

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ ÜRETİM TESİSİNDE LİKİT ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYON
İLE KAPASİTE ANALİZİ VE ARA STOK YERLEŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Mete TOPÇU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ ÜRETİM TESİSİNDE LİKİT ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYON
İLE KAPASİTE ANALİZİ VE ARA STOK YERLEŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Mete TOPÇU

(507121117)

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507121117 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ömer Mete TOPÇU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "SÜREKLİ ÜRETİM TESİSİNDE LİKİT ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYON İLE KAPASİTE ANALİZİ VE TAMPON STOK YERLEŞİMİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Şule İtr SATOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Selim ZAİM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Kasım 2015**

Savunma Tarihi : **28 Aralık 2015**

Aileme, Zeynep'e ve Çanakkale'ye

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında, konu ile ilgili bilgi ve deneyimini benimle paylaşan, ilgi ve önerilerini hiçbir zaman esirgemeyen, tez danışmanlığını özenle yürüten değerli hocam Doç. Dr. Şule İtir SATOĞLU'na, ve yine çalışmam ile ilgili her konuda desteğini esirgemeyen Dr. Serdar BAYSAN'a ve çalışmama destek sağlayan Unilever Ev ve Kişisel Bakım Ürünleri Fabrikası çalışanlarına teşekkür ederim.

Bunun yanında çalışmamın her evresinde yanımda olan; bilgi ve desteğini benden esirgemeyen biricik nişanlım Ar. Gör. Zeynep BEKTAŞ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aralık 2015

Ömer Mete TOPÇU

(İmalat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. İLGİLİ KAVRAMLAR	11
2.1 Stok Kavramları	11
2.1.1 Stok tanımı	11
2.1.2 Üretim sistemlerinde stok	11
2.1.3 Tampon stok (ara stok)	12
2.2 Güvenilirlik	13
2.3 Simülasyon	14
3. PROBLEMİN TANIMI	15
3.1 Yöntem Anlatımı	15
3.2 Tampon Stok Problemlerinde Simülasyon Kullanımı	16
4. GELİŞTİRİLEN SİMÜLASYON YÖNTEMİ VE ANP	19
4.1 Geliştirilen Yöntemin Adımları	19
4.2 Analitik Ağ Süreci.....	21
5. UYGULAMA	27
5.1 Mevcut Sistemin Tanıtılması ve Problemin Belirlenmesi.....	27
5.2 Talepler ve Üretim Planlama.....	28
5.3 Mikserler ve Arızalanma ve Tamir Süresi İstatistikleri	29
5.4 Dolum Hatları Arızalanma ve Tamir Süresi İstatistikleri	32
5.5 Sistem Kısıtlarının Belirlenmesi	37
5.6 Deney Tasarımı	39
5.7 Simülasyon Modeli Kurulumu	40
5.8 Model Koşumu ve Simülasyon Sonuçları	41
5.9 Simülasyon Sonuçlarına Analitik Ağ Süreci Yöntemi Uygulanması	47
5.10 Sıralanmış Senaryolar	52
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	57
EKLER	61
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR

ANP	: Analytical Network Process
ATS	: Uyarlanabilir Tabu Araması
STS	: Basit Tabu Araması
TSP	: Tampon Stok Problemleri
AHP	: Analytical Hierarchy Process
MCDM	: Çok Kriterli Karar Verme
ÜPK	: Üretim Planlama ve Kontrol
ERP	: Enterprice Resource Planning
FIFO	: İlk Gelen İlk Gider

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : 1. hafta dolum hatlarına göre üretim planı.	29
Çizelge 5.2 : Mikserlerin arızaları ve arızaların çözümleri arasında geçen süreler..	31
Çizelge 5.3 : Mikserlerin arızalanma süreleri dağılım fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri.....	33
Çizelge 5.4 : Mikserlerin tamir süreleri dağılım fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri	33
Çizelge 5.5 : Dolum hatlarının arızaları ve arızaların çözümleri arasında geçen süreler	34
Çizelge 5.6 : Dolum hatlarının arızalanma süreleri dağılım fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri.....	36
Çizelge 5.7 : Mikserlerin tamir süreleri dağılım fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri.....	36
Çizelge 5.8 : Dolum hatlarının ambalaj ebatlarına göre üretim hızı (ton/dk.).....	38
Çizelge 5.9 : Dolum hatlarına göre atanan ara stok tankı sayısına göre senaryolar	39
Çizelge 5.10 : Senaryolara göre simülasyon sonuçları	44
Çizelge 5.11 : Simülasyon sonuçlarının normalleştirilmiş değerleri.....	45
Çizelge 5.12 : Performans kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisleri.....	48
Çizelge 5.13 : İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranı sonuçları.....	51
Çizelge 5.14 : Süpermatris.....	51
Çizelge 5.15 : Limit süpermatris	52
Çizelge 5.16 : Deney parametrelerinin önem ağırlıkları	52
Çizelge A.1 : Literatür tablosu	62
Çizelge B.1 : 2. hafta dolum hatlarına göre üretim planı.....	71
Çizelge B.2 : Senaryolara göre simülasyon sonuçları	72
Çizelge B.3 : Simülasyon sonuçlarının normalleştirilmiş değerleri	73
Çizelge B.4 : Deney parametrelerinin önem ağırlıkları.	75

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Tampon stok genel şeması.....	13
Şekil 3.1 : Geliştirilen yöntem şeması.....	22
Şekil 5.1 : Üretim sistemi şeması.....	28
Şekil 5.2 : Mikser 1 arızalanma süresi dağılımı ve fonksiyonu.....	32
Şekil 5.3 : Mikser 1 tamir süresi dağılımı ve fonksiyonu.....	33
Şekil 5.4 : Puck dolum hattı arızalanma süresi dağılımı ve fonksiyonu.....	35
Şekil 5.5 : Puck dolum hattı tamir süresi dağılımı ve fonksiyonu.....	36
Şekil 5.6 : Simülasyon modelinin akış diyagramı.....	42
Şekil 5.7 : Simülasyon modelinin Arena 10.0 programında görünümü.....	43
Şekil 5.8 : Etki matrisi.....	47

SÜREKLİ ÜRETİM TESİSİNDE LİKİT ÜRETİM HATTININ SİMÜLASYON İLE KAPASİTE ANALİZİ VE ARA STOK YERLEŞİMİ

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ve artan insan nüfusundan kaynaklanan tüketim miktarının artması ile birlikte bir çok işletme, geçmiş günlerle kıyasladığımızda hammadde temininden, nihai ürünün müşteriye teslim aşamasına kadar olan tüm süreçlerde daha fazla rekabet içinde bulunmaktadır. Rekabet şartlarının artması, tedarik zincirinde teknolojinin gelişmesi, işletmelerin kar marjlarını korumaları ya da arttırmalarını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu şartlar, işletmeleri gerek hammadde stoklarını gerek nihai ürün stoklarını gerekse üretim aşamasındaki süreç içi stokları en küçük seviyede tutmaya zorlamaktadır.

Üretim esnasında makinaların üretim hızlarının farklı oluşunun ve makinaların arızalanmalarından kaynaklanan üretim kesintilerinin neden olduğu aksaklıkları önlemek için stok bulundurmak kaçınılmaz hale gelmektedir. Fakat ara stok alanlarının doğru bir şekilde tahsis edilememesi hem temin süresini arttırmakta hem de üretimde katma değeri olmayan fazladan alan işgaline sebep olmaktadır. Temin süresi arttığında buna bağlı olarak daha fazla beklenmeyen durumla karşı karşıya gelinebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, proses tipi imalat yapan üretim tesisleri için dolmuş hatlarına göre ara stok tahsisi yapmak ve planlanan üretim planını en karlı şekilde gerçekleştirmektir. Bu çalışma ile proses tipi üretim yapan işletmelere, üretimde ara stok tahsisi problemi için çözüm alternatifleri sunmak amaçlanmıştır. Bu tip çalışmalar literatürde hem matematiksel model oluşturarak hem de simülasyon modeli kurularak ele alınmıştır. Bununla beraber üretilen ürün çeşitliliğinin fazla olması ve üretim sistemindeki makinaların arızalanma ve tamir süreleri dağılım fonksiyonlarının çeşitlilik göstermesi bu çalışma için simülasyon modelini daha kullanışlı hale getirmektedir. Simülasyon modeli ile birlikte sistem üzerinde yapılması düşünülen senaryoların analizi, hızlı, güvenilir ve neredeyse maliyetsiz bir şekilde yapılır.

Bu çalışmada, literatürde bulunan diğer çalışmaların aksine performans kriteri olarak tek bir kriter belirlenmemiş ve sistemin performansını etkileyen bütün kriterleri elde etmek amacıyla simülasyon modeli kurulmasına karar verilmiştir. Daha sonra ise bu performans kriterlerinin birbirleri ile etkileşimini bulmak ve en uygun senaryoyu belirlemek için çok kriterli karar verme metodlarından ANP metodunun performans kriterleri üzerinde uygulanmasına karar verilmiştir.

Önerilen yöntem doğruluğunu tespit etmek amacıyla, şampuan üretimi yapan bir işletmenin üretim tesisinde denenmiştir. Tesiste üretim planı uygulanırken hiçbir hesap yapılmadan üretimden sorumlu uzmanın tecrübelerine dayalı olarak yapılan ara stok tahsisi sistemi mevcuttur. Bu sebeple gerek makinaların verimsiz kullanılması, gerek ara stok bulundurma durumu gerekse haddinden fazla uzayan

Üretim süreleri üretim planının uygulanmasını olumsuz yönde etkilemektir. Belirtilen sorunlar gibi sorunları minimize etmek amacıyla üretim sisteminin simülasyon modeli kurulmuştur. Bu sistemin simülasyon modeli kurulurken ARENA 10.0 programı kullanılmıştır. Simülasyon modeli kurulurken her bir çeşit ürünün haftalık talebi, makinaların arızalanma ve tamir süreleri, makinaların ve ara stok tanklarının kapasiteleri işletmeden alınan verilerle sağlanmışır. Bunun yanında üretim planının bir çok çeşit üründen oluşmasından dolayı bir ürünün üretiminden diğer bir ürünün üretimine geçiş esnasında farklı değerlerdeki hazırlık süreleri de simülasyon modeline eklenmiştir. Bu çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran en önemli özelliklerden biri ise, farklı cinsteki likit ürünlerin ara stok tanklarında karışmaması gerektiği kısıtıdır.

Çalışmada ele alınan tesisin kısıtlarına göre 4 farklı senaryo halinde ara stok tankları dolum hatlarına farklı sayılarda tahsis edilmiş ve sistemi etkileyen tüm performans kriterlerinin senaryolara göre değerleri elde edilmiştir. Daha sonra her bir senaryodaki performans kriterlerinin birbirleri ile etkileşimi ANP metodu kapsamında o fabrikada çalışan mühendislerce cevaplanan anketler yardımı ile belirlenmiştir. Elde edilen anketin tutarlılık kontrolü yapılmış ve ANP metodu için uygun olduğu kanıtlandıktan sonra anket sonuçlarına ANP metodu uygulanmıştır. Simülasyon modeliyle elde edilen performans kriterlerinin önem katsayıları elde edilmiştir ve bu katsayılar ile simülasyon sonuçları birlikte yorumlanarak, haftalık üretim planı için ara stok tanklarının hangi dolum hattına kaç adet tahsis edilmesi gerektiği sorusunun cevabı belirlenmiştir.

Bu cevap bir çok performans kriterini içerdiğinden ve bu performans kriterlerinin birbirleriyle olan etkileşimini de göz önünde bulundurduğundan dolayı mevcut şartlardaki optimum çözümdür.

CAPACITY ANALYSIS WITH SIMULATION FOR CONTINUOUS PRODUCTION LINES AND BUFFER ALLOCATION

SUMMARY

Developing technology enables many of today's companies to compete with each other on many subjects such as raw material supply, delivery of final goods to customer because of increasing human population and consuming rate. Higher competitions between companies and developing technology standards on supply chain lead companies to either protecting or increasing their profit margins difficultly. These conditions force companies to minimize their raw material, final goods and process inventories.

Although it is good for companies not to carry inventories, in real world's production area it is required to remove malfunctions such as; different production rates of machines and unexpected breakdowns. For these kind of reasons, inventory level determination is a common study area for both academicians and sector professionals. While keeping inventories determination of buffer stock area is a critical and important topic to study. Because the buffer areas which have been specified wrongly increase lead time and cause non-value added area in production floor. As a result of increased lead time more unexpected situations are faced during production process and non-value added area in production floor causes economical losses. The main purpose of this thesis study is allocation of buffer stock for production facilities operating on process type production systems. Another reason to study on this topic is to realize the planned production plan in the most profitable way. With this study solution alternatives have been offered for the problem of buffer stock allocation in process type production systems. As it is mentioned before the benefit of this study will be decreased lead time and elimination of non-value added production areas which will return to producer companies as economically. Two general methods have been studied to solve these kind of problems. These methods are mathematical modeling and simulation. However some reasons such as high number of product types and breakdown of machines in production systems and the variety of distribution function of repair duration make simulation modeling more useful than mathematical modeling for this study. According to calculations breakdown times and repair durations fit to Weibull, Exponential, Beta, Gamma and Erlang distributions.

The benefit of simulation modelling is that analyzing system scenarios faster, more reliable and nearly free. Because of the machines of the production system are not reliable, the machines can be broken down randomly. Hence, another benefit of the

simulation modelling is that failures can be foreseen and required precautions can be taken proactively.

Despite of other similar studies in literature performance criteria has not been formed of only one criteria and it is decided to create a simulation model with all criterias which affects system performance. After creating this simulation model it is aimed to find the relation between performance criterias and best scenario. ANP method has been used as multi criteria decision making method on performance criteria to find the best scenario.

The proposed method has been tested in a production facility which produces shampoo, to find the accuracy of the simulation model. The factory is located in Gebze/Turkey and export their products to all over the world especially East Europe and Middle Asia. The factory produces 120 different type of shampoo and they are packaged into 180 ml, 200 ml, 350 ml, 400 ml, 650 ml and 700 ml sizes.

While applying production plan in facility, buffer stock allocation has been performed by the experiences of expert responsible from production without making any calculation. Because of this situation many problems have been faced such as inefficient usage of machines and buffer stock availability and production durations which are longer than usual, all of these problems affects production plans in negative way. In order to minimize these kind of problems simulation model of production system has been created. While creating the simulation model of this systems ARENA 10.0 software has been used. While creating simulation model, weekly demand of each products, breakdown of machines, repair durations, the capacities of buffer stock tanks and machines have been provided by data taken from factory. Furthermore, different set-up time which occurs while transforming from producing a product to another product have been added to simulation model. One of the main difference of this study which distinguishes this study from other studies in literature is that the constraint of liquid product can not be collected in buffer stock tanks.

In this study buffer stock tanks have been allocated to packaging lines with different numbers under four different scenarios of studied facility constraints and the value of all performance criterias which affect the system have been collected. After that the interaction of performance criterias with each other have been determined by ANP method via surveys performed on engineers who work in this production factory. The coherence control for the gathered survey have been conducted and after it is proved that the survey can be used with ANP method, this method have been applied to survey. The coefficients of performance criteris which have been determined by simulation modelling is calculated by ANP method. After that these coefficients have been harmonized with simulation results and it is aimed to find how many buffer stocks should be allocated to which packaging lines for weekly production planning.

Because of this answer includes more than one performance criterias and the interaction of these performance criterias are also examined, it is optimum solution under current conditions.

Finally, some suggestions have been given for the further studies such as experimental design can be extended in a production system which does not have a physical constraint. As another suggestion the survey used in ANP method can be applied to more people so the reliability of pairwise comparison matrix can be increased. However it must be considered that multicriteria decision making with ANP methods is based on expert opinions; for this reason the same results can not be taken from different production facilities.

1. GİRİŞ

Dünyadaki insan nüfusunun artması ile birlikte insanların tükettikleri ürünler de artmaktadır. Oldukça rekabetçi market ortamında şirketler ve organizasyonlar düşük maliyetle yüksek müşteri tatminine verimli bir şekilde ulaşmaları için tüm tedarik zinciri faaliyetlerini optimize etmek zorundadır (Diabat ve Theodorou, 2015). Stok bulundurma durumu da bu tedarik zinciri faaliyetlerinin arasında yer almaktadır.

Üretim sistemlerinin verimliliğini artırma problemi literatürde oldukça çalışılan bir problemdir. Üretim sistemlerinin büyük maliyetleri göz önüne alındığında, hafif bir iyileşmede sistemin tüm ömrü boyunca önemli tasarruflar elde edilebilir. Kritik tasarım faktörlerinden birisi de istasyonların arasındaki belirli kapasitelere sahip tampon stokların tahsisidir. Yıllık, aylık ya da haftalık üretim hedeflerinin yönetimi ve buna bağlı olarak üretim sistemlerinin tasarımı üretim sistemi üzerinde optimum tampon stok yapılandırmasını gerektirir. Böylece ,optimal tampon stok alanlarının teorik analizi ve sistemin sentezi önemli duruma gelmektedir ve aynı zamanda pratikte uygulanması ilgi çekicidir (Savsar ve Youssef, 2004).

Bu çalışmada da tampon stok hacmi sabit olan proses tipi işletmeler için üretim hatlarına göre tampon stok yerleşimi problemine simülasyon ve çok kriterli karar verme metodlarıyla çözüm aranmış ve bulunan çözüm büyük ölçekli bir tesiste denenerek doğrulanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Günümüz teknolojisinde ve sürekli gelişen rekabet ortamında işletmeler üretimlerini gerçekleştirirken tesislerini en verimli şekilde kullanmaya zorlanmaktadır. Rekabet ortamından kaynaklanan bazı sonuçlardan dolayı şirketler eskisi gibi kar oranı elde edememekte ve üretim tesisinde oluşan en küçük aksaklık üretim planı doğrultusundan şaşmaya ve hatta ürünün temin süresinin son halkasına kadar zincirleme olarak aksaklıklar meydana getirmektedir. Gelişen rekabet ortamına ayak

uydurmak için üretim tesislerinde esnek üretim sistemleri oluşturulmuştur. Fakat ne yazık ki üretim hatlarının tamamen dengeli olması, arızalanmaması, bir üründen diğer ürünün üretimine geçerken hazırlık süresinin olmaması ancak ideal üretim sisteminde mevcuttur. Bu sebeplerden dolayı üretim istasyonlarındaki makineler bazen bloklanmakta, bazen de hammadde ya da yarı mamül yetersizliğinden dolayı üretimine devam edememektedir. Bunlar gibi sorunlardan en az düzeyde etkilenmek için istasyonlar arasında tampon stok olarak bilinen; üretim hızı daha hızlı olan makinelerin malzemesiz kalmasından dolayı duruşlarını engellemek amacıyla süreç içi stoklar bulundurmamak kaçınılmaz hale gelmiştir.

Yapılan çalışmada özellikle proses tipi üretim gerçekleştiren firmalar için; üretim hatlarına göre tampon stok(ara stok tankı) atama problemine yönelik simülasyon ve çok kriterli karar verme teknikleri bütünleşik olarak kullanan bir metodoloji geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu metodoloji, likit üretim yapan esnek üretim hatlarına sahip bir fabrikanın üretim hatlarının ara stok tanklarının atanması problemi için uygulanmıştır. Söz konusu üretim sisteminin simülasyon modeli kurularak incelenmiştir. Sonrasında ise simülasyon sonucunda bulunan sonuçlar çok kriterli karar verme metodlarından ANP metodu kullanılarak değerlendirilmiş ve en uygun çözüm elde edilmiştir. Çalışmanın ara stok tahsisi konusunda problem yaşayan şirketlere ışık tutması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Uzun yıllardan beri simülasyon üretim sistemlerine uygulanmış ve gerçekleşen çalışmalarda çeşitli modeller kurulmuş ve hatların verimliliği incelenmiştir. Yapılan literatür araştırmasında üretim hatlarının analizi ve tampon stok yerleşimi hakkında yayınlar araştırılmış olup, özellikle makalelerin hangi üretim sistemi üzerine kurulduğu, analiz tekniği, kullanılan faktörler ve amaçlarının ne olduğu titizlikle incelenmiştir. Tüm bunlar Ek A'da bulunan Çizelge A.1 ile verilmiştir. Konu ile ilgili yayınlar temelde matematiksel model ve simülasyon modeli üzerine yapılmışlardır. Yapılan literatür araştırmalarında üretim sistemi kapasite analizi ve tampon stok yerleşimi problemlerini simülasyon ile ele alan yayın sayısının çok fazla olmadığı görülmüştür.

Demir ve diğ. (2014) 1998-2012 yılları arasında yapmış olduğu literatür araştırmasında bir çok makaleyi incelemişlerdir. Bulmuş oldukları sonuçlara göre tampon stok yerleştirme problemleri başlıca 3 amaçta toplanabilir. Bunlar maksimum çıktı, toplam buffer miktarını minimize etme ve ortalama üretim içi stok miktarını minimize etmedir. Buffer yerleştirme problemleri 2 bakımdan zordur. Bunlar; hattın çıktısı ve buffer miktarı arasında cebirsel ilişkinin azlığı ve buffer yerleştirme problemlerinin doğasında çoklu optimizasyon barındırmasıdır. Yazarlar tarafından 95 çalışma incelenmiştir ve bu 95 çalışmanın 54'ünde güvenilir olmayan makinalar ve 58'inde seri hatlar üzerinde çalışıldığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde sadece iki çalışmada hem toplam çıktı miktarı artırılmış hem de toplam tampon stok hacmi küçültülmüştür. Bunun yanında yapılan çalışmaların büyük bir kısmında (95'te 57) matematik modellerin kullanıldığı vurgulanmıştır.

