

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**ENDÜSTRİYEL VANALARDA KULLANILAN DIŞLI
KUTULARININ İMALAT SÜREÇLERİNİN SİMÜLASYON
MODELLEME İLE ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ**

Bilal COŞKUN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR**

MANİSA-2025

BİLAL
COŞKUN

ENDÜSTRİYEL VANALARDA KULLANILAN DIŞLI KUTULARININ İMALAT
SÜREÇLERİNİN SİMÜLASYON MODELLEME İLE ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ

2025

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalında, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı bir yapay zekâ ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Bilal COŞKUN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Endüstriyel Vanalarda Kullanılan Dişli Kutularının İmalat Süreçlerinin Simülasyon Modelleme ile Analizi ve İyileştirilmesi

Bilal COŞKUN

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR

Günümüzde yoğun rekabetin yaşandığı pazarlarda, işletmeler müşteri memnuniyetini sağlamak ve mevcut pazar payını korumak için büyük bir çaba sarf etmektedir. Rekabet avantajı elde etmede en önemli unsurlar ise, teslimat sürelerine uymak ve istenilen ürün kalitesini sağlamaktır. Bu kapsamda işletmeler, imalat süreçlerini analiz ederek kaynaklarını verimli bir şekilde kullanabileceği ve müşteri beklentilerini karşılayabileceği üretim planları geliştirmelidir.

Endüstriyel vanalar, endüstriyel tesislerde ve altyapı sistemlerinde sıvıların, gazların veya buharların akışını kontrol etmek için kullanılan kritik elemanlardır. Bu vanalarda yer alan dişli kutuları ise güç iletimini ve kontrolünü optimize etmeyi sağlayan oldukça önemli bileşenlerdir. Bu nedenle dişli kutularının tasarımı ve kalitesi, endüstriyel vanaların verimlilik, dayanıklılık, güvenlik gibi özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. Dolayısıyla, dişli kutusu imalat süreçlerinin analiz edilerek iyileştirme çalışmalarının yürütülmesi, işletmelere zaman, maliyet ve kalite açısından avantaj sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, endüstriyel vana üreticisi bir firmanın dişli kutusu imalat sürecinin iyileştirilmesi amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda dişli kutularının daha kısa sürede, daha düşük maliyetle ve daha yüksek kalitede üretilmesi için alternatif üretim senaryoları geliştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle hangi dişli kutusu modeli üzerinde çalışılacağına analitik hiyerarşi süreci ve TOPSIS yöntemleri ile karar verilmiştir. Ardından, mevcut imalat süreci simüle edilmiş ve darboğaz oluşturan istasyon belirlenmiştir. Darboğaz olarak belirlenen istasyona yönelik olarak fason imalat yaptırma ve yeni tezgâh yatırımı yapma alternatifleri belirlenmiştir. Daha sonra alternatif senaryolara ilişkin simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde, alternatif senaryolarda oluşabilecek kalite problemleri ile yeni tezgâh yatırımına ilişkin tezgâh hızı ve yatırım maliyeti dikkate alınmıştır. Ele alınan alternatifler üretim adetleri, maksimum tamamlanma zamanı, kar ve kalite unsurları açısından kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar, firmanın yeni tezgâh yatırımı yapmasının, fason imalat yaptırmaktan daha karlı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Dişli kutusu, Simülasyon modelleme, Süreç iyileştirme, Çok kriterli karar verme, TOPSIS, Analitik hiyerarşi süreci

2025, 61 sayfa.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Analysis and Improvement of Valve Gearbox Manufacturing Process Using Simulation Modeling

Bilal COŞKUN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Education
Department of Industrial Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Hülya GÜÇDEMİR

In today's competitive markets, companies make great efforts to ensure customer satisfaction and maintain their market share. The most important factors in gaining competitive advantage are meeting delivery deadlines and ensuring the desired product quality. In this context, companies should analyze their manufacturing processes and develop production plans in which they can use their resources efficiently and meet customer expectations.

Industrial valves are critical elements used to control the flow of liquids, gases or vapors in industrial facilities and infrastructure systems. The gearboxes in these valves are very important components that optimize power transmission and control. For this reason, the design and quality of gearboxes have a significant impact on the efficiency, durability and safety features of industrial valves. Therefore, analyzing gearbox manufacturing processes and carrying out process improvement studies will provide advantages to companies in terms of time, cost and quality.

In this dissertation, it is aimed to improve the gearbox manufacturing process of an industrial valve manufacturer and for this purpose, alternative production scenarios were developed to produce gearboxes in a shorter time, at lower cost and with higher quality. In this context, firstly gearbox model was decided by using the analytical hierarchy process and TOPSIS methods. Then, the current manufacturing process was simulated and the bottleneck station was identified. Alternatives such as contract manufacturing and new machine investment were generated for the bottleneck station. Then, simulation models for alternative scenarios were developed. In the developed models, quality problems that may occur in alternative scenarios and the machine speed and investment cost related to the new machine investment were taken into account. Predefined alternatives were compared in terms of production quantities, makespan, profit and quality. The obtained results showed that it is more profitable for the company to invest in a new machine than to have contract manufacturing.

Keywords: Gearbox, Simulation modeling, Process improvement, Multi-criteria decision making, TOPSIS, Analytical hierarchy process

2025, 61 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, endüstriyel vana ve dişli kutusu üretimi yapan bir firmaya ait dişli kutusu üretim sürecinin iyileştirilmesi amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda mevcut imalat sisteminde yer alan darboğazlar tespit edilerek bunların giderilmesine yönelik alternatif çözüm önerileri geliştirilmiştir. Alternatif çözüm önerilerinin değerlendirilmesinde ise simülasyon modelleme yaklaşımı kullanılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca her zaman, deneyim ve bilgisi ile bana yardımcı olan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Hülya GÜÇDEMİR'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans tez dönemim boyunca, bana her türlü imkân ve kolaylığı sağlayan, DOĞUŞ VANA VE DÖKÜM SAN. TİC. A.Ş. firmasına ve ayrıca tez süreci boyunca, bana gerekli veri ve bilgileri elde etmemde her türlü yardımda bulunan iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bilal COŞKUN
Manisa, 2025

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

dk Dakika

Nm Newton-metre

TOPSIS Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions

AHS Analitik Hiyerarşi Süreci



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Düz dişli çark gösterimi	4
Şekil 1.2. Konik dişli çark gösterimi	5
Şekil 1.3. Sonsuz vida mekanizmalı dişlileri gösterimi	5
Şekil 1.4. Dişli kutusu bileşenleri	6
Şekil 1.5. Dişli kutusunun kelebek vana üzerine monte edilmesi	6
Şekil 3.1. Çok kriterli karar verme problemleri ve kullanılan teknikler	11
Şekil 3.2. AHS karar hiyerarşisi	11
Şekil 3.3. Simülasyon modellerinin sınıflandırılması	16
Şekil 4.1. Komponentlerin yarı mamul depodan montaja gönderimine ilişkin model görüntüsü	23
Şekil 4.2. Astar boya istasyonuna ilişkin kalite kontrol süreci model görüntüsü	24
Şekil 4.3. Simülasyon modeline ait akış şeması	25
Şekil 4.4. İki adet dişli kutusu üretimine ilişkin gantt çizelgesi	30
Şekil 4.5. Kaynak kullanım oranları	31
Şekil 5.1. MD maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı	35
Şekil 5.2. SN1 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı	35
Şekil 5.3. SN2 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı	35
Şekil 5.4. SN3 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı	35
Şekil 5.5. SN4 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı	36
Şekil 5.6. SN5 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı	36
Şekil 5.7. SN6 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı	36

TABLÖLER DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. AHS ikili karşılaştırma ölçeği	12
Tablo 3.2. Kriter sayısına göre <i>RI</i> değerleri	13
Tablo 4.1. İkili karşılaştırma matrisi	19
Tablo 4.2. Kriter ağırlıkları	19
Tablo 4.3. Karar matrisi	20
Tablo 4.4. Normalize karar matrisi	20
Tablo 4.5. Ağırlıklı normalize karar matrisi	20
Tablo 4.6. Pozitif ve negatif ideal çözümler	20
Tablo 4.7. Alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlıkları	21
Tablo 4.8. Dişli kutusu bileşenleri	22
Tablo 4.9. Dişli kutusu üretiminde yer alan iş istasyonları	23
Tablo 4.10. Dişli kutusu bileşenlerinin işlem sıraları	23
Tablo 4.11. Dişli kutusu bileşenlerinin işlem süreleri (dk)	27
Tablo 4.12. Dişli kutusu bileşenlerinin tamamlanma zamanları	29
Tablo 4.13. Dişli kutularının montaj ve boyanma süreleri	29
Tablo 4.14. Alternatif senaryolara ilişkin kısaltmalar	32
Tablo 4.15. Simülasyon modellerine ilişkin hesaplamalı analiz sonuçları	33
Tablo 4.16. Alternatif senaryolara ilişkin mali analiz	33
Tablo 5.1. Maksimum tamamlanma zamanı için oluşturulan %95 güven aralığı değerleri	34
Tablo 5.2. Maksimum tamamlanma zamanı için eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları	38

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	III
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
TABLolar DİZİNİ	VI
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

DİŞLİ KUTULARI VE ENDÜSTRİYEL VANALARDA KULLANIMI	3
1.1. Dişli Kutusu	3
1.2. Endüstriyel Vanalarda Dişli Kutusu Kullanımı	5

İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
-----------------------	---

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KULLANILAN YÖNTEMLER	10
3.1. Çok Kriterli Karar Verme	10
3.2. Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi	11
3.3. TOPSIS Yöntemi	13
3.4. Simülasyon Modelleme	15

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

UYGULAMA	18
4.1. AHS ve TOPSIS Yöntemi ile Dişli Kutusu Seçimi	18
4.2. Dişli Kutusu İmalat Sürecinin Simülasyon ile Modellenmesi	21
4.3. Modelin Doğrulanması	25
4.4. Darboğaz İstasyonunun Belirlenmesi ve Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi	30
4.5. Hesaplamalı Analizler	32

BEŞİNCİ BÖLÜM	
ARAŞTIRMA BUĞLULARI	34
5.1.Güven Aralığı Tahminlemesi	34
5.2.Eşleştirilmiş Örneklem t-Testi ile Modellerin Karşılaştırılması	36
ALTINCI BÖLÜM	
SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	40
EKLER	44
EK A. Mevcut Dişli Kutusu Üretimi Simülasyon Modeline Ait Mod. Dosyası	44
EK B. Mevcut Dişli Kutusu Üretimi Simülasyon Modeline Ait Exp. Dosyası	54

GİRİŞ

Endüstriyel vanalar, birçok farklı endüstriyel alanda sıvıların, gazların ve buharların akışını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bu vanalar, sistemlerde akışkanların yönünü değiştirme, debi kontrolü sağlama, basınç dengeleme ve akışkanların güvenli bir şekilde yönetilmesini temin etme işlevi görmektedir. Endüstriyel vanaların güvenilir ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için ise sızdırmazlık, yüksek sıcaklık ve basınca karşı dayanıklılık, korozyon ve aşınma direnci gibi bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir [1].

Endüstriyel vanalarda; boyut, kullanım koşulları ve kontrol gereksinimlerine bağlı olarak dişli kutusu veya otomatik çalışma düzeneği olan mekanik yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Dişli kutusu, vananın manuel olarak açılıp kapatılmasını sağlayan bir mekanizmadır. Özellikle yüksek tork gerektiren uygulamalarda, büyük ve ağır endüstriyel vanaların kullanıldığı durumlarda ve yüksek sıcaklık/basınç gibi zorlu çalışma koşullarında önemli bir rol oynamaktadır.

Dişli kutularının tasarım ve imalat süreçleri kullanım yeri ve amacına göre farklılık göstermektedir. Ancak, genel olarak malzeme seçimi, tasarım, üretim, montaj ve test aşamalarını içermektedir. Her aşama, dişli kutusunun dayanıklılığını, verimliliğini ve güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Üretilen ürünlerin yüksek dayanıklılık, korozyon ortamlara karşı direnç, sızdırmazlık, verimli tork iletimi, yüksek sıcaklık ve şok yüklerine dayanıklılık gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir. Dolayısıyla, dişli kutusu üretiminde kalite, maliyet ve zaman unsurları dikkate alınmalı ve müşteri beklentileri karşılanmalıdır.

Günümüzde yoğun rekabetin yaşandığı endüstriyel pazarlarda, müşteri memnuniyetini sağlamak sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmede büyük rol oynamaktadır. Öte yandan, müşteri beklentileri hızla artmakta ve işletmeler bu beklentileri sınırlı kaynaklar ile karşılamaya çalışmaktadır. Bu sebeple, işletmeler imalat süreçlerini gözden geçirerek üretim verimliliğini artıracak, maliyetleri düşürecek ve kaliteyi iyileştirecek çalışmalar gerçekleştirmelidir. Süreç iyileştirme çalışmalarının potansiyel etkilerinin öngörülmesinde ise simülasyon oldukça güçlü bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır [2]. Gerçek sistem üzerinde denenmesi maliyetli ve

zaman alıcı olan birçok alternatif, sistemin dijital kopyası üzerinde kolaylıkla denenmektedir. Böylece, riskler azaltılmakta, zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmakta ve veri temelli kararlar verilmektedir.

Tüm bu bilgiler ışığında, bu çalışmada endüstriyel vana üreticisi bir firmada dişli kutusu imalat sürecinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda öncelikle farklı ebat ve işlevdeki dişli kutularından yüksek öneme sahip olan dişli kutusu analitik hiyerarşi süreci (AHS) ve TOPSIS yöntemleri ile belirlenmiştir. Ardından, belirlenen dişli kutusunun mevcut üretim süreci ARENA yazılımı üzerinde simüle edilerek darboğaz oluşturan istasyon tespit edilmiştir. Darboğaz probleminin giderilmesine yönelik olarak yeni tezgah yatırımı yapma ve yeni bir fason üretici ile çalışma alternatifleri oluşturulmuştur. Oluşturulan alternatiflere ilişkin simülasyon modelleri geliştirilmiş ve alternatif senaryolar üretim adetleri, kalite oranları, maksimum tamamlanma zamanı ve kar açısından karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, dişli kutuları ve bunların endüstriyel vanalarda kullanımı hakkında genel bilgiler sunulmuştur. İkinci bölümde dişli kutusu tasarımı ve süreç iyileştirme çalışmalarında simülasyon kullanımı üzerine yapılan çalışmaların incelendiği literatür araştırması bulunmaktadır. Üçüncü bölümde dişli kutusu seçiminde kullanılan AHS ve TOPSIS yöntemleri ile dişli kutusu imalat süreçlerinin analizinde kullanılan simülasyon modelleme tekniği hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölüm uygulama bölümüdür. Burada mevcut dişli kutusu imalat süreci ve alternatif senaryolara ilişkin oluşturulan simülasyon modellerine ve model çıktılarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde model çıktılarına yönelik olarak yapılan istatistiksel analizler sunulmuştur. Altıncı bölümde, çalışma sonucunda elde edilen bulguların değerlendirilmesi yapılmış ve ileri araştırma öneriler sunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

DİŞLİ KUTULARI VE ENDÜSTRİYEL VANALARDA KULLANIMI

Çalışmanın bu bölümünde dişli kutuları (redüktörler) ve dişli kutularının endüstriyel vanalarda kullanımı hakkında genel bilgilere yer verilmiştir.

1.1. Dişli Kutusu

Dişli kutuları, otomobillerde, rüzgar türbinlerinde, gemilerde, inşaat makinelerinde ve endüstriyel vana vb. mekanik yapılarda yaygın olarak kullanılan temel iletim sistemleridir. Mekanik güç iletimini sağlayan dişli kutuları, makine ve makine sistemlerinin önemli bir parçası olarak görülmektedir. Dişli kutuları, genellikle bir makinede, araçta veya endüstriyel ekipmanda tork, hız ve yön değişiklikleri yapmak için kullanılmaktadır [3, 4].

Endüstriyel ürünlerde farklı çeşitlerde dişli kutuları kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Sonsuz Dişli Dişli Kutusu
- Eş Eksenli Dişli Kutusu
- Paralel Şaftlı Dişli Kutusu
- Konik Dişli Dişli Kutusu
- Sonsuz Helisel Dişli Dişli Kutusu
- Şaft Montajlı Dişli Kutusu
- Yatık Tip-Ağır Sanayi Dişli Kutusu
- Planet Dişli Kutusu

Dişli kutusu tipi seçimi, çoğu zaman dişli kutusunun kullanılacağı ürünün geometrik yapısı ile ilgilidir. Örneğin, eğer paralel eksenli dişli yapısı isteniyorsa, düz ve helisel yapıdaki dişli kutusu seçilir. Eğer dik açılı dişlilerin olduğu yapı isteniyorsa, konik veya sonsuz dişli yapılı dişli kutuları kullanılabilir [5].

Dişli kutusu temel olarak dişli çarklar, şaftlar, rulman ve yataklar vb. bileşenlerden oluşmaktadır. Bu temel bileşenlerin görevleri ise şöyledir:

- **Dişli Çarklar:** Dişli kutusunun ana bileşenidir. Farklı boyutlardaki dişliler bir arada çalışarak güç ve hareketi iletir.
- **Şaftlar:** Dişliler arasında tork iletimi sağlayan bileşenlerdir. Çoğu dişli kutusunda en az bir giriş ve bir çıkış şaftı bulunur.
- **Rulman ve Yataklar:** Dişli kutusunun içindeki dişlilerin düzgün bir şekilde dönmesini sağlar ve aşınmalarını önler.
- **Kasa:** Dişli kutusunun içindeki tüm bileşenlerini koruyan dış yüzeydir. Genellikle metalden yapılır.
- **Yağlama Sistemi:** Dişlilerin ve diğer hareketli parçaların düzgün çalışması için kullanılan yağlama mekanizmasıdır. Sürtünmeyi azaltır ve aşınmayı engeller.
- **Sızdırmazlık Elemanları:** Dişli kutusunun dışına yağ sızıntılarını engellemek için kullanılan elemanlardır.
- **Fren ve Kilitleme Sistemleri:** Dişli kutusunda sabit ve kontrollü bir duruş için kullanılan fren sistemleridir.

Dişli kutularının ana bileşeni olan dişli çarklar, iki mil arasında moment ve hareket ileten makine elemanı olarak tanımlanmaktadır. En az iki dişlinin birlikte çalışması ile oluşan sisteme ise dişli çark mekanizması denilmektedir. Dişli çark mekanizmaları millerin konumlarına göre paralel, kesişen ve aykırı olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar [6].

- **Paralel eksenli dişli çarklar:** İki dişli çarkın paralel eksenler üzerinde yer aldığı bir dişli türüdür. Şekil 1.1’de gösterilen düz dişli çarklar bu gruba örnek verilebilir.



