

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TRABZON HAVALİMANI PAT SAHASI UÇAK TRAFİĞİNİN  
BENZETİM İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisi Fatma Betül YENİ**

**MAYIS 2015  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TRABZON HAVALİMANI PAT SAHASI UÇAK TRAFİĞİNİN BENZETİM İLE  
İNCELENMESİ**

**Fatma Betül YENİ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 05 / 2015**

**Tezin Savunma Tarihi : 27 / 05 / 2015**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ**

**Trabzon 2015**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Fatma Betül YENİ tarafından hazırlanan**

**TRABZON HAVALİMANI PAT SAHASI UÇAK TRAFİĞİNİN  
BENZETİM İLE İNCELENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 / 05 / 2015 gün ve 1602 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Doç.Dr.Emrullah DEMİRCİ**

**Üye : Doç.Dr.Coşkun HAMZAÇEBİ**

**Üye : Doç.Dr.Selçuk ÇEBİ**

  
The image shows three handwritten signatures in blue ink, each written over a horizontal dotted line. The signatures are: 1. Emrullah Demirci, 2. Coşkun Hamzaçebi, and 3. Selçuk Çebi.

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma kapsamında, Trabzon Havalimanı PAT (pist - apron - taksi yolu) sahası uçak trafiği Simio benzetim programı kullanılarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında ihtiyaç duyulan veriler toplanmış, analiz edilmiş ve mevcut durumun bir modeli bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Modelin doğrulanmasından sonra, sistemin geleceğe yönelik durumunun analizi amacıyla model üzerinden bir senaryo hazırlanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Son olarak ise mevcut modelin sonuçları ile oluşturulan senaryonun sonuçları karşılaştırılmıştır.

Öncelikle hayatımın her anında yanımda olan ve her kararında beni destekleyen değerli aileme; yüksek lisans eğitimim boyunca bana yol gösteren, yardım ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ'ye; vermiş olduğu yüksek lisans bursu ile lisansüstü eğitimime katkı sağlayan TUBİTAK'a; beraber çalışmaya başladığımız günden beri her zaman yanımda olan ve beni çalışmaya teşvik eden sevgili arkadaşım Arş. Gör. Behice Meltem KAYHAN'a; bu çalışmanın hazırlanması sırasında havaalanı ile ilgili ihtiyaç duyduğum bilgi ve verileri bana sağlayan, sorularımı sabırla yanıtlayan Sayın Yavuz Selim ÇELİK'e; bölümdeki diğer tüm hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma Betül YENİ

Trabzon 2015

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Trabzon Havalimanı PAT Sahası Uçak Trafiğinin Benzetim ile İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/05/2015

Fatma Betül YENİ

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IIX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Havaalanı Sistemi.....	2
1.2.1. Havaalanı Sisteminin Elemanları .....	3
1.2.1.1. Yer Sahası Elemanları .....	3
1.2.1.2. Hava Sahası Elemanları.....	4
1.2.2. Havaalanı Türleri.....	4
1.2.3. Havaalanlarının Sınıflandırılması.....	5
1.2.4. Hava Trafik Hizmetleri .....	7
1.2.5. İkaz (Uyarı) Hizmetleri .....	8
1.2.6. Uçuş Bilgi Hizmetleri.....	8
1.2.7. Hava Trafik Tavsiye Hizmetleri.....	8
1.2.8. Hava Trafik Kontrol Hizmetleri .....	9
1.3. Trabzon Havalimanı .....	10
1.4. Yayın Taraması ve Çalışmanın Amacı.....	13
1.5. Benzetim Yöntemi.....	18
1.5.1. Benzetim Yönteminin Tanımlanması.....	19
1.5.2. Benzetim Yönteminin Kullanım Nedenleri.....	19
1.5.3. Benzetim Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	20
1.5.4. Benzetim Yönteminin Kullanım Alanları .....	21
1.5.5. Benzetim Modellerinin Sınıflandırılması .....	22
1.5.5.1. Statik Benzetim Modelleri.....	22

1.5.5.2.	Dinamik Benzetim Modelleri .....	23
1.5.5.3.	Deterministik Benzetim Modelleri .....	23
1.5.5.4.	Stokastik Benzetim Modelleri .....	23
1.5.5.5.	Kesikli Benzetim Modelleri .....	24
1.5.5.6.	Sürekli Benzetim Modelleri .....	24
1.5.5.7.	Kesikli-Sürekli Benzetim Modelleri .....	25
1.5.6.	Benzetim Yönteminin Adımları .....	25
1.5.6.1.	Problemin Belirlenmesi ve Çalışmanın Planlanması .....	26
1.5.6.2.	Modelin Tanımlanması, Verilerin Toplanması ve Analizi.....	27
1.5.6.3.	Bilgilerin/Verilerin Geçerliliği .....	28
1.5.6.4.	Bilgisayar Ortamında Modelin Kurulması .....	28
1.5.6.5.	Modelin Çalıştırılması.....	29
1.5.6.6.	Modelin Doğrulanması.....	29
1.5.6.7.	Deneylerin Tasarlanması .....	30
1.5.6.8.	Deneylerin Çalıştırılması.....	30
1.5.6.9.	Çıktıların Analiz Edilmesi.....	30
1.6.	SIMIO Benzetim Programı .....	30
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME .....	34
2.1.	Problemin Belirlenmesi ve Çalışmanın Planlanması .....	34
2.2.	Modelin Tanımlanması, Verilerin Toplanması ve Analizi.....	36
2.2.1.	Uçakların Gelişler Arası Zaman Verilerinin Analizi .....	36
2.2.1.	Uçakların Pist Hareket Süresi Verilerinin Analizi .....	40
2.2.2.	Uçakların Taksi Yolu Hareket Süresi Verilerinin Analizi .....	42
2.2.3.	Uçakların Apron Bekleme Süresi Verilerinin Analizi .....	45
2.2.3.1.	Apronda Kısa Süreli İşlem Verilerinin Analizi .....	46
2.2.3.2.	Apronda Uzun Süreli İşlem Verilerinin Analizi.....	49
2.3.	Bilgisayar Ortamında Modelin Kurulması .....	51
2.4.	Modelin Çalıştırılması ve Denge Durumunun Belirlenmesi.....	56
2.5.	Modelin Doğrulanması.....	58
2.6.	Modelin Değerlendirilmesi.....	59
2.7.	Deneylerin Tasarlanması ve Çalıştırılması.....	62
3.	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	65

4.	KAYNAKLAR.....	67
5.	EKLER.....	70
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TRABZON HAVALİMANI PAT SAHASI UÇAK TRAFİĞİNİN  
BENZETİM İLE İNCELENMESİ

Fatma Betül YENİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ

2015, 69 Sayfa, 2 Ek Sayfa

Havayolu ulaşımının her geçen gün daha fazla ilgi görmesi ve hızlı şekilde gelişmesine bağlı olarak yeni havaalanları kurulmakta ve uçuş sayıları artmaktadır. Hava sahalarında sürekli artan uçak trafiği zamanla havaalanlarının kapasitelerini aşmakta, hava taşıtlarının yerde ve havada beklemelerine sebep olmaktadır. Bu kapasite problemlerinin başında havaalanları pist, apron ve taksi yollarını içine alan hava sahası kısmının yetersiz kalması yer almaktadır. Yapılan bu çalışmada Trabzon Havalimanı'nın PAT (pist, apron ve taksi yolu) sahasının kullanım açısından yeterli olup olmadığı incelenmiş ve bu amaçla havalimanı uçak yer hareketleri SIMIO benzetim programı ile modellenmiştir. Çalışmada ilk olarak sistem performans ölçütleri tanımlanmıştır. İkinci aşamada uçuşlara ait iniş-kalkış verileri ile uçakların yerde geçirdikleri süre verileri toplanmış ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Son aşamada ise sistemin SIMIO programı ile benzetim modeli geliştirilmiş ve mevcut sistem analiz edilmiştir. Modelin doğrulaması yapıldıktan sonra geleceğe yönelik bir senaryo oluşturulmuş, program çıktıları ve raporları analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Benzetim, Uçak trafiği, PAT sahası kapasitesi