Demir ve diğ. (2012); güvenilir ve homojen olmayan bir seri üretim hattında tampon stok paylaşmak amacı ile uyarlanabilir bir tabu arama yaklaşımı üstünde çalışmışlardır. Bu çalışmanın amacı hattın çıktısını her bir tampon stok alanının kısıtına ve toplam tampon stok alanı kısıtına rağmen arttırmaktır. Bu çalışmayı yaparken, üretim hattının verimliliğini üretim zamanı çeşitliliğine makinaların güvenilirlik parametrelerine göre değiştiğini göz ardı etmemişlerdir. Makalede ele alınan modeli çözmek için uyarlanabilir tabu araması (ATS) ve basit tabu araması (STS) adlı iki adet meta-sezgisel metot kullanılmıştır ve sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaların temeli her bir sistemi kendi içinde ayrıştırmaya ve bu sayede her bir sistem için en uygun tampon stok kapasitesini bulmaya daha sonra bu sonuçları tüm sistem için optimize etmeye dayanır. Çalışmanın sonucunda ATS algoritmasının STS algoritmasından daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir çünkü daha geniş kapsamlı problemlere (20 ve 40 makinalı hatlara) uygulanabilmektedir. Bu makalede ele alınan model bilgisayar yardımıyla nonlinear çözücü yardımıyla çözülmüştür fakat sistemdeki ve dış sistemdeki değişiklikleri dikkate alamamaktadır. Bu sebeple simülasyon yöntemi daha işe yarar sonuçlar verdiğini vurgulamaktadır.

McNamara ve diğ. (2013), temposuz ve güvenilir olmayan üretim hatlarında tampon stok yerleşiminin simülasyonu isimli çalışmada güvenilir olmayan seri hatları incelemişlerdir. Simülasyon modeli Promodel ile kesikli simülasyon olarak

oluşturulmuştur ve üretim hatlarının arızaları rassal olarak meydana gelmektedir. Simülasyon modeli 5, 8 ve 10 istasyonlu hatlar için; 5 istasyonlu hatlara 8, 16 ve 24 br kapasiteli, 8 istasyonlu hatlara 14, 28 ve 42 br kapasiteli, 10 istasyonlu hatlara 18, 36 ve 54 br kapasiteli tampon stok alanları ayrılarak oluşturulmuştur. Performans kriterleri çıktı oranı ve ortalama tampon stok miktarı olarak belirlenmiştir. En iyi çıktı miktarını sağlayan ve en düşük tampon stok miktarını sağlayan modeller birbirinden farklıdır. Çıktı oranında % 0.58 ve makinaların boş zamanlarında % 2.68 oranında iyileşme sağlanmıştır. Ortalama buffer miktarı ise %53 doluluk civarındadır.

Bu modeldeki kabullerden biri hatlarda sadece 1 çeşit ürün üretilmesi ve bu sebeple hazırlık zamanlarının olmamasıdır. Fakat günümüzün yüksek rekabetli pazarına uyum sağlamak için aynı üretim hattında birden fazla çeşitte ürün üretilmesi kaçınılmazdır. Bu sebeple kurulan model gerçek üretim gereksinimlerini karşılamamaktadır ve ilerleyen çalışmalarda bu eksikliğin giderilmesi gerekmektedir.

Sörensen ve diğ. (2011) ortaya koyduğu çalışmada 3 makinadan ve 2 tampon stok alanından oluşan sürekli üretim sistemini modelini Petrinet ile oluşturmuşlardır. Bu makinalar güvenilir değildir ve arızalar ve tamir süreleri üstel dağılıma uyduğu kabul edilerek modellenmiştir. Sistem her bir makina eşit güvenilirlikte, bir makina belirgin derecede düşük güvenilirlikte ve 1 makina belirgin derecede yüksek güvenilirlikte test edilmiştir. Performans kriteri makinaların çalışabilir durumda olduğu zamanın toplam zamana oranı olarak belirlenmiş. Her koşum 100 kere yapılmış. 6 farklı buffer büyüklükleri ile ve makinaların çeşitli kullanılabilirlik oranlarına göre deneyler yapılmıştır. En kötü sonuca karşı iyileştirmeyi görmek için hiç buffer kullanılmadan da deney yapılmıştır. Her bir test için uygun sonuçlar farklılık göstermektedir. Çalışmanın sonucunda; optimal tampon stok miktarının makinaların güveniliğirliğine büyük ölçüde bağımlı olduğunu ve tüm sistemin performansını arttırmak için 2 tampon stok miktarının da çok iyi ayarlanması gerektiği vurgulanmıştır. Eğer her bir makina eşit güvenilirlikte ise 2 tampon stok bölgesinin eşit derecede büyük olması, eğer ilk ya da son makina diğerlerinden daha az güvenilir durumda ise sırasıyla ilk ya da ikinci tampon stok bölgesinin bu makinalardaki güvenilirsizliği kırmak için düzenlenmesi gerektiği, eğer ki ortada

bulunan makina diğerlerinden daha az güvenilir ise tampon stok bölgelerinin tüm sistemin verimliliği üzerinde daha az etkili olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu çalışmada incelenen sistem oldukça az sayıda makina ve tampon stok bölgesi içermektedir bu sebeple ilerleyen çalışmalarda daha geniş lineer sistemler ve daha fazla makina ve tampon stok bölgesi içeren sistemler incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada dikkati çeken diğer bir unsur ise tüm makinelerin işlem sürelerinin eşit kabul edildiği varsayımdır fakat üretim sistemlerinde bir seri hatta bulunan makinaların işlem sürelerinin sadece ideal durumda eşit olacağı bilinmektedir. Gelecek çalışmalarda geliştirilmesi gereken unsurlardan birisi de makinaların işlem sürelerinin gerçeğe yakın değerler alınmasıdır.

Roser ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışmada tampon stokların sebep olduğu değişken dar boğazları belirleme, makinelerin bloklanması ve aç kalması araştırılmıştır. Seri ve paralel hatların bir arada bulunduğu bir sistemin tahmini bir simülasyon modeli kurulmuş ve bu model bir optimizasyon programı ile desteklenmiştir. İnceleme yapılırken iki temel adım izlenmiştir. Bunlardan birincisi makinaların aktif zamanlarında oluşacak dar boğazların olasılıklarını belirlemek, ikincisi ise makinaların boş zaman (bloklanma ve aç kalma) geçirmesinin nedenleri ve hangi tampon stok yerleşiminin bu boş zamanları azaltacağına yönelik tahmini bir model oluşturmaktır. 66 toplam tampon alanı artışına rağmen tahmin edilen ve ölçülen performansın benzer olduğu görülmüştür. Fakat bu çalışmada kullanılan işlem sürelerinin belirliği bir dağılıma uydurulması yerine ortalama zamanlar alınması makinaların arıza zamanlarının ihmal edilmesi oluşturulan modelin nispeten zayıf olduğunu göstermektedir.

Hillier (2013) ise yaptığı çalışmada tempolu olmayan seri montaj hatlarının optimal dizaynını sonlu kuyruk sistemi serilerinde Hunt(1956) tarafından formülize edilen klasik kuyruk modeli ile incelemiştir ve bulgularını simülasyon ile desteklemiştir. Bu incelemeyi yaparken iş istasyonlarının yerleşimi ve iş istasyonları arasındaki tampon stok alanlarının yerleşimi olan iki temel sorun üzerine eğilmiş ve hattın çıktı oranını arttırırken süreç içi stoğu azaltmayı aynı zamanda gerçekleştirmeye çalışmıştır. İşlem süreleri sabit nitelikte dağılımlar(üstel ve erlang) olarak ele alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; sadece süreç içi stokların maliyeti düşünülerek çıktı miktarındaki

artış hedeflendiğinde kurulan tampon stok yerleşimi ve iş istasyonları yerleşimi modellerinin ilginç bir şekilde farklı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 3 ve 4 istasyonlu sabit işlem dağılımı fonksiyonlu hatlar için kesin sonuç vermiş fakat hattın uzunluğuna ve işlem sürelerindeki varyasyona göre gözlemlerin değişiklik gösterdiği görülmüştür. Kaynak ya da buffer stoklardan sadece ikisinden birisi incelendiğinde düzgün olmayan iş yükü % 0.1 oranında geliştirilmiştir. Kurulan modelde makinaların güvenilir olarak kabul edilmiş ve arıza yapmadığı varsayılmıştır. Açıkça görülmektedir ki bu varsayım gerçek sistemler ile uyuşmamaktadır. Bu varsayım göz önünde bulundurularak makalede; eğer makinalar güvenilir olmazsa daha fazla buffer'a ihtiyaç duyulacaktır sonucuna da varılmıştır.

Amiri ve diğ. (2012) güvenilir olmayan seri hatlar ve paralel hatların beraber bulunduğu bir sistem üzerinde tampon stok dağılımını deney tasarımı, simülasyon ve genetik algoritma tabanlı incelemiş ve çok amaçlı bir formül sunmuştur. Literatürde bulunan daha önceki çalışmalardan farklı olarak işlem süreleri, arıza süreleri ve tamir sürelerinin dağılımı deterministik ve üstel dağılım olarak sınırlandırılmamıştır. İşlem süreleri olarak arıza ve tamir süreleri arasındaki zaman dağılımları kullanılmış. Arızalar için Weibull, tamir süreleri için gama dağılımı kullanılmıştır.

Üretim oranını hesaplamak için deney yapılmak üzere kesikli simülasyon modeli kurulmuştur ve daha sonra birleşik hatların çok amaçlı modelini çözmek için ve de buffer stoklarının yaklaşık olarak en iyi sonucu elde etmek için genetik algoritma modeli oluşturulmuştur. Daha sonra ise girdilere ve çıktılara ait ilişkiyi daha iyi anlamak için simülasyon modelinin matematiksel yaklaşımı olan bir meta model sunulmuştur. Bu makalenin literatüre kattığı en büyük yenilik üretim hattındaki zamanları sadece deterministik ve üstel dağılım olarak sınırlamaması ve bu zamanları deterministik olmayan ve genel dağılımlar (normal, gamma, Weibull, düzgün) cinsinden ifade edebilmesidir.

Battini ve diğ. (2009) yılında yapmış olduğu çalışmada otomatik akış süreçli, tempolu olmayan seri hatları incelemiştir. Bu seri hatta dar boğaz olduğu kabul edilen 2 makina ve bunların arasındaki tampon stok üzerinde durulmuştur. Bu inceleme yapılırken makinaların güvenilir olmadığı (arızalanabildiği) unutulmamıştır fakat sadece mikro seviyedeki (100 sn. civarındaki) arızalar dikkate alınmıştır.

Makinaların işlem süreleri deterministik ve sabit, arıza ve tamir süreleri normal dağılıma uymaktadır ve Buffer miktarını hesaplamada deneysel cross matris diye bir yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada daha önceki bir çalışma referans alınarak stok maliyetleri ihmal edilmiştir. Bunun nedeni otomatik hatlar için arızadan kaynaklanan kayıpların stoktan kaynaklanan kayıplardan daha önemli olmasıdır. Mikro düzeydeki arızaların ve tamir sürelerinin normal dağılıma uyması ile maksimum kapasitedeki buffer miktarları ve yeni önerilen G indeksi arasında güçlü bir pozitif korelasyonun olduğu bulunmuştur. Orta seviyedeki bufferların miktarını yaklaşık olarak hızlı bir şekilde ölçmek için ve yeni bir otomatik hat kurmaya yardım etmek için güvenlik faktörlü bir deneysel matris geliştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda mikro seviyedeki arızaların farklı dağılımlarda incelenmesi beklenmektedir.

Vouros ve diğ. (1998) ise yapmış olduğu çalışmada sistemden maksimum çıktıyı ve optimum tampon stok yerleşimini elde etmek amacıyla simülasyon ve sayısal algoritma yöntemlerini beraber kullanmışlardır. Seri hatların işlem süreleri erlang dağılımına, arıza süreleri poisson dağılımına ve tamir süreleri de üstel dağılıma uygun olarak modellenmiştir. Performans kriterleri ise izin verilen toplam buffer alanına karşın çıktı miktarı ve ortalama üretim zamanı olarak belirlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda ASBA isimli güvenilir hatlardaki buffer dağılımını sağlayan sistem geliştirilerek ASBA2 isimli sistem kurulmuştur ve üretim hattı sayısındaki artış, ASBA2'nin optimalliğini arttırmaktadır. ASBA2 ile elde edilen sonuçlar optimalliğe çok yakındır.

Staley ve diğ. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada güvenilir ve güvenilir olmayan seri hatlar beraber incelenmiş, hatların arıza ve bakım süreleri üstel dağılıma uyar şekilde alınmış, güvenilir hatların işlem süreleri lognormal ve üstel dağılım olarak belirlenmiştir. Koşumlar 4 ve 8 iş istasyonlu hatlar için yapılmıştır. Çıktı sonuçlarında farklı buffer yapılanması üzerine gidilmiştir. Her bir kıyaslamada %95 güvenilirlik oranı kullanılmıştır ve elde edilen başlıca sonuçlar şu şekildedir: Eğer dar boğazın etkisi yeterince geniş ise, dar boğazın etrafında çok tampon stok olduğu durumlarda buffer sayısı çiftten teke indirilebilir. Bunun yanında dar boğaz olmayan iş istasyonlarındaki üretim süreleri varyasyonu arttığında, dar boğazın şiddeti kapalı hatlarda artar fakat açık hatlarda artmaz. Çift tampon stok yerleşimi ile

maksimum tampon stok yerleşimi arasındaki maksimum çıktı yüzdesi farkı 1 dar boğazın güçlü olması durumunda 4 istasyonlu hatlarda %1.78, 8 istasyonlu hatlarda %2.78'dir. Üretim hatları tasarımcıları için açıktır ki açık ve kapalı üretim hatları bufferların yerleşimine göre benzer davranış gösterirler, fakat kapalı hatların tampon stok yerleşimi dar boğazlarda daha az hassastır. Tampon stok yerleşimi, kapalı güvenilir olmayan hatların çıktısı üzerinde az etkiye sahiptir, halbuki güvenilir kapalı hatlar için tampon stok yerleşimi büyük etkiye sahip olabilmektedir. Bu çalışmanın az sayıdaki tampon stok üzerinde yapıldığı unutulmamalıdır. Deneyler hatların çoğunun sadece 1 tampon stok alanıyla sınırlandırıldığını ve sadece bir kaç hat için birden fazla tampon stok kullanılabileceğini göstermiştir.

Sörensen ve diğ. (2004) güvenilir olmayan makinaların bulunduğu sürekli akış nakil hattını inceledikleri çalışmalarında Petri Net ile kesikli simülasyon modeli kurmuşlardır. Bu çalışmayı yaparken sistemdeki tüm makinaların hızlarını eşit kabul etmişlerdir. Üretimdeki aksaklıkları belirleyen faktörün makinaların arızalanmaları olarak kabul etmişlerdir. Sistemin davranışını yeni bir tampon stok ekleyerek ve daha güvenilir makinalar kullanarak incelemişlerdir. İncelenmekte olan sistem yeterli kadar kullanılabilir değilse tampon stok sayısının artırılmasını ya da makinaların arıza oranının azaltılmasını önermişlerdir. Bu çalışmanın gerçek üretim sistemine uyarlanması günlük hayatta biraz zordur, çünkü tampon stok eklemek süreç içi stoğu arttıracığından süreç içi maliyeti de arttıracaktır. Bu durum işletmeler için pek cazip değildir.

Han ve diğ. (2002) çalışması sınırlı tampon stok alanları ve arızalanabilir makinaların bulunduğu seri hat için çıktı oranını enbüyüklemek amacıyla yapılmıştır. Taylor serisinin genişletilmesiyle bir yaklaşım metodu elde edilmiş ve çıkan sonuç simülasyon ile doğrulanmıştır. Arızalar hem zaman tabanlı hem de operasyon tabanlıdır ve arıza ve tamir süreleri geometrik olarak dağılmaktadır. Tampon stok kapasiteleri arttığında, tampon stokların tamamen boş ya da tamamen dolu olması arızaların çıktı üzerinde etkisini ortadan kaldıracaktır. Bununla birlikte tampon stok kapasitelerinin artırılması ekstra maliyete ve süreç içi stoğa sebep olacaktır. 5 ve 10 hatlı makinalar için, her bir tampon stok için tampon stok boyutunu 5'ten 45'e kadar değiştirerek simülasyon kurulmuş ve performans kriteri olarak hattın çıktısı

incelenmiştir. Her bir koşum 10^7 saniye sürmüştür. Elde edilen sonuçların gayet iyi olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında; baskın makinanın çıktı oranı üstünde en yüksek hassaslığa sahip olduğunu bulmuştur.

Andijani ve diğ. (1997) ise seri hatlarda tampon stok yerleşimi problemi için simülasyon ve çok kriterli karar verme tekniklerini beraber kullanmışlardır. Bununla birlikte simülasyonu Expert Choice isimli bir optimizasyon programı ile birlikte kullanmışlardır. Deneyde 3 ve 4 adet özdeş üretim istasyonu, 8 adet buffer ve 2 farklı işlem süresi dağılımı (uniform ve üstel) kullanılmıştır. Ortalama çıktı oranı, ortalama süreç içi stok ve ortalama sistem zamanı performans kriterleri olarak belirlenmiştir. Tüm olurlu çözümler bulunduktan sonra “Analitik hiyerarşi model” ile bu olurlu çözümler sıraya sokulmuştur. Sonuç ortalama çıktı oranının, ortalama süreç içi stok ve zaman üzerinde büyük etkisi olduğunu göstermektedir.

Köse ve diğ. (2015) seri üretim hatlarında kesikli üretim üzerinde maksimum çıktıyı elde etmek için yaptığı çalışmada genetik algoritma, tavlama benzetimi ve kesikli olay simülasyonu yöntemlerini beraber kullanmışlardır. Üretim hattındaki karı arttırmak amacıyla tampon stok istasyonundaki tampon stok stok sayısını optimize etmeyi içeren bir NP hard problemi ele alınmıştır. Önerilen yaklaşım arama aracı ve değerlendirme aracı içermektedir. Genetik algoritma ve tavlama benzetimi arama aracı, hattın ortalama çıktı miktarını hesaplamak için ise kesikli olay simülasyonu (Arena V10) da değerlendirme aracı olarak kullanılmış. Önerilen hibrit algoritma çok sayıda makina içeren problemler için de uygun sonuçlar vermiştir.

Gürkan (2000) ise çalışmasında likit ürün üreten, arızalanma ve tamir süreleri rastgele olan sıralı makinaların bulunduğu üretim hattını en uygun tampon stok yerleşimini bulmak için simülasyon tabanlı optimizasyon metodu ile incelemiştir. Sonuç olarak bir dizi sayısal deney sunmuşlardır. Bu sayısal çalışmalarda, şu anki hesaplamalı standartlara göre zor çözülen problemler üzerinde önerdikleri metodun gayet iyi çalıştığını vurgulamışlardır.

2. İLGİLİ KAVRAMLAR

Bu bölümde stok kavramları tanımları verilecek ve sınıflandırmalar yapılarak stok sistemini etkileyen parametreler incelenecektir.

2.1 Stok Kavramları

2.1.1 Stok tanımı

Stok, fiziksel objelerin belirli bir zaman içinde belirli alanlarda elde tutulmasıdır. Seri üretim yapan üretim tesislerinde üretilen ürünler çeşitlilik gösterdikçe temin, talep ve üretimde meydana gelen belirsizlikler stok bulundurmaya kaçınılmaz hale getirir (Kobu, 1996).

Stok bulundurma taleplerdeki belirsizliğin istenmeyen etkilerini azaltırken çeşitli maliyetlerin ortaya çıkmasına sebep olur. Diğer yönden üretim düzgün yürür ve müşteri beklentileri zamanında karşılanır. Stok kontrolünün amacı ise meydana gelen olumlu ve olumsuz maliyet unsurlarını en uygun şekilde optimize etmektir (Kobu, 1996).

Stok çeşitleri içinde bulundurduğu fiziksel objelere göre hammadde stoğu, yarımamül stoğu ve mamül stoğu olmak üzere üçe ayrılır. Tampon stok kavramı yarımamül stoğu içine girdiğinden dolayı bu kavram ileriki aşamalarda daha ayrıntılı işlenecektir.

2.1.2 Üretim sistemlerinde stok

Üretim sistemleri ürün tipi ve üretim sayısına göre farklılık gösterir. Kabaca üretim sistemlerini kesikli üretim sistemleri ve sürekli üretim sistemleri olarak ikiye ayırabiliriz.

Sürekli üretim sistemleri az sayıda ürünün üretildiği üretim sistemleridir. Ürünler kesikli parçalar halinde olmayıp, sürekli veya akışkan yapıya sahiptir. Bu sistemlerde talep sürekli ve yüksektir ve belirli makinalar ya da sistemler belirli ürünlerin

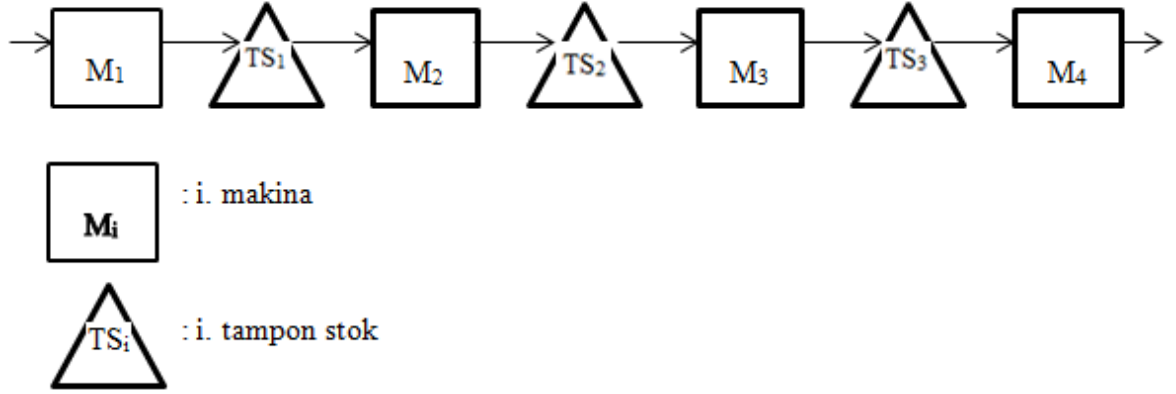
üretimine tahsis edildiğinden dolayı kapasite kullanım oranı da yüksek olur. Sürekli üretim sistemlerinde yer alan makineler maliyeti yüksek ve özel amaçlı makinelerdir, kurulumu ise yüksek sermaye gerektirir. Sistemin en belirgin özelliği; ürünün hareket halinde olması (ürün akışı) ve sistemin üretilen ürün cinsine göre belirlenmesidir. Sürekli üretim sisteminde sistemin her hangi bir yerinde meydana gelen aksaklık tüm sistemi etkileyeceği için makinelerin bloklanmaması ve aç kalmaması için azami derecede önem gösterilir. Bu tip sistemlerde tampon stok kavramı ciddi önem taşır.