Şekil 1.1. Düz dişli çark gösterimi [6]

- **Kesişen konik dişli çarklar:** Eksenleri aynı düzlem üzerindeki kesişen iki mil arasında hareket ileten dişlilerdir. Şekil 1.2’de verilen düz konik dişli çarklar bu gruba örnek gösterilebilir.



Şekil 1.2. Konik dişli çark gösterimi [6]

- **Aykırı miller:** Eksenleri aynı düzlemde olmayan miller arasında hareket ileten dişli mekanizmalarıdır. Şekil 1.3’de gösterilen sonsuz vida mekanizmalı dişliler bu grupta yer almaktadır.

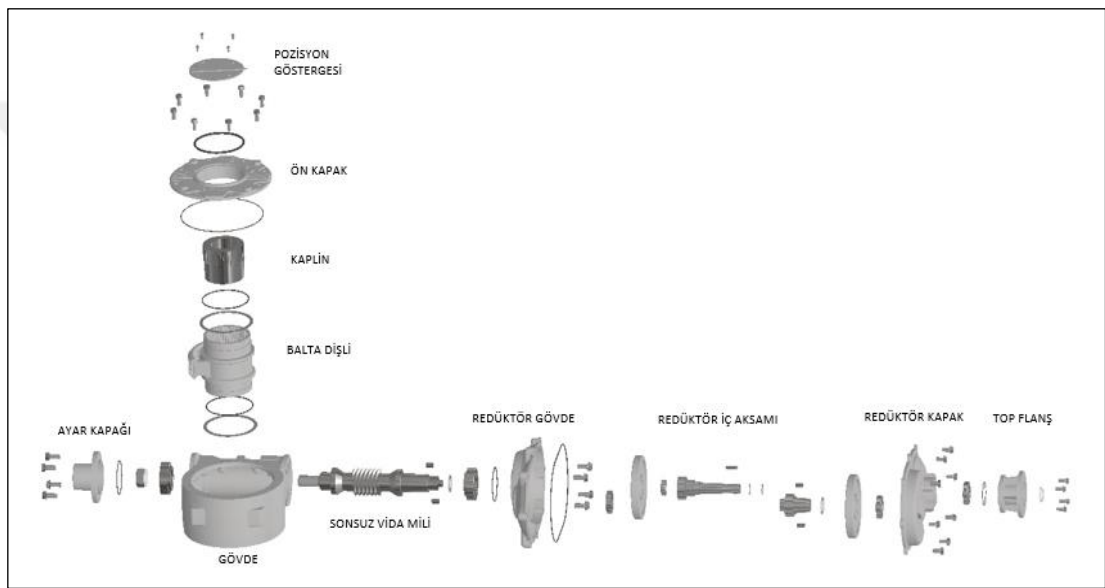


Şekil 1.3. Sonsuz vida mekanizmalı dişlileri gösterimi [6]

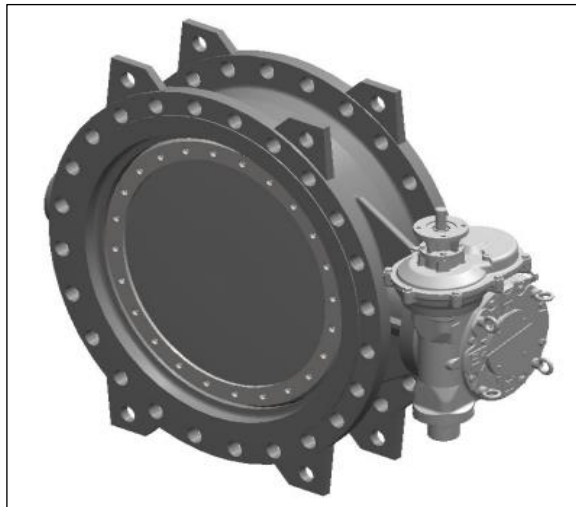
1.2. Endüstriyel Vanalarda Dişli Kutusu Kullanımı

Endüstriyel vanaların açılıp kapanması genellikle yüksek tork gerektirmektedir ve bu tork değeri bir insanın uygulayabileceği kuvvetin oldukça üzerindedir. Dolayısıyla, tork ve güç aktarımını sağlamak amacıyla bu vanalarda dişli kutusu kullanılması gerekmektedir. Böylece daha küçük kuvvet uygulayarak yüksek tork gereksinimini karşılanabilmektedir. Öte yandan, vanalarda kullanılan dişli kutuları vana türlerine göre farklılık göstermektedir. Dişli kutularının seçiminde vana boyutu, kullanılan malzeme, tork gereksinimi ve çalışma koşulları rol oynamaktadır. Örneğin, kelebek vanalarda worm tipi dişli kutusu kullanılmaktadır ve bu dişli kutusu vananın açma-kapama hareketini sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, kelebek vanalarda kullanılan ve yaklaşık 91570 Nm torku karşılayabilecek dişli kutusu ele alınmıştır. Bu dişli kutusu, Şekil 1.4'te gösterildiği gibi on dört farklı bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler şunlardır; pozisyon göstergesi, ön kapak, kaplin, balta dişli, ayar kapağı, sonsuz vida mili, redüktör gövde, redüktör kapak, top flanş, taban burcu, helis düz alt dişli, helis düz üst dişli, pinyonlu, pinyon. Dişli kutusu, kelebek vananın tahrik kısmındaki mil tarafına Şekil 1.5'de görüldüğü gibi monte edilmekte ve bu milin çevrilmesini sağlamaktadır. Bu şekilde klape açılıp kapanabilmektedir.



Şekil 1.4. Dişli kutusu bileşenleri



Şekil 1.5. Dişli kutusunun kelebek vana üzerine monte edilmesi

İKİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dişli kutuları, mekanik sistemlerde hızı ve torku değiştirmek için kullanılan dişli sistemleridir. Dişli kutuları birçok endüstri için kritik öneme sahip olup, otomobiller, endüstriyel makineler, rüzgar türbinleri gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Dişli kutularına yönelik olarak yürütülen bilimsel çalışmaların daha çok dişli kutularının tasarım ve analizi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Örneğin, Kabra [7] planet dişli kutularında diş boşluğunu etkileyen parametrelerin belirlenmesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada montaj sürecinin hızlandırılması ve reddedilen ürün sayısının azaltılması hedeflenmiştir. Dalbiçer [8], dişli kutularındaki titreşim ve gürültü faktörlerini ele alarak titreşimi azaltacak gövde tasarımı üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bir başka çalışmada, Mousavi [9] rüzgar türbinlerinde kullanılabilecek yeni bir manyetik dişli konfigürasyonu üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Suresh vd. [10], bilyalı değirmende kullanılan dişli kutusunun tasarımı üzerine bir simülasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Mujiburrahman vd. [11] ise dişli kutusu gövdesi malzeme seçimine ilişkin bir simülasyon çalışması yürütmüşlerdir. Çalışmada, dişli kutusu gövde derinliği ve gövde kalınlığı gibi parametreler ele alınarak gerilme ve deformasyon dereceleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Diğer bir çalışmada, Kishore vd. [12] tek kademeli redüksiyon dişli kutusunun tasarımına yönelik olarak bir simülasyon çalışması yürütmüşlerdir. Çalışmada dişlilerin, millerin, şanzıman gövdelerinin tasarımı ve rulman seçimi üzerinde durulmuştur. Brecher vd. [13] ise konik dişlilerin optimizasyonu üzerine bir simülasyon çalışması yapmış ve çalışmalarında tonalitenin azaltılması amaçlanmıştır. Kumar vd. [14] ise malzemeden tasarruf ederek dişli kutusu ağırlığını azaltmayı amaçlamış ve bu doğrultuda bir tasarım çalışması gerçekleştirmişlerdir. Başka bir çalışmada Zeyveli vd. [15], dişli kutularında malzeme ve kutu hacmini minimize edecek dişli kutusu tasarımı üzerine bir araştırma yürütülmüştür. Oluşturulan tasarımlara ilişkin gerilme ve mukavemet değerleri çalışmada ayrıca incelenmiştir.

Yukarıda yer alan çalışmalara ek olarak, bazı araştırmacılar dişli kutularına yönelik arıza tespiti ve arızaların azaltılması üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Örneğin, Pandey [16] kömür pülverizatörü dişli kutusunun erken arızalanması konusunda bir inceleme yapmıştır. Çalışma sonucunda dişli kutusu ömrünün fileto kökünün yerel olarak sertleştirilmesi sayesinde artırılabilceği ortaya konmuştur. Bir diğer çalışmada, Saravanan vd. [17] dişli kutusu sistemine ilişkin titreşim verilerinden faydalanmış ve konik dişli kutularında arıza tespitine yönelik bir model oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, çalışmada yapay sinir ağları ve destek vektör makineleri yöntemlerini kullanmışlardır. Benzer şekilde Kalay [18], düz dişli çark çiftlerinde meydana gelen diş dibi çatlağı hasarının erken teşhisine yönelik olarak titreşim verisini esas alan evrimsel sinir ağları modeli önermiştir.

Bu tez çalışmasında dişli kutusu imalat süreçlerinin simülasyon modelleme ile analiz edilmesi ve iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak, dişli kutularına yönelik olarak yürütülen literatür araştırmasında hem dişli kutusu imalat sürecini ele alan hem de simülasyon modelleme kullanan çalışmalara rastlanmamıştır. Bu sebeple, üretimde süreç iyileştirme ve simülasyon modelleme konularını birlikte ele alan bilimsel araştırmalar ayrıca incelenmiştir. Yapılan incelemede, ilgili çalışmalarda daha çok darboğaz tespiti, üretim verimliliği ve kaynak kullanım etkinliğinin artırılması, imalat süreçlerinin azaltılması gibi konulara ağırlık verildiği görülmüştür. Örneğin, Özcan ve Yıldırak [19] ambalaj sektöründe faaliyet gösteren bir firmada ara stoklar ve darboğazların analizine yönelik olarak bir simülasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çevrim süresinin azaltılması, üretim adedinin artırılması ve kaynak kullanım oranlarının yükseltilmesi amaçlanmıştır. Bir başka çalışmada, Sütçü vd. [20] mobilya imalatı yapan bir firmada üretim süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik olarak bir simülasyon çalışması yürütmüşlerdir. Çalışma kapsamında, darboğazlar tespit edilmiş, yeniden organizasyon tedbirleri uygulanmış ve buna bağlı olarak verimlilik artışı, çevrim süresinde düşüş ve kapasite kullanım oranında iyileşme sağlanmıştır. Sundararajan ve Terkar [21] ise bağlantı elemanı üretimi yapan bir firmada kalite ve üretkenliği artırmaya yönelik olarak bir süreç iyileştirme çalışması gerçekleştirilmişlerdir. Çalışmada simülasyon modelleme kullanılarak süreçteki verimsizlikler saptanmış ve iyileştirme çalışmaları yürütülmüştür. Moratto vd. [22] yatak üretimi yapan bir firmada üretim sürecini incelemek ve iyileştirmek adına simülasyon modellemeyi kullanmışlardır. Üretim sürecine ilişkin taşıyıcı sayısının

artırılması vb. çeşitli önerilerde bulunarak üretkenliğin artırılmasını ve taleplerin karşılanmasını sağlamışlardır. Diğer bir çalışmada, Krishnan vd. [23] lastik üretimi yapan bir firmada darboğazları ve katma değer sağlamayan faaliyetleri tespit ederek üretkenliği artırmak amacıyla bir simülasyon çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda çeşitli iyileştirme önerileri geliştirmiş ve hem çıktı miktarında hem işlem sürelerinde iyileşme sağlamışlardır. Benzer bir çalışmada, Neeraj vd. [24] alüminyum fren braketleri üretimi yapan bir şirkette darboğazları tespit etmek ve işgücü gereksinimlerini belirlemek amacıyla bir simülasyon çalışması yapmışlardır. Önerilen iyileştirme çalışmalarına ilişkin model sonuçları değerlendirildiğinde üretkenliğin arttığı, işgücü gereksiniminin ise azaldığı görülmüştür. Cihangir vd. [25] ise yine darboğazların tespit edilmesi ve iyileştirilmesini amaçlayarak elektrik motoru üreten bir firmada simülasyon çalışması yürütmüşlerdir. Çalışmada, kaynak kullanım oranlarının artırılması edilmesi ve stok maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir.

Tüm bu bilgiler ışığında, bu tez çalışmasında endüstriyel vana üreticisi bir firmada gerçekleştirilen dişli kutusu üretimine ilişkin imalat sürecinin simülasyon modelleme ile analiz edilmesi ve iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, öncelikle hangi dişli kutusu modeli üzerinde çalışılacağına AHS ve TOPSIS yöntemleri ile karar verilmiş, ardından seçilen dişli kutusuna ilişkin mevcut imalat süreci simüle edilmiş ve darboğaz istasyonları belirlenmiştir. Daha sonra darboğaz probleminin çözümüne yönelik olarak çözüm alternatifleri sunulmuş ve bunların etkinliği simülasyon modelleme ile değerlendirilmiştir. Çalışmada performans ölçütü olarak ise maksimum tamamlanma zamanı, üretim adetleri ve kar dikkate alınarak mevcut durum ile alternatif çözümler karşılaştırılmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu bölümde, çalışmada kullanılan yöntemler hakkında genel bir bilgi sunulmuştur. Öncelikle dışlı kutusu seçiminde kullanılan ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi açıklanmıştır. Ardından, dışlı kutusu imalat sürecinin analizinde kullanılan simülasyon modelleme hakkında temel bilgiler sunulmuştur.

3.1. Çok Kriterli Karar Verme

Karar vericiler, birden fazla seçeneğe sahip oldukları durumda, kendileri için en avantajlı olan seçeneği seçmek istemektedirler. Bu seçimin yapılmasında ise çoğu zaman önceden belirlenmiş kriterler gözetilmektedir. Birden fazla kriterin dikkate alındığı ve bu kriterlerin farklı ağırlıklarla karar sürecini etkilediği karar verme problemine çok kriterli karar verme denmektedir [26]. Çok kriterli karar verme süreçlerinde genellikle şu adımlar izlenmektedir [27]:

- 1. Karar Alternatiflerinin Belirlenmesi:** Karar vericinin değerlendireceği farklı seçenekler veya alternatifler belirlenir.
- 2. Kriterlerin Belirlenmesi:** Karar vericinin alternatifleri değerlendirmede kullanacağı farklı faktörler veya kriterler tanımlanır.
- 3. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi:** Kriterlerin önem dereceleri belirlenir. Bu ağırlıklar, her bir kriterin karar üzerindeki etkisini gösterir.
- 4. Alternatiflerin Değerlendirilmesi:** Her bir alternatif, belirlenen kriterlere göre değerlendirilir.
- 5. Sonuçların Analizi ve Karar Verme:** Tüm alternatifler, kriterlere göre değerlendirilir, sıralanır ve en iyi seçenek seçilir.

Çok kriterli karar verme problemleri seçim, sınıflandırma ve sıralama problemleri olmak üzere üç ayrı grupta değerlendirilmektedir. Seçim problemlerinde, alternatifler arasından en faydalı olanın hangisi olduğuna karar verilir. Sınıflama problemlerinde farklı seçenekler gruplandırılırken, sıralama problemlerinde ise alternatifler arasında sıralama işlemi yapılmaktadır.

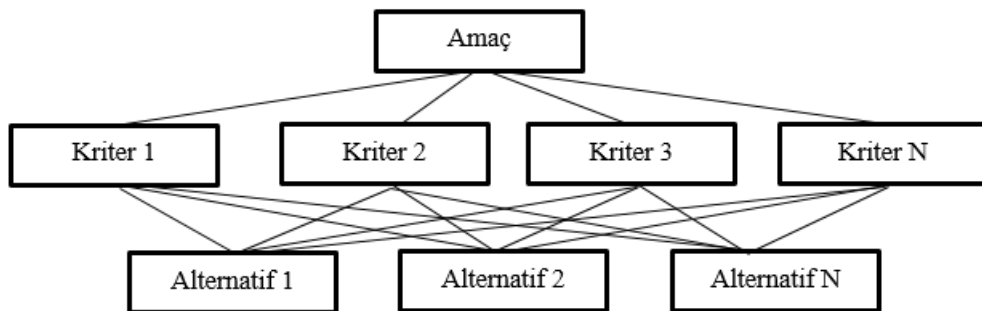
Çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. Burada, karar probleminin yapısına ve karar sürecinin özelliklerine bakılarak hangi yöntemin kullanılacağına karar verilmelidir. Çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan yöntemlerin bir kısmı Şekil 3.1’de sunulmuştur.

Seçim Problemleri	Sınıflama Problemleri	Sıralama Problemleri
•AHP •ANP •MAUT/UTA •MACBETH •PROMETHEE •ELECTRE I •TOPSIS •Hedef Programlama	•AHP •ANP •MAUT/UTA •MACBETH •PROMETHEE •ELECTRE III •TOPSIS	•AHPSoft •UTADIS •FlowSort •ELECTRE-Tri

Şekil 3.1. Çok kriterli karar verme problemleri ve kullanılan teknikler [28]

3.2. Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi

Analitik hiyerarşi süreci, nicel ve nitel kriterlerin yer aldığı karmaşık karar problemlerini çözmek için Saaty [29, 30] tarafından geliştirilmiş bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Bu yöntem, Şekil 3.2’de görüldüğü gibi karar problemini amaç, kriterler ve alternatifler şeklinde seviyelerden oluşan hiyerarşik bir yapıda ele almaktadır. Yöntemin temelini ise ikili karşılaştırmalar oluşturmaktadır. Karar hiyerarşisinde yer alan elemanlar bir üst seviyedeki elemana göre ikili olarak karşılaştırılmakta ve bunun sonucunda kriter ağırlıkları ve alternatiflerin önem sıralaması belirlenmektedir. İkili karşılaştırmalar ise Tablo 3.1’de verilen ölçek baz alınarak yürütülmekte ve bir elemanın diğerine göre ne derece önemli olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 3.2. AHS karar hiyerarşisi

Tablo 3.1. AHS ikili karşılaştırma ölçeği

Önem değeri	Tanım
1	Eşit düzeyde önemli
3	Biraz daha önemli
5	Oldukça önemli
7	Çok önemli
9	Son derece önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Öte yandan, AHS çok kriterli karar verme problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu kapsamda, belirlenen kriterler öncelikle Tablo 3.1’de verilen ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak ikili olarak kıyaslanmakta ve eşitlik (3.1) ile ifade edilen ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmaktadır. Burada, n kriter sayısını, a_{ij} ise i . kriterin j . kritere göre önem düzeyini ifade etmektedir. Köşegen üzerinde yer alan elemanlar 1 değerini alırken, a_{ji} değerleri ise $1/a_{ij}$ şeklinde hesaplanmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

İkili karşılaştırma matrisinin elde edilmesinin ardından, eşitlik (3.2)’de verilen formül kullanılarak matristeki her eleman kendi sütun toplamına bölünmekte ve matris normalize edilmektedir. Burada, a'_{ij} normalize edilmiş a_{ij} değerlerini ifade etmektedir.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3.2)$$

Bir sonraki adımda, normalize matrisin satır toplamları eşitlik (3.3) ile ifade edildiği gibi kriter sayısına bölünmekte ve kriterlerin yüzde önemleri (w_i) hesaplanmaktadır.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n a'_{ij}}{n} \quad (3.3)$$

Kriter ağırlıklarının elde edilmesinin ardından, ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı değerlendirilmektedir. Bunun için öncelikle eşitlik (3.4) kullanılarak tutarlılık indeksi

(CI) hesaplanmaktadır. Burada yer alan $\lambda_{\max}$ değeri ise eşitlik (3.5) ile elde edilmektedir.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.4)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (3.5)$$

Tutarlılık indeksi hesaplandıktan sonra son olarak tutarlılık oranı (CR) eşitlik (3.6)'da verilen formül ile hesaplanmaktadır. Formülde yer alan RI rassal indeks değerini ifade etmektedir ve matris boyutuna (kriter sayısına) bağlı olarak Tablo 3.2'de verilen şekilde değer almaktadır. CR değerinin 0.10'dan küçük çıkması ise karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu göstermektedir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.6)$$

Tablo 3.2. Kriter sayısına göre RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3.3. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, alternatiflerin pozitif ideal çözüm (en iyi çözüm) ve negatif ideal çözüme (en kötü çözüm) uzaklıklarını baz alarak, pozitif ideal çözüme en yakın olan alternatif en iyi alternatif olarak kabul etmektedir. TOPSIS yönteminin adımları şu şekildedir [31]:

- **Alternatifler ve Kriterlerin Belirlenmesi:** Öncelikle, ele alınan karar problemine ilişkin alternatifler ve bu alternatifleri değerlendirmede kullanılacak kriterler belirlenir.
- **Karar Matrisinin Oluşturulması:** Alternatiflerin her bir kriterden aldığı değerleri ifade eden $m \times n$ boyutlu matris eşitlik (3.7)'deki gibi oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Burada m alternatif sayısını, n kriter sayısını, x_{ij} ise i alternatifinin j kriterinden aldığı değeri ifade etmektedir.