Master Thesis

SUMMARY

SIMULATION ANALYSIS OF AIRCRAFT TRAFFIC IN  
TRABZON AIRPORT RAT AREAS

Fatma Betül YENİ

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Industrial Engineering Graduate Program  
Supervisor: Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ  
2015, 69 Pages, 2 Appendix

Because of the latest developments and increasing interest in airway sector, new airports are building and numbers of flights are rising. This continuous increase in air traffic exceeds the airports' capacity time to time. Depending these capacity problems, aircrafts are waiting on air or ground. The main element of a airport system that causes capacity problems is RAT (runway, apron and taxiway) area. In this study, the present situation of Trabzon Airport RAT area is investigated to observe possible capacity problems. For this purpose, aircraft ground movements are modeled by SIMIO simulation program. In the beginning of the study, the airport system is examined carefully to define variables and performance criteria of the model. Then related data like aircraft landing and take-off times, ground movement process times are collected. After the statistical analysis of the data, the simulation model of the current system is created by SIMIO. Results are analyzed and a future scenario is also investigated. At the last step, the results of both current model and scenario model are compared and analyzed.

**Key Words:** Simulation, Aircraft traffic, RAT area capacity

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Havaalanı yerleşim planı .....	3
Şekil 2. Hava trafik hizmetleri ve alt hizmet dalları .....	8
Şekil 3: Uçakların meydan trafiği içerisinde izledikleri yollar .....	10
Şekil 4. Trabzon Havalimanı üstten görünüş .....	11
Şekil 5. Türkiye geneli yıllık toplam uçak trafiği .....	12
Şekil 6. Trabzon Havalimanı yıllık toplam uçak trafiği .....	12
Şekil 7. Trabzon Havalimanı aylık toplam uçak trafiği .....	13
Şekil 8: Sistem üzerine çalışılırken kullanılacak yöntemler .....	18
Şekil 9. Kuyrukta bekleyen müşteri sayısının zamana göre değişimi .....	24
Şekil 10. Barajdaki su seviyesi miktarının zamana göre değişimi .....	25
Şekil 11. Benzetim yönteminin adımları .....	26
Şekil 12. Simio programında kullanılan genel amaçlı nesnelere .....	31
Şekil 13. Simio programında örnek model kurulumu .....	32
Şekil 14. Nesnelere için tanımlanacak özelliklerin girilmesi .....	32
Şekil 15. Örnek Simio benzetim modeli .....	33
Şekil 16. Trabzon Havalimanı PAT sahası görünümü .....	34
Şekil 17. Uçakların gelişler arası zamanına ait histogram çizimi .....	38
Şekil 18. Pist hareket süresi verilerinin histogramı .....	41
Şekil 19. Uçakların taksi hareket sürelerinin histogram ile gösterimi .....	44
Şekil 20. Kısa süreli park eden uçakların apron işlem süresi verilerinin histogram ile gösterimi .....	47
Şekil 21. Uzun süreli park eden uçakların apron işlem süresi verilerinin histogram ile gösterimi .....	50
Şekil 22. Simio programında Trabzon Havalimanı'nın modelinin kurulması .....	52
Şekil 23. Geliş kaynağı için verilerin girilmesi.....	52
Şekil 24. Pist giriş ögesi için verilerin girilmesi.....	54
Şekil 25. Ana pist yolu için verilerin girilmesi .....	54
Şekil 26. Apronda farklı sürelerde bekleyen uçaklar için yüzde değerlerinin girilmesi.....	54

Şekil 27. Apronda farklı dağılımlarla bekleyen uçaklar için grupların oluşturulması.....	54
Şekil 28. Apron ögesi için verilerin girilmesi.....	55
Şekil 29. Taksi yolları için verilerin girilmesi.....	55
Şekil 30. Simio ile kurulan modelin animasyonunun oluşturulması.....	56
Şekil 31. Yineleme sayısına bağlı olarak sonuçtaki değişimin incelenmesi.....	58
Şekil 32. Mevcut model ile bir senaryonun çalıştırılması.....	63

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Havaalanı sınıflandırma tablosu .....	6
Tablo 2. Literatürde yapılan çalışmaların özet tablosu.....	17
Tablo 3. Uçakların gelişler arası zaman verilerinin analizi .....	37
Tablo 4. Uçakların gelişler arası zaman verilerine uyan dağılımların kontrolü.....	38
Tablo 5. JohnsonSB dağılımı için iyilik uyum testi .....	39
Tablo 6. Pist hareket süresi verilerinin istatistiksel analizi .....	40
Tablo 7. Pist hareket süresi verilerine uyan dağılımların kontrolü.....	41
Tablo 8. Triangular dağılımın iyilik uyum testleri ile doğrulanması .....	42
Tablo 9. Uçakların taksi yolu hareket sürelerinin analizi .....	43
Tablo 10. Weibull dağılımının iyilik uyum testleri ile doğrulanması .....	45
Tablo 11. Kısa süreli park eden uçakların apron işlem süresi analizi .....	46
Tablo 12. Kısa süreli park eden uçakların apron işlem süresine uyan dağılımın seçilmesi .....	47
Tablo 13. Uniform dağılımın iyilik uyum testleri ile doğrulanması.....	48
Tablo 14. Uzun süreli park eden uçakların apron işlem süresi analizi .....	49
Tablo 15. Johnson SB dağılımın iyilik uyum testleri ile doğrulanması .....	51
Tablo 16. Oluşturulan modelin farklı tekrarlar ile çalıştırılması.....	57
Tablo 17. Modelin ana birimi olan uçak için elde edilen program çıktıları .....	59
Tablo 18. Sisteme girecek uçaklar için elde edilen program çıktıları.....	59
Tablo 19. Pist için elde edilen program çıktıları.....	60
Tablo 20. A-B Taksi yolları için elde edilen program çıktıları.....	60
Tablo 21. Apronlar için elde edilen program çıktıları .....	62
Tablo 22. Senaryo sonuçları ile mevcut sistem sonuçlarının karşılaştırılması.....	64

## SEMBOLLER DİZİNİ

PAT : Pist, apron ve taksi yolu

DHMİ : Devlet Hava Meydanları İşletmesi

ICAO : Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (International Civil Aviation Organization)

VFR : Görerek uçuş (Visual flight rule)

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Günümüzde ulaşım sektörü her geçen gün önem kazanmaktadır. Özellikle de dünyanın her yerine kısa süreler içerisinde ulaşımı mümkün hale getiren havayolu taşımacılığı hızlı bir gelişim göstermektedir. Sektördeki gelişimi dikkatle takip eden ülkemizde de son yıllarda havayolu ulaşımı alanında yenilikler yapılmakta olup bu sayede yolcu trafiği ve uçak trafiğinde ciddi artışlar sağlanmıştır. Son on yıllık dönem dikkate alındığında yolcu trafiğindeki artış ortalama yıllık %14; uçak trafiğindeki artış ise ortalama yıllık %10 oranına ulaşmıştır (Url-1, 2015).