Talebin düzenli olmadığı, farklı ürünlerin değişik miktarlarda üretildiği, ürünlerin kesikli parçalar halinde üretildiği üretim sistemleri ise kesikli üretim sistemleri olarak adlandırılır. Kesikli üretim sistemlerinde üretilen mamülün sık aralıklarla değişmesi üretimin planlanmasını zorlaştırır. Bununla birlikte aynı makinelerin farklı işlerle yüklenmiş olmasını bir makinada iş birikmesine neden olurken diğer makinelerin boş beklemesine sebep olur. Bu gibi sebeplerden kesikli üretim sistemlerinde iş yükü dengesini ayarlamak kolay değildir. Kesikli üretimde üretilen ürüne göre mamül cinsi sık aralıklarla değiştiğinden her türlü malzeme ve hammadde üretimin aksamaması için stokta bulundurulmalıdır. Stok bulundurmak neredeyse kaçınılmaz olduğundan dolayı yapılan hesaplamalar sonucu en ekonomik stok seviyeleri belirlenir.

2.1.3 Tampon stok (ara stok)

Üretimde meydana gelen bilinen ve bilinmeyen aksaklıklar yüzünden üretim aksayabilir. Bu aksaklıkları önlemek amacıyla üretim alanında iş istasyonları arasında tutulan stoğa tampon stok denir. Tampon stok problemleri ürün akışının durmamasını sağlamak amacıyla üretim hatları içine yerleştirilen tampon stokların en optimum büyüklüğünü (miktarını) bulmayı hedefler. Tampon stok oluşturmanın başlıca nedeni iş istasyonlarının birbirlerinden bağımsız olarak yönetilmesini sağlamaktır. Bu durum makinelerin aç kalmasından (girdinin mümkün olmadığı durumlar) ve bloklanmasından (makinanın üreteceği ürünü tahliye edemediği durumlar) kaynaklanan boş zamanları azaltır. Makinelerin daha az boş zamanı olması üretimde çıktı miktarını artırır. Bununla birlikte tampon stok tutmak pahalı olabilecek tesise ek bir yatırım maliyetine ve tesis içinde işgal edilen hacme sebep olur. Tampon stoklar aynı zamanda proses içi stoğa da sebep olur. Tampon stoklar

çok büyük olursa bu durumun yatırım maliyeti tesise olan üretilebilirliği artırma yararından daha çok zarara neden olabilir yine aynı şekilde çok küçük olurlarsa makinlardan yeteri kadar faydalanılmayabilir ya da talep karşılanamayabilir. Tampon stoklar yerleşiminin iyi ya da optimal sonucunun bulunmasından dolayı tampon stok yerleşim problemleri üretim sistemleri tasarımcıları için iyi bir optimizasyon problemidir (Demir ve diğ., 2012).



Şekil 2.1: Tampon stok genel şeması.

Tampon stok yerleştirme problemleri amaç fonksiyonu bakımından üretim hattının çıktı oranını arttırmak, hatlardaki toplam tampon stok hacmini azaltmak ve süreç içi ortalama stoğu azaltmak olmak üzere başlıca üç aşamada toplanabilir (Demir ve diğ. 2012).

2.2 Güvenilirlik

Güvenilirlik (Reliability), bir parçanın ya da bir sistemin, belirlenmiş koşullar bakımından, istenilen bir prosesi, belirlenmiş bir zaman süresi içinde gerçekleştirebilme ihtimali olarak tanımlanır (Ebeling, 1997).

Günümüzde ise güvenilirlik kavramı kabaca iş istasyonundaki bir makinanın işlemini gerçekleştirdiği sürede bozulmama olasılığıdır. Fakat gerçek üretim sisteminde tamamen güvenilir makinalar bulmak neredeyse imkansızdır ve %100 güvenilir makinalar sadece ideal sistemlerde bulunabilmektedir. Literatürde yapılan tampon stok optimizasyonu çalışmalarının çoğu (95'te 54) güvenilir olmayan makinalarla

yapılmıştır (Demir ve diğ. 2012). Sistem modelleri kurulurken arıza ve tamir süreleri çeşitli dağılımlara göre modellenmektedir.

Güvenilir hatlar genellikle arızaya sebep vermeyen insan operatör içerirler, fakat bu hatlarda yapılan işlerin üretim zamanı ciddi değişiklikler gösterebilir. Diğer yandan; güvenilir olmayan hatlarda, iş istasyonları sabir bir operasyon zamanı ile yönetilir fakat bu hatlar rastgele arızalanırlar ve bu arızalar büyük zaman kayıplarına sebep olabilir (Köse ve diğ., 2015).

2.3 Simülasyon

Bilgisayar simülasyonu amaçlanan ya da gerçek bir sistemin, belirli durumlar altındaki davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için sayısal deneyler elde etmek maksadıyla kurulan bilgisayar modelidir. Her ne kadar basit sistemler için kullanılabilirse de bu tekniğin asıl gücü kompleks sistemler için kullanıldığında ortaya çıkar (Kelton, 1998).

Bir sistemin simülasyon modelinin kurulması için aşağıda belirtilen durumların bir veya birkaçını sağlamalıdır.

- Ele alınan problemin matematiksel formülü henüz geliştirilmemiştir ya da analitik modeller bu formülün çözümü için yetersiz kalmıştır.
- Analitik metodlar çözüm için uygun olsa bile bu metodları çözmeye yarayan matematik modeller karmaşıktır.
- Analitik çözümler mevcuttur ve kullanıma uygundur ancak problemi çözmeye çalışanlarda bu bilgiler mevcut değildir (Başlıgil, 2011).

Simülasyon tedarik zinciri problemlerinde çeşitli amaçlarla ve çeşitli tekniklerle bütünleşik olarak kullanılabilir. Örneğin; en uygun tesis yerleşiminin belirlenmesinde simülasyonla birlikte veri zarflama analizi ve AHP tekniği birlikte kullanılabilir (Ertay ve diğ., 2006). Bunun yanında üretim sistemlerinin en uygun parametrelerinin seçiminde simülasyonla bilgi aksiyomu elde edilebilir (Ertay ve Satoglu, 2012). Ayrıca, melez üretim sistemlerinin analiz edilmesi sırasında darboğaz kaynakların belirlenmesi ve yok edilmesinde aksiyomlarla tasarım metodolojisi ile simülasyon bütünleşik biçimde kullanılabilir (Durmuşoğlu ve Satoğlu, 2011).

3. PROBLEMİN TANIMI

Bu bölümde proses tipi üretim yapan firmaların karşılaştığı tampon stok problemi ve bu problemi çözmek için kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

3.1 Yöntem Anlatımı

Proses tipi imalat yapan işletmelerde üretim istasyonları çoğunlukla pahalı yatırımlardır ve otomasyon sistemleri oldukça gelişmiştir ve üretimin hiç kesilmemesi arzulanmaktadır. Bununla birlikte önlenemez makina arızaları bazı durumlarda üretim istasyonlarının görevini yerine getirememesine sebep olur. Bu durum eğer gerekli tedbirler alınmazsa sadece o makinayı devre dışı bırakmaz, bununla birlikte o makinaya hammadde ya da yarımamül sağlayan makinalar ürettikleri ürünü tahliye edemezler ve bloklanırlar. Yine aynı şekilde arızalanan makina üretime devam edemeyeceği için kendisinden sonraki makinayı besleyemez ve bu makinanın aç kalmasına (starving) sebep olur ve istenmeyen durumlar zincirleme şeklinde devam eder. Yani tampon stok olmayan üretim hatlarında üretimin her hangi aşamasında bozulmaya neden olan bir olay tüm sistemin kapanmasına neden olur (Jensen ve diğ. 1991). Bu gibi istenmeyen durumları önlemek için işletmeler tampon stoklar bulundurmaktadırlar. Tampon stoklar genel olarak makinaların bloklanması ve aç kalmalarını önlerler.

Proses tipi üretimde üretilen ürünler akışkan ya da toz şeklinde olduğu için tampon stoklar ara stok tankları şeklinde bulunurlar. Ara stok tanklarını sisteme adapte etmek pahalı bir yöntem olduğundan her bir ara stok tankının kapasitesi ve toplam ara stok tankı sayısı sabittir ve üretim sisteminin yapısına göre ve belirli zaman aralığındaki talep miktarına göre üretim hatlarına tahsislenirler. Proses tipi üretimdeki tampon stok yapısını kesikli üretim tampon stok yapısından ayıran en büyük özelliklerden biri; eğer proses tipi üretimde esnek üretim adaptasyonu yapılmışsa yani bir hatta birden fazla ürün üretiliyorsa tampon stoklarda bulunan yarımamüllerin birbirlerine

karışmaması gerektiğidir. Yani bazı durumlarda ara stok tanklarının büyük bir kısmı boş kalsa bile başka özellikteki ürün üretime başlanıldığı zaman boş bir ara stok tankını depolama için kullanmak gerekmektedir. Bu durum işletmeler için ara stok tanklarına ayrılan hacmin %100 kullanılmamasına ve dolayısıyla ihtiyaçtan daha fazla tampon stok hacmine sebep olmakta ve TSP(Tampon Stok Problemleri) ile uğraşan kişiler için ise sistemin modellenmesini oldukça güçleştirmektedir.

Esnek üretim hatlarına sahip, ürün çeşitliliği fazla ve birden çok üretim hattından oluşan proses tipi üretim yapan tesislerde tampon stok problemlerinin çözümü matematiksel model ile zordur. Bu tip sistemlerde performans değerlendirmesini hesaplamak için analitik model kullanmak nadirdir çünkü analitik model ancak sınırlayıcı kısıtlamalar altında elde edilebilir. (Sörensen ve Janssens, 2004). Gelişen bilgisayar teknolojisi ile birlikte simülasyonun karar verme aracı olarak kullanılmasındaki artış dikkat çekmektedir. Gerçek dünya problemleri analitik olarak performans ölçüsünü hesaplamak için ve en iyi karar verme tekniklerini bulmak için çok zordur ve bazen imkansızdır. Buna rağmen bilgisayarlı simülasyon kompleks sistemleri hesaplamak ve optimize etmek için sıkça kullanılır. (Tekin ve Sabuncuoğlu, 2004)

Bilindiği üzere simülasyon modelleri tek başlarına optimizasyon için yetersizdir. Ya bir sistemin alternatif senaryolar karşısındaki davranışını görmek için ya da yeni tasarlanan bir sistemin verimliliğini doğrulamak için kullanılırlar. Bu sebeple TSP'yi incelerken kurulan matematik modelin doğruluğunu tespit etmek için simülasyon kullanılabilir, bununla birlikte matematik model kullanılmayacak sistemler için direkt simülasyon modeli oluşturulursa bu modele yardımcı optimizasyon programları kullanılabilir ya da elde edilen simülasyon sonuçları çok kriterli karar verme metodları kullanılarak en iyi senaryo belirlenebilir.

3.2 Tampon Stok Problemlerinde Simülasyon Kullanımı

TSP'de simülasyon kullanılırken her simülasyon modeli kurulduğunda olduğu gibi sistem analizini çok iyi yapmak ve performans kriterlerini çok iyi belirlemek gerekmektedir. Aksi halde sistem yanlış modellenir ve faydasız hatta yanlış kararlar vermemize sebep olabilecek sonuçlar elde edilir. Her model kendime ait varsayımlar

içerir ve modelin performansı uygulanan varsayımların karakteristiğine bağlıdır (Tekin ve Sabuncuoğlu, 2004). Fakat elde edilen sonuçların gerçek dünyada kullanılabilmesi için varsayımların en az düzeyde tutulması gerekmektedir.

Bir sistemin simülasyon modeli hangi performans kriterlerini kullanmak istiyorsak ona göre kurulmalıdır ve amaç fonksiyonu buna göre belirlenmelidir. 1998-2012 yılları arasında yayınlanan makalelerdeki başlıca amaç fonksiyonları şu şekildedir (Demir ve diğ., 2014):

- Maksimum çıktı
- Toplam tampon stok hacmi/süreç içi stok minimizasyonu
- Maliyet minimize etmek
- Karı enbüyüklemek
- Müşteri servis seviyesini enbüyüklemek, işlerin ortalama bekleme süresini enküçüklemek, boş zamanları azaltmak, çevrim süresini azaltmak ve ürünlerin ortalama akış zamanını azaltmak

Gerçek hayatta kullanılabilir bir sisteme çözüm bulmak için yukarıda bahsedilen amaç fonksiyonlarının hepsini dikkate almakta fayda vardır. Çünkü bu amaç fonksiyonları birbirleri ile etkileşim içindedir.

4. GELİŞTİRİLEN SİMÜLASYON YÖNTEMİ VE ANP

4.1 Geliştirilen Yöntemin Adımları

Simülasyon modelinin daha sağlıklı kurulması ve sistemden daha elverişli sonuç alınabilmesi için öncelikle problemin en doğru olarak belirlenmesi gerekir. Problemin doğru bir şekilde belirlenmesi sistemin performans kriterlerini seçmemizde önemli rol oynayacaktır.

Sistem analizini yaptıktan ve problemi belirledikten itibaren modelimizi kurmak için talep verilerine ihtiyaç vardır. Bunun nedeni, sistemde az sayıda ürün üretiliyor ve üretilen ürün çeşidi ve sayısı sabit ise performans kriterlerini buna göre şekillendirmektir. Aksi takdirde modelimizi daha esnek biçimde kurarak ürünler arası geçişteki hazırlık sürelerini ve her üretim planındaki farklı ürünlerin üretim özelliklerini ele alacak şekilde genişletilmiş bir model oluşturulması zorunludur. Talepler alınırken günlük, haftalık ya da aylık olarak hangi zaman dilimini kapsadığı yine performans kriterlerini belirlemek açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte sistemi oluşturulan makineler güvenilir mi yoksa güvenilir olmayan makineler mi belirlemek gerekir. Çünkü daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere işlem sürelerindeki rassallığı; güvenilir makinelerde operatörlerin işlemleri yapma süresindeki değişiklikler, güvenilir olmayan makinelerde ise meydana gelen arızalar ve bu arızaların arıza ve tamir süreleri belirlemektedir. Bu sebeple ki, uygun bir dağılım elde edilinceye kadar makinelerin arıza ve tamir süreleri verileri incelenmeli ve modelde kullanılmak üzere bu verilerin istatistiksel fonksiyonları bulunmalıdır. Modelimizi kurmak için gerekli diğer önemli nokta ise sistem kısıtlarının çok iyi belirlenmesidir. Çünkü, sistem kısıtları doğru bir şekilde belirlenmezse modelin çalışması ve gerçek verileri yansıtması söz konusu olamaz. Örneğin; üretim hatlarına tahsis edilebilecek ara stok hacminin en küçük ve en büyük değerleri, üretilen ürünün özelliklerinden kaynaklanan sistem kısıtları, makinelerin kapasiteleri çok iyi bir şekilde belirlenmelidir.

Modeli kurmak için gerekli tüm veriler toplandıktan ve sistem kısıtları belirlendikten sonra kurulacak olan model belirlenmelidir. Bu aşamada matematiksel model ya da simülasyon modeli kurulabilir. Ne tür bir modelin kurulacağına karar vermek için sistemin karmaşıklığı göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer ki az sayıda parça üretiliyorsa ve küçük bir üretim sistemi modelleniyorsa matematiksel model geliştirilebilir. Fakat, ürün çeşidi ve sayısı çoksa ve yine bununla birlikte büyük sayılabilecek bir üretim hattı modellenecekse simülasyon modeli daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Simülasyon modeli kurulmasına karar verildiği takdirde sistem kısıtlarını göz önüne alarak deney tasarımı yapılması gerekmektedir. Bunun nedeni oluşabilecek tüm senaryoları belirlemek ve en iyi sonucu veren senaryoyu seçmektir.

Simülasyon modeli kurulumuna karar verdikten sonra sistem analizi çok iyi yapılmalıdır. Daha önceden belirlenmiş sistem kısıtları ve elde edilmesi amaçlanan performans kriterlerine göre simülasyon modeli kurulmalıdır. Model kurulurken üretim planına göre ürünlerin üretilme sırası, hangi hatlarda üretilmesi gerektiği, üründen ürüne geçerken oluşan hazırlık süreleri, makinaların bloklanma durumları, makinaların arızalanma ve tamir süreleri ve özellikle de ürünlerin ara stoklardaki konumları açık ve net bir şekilde modele aktarılmalıdır. Model eksiksiz olarak kurulduktan sonra deney tasarımında hesaplanan senaryoların her biri için model yeterli sayıda koşturulmalı ve elde edilen performans kriterlerinin sonuçlarının toplamı koşturulma sayısına bölünerek ortalama değerler bulunmalıdır. Böylelikle işlem sürelerinden ya da makinaların arızalanma ve tamir sürelerinden kaynaklanan rassallık sağlanmış olur. Bu aşamada senaryolar ne kadar çok sayıda koşturulursa sistemin davranışı o kadar doğru şekilde tahmin edilmiş olur.

Model yeterli sayıda koşturulduktan ve elde edilen sonuçların toplamının koşum sayısına bölündükten sonra ham değerler elde edilir ve eğer gerekiyorsa bu ham değerler normalleştirilerek belirlenen performans kriterlerinin simülasyon sonuçları bulunur. Bir çok simülasyon modelinde sadece 1 adet performans kriteri mevcuttur ve sistem parametreleri değiştirilerek en uygun kriteri sağlayan senaryo seçilir ve gerekli altyapı hazırlanarak uygulamaya geçirilir. Fakat önerilen yöntemde olduğu gibi kurulan simülasyon modeli birden fazla performans kriteri içeriyorsa en uygun senaryoya doğrudan simülasyon sonuçlarını inceleyerek ulaşılamaz. Bu durumda her

bir performans kriterine değer atanır. AHP (Analytical Hierarchy Process) ve ANP metodları devreye girerek en uygun sonuca ulaşılr. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere eğer performans kriterleri birbirleriyle etkileşim içinde iseler ANP metodunu kullanmak daha doğru sonuçlar verecektir. Her bir senaryodaki performans kriterlerine ANP metodu uygulanarak elde edilmiş çok sayıdaki kriter tek bir değere dönüştürülür ve en büyük değere sahip olan senaryo en uygun senaryo olarak belirlenmiş olur. Daha sonra ise seçilen senaryoyu uygulamak için gerekli alt yapılan hazırlanarak hazırlanan model uygulamaya geçirilir.

Geliştirilen yöntemin adımları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

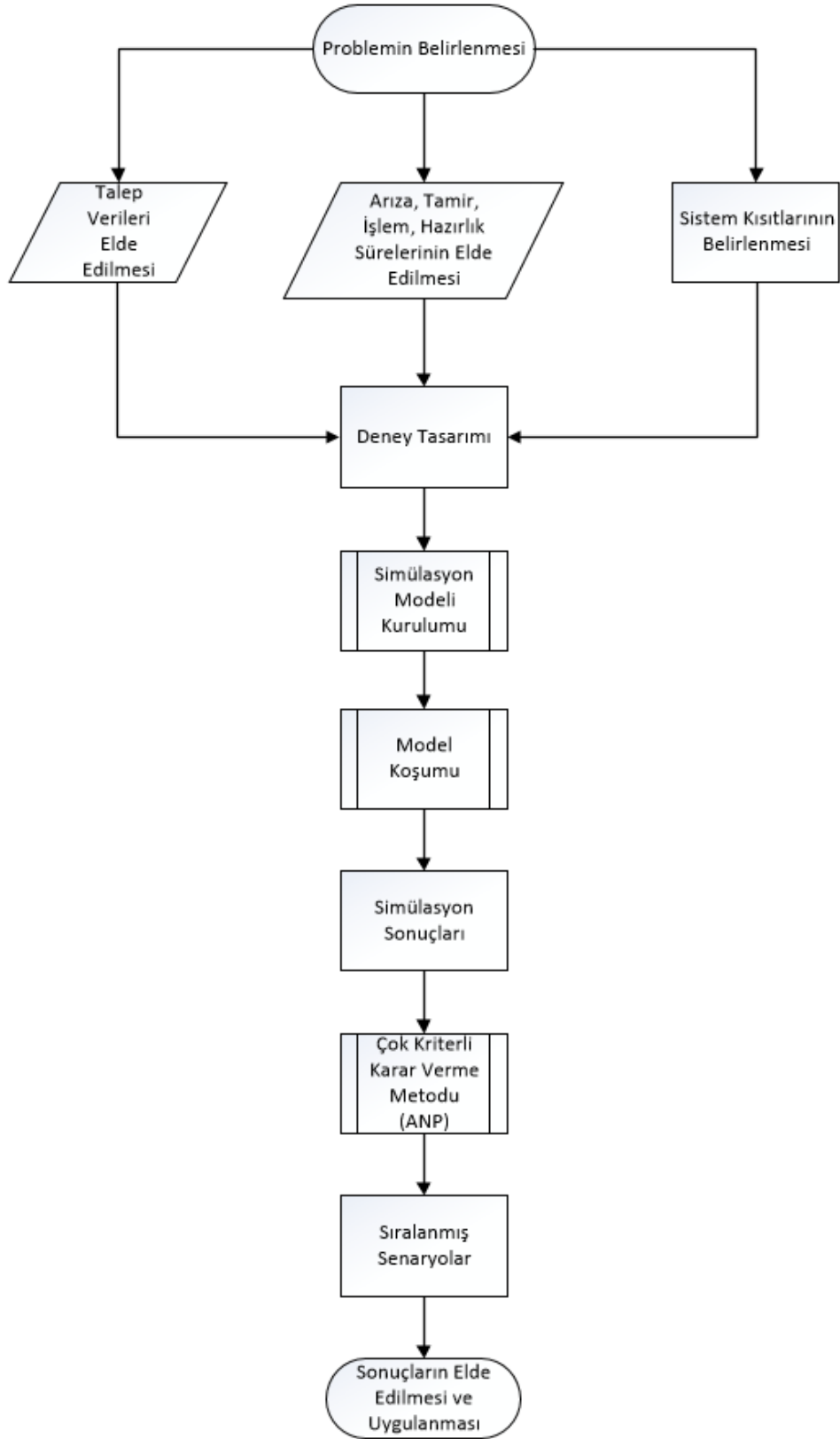
4.2 Analitik Ağ Süreci

Karar verme süreci, arasından seçim yapılacak olan kriterler ve alternatifler içerir. Bu kriterler çoğunlukla farklı öneme sahiptir ve alternatifler her bir kriter için farklı önceliktedir. Bu kıyaslamayı ve seçimi yapmak için bir ölçüm yöntemine ihtiyacımız vardır. Ölçüm, ölçümlerin metodunun iyi anlaşılmasına ve ölçümlerin farklı skalalarına ihtiyaç duymaktadır (Saaty, 2005).