- **Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması:** Farklı kriterlerin farklı birimleri olabileceğinden, karar matrisinde yer alan değerler normalize edilir. Normalizasyon işlemi eşitlik (3.8)'de yer alan formül kullanılarak gerçekleştirilir. Burada r_{ij} normalize edilmiş değerleri ifade etmektedir.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (3.8)$$

- **Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması:** Kriterlerin önem ağırlıkları dikkate alınarak normalize karar matrisi ağırlıklandırılır. Bu işlem için eşitlik (3.9)'da yer alan formül kullanılır.

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (3.9)$$

Burada v_{ij} ağırlıklı normalize değerleri, w_j ise j kriterinin ağırlığını ifade etmektedir. Kriter ağırlıklarının toplamının 1 olması gerekmektedir.

- **Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Belirlenmesi:** Ağırlıklı normalize karar matrisi elde edildikten sonra, problemin içeriğine göre pozitif ve negatif ideal çözümlere karar verilir. Pozitif ideal çözüm (A^*), maliyet kriterlerini minimum yapan ve fayda kriterlerini maksimum yapan çözümdür. Negatif ideal çözüm (A^-) ise maliyet kriterlerini maksimum, fayda kriterlerini minimum yapan çözümdür.
- **Alternatiflerin Pozitif ve Negatif İdeal Çözüme Uzaklıklarının Hesaplanması:** Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıkları sırasıyla eşitlik (3.10) ve eşitlik (3.11) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (3.10)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.11)$$

- **İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması:** Alternatiflerin, ideal çözüme olan göreli yakınlıkları eşitlik (3.12) yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (3.12)$$

Bu formülde yer alan C_i^* değeri, 0-1 arasında değer almakta ve her alternatifin ideal çözüme olan yakınlık derecesini göstermektedir. Yüksek bir C_i^* değeri, alternatifin ideal çözümle daha yakın olduğunu ifade etmektedir.

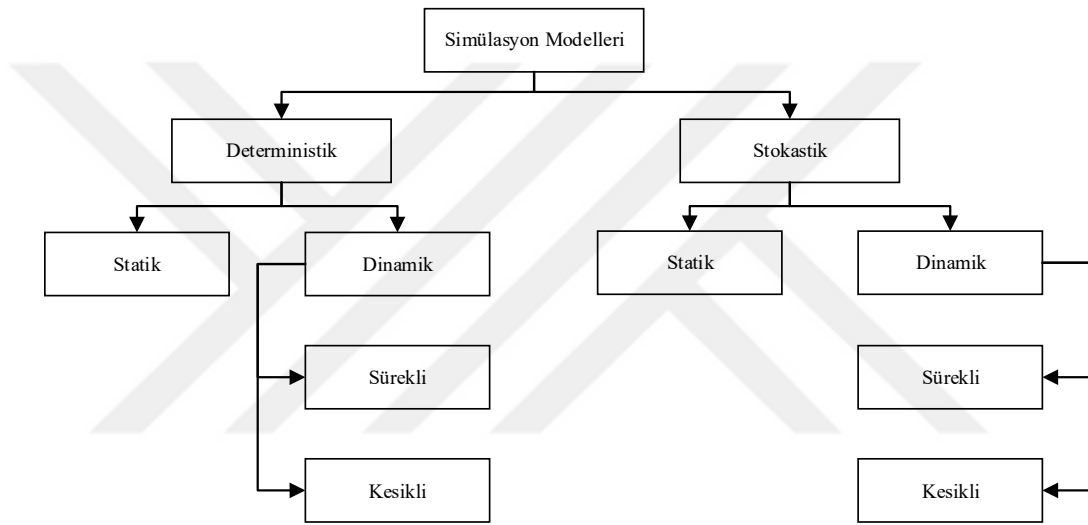
- **Alternatiflerin Sıralanması:** Son adımda, alternatifler, C_i^* değerlerine göre sıralanır ve en yüksek C_i^* değerine sahip olan alternatif en iyi seçenek olarak belirlenir.

3.4. Simülasyon Modelleme

Simülasyon modelleme, gerçek dünya sistemlerinin veya süreçlerinin matematiksel bir modelini oluşturarak, bu sistemlerin davranışlarını incelemeyi ve analiz etmeyi amaçlayan bir tekniktir. Bu yöntem, sistemlerin nasıl çalıştığını anlamak, kararlar almak ve çeşitli senaryoların olası sonuçlarını görmek için kullanılmaktadır.

Günümüzde tıp, askeriye, trafik, üretim, ulaştırma vb. pek çok alanda simülasyon modellemeden faydalanılmaktadır. Simülasyon modelleme, özellikle karmaşık ve dinamik sistemlerin anlaşılmasında oldukça başarılı olup bu sistemlerin yeniden tasarlanması ve iyileştirilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Üretim sistemleri ele alındığında, özellikle darboğaz tespiti ve işgücü, makine, taşıyıcı vb. üretim kaynaklarının kapasitelerinin belirlenmesi çalışmalarında simülasyon modelleme tekniğinin kullanıldığı görülmektedir [32, 33].

Simülasyon modelleri Şekil 3.3’de görüldüğü gibi sınıflandırılmaktadır [34]. Burada ifade edilen deterministik modeller, herhangi bir rassal değişken içermeyen modellerdir. Stokastik modeller ise en az bir tane rassal değişken içeren modelleri ifade etmektedir. Statik modeller, sistemin belirli bir andaki gösterimini ifade eden modellerdir. Dinamik modeller ise sistemin belirli bir aralık veya çalışma zamanını dikkate alarak oluşturulan modellerdir. Sürekli modeller, sistem durum değişkenlerinin sürekli olarak değiştiği modellerdir. Öte yandan kesikli modeller ise sistem durum değişkenlerinin zamanın sadece kesikli noktalarında değiştiği modelleri ifade etmektedir.



Şekil 3.3. Simülasyon modellerinin sınıflandırılması

Simülasyon modelleme çalışmalarında genellikle şu adımlar takip edilmektedir [35]:

- 1. Problemin Tanımlanması:** Simülasyon çalışmalarında ilk adım, simülasyonun amacının ve çözülmek istenen problemin net bir şekilde tanımlanmasıdır. Burada, modelin amacı, analiz edilecek sistemin sınırları, hedefler ve kısıtlamalar belirlenmektedir.
- 2. Sistem ve Süreçlerin Analizi:** Bu adımda, simüle edilecek sistemin yapısı, bileşenleri ve bunlar arasındaki etkileşimler incelenmektedir. Sistem hakkında daha fazla bilgi toplamak için mevcut veriler, gözlemler, uzman görüşleri ve önceki çalışmalar kullanılabilir.
- 3. Modelin Kurulması:** Gerçek sistemin matematiksel veya mantıksal bir temsilinin oluşturulması aşamasıdır. Burada model türü (stokastik, deterministik, statik, dinamik

vb.) belirlenmekte ve ayrıca simülasyon yöntemine (ajan tabanlı, sistem dinamiği, Monte Carlo vb.) karar verilmektedir.

4. Modelin Doğrulanması ve Gerçeklenmesi: Bu adımda modelin doğru çalışıp çalışmadığı (doğrulama) ve gerçek sistemle uyumlu olup olmadığı (gerçekleme) kontrol edilmektedir.

5. Modelin Çalıştırılması: Model oluşturulduktan sonra, simülasyon çalıştırılır. Bu adımda, belirli bir süre boyunca sistemin davranışı gözlemlenmekte ve model çıktıları elde edilmektedir. Farklı senaryolar ve parametre değerleri için çok sayıda deneme yapılarak sistemin genel davranışı hakkında bilgi edinilir.

6. Model Çıktılarının Analizi: Simülasyon çalıştırdıktan sonra elde edilen sonuçlar analiz edilmektedir. Bu aşamada, modelin simüle ettiği sistemin performansına dair veriler toplanır ve bu veriler üzerinden istatistiksel analizler gerçekleştirilir.

Simülasyon modelleme ile gerçek sistemin sanal ortamda bir kopyası oluşturulduğundan gerçek sistem üzerinde yapılması maliyetli, zaman alıcı, bazen de imkansız olan denemeler kolaylıkla yapılabilir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir. Öte yandan, karmaşık sistemlerin simülasyonu yüksek miktarda veri ve hesaplama gücü gerektirebilmektedir. Ayrıca, bazı durumlarda simülasyon modellerinin geliştirilmesi zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. Ek olarak simülasyon modellerinin oluşturulması derin bir bilgi ve beceri gerektirmektedir [36].

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde, öncelikle AHS ve TOPSIS yöntemleri ile dişli kutusu seçimi yapılmıştır. Daha sonra, seçilen dişli kutusuna ait mevcut imalat süreci ARENA yazılımı kullanılarak simüle edilmiş ve darboğaz tespiti yapılmıştır. Darboğaz probleminin çözümüne yönelik alternatif senaryolar belirlenmiş ve bunların etkisi araştırılmıştır.

4.1. AHS ve TOPSIS Yöntemleri ile Dişli Kutusu Seçimi

Firmada, kelebek vanalarda kullanılmak üzere dişli kutuları üretilmektedir. Vanalarda hangi dişli kutusunun kullanılacağı kelebek vananın çapı ve vana üzerine uygulanan tork değerine göre belirlenmektedir. Çalışma kapsamında, beş dişli kutusu alternatifi (DV5, DV6, DV7+, DV8, DV10) ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak beş kriter tanımlanmıştır. Ele alınan kriterler ve açıklamaları ise aşağıda verilmiştir.

- **Kapasite Kullanım Yüzdesi (F1):** Dişli kutusu üretiminde makine ve işgücü kaynaklarının kullanım oranını ifade etmektedir. Yüksek kapasite kullanımı gerektiren dişli kutuları firma için daha önemlidir.
- **Yıllık Ortalama İhtiyaç Miktarı (F2):** Yıllık ortalama ihtiyaç miktarı, yıllık olarak hangi dişli kutusundan ne kadar ihtiyaç duyulduğunu ifade etmektedir. Yıllık ihtiyaç miktarı yüksek olan dişli kutuları daha yüksek öneme sahiptir.
- **Dişli Kutusunun Kullanıldığı Ürün Çeşidi Sayısı (F3):** Aynı tip dişli kutuları farklı vana tiplerinde kullanılabilmektedir. Bir dişli kutusu ne kadar çok üründe kullanılıyorsa firma için o kadar önemlidir.
- **Dişli Kutusu Parça Tedarik Süresi (F4):** Dişli kutusu üretiminde kullanılan parçaların gün cinsinden tedarik süresini ifade etmektedir. Parça tedarik süresi uzun olan dişli kutuları firma için daha önemlidir.
- **Dişli Kutusu İmalat Süresi (F5):** Bu kriter, dişli kutusunun saat cinsinden imalat süresini ifade etmektedir. İmalat süresi uzun olan dişli kutuları, iyileştirme çalışmalarında öncelikli olarak ele alınmalıdır.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi, mevcut seçenekler arasından en iyisini seçmede oldukça önemli bir adımdır. Literatürde, AHS, uzman görüşü, oylama, entropi gibi birçok kriter ağırlıklandırma yöntemi bulunmaktadır [37]. Bu çalışmada, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHS yöntemi kullanılmış ve kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.1’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Ardından gerekli hesaplamalar yapılmış ve kriter ağırlıkları Tablo 4.2’de verilen şekilde elde edilmiştir. Belirlenen kriter ağırlıkları dikkate alındığında en önemli kriterin F1 (kapasite kullanım yüzdesi), en düşük öneme sahip kriterin ise F4 (dişli kutusu parça tedarik süresi) olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 4.1. İkili karşılaştırma matrisi

	F1	F2	F3	F4	F5
F1	1	2	3	4	3
F2	1/2	1	2	3	2
F3	1/3	1/2	1	3	2
F4	1/4	1/3	1/3	1	1/2
F5	1/3	1/2	1/2	2	1

Tablo 4.2. Kriter ağırlıkları

Kriter	F1	F2	F3	F4	F5
Önem ağırlığı (w_i)	0.40	0.24	0.17	0.07	0.12

Ayrıca, yapılan ikili karşılaştırmalara ilişkin tutarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. Bu kapsamda, λ_{max} değeri 5.065 olarak elde edilirken, CI değeri 0.016 ve CR değeri ise 0.014 olarak hesaplanmıştır. Buna göre, CR değeri 0.10’dan küçük olduğundan yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, dişli kutusu seçim problemine ilişkin karar matrisi ve normalize karar matrisi sırasıyla Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’te görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4.3. Karar matrisi

	F1	F2	F3	F4	F5
DV5	0.142	52	38	31	736
DV6	0.097	65	28	48	504
DV7+	0.203	63	40	49	1053
DV8	0.253	6	16	45	1313
DV10	0.305	4	2	15	1580

Tablo 4.4. Normalize karar matrisi

	F1	F2	F3	F4	F5
DV5	0.298	0.497	0.594	0.348	0.297
DV6	0.203	0.621	0.438	0.539	0.204
DV7+	0.425	0.602	0.626	0.551	0.425
DV8	0.530	0.057	0.250	0.506	0.531
DV10	0.639	0.038	0.031	0.169	0.638

Bir sonraki adımda, normalize karar matrisi kriter ağırlıkları ile çarpılmış ve ağırlıklı normalize karar matrisi Tablo 4.5’te görüldüğü gibi elde edilmiştir. Ardından, pozitif ve negatif ideal çözümler Tablo 4.6’daki gibi belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Ağırlıklı normalize karar matrisi

	F1	F2	F3	F4	F5
DV5	0.118	0.119	0.103	0.025	0.035
DV6	0.080	0.149	0.076	0.039	0.024
DV7+	0.168	0.144	0.108	0.040	0.051
DV8	0.210	0.014	0.043	0.037	0.063
DV10	0.253	0.009	0.005	0.012	0.076

Tablo 4.6. Pozitif ve negatif ideal çözümler

	F1	F2	F3	F4	F5
A^+	0.253	0.149	0.108	0.040	0.076
A^-	0.080	0.009	0.005	0.012	0.024

Son aşamada ise alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözüme uzaklıkları belirlenerek, ideal çözüme göreli yakınlıkları Tablo 4.7’de verilen şekilde elde edilmiştir.

Tablo 4.7. Alternatiflerin ideal çözüme göreli yakınlıkları

	S_i^*	S_i^-	C_i^*	Rank
DV5	0.145	0.153	0.513	2
DV6	0.183	0.159	0.465	5
DV7+	0.088	0.195	0.689	1
DV8	0.157	0.142	0.475	4
DV10	0.176	0.180	0.506	3

Tablo 4.7’de yer alan veriler incelendiğinde, süreç iyileştirme çalışmasında DV7+ dişli kutusunun öncelikli olarak ele alınması gerektiği görülmektedir. DV7+ dişli kutusunu, sırayla DV5, DV10, DV8 ve DV6 izlemektedir.

4.2. Dişli Kutusu İmalat Sürecinin Simülasyon ile Modellenmesi

Daha önce belirtildiği gibi, bu tez çalışmasında endüstriyel vana üreticisi bir firmanın ürün bileşenlerinden biri olan dişli kutusuna ilişkin imalat sürecinin analiz edilmesi ve iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, bir önceki bölümde belirlenen DV7+ dişli kutusunun mevcut imalat süreci ele alınmış ve sürece ilişkin simülasyon modeli Arena 14.0 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

DV7+ dişli kutusu, Tablo 4.8’de gösterilen 14 farklı bileşenin montajından oluşmaktadır. Dişli kutusunu oluşturan komponentler işlenmemiş olarak tedarik edildikten sonra ana depoya gelmekte, ardından boya, torna, diş açma vb. işlemlerden geçmektedir. Firma içinde gerçekleştirilemeyen operasyonlar için ise fason imalat kaynakları kullanılmaktadır. Yürütülen tüm bu işlemlere dair istasyon numaraları ve isimleri Tablo 4.9’da görüldüğü gibidir.

Tablo 4.8. Dişli kutusu bileşenleri

Komponent no	Komponent adı
1	Ana gövde
2	Balta dişli
3	Ön kapak
4	Ayar kapağı
5	Redüktör gövdesi
6	Redüktör kapağı
7	Sonsuz vida
8	Taban burcu
9	Helis düz alt
10	Helis düz üst
11	Pinyonlu
12	Pinyon
13	Top flans
14	Kaplin

Astar boya istasyonu (S2), dişli kutusu bileşenlerinin deformasyona uğramaması için, işlem öncesinde koruyucu bir madde ile kaplanması işleminin gerçekleştirildiği istasyondur. Parçaların bazı noktalarına fazla boya uygulanması, onları kullanılamaz duruma getirebilmektedir. Bu nedenle işlemin hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. CNC torna istasyonu (S3), dişli kutusu bileşenlerinin frezeleme vb. işlemlerden geçtiği istasyondur. Dik işlem istasyonunda (S4) delme ve frezeleme gibi işlemler gerçekleştirilmektedir. Borwerk istasyonunda (S5) sadece ana gövde parçası işlem görmektedir. Parça, boyutsal sebepler ve makine tablasının sahip olduğu eksenel hareket avantajı sebebiyle sadece bu tezgâhta işlenebilmektedir. You Jii 500 (S6) ile You Jii 1000 (S7), delme ve frezeleme gibi işlemlerin gerçekleştirildiği istasyonlardır. Öte yandan, firma içinde gerçekleştirilemeyen operasyonlar için parçalar fason üreticilere gönderilmektedir. Bu operasyonlar dişli kutu miline diş açma (S8), dişli işleme (S9) ve mil kaplama (S10) operasyonlarıdır. Diş açma işlemi, bir iş parçası üzerinde diş oluşturmak için malzemenin belirli bir kısmında yapılan talaş kaldırma işlemidir. Kaplama işlemi ise pinyon ve dişli mili gibi bileşenlerin kullanım ömrünü uzatmak amacıyla gerçekleştirilmektedir.

