \mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (2.9)$$

B parçası için tek üretim merkezi olduğundan, B parçası tek ortalama ile üretilmektedir. Bu durumda her bir tolerans grubu (i) için B parçası stok birikim fonksiyonunu aşağıdaki ifade ile vermek mümkün olacaktır.

$$\begin{aligned} F(c_i)^B - F(c_i - h)^B &= \Phi\left(\frac{c_i - \mu^B}{\sigma^B}\right) - \Phi\left(\frac{c_i - h - \mu^B}{\sigma^B}\right), \quad D^- \leq c_i \leq D^+, i \\ &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2.10)$$

A parçası için ise m adet özdeş paralel üretim merkezi bulunduğundan, A parçası m adet farklı ortalama ile üretilebilmektedir. Her bir farklı tezgâhın ve her bir tolerans grubuna yaptığı A parçası üretimi için stok birikim fonksiyonunu ise aşağıdaki ifade ile vermek mümkün olacaktır.

$$\begin{aligned} F(c_i)^{A_j} - F(c_i - h)^{A_j} &= \Phi\left(\frac{c_i - \mu^{A_j}}{\sigma^{A_j}}\right) - \Phi\left(\frac{c_i - h - \mu^{A_j}}{\sigma^{A_j}}\right), \quad D^- \leq c_i \leq D^+, \\ j &= 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2.11)$$

Döngüsel olarak oluşturulacak çözüm algoritmasının modelinde amaç fonksiyonu iki ana stok kalemini dikkate almaktadır. Bunlardan birincisi üretim dönemi boyunca üretilen parça miktarlarıdır. Yukarıda tanımlanan birikimli dağılım fonksiyonu değerlerini üretim dönemi boyunca üretilen adetlere dönüştürürken kullanılan fonksiyon ise $P(c_i)$ olarak tanımlansın.

$$P(c_i) = v * T * \left(\Phi \left(\frac{c_i - \mu}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu}{\sigma} \right) \right), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.12)$$

Bu denklemde v (üretim hızı), T (hedef çap değerinin yeniden ayarlanma zaman aralığı veya başka bir deyişle parti üretim süresi) daha önce denklem 2.6'da $F(c)$ fonksiyonunu oluştururken birim değer olarak kabul edilen ve denklem dışında tutulan çarpanlardır. Bu çarpanlar $F(c)$ fonksiyonunu parça adetlerini ifade eder bir fonksiyona dönüştürmektedirler.

Ancak A parçası için üretim yapan paralel hatların toplam üretim hızı ile B parçasını üreten hattın üretim hızı eşit olduğundan, denkleme A parçası üretim adetlerini hesaplarken r^{A_j} ile tanımlanan ve toplamları bire eşit olan bir üretim oranı katsayısı ilave etmek gerekmektedir. $P(c) = \sum_{i=1}^n P(c_i)$ şeklinde bir gösterimi kabul edersek:

$$P(c)^B = \sum_{j=1}^m r^{A_j} P(c)^{A_j} \quad (2.13)$$

$$\sum_{j=1}^m r^{A_j} = 1 \quad (2.14)$$

Bu katsayı A parçası için denkleme ilave edildiğinde A ve B parçalarının her i tolerans grubu için dönem içi üretim miktarlarını veren fonksiyonlar şu şekilde olacaktır.

$$P(c_i)^A = vT \sum_{j=1}^m r^{A_j} \left(\Phi \left(\frac{c_i - \mu^{A_j}}{\sigma^{A_j}} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu^{A_j}}{\sigma^{A_j}} \right) \right), \quad j = 1, 2, \dots, m, \\ i = 1, 2, \dots, n \quad (2.15)$$

$$P(c_i)^B = vT \left(\Phi \left(\frac{c_i - \mu^B}{\sigma^B} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu^B}{\sigma^B} \right) \right), \\ i = 1, 2, \dots, n \quad (2.16)$$

Dikkate alınması gereken ikinci ana stok kalemi ise dönem başlarındaki stok miktarlarıdır. A ve B parçaları için sırası ile dönem başı stok miktarı $s_i^{A_0}$ ve $s_i^{B_0}$ ile gösterilsin. s_i^A ve s_i^B ise üretim dönemi (t) boyunca üretilen A ve B parçaları ile dönem başında elde tutulan A ve B parçaları stok miktarının toplamını ifade etsin.

$$s_i = s_i^B - s_i^A = (P^B(c_i) + s_i^{B_0}) - \left(\sum_{j=1}^m P(c_i)^{A_j} + s_i^{A_0} \right),$$

$$j = 1, 2, \dots, m, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.17)$$

Burada $s_i \in \mathcal{R}$ olup, pozitif değerler alması halinde B parçası stoğunu, negatif olması halinde A parçası stoğunu ifade etmektedir. A ve B alt ürünlerinden ikisinin de aynı anda aynı çap grubunda pozitif değer alması mümkün değildir. Eğer böyle bir durum söz konusu ise alt ürünlerin eşleşerek nihai ürünü oluşturması ve alt ürün stok bölgesini terk etmesi gerekmektedir. Bu nedenle aynı tolerans grubu içinde alt ürünlerden bir tanesi 0 iken, diğeri ya 0 değerini ya da pozitif bir değeri alacaktır.

Daha öncede belirtildiği gibi B parçası tek tezgahta üretildiğinden her dönem için tek hedef çap değeri ortalamasına sahiptir. Ancak A parçası için birden çok paralel tezgah ile birden çok hedef çap değeri ortalaması söz konusudur. Bu nedenle dönem sonu stok miktarı için oluşturulan fonksiyonda her tezgâhın o dönem süresince ürettiği A parçası adedi toplamı dönem başındaki stoğa eklenmek durumundadır. Denklemi daha açık biçimde şu şekilde yazmak mümkündür.

$$s_i = s_i^B - s_i^A = \left(vT \left(\Phi \left(\frac{c_i - \mu^B}{\sigma^B} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu^B}{\sigma^B} \right) \right) + s_i^{B_0} \right)$$

$$- \left(vT \sum_{j=1}^m r^{A_j} \left(\Phi \left(\frac{c_i - \mu^{A_j}}{\sigma^{A_j}} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu^{A_j}}{\sigma^{A_j}} \right) \right) + s_i^{A_0} \right) \quad 2.18$$

i . çap değeri tolerans grubu için hesaplanan bu s_i dönem sonu elde kalan eşleşmemiş miktar, bir sonraki dönem için s_i^0 dönem başı stok miktarını oluşturacaktır.

Bu sayede döngüsel olarak kurgulanacak modelde her dönemin çıktısı bir sonraki dönem için girdi değerlerini oluşturacaktır.

Bu denklemi $i = 1, \dots, n$ için tüm çap aralıklarını ve bu aralıklardaki mutlak farklar toplamını kapsayacak biçimde genişleterek yeniden yazmak gerekirse, en küçüklenmeye çalışılan $F(c) = \sum_{i \in I} |s_i|$ amaç fonksiyonu aşağıda verilen şekli alır. s_i her bir tolerans aralığı için dönem sonu stok miktarını, s_i^A ve s_i^B ise daha önce de belirtildiği gibi A ve B parçaları için ayrı ayrı dönem sonu stok miktarlarını tanımlamaktadır.

$$\begin{aligned}
 F(c) &= \sum_{i=1}^n |s_i| = \sum_{i=1}^n |s_i^B - s_i^A| \\
 &= \sum_{i=1}^n \left| \left(v * T * \left(\Phi \left(\frac{c_i - \mu^B}{\sigma^B} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu^B}{\sigma^B} \right) \right) + s_i^{B_0} \right) \right. \\
 &\quad \left. - \left(v * T * \sum_{j=1}^m r^{A_j} * \left(\Phi \left(\frac{c_i - \mu^{A_j}}{\sigma^{A_j}} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu^{A_j}}{\sigma^{A_j}} \right) \right) + s_i^{A_0} \right) \right| \quad (2.19)
 \end{aligned}$$

Ancak bir mutlak değer ifadesinin programlama modelinin amaç fonksiyonu içinde yer alması, o programlama modelinin doğrusal niteliğini bozmaktadır.

Literatürde,

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{j \in J} c_j |x_j| \quad c_j > 0 \quad (2.20)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \leq b_i \quad \forall i \in I \quad (2.21)$$

$$x_j \text{ serbest} \quad (2.22)$$

şeklinde verilen bir modelin amaç fonksiyonunu doğrusallaştırabilmek amacı ile amaç fonksiyonunda bulunan karar değişkeni aşağıdaki biçimde bir dönüşüme uğratılmaktadır.

$$x_j = x_j^+ - x_j^- \quad (2.23)$$

x_j yukarıda verildiği gibi iki ayrı değişken ile ifade edilir.

$$x_j = x_j^+ - x_j^-, \quad \forall j \in J \quad (2.24)$$

ifadesi modele kısıt olarak eklenir.

Ancak bu dönüşümde $x_j^+, x_j^- \geq 0$ şartı geçerli olmalıdır. Bu durumda amaç fonksiyonunda yer alan ifade aşağıdaki şekilde değiştirilir.

$$|x_j| = x_j^+ + x_j^- \quad (2.25)$$

Böylece model şu hale dönüştürülmüş olur.

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{j \in J} c_j (x_j^+ + x_j^-), \quad c_j > 0 \quad (2.26)$$

Kısıtlar

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \leq b_i \quad \forall i \in I \quad (2.27)$$

$$x_j = x_j^+ - x_j^-, \quad \forall j \in J \quad (2.28)$$

$$x_j^+, x_j^- \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (2.29)$$

Bu çalışma kapsamında geliştirilen modelde mutlak değer içindeki s_i ifadesi için aynı dönüşüm kullanılarak, amaç fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir.

$$S = \sum_{i \in I} |s_i| = \sum_{i \in I} (s_i^+ + s_i^-) \quad (2.30)$$

Ayrıca aşağıda yer alan ifadeleri de bir kısıt olarak modele ilave etmek gerekmektedir.

$$s_i = s_i^+ - s_i^-, \quad \forall i \quad (2.31)$$

$$s_i^+, s_i^- \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (2.32)$$

Her i için s_i^+ ve s_i^- değerlerinden en az bir tanesi 0 olması durumunda;

$$s_i \geq 0 \text{ ise } s_i = s_i^+ \quad (2.33)$$

$$s_i \leq 0 \text{ ise } s_i = -s_i^- \quad (2.34)$$

koşulları geçerli olacaktır. Bu da mutlak değer fonksiyonunun işlevini yerine getirmektedir. Bu sayede mutlak değer fonksiyonu değişken dönüşümü yapılarak modelden çıkarılmış olur. Bu durumda amaç fonksiyonu ve dönüşümde kullanılan ekstra kısıt denklemleri şu şekilde verilebilir.