Çok kriterli karar verme (MCDM) kesikli alternatif kümelerinin arasından en iyiyi seçen bir alandır. Bilinen ölçümlerin kullanılabilirliğini varsayan optimizasyon metodlarının aksine, MCDM’deki ölçümler nesnel olarak tercih göstergesi ve tercihin kuvveti açısından türetilmiş ve yorumlanmıştır. Bir kişinin önceliği diğer kişinin önceliğinden farklıdır ve böylelikle çıktı, kararı kimin verdiğine, o kişinin önceliklerine ve amaçlarına bağlı hale gelir (Saaty, 2005).

Çalışmamızda çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Ağ Süreci, literatürdeki ismiyle Analytical Network Process (ANP) kullanılacaktır. ANP yönteminden önce, üzerine kurulu olduğu Analytical Hierarchy Process (AHP) yönteminden bahsedilecektir.

AHP kompleks kararların verilmesi süreçlerinin analizini sağlayan matematik temelli bir yöntemdir. Çok kriterli problemlerde, uzman görüşlerini bilimsel bir yöntemle değerlendirerek alternatiflerin gerçek önem derecelerini verir. Uzmanlar, ikili karşılaştırmalarla birtakım sorulara cevap verip iki faktörü karşılaştırarak faktörlerin



Şekil 3.1 : Geliştirilen yöntem şeması.

hedefe katkılarının nasıl olduğunun belirlenmesi sürecine katılırlar. AHP'nin en önemli varsayımı, aynı seviyede bulunan kriter ya da alternatifleri bağımsız olarak kabul etmesi, birbirlerine olan etkilerini yok saymasıdır.

AHP'nin bu yaklaşımı gerçek hayat problemlerini modelleme gücünü düşürmektedir. Çünkü gerçek problemlerde sıklıkla karşılaşılan, problemin öğeleri arasındaki etki yönünün yalnızca yukarıdan aşağıya olduğu durumlar değil, ağ yapısındaki durumlardır. Bu noktada karşımıza ANP yöntemi çıkmaktadır. ANP'de aynı seviyedeki kriterler arasındaki etkileşimler de dikkate alınır. Böylece problemin oluşum aşamasında aralarında ilişki olduğu öngörülemeyen öğeler arasındaki dolaylı etkileşimler ve geri bildirimler de ortaya çıkar. ANP bu yapısı ile çok kriterli karar verme problemlerinde daha etkin ve gerçekçi çözümler ortaya koyar (Yıldırım ve Önder, 2015).

ANP yönteminin adımları aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Yıldırım ve Önder, 2015):

- 1) Karar probleminin tanımlanması: Karar probleminin amacı, kriterleri, alt kriterleri, karar vericileri, karar vericilerin hedefleri ve ortaya çıkacak kararın olası sonuçlarını içerecek biçimde problemin detaylı olarak tanımlanması adımıdır.
- 2) Etki matrisinin oluşturulması: Bu adımda bileşenler arasındaki tüm bağımlılıklar tespit edilir. Hem satır hem sütunlarında problemdeki tüm bileşenlerin yer aldığı bir matris oluşturulur. Birbiriyle etkileşimde olan satır ve sütun bileşenlerinin kesiştiği hücrelere çarpı işareti konur. Etkileşimin olmadığı durumlarda, karşılık gelen hücreye 0 yazılır. Tüm bunlar yapılırken literatürden ve uzman görüşlerinden faydalanılır.
- 3) İkili karşılaştırmaların yapılması ve doğrulama: Önceki adımda oluşturulan etki matrisinin sonuçlarına göre, ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Diğerlerinden tamamen bağımsız olduğu sonucuna varılan bileşenler dışındaki her bir bileşen için bir matris oluşturulur. Bu matriste, bileşenin etkileşimde olduğu bileşenler hem satır hem sütunlara yazılır ve matrisin ana bileşeni açısından satır ve sütunlardaki bileşenlerin önem dereceleri ikişerli şekilde karşılaştırılır. Bu karşılaştırmalarda yine

uzman görüşlerine ve literatüre başvurulur ve hücelere değer verilirken Saaty'nin 1-9 skalası kullanılır.

Bu aşamada yapılması gereken önemli bir işlem de tutarlılığın araştırılmasıdır. İkili karşılaştırma matrisleri her ne kadar uzmanlarca doldurulsa da, dikkatsizlikler sonucu oluşabilecek tutarsızlıkların olması olasıdır. Varsa, bunları erken fark edebilmek için bu aşamada tutarlılık oranı hesaplanacaktır. Tutarlılık oranı her matris için kendi içinde hesaplanan bir değerdir.

Tutarlılık oranı hesaplamaları Saaty'nin (2005) yöntemi ile yapılacaktır. Aşağıda adımları verilen bu yöntem, uygulama çalışması kapsamında her bir ikili karşılaştırma matrisine uygulanacak ve tutarlılık kontrol edilecektir.

Bir A kare matrisi için tutarlılık oranı hesabı şu adımlarla yapılır (Saaty, 2005):

- i. A matrisinin her sütununa sütun normalizasyonu uygulanıp, normalleştirilmiş halde her satırdaki değerlerin ortalamaları alınarak ω ağırlık vektörü elde edilir.
- ii. $A \cdot \omega = D$ matris çarpımı işlemiyle D sütun vektörü elde edilir. Ardından, D vektörünün elemanları teker teker ω ağırlık vektörünün elemanlarına bölünerek E sütun vektörüne ulaşılır.
- iii. E vektörünün elemanlarının ortalaması alınarak λ_{max} değeri elde edilir.
- iv. Tutarlılık indeksi (CI) denklem (4.1) ile hesaplanır. Burada n , A matrisinin boyutunu ifade eder.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.1)$$

- v. Tutarlılık oranı (CR) denklem (4.2) ile hesaplanır. Formüldeki RI, Random Consistency Index'i ifade eder ve tablosuna bakılarak matrisin boyutuna göre değeri belirlenir.

$$CR = CI / RI \quad (4.2)$$

- vi. Hesaplanan tutarlılık oranının kabul edilebilir değerde olması için 0,10'dan küçük olması gerekmektedir. Yani, $CR < 0,10$ olan matrisler tutarlı kabul edilir ve sonuçların doğruluğu açısından sorun teşkil etmezler.

4) Süpermatrisin oluşturulması: Tutarlılığı doğrulanan ikili karşılaştırma matrislerinin her birinden elde edilecek ağırlık sütunları kullanılarak süpermatris oluşturulur. Süpermatris stokastik yapıda olmalıdır; bunun için sütun normalizasyonu yapılarak son halde matrisin her sütunundaki hücre değerleri toplamının 1 olması sağlanır. Süpermatris W ile gösterilir.

5) Limit süpermatrisin oluşturulması: Bu adım, yöntemin etkileşimleri belirlemedeki gücünü aldığı asıl adım olarak görülebilir. Bu aşamada süpermatrisin limit üssü alınır.

Önceki adımda elde edilen süpermatrisin hücreleri bir düğümün bir diğeri üzerindeki etkisini ifade etmektedir. Ama her düğüm ilişkili olduğu bir düğüm üzerinden dolaylı olarak onun ilişkili olduğu bir başka düğümü de etkileyecektir. Bu etkiyi görebilmek, iki adım sonrasında etkilenecek üçüncü düğümlerin nasıl etkileneceğini belirleyebilmek için süpermatrisin karesi alınmalıdır. Bir düğümün ikinci ve ardından üçüncü bir düğüm üzerinden dördüncü bir düğüme olacak bir kat daha dolaylı etkisini görebilmek içinse matrisin küpünü almak gerekir. Bu şekilde, olası tüm etkileşimleri görebilmek için önceki adımda normalize edilmiş olan süpermatrisin denklem (4.3)'te verilen şekilde limit üssü alınır.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (4.3)$$

6) En iyi alternatifin seçimi: Elde edilecek limit süpermatriste her bir satırın kendi içinde tüm hücre değerleri eşit olacaktır. Bu değerler satırların karşılık geldiği her bir problem bileşeninin limit değeri olarak görülmelidir. Bu değerler kullanılarak kriter veya alternatif gruplarına kendi içlerinde normalizasyon uygulanarak önem ağırlıklarına ulaşılır.

Seçim problemleri için, önem ağırlığı en yüksek çıkan alternatif en iyi alternatiftir. Ağırlıklandırma problemlerinde ise, en yüksek önem ağırlığına sahip kriter karar sürecini en fazla etkileyen, en önemli faktördür. ANP yönteminin bize vereceği nihai sonuçlar bunlar olacaktır.

5. UYGULAMA

Uygulama için bir ev ve kişisel bakım ürünleri fabrikası ele alınmıştır. Firma yurtdışı kökenli olup 190 ülkede günde yaklaşık 2 milyar tüketiciye ulaşmaktadır ve yaklaşık 50 milyar Euro ciroya sahiptir. Tüm dünyada hızlı tüketim ürünleri sektörünün lideri konumundadır.

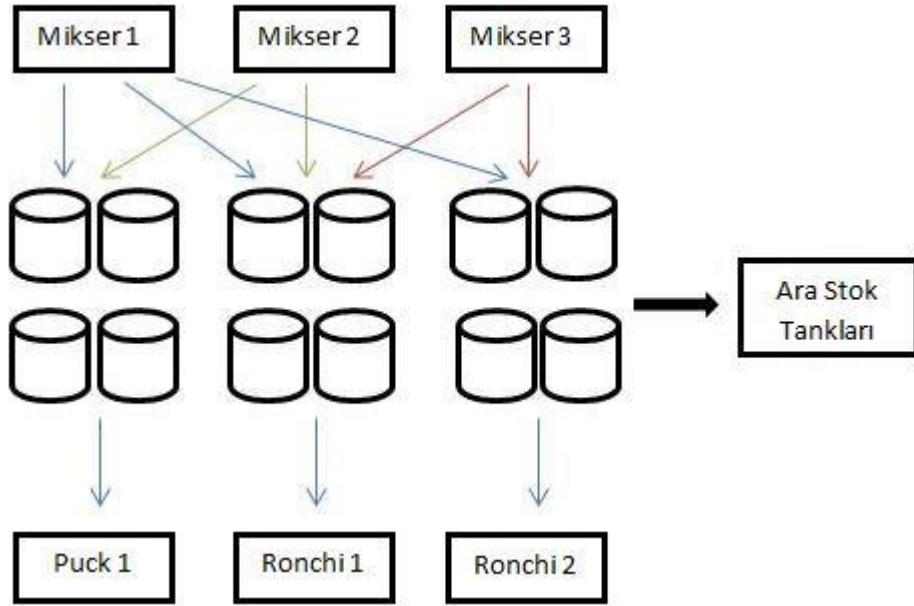
Şirketin Türkiye’de bulunan fabrikası Kocaeli/Gebze’de bulunmaktadır ve 300 kişiye iş imkanı sağlamaktadır. Üretimini ise büyük bir bölümünü Rusya’ya ve Ortadoğu ülkelerine ihraç etmektedir.

5.1 Mevcut Sistemin Tanıtılması ve Problemin Belirlenmesi

Şampuan fabrikası 1965 yılında kurulmuştur ve ürettikleri ürünlere göre toz ürünler bölümü ve likit ürünler bölümü olmak üzere iki kısma ayrılır. Likit ürünler bölümü de kendi içinde ev bakım ürünleri üretim sistemi ve kişisel bakım ürünleri üretim sistemi olarak ikiye ayrılır. Yapılan çalışmada kişisel bakım ürünleri üretim hattı ele alınmış ve tampon stok tahsisi problemine çözüm bulunmuştur.

Şampuan üretim hattında yaklaşık 120 çeşit şampuan üretilmekte ve üretilen şampuanlar 180 ml, 200 ml, 350 ml, 400 ml, 650 ml ve 700 ml’lik kaplara doldurulmaktadır. Bir haftalık üretim planı kapsamında o hafta için hangi tür şampundan kaç ml üretileceği gelen talepler üzerine oluşturulmaktadır. Üretim sisteminde günümüz teknolojisine uygun makineler kullanılmakta ve bu makineler yüksek otomasyon sistemi ile işletilmektedir. Üretim sisteminde her birinin kapasitesi 5 ton olan, hammaddeyi uyguladığı işlem sonucu şampuan haline dönüştüren 3 adet mikser, her birinin kapasitesi 10 ton olan sistemin bloklanması önleyen ve üretimin devamlılığını sağlayan 12 adet ara stok tankı, bunun yanında şampuanları ambalajlarına dolduran 3 adet paralel dolun hattı bulunmaktadır. Daha sonraki kısımlarda sistemin kısıtlarında da bahsedileceği üzere her mikser her dolun hattına yarımamül verememektedir ve bu sebeple üretim planı hazırlanırken hangi tür

şampuanın hangi dolun hattında doldurulacağına karar verilmektedir. Şekil 5.1’de üretim sisteminin basit bir şeması gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Üretim sistemi şeması.

Bu sistemde her bir üretim hattına bağlanması gereken ara stok tankı üretim planı uygulanmaya başlamadan önce belirlenmelidir; çünkü üretim başladıktan itibaren planlanan üretim bitinceye kadar ara stok tanklarının dolun hatlarına göre tahsisi değiştirilememektedir. Her bir dolun hattına atanan ara stok tankı sayısına göre sistemin performansı değişecektir. Dolayısıyla hangi dolun hattına kaç adet ara stok tankı atanması gerektiği önemli bir problemdir ve en doğru şekilde üretim başlamadan önce belirlenmesi gerekmektedir.

5.2 Talepler ve Üretim Planlama

Şirketin talep planlama birimi tarafından talep planları yıllık ve aylık olarak oluşturulmaktadır. Daha sonra ise bu talep planları üretim planlama birimi ile hem yıllık hem de her ay başında yapılan toplantılar sonucu paylaşımaktadır. Bu talep planlarına göre üretim planlama birimi haftalık makine-hammedde planlaması yaparak haftalık üretim planını oluşturmaktadır. Her ay yapılan toplantılar sonucu eğer talep planlarında bir değişiklik olmuşsa bu değişiklik Üretim Planlama ve Kontrol (ÜPK) birimi ile paylaşımaktadır ve ÜPK birimi haftalık üretim planlarını

yaparken bu değişiklikleri göz önünde bulundurmaktadır. ÜPK biriminin hazırladığı üretim planı sonucu hangi ürünün hangi dolun istasyonunda o hafta için kaç ton üretileceği belirlenmektedir. Aşağıda 1. haftanın üretim planı verilmiştir ve her bir ERP (Enterprise Resource Planning) kodu farklı bir ürünü temsil etmektedir.

Çizelge 5.1 : 1. hafta dolun hatlarına göre üretim planı.

	Şampuan No	ERP Kodu	Ambalaj Hacmi(ml)	Üretilecek Miktar(Ton)
PUCK DOLUM	1	20050048	700	10
	2	20050044	700	10
	3	20050042	700	10
	4	20050052	700	10
	5	20090861	700	10
	6	20090862	700	5
	7	20093757	700	5
	8	20250569	700	5
	9	20241955	700	5
	10	20246255	700	5
	11	20090508	400	5
	12	21050910	400	5
	13	21050911	200	10
	14	20231385	350	10
	15	20231395	350	5
	16	20256888	350	5
	17	20231392	350	5
	18	20231378	350	5
	19	20274526	700	10
	20	20035939	700	60
	21	20035943	700	40
	22	20035962	700	50

5.3 Mikserler ve Arızalanma ve Tamir Süresi İstatistikleri

Sistemde 5'er ton kapasiteli 3 adet mikser mevcuttur. Hammaddeler bu mikserlerde 70 dk. süre ile işlenerek şampuan haline dönüşmekte ve ambalajlarına doldurulmak için dolun hatlarına gönderilmek üzere ara stok tanklarında depolanmaktadır.

Çizelge 5.1 (devam) : 1. hafta dolum hatlarına göre üretim planı.

	Şampuan No	ERP Kodu	Ambalaj Hacmi(ml)	Üretilecek Miktar(Ton)
RONCHI 1	1	20035918	700	20
	2	20035996	700	20
	3	20256890	700	70
	4	20035931	700	20
	5	20035929	700	15
	6	20256894	700	20
	7	20049734	700	30
	8	20035958	700	70
	9	20036114	700	50
	10	20238876	650	40
	11	20234941	650	10
RONCHI 2	1	20234941	650	5
	2	20238867	650	30
	3	20234946	650	10
	4	21045137	650	10
	5	20234945	650	10
	6	20234944	650	35
	7	20238864	650	10
	9	20234935	350	5
	10	20234938	350	5
	11	20234940	350	5
	12	20237976	180	5
	13	20256891	200	10
	14	20049730	200	25

Sistemin kısıtlarından dolayı her bir mikser her bir dolum hattında ürün hazırlayamamaktadır. Mikser 1 her 3 dolum hattına, mikser 2 Puck ve Ronchi 1 dolum hatlarına, mikser 3 ise Ronchi 1 ve Ronchi 2 dolum hatlarına ürün üretmektedir. Bir üründen başka bir ürüne geçildiği takdirde mikserlerde yıkama işlemi gerçekleşmekte ve bu hazırlık süresi 10 dk. sürmektedir.

Mikserler otomasyon ile işletildiğinden güvenilir olmayan kaynak sınıfına girmektedir ve rassal olarak bozulabilmektedirler. Mikserlerin güvenilirlik durumları belirli bir süre izlenmiş ve bozulmalar arası geçen süreler belirlenmiştir. Bu süreler Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.2 : Mikserlerin arızaları ve arızaların çözümleri arasında geçen süreler.

Mikserlerin Arızaları ve Arızaların Çözümleri Arasında Geçen Süreler(dk.)									
Mikser 1	Mikser 1	Mikser 1	Mikser 1	Mikser 1	Mikser 1	Mikser 2	Mikser 2	Mikser 3	Mikser 3
Arıza	Çözüm	Arıza	Çözüm	Arıza	Çözüm	Arıza	Çözüm	Arıza	Çözüm
500	24	684	21	294	19	9876	16	10824	12
789	26	98	26	551	12	4568	12	2145	19
1012	45	672	27	283	14	10453	24	4578	14
857	23	899	21	87	16	1809	11	1926	25
1259	35	45	24	94	13	25649	17	845	13
254	17	865	15	568	11	2897	16	5647	25
455	39	117	17	771	9	569	9	1124	17
952	56	75	19	994	24	4456	17	2246	14
860	38	951	8	683	30	7589	13	6478	16
720	23	753	16	591	30	12458	66	2147	17
645	16	654	12	367	34	23457	10	8754	28
290	24	127	16	21	37	453	24	6542	19
160	75	445	18	89	17	5698	33	4582	13
1024	23	664	24	1027	34	16534	47	8797	22
1280	27	267	113	598	26	8569	39	4523	27
625	12	631	16	42	13	1123	14	4567	16
560	12	44	13			978	21	1423	23
785	17	294	25			5468	29	1923	17
563	14	872	36			5554	17	2342	17
989	18	1425	25			6659	22	547	33
724	12	32	43			1897	34	1247	29
348	13	852	11			5287	37	4836	38
540	25	1226	14			6512	21	7697	17
112	19	394	10			7846	11	10239	28
364	27	763	11			112	14	14356	11
948	31	15	17			4569	10	2586	24
759	29	434	27			8975	47	3625	5
102	24	658	13			4456	28	3987	23
465	17	3	25			2256	55	4897	52
119	9	405	73			2139	34	6237	31
896	15	967	20			4587	61	7298	20
554	14	124	20			4423	29	1432	17
61	14	812	14			2126	11	6243	19
1089	15	314	21			11234	23	8891	17
1015	34	27	34			145	70	973	34
357	17	431	53			2569	135	1645	9

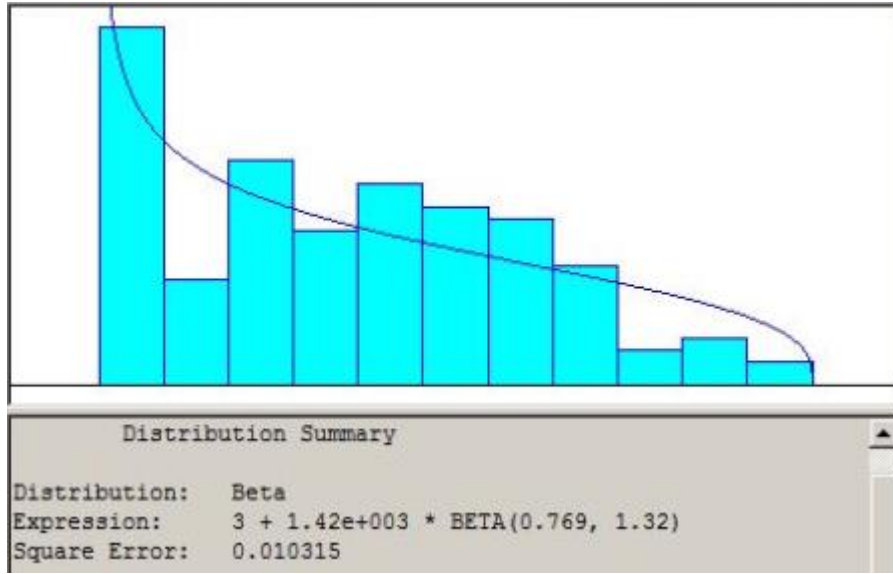
Arıza ve tamir sürelerinin istatistiksel fonksiyonları ve grafikleri Arena 10.0 simülasyon programının “Input Analyzer” modülü kullanılarak analiz edilmiştir.