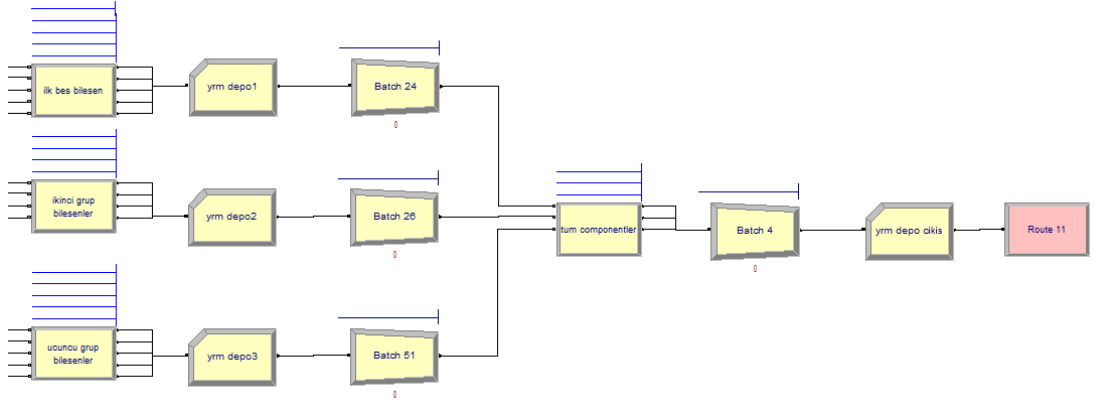
Tablo 4.9. Dişli kutusu üretiminde yer alan iş istasyonları

İstasyon no	İstasyon adı
S1	Ana depo
S2	Astar boya
S3	Cnc torna
S4	Dik işlem
S5	Borwerk tezgâhı
S6	You Jii 500
S7	You Jii 1000
S8	Diş açma fason
S9	Dişli işleme fason
S10	Kaplama fason
S11	Yarı mamul depo
S12	Montaj
S13	Boyahane

Her komponentin Tablo 4.10’da görüldüğü gibi farklı bir işlem rotası bulunmaktadır ve komponentler rotalarında yer alan işlemlerden geçerek montaja hazır hale gelmektedir. Montaja hazır hale gelen komponentler yarı mamul depoda (S11) toplanmakta ve tüm komponentler hazır olduğunda Şekil 4.1’de görüldüğü gibi setler halinde montaj istasyonuna (S12) gönderilmektedir. Hazırlanan setin içerisinde dişli kutusu montajı için ihtiyaç duyulan conta, cıvata, rulman, oring gibi malzemeler de bulunmakta ve eksiksiz olarak montaja iletilmektedir.

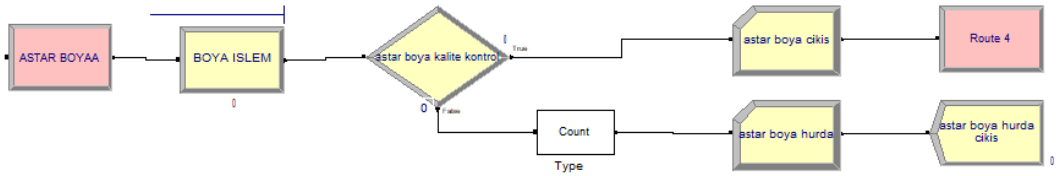
Tablo 4.10. Dişli kutusu bileşenlerinin işlem sıraları

Komponent adı	İşlem sırası
Ana gövde	S1-S2-S5-S11
Balta dişli	S1-S2-S6-S8-S11
Ön kapak	S1-S2-S7-S11
Ayar kapağı	S1-S2-S3-S4-S11
Redüktör gövdesi	S1-S2- S4-S11
Redüktör kapağı	S1-S2- S4-S11
Sonsuz vida	S1-S3-S8-S11
Taban burcu	S1-S3-S11
Helis düz alt	S1-S2-S3-S4-S8-S11
Helis düz üst	S1-S2-S3-S4-S8-S11
Pinyonlu	S1-S9-S8-S10-S11
Pinyon	S1-S3-S8-S11
Top flans	S1-S2-S3-S4-S11
Kaplin	S1-S6-S8-S11



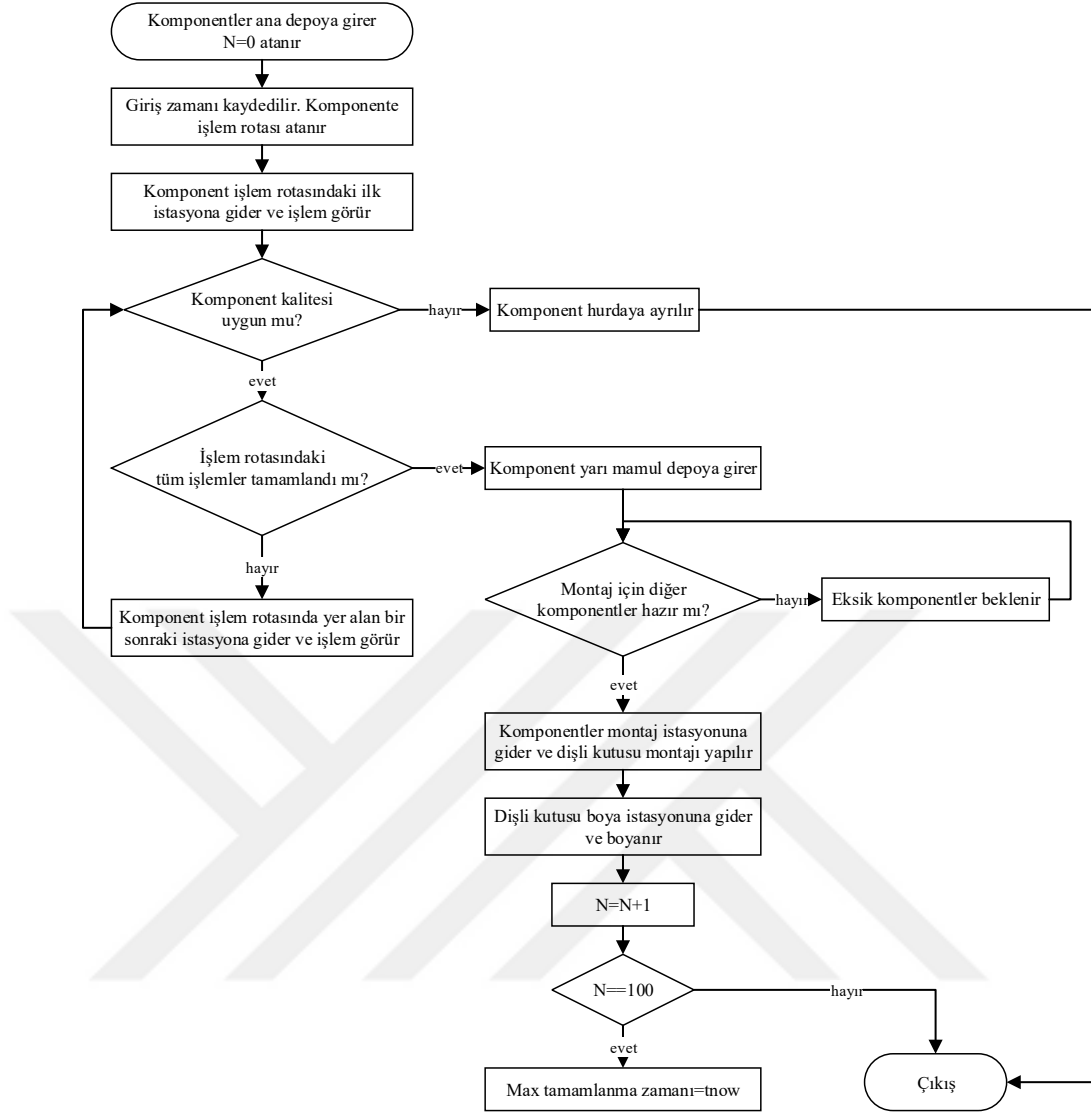
Şekil 4.1. Komponentlerin yarı mamul depodan montaja gönderimine ilişkin model görüntüsü

Montaj istasyonunda ise komponentlerin montajı yapılarak dişli kutuları elde edilmektedir. Montajı yapılan dişli kutuları son istasyon olan boyahane (S13) istasyonunda boyanmakta ve kullanıma hazır hale gelmektedir. Öte yandan, her işlem sonrasında komponentlerin kalitesi kontrol edilmekte ve kalite beklentilerini karşılamayan komponentler Şekil 4.2’de görüldüğü gibi hurdaya ayrılmaktadır.



Şekil 4.2. Astar boya istasyonuna ilişkin kalite kontrol süreci model görüntüsü

Ele alınan probleme dair performans ölçütü ise, maksimum tamamlanma zamanının minimizasyonu olarak belirlenmiştir ve yapılan hesaplamalı analizlerde 100 dişli kutusu montajının tamamlanma zamanı esas alınmıştır. Sürece ilişkin oluşturulan simülasyon modeline ait akış şeması Şekil 4.3’te sunulmuştur.



Şekil 4.3. Simülasyon modeline ait akış şeması

4.3. Modelin Doğrulanması

Simülasyon çalışmalarında, oluşturulan modelin doğru şekilde çalıştığını ve doğru sonuçlar ürettiğini ortaya koymak oldukça önemlidir. Bu doğrultuda, modele ilişkin izleme raporları incelenerek model akışının hatasız ilerleyip ilerlemediği araştırılmalıdır.

Model doğrulama çalışmaları kapsamında mevcut dişli kutusu üretim sürecine ilişkin oluşturulan simülasyon modeli 2 adet dişli kutusu üretmek üzere çalıştırılmıştır. Bunun öncesinde, işlem sürelerine ilişkin girdi analizi yapılmış ve ki-kare iyi uyum

testi ile işlem sürelerinin hangi dağılıma uyduğu belirlenmiştir. Ele alınan problemde işlem süreleri stokastik olup, Tablo 4.11’de görüldüğü gibi komponent bazında değişkenlik göstermektedir. İstasyonlara ilişkin kuyruk disiplinleri ise ilk giren ilk çıkar (fifo) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 2 adet dişli kutusunun üretimini sağlamak amacıyla, komponentlerde herhangi bir kalite problemi oluşmayacağı varsayılmıştır.

S1 (ana depo) ve S11 (yarı mamul depo) istasyonlarında herhangi bir işlem yapılmadığı için bu istasyonlara dair işlem süresi bulunmamaktadır. Öte yandan, komponentlerin montaj işlemine ilişkin işlem süresi NORM (150, 2); dişli kutusunun boyanmasına ilişkin işlem süresi ise NORM (5, 2) olarak belirlenmiştir.

İki adet dişli kutusunun üretimi için, $t=0$ anında sisteme her komponentten ikişer adet gönderilmiştir ve bu komponentlerin model içerisindeki ilerleyişi takip edilmiştir. Komponentlerin tamamlanma zamanları Tablo 4.12’de sunulmuştur. Komponentlerin istasyonlardaki işlenme sırasına ilişkin çizelge ise Şekil 4.4’te verilmiştir. Tablo 4.12’de verilen değerler incelendiğinde, en son tamamlanan komponentin helis düz üst olduğu ve dişli kutusu imalat süresi üzerinde bu komponentin tamamlanma zamanının belirleyici rol oynadığı ortaya çıkmıştır.

Tablo 4.11. Dişli kutusu bileşenlerinin işlem süreleri (dk)

Komponent	S2	S3	S4	S5
Ana gövde	$5+2.73*BETA(0.451,0.869)$			$295+18*BETA(0.829,0.847)$
Balta dişli	$5+2.73*BETA(0.451, 0.869)$			
Ön kapak	$5+2.73*BETA(0.451,0.869)$			
Ayar kapağı	$5 + 2.73 * BETA(0.451, 0.869)$	$36.5 + 9 * BETA(1.11, 1.32)$	$17.5 + WEIB(4.24, 1.88)$	
Redüktör gövdesi	$5 + 2.73 * BETA(0.451, 0.869)$		$48.5 + 10 * BETA(1.08, 1.23)$	
Redüktör kapağı	$5 + 2.73 * BETA(0.451, 0.869)$		$41.5 + 6 * BETA(1.51, 1.66)$	
Sonsuz vida		NORM (99.7, 2.75)		
Taban burcu		$15.5 + 5 * BETA(1.73, 1.47)$		
Helis düz alt	$5 + 2.73 * BETA(0.451, 0.869)$	NORM (60.4, 2.65)	NORM (15.2,1.31)	
Helis düz üst	$5 + 2.73 * BETA(0.451, 0.869)$	NORM (60.4, 2.65)	NORM (15.2,1.31)	
Pinyonlu				
Pinyon		$31.5 + 5 * BETA(1.74, 1.39)$		
Top flans	$5 + 2.73 * BETA(0.451, 0.869)$	TRIA (31.5, 35.5, 37.5)	TRIA (9.5, 15, 16.5)	
Kaplin				

Tablo 4.11. (Devamı)

Komponent	S6	S7	S8	S9	S10
Ana gövde					
Balta dişli	NORM (210,2.74)		475+16*BETA (0.623,0.353)		
Ön kapak		TRIA (92.5, 95, 98.5)			
Ayar kapağı					
Redüktör gövdesi					
Redüktör kapağı					
Sonsuz vida			350 + 21 * BETA (0.552,0.702)		
Taban burcu					
Helis düz alt			97.5 + WEIB (5.38, 1.63)		
Helis düz üst			NORM (107, 4.27)		
Pinyonlu			37.5 + WEIB (3.68, 1.85)	31.5 + GAMM (1.67, 2.16)	TRIA (7.5, 10, 12.5)
Pinyon			37.5 + WEIB (2.8, 1.73)		
Top flans					
Kaplin	TRIA (99.5, 105, 121)		NORM (160, 3.07)		

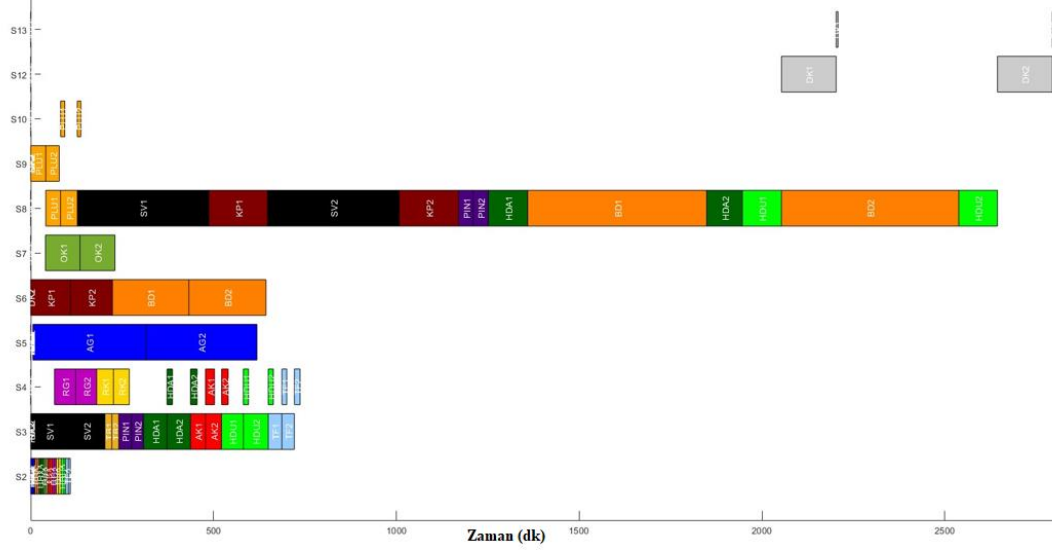
Tablo 4.12. Dişli kutusu bileşenlerinin tamamlanma zamanları

Komponent adı	İşlem sırası	Tamamlanma zamanı (dk)
Ana gövde-1	S1-S2-S5-S11	315.48919
Ana gövde-2		618.65849
Balta dişli-1	S1-S2-S6-S8-S11	1848.6274
Balta dişli-2		2537.9538
Ön kapak-1	S1-S2-S7-S11	134.8535
Ön kapak-2		230.44833
Ayar kapağı-1	S1-S2-S3-S4-S11	502.42076
Ayar kapağı-2		540.01146
Redüktör gövdesi-1	S1-S2- S4-S11	123.03831
Redüktör gövdesi-2		180.4142
Redüktör kapağı-1	S1-S2- S4-S11	269.54607
Redüktör kapağı-2		269.54607
Sonsuz vida-1	S1-S3-S8-S11	486.94433
Sonsuz vida-2		1007.8708
Taban burcu-1	S1-S3-S11	221.69162
Taban burcu-2		240.89964
Helis düz alt-1	S1-S2-S3-S4-S8-S11	1359.2099
Helis düz alt-2		1946.4947
Helis düz üst-1	S1-S2-S3-S4-S8-S11	2053.1385
Helis düz üst-2		2643.8302
Pinyonlu-1	S1-S9-S8-S10-S11	93.087591
Pinyonlu-2		137.10531
Pinyon-1	S1-S3-S8-S11	1209.7095
Pinyon-2		1251.3404
Top flans-1	S1-S2-S3-S4-S11	700.02794
Top flans-2		736.44875
Kaplin-1	S1-S6-S8-S11	647.73049
Kaplin-2		1170.0957

Komponentlerin üretilmesinin ardından, dişli kutularının montajı ve boyanması işlemleri Tablo 4.13’de verilen sürelerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, modelin doğru çalıştığı sonucuna varılabilmektedir.