Havayolu ulaşımına olan talebin bu denli artması sonucu yeni uçuş seferleri düzenlenmekte, var olan havaalanlarında düzenlemeler yapılmakta yahut yeni havaalanları kurulmaktadır. Bu durum ise gerek hava sahasında gerekse havaalanı terminallerinde yoğunluk artışına bağlı kapasite problemlerine sebep olmaktadır.

Havaalanı kapasitesi özellikle kalabalık havaalanları için hayati öneme sahiptir. Yapılan bir havaalanının sonradan genişletilmesi büyük maliyetler doğuracağından, mevcut sistemin tam kapasite ile kullanılması ve en yüksek verimin elde edilmesi gerekmektedir. Bu durum, havaalanı terminal ve meydan sahaları ile birlikte hava sahasının da kontrol edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmış ve bu amaçla hava trafik hizmetleri geliştirilmiştir.

Hava trafik hizmetleri düzenli, emniyetli ve verimli bir hava trafik akışı için verilen hizmetler bütünüdür (Aybek, 2009). Bu bağlamda, hava trafik hizmetleri; uçuş bilgi hizmeti, ikaz hizmeti, hava trafik tavsiye hizmeti, saha kontrol hizmeti, yaklaşma kontrol hizmeti ve meydan kontrol hizmetini kapsamaktadır (DHMI Havacılık Terimleri Sözlüğü, 2011)

Yapılan çalışmada Trabzon Havalimanı pist, apron ve taksi yolunu oluşturan PAT sahası kapasitesi incelenmek istendiğinden sadece havalimanı meydan kontrol hizmetleri dikkate alınmıştır. Bu süreçte SIMIO benzetim programı ile mevcut model oluşturulmuş ve farklı senaryolar ile sistemin gelecek durumu araştırılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında havaalanı sistemi hakkında genel bilgiler verilmiş, Trabzon Havalimanı'nın mevcut durumu ve problemleri açıklanmış, literatürdeki havaalanı

çalışmaları özetlenmiş ve son olarak çalışmanın amacı belirtilmiştir. İkinci kısımda, kullanılan yöntem olan benzetim ile modelleme anlatılmış, bu yöntemin önemi, seçilme nedenleri, adımları açıklanmış ve kullanılan SIMIO programı tanıtılmıştır. Üçüncü kısımda, Trabzon Havalimanı'nda yapılan uygulama çalışması anlatılmış, mevcut durumun analizi gösterilmiş ve senaryolar oluşturulmuştur. Son kısımda ise program çıktıları karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

## **1.2. Havaalanı Sistemi**

Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu havaalanı kavramını, bütünü ya da bir bölümü içinde hava araçlarının iniş, kalkış ve yer hareketlerini gerçekleştirebilmeleri amacıyla karada veya suda oluşturulmuş (bina, tesis ve teçhizatla donatılmış) saha olarak tanımlamaktadır.

Yine Türk Sivil Havacılık Kanunu'na göre havaalanı, karada ve su üzerinde hava araçlarının kalkması ve inmesi için özel olarak hazırlanmış, hava araçlarının bakım ve diğer ihtiyaçlarının karşılanmasına, yolcu ve yük alınmasına ve verilmesine elverişli tesisleri bulunduran alandır.

Havaalanları, yolcu ve yük taşımacılığında hava ile yer ulaşımı arasında değişimin yaşandığı yerdir ve bu haliyle havayolu ulaşımı sisteminin en önemli ögesini oluşturmaktadır (Kesikbaş, 2006). Çok geniş alanlara, büyük yatırımlar ile kurulan, son teknolojiye uygun mekanik ve elektronik sistemler ile donatılan havaalanları dinamik yapıları itibariyle teknolojiyi ve gelişmeleri yakından takip eden açık sistemler olarak görülmektedir. Bir diğer deyişle havaalanı sistemi, arzu edilen talepler doğrultusunda çeşitli kaynaklardan toplanan girdileri alarak bunları uçuş ve uçuşu destekleyen faaliyetler ile diğer havaalanı faaliyetleri olarak çeşitli işlemlerden geçiren, bu faaliyetlerini hava taşımacılığı hizmeti kapsamında, havayolu işletmeleri, yer hizmet kuruluşları, yolcular ve diğer tipteki kullanıcıların isteklerine cevap verecek tarzda havaalanı hizmetlerine dönüştüren açık bir sistemdir (Kaya, 2005). Bu kadar karmaşık ve farklı birimlerden meydana gelen havaalanı sisteminin her açıdan minimum hata ile, en kısa zamanda optimum hizmet verebilmesi için kurumların son gelişmeleri yakından takip etmesi ve kendilerini sürekli yenilemeleri gerekmektedir (Turna, 2009)



### 1.2.1. Havaalanı Sisteminin Elemanları

Havaalanları, sahip olduğu tesisler ve sunduğu faaliyetler açısından çok karmaşık yapılardır. En basit şekliyle bir havaalanı bir veya birden fazla pist kompleksi, yolcu ve kargonun uçaklara taşındığı terminal binaları ve diğer pek çok yardımcı binadan oluşmaktadır (Şekil 1). Fiziksel ve işlevsel farklılıkları olmasına rağmen, havaalanlarında bulunan bu tesisler ile yapılan faaliyetler genel olarak ‘yer sahası’ ve ‘hava sahası’ olmak üzere iki grup altında incelenmektedir.



Şekil 1. Havaalanı yerleşim planı (URL-2, 2013).

#### 1.2.1.1. Yer Sahası Elemanları

Yer sahası olarak adlandırılan kısım, yolcu ve yükün uçağa binmeden önceki ve uçaktan indikten sonraki süreçleri geçirdikleri bölümdür. Kara tarafı iki aşamada incelenmektedir. İlk aşama, yolcu veya yükün havaalanına geliş sürecini kapsayan bağlantı kısmıdır. Karayolu bağlantısı, toplu taşıma araçları, havaalanı servisleri, otopark hizmeti bu aşamada değerlendirilir. İkinci aşama ise yolcunun havaalanına geldiği andan uçağa bininceye kadar geçirdiği süreçtir. Uçuş öncesi işlemleri kapsayan bilet kontrol ve check-in, bagaj teslimi, güvenlik kontrolleri ile birlikte bekleme salonları, restoranlar, mağazalar, araç kiralama servisleri de ikinci aşama dâhilindedir.

### 1.2.1.2. Hava Sahası Elemanları

Hava sahası elemanları, uçakların iniş-kalkışları ile yer hareketleri süresince hizmet veren bölümleri içermektedir. Bir yolcu veya kargonun uçağa bindiği ilk andan itibaren pistten kalkış süresine kadar geçirmiş olduğu tüm süreçler bu kısımda incelenmektedir.

Buna göre hava sahası elemanları olan pist, taksi yolu, apron, kule, hangar ve bakım tesisleri şu şekilde tanımlanabilir (DHMİ Havacılık Terimleri Sözlüğü, 2011);

- Pist: Uçakların inişi ve kalkışı için hazırlanmış bir kara havaalanı üzerinde belirlenmiş bir dikdörtgen alan.
- Taksi Yolu: Bir havaalanında uçakların yerde pist ve apron gibi bölümler arasında gidip gelmeleri için düzenlenmiş standart ölçülerdeki yollardır.
- Apron: Uçakların yolcu ve kargo indirime ve bindirme, yakıt alma, park etme ve bakımı amacıyla hazırlanmış alanlardır
- Meydan Kontrol Kulesi: Havaalanı trafiğine hava trafik kontrol hizmeti vermek üzere oluşturulmuş birimlerdir.
- Hangar ve Bakım Tesisleri: Hava alanlarında uçakların bakım ve onarımlarının yapılması veya muhafaza edilmesi amacıyla kullanılan genellikle büyük yapılı binalardır.