Örnek teşkil etmesi amacıyla mikser 1'in arıza ve tamir sürelerini belirten grafikler Şekil 5.2'de ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

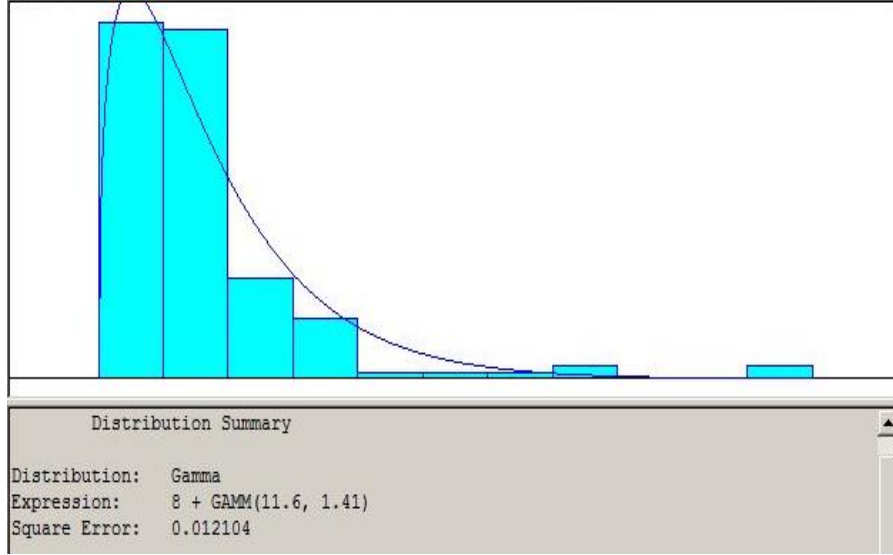
Belirtilen programla elde edilen mikserlerin arızalanma ve tamir süreleri dağılım fonksiyonları ve bu fonksiyonların matematiksel ifadeleri Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

5.4 Dolum Hatları Arızalanma ve Tamir Süresi İstatistikleri

Sistemde birbirine paralel olarak Puck, Ronchi 1 ve Ronchi 2 isimli 3 adet dolum hattı bulunmaktadır. Bu hatlarda ambalajlarına doldurulacak şampuanlar daha önce de belirtildiği üzere ÜPK birimi tarafından haftalık üretim planı hazırlanırken belirlenmektedir. Dolum hatlarında bir üründen diğer ürüne geçerken 3 çeşit hazırlık yapılmaktadır. Aynı cins şampuan üretilecek fakat ambalajın hacmi değişecekse boy dönüşüm hazırlığı yapılmakta ve bu işlem 120 dk. sürmektedir. Aynı büyüklükteki ambalajlara farklı cins şampuan doldurulacaksa dolmuş hatlarında mamül dönüşüm hazırlığı için yıkama yapılmaktadır ve bu işlem 20 dk. sürmektedir. Eğer ki hem boy dönüşüm hem mamül dönüşüm hazırlığı yapılacaksa hazırlık süresi 140 dk. olmaktadır.



Şekil 5.2 : Mikser 1 arızalanma süresi dağılımı ve fonksiyonu.



Şekil 5.3: Mikser 1 tamir süresi dağılımı ve fonksiyonu.

Mikserler gibi dolum hatları da otomasyon ile işletildiğinden güvenilir olmayan kaynak grubundadır ve rassal olarak arızalanmaktadır. Yine aynı şekilde dolum hatlarının tamir süreleri de rassal dağılmaktadır. Dolum hatlarının arızalanmaları arası geçen süreler ve tamir süreleri 1 yıl boyunca kayıt altında tutulmuştur.

Çizelge 5.3 : Mikserlerin arızalanma süreleri dağılım fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri.

Mikser No	Arızalanma Süresi Dağılım Fonksiyonu	Dağılımın Matematiksel İfadesi
1	BETA	$3 + 1.42e+003 * \text{BETA}(0.769, 1.32)$
2	EKSPONANSİYEL	$78 + \text{EXPO}(3.8e+003)$
3	BETA	$369 + 1.4e+004 * \text{BETA}(0.856, 1.89)$

Çizelge 5.4 : Mikserlerin tamir süreleri dağılım fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri.

Mikser No	Tamir Süresi Dağılım Fonksiyonu	Dağılımın Matematiksel İfadesi
1	GAMMA	$8 + \text{GAMM}(11.6, 1.41)$
2	WEIBULL	$9 + \text{WEIB}(18.9, 0.768)$
3	ERLANG	$4.5 + \text{ERLA}(4.39, 4)$

Dolum hatlarının arıza ve tamir sürelerinin istatistiksel fonksiyonları ve grafikleri Arena 10.0 simülasyon programının “Input Analyzer” modülü kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve fonksiyon denklemleri daha sonra simülasyon

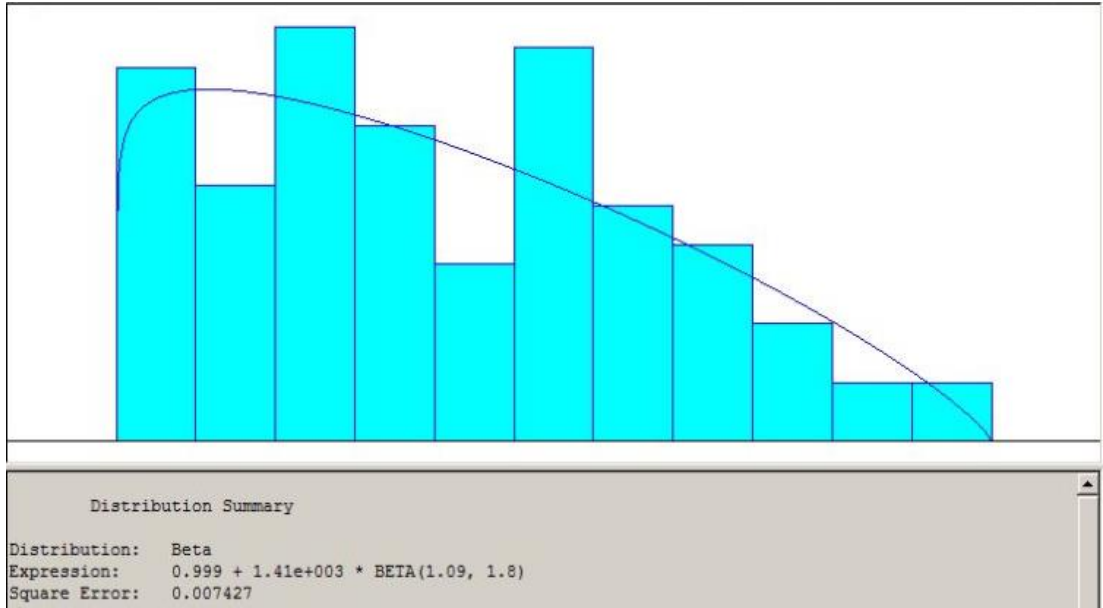
modelinde kullanılacaklardır. Örnek teşkil etmesi açısından puck dolum hattının arıza ve tamir sürelerinin grafikleri Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : Dolum hatlarının arızaları ve arızaların çözümleri arasında geçen süreler.

Dolum Hatlarının Arızaları ve Arızaların Çözümleri Arasında Geçen Süreler(dk.)									
Puck	Puck	Puck	Puck	Puck	Puck	Ronchi	Ronchi	Ronchi	Ronchi
Arıza	Çözüm	Arıza	Çözüm	Arıza	Çözüm	1	1	2	2
510	27	1105	29	402	16	108744	16	11139	15
1134	19	376	11	850	20	13305	19	1111	20
906	50	1	37	118	20	118315	18	1931	15
947	41	681	34	771	30	33298	14	52408	22
671	42	1409	12	279	25	24806	11	8705	12
371	60	979	148	632	40	45085	12	1442	30
652	24	940	20	1368	22	21304	13	43574	18
852	17	129	15	226	15	14021	15	9013	15
855	21	84	25	806	60	1925	20	6543	13
820	13	639	12	262	16	5915	67	30447	11
755	16	122	20	524	25	1583	11	10752	30
184	21	365	39	641	22	17600	28	54761	16
157	14	108	13	135	26	13649	15	10349	15
997	24	213	19	263	15	29492	60	335	22
1109	17	725	15	245	60	11955	41	8977	27
903	15	747	60	225	40	11900	13	8752	11
496	15	86	15	436	22	18030	20	23231	3
540	18	572	30	287	15	10941	28	10577	15
633	13	657	22	776	12	22084	18	15905	17
473	11	468	13	191	17	26350	10	17429	25
947	17	26	15	61	15	25033	30	1584	35
328	15	387	40	472	15	16264	36	38953	35
440	28	30	12	317	20	61357	65	36330	20
211	20	449	15	722	30	41163	30	25994	29
348	24	798	13	1355	26	274	15	103933	16
954	35	11	10	1096	31	6296	14	40456	26
659	28	15	15	677	26	6581	41	32285	16
25	43	41	14	577	13	9183	20	10036	27
369	15	85	144	145	22	45099	50	17470	45
119	10	1213	15	439	15	13515	24	2406	13
707	13	807	51	656	16	333	65	20988	25

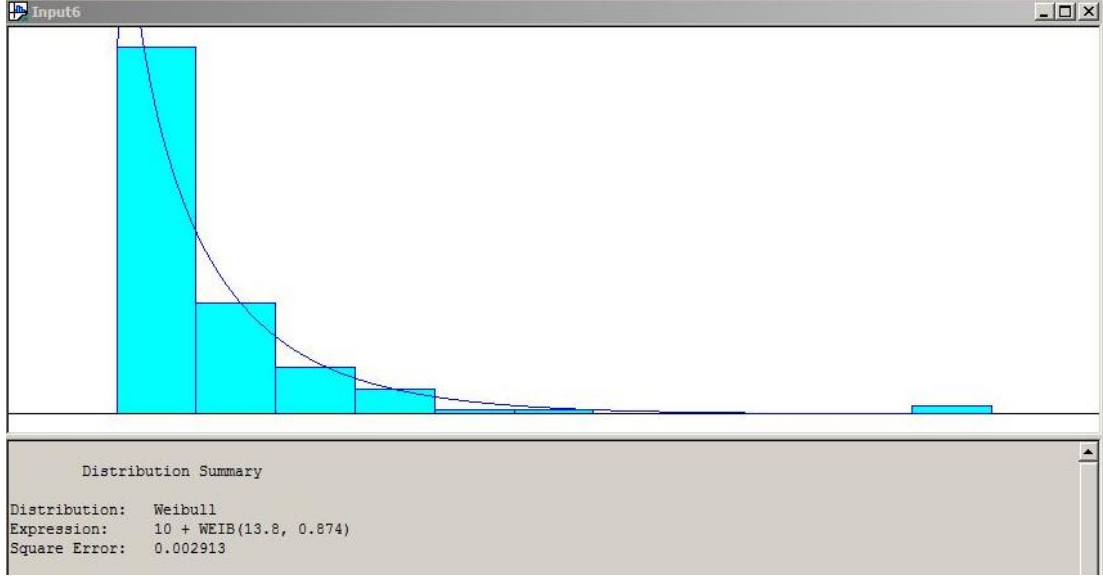
Çizelge 5.5 (devam) : Dolum hatlarının arızaları ve arızaların çözümleri arasında geçen süreler.

Dolum Hatlarının Arızaları ve Arızaların Çözümleri Arasında Geçen Süreler(dk.)									
Puck	Puck	Puck	Puck	Puck	Puck	Ronchi	Ronchi	Ronchi	Ronchi
Arıza	Çözüm	Arıza	Çözüm	Arıza	Çözüm	1	1	2	2
370	15	173	63	285	17	76759	60	20237	20
51	15	591	40	293	23	4531	31	10421	20
1077	15	443	20	651	10	20411	19	1642	70
1065	16	244	17	1226	20	1440	22	81010	20
300	13	331	11	314	24	11781	183	93909	10
738	13	986	12	696	24	27579	14	64918	15
340	17	1000	15	41	30	10696	30		30
68	12	745	15	538	30	33376	13		
413	11	681	10	355	30	10644	12		
495	21	733	42	446	36	490	20		
1200	20	477	15		16	11223	17		
779	80	373	18				27		
779	19	839	15				30		



Şekil 5.4 : Puck dolum hattı arızalanma süresi dağılımı ve fonksiyonu.

Belirtilen programla elde edilen mikserlerin arızalanma ve tamir süreleri dağılım fonksiyonları ve bu fonksiyonların matematiksel ifadeleri Çizelge 5.6'da ve Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 : Puck dolum hattı tamir süresi dağılımı ve fonksiyonu.

Dolum hatlarının özelliklerinin birbirlerinden farklı olmasından dolayı her hacimdeki ambalaj dolumu her bir hatta yapılamaz ve aynı ebattaki ambalajların dolumu farklı hatlarda birbirlerinden farklılık gösterebilir. Örneğin, 700 ml’lik ambalajlara doldurulan şampuanlardan A ve B tipi Puck dolum hattında; C, D, E ve G tipleri

Çizelge 5.6 : Dolum hatlarının arızalanma süreleri dağılım fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri.

Dolum Hattı	Arızalanma Süresi Dağılım Fonksiyonu	Dağılımın Matematiksel İfadesi
Puck	BETA	$0.999 + 1.41e+003 * BETA(1.09, 1.8)$
Ronchi 1	EKSPONANSİYEL	$274 + EXPO(2.32e+004)$
Ronchi 2	WEIBULL	$335 + WEIB(2.18e+004, 0.758)$

Çizelge 5.7 : Mikserlerin arızalanma süreleri dağılım fonksiyonları ve matematiksel ifadeleri.

Dolum Hattı	Tamir Süresi Dağılım Fonksiyonu	Dağılımın Matematiksel İfadesi
Puck	WEIBULL	$10 + WEIB(13.8, 0,874)$
Ronchi 1	EKSPONANSİYEL	$10 + EXPO(19.8)$
Ronchi 2	ERLANG	$2.5 + ERLA(6.44, 3)$

Ronchi 1 dolum hattında; F tipi ise Ronchi 2 dolum hattında doldurulmaktadır. 650 ml’lik ambalajlara doldurulan şampuanlardan G tipi Ronchi 1 dolum hattında, H tipi ise Ronchi 2 dolum hattında doldurulmaktadır. 400 ml’lik şampuanlardan I tipi Puck dolum hattında, J tipi Ronchi 2 dolum hattında doldurulmaktadır. 350 ml’lik

ambalajlara doldurulan şampuanlardan K tipi Puck dolum hattında, L ve M tipleri ise Ronchi 2 dolum hattında doldurulmaktadır. 200 ml'lik ambalajlara doldurulan şampuanlardan N tipi Puck dolum hattında ve O tipi Ronchi dolum hattında doldurulmaktadır. Son olarak ise 180 ml'li ambalajlara doldurulan şampuan ise Ronchi 2 dolum hattında doldurulmaktadır. Burada harflerle belirtilen tipler aslında birer marka olup aynı markanın farklı özelliklere sahip şampuan çeşitlerini içermektedir. Çizelge 5.8'de hangi ebattaki ürünün hangi dolum hattında 1 tonunun kaç dakikada üretildiği verilmiştir.

Tablodan da görüldüğü üzere dolum hatları yüksek otomasyonla işletildiği için ambalaj doldurma süreleri sabittir ve rassal değildir. Fakat dolum hatları arıza yaptığından dolayı dolaylı olarak ambalaj doldurma süreleri rassal hale gelmektedir.

5.5 Sistem Kısıtlarının Belirlenmesi

Gerçek sistem modelleme problemlerinde ideal sistem elde edilemediğinden incelediğimiz şampuan hattında da bazı kısıtlarla karşılaşmaktayız ve bu kısıtlar şu şekilde sıralanabilir:

- 3 Adet mikser vardır ve her biri 5 ton kapasitelidir
- Her ürün her mikserde işlenmez, ürünlerin dolum hatlarına göre işlem görecekları mikserler bellidir ve her dolum hattının mikser öncelik sırası vardır.
- Bir ürün çeşidinden diğetine geçerken mikserlerde hazırlık(temizlik) süreleri olur.
- Ara stok tanklarında yeterli kapasite mevcut değilse mikserler fabrika içi üretim için bloke olur.
- 12 adet ara stok tankı vardır ve bu tanklar 10'ar ton kapasitelidir.
- Ara stok tanklarında ürünler birbirine karışamaz.
- Ara stok tanklarında FIFO(İlk Gelen İlk Gider) uygulanır.

- Dolum hatlarında ürün değişikliği olacağı sırada hazırlık(yıkama) süresi olur bu sebeple ara stok tanklarından varsa halihazırda işlenen ürünün devamı, yoksa ara stok tanklarına en erken gelen ürün işleme alınır.
- Puck dolum hattı için tahsis edilebilecek stok tankı sayısı 6'yı geçemez ve 4'ten aşığı inemez. Diğer dolum hatları için tahsis edilen ara stok tankı sayısı ise 3'ten az olamaz.
- Dolum hatlarının işlem süresi ürünlerin ebatlarına göre değişiklik göstermektedir.
- Dolum hatlarının hazırlık süreleri boy dönüşüm-mamul dönüşüm- boy ve mamul dönüşüm olmak üzere 3 çeşittir.
- Simülasyon modeli koşurken haftalık üretim planlarına uyulmak zorundadır.

Modelimizi kurarken bu kısıtlar dikkate alınacaktır.

Çizelge 5.8 : Dolum hatlarının ambalaj ebatlarına göre üretim hızı (ton/dk.).

Ambalaj Hacimleri	Puck	Ronchi 1	Ronchi 2
700 ml A Tipi	16,8	-	-
700 ml B Tipi	17,42	-	-
700 ml C Tipi	-	20	-
700 ml D Tipi	-	17,5	-
700 ml E Tipi	-	21	-
700 ml F Tipi	-	-	22,1
650 ml G Tipi	-	20	-
650 ml H Tipi	-	-	22,1
400 ml I Tipi	28	-	-
400 ml J Tipi	-	-	32,3
350 ml K Tipi	38,2	-	-
350 ml L Tipi	-	-	35
350 ml M Tipi	-	-	38,2
200 ml N Tipi	46,6	-	-
200 ml O Tipi	-	-	49,4
180 ml	-	-	52,5

5.6 Deneş Tasarımı

Deneş tasarımı yapılırken sistem kısıtlarının elverdiği ölçüde tüm senaryolar simülasyon modeli üzerinde denenmeli ve tüm senaryoların sonuçları daha sonra ANP metodu ile değerlendirilmek üzere elde edilmelidir. Bu problemde simülasyon modelinin kurulmasının temel amacı, farklı sayıdaki ara stok tanklarının dolun hattı istasyonlarına tahsis edilmesi sonucu oluşan sistem davranışını gözlemlemektir. Sistem kısıtları bölümünde de bahsedildiği üzere Puck dolun hattına en fazla 6 adet, en az 4 adet ara stok tankı tahsis edilebilirken, Ronchi 1 ve Ronchi 2 hatlarına ise en az 3 adet ara stok tankı tahsis edilebilmektedir. Bu durumda gerçekleştirilebilecek senaryo sayısı kısıtlıdır. Tüm olası senaryolar Çizelge 5.9'da gösterilmiştir. Bu yüzden geniş kapsamda bir deneş tasarımı yapılmasına gerek yoktur.

Çizelge 5.9 : Dolun hatlarına göre atanan ara stok tankı sayısına göre senaryolar.

	Puck	Ronchi 1	Ronchi 2
Senaryo 1	4	4	4
Senaryo 2	5	3	4
Senaryo 3	5	4	3
Senaryo 4	6	3	3

Bu tabloya göre 4 adet senaryo oluşmaktadır. İlk senaryoda her bir dolun hattına 4'er tane ara stok tankı atanmakta; ikinci senaryoda Puck dolun hattına 5, Ronchi 1 dolun hattına 3 ve Ronchi 2 dolun hattına ise 4 ara stok tankı atanmakta; üçüncü senaryoda Puck dolun hattına 5, Ronchi 1 dolun hattına 4, Ronchi 2 dolun hattına 3 ara stok tankı atanmakta ve son olarak dördüncü senaryoda ise Puck dolun hattına 6 adet ara stok tankı atanırken Ronchi 1 ve Ronchi 2 ara stok tanklarına 3'er adet ara stok tankı atanmıştır.

Simülasyon modeli kurulurken performans kriteri belirlenmeli ve simülasyon modeli bu kriteri elde etmek amacıyla kurulmalıdır. Çoğu simülasyon deneylerinde bu kriter 1 adettir ve diğer parametreler değiştirilerek bu kriterin değeri kontrol edilir, en iyi senaryoya karar verilir. Fakat şampuan üretim tesisi probleminde sistemin

performansını etkileyen 1'den fazla kriter vardır; tesisin simülasyon modeli oluşturulurken bu kriterlerin hepsinin sonucuna ulaşılabilecek bir simülasyon modeli kurulması gerekmektedir. Sistemin performansını etkileyen kriterler ise; her bir senaryo için,

- Haftalık üretim planında bulunan ürünlerin üretilmesi sırasında geçen toplam süre
- Üretim planı gerçekleştirilirken oluşan ortalama süreç içi stok
- İşlem zamanı boyunca mikserlerin ve makinaların arıza, hazırlık, dolu ve boş olma durumlarının simülasyon süresine göre yüzdesi

olarak planlanmıştır.

Simülasyon modelinde dolum hatlarının ve mikserlerin rassal olarak arızalanmasından kaynaklanan rassallığı meydana getirmek için her bir simülasyon modeli 5 kere koşturulacak ve bu aşamada arızalanma ve tamir fonksiyonlarında farklı rassal sayılar kullanılacaktır. Daha sonra ise bu 5 koşumun aritmetik ortalaması alınarak dolum hatlarının ve mikserlerin arızalanma yüzdeleri bulunacaktır. Bunun yanında sistemde kullanılan makinaların rassal olarak arızalanması, diğer performans kriterlerini de dolaylı olarak etkilemektedir, böylece sistem otomasyonla yönetiliyor olsa bile her bir koşumda farklı değerler elde edilecektir.