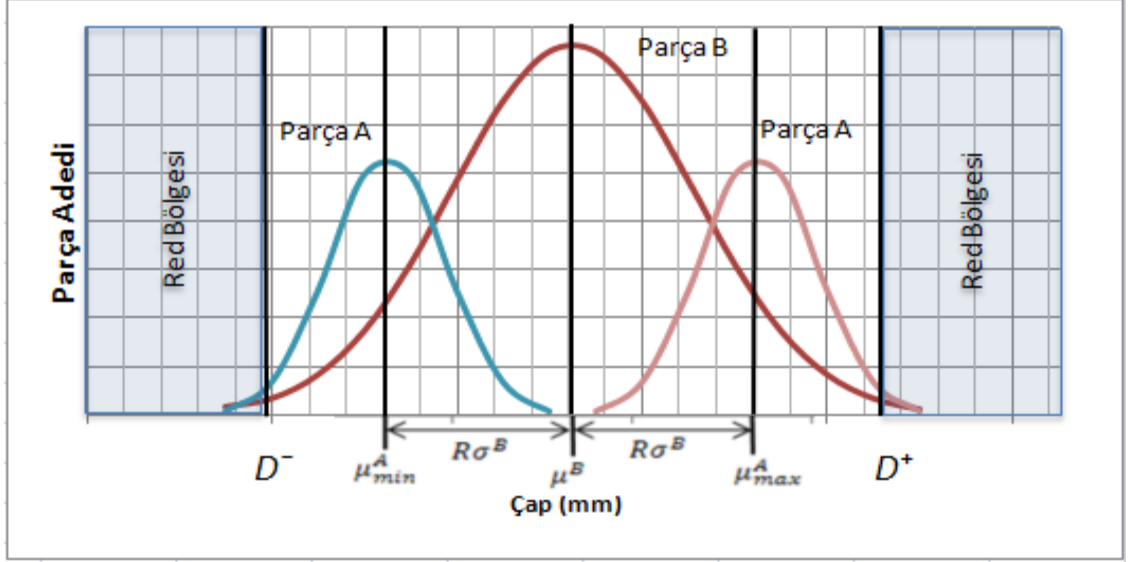
$$S = \sum_{i=1}^n (s_i^+ + s_i^-) \quad (2.35)$$

$$s_i = s_i^+ - s_i^-, \quad \forall i \quad (2.36)$$

$$s_i^+, s_i^- \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (2.37)$$

Bu noktadan sonra modele eklenmesi gereken bir diğer kısıt ise A parçasını üreten özdeş paralel hatların hedef ortalama değerlerinin alt ve üst sınırlarıdır. B parçasını üreten hattın üretim ortalaması ve standart sapması ile A parçasının üretimini yapan hatların standart sapması sabit olduğundan, A parçasını üreten hatların hedef ortalama değerlerinin alttan ve üstten sınırlanması, bu hatların ürettiği parçaların kabul edilen tolerans sınıfları dışında kalmaması ve reddedilmemesi açısından önem taşımaktadır.

Bu alt ve üst limitleri deney tasarımında farklı senaryolarla test yapabilmek amacı ile μ^B ve σ^B 'ye bağlı bir katsayıya dönüştürmek gerekmektedir. Bu katsayı R ile gösterilsin.



Şekil 2.6: A parçası hedef çap sınır değerleri grafiği

Şekil 2.6'da gösterilen A parçası üretimini yapan hatların hedef ortalama alt ve üst limitleri (μ^A_{min} , μ^A_{max}) şu şekilde ifade edilebilir.

$$\mu^A_{min} = \mu^B - R\sigma^B \quad (2.38)$$

$$\mu^A_{max} = \mu^B + R\sigma^B \quad (2.39)$$

Böylece modele ilave edilecek karar değişkeni için limitleri tanımlayan kısıtı aşağıda gösterilen eşitsizlik ile tanımlamak mümkün olacaktır.

$$\mu^B - \sigma^B R \leq \mu^A_j \leq \mu^B + \sigma^B R \quad (2.40)$$

Elde edilen μ^A_{min} ve μ^A_{max} alt ve üst limitleri model kısıtlarına negatif ve pozitif çarpan olarak eklenecek bir R parametresinin sınırlarını tanımlamaktadır. Deney tasarımında bu sınırlar dahilinde farklı R değerleri ile senaryolar test edilecektir.

Bu alt ve üst sınırı tanımlayan kısıt ile birlikte denklem (2.16)'de yer alan A parçası üretim hatlarını senkronize eden kısıtını da modele ilave edilmesi ile karar değişkenleri $\forall j$ için μ^{Aj} , r^{Aj} olan model son halini alacaktır.

Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_{i=1}^n (s_i^+ + s_i^-) \quad (2.41)$$

Kısıtlar

$$s_i = (s_i^{B_0} + P(c_i)^B) - (s_i^{A_0} + P(c_i)^{Aj}), \quad \forall i, \quad (2.42)$$

$$s_i = s_i^+ - s_i^-, \quad \forall i, \quad (2.36)$$

$$P(c_i)^B = vT \left[\Phi \left(\frac{c_i - \mu^B}{\sigma^B} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu^B}{\sigma^B} \right) \right], \quad \forall i \quad (2.43)$$

$$P(c_i)^{Aj} = vT \sum_{j=1}^m r^{Aj} \left[\Phi \left(\frac{c_i - \mu^{Aj}}{\sigma^{Aj}} \right) - \Phi \left(\frac{c_i - h - \mu^{Aj}}{\sigma^{Aj}} \right) \right], \quad \forall i \quad (2.44)$$

$$\sum_{j=1}^m r^{Aj} = 1 \quad (2.14)$$

$$\mu^B - \sigma^B R \leq \mu^{Aj} \leq \mu^B + \sigma^B R, \quad \forall j \quad (2.40)$$

$$s_i \in \mathcal{R}_+$$

$$s_i^+, s_i^- \in \mathcal{R}_+$$

$$P(c_i)^B, P(c_i)^{Aj} \in \mathcal{R}_+$$

$$\mu^{Aj} \in \mathcal{R}_+^m$$

$$r^{Aj} \in \mathcal{R}_+^m$$

$$T \in \mathcal{R}_+^m$$

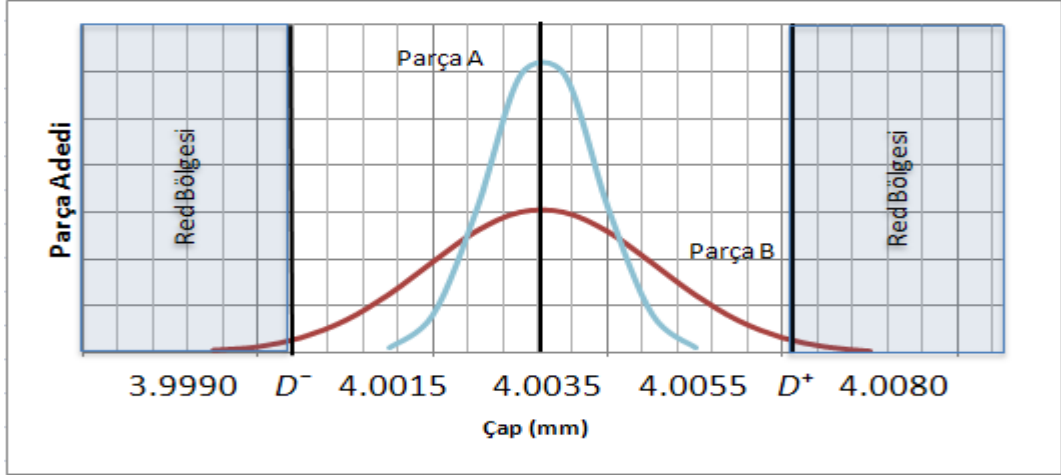
Oluşturulan bu doğrusal olmayan matematiksel model, araştırma sonuçları bölümünde Şekil 2.3'de verilen döngüsel çözüm algoritması içerisinde çalıştırılarak benzetim modeli için girdileri teşkil eden üretim parametrelerini verecektir. Doğrusal olmayan matematiksel model Ek 1'de açık halde verilen LINGO yazılımı kullanılarak çözüme ulaştırılmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Araştırma sonuçlarını sayısal olarak elde etmeden önce matematiksel programlama modeli ve benzetim modelinde kullanılacak sistem parametre ve değişkenlerin, tanımlanarak, sistem için uygunluğunun analiz edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bir sonraki bölümde gerçek üretim ortamında üretilmiş yeterli sayıda örneklem, çap boyutları olasılık dağılımları, güven aralığı ve alt-üst limitler açısından incelenecektir.