Tablo 4.13. Dişli kutularının montaj ve boyanma süreleri

Dişli kutusu	S12 giriş zamanı	S13 giriş zamanı	Tamamlanma zamanı (dk)
Dişli kutusu-1	2053.1385	2202.8152	2207.6698
Dişli kutusu-2	2643.8302	2794.2017	2799.3271

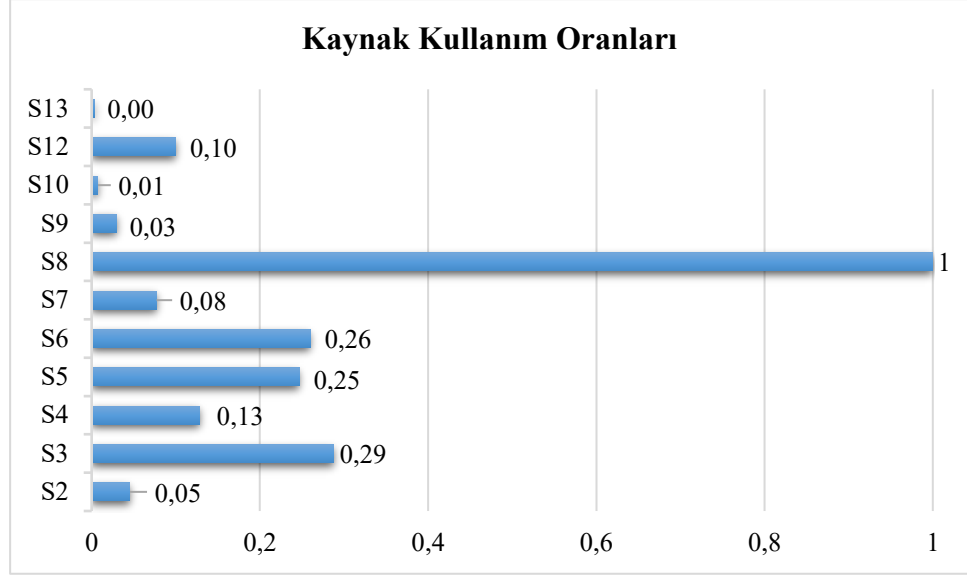


Şekil 4.4. İki adet dişli kutusu üretimine ilişkin gantt çizelgesi

4.4. Darboğaz İstasyonun Belirlenmesi ve Çözüm Önerilerinin Geliştirilmesi

Dişli kutusu üretimine ilişkin mevcut sürecin modellenmesinin ardından, simülasyon modeli 100 adet dişli kutusunun üretimi baz alınarak çalıştırılmıştır. Bu kapsamda, $t=0$ anında komponentlerden yüzzer adet sisteme (ana depoya-S1) gönderilmiş ve simülasyon modeli 10 replikasyon çalıştırılarak faydalı kullanım oranları, kuyrukta bekleme süreleri, maksimum tamamlanma zamanı vb. ölçütler analiz edilmiştir. Yapılan analizler ile darboğaz oluşturan istasyonların keşfedilmesi ve bunlara yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Öte yandan, ele alınan sistem sonlandırılabilir bir sistem olduğundan sisteme ilişkin ısınma periyodu analizi yapılmamıştır.

İmalat sürecinde yer alan istasyonlara ilişkin faydalı kullanım oranları Şekil 4.5'te görüldüğü gibi elde edilmiştir. Buna göre, dişli kutusu imalat süreci boyunca kullanım oranı en yüksek olan istasyon, fason üretici tarafından gerçekleştirilen diş açma operasyonuna ait S8 istasyonudur. Diş açma operasyonu hem uzun süreli hem de balta dişli, sonsuz vida, helis düz alt, helis düz üst, pinyonlu, pinyon ve kaplin gibi çok sayıda dişli kutusu bileşeninin üretiminde gereksinim duyulan bir operasyondur. Dolayısıyla, diş açma operasyonuna ilişkin alternatif çözüm önerileri geliştirilerek darboğaz problemi ortadan kaldırılmalıdır.



Şekil 4.5. Kaynak kullanım oranları

Darboğaz oluşturan istasyonun belirlenmesinin ardından, problemin çözümüne ilişkin aşağıda verilen alternatif çözüm önerileri geliştirilmiştir.

(i) Alternatif 1: Diş Açma Operasyonu için Yeni Bir Fason Üretici ile Çalışmak

Mevut durum analizinde darboğaz olarak tespit edilen diş açma prosesine yönelik olarak ilave bir fason üretici bulunması çözümü oluşturulmuştur. Böylece kaynak kapasitesi artırılarak üretim süreleri iyileştirilecektir. Çalışılması planlanan yeni fason üreticinin işlem süresi açısından mevcut fason üretici ile aynı özelliklere sahip olduğu varsayılmıştır. Ancak, yeni bir fason üretici ile çalışmanın kalite konusunda belirsizlikler yaratabileceği öngörülmüş ve farklı kalite oranları baz alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

(ii) Alternatif 2: Diş Açma Operasyonu İçin Yeni Tezgâh Yatırımı Yapmak

Diş açma operasyonu için önerilen alternatiflerden biri de bu operasyon için yeni tezgâh yatırımı yapmaktır. Satın alınacak yeni tezgâhın işlem hızının, mevcut durumda fason imalatında kullanılan tezgâhından 25% oranında daha iyi olması planlanmıştır. Böylece, diş açma operasyonları hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. Öte yandan, ilk kez kullanıma alınan bir tezgâhın ürün kalitesi konusunda belirsizlik yaratabileceği düşünülerek farklı kalite oranları için analizler gerçekleştirilmiştir.

4.5. Hesaplamalı Analizler

Dişli kutusu üretim sürecinde yer alan darboğaz istasyona yönelik olarak oluşturulan çözüm alternatiflerine ilişkin simülasyon modelleri Arena 14.0 yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve bunların mevcut sistem üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Yürütülen hesaplamalı analizlerde, 100 adet dişli kutusunun üretimi esas alınmış ve tamamlanma zamanı, kalite ve kar unsurları açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Mevcut duruma ilişkin kalite oranı %95 olarak elde edilmiştir. Ancak, alternatif çözüm önerilerinin yaratabileceği kalite problemleri tahmin edilememektedir. Bu nedenle her iki öneri için de üç farklı kalite oranı (85%, 90%, 95%) baz alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Sonuç olarak, çözüm alternatiflerine ilişkin altı farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar, analizlerde kolaylık sağlaması açısından Tablo 4.14’de gösterildiği gibi isimlendirilmiştir.

Tablo 4.14. Alternatif senaryolara ilişkin kısaltmalar

Model kısaltması	Model açıklaması
MD	Mevcut durum
SN1	Alternatif 1 %85 kalite oranı
SN2	Alternatif 1 %90 kalite oranı
SN3	Alternatif 1 %95 kalite oranı
SN4	Alternatif 2 %85 kalite oranı
SN5	Alternatif 2 %90 kalite oranı
SN6	Alternatif 2 %95 kalite oranı

Oluşturulan simülasyon modellerinde, işlem süreleri için Tablo 4.11’de verilen değerler baz alınmış, kuyruk disiplini tüm istasyonlar için fifo kabul edilmiş ve tüm komponentlerin $t=0$ anında ana depoda (S1) hazır olduğu varsayımı yapılmıştır. Simülasyon modelleri 10 replikasyon çalıştırılmış ve Tablo 4.15’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.15’de yer alan veriler incelendiğinde, alternatif çözümlerin maksimum tamamlanma zamanı açısından iyileşme sağladığı ve en iyi değer SN5’te ortaya çıktığı görülmektedir. Üretilen dişli kutusu sayısı açısından değerlendirme yapıldığında ise en iyi sonucun SN6’da elde edildiği görülmektedir. SN6’da kalite oranı arttığı için, hurdaya ayrılan parça sayısı azalmakta dolayısıyla üretilen dişli kutusu sayısında artış sağlanmaktadır. Buna ek olarak, alternatif çözüm önerileri ile

mevcut durumda oluşan maksimum tamamlanma zamanı değerleri arasındaki fark esas alınarak süre kazançları hesaplanmış, simülasyon modelleri tekrar çalıştırılarak bu süre kazancında fazladan kaç adet dişli kutusu üretilebileceği hesaplanmıştır.

Tablo 4.15. Simülasyon modellerine ilişkin hesaplamalı analiz sonuçları

Model	Maksimum tamamlanma zamanı (dk)	Üretilen dişli kutusu sayısı	Süre kazancı	Üretililecek ilave dişli kutusu sayısı
MD	117901.56	78	-	-
SN1	61261.59	74	56639.97	52
SN2	61819.55	76	56082.01	47
SN3	60614.84	77	57286.72	57
SN4	58434.00	75	59467.56	69
SN5	57300.30	76	60601.26	73
SN6	58578.45	79	59323.11	75

Öte yandan, fazladan üretilen her bir dişli kutusunun işletme için ilave bir kazanç oluşturacağı gerçeği dikkate alınarak Tablo 4.16’da verilen mali analiz gerçekleştirilmiştir. Firmada mevcut durumda, bir adet dişli kutusundan elde edilen kar 20000 TL’dir. Diş açma operasyonu için, ilave bir fason üretici ile çalışmanın birim maliyeti 12560 TL iken yeni tezgâh yatırımı yapmanın birim maliyeti 9000 TL’dir. Bu durumda dişli kutusundan elde edilen birim kar, alternatif 1 için 7440 TL, alternatif 2 için ise 11000 TL olarak ortaya çıkmaktadır. Alternatif senaryolara ilişkin birim kar değeri, mevcut duruma ait birim kar değerinden ilave birim maliyetin çıkarılması ile elde edilmiştir. Oluşan ilave maliyetlere rağmen, yeni tezgâh yatırımı yapmanın (SN6), üretim adetlerinde sağlayacağı artış sayesinde mevcut duruma göre daha karlı olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.16. Alternatif senaryolara ilişkin mali analiz

Model	Üretilen dişli kutusu sayısı	Kazanılan sürede üretilebilecek dişli kutusu sayısı	Toplam üretilen dişli kutusu sayısı	İlave birim maliyet (TL)	Birim kar (TL)	Toplam kar (TL)
MD	78	-	78	-	20000	1560000
SN1	74	52	126	12560	7440	937440
SN2	76	47	123	12560	7440	915120
SN3	77	57	134	12560	7440	996960
SN4	75	69	144	9000	11000	1584000
SN5	76	73	149	9000	11000	1639000
SN6	79	75	154	9000	11000	1694000

BEŞİNCİ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışmanın bu bölümünde, maksimum tamamlanma zamanı ölçütüne ilişkin elde edilen çıktılara yönelik güven aralığı tahminlemesi sonuçlarına ve modellerin eşleştirilmiş örneklem t-testi kullanılarak karşılaştırılması sonucu elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

5.1. Güven Aralığı Tahminlemesi

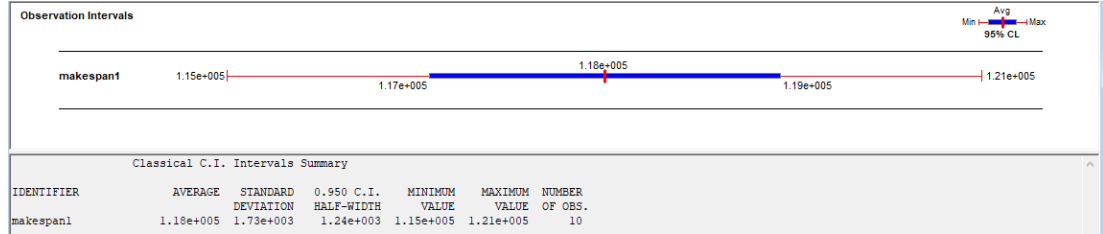
Güven aralığı, belirli bir olasılıkla popülasyon parametrelerinin hangi değerler arasında bulunabileceğini ifade eden bir kavramdır. Bir güven aralığı, örnekleme verisiyle hesaplanmakta ve ele alınan parametrenin muhtemel değerleri için alt ve üst sınırlar belirlenmektedir [38]. Güven aralığının doğru tahmin edilebilmesi için örneklemin rastgele yapılması ve örnekleme giren birimlerin birbirinden bağımsız olması gerekmektedir [39]. Öte yandan, güven aralığının genişliğini etkileyen üç temel etken bulunmaktadır. Bunlar güven düzeyi, örneğin değişkenliği ve örneklem büyüklüğüdür [40].

Tez çalışması kapsamında oluşturulan modeller 100 adet dişli kutusu üretimi için 10 tekrar çalıştırılmış ve maksimum tamamlanma zamanı performans ölçütüne ilişkin 95% güven düzeyinde güven aralıkları Arena Output Analyzer kullanılarak Tablo 5.1’de görüldüğü gibi elde edilmiştir. İlgili görseller ise Şekil 5.1- 5,7 arasında sunulmuştur.

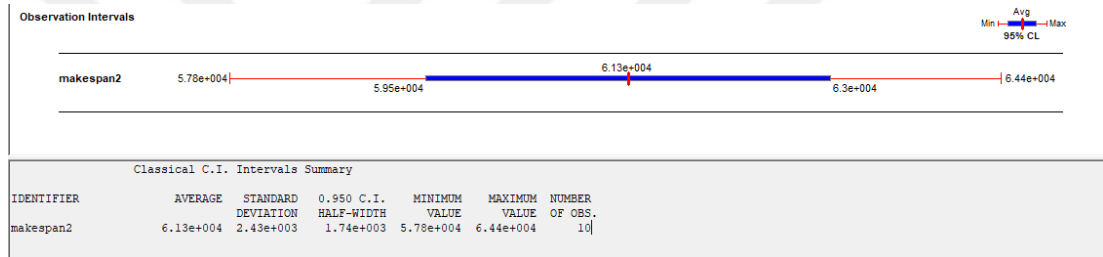
Tablo 5.1. Maksimum tamamlanma zamanı için oluşturulan %95 güven aralığı değerleri

Model	Ortalama	Standart sapma	Alt sınır	Üst sınır
MD	117901.56	1731.14	116662.70	119139.30
SN1	61261.59	2426.38	59525.39	62996.61
SN2	61819.55	2891.49	59750.70	63887.30
SN3	60614.84	1135.83	59801.53	61426.47
SN4	58434.00	4269.21	55380.20	61487.80
SN5	57300.30	4569.11	54031.68	60568.32
SN6	58578.45	3502.05	56072.96	61083.04

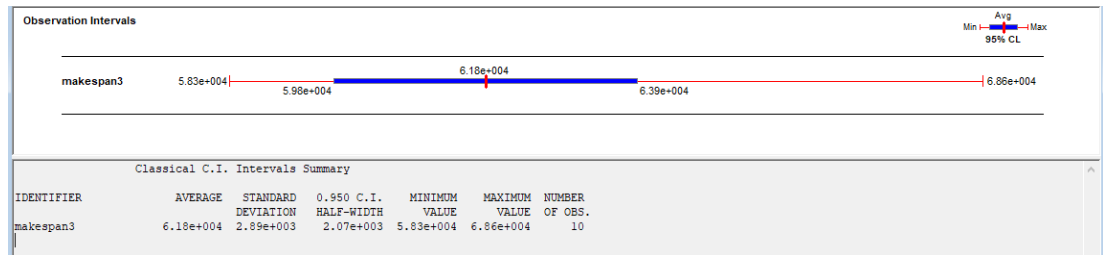
Elde edilen sonuçlara göre, dış açma prosesinde yaşanan dar boğaz problemini çözmek için oluşturulan alternatiflerin maksimum tamamlanma zamanı değerinde iyileşme sağladığı sonucuna varılmaktadır. Öte yandan, yeni tezgah yatırımının 90% kalite ile sonuçlandığı durumun (S5) maksimum tamamlanma zamanı açısından en iyi sonucu verdiği görülmektedir.



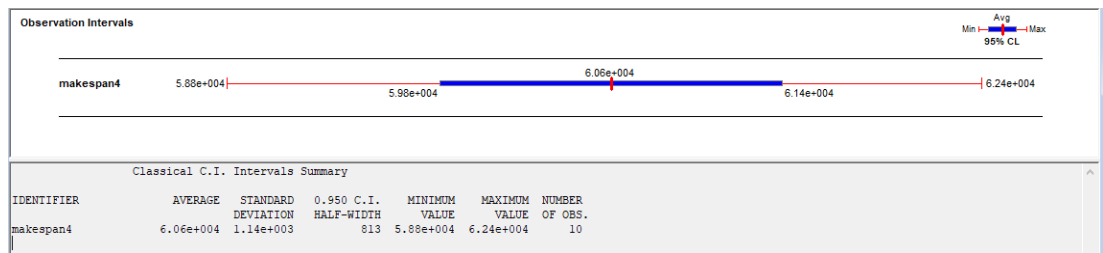
Şekil 5.1. MD maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı



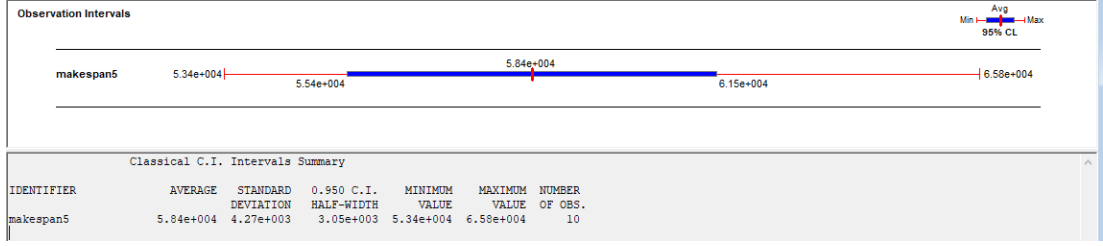
Şekil 5.2. SN1 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı



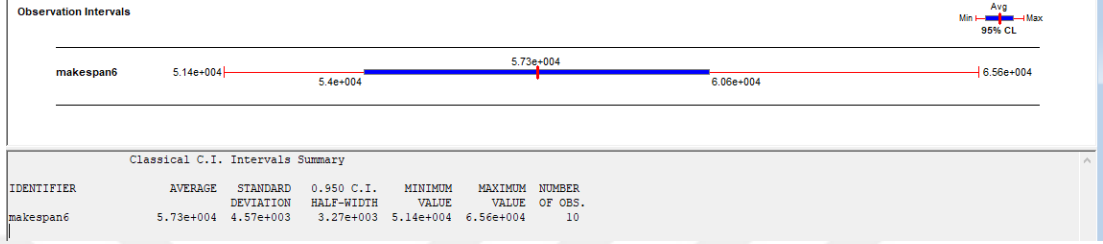
Şekil 5.3. SN2 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı



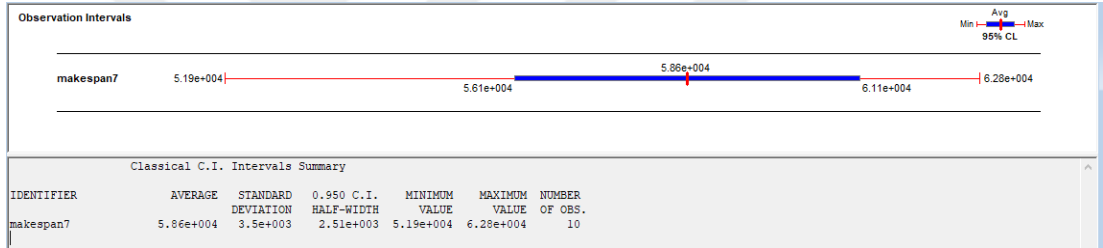
Şekil 5.4. SN3 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı



Şekil 5.5. SN4 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı



Şekil 5.6. SN5 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı



Şekil 5.7. SN6 maksimum tamamlanma zamanı için %95 güven aralığı

5.2. Eşleştirilmiş Örneklem t-Testi ile Modellerin Karşılaştırılması

Eşleştirilmiş örneklem t-testi, iki değişkenin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek için kullanılan istatistiksel bir testtir. Eşleştirilmiş deneyler arasında, ortalama farkın sıfırı içerip içermediğine göre bir değerlendirme yapılmaktadır. Test edilen hipotez, aşağıda görüldüğü gibi iki deneyin ortalamaları (μ) arasında anlamlı fark olup olmadığıdır.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Eşleştirilmiş örneklem t-testi adımları şu şekildedir [41]:

- Eşleşmiş iki örnek arasındaki farklar (d_i) eşitlik (5.1) ile hesaplanır. Burada x_i ve y_i eşleşmiş gözlem değerlerini ifade etmektedir.

$$d_i = x_i - y_i \quad (5.1)$$

- Farklara ilişkin ortalama ($\bar{d}$) eşitlik (5.2) ile elde edilir. Burada N , gözlem sayısını ifade etmektedir.