5.7 Simülasyon Modeli Kurulumu

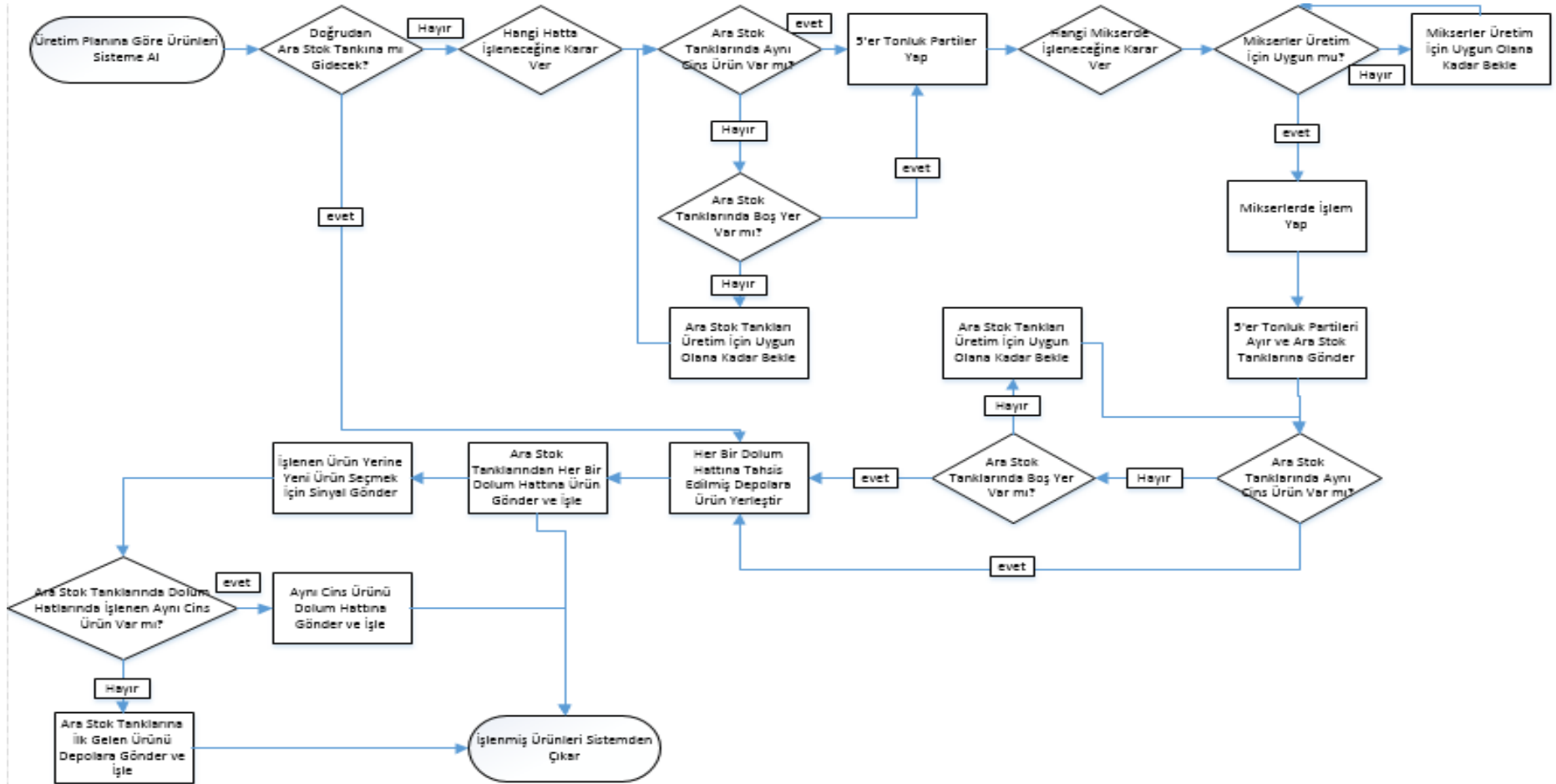
Şampuan üretim hattının simülasyon akış diyagramı ve Arena 10.0 programında hazırlanmış simülasyon modeli Şekil 5.6'da ve Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Model hazırlanırken üretim planlama biriminden gelen haftalık üretim planına uyulmuş ve özellikle sistem kısıtlarından, ara stok tanklarında ürünlerin birbirlerine karışmaması kısıtına dikkatle uyulmuştur. Ara stok tanklarında hiç ürün kalmadığı durumlarda mikserlerden ürün çekmek ve ara stok tanklarındaki ürünleri tamamen dolum hatlarına göndermek için dummy (kukla) modüllerden yardım alınmıştır.

Model kurulurken 1 adet performans kriteri belirlemek yerine sistemin performansını etkileyen bütün kriterleri bulmak için bir simülasyon modeli kurulmuş ve bu kriterler şu şekilde sıralanmıştır:

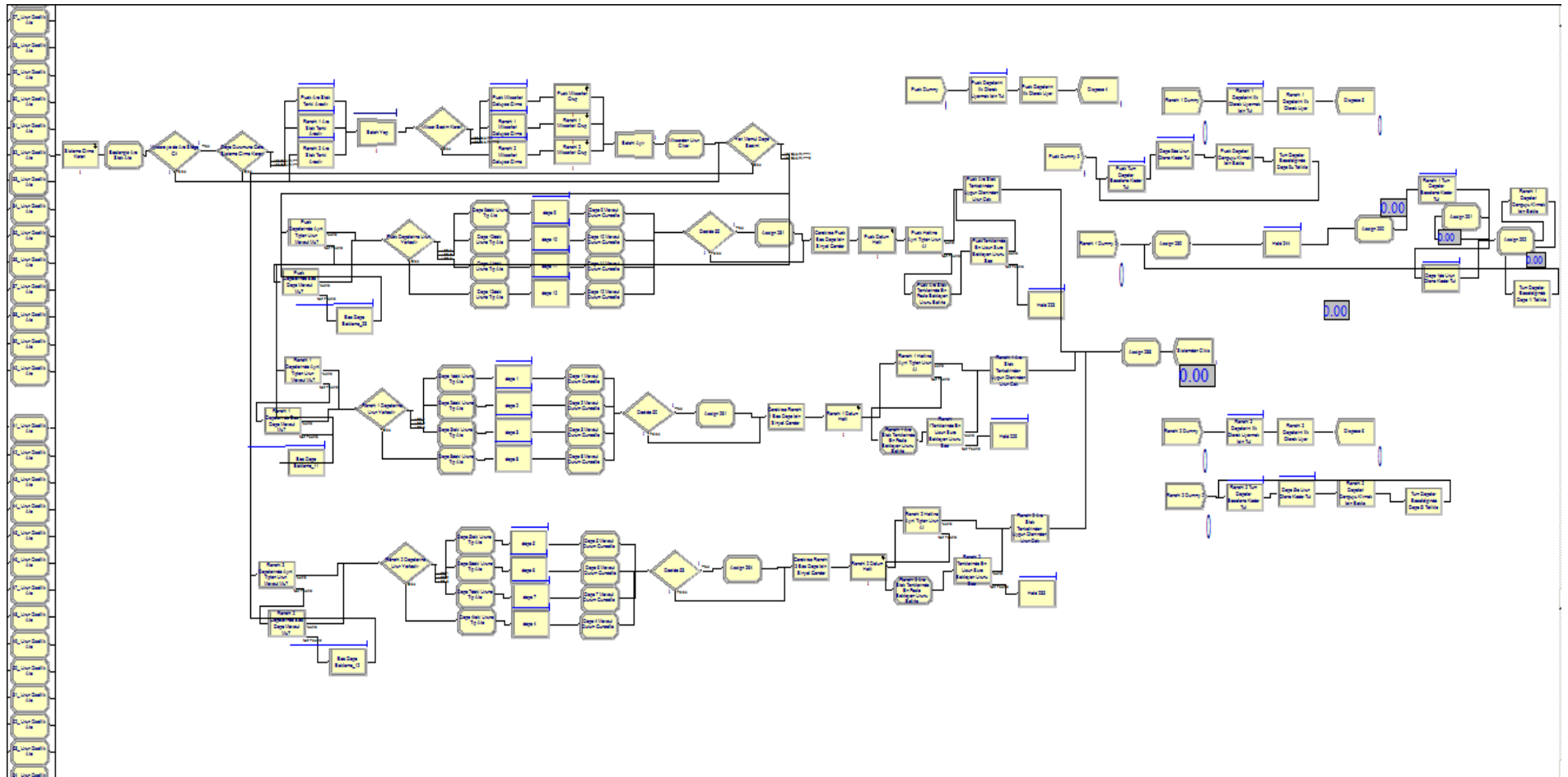
- Üretim planı tamamlanana kadar mikserlerin ortalama doluluk yüzdesi
- Üretim planı tamamlanana kadar mikserlerin ortalama hazırlık yüzdesi
- Üretim planı tamamlanana kadar mikserlerin ortalama arızalı bulunduğu durum yüzdesi
- Üretim planı tamamlanana kadar dolum hatlarının ortalama doluluk yüzdesi
- Üretim planı tamamlanana kadar dolum hatlarının ortalama hazırlık yüzdesi
- Üretim planı tamamlanana kadar dolum hatlarını ortalama arızalı bulunduğu durum yüzdesi
- Üretim planı tamamlanana kadar sistemde bulunan ortalama ara stok miktarı
- Üretim planı tamamlanana kadar geçen süre

5.8 Model Koşumu ve Simülasyon Sonuçları

Simülasyon modeli, daha önceki bölümlerde de bahsedilen 4 senaryonun her biri için 5 defa koşulmuş ve performans kriterlerinin sonuçlarının toplamı 5'e bölünüp aritmetik olarak ortalama değerleri alınmıştır. Bu şekilde rassallıktan kaynaklanan hatalar daha aza indirilmiştir. Elde edilen ham simülasyon sonuçları Çizelge 5.10'daki gibidir. Sonrasında Çizelge 5.11'de simülasyon sonuçlarının normalize edilmiş değerleri verilmiştir. Bu sonuçları normalize etmemizin sebebi her bir kriteri kendi başlığı altında değerlendirmek ve bu kriterleri birimlerinden arındırmaktır. Simülasyon deneylerindeki parametrelerin hepsi enküçüklenmek istenen parametrelerdir. Dolayısıyla değerler normalize edilirken önce çarpma işlemine göre tersleri alınmış, bu değerler normalize edilmiştir. Sonuçta, enbüyüklenmek istenen birimlerinden arındırılmış standardize değerler elde edilmiştir.



Şekil 5.6 : Simülasyon modelinin akış diyagramı.



Şekil 5.7 : Simülasyon modelinin Arena 10.0 programında görünümü.

Çizelge 5.10 : Senaryolara göre simülasyon sonuçları.

Senaryo 1 (Puck:4 Ara Stok Tankı, Ronchi 1:4 Ara Stok Tankı, Ronchi 2:4 Ara Stok Tankı)					
	Dolu	Hazırlık	Arızalı	Ortalama Stok (Ton/Tank)	Ortalama Zaman (Dk.)
Mikser 1	78,054	3,756	0,624	2,51	8075
Mikser 2	75,198	3,88	0,41		
Mikser 3	63,146	3,47	0,484		
Ort Miks.	72,13	3,7	0,51		
Puck	72,108	13,578	3,298		
Ronchi 1	75,516	4,462	0,126		
Ronchi 2	61,882	8,234	0,06		
Ort Hat.	69,84	8,76	1,16		

Senaryo 2 (Puck:5 Ara Stok Tankı, Ronchi 1:3 Ara Stok Tankı, Ronchi 2:4 Ara Stok Tankı)					
	Dolu	Hazırlık	Arızalı	Ortalama Stok (Ton/Tank)	Ortalama Zaman (Dk.)
Mikser 1	78,766	3,998	0,544	2,89	7927,69
Mikser 2	71,59	4,308	0,308		
Mikser 3	79,268	3,336	0,692		
Ort Miks.	76,54	3,88	0,51		
Puck	73,112	12,982	3,282		
Ronchi 1	76,568	11,12	0,174		
Ronchi 2	62,746	8,398	0,056		
Ort Hat.	70,81	10,83	1,17		

Senaryo 3 (Puck:5 Ara Stok Tankı, Ronchi 1:4 Ara Stok Tankı, Ronchi 2:3 Ara Stok Tankı)					
	Dolu	Hazırlık	Arızalı	Ortalama Stok (Ton/Tank)	Ortalama Zaman (Dk.)
Mikser 1	78,34	3,35	0,612	2,57	8756,45
Mikser 2	79,576	3,686	0,316		
Mikser 3	75,83	3,86	0,548		
Ort Miks.	77,92	3,63	0,49		
Puck	67,312	12,93	2,864		
Ronchi 1	70,492	10,514	0,188		
Ronchi 2	57,766	10,186	0,114		
Ort Hat.	65,19	11,21	1,06		

Çizelge 5.10 (devam): Senaryolara göre simülasyon sonuçları.

Senaryo 4 (Puck:6 Ara Stok Tankı, Ronchi 1:3 Ara Stok Tankı, Ronchi 2:3 Ara Stok Tankı)					
	Dolu	Hazırlık	Arızalı	Ortalama Stok (Ton/Tank)	Ortalama Zaman (Dk.)
Mikser 1	76,916	4,508	0,522		8258,42
Mikser 2	77,336	3,944	0,434		
Mikser 3	72,03	3,986	0,416		
Ort Miks.	75,43	4,15	0,46		
Puck	71,742	13,258	3,2	2,75	
Ronchi 1	75,134	9,504	0,208		
Ronchi 2	61,568	9,784	0,148		
Ort Hat.	69,48	10,85	1,19		

Çizelge 5.11 : Simülasyon sonuçlarının normalleştirilmiş değerleri.

Ortalama Mikser Arızalanma Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Mikser Arıza Yüz.	1/Mikser Arıza Yüz.	Norm. Ağırlık
1	0,506	1,976284585	0,24
2	0,515	1,941747573	0,24
3	0,492	2,032520325	0,25
4	0,457	2,188183807	0,27

Ortalama Hat Arızalanma Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Hat Arıza Yüz.	1/ Hat Arıza Yüz.	Norm. Ağırlık
1	1,161	0,861326443	0,25
2	1,171	0,853970965	0,24
3	1,055	0,947867299	0,27
4	1,185	0,843881857	0,24

Ortalama Mikser Hazırlık Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Mikser Hazırlık Yüz.	1/ Mikser Hazırlık Yüz.	Norm. Ağırlık
1	3,702	0,270124257	0,26
2	3,881	0,25766555	0,25
3	3,632	0,275330396	0,26
4	4,146	0,241196334	0,23

Çizelge 5.11 (devam) : Simülasyon sonuçlarının normalleştirilmiş değerleri.

Ortalama Hat Hazırlık Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Hat Hazırlık Yüz.	1/Hat Hazırlık Yüz.	Norm. Ağırlık
1	8,758	0,11418132	0,29
2	10,833	0,092310533	0,24
3	11,21	0,089206066	0,23
4	10,849	0,092174394	0,24

Ortalama Hat Doluluk Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Hat Doluluk Yüz.	1/ Hat Doluluk Yüz.	Norm. Ağırlık
1	69,835	0,014319399	0,25
2	70,809	0,014122565	0,24
3	65,19	0,015339776	0,26
4	69,481	0,014392355	0,25

Stok Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Süreç İçi Stok	1/Süreç İçi Stok	Norm. Ağırlık
1	2,51	0,398406375	0,27
2	2,89	0,346020761	0,23
3	2,57	0,389105058	0,26
4	2,75	0,363636364	0,24

Simülasyon Zamanının Normalleştirilmesi			
Sen. No	Toplam Zaman	1/Toplam Zaman	Norm. Ağırlık
1	8075	0,000123839	0,26
2	7927,69	0,00012614	0,26
3	8756,45	0,000114202	0,24
4	8258,42	0,000121089	0,25

Ortalama Mikser Doluluk Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Mikser Doluluk Yüz.	1/ Mikser Doluluk Yüz.	Norm. Ağırlık
1	72,133	0,013863344	0,26
2	76,541	0,013064836	0,25
3	77,915	0,012834444	0,24
4	75,427	0,013257793	0,25

5.9 Simülasyon Sonuçlarına Analitik Ağ Süreci Yöntemi Uygulanması

Bir önceki bölümde açıklanan simülasyon sonuçlarına göre simülasyon modelinin 8 farklı performans kriteri mevcuttur ve direkt olarak senaryolardan hangisinin en iyi olduğuna karar vermek ilk bakışta neredeyse imkansızdır. Bu sebeple performans kriterlerinin birbirleriyle etkileşimini bulmak ve her bir performans kriterine önem katsayısı atamak için ANP metodu uygulanmıştır. Kullandığımız ANP yaklaşımı, literatürde rastlanılabileceği gibi alternatifleri, çalışmamızdaki karşılığıyla deneyleri doğrudan içermemektedir; yalnızca performans kriterlerine önem atamakta kullanılmıştır.

Bu metot uygulanırken, öncelikle performans kriterlerinin etkileşimlerini gösteren etki matrisi oluşturulmuştur. Bu matris Şekil 5.8’de verilmiştir. Simülasyon deneyi sonuçlarını etkileyen parametrelerin hepsi matematiksel açıdan zaman parametresiyle bağlantılı olduğundan matrisin tüm hücrelerine çarpı konulmuştur.

	Mikserlerin Ort. Doluluk Oranı	Hatların Ort. Doluluk Oranı	Mikserlerin Ort. Haz. Süresi Oranı	Hatların Ort. Haz. Süresi Oranı	Mikserlerin Ort. Arıza Oranı	Hatların Ort. Arıza Oranı	Ortalama Stok	Ortalama Zaman
"Mikserlerin Ortalama Doluluk Oranı"nın sütun değişkenleri üzerinde etkisi var mıdır?	0	x	x	x	x	x	x	x
"Hatların Ortalama Doluluk Oranı"nın sütun değişkenleri üzerinde etkisi var mıdır?	x	0	x	x	x	x	x	x
"Mikserlerin Ortalama Hazırlık Süresi Oranı"nın sütun değişkenleri üzerinde etkisi var mıdır?	x	x	0	x	x	x	x	x
"Hatların Ortalama Hazırlık Süresi Oranı"nın sütun değişkenleri üzerinde etkisi var mıdır?	x	x	x	0	x	x	x	x
"Mikserlerin Ortalama Arıza Oranı"nın sütun değişkenleri üzerinde etkisi var mıdır?	x	x	x	x	0	x	x	x
"Hatların Ortalama Arıza Oranı"nın sütun değişkenleri üzerinde etkisi var mıdır?	x	x	x	x	x	0	x	x
"Ortalama Stok"un sütun değişkenleri üzerinde etkisi var mıdır?	x	x	x	x	x	x	0	x
"Ortalama Zaman"ın sütun değişkenleri üzerinde etkisi var mıdır?	x	x	x	x	x	x	x	0

Şekil 5.8 : Etki matrisi.

Çizelge 5.12 : Performans kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisleri.

Mikser doluluk	Hat doluluk	Mikser hazırlık	Hat hazırlık	Mikser arıza	Hat arıza	Ort stok	Ort zaman
Hat doluluk	1	0,23	0,67	0,26	1,6	0,77	0,48
Mik. hazırlık	4,3	1	4,8	0,56	3,2	2,8	4,1
Hat hazırlık	1,5	0,21	1	0,22	0,71	0,34	0,32
Mikser arıza	3,8	1,8	4,6	1	2,1	2,2	2,9
Hat arıza	0,63	0,31	1,4	0,48	1	1,7	1,7
Ort stok	1,3	0,36	2,9	0,45	0,59	1	0,83
Ort zaman	2,1	0,24	3,1	0,34	0,59	1,2	1

Hat doluluk	Mikser doluluk	Mikser hazırlık	Hat hazırlık	Mikser arıza	Hat arıza	Ort stok	Ort zaman
Mik. doluluk	1	2,4	1,9	1,7	0,59	3,3	5,1
Mik. hazırlık	0,42	1	0,67	0,83	0,3	1,3	3,3
Hat hazırlık	0,53	1,5	1	0,71	2,1	1,5	4,3
Mikser arıza	0,59	1,2	1,4	1	0,48	4,1	3,4
Hat arıza	1,7	3,3	0,48	2,1	1	3,8	6,6
Ort stok	0,3	0,77	0,67	0,24	0,26	1	2,3
Ort zaman	0,2	0,3	0,23	0,29	0,15	0,43	1

Mikser hazırlık	Mikser doluluk	Hat doluluk	Hat hazırlık	Mikser arıza	Hat arıza	Ort stok	Ort zaman
Mik. doluluk	1	1,8	4,1	1,8	2,9	3,8	2,1
Hat doluluk	0,56	1	1,6	0,37	1,5	2,3	0,83
Hat hazırlık	0,24	0,63	1	0,38	0,56	0,63	0,56
Mikser arıza	0,56	2,7	2,6	1	2,4	3,2	1,2
Hat arıza	0,34	0,67	1,8	0,42	1	0,59	1,4
Ort stok	0,26	0,43	1,6	0,31	1,7	1	0,53
Ort zaman	0,48	1,2	1,8	0,83	0,71	1,9	1

Hat hazırlık	Mikser doluluk	Hat doluluk	Mikser hazırlık	Mikser arıza	Hat arıza	Ort stok	Ort zaman
Mik. doluluk	1	0,31	2	1,4	0,43	0,5	0,56
Hat doluluk	3,2	1	4,8	4,5	2,2	2,8	2,4
Mik. hazırlık	0,5	0,21	1	1,2	0,26	0,38	0,32
Mikser arıza	0,71	0,22	0,83	1	0,48	2,8	0,42
Hat arıza	2,3	0,45	3,9	2,1	1	0,83	3,7
Ort stok	2	0,36	2,6	0,36	1,2	1	1,2
Ort zaman	1,8	0,42	3,1	2,4	0,27	0,83	1

Çizelge 5.12 (devam) : Performans kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisleri.