### 1.2.2. Havaalanı Türleri

Havaalanları hizmet verdikleri alanlara, trafik hacimlerine ve sahip oldukları fiziksel tesis ve donanımlara göre birbirleriyle farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle havaalanlarının sınıflandırılmasında ulusal ve uluslararası havacılık otoriteleri farklı yaklaşımlarda bulunmaktadır. Havaalanların, en genel şekliyle kullanım alanlarına göre genel, askeri ve sivil havacılık amaçlı uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanları olarak gruplandırılmaktadır (Aybek, 2009).

- Askeri Amaçlı Havaalanı: Askeri havaalanları silahlı kuvvetlerce gerçekleştirilen her türlü uçuş faaliyetine (hava önleme, bombardıman, keşif, personel ve teçhizat taşıma vb.) hizmet veren havaalanlarıdır.
- Sivil Amaçlı Havaalanı: Sivil amaçlı havaalanları ise ticari yolcu ve kargo taşımacılığı gerçekleştiren uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanlarıdır.

- Genel Amaçlı Havaalanı: Askeri ve sivil amaçlı uçuşlar dışında kalan tüm ticari ve ticari olmayan uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanlarıdır. Hobi ve eğitim amaçlı uçuşlar, kişisel uçuşlar, şirket taşımacılığı uçuşları bu tarz havaalanlarında gerçekleşmektedir.

### 1.2.3. Havaalanlarının Sınıflandırılması

Havaalanları genel olarak trafik hacimlerine, fiziksel tesislerinin (pist, taksi yolları, terminal binaları vb.) büyüklüklerine ve dolayısıyla hizmet sundukları uçakların tiplerine (dar, orta ve geniş gövdeli) göre küçük, orta ve büyük ölçekli havaalanları olarak sınıflandırılırlar (Aybek, 2009). Yukarıda belirtilen özelliklerin yanı sıra havaalanları, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO)'nın belirlemiş olduğu, sahip olunan seyrüsefer yardımcıları, acil yardım donanımları ve itfaiye araçları gibi farklı kriterlere göre de kategorilere ayrılmaktadırlar (ICAO Doc.9157, 2006).

ICAO'nun öngördüğü havaalanı sınıflandırma yaklaşımında her bir havaalanına bir rakam ve bir harften oluşan referans kodu verilmektedir. Referans kodunun amacı, havaalanlarının özelliklerine ilişkin birtakım spesifikasyonları, havaalanında işletilmesi öngörülen uçaklar için elverişli olan bir dizi havaalanı tesislerini sağlayacak şekilde ilişkilendirmeye yönelik basit bir yöntem sağlamaktır. Kod, uçak performans özellikleri ve ebatlarıyla ilgili iki unsurdan oluşmaktadır. İlk unsur, uçak referans baz uzunluğuna dayanan bir rakam olup, ikinci unsur ise uçak kanat açıklığına ve dış ana teker açıklığına dayanan bir harftir (ICAO Annex14, 2009). İlk unsur olarak kabul edilen uçak referans baz uzunluğu, uçağın uygun koşullarda kalkış için ihtiyaç duyduğu minimum uzunluktur. Ana pist için gerekli gerçek uzunluk, uçak referans baz uzunluğunun yöresel şartların gerektirdiği düzeltmelerin (yükseklik, sıcaklık ve eğim) yapılması ile elde edilen metre biriminden pist boylarıdır. ICAO'nun hazırlamış olduğu havaalanı sınıflandırma tablosu Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Havaalanı sınıflandırma tablosu (ICAO Annex14, 2009)

Kod Bileşeni -1		Kod Bileşeni - 2		
Kod Numarası [1]	Uçak Referans Alan Uzunluğu [2]	Kod Harfi [3]	Kanat Açıklığı [4]	Dış Tekerler Açıklığı* [5]
1	800 m'den az	A	15 m' ye kadar	4.5 m.ye
2	800 m ile 1200 m arası	B	15 m ile 24 m arası	4.5 m ile 6 m arası
3	1200 m ile 1800 m arası	C	24 m ile 36 m arası	6 m ile 9 m arası
4	1800 m ve yukarısı	D	36 m ile 52 m arası	9 m ile 14 m arası
		E	52 m ile 65 m arası	9 m ile 14 m arası
		F	65 m ile 80 m arası	14 m ile 16 m arası
* Ana tekerleklerin dış kenarları arasındaki mesafe				

Tablo 1'e göre ICAO tarafından tanımlanmış, küçük, orta ve büyük havaalanlarının sınıflandırılması şu şekilde yapılmaktadır (SHY-14A, 2002).

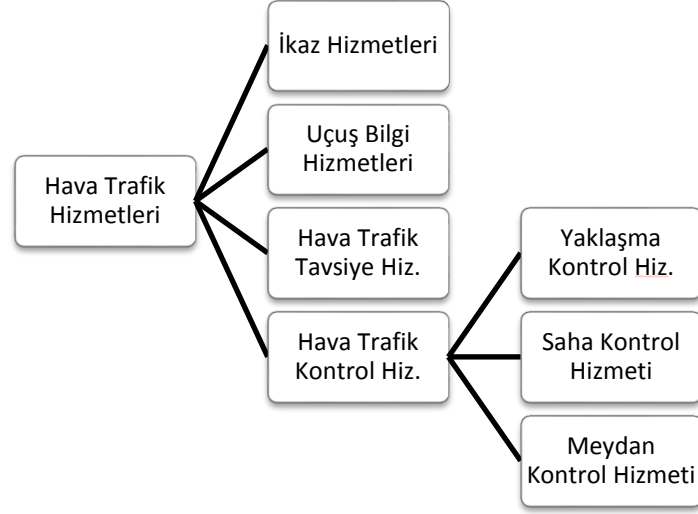
- Küçük Havaalanı: Kod numarası 1, 2 ve kod harfi A,B,C olarak belirlenen uçak referans baz uzunluğu 1200 m'den küçük olan hava alanıdır. Uçakların manevra yapabileceği ebatları içeren pisti olan, ancak aydınlatma ve gelişmiş seyrüsefer cihazlarının bulunmadığı, pilotların aletsiz ve görerek (VFR) iniş-kalkış yapabildikleri, basit teknik yapılar dışında önemli üstyapı tesisleri bulunmayan hava alanıdır. Bu hava alanlarına hava yolu işletmeleri tarafından yapılacak iniş ve kalkışlar hava yolu işletmecisi ve kaptan pilotun yetki ve sorumluluğundadır.
- Orta Büyüklükteki Havaalanı: Orta büyüklükteki havaalanları, kod numarası 3 olan, kod harfi A,B,C,D olarak tarif edilen, uçak referans baz uzunluğu 1200 ile 1800 m arasında olan havaalanlarıdır. En az iki uçak kapasiteli apronu olan ve uçuş emniyeti bakımından asgari uçuş ünitelerine sahip hava bu havaalanları, uçakların manevra yapabileceği ebatları içeren pist ile yolcu ve personel ihtiyacını karşılayabilecek terminal, teknik blok, kule, seyrüsefer cihazları, donanım yapıları, güvenlik ve benzeri gibi üstyapı binalarına sahiptir. Gece uçuşları düşünüldüğü hallerde ise, gerekli basit pist aydınlatma ve yeterli enerji teminine yönelik tesisleri de içeren ünitelere sahip olması gerekmektedir. Bu hava

alanlarının tasarım aşamasında, tasarım kriterleri bakımından üst grup uçakların fiziki boyutlarına uyum sağlayabilme durumunu da dikkate alması gerekmektedir.