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^N d_i}{N} \quad (5.2)$$

- Farklara ilişkin standart sapma (s_d) eşitlik (5.3) yardımıyla hesaplanır.

$$s_d = \frac{\sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2}{N - 1} \quad (5.3)$$

- Test istatistiği (t) eşitlik (5.4) kullanılarak elde edilir.

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{N}} \quad (5.4)$$

- Elde edilen test istatistiği, t -dağılımı tablosunda yer alan t_{N-1} değeri ile kıyaslanır. Elde edilen t değeri tablo değerinden küçük ise H_0 hipotezi reddedilemez.
- Son olarak farka ilişkin güven aralığı eşitlik (5.5)'de yer alan formül kullanılarak elde edilir. Oluşturulan güven aralığı sıfır değerini içeriyorsa, iki deneyin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı sonucuna varılır.

$$\bar{d} \pm t * \frac{s_d}{\sqrt{N}} \quad (5.5)$$

Çalışma kapsamında, maksimum tamamlanma zamanı performans ölçütü için mevcut durum ve alternatif senaryolara ilişkin model sonuçları MINITAB yazılımında yer alan eşleştirilmiş örneklem t-testi kullanılarak karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de sunulmuştur. Tablo 5.2’de yer alan verilere göre mevcut durum ile alternatif senaryolar arasında yapılan ikili kıyaslamalarda H_0 reddedilmiştir. Başka bir ifadeyle, mevcut durum ile alternatif senaryolar arasında maksimum tamamlanma zamanı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, maksimum tamamlanma zamanı açısından mevcut duruma göre en iyi sonucu veren modelin SN5 olduğuna kanaat getirilmiştir.

Tablo 5.2. Maksimum tamamlanma zamanı için eşleştirilmiş örneklem t-testi sonuçları

Model (i)	Model (j)	μ_i	μ_j	Fark ($\mu_i - \mu_j$)	Güven aralığı	p değeri
MD	SN1	117901.56	61261.59	56639.97	(54974;58306)	0.000
MD	SN2	117901.56	61819.55	56082.01	(53982;58182)	0.000
MD	SN3	117901.56	60614.84	57286.72	(56475;58098)	0.000
MD	SN4	117901.56	58434.00	59467.56	(56113;62822)	0.000
MD	SN5	117901.56	57300.30	60601.26	(56784;64418)	0.000
MD	SN6	117901.56	58578.45	59323.11	(56530;62116)	0.000

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının temel amacı, endüstriyel vana üreticisi bir firmada gerçekleştirilen dişli kutusu üretimine ilişkin imalat sürecini simülasyon modelleme ile analiz etmek ve süreç iyileştirme faaliyetleri planlamaktır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHS ve TOPSIS kullanılarak hangi dişli kutusu modeli üzerinde çalışılacağına karar verilmiş, ardından ilgili imalat süreci simüle edilmiştir. Oluşturulan simülasyon modeli ile darboğaz istasyonlar belirlenmiş, darboğazların giderilmesine yönelik çözüm alternatifleri sunulmuş ve çözüm alternatiflerinin etkinliği simülasyon modelleme ile değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında, darboğaz istasyon olarak belirlenen diş açma prosesine yönelik olarak yeni bir fason üretici ile çalışmak ve yeni tezgah yatırımı yapmak şeklinde iki farklı alternatif belirlenmiştir. Belirlenen alternatiflere ilişkin farklı kalite oranları da dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiş ve maksimum tamamlanma zamanı, üretim adetleri ve karlılık gibi unsurlar değerlendirilmiştir. Ayrıca, önerilen çözüm alternatiflerinin mevcut durum ile kıyaslaması yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, önerilen çözüm alternatiflerinin maksimum tamamlanma zamanı değerinde iyileşme sağladığını ortaya koymuştur. Buna ek olarak, maksimum tamamlanma zamanı, üretim adetleri ve toplam kar açısından yeni tezgah yatırımı yapmanın daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Yürütülen bu çalışmanın, dişli kutusu imalat süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik olarak yapılacak çalışmalarda karar vericilere destek sağlayacağı ve firma kaynaklarının daha etkin kullanılmasına olanak tanıyacağı öngörülmektedir. Öte yandan, gerçekleştirilen çalışmanın ileriki dönemlerde farklı boyut ve işlevdeki dişli kutularının imalatı için nasıl bir süreç yürütülmesi gerektiği konusunda da yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Oflaz, M. (2009). *Yaylı Emniyet Vanalarında Sızdırmazlığın Sağlanması*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] Küçükönder, M. & Uçar, M. (2015). Üretim etkinliğinde simülasyon. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 117-126.
- [3] Liu, X., Li, N., Lei, Y., Wang, D., Ren, Q., Jiang, J., & Wang, Y. (2024). Optimal weight impulse extraction: New impulse extraction methodology for incipient gearbox condition monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 216, 111449.
- [4] Hızarcı, B., Ümütlü, R. C., Kırıl, Z., Öztürk, H. (2018). Titreşim Bölgesi Analizi ile Bir Dişli Kutusunda Yüzey Oyuçuk Hata Seviyelerinin Tespiti. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 59(693), 19-32.
- [5] Radzevich, S. P. (2012). *Dudley's Handbook of Practical Gear Design and Manufacture*. CRC Press.
- [6] Doğan, O. (2020). *Standart Olmayan Dişli Çarklarda Diş Hata ve Hasarlarının Dişli Çarkın Dinamik Davranışına Etkilerinin İncelenmesi*. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [7] Karba, B. (2021). *Developing a Software for Proper Assembly of Planetary Gearbox Components with Low Backlash*. Gaziantep Üniversitesi, Doğa ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [8] Dalbıçer, C. (2016). *Experimental Analysis of Gearbox Housing Design*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [9] Mousavi, S. (2015). *Design of New Type-High Efficiency Magnetic Gear*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Mühendislik ve Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [10] Suresh, A., Kalyan, K. S., Kumar, K. S., Kumar, K. V., Varma, V. T., & Kumar, B. S. (2022). Design and simulation of gear box for stone crushing ball mill. *Materials Today: Proceedings*, 64, 239-245.
- [11] Mujiburrahman, K., Saravanakumar, S., & Krishnaraj, R. (2022). Design and analysis of E-glass gear box housing in tractor and optimization of its design parameters. *Materials Today: Proceedings*, 49, 3696-3704.
- [12] Kishore, S. N., Reddy, A. V. V., & Rao, L. B. (2022). Design and optimization of spur gears in a single stage reduction gear box. *Materials Today: Proceedings*, 60, 2010-2017.

- [13] Brecher, C., Löpenhaus, C., & Knecht, P. (2016). Design of acoustical optimized bevel gears using manufacturing simulation. *Procedia CIRP*, 41, 902-907.
- [14] Kumar, S. M., Govindaraj, E., Balamurugan, D., & Daniel, F. (2021). Design analysis and fabrication of automotive transmission gearbox using hollow gears for weight reduction. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6822-6832.
- [15] Zeyveli, M., Saruhan, H., & Göloğlu, C. (2008). Dişli kutularında parametrelerin hacim ve mukavemete etkilerinin araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 24(1), 315-333.
- [16] Pandey, R. K. (2007). Failure analysis of coal pulveriser gear box. *Engineering Failure Analysis*, 14(4), 541-547.
- [17] Saravanan, N., Siddabattuni, V. K., & Ramachandran, K. I. (2010). Fault diagnosis of spur bevel gear box using artificial neural network (ANN), and proximal support vector machine (PSVM). *Applied soft computing*, 10(1), 344-360.
- [18] Kalay, O. C. (2023). *Ulaştırma Alanında Kullanılan Dişli Çark Mekanizmalarında Diş Dibi Çatlak Hasarının ve Derecesinin Tespiti İçin Makine Öğrenmesi Esaslı Güvenilir bir İzleme Yönteminin Geliştirilmesi*. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [19] Özcan, B., & Yıldırak, E. (2020). Bir Üretim Sisteminde Simülasyon Uygulaması. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 4(2), 172-186.
- [20] Sütçü, A., Karşıyaka, O., & Burhan, M. E. (2019). Bir mobilya üretim tesisinde iş analizi ve benzetim uygulaması ile süreç verimliliğinin artırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 45-57.
- [21] Sundararajan, N., & Terkar, R. (2022). A roadmap to improving productivity in a fastener manufacturing unit by process optimization using ARENA. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1017-1025.
- [22] Guzman-Moratto, H., Uribe-Martes, C., & Neira-Rodado, D. (2022). Improving productivity using simulation: Case study of a mattress manufacturing process. *Procedia Computer Science*, 198, 650-655.
- [23] Krishnan, S., Dev, A. S., Suresh, R., Sumesh, A., & Rameshkumar, K. (2018). Bottleneck identification in a tyre manufacturing plant using simulation analysis and productivity improvement. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 24720-24730.
- [24] Neeraj, R. R., Nithin, R. P., Niranjhan, P., Sumesh, A., & Thenarasu, M. (2018). Modelling and simulation of discrete manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 24971-24983.

- [25] Cihangir, E., Keskin, F. D., Çiçekli, U. G., & Yakan, G. (2021). Bir Üretim İşletmesinde Simülasyon Yöntemi ile Darboğaz Analizi ve Sistem İyileştirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 917-923.
- [26] Phua, M. H., & Minowa, M. (2005). A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. *Landscape and urban planning*, 71(2-4), 207-222.
- [27] Güngör, S., & Özcan, U. (2022). Karar kuramı ve karar verme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 119-125.
- [28] Dalbudak, E., & Rençber, Ö. F. (2022). Çok kriterli karar verme yöntemleri üzerine literatür incelemesi. *Gaziantep Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 1-17.
- [29] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- [30] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, 41(11), 1073-1076.
- [31] Soba, M., & Eren, K. (2011). Topsis Yöntemini Kullanarak Finansal Ve Finansal Olmayan Oranlara Göre Performans Değerlendirilmesi, Şehirlerarası Otobüs Sektöründe Bir Uygulama. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 11(21), 23-40.
- [32] SAĞLAMCI, Y., & ASLAN, E. (2022). Simülasyon ile Darboğazların Tespit Edilmesi ve Süreç İyileştirme: Bir Tekstil İşletmesi Örneği. *Journal of Academic Opinion*, 2(1), 27-39.
- [33] Canbulut, G., Vural, N. B., & Kavak, G. (2022). Simulasyon destekli tesis tasarımı: bir imalat sisteminde uygulanması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 27(2), 647-662.
- [34] Pulat, M., Bayyurt, D., & Kocakoç, İ. D. (2023). Kayıt Sistemi Süreç İyileştirmesinde Simülasyon Tekniğinin Kullanımı ve Bir Uygulaması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 42-59.
- [35] Bakdaal, B., & Tekez, E. (2021). Emniyet Kilidi Üretim Hattının Simülasyon Kullanılarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1258-1264.
- [36] İnan, A. T., & Kartal, M. A. (2019). Evaluation of Performance by Operating Process Improvement Modeling on a Company with Pump Manufacturing. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(4), 305-315.

- [37] Durmuş, M., & Tayyar, N. (2017). AHP ve TOPSIS ile farklı kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin kullanılması ve karar verici görüşleriyle karşılaştırılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(3), 65-80.
- [38] Riffenburgh, R. H., & Gillen, D. L. (2020). *Statistics in medicine*. Academic press.
- [39] Akbulut, Ö. (2024). Bilimsel Makalelerde Raporlanması Önerilen Çıkarımsal İstatistikler. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(1), 238-247.
- [40] Sauro, J., & Lewis, J. R. (2016). *Quantifying the user experience: Practical statistics for user research*. Morgan Kaufmann.
- [41] Wilkerson, S. (2008). Application of the Paired t-test. *XULaneXUS*, 5(1), 7.

EKLER

EK A. Mevcut Dişli Kutusu Üretimi Simülasyon Modeline Ait Mod. Dosyası

```
0$          STATION,      astar boya istasyonu;
139$        DELAY:        0.0,,VA:NEXT(1$);

1$          ASSIGN:       BOYA ISLEM.NumberIn=BOYA ISLEM.NumberIn + 1;
                        BOYA ISLEM.WIP=BOYA ISLEM.WIP+1;
143$        QUEUE,       BOYA ISLEM.Queue;
142$        SEIZE,       2,VA:
                        astar boya,1:NEXT(141$);

141$        DELAY:       islem sure,,VA;
140$        RELEASE:     astar boya,1;
188$        ASSIGN:     BOYA ISLEM.NumberOut=BOYA ISLEM.NumberOut + 1;
                        BOYA ISLEM.WIP=BOYA ISLEM.WIP-1:NEXT(50$);

50$         BRANCH,      1:
                        With,(95)/100,191$,Yes:
                        Else,192$,Yes;
191$        ASSIGN:     astar boya kalite kontrol.NumberOut True=astar
boya kalite kontrol.NumberOut True + 1:NEXT(105$);

192$        ASSIGN:     astar boya kalite kontrol.NumberOut False=astar
boya kalite kontrol.NumberOut False + 1:NEXT(123$);

105$        COUNT:      astar boya cikis,1:NEXT(54$);

54$         ROUTE:       0.000000000000000,SEQ;

123$        COUNT:      Type,1:NEXT(49$);

49$         COUNT:      astar boya hurda,1:NEXT(125$);

125$        ASSIGN:     astar boya hurda cikis.NumberOut=astar boya
hurda cikis.NumberOut + 1;
193$        DISPOSE:     Yes;

2$          STATION,     CNC STATION;
196$        DELAY:      0.0,,VA:NEXT(3$);

3$          ASSIGN:     CNC ISLEM.NumberIn=CNC ISLEM.NumberIn + 1;
                        CNC ISLEM.WIP=CNC ISLEM.WIP+1;
200$        QUEUE,     CNC ISLEM.Queue;
199$        SEIZE,     2,VA:
                        isleme,1:NEXT(198$);

198$        DELAY:     islem sure,,VA;
197$        RELEASE:   isleme,1;
245$        ASSIGN:   CNC ISLEM.NumberOut=CNC ISLEM.NumberOut + 1;

21$         BRANCH,     1:
                        With,(95)/100,248$,Yes:
                        Else,249$,Yes;
248$        ASSIGN:     CNC islem kalite kontrol.NumberOut True=CNC
islem kalite kontrol.NumberOut True + 1:NEXT(106$);

249$        ASSIGN:     CNC islem kalite kontrol.NumberOut False=CNC
islem kalite kontrol.NumberOut False + 1:NEXT(115$);

106$        COUNT:     CNC cikis,1:NEXT(55$);

55$         ROUTE:      0.000000000000000,SEQ;
```

```

115$          COUNT:          Type,1:NEXT(22$);

22$           COUNT:          CNC hurda,1:NEXT(23$);
23$           ASSIGN:         CNC hurda cikis.NumberOut=CNC hurda
cikis.NumberOut + 1;
250$          DISPOSE:        Yes;
4$            STATION,        dis acma;
253$          DELAY:          0.0,,VA:NEXT(5$);

5$            ASSIGN:         DIS ACMA PROSES.NumberIn=DIS ACMA
PROSES.NumberIn + 1;

                                DIS ACMA PROSES.WIP=DIS ACMA PROSES.WIP+1;
257$          QUEUE,         DIS ACMA PROSES.Queue;
256$          SEIZE,         2,VA:
                                dis acma op.,1:NEXT(255$);

255$          DELAY:          islem sure,,VA;
254$          RELEASE:        dis acma op.,1;
302$          ASSIGN:         DIS ACMA PROSES.NumberOut=DIS ACMA
PROSES.NumberOut + 1;

                                DIS ACMA PROSES.WIP=DIS ACMA PROSES.WIP-
1:NEXT(12$);
12$           BRANCH,        1:
                                With,(95)/100,305$,Yes:
                                Else,306$,Yes;
305$          ASSIGN:         dis acma kalite kontrol.NumberOut True=dis acma
kalite kontrol.NumberOut True + 1:NEXT(111$);

306$          ASSIGN:         dis acma kalite kontrol.NumberOut False=dis
acma kalite kontrol.NumberOut False + 1:NEXT(120$);
111$          COUNT:          dis acma cikis,1:NEXT(57$);
57$           ROUTE:          0.000000000000000,SEQ;

120$          COUNT:          Type,1:NEXT(15$);
15$           COUNT:          dis acma hurda,1:NEXT(16$);
16$           ASSIGN:         dis acma hurda cikis.NumberOut=dis acma hurda
cikis.NumberOut + 1;
307$          DISPOSE:        Yes;
6$            STATION,        DRILL STATION;
310$          DELAY:          0.0,,VA:NEXT(7$);
7$            ASSIGN:         DELME ISLEM.NumberIn=DELME ISLEM.NumberIn + 1;
                                DELME ISLEM.WIP=DELME ISLEM.WIP+1;
314$          QUEUE,         DELME ISLEM.Queue;
313$          SEIZE,         2,VA:
                                dik islem delme,1:NEXT(312$);
312$          DELAY:          islem sure,,VA;
311$          RELEASE:        dik islem delme,1;
359$          ASSIGN:         DELME ISLEM.NumberOut=DELME ISLEM.NumberOut +
1:
                                DELME ISLEM.WIP=DELME ISLEM.WIP-1:NEXT(25$);
25$           BRANCH,        1:
                                With,(95)/100,362$,Yes:
                                Else,363$,Yes;
362$          ASSIGN:         Delme islem kalite kontrol.NumberOut True=Delme
islem kalite kontrol.NumberOut True + 1:NEXT(107$);

363$          ASSIGN:         Delme islem kalite kontrol.NumberOut
False=Delme islem kalite kontrol.NumberOut False + 1
:NEXT(116$);
107$          COUNT:          delme cikis,1:NEXT(56$);

56$           ROUTE:          0.000000000000000,SEQ;

116$          COUNT:          Type,1:NEXT(26$);
26$           COUNT:          delme hurda cikis,1:NEXT(27$);