3.1 Uygunluk Testleri ve Üretim Parametreleri

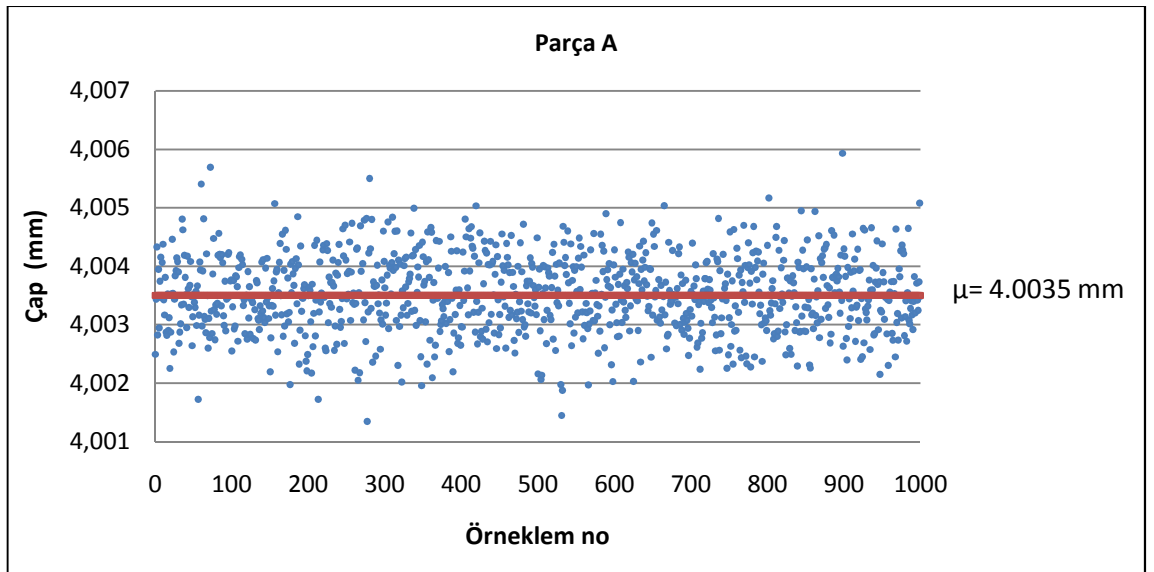
Sistem tanımında genel nitelikleri ile anlatılan sistemin gerçek üretim ortamında incelenen örneğinde, A parçasının çap boyut değerlerini oluşturan talaşlı üretim aşamasında 3 adet paralel tezgâh bulunmaktadır ($m=3$). B parçası ise sistem kabullerinde belirtildiği gibi tek tezgâhta üretilmektedir. İki parçanın üretildiği hatların toplam üretim hızları birbirine eşit olduğundan 3 farklı hedef değer ile üretim yapabilen A parçası üretim tezgâhlarının birim zamandaki üretim miktarlarının toplamı B parçası üretim tezgâhının birim zamandaki üretim miktarına eşittir. A parçasını üreten üç farklı tezgah ile B parçasını üreten tek tezgah için üretim hedef ortalaması 4.0035 mm alınarak 1000 adet A parçası ve 1000 adet B parçası üretimi tamamlandığında oluşan örneklem çap boyutu dağılımı Şekil 3.1’de verilen grafikte görülmektedir. Bu grafikte yer alan iki farklı üretim miktarı eğrisinin altında kalan alanlar, eşit tezgah üretim hızları nedeni ile birbirlerine eşittir.



Şekil 3.1. : Örneklem çap boyutu dağılım grafiği

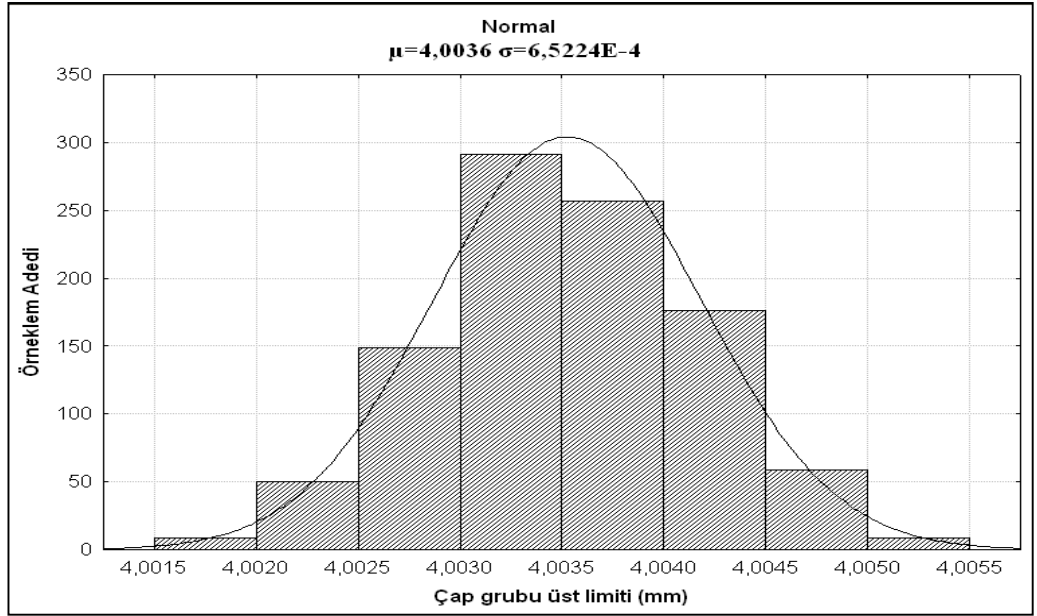
Yine aynı grafikte Tezgah B üretimi sonucunda ortaya çıkan Parça B örneklem değerlerinin en düşük 3,9990 mm ile en yüksek 4,0080 mm aralığında dağıldığı görülebilmektedir. A parçası örneklem değerleri ise 4.0010 mm ile 4.0060 mm aralığında dağılmaktadır. Ancak kurgulanan modelde A parçası üretimini yapan hatlara tanımlanacak alt ve üst hedef ortalama değerleri ile Şekil 2.6 üzerinden anlatılan yöntemle B parçası ile aynı limitlerde üretim yapar hale getirilecektir.

Üç özdeş üretim tezgahında üretilen 1000 adetlik A parçası örnekleminin hedef değerden sapmalarını gösteren grafik, Şekil 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.2 : Parça A Örneklem Çap Değerleri

İki parçanın eşleşebilmesi için birbirlerine uygun tolerans grupları içerisinde yer almaları gerektiği daha önce belirtilmişti. Gerçek üretim ortamında bu tolerans gruplarının genişliği, nihai ürünün teknik kısıtı esas alınarak 0,0005 mm olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu tolerans aralıklarına göre sınıflandırılmış örneklem uzayının normal dağılıma uygun nitelikte olduğu Şekil 3.3’de gösterilmektedir. Ayrıca Çizelge 3.1’de verildiği gibi dağılım ortalaması tezgaha girilen hedef çap değerine çok yakın bir değer olan 4,0036 mm olarak oluşurken, dağılım sapmasının ise 0,00065 mm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.3: Parça A miktarının çap gruplarına dağılımı

Çizelge 3.1: Parça A Dağılım Parametreleri

| Dağılım | Parametreler |
|---------|-------------------------------|
| Normal | $\mu=4,0036$ $\sigma=0,00065$ |

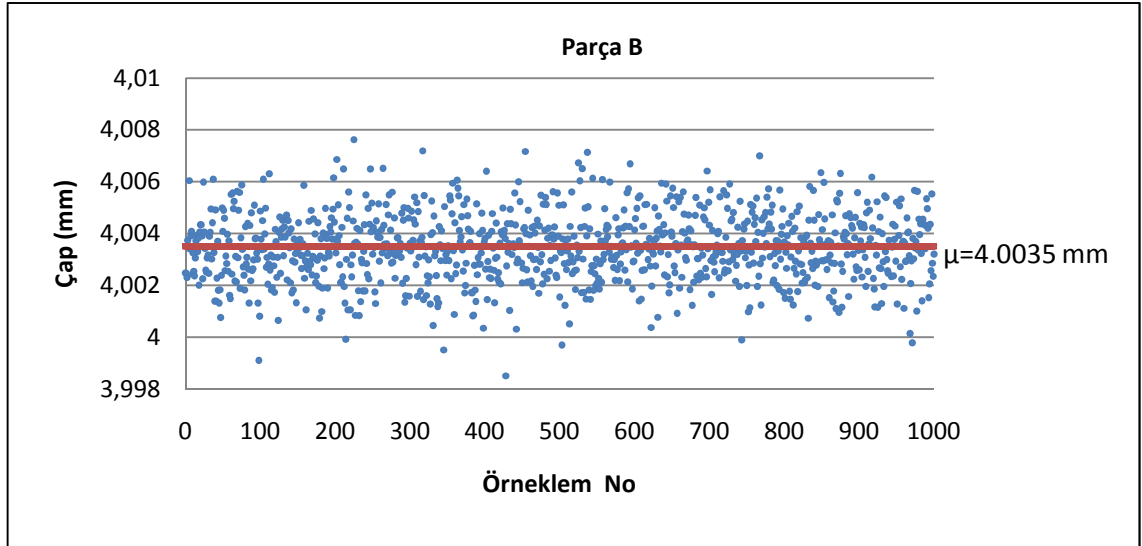
Her iki parça için 1000'er adetlik örneklem kütesi Stat Fit programı kullanılarak Chi-Kare ve Kolmogorov-Simironov uygunluk testleri ile sınanmış ve bu testler için alınan sonuçlar Çizelge 3.2’de verilmiştir. Her iki test sonucuna göre de hesaplanan

değerler, referans tablo değerlerinin altında kalmış ve normal dağılımın örneklem kütesini temsil ettiği saptanmıştır.

Çizelge 3.2: Parça A Dağılım Uygunluk Testleri

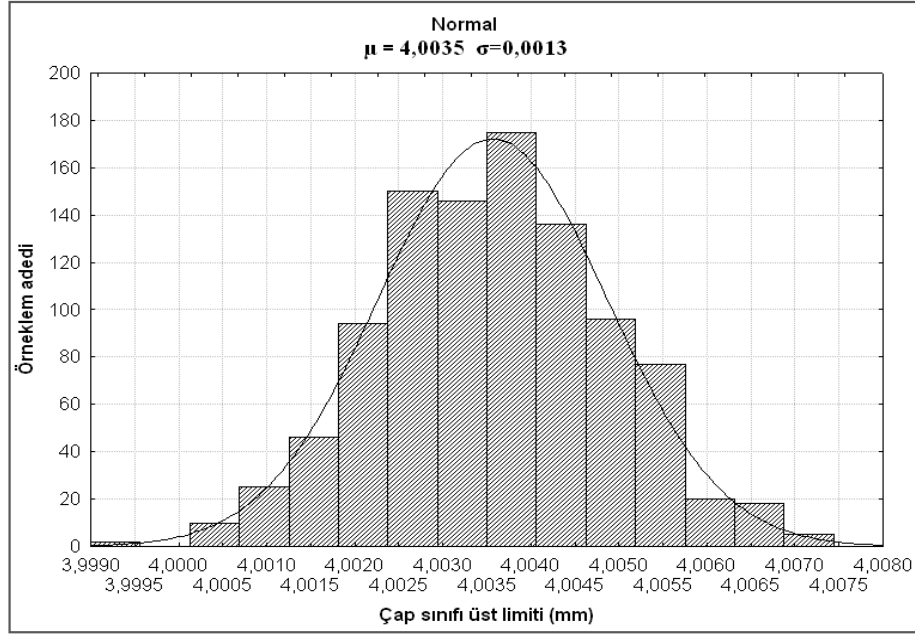
| Dağılım | K.S _{stat} | K.S. _{1000,0.05} | χ^2_{stat} | $\chi^2_{5,0.05}$ |
|---------|---------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|
| Normal | 0,01341 | 0,043 | 4,7395 | 11,07 |

Aynı adette örneklem sayısı (1000) ile, Tezgah B'ye aynı hedef çap değeri (4,0035 mm) girilerek üretilen B parçalarının talaşlı üretim sonundaki çap değerleri Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4: Parça B Örneklem Çap Değerleri