- Büyük Havaalanı: Kod numarası 4 olan, kod harfi C,D,E,F olarak tarif edilen, uçak referans baz uzunluğu 1800 m'den büyük olan hava alanlarıdır. Hava alanı trafik kapasitesine göre apron ve taksi yollarını içeren büyük hava alanları, orta ve büyük gövdeli uçakların değişik hava koşullarında aletli iniş ve kalkış yapabilecekleri, ICAO tarafından belirtilen tüm standart ve tavsiyelere uygun iç ve dış hat trafiğine müsait alt ve üst yapı kriterleri ile hava alanının seçilmiş kategorisine göre aydınlatma, sinyalizasyon ve uçuş güvenliği gibi elektronik ve seyrüsefer sistemlerine sahip ve bulunduğu yerleşim bölgesinin gelişimine göre büyüme potansiyeli olan hava alanlarıdır.

#### **1.2.4. Hava Trafik Hizmetleri**

Bir havaalanının manevra sahasında hareket eden hava araçları ile uçuştaki hava araçlarının tamamı hava trafiğini oluşturmaktadır (DHMI Havacılık Terimleri Sözlüğü, 2011). Havaalanlarında hava trafiğinin düzgün işlemesi, uçak iniş kalkışları ile yer hareketlerinde aksama olmaması için havaalanı ve hava araçlarına hava trafik hizmetleri sunulmaktadır (Uslu, 2012). Bu amaçla ICAO tarafından tanımlanan hava trafik hizmetleri; ikaz hizmetleri, uçuş bilgi hizmetleri, hava trafik tavsiye hizmetleri ve hava trafik kontrol hizmetlerinden oluşmaktadır. Hava trafik kontrol hizmetleri ise kendi içerisinde meydan kontrol hizmetleri, yaklaşma kontrol hizmetleri ve saha kontrol hizmetleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu hizmetler arasındaki ilişkiler Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Hava trafik hizmetleri ve alt hizmet dalları

### 1.2.5. İkaz (Uyarı) Hizmetleri

Arama kurtarma hizmetlerine ihtiyaç duyan hava araçlarının bilgisini, bu işlemi gerçekleştirecek kurumlara iletmek ve gerektiğinde yardımcı olmak amacı ile sunulan hizmetlere denir (DHMI Havacılık Terimleri Sözlüğü, 2011).

### 1.2.6. Uçuş Bilgi Hizmetleri

Güvenli ve verimli bir uçuş için öneri ve bilgi sağlamak üzere oluşturulan hizmetlerdir. Uçuş Bilgi Hizmetleri bu bilgilerden faydalanabilecek bütün uçaklara (hava trafik kontrol hizmeti verilen veya hava trafik kontrol hizmeti verilmeyen ancak ilgili hava trafik hizmet ünitelerince bilinen uçaklara) sağlanmaktadır (ICAO Annex11, 2001).

### 1.2.7. Hava Trafik Tavsiye Hizmetleri

Tavsiyeli yol ve sahalarda uçuş yapan hava araçları arasında mümkün olduğunca çarpışmayı önlemek üzere verilen hizmetlere denir. Seyrüsefer ve yaklaşma cihazlarının durumları, diğer araçlar ile yaklaşma durumları, meydan kolaylıklarının durumu gibi bilgi hizmetlerini kapsamaktadır (DHMI Havacılık Terimleri Sözlüğü, 2011).

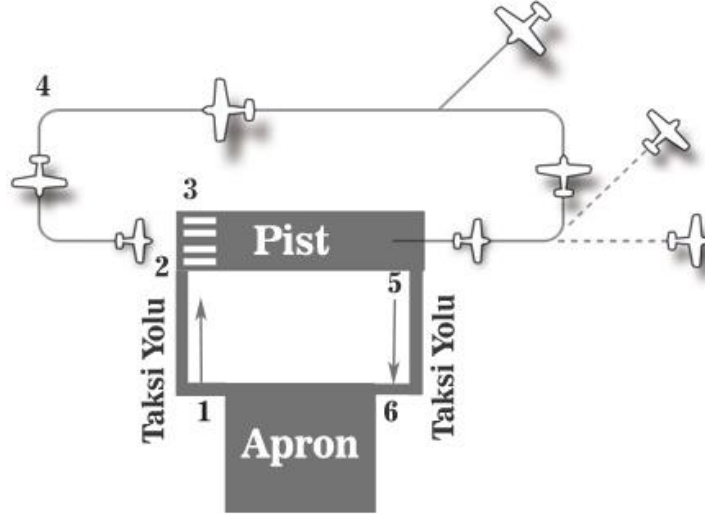
### 1.2.8. Hava Trafik Kontrol Hizmetleri

Hava araçları ile hava araçları arasında, manevra sahasında hava araçları ile mâniâlar arasında çarpışmaları önlemek, hızlı ve düzenli bir trafik akışı sağlayarak muhafaza etmek amacıyla verilen hizmete denir (DHMİ Havacılık Terimleri Sözlüğü, 2011).

- Yaklaşma Kontrol Hizmeti: İniş/kalkış yapan kontrollü trafiklere sağlanan hava trafik kontrol hizmetidir.
- Saha Kontrol Hizmeti: Kontrol sahaları içerisindeki kontrollü uçuşlar için sağlanan hava trafik kontrol hizmetidir.
- Meydan Kontrol Hizmeti: Meydan civarında uçan uçaklar ile meydan trafiğini oluşturan manevra sahası üzerindeki bütün trafiğin emniyetli, etkin ve düzenli hareketlerini sağlamak amacıyla havaalanı tarafından verilen hava trafik kontrol hizmetidir (ICAO Annex11, 2001). Bu hizmet kapsamında meydan kontrol kuleleri, meydan trafik işbirlikçilerini de kapsayacak şekilde belirli sorumluluk sahaları içerisinde uçan uçaklara, inen-kalkan uçaklara, meydan sahası üzerinde hareket eden uçaklara ve yer araçlarına bilgi ve izin vermektedir.

Yapılan çalışmanın kapsamı yalnızca Trabzon Havalimanını kullanan uçakların yer hareketleri ile sınırlı olduğundan, havalimanı meydan kontrol hizmetleri daha ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

Uçaklar, Şekil 3'te görüldüğü üzere meydan trafiği içerisinde iki farklı yol izlemektedirler. Bunlar meydan trafik hareketi ve meydan taksi hareketidir (ICAO Doc.4444, 1996). İniş amacıyla meydana yaklaşan uçaklar ile kalkışını tamamlamış yani pistten tekerlek kesmiş uçaklar ve pist sonunu kat etmiş uçaklar meydan trafik yolunda bulunurlar. Kalkış yapacak uçaklar ile inişi tamamlamış yani piste tekerlek koymuş uçaklar ise meydan taksi yolunda bulunurlar (Uslu, 2012).



Şekil 3. Uçakların meydan trafiği içerisinde izledikleri yollar

Şekil 3'te görünen trafik ve/veya taksi yolunu kullanan uçağın meydan kontrol ünitesi tarafından talimat aldığı pozisyonlar şu şekildedir (ICAO, Doc.4444, 1996):

- Pozisyon1: Aprondaki uçak kalkış için taksi yolu izni ister.
- Pozisyon2: Eğer trafik varsa kalkacak uçak bu pozisyonda bekler.
- Pozisyon3: 2 no'lu pozisyonda verilmemiş olan kalkış izni bu pozisyonda verilir.
- Pozisyon4: İnmek isteyen uçaklar için mümkünse iniş müsaadesi verilir.
- Pozisyon5: Aprona geçmek isteyen uçak için taksi yolu izni verilir.
- Pozisyon6: Gerekliyse park yeri bilgisi burada verilir.