```

```

27$          ASSIGN:      delme islem hurda cikis.NumberOut=delme islem
hurda cikis.NumberOut + 1;
364$         DISPOSE:      Yes;

8$           STATION,      DISLI ISLE;
367$         DELAY:        0.0,,VA:NEXT(9$);
9$           ASSIGN:      MIL ISLE.NumberIn=MIL ISLE.NumberIn + 1;
                                MIL ISLE.WIP=MIL ISLE.WIP+1;
371$         QUEUE,        MIL ISLE.Queue;
370$         SEIZE,        2,VA:
                                mil isleme,1:NEXT(369$);

369$         DELAY:        islem sure,,VA;
368$         RELEASE:      mil isleme,1;
416$         ASSIGN:      MIL ISLE.NumberOut=MIL ISLE.NumberOut + 1;
                                MIL ISLE.WIP=MIL ISLE.WIP-1:NEXT(13$);
13$          BRANCH,      1:
                                With, (95)/100,419$,Yes:
                                Else,420$,Yes;
419$         ASSIGN:      disli isleme kalite kontrol.NumberOut
True=disli isleme kalite kontrol.NumberOut True + 1
                                :NEXT(112$);

420$         ASSIGN:      disli isleme kalite kontrol.NumberOut
False=disli isleme kalite kontrol.NumberOut False + 1
                                :NEXT(121$);
112$         COUNT:        DISLI ISLE cikis,1:NEXT(58$);

58$          ROUTE:        0.000000000000000,SEQ;

121$         COUNT:        Type,1:NEXT(17$);

17$          COUNT:        DISLI ISLE hurda,1:NEXT(18$);

18$          ASSIGN:      disli isleme hurda cikis.NumberOut=disli isleme
hurda cikis.NumberOut + 1;
421$         DISPOSE:      Yes;

10$          STATION,      kaplama istasyonu;
424$         DELAY:        0.0,,VA:NEXT(11$);

11$          ASSIGN:      PINYON DISLI KAPLAMA.NumberIn=PINYON DISLI
KAPLAMA.NumberIn + 1:
                                PINYON DISLI KAPLAMA.WIP=PINYON DISLI
KAPLAMA.WIP+1;
428$         QUEUE,        PINYON DISLI KAPLAMA.Queue;
427$         SEIZE,        2,VA:
                                cover,1:NEXT(426$);

426$         DELAY:        islem sure,,VA;
425$         RELEASE:      cover,1;
473$         ASSIGN:      PINYON DISLI KAPLAMA.NumberOut=PINYON DISLI
KAPLAMA.NumberOut + 1:
                                PINYON DISLI KAPLAMA.WIP=PINYON DISLI
KAPLAMA.WIP-1:NEXT(14$);

14$          BRANCH,      1:
                                With, (95)/100,476$,Yes:
                                Else,477$,Yes;
476$         ASSIGN:      kaplama kalite kontrol.NumberOut True=kaplama
kalite kontrol.NumberOut True + 1:NEXT(113$);

477$         ASSIGN:      kaplama kalite kontrol.NumberOut False=kaplama
kalite kontrol.NumberOut False + 1:NEXT(122$);

113$         COUNT:        kaplama cikis,1:NEXT(59$);
statements for module: AdvancedTransfer.Route 10 (Route 10)

```

59\$	ROUTE:	0.0000000000000000,SEQ;
122\$	COUNT:	Type,1:NEXT(19\$);
19\$	COUNT:	kaplama hurda,1:NEXT(20\$);
20\$	ASSIGN:	kaplama hurda cikis.NumberOut=kaplama hurda
cikis.NumberOut + 1;		
478\$	DISPOSE:	Yes;
24\$	STATION,	WAREHOUSE STATION;
481\$	DELAY:	0.0,,VA:NEXT(136\$);
136\$	TALLY:	Entity,0,1:NEXT(61\$);
61\$	COUNT:	yrm depo giris,1:NEXT(39\$);
39\$	BRANCH,	1: If,Entity.Type==govde,29\$,Yes: If,Entity.Type==balta disli,32\$,Yes: If,Entity.Type==on kapak,30\$,Yes: If,Entity.Type==ayar kapagi,33\$,Yes: If,Entity.Type==red. govde,31\$,Yes: If,Entity.Type==sonsuz vida,34\$,Yes: If,Entity.Type==red. kapak,37\$,Yes: If,Entity.Type==taban burcu,35\$,Yes: If,Entity.Type==helis duz alt,38\$,Yes: If,Entity.Type==helis duz ust,94\$,Yes: If,Entity.Type==piyonlu,97\$,Yes: If,Entity.Type==pinyonn,95\$,Yes: If,Entity.Type==top flans,98\$,Yes: If,Entity.Type==kaplin,96\$,Yes: Else,40\$,Yes; yrm depo dispose.NumberOut=yrm depo
40\$	ASSIGN:	yrm depo dispose.NumberOut + 1;
dispose.NumberOut + 1;		
484\$	DISPOSE:	Yes;
29\$	QUEUE,	ilk bes bilesen.Queue1:DETACH;
32\$	QUEUE,	ilk bes bilesen.Queue2:DETACH;
30\$	QUEUE,	ilk bes bilesen.Queue3:DETACH;
33\$	QUEUE,	ilk bes bilesen.Queue4:DETACH;
31\$	QUEUE,	ilk bes bilesen.Queue5:DETACH;
	MATCH:	29\$,101\$: 32\$,101\$: 30\$,101\$: 33\$,101\$: 31\$,101\$;
101\$	COUNT:	yrm depo1,1:NEXT(51\$);
51\$	QUEUE,	Batch 24.Queue;
485\$	GROUP,	partsone,Temporary:5,Last:NEXT(486\$);
486\$	ASSIGN:	Batch 24.NumberOut=Batch 24.NumberOut +
1:NEXT(41\$);		
41\$	QUEUE,	tum componentler.Queue1:DETACH;
44\$	QUEUE,	tum componentler.Queue2:DETACH;
42\$	QUEUE,	tum componentler.Queue3:DETACH;
	MATCH:	41\$,46\$: 44\$,46\$: 42\$,46\$;
46\$	QUEUE,	Batch 4.Queue;
487\$	GROUP,	last,Permanent:3,Last:NEXT(488\$);
488\$	ASSIGN:	Batch 4.NumberOut=Batch 4.NumberOut +
1:NEXT(104\$);		
104\$	COUNT:	yrm depo cikis,1:NEXT(60\$);

60\$ ROUTE: 0.000000000000000,ASSE. STATION;

34\$ QUEUE, ikinci grup bilesenler.Queue1:DETACH;
37\$ QUEUE, ikinci grup bilesenler.Queue2:DETACH;
35\$ QUEUE, ikinci grup bilesenler.Queue3:DETACH;
38\$ QUEUE, ikinci grup bilesenler.Queue4:DETACH;
MATCH: 34\$,102\$:
37\$,102\$:
35\$,102\$:
38\$,102\$;

102\$ COUNT: yrm depo2,1:NEXT(52\$);

52\$ QUEUE, Batch 26.Queue;
489\$ GROUP, partstwo,Temporary:4,Last:NEXT(490\$);

490\$ ASSIGN: Batch 26.NumberOut=Batch 26.NumberOut +
1:NEXT(44\$);

94\$ QUEUE, ucuncu grup bilesenler.Queue1:DETACH;
97\$ QUEUE, ucuncu grup bilesenler.Queue2:DETACH;
95\$ QUEUE, ucuncu grup bilesenler.Queue3:DETACH;
98\$ QUEUE, ucuncu grup bilesenler.Queue4:DETACH;
96\$ QUEUE, ucuncu grup bilesenler.Queue5:DETACH;
MATCH: 94\$,103\$:
97\$,103\$:
95\$,103\$:
98\$,103\$:
96\$,103\$;

103\$ COUNT: yrm depo3,1:NEXT(99\$);

99\$ QUEUE, Batch 51.Queue;
491\$ GROUP, partthree,Temporary:5,Last:NEXT(492\$);

492\$ ASSIGN: Batch 51.NumberOut=Batch 51.NumberOut +
1:NEXT(42\$);

47\$ STATION, ASSE. STATION;
495\$ DELAY: 0.0,,VA:NEXT(124\$);
124\$ ASSIGN: Entity.Type=urun:NEXT(48\$);

48\$ ASSIGN: disli kutu montaj.NumberIn=disli kutu
montaj.NumberIn + 1;

499\$ QUEUE, disli kutu montaj.WIP=disli kutu montaj.WIP+1;
498\$ SEIZE, disli kutu montaj.Queue;
2,VA:
assembly,1:NEXT(497\$);

497\$ DELAY: Normal(150,.2),,VA;
496\$ RELEASE: assembly,1;
544\$ ASSIGN: disli kutu montaj.NumberOut=disli kutu
montaj.NumberOut + 1;
disli kutu montaj.WIP=disli kutu montaj.WIP-
1:NEXT(100\$);

100\$ COUNT: urun ciktisi,1:NEXT(135\$);

135\$ ROUTE: 0.000000000000000,BOYAHANE ISTASYONU;

547\$ CREATE,
100,MinutesToBaseTime(0.0),govde:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(548\$);

548\$ ASSIGN: ANA GOVDE.NumberOut=ANA GOVDE.NumberOut +
1:NEXT(62\$);

62\$ ASSIGN: g_WIP=g_WIP+1;
gelis=TNOW;
Entity.Sequence=ANA GOVDEE;

```

type=1:NEXT(114$);

114$          COUNT:          ana depo giris,1:NEXT(28$);

28$           STATION,        ana depoo;
553$          DELAY:          0.0,,VA:NEXT(53$);

53$           ROUTE:          0.000000000000000,SEQ;

554$          CREATE,         100,MinutesToBaseTime(0.0),balta
disli:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(555$);

555$          ASSIGN:         BALTA D.NumberOut=BALTA D.NumberOut +
1:NEXT(63$);
63$           ASSIGN:         gelis=TNOW:
BALTA D_WIP=BALTA D_WIP+1:
Entity.Sequence=BALTA DISLII:
type=2:NEXT(114$);

558$          CREATE,         100,MinutesToBaseTime(0.0),helis duz
alt:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(559$);

559$          ASSIGN:         HELISDUZALT.NumberOut=HELISDUZALT.NumberOut +
1:NEXT(64$);
64$           ASSIGN:         gelis=TNOW:
HELISDUZALT_WIP=HELISDUZALT_WIP+1:
Entity.Sequence=HELISDUZALT:
type=9:NEXT(114$);

562$          CREATE,         100,MinutesToBaseTime(0.0),on
kapak:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(563$);

563$          ASSIGN:         ONKAPAK.NumberOut=ONKAPAK.NumberOut +
1:NEXT(65$);
65$           ASSIGN:         gelis=TNOW:
ONKAPAK_WIP=ONKAPAK_WIP+1:
Entity.Sequence=ONKAPAKK:
type=3:NEXT(114$);

566$          CREATE,         100,MinutesToBaseTime(0.0),ayar
kapagi:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(567$);

567$          ASSIGN:         AYARKAPAGI.NumberOut=AYARKAPAGI.NumberOut +
1:NEXT(66$);
66$           ASSIGN:         gelis=TNOW:
AYARKAPAGI_WIP=AYARKAPAGI_WIP+1:
Entity.Sequence=AYARKAPAGII:
type=4:NEXT(114$);
570$          CREATE,         100,MinutesToBaseTime(0.0),red.
govde:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(571$);

571$          ASSIGN:         REDGOVDEE.NumberOut=REDGOVDEE.NumberOut +
1:NEXT(67$);
67$           ASSIGN:         gelis=TNOW:
REDGOVDEE_WIP=REDGOVDEE_WIP+1:
Entity.Sequence=REDGOVDEEE:
type=5:NEXT(114$);

574$          CREATE,         100,MinutesToBaseTime(0.0),sonsuz
vida:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(575$);

575$          ASSIGN:         SONSUZVIDA.NumberOut=SONSUZVIDA.NumberOut +
1:NEXT(68$);

```

68\$ ASSIGN: gelis=TNOW:
 SONSUZVIDA_WIP=SONSUZVIDA_WIP+1:
 Entity.Sequence=SONSUZVIDAA:
 type=6:NEXT(114\$);

578\$ CREATE, 100,MinutesToBaseTime(0.0),red.
 kapak:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(579\$);

579\$ ASSIGN: REDKAPAK.NumberOut=REDKAPAK.NumberOut +
 1:NEXT(69\$);

69\$ ASSIGN: gelis=TNOW:
 REDKAPAK_WIP=REDKAPAK_WIP+1:
 Entity.Sequence=REDKAPAKK:
 type=7:NEXT(114\$);

582\$ CREATE, 100,MinutesToBaseTime(0.0),taban
 burcu:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(583\$);

583\$ ASSIGN: TABANBURC.NumberOut=TABANBURC.NumberOut +
 1:NEXT(70\$);

70\$ ASSIGN: gelis=TNOW:
 TABANBURC_WIP=TABANBURC_WIP+1:
 Entity.Sequence=TABANBURCC:
 type=8:NEXT(114\$);

586\$ CREATE, 100,MinutesToBaseTime(0.0),helis duz
 ust:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(587\$);

587\$ ASSIGN: HELISDUZUST.NumberOut=HELISDUZUST.NumberOut +
 1:NEXT(71\$);

71\$ ASSIGN: gelis=TNOW:
 HELISDUZUST_WIP=HELISDUZUST_WIP+1:
 Entity.Sequence=HELISDUZUSTT:
 type=10:NEXT(114\$);

590\$ CREATE, 100,MinutesToBaseTime(0.0),piyonlu:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(591\$);

591\$ ASSIGN: PINYONLU.NumberOut=PINYONLU.NumberOut +
 1:NEXT(72\$);

72\$ ASSIGN: gelis=TNOW:
 PINYONLU_WIP=PINYONLU_WIP+1:
 Entity.Sequence=PINYONLUU:
 type=11:NEXT(114\$);

594\$ CREATE, 100,MinutesToBaseTime(0.0),pinyonn:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(595\$);

595\$ ASSIGN: PINYN.NumberOut=PINYN.NumberOut + 1:NEXT(73\$);

73\$ ASSIGN: gelis=TNOW:
 PINYN_WIP=PINYN_WIP+1:
 Entity.Sequence=PINYNN:
 type=12:NEXT(114\$);

598\$ CREATE, 100,MinutesToBaseTime(0.0),top
 flans:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(599\$);

599\$ ASSIGN: TOPFLANS.NumberOut=TOPFLANS.NumberOut +
 1:NEXT(74\$);

74\$ ASSIGN: gelis=TNOW:
TOPFLANS_WIP=TOPFLANS_WIP+1:
Entity.Sequence=TOPFLANS:
type=13:NEXT(114\$);

602\$ CREATE,
100,MinutesToBaseTime(0.0),kaplin:MinutesToBaseTime(1),1:NEXT(603\$);

603\$ ASSIGN: KAPLN.NumberOut=KAPLN.NumberOut + 1:NEXT(75\$);

75\$ ASSIGN: gelis=TNOW:
KAPLN_WIP=KAPLN_WIP+1:
Entity.Sequence=KAPLINN:
type=14:NEXT(114\$);

76\$ STATION,
608\$ DELAY: BORWERK STATION;
0.0,,VA:NEXT(77\$);
77\$ ASSIGN: GOVDE ISLEME.NumberIn=GOVDE ISLEME.NumberIn +
1:
GOVDE ISLEME.WIP=GOVDE ISLEME.WIP+1;
612\$ QUEUE,
GOVDE ISLEME.Queue;
611\$ SEIZE,
2,VA:
isleme delme borwerk,1:NEXT(610\$);

610\$ DELAY: islem sure,,VA;
609\$ RELEASE: isleme delme borwerk,1;
657\$ ASSIGN: GOVDE ISLEME.NumberOut=GOVDE ISLEME.NumberOut +
1:
GOVDE ISLEME.WIP=GOVDE ISLEME.WIP-1:NEXT(78\$);
78\$ BRANCH,
1:
With,(95)/100,660\$,Yes:
Else,661\$,Yes;
660\$ ASSIGN: Borwerk kalite kontrol.NumberOut True=Borwerk
kalite kontrol.NumberOut True + 1:NEXT(108\$);

661\$ ASSIGN: Borwerk kalite kontrol.NumberOut False=Borwerk
kalite kontrol.NumberOut False + 1:NEXT(117\$);

108\$ COUNT: borwerk cikis,1:NEXT(81\$);

81\$ ROUTE: 0.000000000000000,SEQ;

117\$ COUNT: Type,1:NEXT(79\$);

79\$ COUNT: borwerk hurda,1:NEXT(80\$);
80\$ ASSIGN: borwerk tezgahi kalite
kontrol.NumberOut=borwerk tezgahi kalite kontrol.NumberOut + 1;
662\$ DISPOSE: Yes;

82\$ STATION,
665\$ DELAY: YOUJII500 STATION;
0.0,,VA:NEXT(83\$);

83\$ ASSIGN: YJ500 ISLEM.NumberIn=YJ500 ISLEM.NumberIn + 1:
YJ500 ISLEM.WIP=YJ500 ISLEM.WIP+1;
669\$ QUEUE,
YJ500 ISLEM.Queue;
668\$ SEIZE,
2,VA:
delme youji 500,1:NEXT(667\$);

667\$ DELAY: islem sure,,VA;
666\$ RELEASE: delme youji 500,1;
714\$ ASSIGN: YJ500 ISLEM.NumberOut=YJ500 ISLEM.NumberOut +
1:
YJ500 ISLEM.WIP=YJ500 ISLEM.WIP-1:NEXT(84\$);