Bu değerlerin normal dağılım fonksiyonuna uygun olarak dağıldığını gösteren grafik ise Şekil 3.5'de verilmiştir. A parçasında olduğu gibi dağılım ortalaması tezgâha girilen hedef çap değeri (4,0035 mm) noktasında oluşmuştur. Dağılım sapmasının ise 0,0013 mm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.5: Parça B miktarının çap gruplarına dağılımı

Parça B için, Parça A'da olduğu gibi normal dağılım fonksiyonunun örneklem kütlelerini yeterli derecede temsil ettiği belirlenmiştir. Bu dağılıma ait parametre değerleri ile uygunluk testleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Parça B Dağılım Parametreleri

| Dağılım | Parametreler |
|---------|------------------------------|
| Normal | $\mu=4,0035$ $\sigma=0,0013$ |

Çizelge 3.4 : Parça B Dağılım Uygunluk Testleri

| Dağılım | K.S _{stat} | K.S-0.05,1000 | χ^2_{stat} | $\chi^2_{0.05,13}$ |
|---------|---------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Normal | 0,01944 | 0,043 | 8,1837 | 22,36 |

İki dağılımın standart sapmalarından da anlaşılacağı gibi Tezgah B çap grubu değerlerini A1, A2, A3 tezgahlarına göre daha büyük bir hata ile dağıtmaktadır. Bu hata oranı ise daha fazla çap sınıfı oluşumuna sebep olmaktadır. Aslında Tezgah B'yi sürekli olarak sabit bir ortalama ile çalıştırarak A1, A2, A3 tezgahlarının hedef çap değerinin bu dağılıma göre şekillendirilmek istenmesinin nedeni bu dağılım sapmaları arasındaki

farktır. Dağılım sapması daha küçük olan A tezgâhlarının diğer sabit ortalamalı dağılıma uyum göstermesi çok daha kolay olacaktır. Bu noktadaki bir diğer avantaj ise A parçasının 3 farklı tezgahta üretilmesidir. Bu durum stokların en küçüklenmesi açısından büyük esneklik sağlamaktadır.

B parçası örneklem dağılımında ortaya çıkan en küçük ve en büyük değerler Şekil 3.1 'de verildiği gibi 3.9990 mm ve 4.0080 mm'dir. Ancak üretilen nihai ürünün teknolojik kısıtından dolayı kabul edilebilir tolerans grupları $D^- = 3,9995$ mm ile $D^+ = 4,0075$ mm arasındadır. Bu aralık boyunca oluşan her biri $h = 0,0005$ mm genişliğinde $n = 16$ tolerans grubu mevcuttur. 3.9990 mm ile 4.0080 mm alt ve üst sınırları içerisinde dağılım gösteren B parçasının kabul edilebilir tolerans gruplarına göre güven aralığı hesaplandığında, belirtilen aralığın örneklem uzayını %99,74 oranında temsil ettiği saptanmıştır. B parçası için bu limitler dışında kalan $[3.9990, 3.9995)$, $(4.0075, 4.0080]$ aralıklarına yapılan üretimler reddedilerek sistem dışında tutulmuş yani iskartaya ayrılmıştır. A parçasını üreten tezgahlar için sapmalar çok daha küçük olduğundan, hesaplanacak alt ve üst hedef dağılım ortalaması limitleri ile A parçasının üretiminin de $[3.9990, 4.0080]$ aralığındaki değerler ile yapılması sağlanabilir.

Buna göre geliştirilen matematiksel modelin karar değişkeni olan A parçası üretim tezgâhlarının hedef dağılım ortalamaları için alt ve üst sınırlar $(\mu_{min}^A, \mu_{max}^A)$ şu şekilde hesaplanabilir.

$$\mu_{min}^A = X_{min}^B + (\mu^A - X_{min}^A) \quad (3.1)$$

$$\mu_{max}^A = X_{max}^B - (X_{max}^A - \mu^A) \quad (3.2)$$

Burada X_{min}^B ve X_{max}^B B parçası için örneklem dağılımı en küçük ve en büyük değerlerini, X_{min}^A ve X_{max}^A A parçası için örneklem dağılımı en küçük ve en büyük değerlerini temsil etmektedir. μ^A ise A parçası örneklem dağılımı ortalama değeri olarak tanımlanabilir.

Sağ taraf değerleri yerine koyulduğunda A parçası hedef değerleri için alt ve üst sınırlar (μ_{min}^A, μ_{max}^A) şu şekilde hesaplanır.

$$\mu_{min}^A = 3.9990 + (4.0036 - 4.0018) = 4.0008 \quad (3.3)$$

$$\mu_{max}^A = 4.0080 - (4.0055 - 4.0036) = 4.0061 \quad (3.4)$$

Bu değerleri B parçası dağılım ortalaması ve sapmasına bağlı R katsayısına basit bir hesapla şu şekilde dönüştürmek mümkündür.

$$R^- = \frac{\mu^B - \mu_{min}^A}{\sigma^B} = \frac{4.0035 - 4.0008}{0.0013} = 2,076 \cong 2 \quad (3.5)$$

$$R^+ = \frac{\mu_{max}^A - \mu^B}{\sigma^B} = \frac{4.0061 - 4.0035}{0.0013} = 2 \quad (3.6)$$

$$R = R^+ = R^- = 2 \quad (3.7)$$

Böylelikle, R katsayısına atanan alt ve üst limitlerle birlikte programlama modelinin çözümlenmesi için gerekli tüm veriler hazırlanmış olmaktadır.

3.2. Modelin Çözülmesi

Döngüsel çözüm algoritması daha önce anlatıldığı biçimde dönemsel olarak programla modeli ile benzetim modelinin arka arkaya çalıştırılması ile çözüme ulaştırılacaktır. Bu döngüsel çözüm algoritmasının sonuçlarının analizinde kullanılacak senaryolar için bir deneysel tasarım çizelgesi oluşturmak gerekmektedir.

3.2.1. Deneysel tasarım

Oluşturulan doğrusal olmayan matematiksel programlama programı ve benzetim programı ile yapılan sayısal çalışmaların deneysel tasarımında kullanılan parametreler R ve T parametreleridir. T kaç saatlik aralıklar ile ayar yapılacağını başka bir deyişle dönem uzunluğunu belirlemektedir. R ise daha önce belirtildiği gibi, A parçası için talaşlı üretim tezgâhlarının ayarlanabilir hedef çap değerlerinin B parçası hedef çap değerinin kaç σ sağında ve solunda yer alabileceğini belirleyen parametredir.

Çizelge 3.5. Deneysel Tasarım 1

| <i>R</i> | <i>T</i> |
|----------|----------|
| 1.5 | 8 |
| 1.75 | 8 |
| 2 | 8 |

Çizelge 3.6. Deneysel Tasarım 2

| <i>R</i> | <i>T</i> |
|-----------|----------|
| R_{opt} | 4 |
| R_{opt} | 8 |
| R_{opt} | 12 |
| R_{opt} | 24 |

Buna göre oluşturulan iki farklı deneysel tasarım senaryosu ile testler yapılmıştır. Çizelge 3.5’de verilen 1. senaryo ile 8 saatlik sabit üretim dönemlerinde, A parçası üretim hatlarının hedef dağılım ortalamaları için farklı alt ve üst sınırlar belirleyerek stok birikimi takip edilmiştir.

Çizelge 3.6’de verilen 2. senaryo ile ise 1. senaryoda en iyi sonucu veren R_{opt} değerini sabit tutarak farklı üretim dönemleri için stok birikimi takip edilmiştir.

3.2.2. Parametreler

Bu denemelerde kullanılan sistem parametreleri ise aşağıda verilmiştir.

$$v = 900 \frac{\text{parça}}{\text{saat}} \quad (\text{parça A ve Parça B için})$$

$$D^- = 3.9995 \text{ mm}, \quad D^+ = 4.0075 \text{ mm},$$

$$2D = 0.0080 \text{ mm}$$

$$n = 16$$

$$m = 3$$

$$h = \frac{2D}{n} = \frac{0.0080}{16} = 0.0005 \text{ mm}$$

$$\mu^B = 4.0035 \text{ mm}$$

$$\sigma^B = 0.0013 \text{ mm}$$

$$\sigma^{A_j} = 0.00065, \quad j = 1,2,3$$

Bu parametrelerin matematiksel modelde ve benzetim modelinde yerlerine konması ile algoritma deneysel tasarım senaryoları için çalıştırılmış ve stok birikim miktarları takip edilmiştir.

3.2.3. Sonuçlar

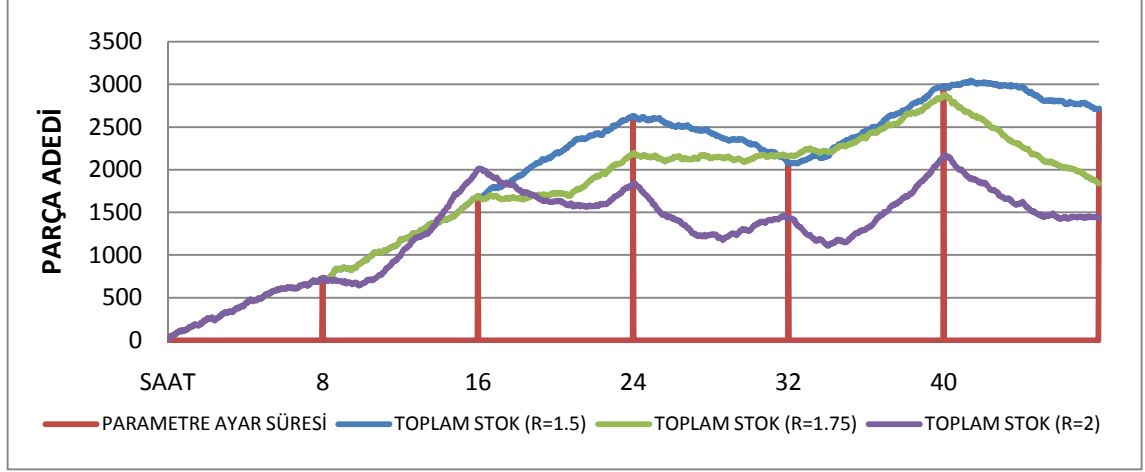
Çizelge 3.5'te verilen deney tasarımı 1'de oluşturulan senaryolar ile sistem çalıştırıldığında T (ayar dönem uzunluğu) sabit iken R (alt-st limit katsayısı)'nin değişimi durumunda oluşan toplam stok miktarları izelge 3.7 'de verilmiştir.