Mikser arıza	Mikser doluluk	Hat doluluk	Mikser hazırlık	Hat hazırlık	Hat arıza	Ort stok	Ort zaman
Mik. doluluk	1	5,8	4,8	8,7	8,8	5,3	2,2
Hat doluluk	0,17	1	0,71	1,2	1,1	1,4	0,24
Mik. hazırlık	0,21	1,4	1	2,1	1,9	2,1	0,48
Hat hazırlık	0,11	0,83	0,48	1	0,71	0,42	0,23
Hat arıza	0,11	0,91	0,53	1,4	1	0,71	0,48
Ort stok	0,19	0,71	0,48	2,4	1,4	1	0,32
Ort zaman	0,45	4,2	2,1	4,3	2,1	3,1	1

Hat arıza	Mikser doluluk	Hat doluluk	Mikser hazırlık	Hat hazırlık	Mikser arıza	Ort stok	Ort zaman
Mik. doluluk	1	0,21	2	0,83	1,7	1,8	0,24
Hat doluluk	4,8	1	7,7	5,4	5,8	2,3	2,1
Mik. hazırlık	0,5	0,13	1	0,56	0,91	0,22	0,21
Hat hazırlık	1,2	0,19	1,8	1	0,56	0,34	0,24
Mikser arıza	0,59	0,17	1,1	1,8	1	0,24	0,2
Ort stok	0,56	0,43	4,6	2,9	4,2	1	0,59
Ort zaman	4,1	0,48	4,8	4,2	4,9	1,7	1

Ort stok	Mikser doluluk	Hat doluluk	Mikser hazırlık	Hat hazırlık	Mikser arıza	Hat arıza	Ort zaman
Mik. doluluk	1	1,4	2,6	3,4	1,9	0,59	0,63
Hat doluluk	0,71	1	3,2	2,8	1,6	1,1	0,71
Mik. hazırlık	0,38	0,31	1	0,77	0,77	0,23	0,15
Hat hazırlık	0,29	0,36	1,3	1	0,43	0,48	0,13
Mikser arıza	0,53	0,63	1,3	2,3	1	1,1	0,16
Hat arıza	1,7	0,91	4,3	2,1	0,91	1	0,48
Ort zaman	1,6	1,4	6,7	7,7	6,3	2,1	1

Ort zaman	Mikser doluluk	Hat doluluk	Mikser hazırlık	Hat hazırlık	Mikser arıza	Hat arıza	Ort stok
Mik. doluluk	1	0,77	2,1	1,7	1,4	0,4	0,56
Hat doluluk	1,3	1	2,5	2,1	1,3	1,3	0,67
Mik. hazırlık	0,48	0,4	1	0,91	0,42	0,4	0,43
Hat hazırlık	0,59	0,48	1,1	1	0,48	0,43	0,5
Mikser arıza	0,71	0,77	2,4	2,1	1	0,83	1,7
Hat arıza	2,5	0,77	2,5	2,3	1,2	1	1,9
Ort stok	1,8	1,5	2,3	2	0,59	0,53	1

Ardından, etki matrisine uygun şekilde 8 adet ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Bu ikili karşılaştırmalar, şampuan fabrikasında görevli olan üretim

mühendislerine (uzmanlar) anketler aracılığıyla yaptırılmıştır. Toplam 10 uzman ikili karşılaştırma matrisleri için anketleri doldurmuştur. Matrisler doldurulurken daha önce de bahsedildiği gibi Saaty'nin 1-9 skalası kullanılmıştır. Önem yönü ters olduğunda, yani sütundaki ifadenin satırdakinden daha önemli olduğu düşünüldüğünde ise, hücreye verilecek önem puanının çarpmaya göre tersi yazılmıştır. Uzmanlar tarafından doldurulan 10 anketin ortalamaları alınıp nihai ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Bunlar Çizelge 5.12'de verilmiştir.

ANP yöntemi adımlarına devam etmeden önce, bu aşamada ikili karşılaştırmaların tutarlılığının araştırılması gereklidir. 4. bölümde bahsedildiği şekilde, Saaty'nin (2005) tutarlılık oranı hesaplama yöntemi kullanılacaktır. Aşağıda "mikser doluluk" parametresi açısından doldurulmuş ikili karşılaştırma matrisine yöntemin uygulanışı adım adım verilmiştir.

"Mikser doluluk" parametresine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.12'de verilen ilk matristir. Bu matris kullanılarak elde edilen ω ağırlık vektörü, $A \cdot \omega = D$ ile elde edilen D ve bunun elemanlarının ω 'nin elemanlarına bölünmesiyle elde edilen E sütun vektörleri aşağıda verilmiştir.

$$\omega = \begin{bmatrix} 0,07 \\ 0,28 \\ 0,06 \\ 0,28 \\ 0,11 \\ 0,10 \\ 0,11 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0,55 \\ 2,10 \\ 0,43 \\ 2,08 \\ 0,81 \\ 0,74 \\ 0,79 \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} 7,40 \\ 7,58 \\ 7,44 \\ 7,52 \\ 7,41 \\ 7,39 \\ 7,45 \end{bmatrix}$$

E 'nin elemanlarının ortalaması alınarak λ_{max} hesaplanır. Ardından, 7×7 boyutlu A matrisi için denklem (4.1) ve (4.2) kullanılarak sırayla CI ve CR değerleri hesaplanır. Tutarlılık oranı hesabında kullanılan RI değeri, $n = 7$ 'ye karşılık gelen tablo değeri olan 1,32'dir.

$$\lambda_{max} = \frac{7,40 + 7,58 + 7,44 + 7,52 + 7,41 + 7,39 + 7,45}{7} = 7,46$$

$$CI = \frac{7,46 - 7}{7 - 1} = 0,08$$

$$CR = \frac{0,08}{1,32} = 0,06 < 0,10$$

Görüldüğü gibi “mikser doluluk” parametresine ait tutarlılık oranı 0,10’dan küçüktür, dolayısıyla bu ikili karşılaştırma matrisi tutarlıdır. Benzer işlemler diğer parametreler için de yapılmıştır. Tüm matrislere ait tutarlılık oranı sonuçları Çizelge 5.13’te verilmiştir. Bu oranlara bakılarak, tüm ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlı olduğu sonucuna varılır.

Çizelge 5.13 : İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranı sonuçları.

İkili karşılaştırma matrisinin konusu olan parametre	Tutarlılık oranı (CR)
Mikser doluluk	0,06
Hat doluluk	0,05
Mikser hazırlık	0,03
Hat hazırlık	0,09
Mikser arıza	0,02
Hat arıza	0,05
Ortalama stok	0,04
Ortalama zaman	0,03

İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları doğrulandıktan sonra, diğer adımlara devam edilir. Matrislerdeki her bir sütun değeri normalleştirilerek, her matrisin ağırlık sütunu hesaplanmıştır. Bu ağırlık sütunları art arda eklenerek 8x8’lik süpermatris oluşturulmuştur. Çizelge 5.14’te verilmiş olan süpermatris olması gerektiği gibi stokastik yapıdadır.

Çizelge 5.14 : Süpermatris.

0,00	0,22	0,28	0,09	0,44	0,10	0,16	0,13
0,07	0,00	0,13	0,31	0,07	0,35	0,16	0,18
0,28	0,10	0,00	0,05	0,11	0,04	0,05	0,07
0,06	0,17	0,07	0,00	0,05	0,06	0,05	0,08
0,28	0,16	0,21	0,10	0,00	0,06	0,09	0,16
0,11	0,25	0,10	0,20	0,06	0,00	0,16	0,21
0,10	0,07	0,09	0,13	0,07	0,15	0,00	0,17
0,11	0,04	0,13	0,13	0,21	0,24	0,33	0,00

ANP’nin bir sonraki adımı limit süpermatrisin oluşturulmasıdır. Bilgisayar yardımıyla süpermatrisin limit üssü alınarak, her bir satırının kendi içinde hücre

değerleri eşit olan limit süpermatrise ulaşılmıştır. Limit süpermatris Çizelge 5.15'te verilmiştir. Elde edilen bu değerler, performans kriterlerinin uzman görüşlerine dayalı önem ağırlıklarını ifade etmektedir.

Çizelge 5.15 : Limit süpermatris.

0,173	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072
0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099
0,139	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139

5.10 Sıralanmış Senaryolar

Uygulama çalışmasının son adımı, yapılan 4 simülasyon deneyi senaryosuna ait sonuçları, elde edilen parametre önem ağırlıklarıyla değerlendirilerek hangi senaryonun en iyi sonucu verdiğini belirlemektir. Çizelge 5.11'de deney sonuçlarının normalleştirilmiş değerleri daha önceden verilmişti. Çizelge 5.16'da ise ANP yöntemi ile elde ettiğimiz parametre önem ağırlıkları verilmektedir.

Çizelge 5.16 : Deney parametrelerinin önem ağırlıkları.

Parametre	Önem ağırlığı
Mikser doluluk	0,173
Hat doluluk	0,145
Mikser hazırlık	0,1
Hat hazırlık	0,072
Mikser arıza	0,138
Hat arıza	0,133
Ortalama stok	0,099
Ortalama zaman	0,139

Deney parametrelerimizin hepsi en küçük en iyi diye tabir edilen, değeri ne kadar düşükse o kadar iyi olan parametrelerdir. Ancak, bu parametre değerleri

normalizasyon sırasında zaten tersleri alınarak standardize edilmiş olduğundan, bunlara artık en büyük en iyi şekilde yaklaşmak gerekir. Dolayısıyla normalleştirilmiş parametre sonuçları önem ağırlıkları ile çarpılıp her bir senaryo için toplandığında, senaryolar için elde edilen sonuç değerlerinden en iyisi en büyük olanı olacak, bu senaryo seçilecektir.

4 senaryonun sonuç değerlerine ait hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Senaryo 1;

$$(0,173x0,26) + (0,145x0,25) + (0,100x0,26) + (0,072x0,29) + (0,138x0,24) \\ + (0,133x0,25) + (0,099x0,27) + (0,139x0,26) = 0,25735$$

Senaryo 2;

$$(0,173x0,25) + (0,145x0,24) + (0,100x0,25) + (0,072x0,24) + (0,138x0,24) \\ + (0,133x0,24) + (0,099x0,23) + (0,139x0,26) = 0,24428$$

Senaryo 3;

$$(0,173x0,24) + (0,145x0,26) + (0,100x0,26) + (0,072x0,23) + (0,138x0,25) \\ + (0,133x0,27) + (0,099x0,26) + (0,139x0,24) = 0,25129$$

Senaryo 4;

$$(0,173x0,25) + (0,145x0,25) + (0,100x0,23) + (0,072x0,24) + (0,138x0,27) \\ + (0,133x0,24) + (0,099x0,24) + (0,139x0,25) = 0,24747$$

Yapılan işlemlerin sonucuna göre en büyük değer Senaryo 1’de elde edilmiştir. Bu durumda oluşturulan üretim planına göre Puck dolm hattına 4 adet, Ronchi 1 dolm hattına 4 adet, Ronchi 2 dolm hattına ise 4 adet ara stok tahsisi yapılması gerekmektedir. Bu senaryoya göre, üretim planının uygulanması için geçen süre 8075 dk.dır. Mikserler bu süre zarfının %72’sini dolu, %3,70’ini bir sonraki ürün için hazırlık aşamasında, %0,51’ini de arızalı geçirmektedir. Hatlar ise bu süre zarfının %69’unda dolu, %8,76’sında hazırlık aşamasında, %1,16’sında ise arızalı konumda bulunmaktadır. Ortalama süreç içi stoğun ise 2,51 ton olması beklenmektedir. Sonuçlar simülasyon ile elde edildiğinden rassallık söz konusudur ve gerçek hayatta değişiklik gösterme durumu mevcuttur. Fakat en olası sonuçlar önerilen yöntem ile bu şekilde bulunmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Simülasyon ve çok kriterli karar verme, tüm tedarik zinciri problemlerinden finansal alanlara kadar bir çok alanda karşılaşılan problemleri çözmek için kullanılmaktadır. Fakat bu iki temel konunun birlikte kullanıldığı çalışmalar literatürde son derece azdır. Bu çalışmada, simülasyon ile elde edilen sonuçların üzerine çok kriterli karar verme metodlarından ANP metodu uygulanmış ve üretim hatlarına tahsis edilen ara stok tankı sayısı problemine çözüm önerilmiştir.

Tampon stok problemleri için literatürde bol miktarda matematiksel model çözümleri mevcuttur; fakat gerçek bir sistemin matematiksel modeli oluşturulurken ya sistemin çok küçük olması gerekmekte ya da sistem hakkında bir çok varsayım yapılması gerekmektedir. Yapılan varsayımlar ise çözümün geçerliliğini oldukça kısıtlamaktadır. Büyük çaplı üretim tesisleri ve ürün çeşidinin çok olduğu problemlerde simülasyon modelinin matematiksel modellerden daha kullanışlı sonuçlar verdiği bu çalışmada anlatılmıştır.

Önerilen yöntemin doğruluğunu tespit etmek amacıyla, yöntem büyük ölçekli üretim tesisine ve ürün çeşitliliğine sahip olan bir işletmeye uygulanmış ve işletmenin ara stok tahsisi problemine çözüm aranmıştır. Makinaların arıza, tamir, üretim ve hazırlık süreleri için işletmeden alınan gerçek değerler kullanılmıştır. Ürünler likit yapıda ve farklı özelliklerde olduğundan dolayı simülasyon modeli kurulurken ürünlerin ara stok tanklarında karışmamasına dikkat edilmiştir. Modelde tesisin fiziksel şartlarının elverdiği ölçüde 4 adet senaryo kurulmuş ve bu senaryoların her birinde 8 adet performans kriteri elde edilmiştir. Daha sonra bu performans kriterlerinin birbirleri üzerindeki etkisini belirlemek üzere uzmanlar tarafından ikili etkileşim matrisi doldurulmuş ve matrislerin kendi içindeki tutarlılığı incelenmiştir. Etkileşimlerinin tutarlı olduğu belirlenen matrislere ANP metodu uygulanarak her bir performans kriterinin önem katsayı belirlenmiştir.

Önem katsayısı bulunan performans kriterleri ile simülasyon modelinin koşumu ile bulunan performans kriteri sonuçları birbiri çarpılmış ve elde edilen değerler yardımıyla en uygun senaryoya karar verilmiştir. Fakat unutulmamalıdır ki her simülasyon modelinde olduğu gibi kurulan modelde de rassal değerler vardır. Bunun yanında ANP metodu da uzmanların performans kriterleri üzerindeki kişisel düşüncelerini temel aldığından dolayı, performans kriterlerinin birbirleri üzerindeki etkilerinin kuvveti işletmeden işletmeye değişebilir.

Gelecek çalışmalarda simülasyon modelinin kurulacağı sistem, fiziksel kısıtların daha az olduğu bir sistem seçilerek modelin kurulumu sırasında deney tasarımı yapılabilir ve tüm senaryolar ele alınabilir. Bunun yanında ANP ikili etkileşim matrisi daha çok uzman tarafından doldurularak tutarlılık vektörlerinin sıfıra daha çok yakınsaması sağlanabilir. Bu işlemler yapıldığında ilerleyen çalışmalarda daha sağlıklı sonuçlar alınabilir. Önerilen çözüm yöntemi belirtilen konularda geliştirilmeye açık bir çözümdür.

KAYNAKLAR

- Abdul-Kader, W., Gharbi, A.** (2002). Capacity estimation of a multi-product unreliable production line. *International Journal of Production Research*, 40(18), 4815 - 4834
- Aksoy, H. K., Gupta, S. M.** (2010). Near optimal buffer allocation in remanufacturing systems with N-policy. *Computer & Industrial Engineering*, 59, 296 - 508
- Altiparmak, F., Dengiz B., Bulgak, A. A.** (2007). Buffer allocation and performance modeling in asynchronous assembly system operations: An artificial neural network metamodeling approach. *Applied Soft Computing*, 7, 946 – 956
- Amiri, M., Mohtashami, A.** (2012). Buffer allocation in unreliable production lines based on design of experiments, simulation, and genetic algorithm. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*, 62, 371 – 383
- Andijani, A. A., Anwarul, M.** (1997). Manufacturing blocking discipline:
A multi-criterion approach for buffer allocations. *International Journal of Production Economics*, 51, 155 - 163
- Başgil, H.** (2011). Simülasyon Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Battini, D., Persona A., Regattieri A.** (2009). Buffer size design linked to reliability performance: A simulative study. *Operational & Industrial Engineering*, 56, 1633 – 1641
- Bertazzi, L.** (2011). Determining the optimal dimension of a work-in-process storage area. *International Journal of Production Economics*, 131(2), 483 – 489
- Chaharsooghi, S. K., Nahavandi, N.** (2003). Buffer allocation problem, a heuristic approach. *Scientia Iranica*, 10(4), 401 - 409
- Chan, F. T. S., Ng, E. Y. H.** (2002). Comparative evolutions of buffer allocation strategies in a serial production lines. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 19(11), 789 - 800
- Cehade, H., Yalaoui, F., Amodeo, L., Dugardin, F.** (2010). Buffers sizing in assembly lines using a Lorenz multiobjective ant colony optimization

- algorithm. IEEE International Conference on Machine and Web Intelligence, 283 -287.
- Demir, L., Tunali S., Eliiyi D. T.** (2014). The state of the art on buffer allocation problem: a comprehensive survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25, 371 – 392
- Demir, L., Tunali, S., Eliiyi, D. T., Lekketangen A.** (2013). Two approaches for solving the buffer allocation problem in unreliable production lines. *Computers & Operations Research*, 40, 2556–2563
- Diabat, A., Theodorou, E.** (2015). A location – inventory supply chain problem: Reformulation and piecewise linearization. *Computers & Industrial Engineering*, 90, 381 - 389
- Dolgui, A., Ereemeev, A., Kolokolov, A., Sigaev, V.,** (2002). A genetic algorithm for the allocation of buffer storage capacities in a production line with unreliable machines. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 1, 89 - 104
- Duclos, L. K., Spencer, M. S.** (1995). The impact of constraint buffer in a flow shop. *International Journal of Production Economics*, 42, 175 – 185
- Durmusoglu, M. B., Satoglu, S. I.** (2011). Axiomatic design of hybrid manufacturing systems in erratic demand conditions." *International Journal of Production Research* 49.17, 5231-5261.
- Ebeling, C. E.** (1997). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Long Grove, Illionis: Wavelnd Press, Inc.
- Ertay, T., Da, R., Tuzkaya, U. R.** (2006). Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. *Information Sciences*, 176.3: 237-262.
- Ertay, T., Satoglu, S. I.** (2012) System parameter selection with information axiom for the new product introduction to the hybrid manufacturing systems under dual-resource constraint. *International Journal of Production Research* 50.7, 1825-1839.
- Gürkan, G.** (2000). Simulation optimization of buffer allocations in production lines with unreliable machines. *Annals of Operations Research*, 93, 177 - 216
- Han, M. S., Park, D. J.** (2002). Optimal buffer allocation of serial production lines with quality inspection machines. *Computers & Industrial Engineering*, 42, 75 – 89
- Helber, S., Schimmelpfeng, K., Stolletz, R., Lagershausen, S.** (2011). Using linear programming to analyze and optimize and optimize stochastic flow lines. *Annals of Operations Research*, 182(1), 193 – 211.
- Hillier, M.** (2013). Designing unpaced production lines to optimize throughput and work-in-process inventory. *IEE Transactions*, 45(5), 516 - 527

- Jensen, P. A., Pakath, R., Wilson, J. R.** (1991). Optimal buffer inventories for multistage production systems with failures. *European Journal of Operational Research*, 51, 313 – 326
- Kelton, D. W.** (1998). *Simulation With Arena*. Boston, Mass. : WCB/McGraw-Hill
- Kobu, B.**, (1996). *Üretim Yönetimi*. İstanbul Üniversitesi İşletme İktisadi Enstitüsü Araştırma ve Yardım Vakfı Yay., İstanbul
- Kose, S. Y., Kilincci, O.** (2015). Hybrid approach for buffer allocation in open serial production lines. *Computers & Operations Research*, 60, 67 – 78
- Kwon, S. T.** (2006). On the optimal buffer allocation of an FMS with finite in-process buffers. *LNCS*, 3982, 767–776.
- Lee, H. T., Chen, S. K., Shunder Chang, S.** (2009). A metaheuristic approach to buffer allocation in production line. *Journal of C.C.I.T.*, 38(1), 167 – 178.
- McNamara, T., Shaaban S., Hudson S.** (2013). Simulation of unbalanced buffer allocation in unreliable unpaced production lines. *International Journal of Production Research*, 51(6), 1922 - 1936
- Nahas, N., A it-Kadi, D., Nourelfath M.** (2006). A new approach for buffer allocation in unreliable production lines. *International Journal of Production Economics*, 103, 873 – 881
- Negahban, A., Smith J. S.** (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*,
- Papadopoulos, H. T., Vidalis, M. I.** (2001). A heuristic algorithm for the buffer allocation in unreliable unbalanced production lines. *Computer & Industrial Engineering*, 41, 261 – 277
- Saaty, T. L.** (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process*. Sf. 1, RSW Publications, Pittsburg, USA
- Savsar, M., Youssef, A. S.** (2004). An integrated simulation – neural network meta model application in designing production flow lines. *WSEAS Transactions on Electronics*, 1(2), 366 - 371
- Shi, C., Gershwin, B. S.** (2009). An efficient buffer design algorithm for production line profit maximization. *International Journal of Production Economics*, 122, 725 – 740
- Sörensen, K., Janssens, G. K.** (2004). Automatic petri net simulation model generation for a continuous flow transfer line with unreliable machines. *Quality and Reliable Engineering International*, 20, 343 - 362
- Sörensen, K., Janssens, G. K.** (2001). Buffer allocation and required availability in transfer line with unreliable machines. *International Journal of Production Economics*, 74, 163 – 173

- Sörensen, K., Janssens G. K.** (2011). Simulation results on buffer allocation in a continuous flow transfer line with three unreliable machines. *Advances in Production Engineering & Management*, 6(1), 15 - 26
- Srinivas, C., Satyanarayana, B., Ramji, K., Ravela, N.** (2011). Determination of buffer size in single and multi row flexible manufacturing systems through simulation. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(5), 3889–3899.
- Staley, D. R., Kim, D. S.** (2012) Experimental results for the allocation of buffers in closed serial production lines. *International Journal of Production Economics*, 137, 284 – 291
- Rajaram, K., Tian, Z.** (2009). Buffer location and sizing to optimize cost and quality in semi-continuous manufacturing processes: Methodology and application. *IIE Transactions*, 41(12), 1035-1048.
- Roser, C., Nakano, M., Tanaka M.** (2005). Single simulation buffer optimization. *JSME International Journal, Series C*, Vol. 48, No.4
- Tekin, E., Sabuncuoğlu I.** (2004). Simulation optimization: A comprehensive review on theory and applications. *IIE Transactions*, 36, 1067 – 1081
- Um, I., Lee, H., Cheon, H.** (2007). Determination of buffer sizes in flexible manufacturing system by using the aspect-oriented simulation. *International Conference on Control, Automation and Systems*, 1729 – 1733.
- Vouros, G. A., Papadopoulos H. T.** (1998). Buffer Allocation in Unreliable Production Lines Using a Knowledge Based System. *Computers & Operation Research*, 25(12), 1055 - 1067
- Yıldırım, B. F. ve Önder, E.** (2015). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Dora Yayıncılık, Bursa.