### 1.3. Trabzon Havalimanı

Trabzon Havalimanı 1957 yılında 'havaalanı' statüsünde hava trafiğine açılmıştır. 1987-1994 yılları arasında yapılan genişletme ve onarım çalışmaları sonucu 1996 yılında DHMİ Yönetim Kurulu kararı ile 'havalimanı' statüsüne kavuşmuştur. Günümüzde DHMİ tarafından işletilmeye devam eden Trabzon Havalimanı yurtiçi ve yurtdışı sivil hava ulaşımında 24 saat hizmet vermektedir (URL-3, 2015). Trabzon Havalimanı'nın üstün görünüşü Şekil 4'te verilmiştir.

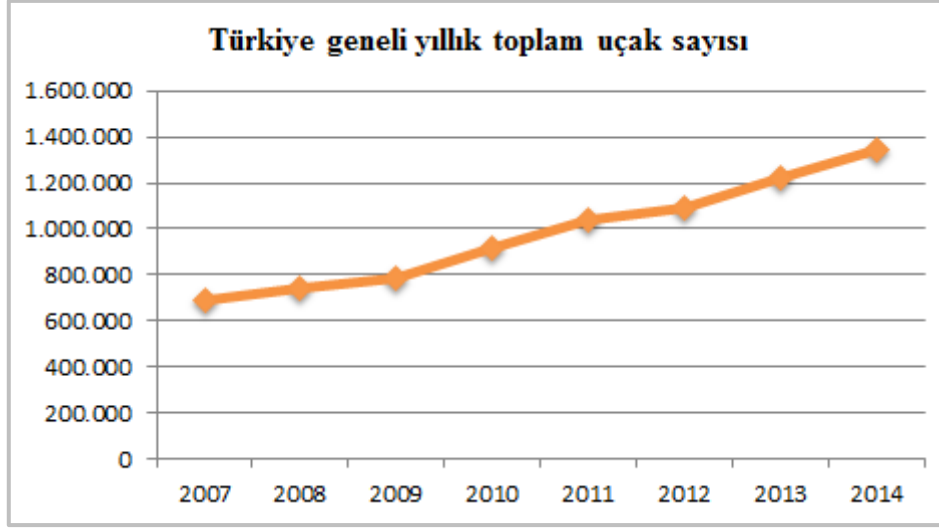




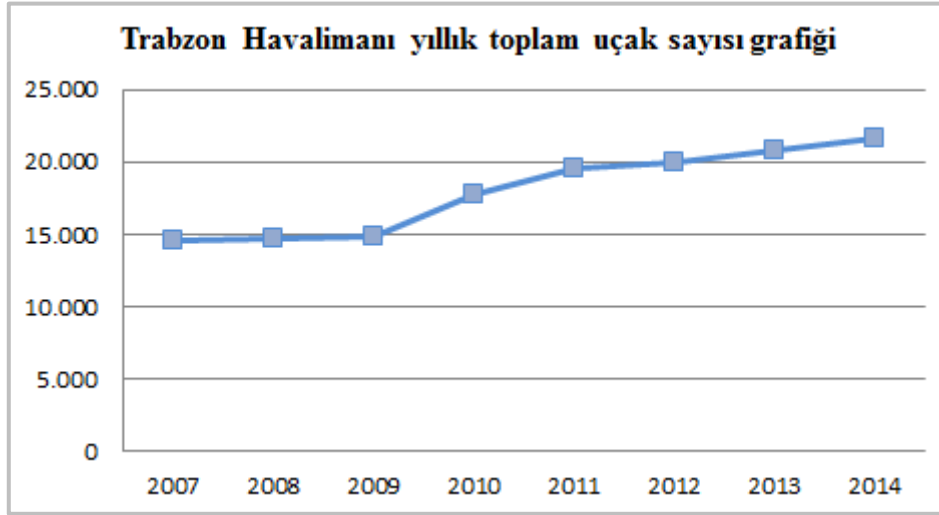
Şekil 4. Trabzon Havalimanı'nın üstten görünüşü

Yıllık 3.5 milyon yolcu kapasiteli Trabzon Havalimanı toplamda 1.377.244 m<sup>2</sup> alan üzerine kurulmuştur. Bünyesinde 9.710 m<sup>2</sup>'lik Dış Hatlar Terminali ile 14.035 m<sup>2</sup>'lik İç Hatlar Terminali olmak üzere toplam 2 adet terminal, 2640x45 m boyutunda bir adet pist ve 623,5x120 m boyutunda 14 büyük gövdeli uçak kapasiteli apron bulunmaktadır (URL-3, 2015).

Son yıllarda havacılık sektörüne yapılan yatırımlar, yeni havaalanlarının açılması, fiyatların cazip hale getirilmesi beraberinde Türkiye geneli uçuşları hayli arttırmıştır. Şekil 5'te görüldüğü üzere son 8 yıl içerisinde Türkiye geneli uçuşlarda 2 kata yakın bir artma görülmüştür. Doğu Karadeniz Bölgesindeki tek aktif havalimanı olan Trabzon Havalimanı da bu artışlardan olumlu olarak etkilenmiş ve Şekil 6'daki grafikte görüldüğü gibi son 8 yıl içerisinde uçuş sayısını yüzde elli oranında arttırmıştır.

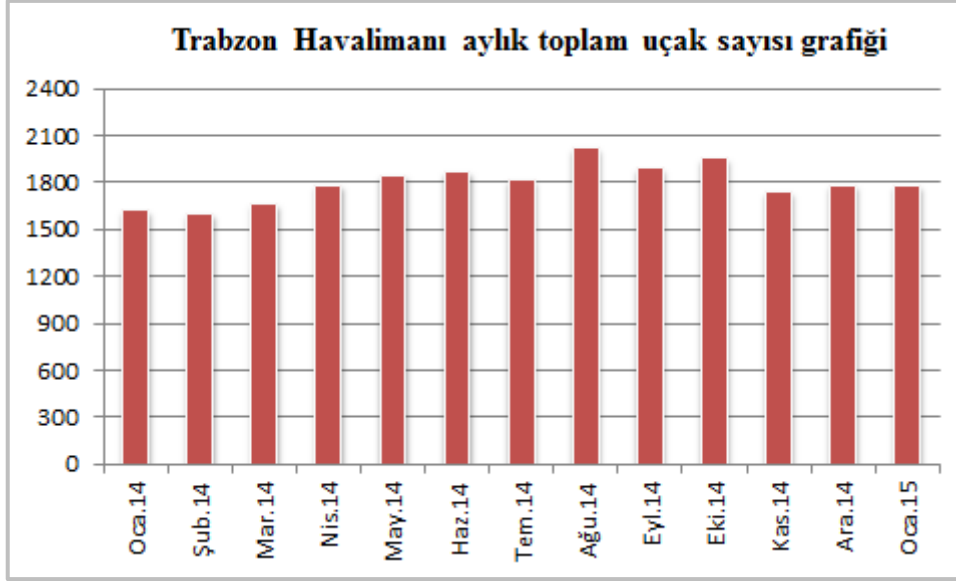


Şekil 5. Türkiye geneli yıllık toplam uçak trafiği



Şekil 6. Trabzon Havalimanı yıllık toplam uçak trafiği

Yıllık bazdaki bu artışın yanı sıra, uçuş sayıları dönemsel incelediğinde de, aylık olarak belirli bir artışın olduğu görülmektedir. Ancak bu artışlar dönemsel etkenler yüzünden yıl içerisinde dalgalanma göstermektedir. Şekil 7’de görüldüğü üzere, en yoğun uçuşlar tatil dönemlerinde gerçekleşmektedir.