Bu sonuç çizelgesine göre 48 saat sonunda elde kalan stok değerleri incelendiğinde $R=1.5$ için 2716, $R=1.75$ için 1838 ve $R=2$ için 1430 adet toplam eşleşmemiş parça stoğu olduğu grlmřtir.

Çizelge 3.7. Sonuç Çizelgesi 1 (T=8)

| R=1,5 , T=8 | | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SAAT | 8 | 16 | 24 | 32 | 40 | 48 |
| μ^{A_1} | 4,0051 | 4,0038 | 4,0054 | 4,0051 | 4,0051 | 4,0054 |
| μ^{A_2} | 4,0037 | 4,0025 | 4,0042 | 4,0036 | 4,0019 | 4,0042 |
| μ^{A_3} | 4,0023 | 4,0052 | 4,0027 | 4,0016 | 4,0034 | 4,0024 |
| r^{A_1} | 0,1729 | 0,5290 | 0,1073 | 0,1803 | 0,1908 | 0,0887 |
| r^{A_2} | 0,4919 | 0,3389 | 0,3527 | 0,5462 | 0,1957 | 0,4870 |
| r^{A_3} | 0,3351 | 0,1320 | 0,5399 | 0,2735 | 0,6135 | 0,4243 |
| Stok B | 401 | 914 | 1393 | 1039 | 1575 | 1250 |
| Stok A | 327 | 777 | 1235 | 1040 | 1404 | 1466 |
| Toplam Stok | 728 | 1691 | 2628 | 2079 | 2979 | 2716 |
| R=1,75 , T=8 | | | | | | |
| SAAT | 8 | 16 | 24 | 32 | 40 | 48 |
| μ^{A_1} | 4,0051 | 4,0038 | 4,0025 | 4,0018 | 4,0025 | 4,0014 |
| μ^{A_2} | 4,0037 | 4,0025 | 4,0057 | 4,0033 | 4,0057 | 4,0033 |
| μ^{A_3} | 4,0023 | 4,0052 | 4,0043 | 4,0051 | 4,0042 | 4,0051 |
| r^{A_1} | 0,1729 | 0,5290 | 0,4089 | 0,2005 | 0,3663 | 0,2084 |
| r^{A_2} | 0,4919 | 0,3389 | 0,0823 | 0,6027 | 0,0826 | 0,5940 |
| r^{A_3} | 0,3351 | 0,1320 | 0,5089 | 0,1969 | 0,5510 | 0,1976 |
| Stok B | 401 | 914 | 1196 | 1194 | 1563 | 1064 |
| Stok A | 327 | 777 | 999 | 963 | 1321 | 774 |
| Toplam Stok | 728 | 1691 | 2195 | 2157 | 2884 | 1838 |
| R=2 , T=8 | | | | | | |
| SAAT | 8 | 16 | 24 | 32 | 40 | 48 |
| μ^{A_1} | 4,0051 | 4,0027 | 4,0015 | 4,0057 | 4,0037 | 4,0047 |
| μ^{A_2} | 4,0037 | 4,0059 | 4,0033 | 4,0042 | 4,0057 | 4,0058 |
| μ^{A_3} | 4,0023 | 4,0043 | 4,0044 | 4,0028 | 4,0017 | 4,0030 |
| r^{A_1} | 0,1729 | 0,4178 | 0,2377 | 0,0490 | 0,5011 | 0,3310 |
| r^{A_2} | 0,4919 | 0,1754 | 0,4889 | 0,3012 | 0,0981 | 0,0386 |
| r^{A_3} | 0,3351 | 0,4068 | 0,2734 | 0,6498 | 0,4008 | 0,6304 |
| Stok B | 401 | 1063 | 1003 | 837 | 1203 | 838 |
| Stok A | 327 | 943 | 826 | 598 | 961 | 592 |
| Toplam Stok | 728 | 2006 | 1829 | 1435 | 2164 | 1430 |

Şekil 3.6 toplam stok rakamlarının Çizelge 3.5'deki 1. Senaryo için sürekli değişimini göstermektedir.



Şekil 3.6: Toplam Stok Grafiği 1 (T=8)

Bu durumda A parçası üretimini yapan hatlara hedef çap değerleri için en yüksek esnekliği R (alt-üst limit katsayısı) = 2 koşulu için yapılan üretim sağlamaktadır. Başka bir deyişle en düşük stok seviyelerini $\mu_{min}^A = \mu^B - 2\sigma^B$ ve $\mu_{max}^A = \mu^B + 2\sigma^B$ alt ve üst limitlerinde yapılan üretim vermektedir.

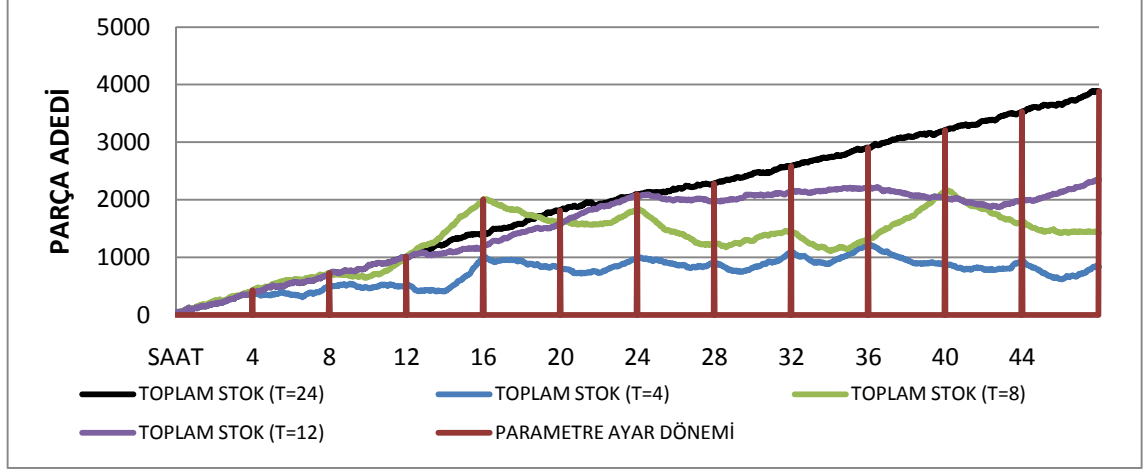
Çizelge 3.6'da verilen ikinci deneysel tasarım senaryosunda oluşturulan durumlar ise R (alt-üst limit katsayısı) sabit iken T (ayar dönem uzunluğu) değiştiğinde toplam ve ortalama stok seviyelerinde meydana gelen değişiklikleri test etmek için kullanılmışlardır.

Çizelge 3.8 incelendiğinde ayar dönem uzunluğunun artışı ile toplam stok miktarlarının da benzer şekilde arttığı 48 saatlik üretim sürecinde gözlemlenebilmektedir. Ayar dönem uzunluğu 4 saat alındığında 48 saat sonunda 841 adet eşleşmemiş parça stoğu oluşurken, ayar dönem uzunluğu 24 saate çıkarıldığında bu rakamın 3883 adede çıktığı saptanmıştır.

Çizelge 3.8. Sonuç Çizelgesi 2 (R=2)

| R=2 , T=4 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SAAT | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 44 | 48 |
| μ^{A_1} | 4,0052 | 4,0015 | 4,0024 | 4,0027 | 4,0033 | 4,0042 | 4,0034 | 4,0019 | 4,0051 | 4,0026 | 4,0034 | 4,0024 |
| μ^{A_2} | 4,0038 | 4,0032 | 4,0038 | 4,0061 | 4,0047 | 4,0029 | 4,0051 | 4,0060 | 4,0039 | 4,0061 | 4,0056 | 4,0042 |
| μ^{A_3} | 4,0024 | 4,0046 | 4,0052 | 4,0043 | 4,0018 | 4,0011 | 4,0017 | 4,0039 | 4,0009 | 4,0042 | 4,0013 | 4,0053 |
| r^{A_1} | 0,1597 | 0,2179 | 0,3334 | 0,3311 | 0,5208 | 0,4194 | 0,5237 | 0,3525 | 0,2501 | 0,3588 | 0,6087 | 0,3747 |
| r^{A_2} | 0,5043 | 0,4523 | 0,4982 | 0,2405 | 0,2611 | 0,4424 | 0,2975 | 0,0398 | 0,5980 | 0,0056 | 0,2439 | 0,6253 |
| r^{A_3} | 0,3360 | 0,3297 | 0,1684 | 0,4284 | 0,2181 | 0,1383 | 0,1789 | 0,6077 | 0,1519 | 0,6356 | 0,1474 | 0,0000 |
| Stok B | 222 | 289 | 317 | 565 | 490 | 578 | 527 | 627 | 693 | 525 | 566 | 456 |
| Stok A | 152 | 215 | 215 | 434 | 334 | 422 | 371 | 471 | 693 | 366 | 366 | 385 |
| Toplam Stok | 374 | 504 | 532 | 999 | 824 | 1000 | 898 | 1098 | 1386 | 891 | 932 | 841 |
| R=2 , T=8 | | | | | | | | | | | | |
| SAAT | | 8 | | 16 | | 24 | | 32 | | 40 | | 48 |
| μ^{A_1} | | 4,0051 | | 4,0027 | | 4,0015 | | 4,0057 | | 4,0037 | | 4,0047 |
| μ^{A_2} | | 4,0037 | | 4,0059 | | 4,0033 | | 4,0042 | | 4,0057 | | 4,0058 |
| μ^{A_3} | | 4,0023 | | 4,0043 | | 4,0044 | | 4,0028 | | 4,0017 | | 4,0030 |
| r^{A_1} | | 0,1729 | | 0,4178 | | 0,2377 | | 0,0490 | | 0,5011 | | 0,3310 |
| r^{A_2} | | 0,4919 | | 0,1754 | | 0,4889 | | 0,3012 | | 0,0981 | | 0,0386 |
| r^{A_3} | | 0,3351 | | 0,4068 | | 0,2734 | | 0,6498 | | 0,4008 | | 0,6304 |
| Stok B | | 401 | | 1063 | | 1003 | | 837 | | 1203 | | 838 |
| Stok A | | 327 | | 943 | | 826 | | 598 | | 961 | | 592 |
| Toplam Stok | | 728 | | 2006 | | 1829 | | 1435 | | 2164 | | 1430 |
| R=2 , T=12 | | | | | | | | | | | | |
| SAAT | | | 12 | | | 24 | | | 36 | | | 48 |
| μ^{A_1} | | | 4,0052 | | | 4,0033 | | | 4,0028 | | | 4,0016 |
| μ^{A_2} | | | 4,0038 | | | 4,0018 | | | 4,0043 | | | 4,0037 |
| μ^{A_3} | | | 4,0024 | | | 4,0044 | | | 4,0059 | | | 4,0047 |
| r^{A_1} | | | 0,1597 | | | 0,4649 | | | 0,4905 | | | 0,2434 |
| r^{A_2} | | | 0,5043 | | | 0,2370 | | | 0,3900 | | | 0,4601 |
| r^{A_3} | | | 0,3360 | | | 0,2981 | | | 0,1196 | | | 0,2966 |
| Stok B | | | 574 | | | 1126 | | | 1210 | | | 1295 |
| Stok A | | | 440 | | | 942 | | | 1014 | | | 1058 |
| Toplam Stok | | | 1014 | | | 2068 | | | 2224 | | | 2353 |
| R=2 , T=24 | | | | | | | | | | | | |
| SAAT | | | | | | 24 | | | | | | 48 |
| μ^{A_1} | | | | | | 4,0052 | | | | | | 4,0037 |
| μ^{A_2} | | | | | | 4,0038 | | | | | | 4,0051 |
| μ^{A_3} | | | | | | 4,0024 | | | | | | 4,0023 |
| r^{A_1} | | | | | | 0,1597 | | | | | | 0,4821 |
| r^{A_2} | | | | | | 0,5043 | | | | | | 0,1822 |
| r^{A_3} | | | | | | 0,3360 | | | | | | 0,3357 |
| Stok B | | | | | | 1153 | | | | | | 2090 |
| Stok A | | | | | | 943 | | | | | | 1793 |
| Toplam Stok | | | | | | 2096 | | | | | | 3883 |