EKLER

Ek A: Literatür Tablosu

Ek B: 2. Haftanın Ara Stok Yerleşimi Sonuçları

Ek A**Çizelge A.1 : Literatür tablosu.**

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
1991	Jensen ve diğ.	1 seri sistemi analiz ederek bu sistemi bir ya da daha fazla(gerekli görüldüğü kadar) dallandırarak sorunu çözmek.	Dinamik programlama tabanlı matematiksel model	Fiziksel tabanlı simülasyon modelleri ile yük çeşitlendirme modelinin birlikte kullanımı ile yük eğrilerindeki değişiklikler ölçülebilmektedir.
1995	Duclos ve diğ.	Kısıtlar teorisi altındaki çizelgeleme prosedürü için daha kullanışlı bir yöntem geliştirmek.	Kısıtlar teorisi, Simülasyon	Model bir motor fabrikasında gerçek verilerle kurulmuş ve tampon stok temelli bir MRP modeli ele alınmıştır. Yeni olarak simülasyonla geliştirilen model eski MRP modelinden daha iyi sonuçlar vermiştir.
2001	Sörensen ve Janssens	Tampon stoklar tarafından oluşturulan toplam yükleme ve maliyeti minimize edecek bir nonlinear model kurmak.	Nonlinear matematiksel model	Problemin birinci aşamasında incelenen sistemin toplam kullanılabilirliğini kararlı hale getirmek için bir yaklaşım modeli uygulanmıştır. İkinci aşamasında sistem matematiksel olarak modellenmiş ve sistemin toplam maliyeti sistemin istenen kullanılabilirliğine göre ve kullanılabilir tampon stok alanlarına göre fonksiyonlanmıştır. Daha sonra bu maliyet arama algoritmasına göre minimize edilmiştir.

Çizelge A.1 (devam) : Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2001	Papadopoulos ve Vidalis	Kısa(6 makinası olan), dengelenmemiş ve makinaları bozulmaya elverişli bir seri üretim hattı için tampon stok yerleştirme problemini çözmek.	Sezgisel Algoritma	Tampon stok yerleşimi problemi için bir bölünme yaklaşımı tabanlı algoritma geliştirilmiş. Bu önerilen algoritmanın doğruluğunun oldukça iyi olduğu gözlemlenmiştir.
2002	Chan ve Ng	Seri üretim hattındaki maksimum çıktı miktarını bulmak	Simülasyon	Bu çalışmada Lin&Lin's kuralı tabanlı modifiye edilmiş tampon stok tahsis stratejisi önerilmiş ve önerilen strateji literatürde daha önce önerilen stratejilerle karşılaştırılmış. Bundan başka, yazar tampon stok kullanım tabanlı arama metodu önermiş ve tampon stok yerleşimi nasıl yapılabileceğine cevap veren önermelerde bulunmuştur.
2002	Abdul-Kader ve Gharbi	Güvenilir olmayan çok ürünlü bir hat üzerinde tampon stokların etkisini araştırmak	Simülasyon tabanlı deney tasarımı	Güvenilir olmayan çok ürünlü hattın çevrim zamanı açısından performansını arttırmak üzere simülasyon modeli önerilmiş. Tampon stokların çeşitli seviyeleri ve çevrim zamanı arasındaki değiş tokuşu gösteren bir vaka örneği sunulmuş.

Çizelge A.1 (devam) : Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2002	Dolgui ve diğ.	Karlı enbüyüklemek için seri ve paralel üretim hatlarında tampon stok problemini çözmek	Genetik algoritma	Makinaların bozulma ve tamir süreleri eksponensiyel dağılıma uygun olduğu ve makinaların deterministik proses zamanlarına sahip olduğu varsayılmış. Hattın performans ölçüsü Markov birleştirme metodu ile hesaplanmıştır. Önerilen genetik algoritmanın performansı sade genetik algoritma ve Monte Carlo modelleri ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
2003	Chaharsoogi ve Nahavandi	Maksimum çıktı miktarını elde etmek için en iyi tampon stok yerleşimini bulmak	Sezgisel yaklaşım, simülasyon	Sistemin çıktı miktarını elde etmek için simülasyon kullanılmış. Hesaplamalı kontroller önerilen yaklaşımın verimliliğini göstermiştir.
2004	Tekin ve Sabuncuoğlu	Simülasyon optimizasyonu yönteminin son yıllardaki hangi problemlere uygulandığını araştırmak	-	Dinamik ve stokastik modeller için daha karmaşık olan modeller yerine simülasyon modellerinin kullanıldığını ve bu durumun gelecekte gelişerek devam edeceğini vurgulamış.

Çizelge A.1 (devam) : Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2006	Kwon	Paralel hatlara sahip bir esnek üretim sisteminin çıktı oranını arttırmak	Ayrışma metodu, sezgisel algoritma	Tampon stok miktarlarını en iyi hale getirmek için sezgisel bir yöntem uygulanmış fakat hesaplamalı kontroller önerilen algoritmanın sadece küçük çaplı problemler için yeterli olduğunu, büyük çaplı problemler için yeterli olmadığını göstermiştir.
2006	Nahas ve diğ.	Güvenilir olmayan makinalara sahip seri hatlar için uygun tampon stok tahsisini bulmak	Tümleşik optimizasyon, MetaSezgisel, Tavlama benzetimi	Bu metodun avantajı, arama zamanına karşılık gelen sadece bir parametreyi başlatmasına ihtiyaç duymasındır. Yani en iyi değeri bulmak için defalarca algoritmayı çalıştırmaya gerek yoktur. Bu çalışma tampon stok yerleşim problemlerinde oldukça kullanılan alçaltılmış üst sınır ve tavlama benzetimiarasında bir kıyaslama yapmıştır. Sonuçta alçaltılmış üst sınır metodu kayda değer sayıda daha fazla uygun sonuç vermiştir. İleriki çalışmalarda bu metodun diğer hüristik metodlarla karşılaştırılması ve problemin paralel makinalar için de uygulanması iyi olacaktır.

Çizelge A.1 (devam) : Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2006	Sabuncuoğlu ve diğ.	Hattın çıktı oranını enbüyüklemek	Simülasyon, Sezgisel algoritma	Hesaplama deneyler önerilen sezgisel algoritmanın hem çözüm kalitesi hem de çözüm süresi bakımından verimli olduğunu göstermiştir.
2007	Um ve diğ.	Maksimum çıktı elde etmek için esnek hücresele hatta uygulanmış	Simülasyon	Tampon stok yerleşimi makinaya ve hücreye ait olmak üzere ikiye ayrılmış, yazarlar en iyi tampon stok yerleşimini bulmak için yayılma stratejisini kullanmışlardır. Bu şekilde hem daha fazla çıktı miktarı elde etmişler hem de AGV kullanılabilirliğini artırıp tıkanıklığı azaltmışlardır.
2007	Altıparmak ve diğ.	Maksimum çıktı elde etmek için eş zamanlı olmayan montaj hatlarının tampon stok tahsisi problemini çözmek.	Yapay sinir ağları, Metamodel, Simülasyon	Eş zamanlı olmayan montaj simülasyonu için yapay sinir ağları metamodeli geliştirilmiş. Bu metodun çözüm alanının çok geniş olduğu durumlarda ve karar verme mekanizması için kısıtlı zaman olduğunda işe yaradığı görülmüş.

Çizelge A.1 (devam) : Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2009	Shi ve Gershwin	Karını maksimize etmek için, stok alanı maliyeti ve ortalama stok maliyeti farklı stok alanları için uygulanan bir nonlinear program yaklaşımını geliştirmek.	Nonlinear optimizasyon	Probleme üretim hızı sabiti dahil edilip nonlinear yaklaşımla problem çözüldü ve yapılan deneyler çözümün hızlı ve güvenilir olduğunu gösterdi. Yapılan varsayımlar P(N) konkavlığı üzerine kuruldu ve gelecek çalışmalarda dikkatlice bunun geliştirilmesi üzerine odaklanıldı.
2009	Rajaram ve Tian	Proses endüstrisinde yarı sürekli bir üretim hattı için tampon stok miktarı ve tampon stok yerleşim problemini çözmek	Hüristik model, Nonlinear programlama	Problem toplam tampon stok miktarını minimize etmek için nonlinear tamsayılı programlama metodu ile kurulmuş ve problemin çözümü için hüristik çözüm geliştirilmiş. Önerilen çözüm sayesinde uygulama yaptıkları şirket %6.4 oranında kar sağlamış.
2009	Lee ve diğ.	Akış tipi, güvenilir olmayan üretim hatlarının tampon stok yerleşimini araştırmak	Genetik algoritma, Simülasyon	Sırasıyla elde edilen optimal sonuçlar tampon stok yerleşimini kestirmek için yapay sinir ağlarına beslenmiş. Önerilen sistemin performansı literatürde daha önceden bulunan karşılaştırma problemleri ile ölçülmüş.

Çizelge A.1 (devam) : Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2009	Battini ve diğ.	Üretim hatlarının kullanılabilir performansına dayanan tampon stok yerleşimi yapmak	Simülasyon	Bu çalışmada sadece küçük seviyedeki duruşlar ele alınmıştır. Üretim hatlarının güvenilirlik performanslarının tampon stoklar üzerindeki etkisini simülasyon ile bulmuş ve üretim sistemi tasarımcılarına yardımcı olmak için kolay ve güçlü tampon stok dizayn etmek amacıyla basit ilkeler sunmuştur.
2010	Aksoy ve Gupta	Yeniden üretim hücresele üretim hatları için en iyiye yakın bir tampon stok yerleşimi gerçekleştirmek	Matematiksel model(NOBAP isimli bir algoritma)	Önerilen algoritma dengelenmiş ve dengelenmemiş hatlar için titizlikle uygulanmış ve tutarlı, güçlü sonuçlar elde edilmiştir.
2010	Chehade ve diğ.	Toplam çıktı miktarını arttırmak ve toplam tampon stok hacmini küçültmek	Karıncalar kolonisi optimizasyonu algoritması,	Çok amaçlı çözüm yaklaşımı kullanılmış. Her bir buffer büyüklüğünün taban ve tavan değeri düşünülmüş. Karar için maksimum çıktı ve minimum buffer stok büyüklüğü olmak üzere 2 kriter belirlenmiş.

Çizelge A.1 (devam) : Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2010	Kose	Tampon stok yerleşim problemini çözmek	Genetik algoritma, Simülasyon	Bu çalışmada gerçek bir üretim sistemi simülasyon ile modellenerek buffer miktarı genetik algoritma kullanılarak optimize edilmiş.
2011	Helber ve diğ.	En iyi çıktı oranını elde etmek için en iyi tampon stok yerleşimini bulmak	Lineer programlama, Simülasyon	Uzun ama basit bir lineer program ve buna ek olarak çok aşamalı üretim prosesi için zaman bakımından kesikli bir simülasyon modeli üretim oranını tespit etmek için geliştirildi. Yazar önerilen yöntemin tampon stok hacminin küçük ve proses zamanı çeşitliliğinin az olduğu durumlarda çıktı oranını oldukça iyi verdiğini belirtmiştir.
2011	Srinivas ve diğ.	Esnek üretim sistemi için en iyi yerleşim düzenini bulmak	Simülasyon, Genetik algoritma	Sistemdeki tampon stok miktarları azaltılarak genetik algoritma ile en iyi yerleşim düzeni bulunmuştur.

Çizelge A.1 (devam) : Literatür tablosu.

Çalışma		Amaç	Kullanılan yöntem	Sonuç ve alana katkısı
Yıl	Yazarlar			
2011	Bertazzi	Gecikme ve arızalanmaların olduğu iki hatlı bir montaj hattında bu arızalanmaları ve toplam stok hacmini enküçükleme	Stokastik model	Önerilen algoritma stokastik model ile çözülmüş ve gerçek hayata uygulanmıştır.
2011	Bertazzi	Gecikme ve arızalanmaların olduğu iki hatlı bir montaj hattında bu arızalanmaları ve toplam stok hacmini enküçükleme	Stokastik model	Önerilen algoritma stokastik model ile çözülmüş ve gerçek hayata uygulanmıştır.
2013	McNamara ve diğ.	Tampon stok miktarı, varyasyon katsayısı ve ortalama operasyon süreleri bakımından dengeli olmayan temposuz hatların performansını araştırmak.	Simülasyon	ANOVA sonuçları ve regresyon analizine göre hatların dengesiz olmasının sistem performansı bakımından kötü haber olmadığını vurgulamıştır. Sistem performansını arttırmak için makinaların aç kalmasını ve bloklanmasını önlemenin daga büyük avantaj sağlayacağını belirtmiştir.

Ek B

Uygulama kısmında ilk haftanın üretim planına göre uygulanan işlemler, Çizelge B.1 ile verilen ikinci hafta üretim planı için uygulandığında elde edilen simülasyon sonuçları Çizelge B.2’de verilmiştir. Çizelge B.3’te bu sonuçların normalize edilmiş değerleri, Çizelge B.4’te ise bu sonuçlara ANP yöntemi uygulandığında her bir parametre için elde edilen önem ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge B.1: 2. hafta dolun hatlarına göre üretim planı.

	Şampuan No	Sap Kod	Ambalaj Hacmi(ml)	Üretilecek Miktar(Ton)
PUCK DOLUM	1	20095972	200	5
	2	20091653	400	5
	3	20091639	400	5
	4	20091350	400	5
	5	20050042	700	10
	6	20050052	700	10
	7	20237990	700	10
	8	20035962	700	35
	9	20231385	350	10
	10	20231395	350	5
	11	21067729	350	5
	12	20256888	350	10
	13	20289650	350	10
	14	20290122	350	5
RONCHI 1	1	20035996	700	10
	2	20256890	700	40
	3	20035939	700	20
	4	20035943	700	45
	5	20049734	700	20
	6	20035958	700	30
	7	20036114	700	10
	8	20234944	650	10
	9	20234945	650	10
	10	20238876	650	10
	11	20234942	650	10
RONCHI 2	1	20234939	350	5
	2	20237978	350	5
	3	20035994	350	5
	4	20256889	350	5
	5	20078803	400	5
	6	20035819	350	5
	7	20035914	350	5
	8	20079875	200	5
	9	20297247	200	20
	10	20293909	200	20

Çizelge B.2: Senaryolara göre simülasyon sonuçları.

Senaryo 1 (Puck:4 Ara Stok Tankı, Ronchi 1:4 Ara Stok Tankı, Ronchi 2:4 Ara Stok Tankı)					
	Dolu	Hazırlık	Arızalı	Ortalama Stok (Ton/Tank)	Ortalama Zaman (Dk.)
Mikser 1	76,588	2,946	0,618		
Mikser 2	59,506	4,266	0,372		
Mikser 3	65,642	3,476	0,654		
Ort Miks.	67,245	3,563	0,548	2,480	4842,760
Hat 1	72,404	12,946	3,516		
Hat 2	80,128	9,486	0,226		
Hat 3	72,624	11,276	0,112		
Ort Hat.	75,052	11,236	1,285		

Senaryo 2 (Puck:5 Ara Stok Tankı, Ronchi 1:3 Ara Stok Tankı, Ronchi 2:4 Ara Stok Tankı)					
	Dolu	Hazırlık	Arızalı	Ortalama Stok (Ton/Tank)	Ortalama Zaman (Dk.)
Mikser 1	72,260	2,926	0,624		
Mikser 2	64,290	3,574	0,314		
Mikser 3	58,228	3,098	0,694		
Ort Miks.	64,926	3,199	0,544	2,440	5099,800
Hat 1	68,974	12,252	3,308		
Hat 2	76,338	14,802	0,204		
Hat 3	69,186	12,030	0,102		
Ort Hat.	71,499	13,028	1,205		

Senaryo 3 (Puck:5 Ara Stok Tankı, Ronchi 1:4 Ara Stok Tankı, Ronchi 2:3 Ara Stok Tankı)					
	Dolu	Hazırlık	Arızalı	Ortalama Stok (Ton/Tank)	Ortalama Zaman (Dk.)
Mikser 1	66,492	4,222	0,764		
Mikser 2	66,160	3,662	0,358		
Mikser 3	66,688	2,696	0,630		
Ort Miks.	66,447	3,527	0,584	2,560	5254,210
Hat 1	67,212	12,368	3,332		
Hat 2	74,384	15,746	0,204		
Hat 3	67,386	10,400	0,106		
Ort Hat.	69,661	12,838	1,214		

Çizelge B.2 (devam): Senaryolara göre simülasyon sonuçları.

Senaryo 4 (Puck:6 Ara Stok Tankı, Ronchi 1:3 Ara Stok Tankı, Ronchi 2:3 Ara Stok Tankı)					
	Dolu	Hazırlık	Arızalı	Ortalama Stok (Ton/Tank)	Ortalama Zaman (Dk.)
Mikser 1	62,252	3,782	0,674		
Mikser 2	63,486	4,152	0,294		
Mikser 3	74,690	2,950	0,704		
Ort Miks.	66,809	3,628	0,557	2,680	5032,020
Hat 1	69,610	12,440	3,360		
Hat 2	77,036	17,638	0,168		
Hat 3	69,818	10,944	0,098		
Ort Hat.	72,155	13,674	1,209		

Çizelge B.3: Simülasyon sonuçlarının normalleştirilmiş değerleri.

Stok Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Süreç İçi Stok	1/Süreç İçi Stok	Norm. Ağırlık
1	2,48	0,403225806	0,256
2	2,44	0,409836066	0,260
3	2,56	0,390625	0,248
4	2,68	0,373134328	0,237

Simülasyon Zamanının Normalleştirilmesi			
Sen. No	Toplam Zaman	1/Toplam Zaman	Norm. Ağırlık
1	4842,76	0,000206494	0,261
2	5099,8	0,000196086	0,248
3	5254,21	0,000190324	0,240
4	5032,02	0,000198727	0,251

Ortalama Mikser Arıza Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Arızalı Zaman Yüz.	1/Arızalı Zaman Yüz.	Norm. Ağırlık
1	0,548	1,824817518	0,254
2	0,544	1,838235294	0,256
3	0,584	1,712328767	0,239
4	0,557	1,795332136	0,250

Çizelge B.3 (devam): Simülasyon sonuçlarının normalleştirilmiş değerleri.

Ortalama Hat Arıza Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Arıza Zaman Yüz.	1/Arızalı Zaman Yüz.	Norm. Ağırlık
1	1,285	0,778210117	0,239
2	1,205	0,829875519	0,255
3	1,214	0,823723229	0,253
4	1,209	0,827129859	0,254

Ortalama Mikser Hazırlık Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Haz. Zaman Yüz.	1/Haz. Zaman Yüz.	Norm. Ağırlık
1	3,563	0,280662363	0,244
2	3,199	0,312597687	0,271
3	3,527	0,283527077	0,246
4	3,628	0,275633958	0,239

Ortalama Hat Hazırlık Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Haz. Zaman Yüz.	1/Haz. Zaman Yüz.	Norm. Ağırlık
1	11,236	0,088999644	0,281
2	13,028	0,076757753	0,242
3	12,838	0,077893753	0,246
4	13,674	0,07313149	0,231

Ortalama Hat Doluluk Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Hat Doluluk Yüz.	1/Hat Doluluk Yüz.	Norm. Ağırlık
1	75,052	0,013324095	0,240
2	71,499	0,01398621	0,252
3	69,661	0,014355235	0,259
4	72,155	0,013859053	0,250

Ortalama Mikser Doluluk Yüzdelerinin Normalleştirilmesi			
Sen. No	Mikser Doluluk Yüz.	1/Mikser Doluluk Yüz.	Norm. Ağırlık
1	67,245	0,014870994	0,268
2	64,926	0,01540215	0,277
3	66,447	0,015049588	0,271
4	66,809	0,014968043	0,270

Çizelge B.4 : Deneş parametrelerinin önem ağırlıkları.

Parametre	Önem ağırlığı
Mikser doluluk	0,173
Hat doluluk	0,145
Mikser hazırlık	0,1
Hat hazırlık	0,072
Mikser arıza	0,138
Hat arıza	0,133
Ortalama stok	0,099
Ortalama zaman	0,139

4 senaryonun sonuç değerlerine ait hesaplamalar aşığıdaki gibi yapılmıştır.

Senaryo 1;

$$(0,173 \times 0,268) + (0,145 \times 0,24) + (0,100 \times 0,244) + (0,072 \times 0,281) + (0,138 \times 0,254) \\ + (0,133 \times 0,239) + (0,099 \times 0,256) + (0,139 \times 0,261) = 0,254304$$

Senaryo 2;

$$(0,173 \times 0,277) + (0,145 \times 0,252) + (0,100 \times 0,271) + (0,072 \times 0,242) + (0,138 \times 0,256) \\ + (0,133 \times 0,255) + (0,099 \times 0,26) + (0,139 \times 0,248) = 0,25844$$

Senaryo 3;

$$(0,173 \times 0,271) + (0,145 \times 0,259) + (0,100 \times 0,246) + (0,072 \times 0,246) + (0,138 \times 0,239) \\ + (0,133 \times 0,253) + (0,099 \times 0,248) + (0,139 \times 0,240) = 0,251293$$

Senaryo 4;

$$(0,173 \times 0,27) + (0,145 \times 0,25) + (0,100 \times 0,239) + (0,072 \times 0,231) + (0,138 \times 0,25) \\ + (0,133 \times 0,254) + (0,099 \times 0,237) + (0,139 \times 0,251) = 0,250126$$

Yapılan işlemlerin sonucuna göre en büyük değer Senaryo 2'de elde edilmiştir. Bu durumda oluşturulan üretim planına göre Puck dolum hattına 5 adet, Ronchi 1 dolum hattına 3 adet, Ronchi 2 dolum hattına ise 4 adet ara stok tahsisi yapılması gerekmektedir. Bu senaryoya göre, üretim planının uygulanması için geçen süre 5099,8 dk.dır. Mikserler bu süre zarfının %64,93'ünü dolu, %3,2'sini bir sonraki ürün için hazırlık aşamasında, %0,55'ini de arızalı

geçirmektedir. Hatlar ise bu süre zarfının %71,5'inde dolu, %13,03'ünde hazırlık aşamasında, %1,21'inde ise arızalı konumda bulunmaktadır. Ortalama süreç içi stoğun ise 2,44 ton olması beklenmektedir.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Ömer Mete TOPÇU
Doğum Tarihi ve Yeri : Çanakkale – 27.09.1987
E-posta : omermeteninmaili@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Makine Fakültesi, İmalat Mühendisliği