Şekil 7. Trabzon Havalimanı aylık toplam uçak trafiği

Yolcu ve uçak trafiğindeki bu artış karşısında özellikle tatil sezonunun başlangıcı ve bitişi gibi dönemlerde ve yine günün belirli saatlerinde gerek havalimanı terminal binalarında gerekse havalimanı hava sahasında tıkanıklıklar olmaktadır. Bu durumu hafifletmek adına geçtiğimiz yıllarda Trabzon Havalimanı iç ve dış hatlar terminal binaları yenilenmiş ve meydan sahasında da apron genişletme çalışmaları yapılmıştır. Ancak gerek pist gerekse taksi yolları sabit şekilde kalmıştır. Yapılacak çalışmada havalimanı pist, apron ve taksi yolunu içine alan PAT sahasının mevcut durumu incelenecek ve gelecekteki durumu belirli senaryolar altında analiz edilecektir.

#### 1.4. Yayın Taraması ve Çalışmanın Amacı

Tez kapsamında ele alınan konu ile alakalı literatür araştırıldığında, gerek havaalanı hava sahası, gerekse havaalanı yer sahası üzerine birbirinden farklı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. En sık karşılaşılan çalışmalar, havaalanı terminal binalarında yolcu trafiği üzerine ve havaalanı meydan sahalarında pist-apron kapasitesi üzerinedir. Yine yapılan çalışmalarda birbirinden farklı tekniklerin kullanımına rastlanmıştır. Ancak havaalanı gibi büyük bir sistem üzerinde yapılacak çalışmada, uygulama kolaylığından dolayı, benzetim teknikleri sıklıkla tercih edilmiştir. Geçmişten günümüze literatürdeki çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Tofukuji (1997), Tokyo Uluslararası Havalimanı'nın, hava trafiğinde ilerleyen zamanlarda meydana gelebilecek artışa karşı tutumunu öngörebilmek amacıyla gerçek zamanlı bir benzetim çalışması yapmış ve ileriye yönelik uygun bir hava akış yönetim metodu geliştirmiştir. Metodun etkinliğini, havalimanı terminal alanını da içerisine alan yürünge analizi ile değerlendirmiştir.

Cheng (1997), hava trafiğinde meydana gelebilecek artışlarla başa çıkılması, etkin olmayan uçak yer hareketleri ile kapı atama işlemlerinden kaynaklı meydana gelebilecek gecikmelerin minimuma indirilmesi amacıyla yaptığı çalışmada ağ tabanlı benzetim modeli kullanmıştır. Çalışması sonucunda uçakların taksi yolundaki hareketlerinin kapı atama operasyonuna etkisini analiz etmiş ve uçakların iniş-kalkış sürecinde yaşadıkları çakışma probleminin önüne geçmiştir.

Pitfield vd. (1998), yeni kurulan uluslararası bir havalimanında bakım-onarım gibi faaliyetler sebebiyle yerde bekletilen uçakların yer hareketleri ile iniş-kalkış yapan uçakların pist hareketlerinin çakışmasının önlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada Monte-Carlo benzetimini kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, mevcut sistemin kullanıma elverişli olduğu belirtilmiştir.

Gatersleben ve Weij (1999), bir havaalanı terminal binasında yolcu trafiğinin incelenmesi amacıyla ARENA ile yaptıkları benzetim çalışmada süreçlerden kaynaklanan dar boğazlar ile bunların nedenlerine odaklanmışlardır.

Yan vd. (2002), Chiang Kai-Shek Havaalanında kapı atama problemi üzerine yaptıkları benzetim çalışması ile uçuş gecikmelerinin kapı atamalarında sebep olduğu etkilerin analizinin yanı sıra esnek tampon zamanlar ile gerçek-zamanlı kapısı atama kurallarını da değerlendirmişlerdir. Uygulama kısmında en uygun kapı atamaları için matematiksel model kurmuş, sezgiseller ile iyileştirmiş ve FORTRAN90 ile benzetimini yapmışlardır.

Ignaccolo (2003), havaalanı kapasitesi ve gecikme analizi üzerine yaptığı çalışmada analitik yöntemlerin eksikliğini ve buna alternatif olacak benzetim yönteminin nasıl uygulanacağını göstermiştir. Bu kıyaslamada havaalanı pist performansını farklı trafik ve operasyonel değişiklikler altında incelemiştir.

Yan vd. (2004), check-in kontuar atamalarında havaalanı yöneticilerine yardımcı olacak bir model geliştirmişlerdir. Normal hayatta çok değişkenli ve çözümü zor olan bu modelin çözümü için sezgisel yöntemler kullanmışlardır. Çalışmanın uygulamasını Tayvan'da bir havaalanında yapmışlardır.

Roanes-Lozano vd. (2004), günlük yolcu trafiği hayli yüksek olan Malaga Havalimanı terminal binalarının incelenmesi amacıyla benzetim çalışması yapmışlar ve çalışmaları sonucu terminallerde oluşan darboğazları tespit etmişlerdir.

Kılıç ve Kaylan (2005), çalışmalarında tek veya çok pistli havaalanlarında iniş ve kalkışların çizelgelenmesinde kullanılacak genel amaçlı bir karar verme algoritması geliştirmişlerdir. Bunun için Karınca Kolonileri Optimizasyonu metasezgiselini kullanmışlardır. Yaptıkları testler sonucu elde ettikleri verileri, geçmiş çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıp incelemişlerdir.

Andreatta vd. (2007), terminal binası performansının değerlendirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada Athena Havalimanı örneğini ele almışlardır. Havalimanının mevcut sistemi üzerinden geleceğe yönelik üç farklı senaryo oluşturmuş sistemin vereceği sonuçları incelemiştir.

Akdeniz ve Tatar (2009), 6-16 Temmuz tarihleri arasında İzmir'de gerçekleştirilen 23. Uluslararası Üniversite Olimpiyat Oyunları'nın İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nda meydana getireceği hava trafik tıkanıklığının analizi amacıyla ARENA paket programını kullanarak kuyruk benzetim çalışması yapmış ve sonuç olarak havalimanın yetersiz kalacağını göstermişlerdir.

Aybek (2009), yüksek lisans tezinde tek pistli havaalanları için geliştirilmiş olan iniş, kalkış ve karma operasyonlara ilişkin kapasite modellerini uçuş eğitimi amacıyla kullanılan havaalanlarına uyarlanmış ve iniş-kalkış operasyonları için bir pist kapasitesi modeli geliştirmiştir. Daha sonra, ARENA programı yardımıyla bir benzetim modeli oluşturmuş, sistemin kapasitesini ve darboğazlarını incelemiştir.

Turna (2009), Kayseri Havaalanı dış hatlar terminali giden yolcu bölümünü incelediği çalışmasından Promodel benzetim programını kullanmıştır. Mevcut sistemi analiz edip darboğazları saptayan Turna, en iyi alternatifini geliştirmek için yeni model önerisi sunmuş ve farklı senaryolar ile çalışmasını analiz etmiştir.

Stolletz (2011), çalışmasında havaalanı terminal binalarında check-in sisteminde birçok aşamadan oluşan servis sürecinde meydana gelen yolcu kuyruklarını analiz etmek amacıyla bir yaklaşım sunmuştur. Yaptığı sayısal deneyler ile sunduğu yaklaşımın güvenilirliğini kanıtlamıştır.