Toplam stok değerleri değişimi için sonuçlar Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 : Toplam Stok Grafiği 2 (R=2)

48 saat’lik üretim süreleri sonucunda elde edilen en küçük stok seviyesini sağlayan parametrelerin R (alt-üst limit katsayısı) = 2, T (ayar dönem uzunluğu) = 4 olduğu belirlenmiştir.

Sistemin tüm ayar noktalarında optimize edilmiş yeni parametreler ile çalışmaya başlamasından sonra stok birikiminin belirli bir süre için azalış göstermesi algoritmanın istenen amaca uygun olarak sistemi yönlendirdiğini göstermektedir. Ancak ayar noktaları arasında gerçekleşen üretimin uzunluğu optimize edilemediği için kimi zaman belirli bir süre sonunda bu azalış artışa dönüşmekte, kimi zaman ise azalış bir sonraki ayar noktasına kadar sürmektedir. Bu nedenle geliştirilen çözüm algoritmasının hala potansiyel gelişme noktalarına sahip olduğu rahatlıkla söylenebilir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sonuç bölümünde elde edilen stok birikimi göstergeleri değerlendirildiğinde, oluşturulan döngüsel algoritmanın eşleşmemiş stok seviyesinin en küçüklenmesinde etkin bir çözüm ortaya koyduğunu söylenebilir. Her ayar dönemi sonrasında yeni hedef parametrelerle üretime başlandığında toplam eşleşmemiş stok seviyesinde bir süre boyunca azalma gözlenmektedir. Fakat bu çözümün bağlı olduğu parametrelerden ayar zaman aralığı (T) sabit kabul edilerek deneysel olarak test edildiğinden bu azalmanın nereye kadar süreceği kestirilememektedir. Algoritma düşük ayar zaman aralıklarında çok daha etkin sonuç vermektedir. Bu nedenle ayar zaman aralığı (T) optimizasyonu için algoritmaya elde tutma maliyeti katsayısına karşıt olarak eklenecek bir hedef çap değeri ayar maliyeti katsayısı ile algoritmanın daha etkin hale getirilebileceği açıktır. Bahsedilen ayar maliyeti tezgahlara hedef çap değerinin girilmesi ve tezgahların bu yeni parametre ile çalışması için yapılacak ince ayarların gerçekleştirilmesi sırasında üretim yapılmadan geçen sürede üretilebilecek olan parça sayısı ile birim parça maliyetinin çarpımı olarak değerlendirilmelidir. Ancak önerilen çözüm yöntemi anlatılırken belirtildiği gibi hedef çap değeri maliyet katsayısı bu çalışma kapsamında incelenmemiş ve bu çalışmaya devam niteliği taşıyabilecek başka bir çalışmanın konusu olarak kapsam dışında tutulmuştur.

Algoritmanın etkinliğinde rol oynayan diğer bir kriter olan A parçası tezgahları için hedef çap değeri dağılım ortalaması alt ve üst limitleri katsayısı (R) arttıkça beklendiği biçimde algoritmanın etkinliği de artmaktadır. Bu da daha geniş bir aralıkta yer alabilen ortalamaların stokların en küçüklenmesinde algoritmaya esneklik sağladığını göstermektedir. Bu katsayının algoritmaya eklenmesinin nedeni daha çok algoritma etkinliğinin test edilmesi ve sisteme maliyet açısından çok büyük bir artış getireceği beklenen ıskarta adetlerinin oluşmasını engellemektir. Parametre ayar dönemi maliyet katsayısında olduğu gibi yine başka bir çalışma kapsamında ıskarta maliyetlerinin modele eklendiği bir çalışma yürütmekte mümkündür.

Ele alınan sistem için sabit olan tolerans aralığı genişliği (h) ve tolerans grupları adedi (n) parametrelerinin değişken olduğu bir sistem üzerinde çalışılarak geliştirilebilecek bir yöntemde yine bu çalışmanın ilerletilebilmesi adına mevcut potansiyel noktalardan biridir.

KAYNAKLAR

1. CHAN, K.C. and LINN, R.J. 1998. A Grouping Method for Selective Assembly of Dissimilar Distributions. *Quality Engineering*, 11(2): 221-234.
2. DESMOND, D. J. and SETTY, C. A. 1962. Simplification of selective assembly. *International Journal of Production Research*, 1(3): 3-18.
3. KANNAN, S.M. and JAYABALAN, V. 2001a. A New Grouping Method for Minimizing the Surplus Parts in Selective Assembly. *Quality Engineering*, 14(1): 67-75.
4. KANNAN, S.M. and JAYABALAN, V. 2001b. A new grouping method to minimize surplus parts in selective assembly for complex assemblies. *International Journal of Production Research*, 39(9): 1851-1863.
5. KANNAN, S.M., ASHA, A. and JAYABALAN, V. 2005. A New Method in Selective Assembly to Minimize Clearance Variation for a Radial Assembly Using Genetic Algorithm. *Quality Engineering*, 17: 595-607.
6. KANNAN, S.M., JEEVANANTHAM, K. and JAYABALAN, V. 2008. Modelling and analysis of selective assembly using Taguchi's loss function. *International Journal of Production Research*, 46(15): 4309-4330.
7. MANSOOR, E.M. 1961. Selective Assembly - Its Analysis And Applications. *International Journal of Production Research*, 1(1): 13-24.
8. PUGH, G.A. 1992. Selective Assembly with Components of Dissimilar Variance. *Computers & Industrial Engineering*, 23(4): 487-492.
9. FANG, X. D. and ZHANG, Y. 1995. A new algorithm for minimising the surplus parts in selective assembly. *Computers & Industrial Engineering*, 28(2): 341-351.

EKLER

Ek-1: Doğrusal Olmayan Matematiksel Programlama Modelinin Çözüm Programı

(Model LINGO v.5 programı kullanılarak hazırlanmış ve çözdürülmüştür.)

MODEL:

SETS:

SET1/1..16/: X, Y, C, A11, A12, A21, A22, A31, A32, B1, B2, Z, BSI, BSG, P, T;
SET2/1..23/: SONUC;

ENDSETS

DATA:

R=2;
Q=4;
C = 4.0000
4.0005
4.001
4.0015
4.002
4.0025
4.003
4.0035
4.004
4.0045
4.005
4.0055
4.006
4.0065
4.007
4.0075;

BSG=@OLE('C:\Documents and Settings\volkan\Desktop\veri.xls','BSG');
BSI=@OLE('C:\Documents and Settings\volkan\Desktop\veri.xls','BSI');

END DATA

MIN = S;

S=@SUM(SET1(I):X(I)+Y(I));
@FOR(SET1(I):
Z(I)=BSG(I)+P(I)-BSI(I)-T(I);
Z(I)=X(I)-Y(I);
P(I)=900*SUT*(@PSN(B1(I))-@PSN(B2(I)));
T(I)=900*SUT*(H1*(@PSN(A11(I))-@PSN(A12(I)))
+H2*(@PSN(A21(I))-@PSN(A22(I)))+H3*(@PSN(A31(I))-@PSN(A32(I))));
B1(I)=(C(I)-4.0035)/0.0013);
B2(I)=(C(I)-0.0005-4.0035)/0.0013);
A11(I)=(C(I)-M1)/0.0006);
A12(I)=(C(I)-0.0005-M1)/0.0006);
A21(I)=(C(I)-M2)/0.0006);

```

A22 (I) = ( ( C (I) - 0.0005 - M2 ) / 0.0006 ) ;
A31 (I) = ( ( C (I) - M3 ) / 0.0006 ) ;
A32 (I) = ( ( C (I) - 0.0005 - M3 ) / 0.0006 ) ;
H1 + H2 + H3 = 1 ;
@FREE ( Z (I) ) ;
@FREE ( SONUC (I) ) ;
@FREE ( B1 (I) ) ;
@FREE ( B2 (I) ) ;
@FREE ( A11 (I) ) ;
@FREE ( A12 (I) ) ;
@FREE ( A21 (I) ) ;
@FREE ( A22 (I) ) ;
@FREE ( A31 (I) ) ;
@FREE ( A32 (I) ) ;
SUT > Q ;
M1 > 4.0035 - 0.0013 * R ;
M1 < 4.0035 + 0.0013 * R ;
M2 > 4.0035 - 0.0013 * R ;
M2 < 4.0035 + 0.0013 * R ;
M3 > 4.0035 - 0.0013 * R ;
M3 < 4.0035 + 0.0013 * R ;

SONUC (1) = M1 ;
SONUC (2) = M2 ;
SONUC (3) = M3 ;
SONUC (4) = H1 ;
SONUC (5) = H2 ;
SONUC (6) = H3 ;
SONUC (7) = Z (1) ;
SONUC (8) = Z (2) ;
SONUC (9) = Z (3) ;
SONUC (10) = Z (4) ;
SONUC (11) = Z (5) ;
SONUC (12) = Z (6) ;
SONUC (13) = Z (7) ;
SONUC (14) = Z (8) ;
SONUC (15) = Z (9) ;
SONUC (16) = Z (10) ;
SONUC (17) = Z (11) ;
SONUC (18) = Z (12) ;
SONUC (19) = Z (13) ;
SONUC (20) = Z (14) ;
SONUC (21) = Z (15) ;
SONUC (22) = Z (16) ;
SONUC (23) = SUT ;

DATA :
@OLE ( 'C : \ Documents
Settings \ volkan \ Desktop \ SONUC . xls ' , ' SONUC ' ) = SONUC ;
ENDDA