84\$ BRANCH,
1:
With,(95)/100,717\$,Yes:

```

Else,718$,Yes;
717$      ASSIGN:      you jii 500 kalite kontrol.NumberOut True=you
jii 500 kalite kontrol.NumberOut True + 1:NEXT(109$);

718$      ASSIGN:      you jii 500 kalite kontrol.NumberOut False=you
jii 500 kalite kontrol.NumberOut False + 1
:NEXT(118$);
109$      COUNT:      YOUJII500 cikis,1:NEXT(87$);

87$      ROUTE:      0.0000000000000000,SEQ;
118$      COUNT:      Type,1:NEXT(85$);
85$      COUNT:      YOUJII500 hurda,1:NEXT(86$);

86$      ASSIGN:      you jii 500 hurda cikis.NumberOut=you jii 500
hurda cikis.NumberOut + 1;
719$      DISPOSE:      Yes;

88$      STATION,      YOUJII1000 STATION;
722$      DELAY:      0.0,,VA:NEXT(89$);
89$      ASSIGN:      YJ1000 ISLEM.NumberIn=YJ1000 ISLEM.NumberIn +
1:
YJ1000 ISLEM.WIP=YJ1000 ISLEM.WIP+1;
726$      QUEUE,      YJ1000 ISLEM.Queue;
725$      SEIZE,      2,VA:
delme youji 1000,1:NEXT(724$);

724$      DELAY:      islem sure,,VA;
723$      RELEASE:      delme youji 1000,1;
771$      ASSIGN:      YJ1000 ISLEM.NumberOut=YJ1000 ISLEM.NumberOut +
1:
YJ1000 ISLEM.WIP=YJ1000 ISLEM.WIP-1:NEXT(90$);
90$      BRANCH,      1:
With, (95)/100,774$,Yes:
Else,775$,Yes;
774$      ASSIGN:      Youjii1000 kalite kontrol.NumberOut
True=Youjii1000 kalite kontrol.NumberOut True + 1:NEXT(110$);

775$      ASSIGN:      Youjii1000 kalite kontrol.NumberOut
False=Youjii1000 kalite kontrol.NumberOut False + 1:NEXT(119$);

110$      COUNT:      YOUJII1000 cikis,1:NEXT(93$);
93$      ROUTE:      0.0000000000000000,SEQ;
119$      COUNT:      Type,1:NEXT(91$);
91$      COUNT:      YOUJII1000 hurda,1:NEXT(92$);
92$      ASSIGN:      You jii 1000 hurda cikis.NumberOut=You jii 1000
hurda cikis.NumberOut + 1;
776$      DISPOSE:      Yes;

134$      STATION,      BOYAHANE ISTASYONU;
779$      DELAY:      0.0,,VA:NEXT(129$);

129$      ASSIGN:      disli kutu son kat boya.NumberIn=disli kutu son
kat boya.NumberIn + 1:
disli kutu son kat boya.WIP=disli kutu son kat
boya.WIP+1;
783$      QUEUE,      disli kutu son kat boya.Queue;
782$      SEIZE,      2,VA:
son kat boya,1:NEXT(781$);

781$      DELAY:      Normal (5,.2),,VA;

```

```

780$      RELEASE:      son kat boya,1;
828$      ASSIGN:       disli kutu son kat boya.NumberOut=disli kutu
son kat boya.NumberOut + 1:
                        disli kutu son kat boya.WIP=disli kutu son kat
boya.WIP-1:NEXT(130$);

130$      COUNT:        boyali urun ciklisi,1:NEXT(126$);

126$      ASSIGN:       ft=tnow:
                        totalft=totalft+ft:
                        cikan=cikan+1:
                        mft=totalft/cikan;
127$      WRITE,        ftime,"%g\n":
                        ft:NEXT(128$);

128$      BRANCH,       1:
                        If,

cikan+MX(nc(c1),nc(c2),nc(c3),nc(c4),nc(c5),nc(c6),nc(c7),nc(c8),nc(c9),nc(c
10),nc(c11),nc(c12),nc(c13),nc(c14))==100,
                        831$,Yes:
                        Else,832$,Yes;
831$      ASSIGN:       makespannn.NumberOut True=makespannn.NumberOut
True + 1:NEXT(131$);

832$      ASSIGN:       makespannn.NumberOut False=makespannn.NumberOut
False + 1:NEXT(132$);

131$      ASSIGN:       makespan=tnow:NEXT(133$);

133$      WRITE,        mspan,"%f\n":
                        makespan:NEXT(132$);

132$      ASSIGN:       Dispose 30.NumberOut=Dispose 30.NumberOut + 1;
833$      DISPOSE:      Yes;

```

EK B. Mevcut Dişli Kutusu Üretimi Simülasyon Modeline Ait Exp. Dosyası

```
PROJECT,          "Unnamed Project", "Rockwell
Automation",,,No,Yes,Yes,Yes,No,No,No,No,No,No;

ATTRIBUTES:      partstwo,DATATYPE(Real):
                  type,DATATYPE(Real):
                  partthree,DATATYPE(Real):
                  islem sure,DATATYPE(Real):
                  gelis,DATATYPE(Real):
                  partsone,DATATYPE(Real):
                  ft,DATATYPE(Real):
                  last,DATATYPE(Real);

FILES:           mspan,"C:\tez\result2.txt",Sequential,Free
Format,Error,No,Hold:
                  ftime,"C:\tez\result.txt",Sequential,Free
Format,Error,No,Hold;

VARIABLES:       MIL ISLE.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
                  you jii 500 kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  REDKAPAK_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
                  TOPFLANS.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  Batch 4.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  TABANBURC_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
                  PINYON DISLI
KAPLAMA.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  DIS ACMA
PROSES.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  Dispose 30.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  disli isleme kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  YJ500 ISLEM.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  MIL ISLE.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  CNC ISLEM.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
                  makespan,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
                  HELISDUZUST_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
                  MIL ISLE.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  astar boya hurda
cikis.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  Batch 24.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  AYARKAPAGI_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
                  ANA GOVDE.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  Batch 51.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  PINYN.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  HELISDUZUST.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  astar boya kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  disli kutu son kat boya.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
                  makespannn.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
                  GOVDE ISLEME.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
                  giren,CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real),100:
                  PINYON DISLI KAPLAMA.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
```

```

BOYA ISLEM.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
    Youjii1000 kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    astar boya kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    CNC hurda
cikis.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    DELME ISLEM.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
    Borwerk kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    disli kutu
montaj.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    kaplama kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    cikan,CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real):
    AYARKAPAGI.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    CNC islem kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    you jii 500 hurda
cikis.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    HELISDUZALT.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    REDGOVDEE_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
    PINYN_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
    You jii 1000 hurda
cikis.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    KAPLN_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
    CNC islem kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    PINYONLU_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
    Batch 26.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    REDKAPAK.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    kaplama hurda
cikis.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    disli kutu son kat
boya.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    DELME ISLEM.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    disli isleme hurda
cikis.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    delme islem hurda
cikis.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    kaplama kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    CNC ISLEM.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    dis acma kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    disli kutu son kat
boya.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    ONKAPAK.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    SONSUZVIDA.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    TABANBURC.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    disli isleme kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    SONSUZVIDA_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
    YJ1000 ISLEM.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    dis acma kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    Delme islem kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
    DIS ACMA
PROSES.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

```

```

        YJ1000 ISLEM.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
        Borwerk kalite kontrol.NumberOut
True,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        YJ500 ISLEM.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        KAPLN.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        BOYA ISLEM.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        PINYONLU.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        YJ500 ISLEM.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
        HELISDUZALT_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
        dis acma hurda
        cikis.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        makespann,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
        GOVDE ISLEME.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        TOPFLANS_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
        PINYON DISLI
        KAPLAMA.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        makespannn.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        BOYA ISLEM.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        g_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
        Delme islem kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        YJ1000 ISLEM.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        mft,CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real):
        borwerk tezgahi kalite
        kontrol.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        disli kutu montaj.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
        GOVDE ISLEME.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        you jii 500 kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        ONKAPAK_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
        BALTA D_WIP,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User
Specified"),DATATYPE(Real):
        CNC ISLEM.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        yrm depo
        dispose.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        DELME ISLEM.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        REDGOVDEE.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        disli kutu
        montaj.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        DIS ACMA PROSES.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-
Exclude"),DATATYPE(Real):
        BALTA D.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        Youjii1000 kalite kontrol.NumberOut
False,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
        totalft,CLEAR(System),CATEGORY("None-None"),DATATYPE(Real);

QUEUES:
        BOYA ISLEM.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        DELME ISLEM.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        Batch 51.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        disli kutu montaj.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        PINYON DISLI KAPLAMA.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        YJ500 ISLEM.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        tum componentler.Queue1,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        tum componentler.Queue2,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        Batch 24.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        tum componentler.Queue3,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        Batch 4.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        GOVDE ISLEME.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
        MIL ISLE.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):

```

```

disli kutu son kat boya.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
CNC ISLEM.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
Batch 26.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ucuncu grup bilesenler.Queue1,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ucuncu grup bilesenler.Queue2,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ucuncu grup bilesenler.Queue3,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ucuncu grup bilesenler.Queue4,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ucuncu grup bilesenler.Queue5,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ikinci grup bilesenler.Queue1,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ikinci grup bilesenler.Queue2,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ikinci grup bilesenler.Queue3,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ikinci grup bilesenler.Queue4,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
YJ1000 ISLEM.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ilk bes bilesen.Queue1,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ilk bes bilesen.Queue2,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ilk bes bilesen.Queue3,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ilk bes bilesen.Queue4,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
DIS ACMA PROSES.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
ilk bes bilesen.Queue5,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,);

PICTURES:    Picture.Airplane:
              Picture.Green Ball:
              Picture.Blue Page:
              Picture.Telephone:
              Picture.Blue Ball:
              Picture.Yellow Page:
              Picture.EMail:
              Picture.Yellow Ball:
              Picture.Bike:
              Picture.Report:
              Picture.Van:
              Picture.Widgets:
              Picture.Envelope:
              Picture.Fax:
              Picture.Truck:
              Picture.Person:
              Picture.Letter:
              Picture.Box:
              Picture.Woman:
              Picture.Package:
              Picture.Man:
              Picture.Diskette:
              Picture.Boat:
              Picture.Red Page:
              Picture.Ball:
              Picture.Green Page:
              Picture.Red Ball;

RESOURCES:    astar
boya,Capacity(1,,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):

isleme,Capacity(1,,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
:
    son kat
boya,Capacity(1,,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
    delme youji
1000,Capacity(1,,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):

assembly,Capacity(1,,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,
,):
    delme youji
500,Capacity(1,,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):

cover,Capacity(1,,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
    dis acma
op.,Capacity(1,,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):

```

```

mil
isleme,Capacity(1),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,)
:
isleme delme
borwerk,Capacity(1),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,)
):
dik islem
delme,Capacity(1),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,);

STATIONS:    DISLI ISLE,,,DISLI ISLE,AUTOSTATS(Yes,,):
              WAREHOUSE STATION,,,WAREHOUSE STATION,AUTOSTATS(Yes,,):
              ana depoo,,,ana depoo,AUTOSTATS(Yes,,):
              astar boya istasyonu,,,astar boya istasyonu,AUTOSTATS(Yes,,):
              YOUJII1000 STATION,,,YOUJII1000 STATION,AUTOSTATS(Yes,,):
              BOYAHANE ISTASYONU,,,BOYAHANE ISTASYONU,AUTOSTATS(Yes,,):
              kaplama istasyonu,,,kaplama istasyonu,AUTOSTATS(Yes,,):
              ASSE. STATION,,,ASSE. STATION,AUTOSTATS(Yes,,):
              CNC STATION,,,CNC STATION,AUTOSTATS(Yes,,):
              YOUJII500 STATION,,,YOUJII500 STATION,AUTOSTATS(Yes,,):
              dis acma,,,dis acma,AUTOSTATS(Yes,,):
              BORWERK STATION,,,BORWERK STATION,AUTOSTATS(Yes,,):
              DRILL STATION,,,DRILL STATION,AUTOSTATS(Yes,,);

SEQUENCES:    KAPLINN,YOUJII500 STATION,,,islem sure=TRIA(99.5, 105,
121)&dis acma,,,islem sure=NORM(160, 3.07)&
              WAREHOUSE STATION:
              ONKAPAKK,astar boya istasyonu,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&YOUJII1000 STATION,,,islem sure=
              TRIA(92.5, 95, 98.5)&WAREHOUSE STATION:
              HELISDUZALTT,astar boya istasyonu,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&CNC STATION,,,islem sure=
              NORM(60.5, 2.58)&DRILL STATION,,,islem sure=TRIA(12.5, 14.7,
19.5)&dis acma,,,islem sure=
              97.5 + WEIB(5.38, 1.63)&WAREHOUSE STATION:
              TABANBURCC,CNC STATION,,,islem sure=15.5 + 5 * BETA(1.73,
1.47)&WAREHOUSE STATION:
              REDKAPAKK,astar boya istasyonu,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&DRILL STATION,,,islem sure=
              41.5 + 6 * BETA(1.51, 1.66)&WAREHOUSE STATION:
              PINYONLUU,DISLI ISLE,,,islem sure=31.5 + GAMM(1.67, 2.16)&dis
acma,,,islem sure=37.5 + WEIB(3.68, 1.85)&
              kaplama istasyonu,,,islem sure=TRIA(7.5, 10, 12.5)&WAREHOUSE
STATION:
              BALTA DISLII,astar boya istasyonu,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&YOUJII500 STATION,,,islem sure=
              NORM(210, 2.74)&dis acma,,,islem sure=475 + 16 * BETA(0.623,
0.353)&WAREHOUSE STATION:
              PINYNN,CNC STATION,,,islem sure=31.5 + 5 * BETA(1.74,
1.39)&dis acma,,,islem sure=37.5 + WEIB(2.8, 1.73)&
              WAREHOUSE STATION:
              AYARKAPAGII,astar boya istasyonu,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&CNC STATION,,,islem sure=
              36.5 + 9 * BETA(1.11, 1.32)&DRILL STATION,,,islem sure=17.5 +
WEIB(4.24, 1.88)&WAREHOUSE STATION:
              SONSUZVIDAA,CNC STATION,,,islem sure=NORM(99.7, 2.75)&dis
acma,,,islem sure=350 + 21 * BETA(0.552, 0.702)&
              WAREHOUSE STATION:
              REDGOVDEEE,astar boya istasyonu,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&DRILL STATION,,,islem sure=
              48.5 + 10 * BETA(1.08, 1.23)&WAREHOUSE STATION:
              ANA GOVDEE,astar boya istasyonu,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&BORWERK STATION,,,islem sure=
              295 + 18 * BETA(0.829, 0.847)&WAREHOUSE STATION:
              TOPFLANSS,astar boya istasyonu,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&CNC STATION,,,islem sure=
              TRIA(31.5, 35.5, 37.5)&DRILL STATION,,,islem sure=TRIA(9.5,
15, 16.5)&WAREHOUSE STATION:

```

```

        HELISDUZUSTT,astar boya istasyonu,,,,islem sure=5 + 2.73 *
BETA(0.451, 0.869)&CNC STATION,,,,islem sure=
        NORM(60.4, 2.65)&DRILL STATION,,,,islem sure=NORM(15.2,
1.31)&dis acma,,,,islem sure=NORM(107, 4.27)&
        WAREHOUSE STATION;

COUNTERS:      1,c1,,Replicate:
                  2,c2,,Replicate:
                  3,c3,,Replicate:
                  4,c4,,Replicate:
                  5,c5,,Replicate:
                  6,c6,,Replicate:
                  7,c7,,Replicate:
                  8,c8,,Replicate:
                  9,c9,,Replicate:
                  10,c10,,Replicate:
                  11,c11,,Replicate:
                  12,c12,,Replicate:
                  13,c13,,Replicate:
                  14,c14,,Replicate:
Counter 1111,,,,DATABASE("Count","User Specified","Counter
1111"):
dis acma cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","dis acma
cikis"):
dis acma hurda,,,,DATABASE("Count","User Specified","dis acma
hurda"):
YOUJII500 cikis,,,,DATABASE("Count","User
Specified","YOUJII500 cikis"):
urun ciklisi,,,,DATABASE("Count","User Specified","urun
ciklisi"):
YOUJII500 hurda,,,,DATABASE("Count","User
Specified","YOUJII500 hurda"):
CNC cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","CNC cikis"):
YOUJII1000 cikis,,,,DATABASE("Count","User
Specified","YOUJII1000 cikis"):
astar boya cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","astar
boya cikis"):
kaplama cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","kaplama
cikis"):
CNC hurda,,,,DATABASE("Count","User Specified","CNC hurda"):
YOUJII1000 hurda,,,,DATABASE("Count","User
Specified","YOUJII1000 hurda"):
astar boya hurda,,,,DATABASE("Count","User Specified","astar
boya hurda"):
yrm depo giris,,,,DATABASE("Count","User Specified","yrm depo
giris"):
kaplama hurda,,,,DATABASE("Count","User Specified","kaplama
hurda"):
boyali urun ciklisi,,,,DATABASE("Count","User
Specified","boyali urun ciklisi"):
delme cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","delme
cikis"):
delme hurda cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","delme
hurda cikis"):
borwerk cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","borwerk
cikis"):
ana depo giris,,,,DATABASE("Count","User Specified","ana depo
giris"):
DISLI ISLE cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","DISLI
ISLE cikis"):
borwerk hurda,,,,DATABASE("Count","User Specified","borwerk
hurda"):
yrm depo cikis,,,,DATABASE("Count","User Specified","yrm depo
cikis"):
DISLI ISLE hurda,,,,DATABASE("Count","User Specified","DISLI
ISLE hurda"):
yrm depo1,,,,DATABASE("Count","User Specified","yrm depo1"):
yrm depo2,,,,DATABASE("Count","User Specified","yrm depo2"):

```

```

        yrm depo3,,,DATABASE("Count","User Specified","yrm depo3");

OUTPUTS:
makespan,"C:\tez\makespan1.dat",makespan1,DATABASE("Output","User
Specified","makespan1"):
        NC(urun ciktisi),"C:\tez\urun ciktisi.xlsx",Statistic
2,DATABASE("Output","User Specified","Statistic 2"):
        cikan:
        mft:

OVALUE(makespan1),"C:\tez\makespan1.dat",makespan1,DATABASE("Output","User
Specified","makespan1"):
        totalft;

REPLICATE,      10,0.0,,Yes,Yes,0.0,

cikan+MX(nc(c1),nc(c2),nc(c3),nc(c4),nc(c5),nc(c6),nc(c7),nc(c8),nc(c9),nc(c
10),nc(c11),nc(c12),nc(c13),nc(c14))==100,,
        24.0,Minutes,No,No,,No,No;

ENTITIES:      govde,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        helis duz
alt,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):

kaplin,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        red.
govde,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        helis duz
ust,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        on
kapak,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):

pinyonn,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):

piyonlu,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        urun,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        taban
burcu,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        top
flans,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        Entity
1,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        Entity
2,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        Entity
3,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):

pinyon,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        ayar
kapagi,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        balta
disli,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        red.
kapak,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
        sonsuz
vida,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,);

SETS:      Counter Set 1,Counter 1111;

ACTIVITYAREAS: DISLI ISLE,0,,AUTOSTATS(Yes,,):
        WAREHOUSE STATION,0,,AUTOSTATS(Yes,,):
        ana depoo,0,,AUTOSTATS(Yes,,):
        astar boya istasyonu,0,,AUTOSTATS(Yes,,):
        YOUJII1000 STATION,0,,AUTOSTATS(Yes,,):
        BOYAHANE ISTASYONU,0,,AUTOSTATS(Yes,,):
        kaplama istasyonu,0,,AUTOSTATS(Yes,,):
        ASSE. STATION,0,,AUTOSTATS(Yes,,):
        CNC STATION,0,,AUTOSTATS(Yes,,):

```

```
YOUJII500 STATION,0,,AUTOSTATS(Yes,,):  
dis acma,0,,AUTOSTATS(Yes,,):  
BORWERK STATION,0,,AUTOSTATS(Yes,,):  
DRILL STATION,0,,AUTOSTATS(Yes,,);
```