```

and

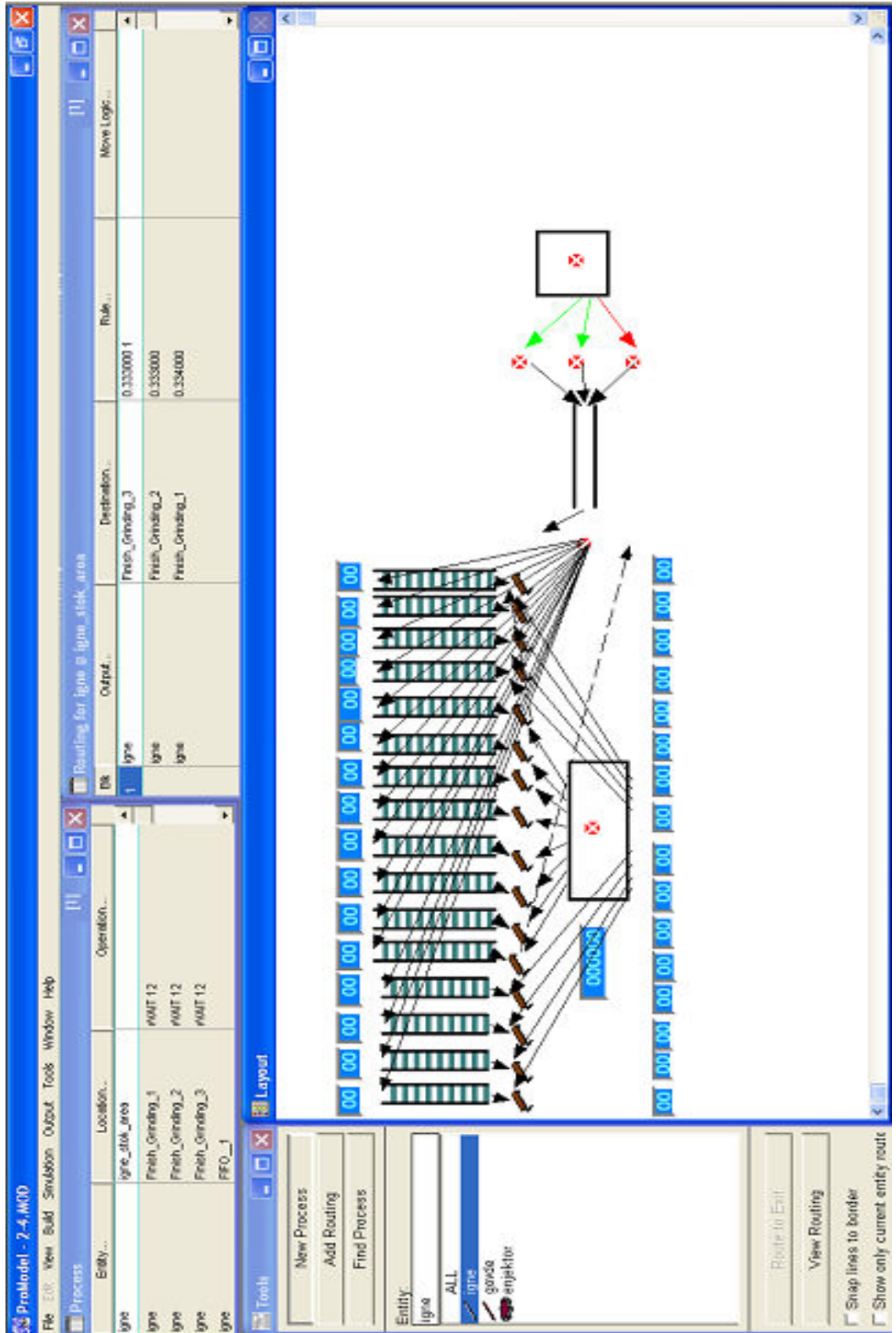
Ek-2: Matematiksel Model Örnek Excel Veri Dosyası

| ARALIK BİTİŞ DEĞERLERİ | Başlangıç Stoğu (Parça A) | Başlangıç Stoğu (Parça B) |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 4,0000 | 0 | 0 |
| 4,0005 | 0 | 0 |
| 4,0010 | 0 | 0 |
| 4,0015 | 0 | 0 |
| 4,0020 | 0 | 0 |
| 4,0025 | 0 | 0 |
| 4,0030 | 0 | 0 |
| 4,0035 | 0 | 0 |
| 4,0040 | 0 | 0 |
| 4,0045 | 0 | 0 |
| 4,0050 | 0 | 0 |
| 4,0055 | 0 | 0 |
| 4,0060 | 0 | 0 |
| 4,0065 | 0 | 0 |
| 4,0070 | 0 | 0 |
| 4,0075 | 0 | 0 |
| TOPLAM | 0 | 0 |

Ek-3: Matematiksel Model Örnek Excel Sonuç Dosyası

| SUT | M | H | Z | PARÇA B KALAN | PARÇA A KALAN |
|-----|--------|--------|----------|---------------|---------------|
| 4 | 4,0052 | 0,1597 | 9,0000 | 9,0000 | 0,0000 |
| | 4,0038 | 0,5043 | 25,0000 | 25,0000 | 0,0000 |
| | 4,0024 | 0,3360 | 50,0000 | 50,0000 | 0,0000 |
| | | | 58,0000 | 58,0000 | 0,0000 |
| | | | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | | | -55,0000 | 0,0000 | 55,0000 |
| | | | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | | | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | | | -94,0000 | 0,0000 | 94,0000 |
| | | | -59,0000 | 0,0000 | 59,0000 |
| | | | 13,0000 | 13,0000 | 0,0000 |
| | | | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | | | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| | | | 19,0000 | 19,0000 | 0,0000 |
| | | | 18,0000 | 18,0000 | 0,0000 |
| | | | 9,0000 | 9,0000 | 0,0000 |

Ek-4: Benzetim Modelinin ProModel Programı Ekran Görüntüsü



Ek-5: Benzetim Modelinin ProModel Programı

```

*****
*           Formatted Listing of Model:           *
*   C:\Documents and Settings\volkan\Desktop\R=2\2-24.MOD   *
*****
Time Units:          Seconds
Distance Units:     Feet
*****
*           Locations           *
*****
Name                Cap  Units  Stats          Rules          Cost
-----
Finish_Grinding_1   1    1    Time Series    Oldest, First
Visual_Inspection_1 1    1    Time Series    Oldest, First
FIFO_1              INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO, First
Finish_Grinding_2   1    1    Time Series    Oldest, ,
Finish_Grinding_3   1    1    Time Series    Oldest, ,
Loc1                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc2                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc3                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc4                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc5                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc6                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc7                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc8                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
govde_stok_area     INFINITE 1    Time Series    Oldest, ,
Loc9                INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc10               INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc11               INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc12               INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc13               INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc14               INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc15               INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Loc16               INFINITE 1    Time Series    Oldest, FIFO,
Table1              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table2              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table3              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table4              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table5              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table6              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table7              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table8              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table9              INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table10             INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table11             INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table12             INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table13             INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table14             INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table15             INF  1    Time Series    Oldest, ,
Table16             INF  1    Time Series    Oldest, ,
igne_stok_area      INF  1    Time Series    Oldest, ,
*****
*           Entities           *
*****
Name  Speed (fpm)  Stats  Cost
-----
igne  100000       Time Series
govde 100000       Time Series
enjektör 100000     Time Series
*****
*           Resources          *
*****
Res  Ent
Name  Units Stats  Search Search Path  Motion
-----
Forklift 1  By Unit  Closest Oldest  Empty: 150 fpm  Full: 150 fpm
*****
*           Processing         *
*****

```

| Entity | Location | Process | Routing | | | Rule | Move Logic |
|--------|-------------------|--------------------------------------|---------|-------------------|-------------|--|------------|
| | | Operation | Blk | Output | Destination | | |
| igne | igne_stok_area | 1 | igne | Finish_Grinding_3 | 0.333000 | 1 | |
| | | | igne | Finish_Grinding_2 | 0.333000 | | |
| | | | igne | Finish_Grinding_1 | 0.334000 | | |
| igne | Finish_Grinding_1 | WAIT 12 | | | | | |
| | | | | | | IF CLOCK (HR) < 24 OR CLOCK (HR) = 24 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | IF RAND(33)<15.97 OR RAND(33)=15.97 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | Att1 = N(4.0052, 0.00065) | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | ELSE | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | Att1 = N(4.0038, 0.00065) | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | IF CLOCK (HR) > 24 AND CLOCK(HR) <48 OR CLOCK (HR) = 48 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | Att1 = N(4.0037, 0.00065) | |
| | | | | | | } | |
| | | | 1 igne | FIFO__1 | | FIRST 1 | |
| igne | Finish_Grinding_2 | WAIT 12 | | | | | |
| | | | | | | IF CLOCK (HR) < 24 OR CLOCK (HR) = 24 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | Att1 = N(4.0038, 0.00065) | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | IF CLOCK (HR) > 24 AND CLOCK(HR) <48 OR CLOCK (HR) = 48 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | IF RAND(33)<18.22 OR RAND(33)=18.22 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | Att1 = N(4.0051, 0.00065) | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | ELSE | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | Att1 = N(4.0037, 0.00065) | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | } | |
| | | | 1 igne | FIFO__1 | | FIRST 1 | |
| igne | Finish_Grinding_3 | WAIT 12 | | | | | |
| | | | | | | IF CLOCK (HR) < 24 OR CLOCK (HR) = 24 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | Att1 = N(4.0024, 0.00065) | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | IF CLOCK (HR) >24 AND CLOCK(HR) <48 OR CLOCK (HR) = 48 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | Att1 = N(4.0023, 0.00065) | |
| | | | | | | } | |
| govde | govde_stok_area | IF Att2 < 4.000 OR Att2 = 4.000 THEN | | | | | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | INC Var17, 1 | |
| | | | | | | INC toplam_stok, 1 | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | IF Att2 > 4.000 AND Att2 <= 4.0005 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | INC Var18, 1 | |
| | | | | | | INC toplam_stok, 1 | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | IF Att2 > 4.0005 AND Att2 <= 4.001 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | INC Var19, 1 | |
| | | | | | | INC toplam_stok, 1 | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | IF Att2 > 4.001 AND Att2 <= 4.0015 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | INC Var20, 1 | |
| | | | | | | INC toplam_stok, 1 | |
| | | | | | | } | |
| | | | | | | IF Att2 > 4.0015 AND Att2 <= 4.002 THEN | |
| | | | | | | { | |
| | | | | | | INC Var21, 1 | |
| | | | | | | INC toplam_stok, 1 | |
| | | | | | | } | |

```

IF Att2 > 4.002 AND Att2 <= 4.0025 THEN
{
INC Var22, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.0025 AND Att2 <= 4.003 THEN
{
INC Var23, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.003 AND Att2 <= 4.0035 THEN
{
INC Var24, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.0035 AND Att2 <= 4.004 THEN
{
INC Var25, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.004 AND Att2 <= 4.0045 THEN
{
INC Var26, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.0045 AND Att2 <= 4.005 THEN
{
INC Var27, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.005 AND Att2 <= 4.0055 THEN
{
INC Var28, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.0055 AND Att2 <= 4.006 THEN
{
INC Var29, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.006 AND Att2 <= 4.0065 THEN
{
INC Var30, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.0065 AND Att2 <= 4.007 THEN
{
INC Var31, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 > 4.0070 THEN
{
INC Var32, 1
INC toplam_stok, 1
}
IF Att2 < 4.000 OR Att2 = 4.000 THEN
{
ROUTE 1
}
IF Att2 > 4.000 AND Att2 <= 4.0005 THEN
{
ROUTE 2
}
IF Att2 > 4.0005 AND Att2 <= 4.001 THEN
{
ROUTE 3
}
IF Att2 > 4.001 AND Att2 <= 4.0015 THEN
{
ROUTE 4
}
IF Att2 > 4.0015 AND Att2 <= 4.002 THEN
{

```

```

ROUTE 5
}
IF Att2 > 4.002 AND Att2 <= 4.0025 THEN
{
ROUTE 6
}
IF Att2 > 4.0025 AND Att2 <= 4.003 THEN
{
ROUTE 7
}
IF Att2 > 4.003 AND Att2 <= 4.0035 THEN
{
ROUTE 8
}
IF Att2 > 4.0035 AND Att2 <= 4.004 THEN
{
ROUTE 9
}
IF Att2 > 4.004 AND Att2 <= 4.0045 THEN
{
ROUTE 10
}
IF Att2 > 4.0045 AND Att2 <= 4.005 THEN
{
ROUTE 11
}
IF Att2 > 4.005 AND Att2 <= 4.0055 THEN
{
ROUTE 12
}
IF Att2 > 4.0055 AND Att2 <= 4.006 THEN
{
ROUTE 13
}
IF Att2 > 4.006 AND Att2 <= 4.0065 THEN
{
ROUTE 14
}
IF Att2 > 4.0065 AND Att2 <= 4.007 THEN
{
ROUTE 15
}
IF Att2 > 4.007 THEN
{
ROUTE 16
}
}

igne Loc1 INC Var5, 1
igne Loc2 INC toplam_stok, 1 1 igne Table5 JOIN 1
igne Loc3 INC Var6, 1
igne Loc4 INC toplam_stok, 1 1 igne Table6 JOIN 1
igne Loc5 INC Var7, 1
igne Loc6 INC toplam_stok, 1 1 igne Table7 JOIN 1
igne Loc7 INC Var8, 1
igne Loc8 INC toplam_stok, 1 1 igne Table8 JOIN 1
igne Loc9 INC Var9, 1
igne Loc10 INC toplam_stok, 1 1 igne Table9 JOIN 1
igne Loc11 INC Var10, 1
igne Loc12 INC toplam_stok, 1 1 igne Table10 JOIN 1
igne Loc13 INC Var11, 1
igne Loc14 INC toplam_stok, 1 1 igne Table11 JOIN 1
igne Loc15 INC Var12, 1
igne Loc16 INC toplam_stok, 1 1 igne Table12 JOIN 1

govde Table5 JOIN 1 igne
DEC Var5, 1
DEC toplam_stok, 1
1 enjektor EXIT FIRST 1 DEC Var21, 1 toplam_stok, 1

govde Table6 JOIN 1 igne
DEC Var6, 1
DEC toplam_stok, 1
1 enjektor EXIT FIRST 1 DEC Var22, 1 DEC toplam_stok, 1

```

| | | | | | |
|-------|---------------|---|---------|--------------|--------------------|
| govde | Table7 | JOIN 1 igne DEC Var7, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var23, 1 | DEC toplam_stok, 1 |
| govde | Table8 | JOIN 1 igne DEC Var8, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var24, 1 | DEC toplam_stok, 1 |
| govde | Table9 | JOIN 1 igne DEC Var9, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var25, 1 | DEC toplam_stok, 1 |
| govde | Table10 | JOIN 1 igne DEC Var10, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var26, 1 | DEC toplam_stok, 1 |
| govde | Table11 | JOIN 1 igne DEC Var11, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var27, 1 | DEC toplam_stok, 1 |
| govde | Table12 | JOIN 1 igne DEC Var12, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var28, 1 | DEC toplam_stok, 1 |
| igne | Loc9 | INC Var1, 1 INC toplam_stok, 1 | | | |
| | | 1 igne | Table1 | JOIN 1 | |
| igne | Loc10 | INC Var2, 1 INC toplam_stok, 1 | | | |
| | | 1 igne | Table2 | JOIN 1 | |
| igne | Loc11 | INC Var3, 1 INC toplam_stok, 1 | | | |
| | | 1 igne | Table3 | JOIN 1 | |
| igne | Loc12 | INC Var4, 1 INC toplam_stok, 1 | | | |
| | | 1 igne | Table4 | JOIN 1 | |
| igne | Loc13 | INC Var13, 1 INC toplam_stok, 1 | | | |
| | | 1 igne | Table13 | JOIN 1 | |
| igne | Loc14 | INC Var14, 1 INC toplam_stok, 1 | | | |
| | | 1 igne | Table14 | JOIN 1 | |
| igne | Loc15 | INC Var15, 1 INC toplam_stok, 1 | | | |
| | | 1 igne | Table15 | JOIN 1 | |
| igne | Loc16 | INC Var16, 1 INC toplam_stok, 1 | | | |
| | | 1 igne | Table16 | JOIN 1 | |
| govde | Table1 | JOIN 1 igne DEC Var1, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var17, 1 | DEC toplam_stok, 1 |
| govde | Table2 | JOIN 1 igne DEC Var2, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var18, 1 | DEC toplam_stok, 1 |
| govde | Table3 | JOIN 1 igne DEC Var3, 1 DEC toplam_stok, 1 | | | |
| 1 | enjektor EXIT | FIRST 1 | | DEC Var19, 1 | DEC toplam_stok, 1 |

```

govde Table4 JOIN 1 igne
DEC Var4, 1
DEC toplam_stok, 1
1 enjektör EXIT FIRST 1 DEC Var20, 1 DEC toplam_stok, 1

govde Table13 JOIN 1 igne
DEC Var13, 1
DEC toplam_stok, 1
1 enjektör EXIT FIRST 1 DEC Var29, 1 DEC toplam_stok, 1

govde Table14 JOIN 1 igne
DEC Var14, 1
DEC toplam_stok, 1
1 enjektör EXIT FIRST 1 DEC Var30, 1 DEC toplam_stok, 1

govde Table15 JOIN 1 igne
DEC Var15, 1
DEC toplam_stok, 1
1 enjektör EXIT FIRST 1 DEC Var31, 1 DEC toplam_stok, 1

govde Table16 JOIN 1 igne
DEC Var16, 1
DEC toplam_stok, 1
1 enjektör EXIT FIRST 1 DEC Var32, 1 DEC toplam_stok, 1

```

```

*****
* Arrivals *
*****
Entity Location Qty each First Time Occurrences Frequency Logic
-----
igne igne_stok_area 1 0 INF 4
govde govde_stok_area 1 0 INF 4 Att2 = N(4.0035,0.0013)

```

```

*****
* Attributes *
*****
ID Type Classification
-----
Att1 Real Entity
Att2 Real Entity

```

```

*****
* Variables (global) *
*****
ID Type Initial value Stats
-----
toplam_stok Integer 0 Time Series
Var1 Integer 0 Time Series
Var2 Integer 0 Time Series
Var3 Integer 0 Time Series
Var4 Integer 0 Time Series
Var5 Integer 0 Time Series
Var6 Integer 0 Time Series
Var7 Integer 0 Time Series
Var8 Integer 0 Time Series
Var9 Integer 0 Time Series
Var10 Integer 0 Time Series
Var11 Integer 0 Time Series
Var12 Integer 0 Time Series
Var13 Integer 0 Time Series
Var14 Integer 0 Time Series
Var15 Integer 0 Time Series
Var16 Integer 0 Time Series
Var17 Integer 0 Time Series
Var18 Integer 0 Time Series
Var19 Integer 0 Time Series
Var20 Integer 0 Time Series
Var21 Integer 0 Time Series
Var22 Integer 0 Time Series
Var23 Integer 0 Time Series
Var24 Integer 0 Time Series
Var25 Integer 0 Time Series
Var26 Integer 0 Time Series
Var27 Integer 0 Time Series

```


| | | | |
|-------|---------|---|-------------|
| Var28 | Integer | 0 | Time Series |
| Var29 | Integer | 0 | Time Series |
| Var30 | Integer | 0 | Time Series |
| Var31 | Integer | 0 | Time Series |
| Var32 | Integer | 0 | Time Series |

ÖZGEÇMİŞ

Volkan Hacıoğlu 03.06.1981 tarihinde İzmir’de doğdu. İzmir Buca Anadolu Lisesi’ni bitirdikten sonra Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden 2004 yılında mezun oldu. 2005–2006 yıllarında Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 2007 yılından bu yana Çoşkunöz A.Ş. firmasında üretim yetkilisi olarak çalışmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Erdal EMEL'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKANSEL'e, projenin başlamasında ve sistem verilerinin toplanmasında yardımlarını esirgemeyen Bosch Sanayi ve Ticaret A.Ő. Yalın Ofis çalışanlarına, manevi destekleri ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşime ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.