Mirkovic (2011), çalışmasında literatürde hep geri plana atılan havaalanı apron kapasitesi tahmini için farklı iki analitik model ile kendisinin sunduğu öneri modeli tartışmıştır.

Satılmış (2011), İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nda yaptığı çalışmasında uçuşların ağırlıklandırılmış toplam gecikmesini en küçüklemek amacıyla, meydan kapasitesinin ve hava trafik kontrol hizmetleri işletme kapasitesinin beklenen talebe tahsis edildiği tek meydanlı yerde bekleme problemini matematiksel modelleme yaklaşımı ile çözmüştür. Önerdiği modelde, üç farklı sıklıkta trafik senaryosunu analiz etmiştir.

Suryani vd. (2012), terminal kapasitesi ile hava kargo talebi arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında kapasite-talep dengesi için gelecekteki talebin tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak da kapasitenin belirlenmesi gerektiğini belirtmişlerdi. Bu amaçla yaptıkları benzetim çalışmasında, talep tahminine yönelik farklı senaryolar oluşturmuş ve terminal kapasitesinde yapılması gereken değişiklikleri öngörmüşlerdir.

Uslu (2012), yaptığı yüksek lisans tezinde hava trafik akışı yönetiminde kullanılan metotları incelemiş, literatürde bulunan "Tek Havalimanlı Yerde Bekleme Problemi"ni geliştirerek yeni bir model oluşturmuş ve Esenboğa Havalimanı üzerine bir uygulama yapmıştır.

Al-Salihe (2012), yapmış olduğu yüksek lisans tezinde hava trafik kontrolünün bir parçası olan uçuş sıralama ve zamanlama problemlerini ele almış, bu nedenle olan gecikmeleri en aza indirmek ve uçuş sıralamalarında optimal sonuçlar elde etmek amacıyla Genetik Algoritma ile Greedy Algoritmasını kullanmıştır. Yapmış olduğu Matlab simülasyonları ile geliştirdiği yöntemin eskisine oranla çok daha iyi sonuçlar verdiğini kanıtlamıştır.

Bubalo ve Daduna (2012), kurulum aşamasında olan Berlin-Brandenburg Uluslararası Havalimanı üzerine yaptıkları çalışmalarında gelecek yirmi yıllık trafik talep tahminini ve havalimanı kapasitesinin bu talebe vereceği cevabı incelemişlerdir. Çalışmalarından SIMMOD benzetim paket programından faydalanmışlardır.

Grether vd. (2013), hava taşımacılığı teknolojisini ayrıntılı bir şekilde inceledikleri çalışmalarında, uçakların kalkış zamanları, yolcu sayıları, uçak rotaları, pist kapasitesi gibi kriterleri dikkate alarak çok ajanlı benzetim (MATsim) yaklaşımını kullanmışlardır.

Yukarıda açıklanmış olan çalışmaların özeti Tablo 2'de verilmektedir. Buna göre literatürdeki havaalanı çalışmalarının çoğunun temelinde, sistem kapasitesinin yeterliliğinin incelenmesi amacına rastlanmaktadır. Bunun sebebi, dünya genelinden yolcu trafiğinin her geçen yıl katlanarak artmasıdır. Hava yoluna olan talebin artması, beraberinde hava trafiğinin artmasına ve havaalanlarında sıklık olmasına sebebiyet

vermektedir. Bu problemler ülkemizde de görülmeye başlamıştır. Büyük havaalanları bile bu hızlı artış talebine cevap verememektedir.

Tablo 2. Literatürde yapılan çalışmaların özet tablosu

Yazar Adı	Y.Yılı	Konu	Yöntem
Tofukuji	1997	Hava trafiğinin incelenmesi	Hava Trafik Akış Yönetimi ve Benzetim Yöntemi
Cheng	1997	Hava alanı kapı atama ve apron işlemlerinin incelenmesi	Ağ Tabanlı Model ve Benzetim Yöntemi
Pitfield vd.	1998	Hava alanı uçak yer hareketlerinin incelenmesi	Monte Carlo Benzetimi
Gatersleben ve Weij	1999	Hava alanı yolcu trafiğinin incelenmesi	ARENA Benzetim Programı
Yan vd.	2002	Hava alanı kapı atama problemlerinin incelenmesi	Sezgisel Yöntemler, FORTRAN90 ve Benzetim
Ignaccolo	2003	Hava alanı kapasitesi ve gecikme analizi	Benzetim Yöntemi
Roanes-Lozano vd.	2004	Hava alanı yolcu terminal binasında darboğazların incelenmesi	Benzetim Yöntemi
Kılıç ve Kaylan	2005	Hava alanlarında iniş ve kalkışların çizelgelenmesi	Karıncı Kolonisi Optimizasyonu
Andreatta vd.	2007	Hava alanı terminal binası performansının incelenmesi	Benzetim Yöntemi
Akdeniz ve Tatar	2009	Havalimanı pist kuyruk simülasyonu	ARENA Benzetim Programı
Aybek	2009	Hava alanı pist kapasitesinin modellenmesi	ARENA Benzetim Programı
Turna	2009	Hava alanı yolcu terminal binasının incelenmesi	PROMODEL Benzetim Programı
Stolletz	2011	Hava alanı yolcu kuyruklarının analizi	Analitik Yöntemler ile yeni bir yaklaşım
Mirkovic	2011	Hava alanı apron kapasitesinin incelenmesi	Analitik Yöntemler
Satılmış	2011	Tek meydanlı havaalanında yerde bekleme problemi	Matematiksel Model
Suryani vd.	2012	Hava alanı talep-kapasite dengesinin incelenmesi	Benzetim Yöntemi
Uslu	2012	Havalimanı yerde bekleme probleminin geliştirilmesi	Matematiksel Model
Al-Salihe	2012	Uçuş sıralama ve zamanlama problemlerinin en iyilenmesi	Genetik Algoritma ve Greedy Algoritması
Bubalo ve Daduna	2012	Hava alanı geleceğe yönelik trafik talep tahmini ve kapasite incelemesi	SIMMOD Benzetim Programı
Grether vd.	2013	Hava yolu taşımacılığı teknolojisinin incelenmesi	Çok Ajanlı Benzetim Yöntemi MATsim

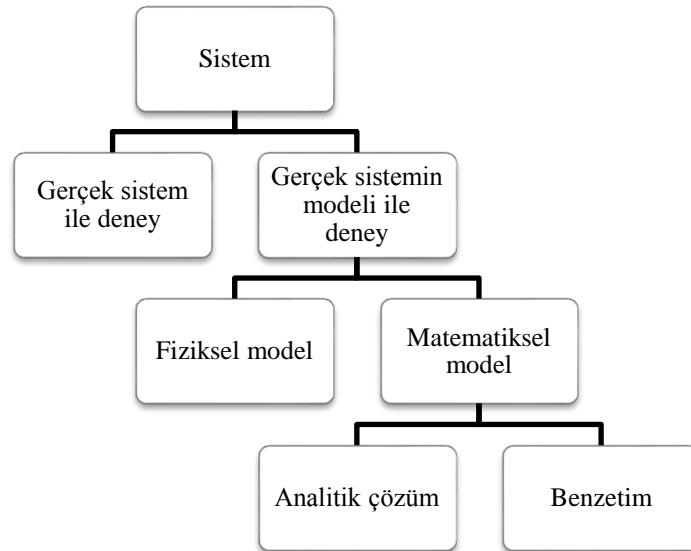
Yapılan tez çalışmasında, bu problemler ışığında, Türkiye'nin havayolu yolcu hacmi bakımından 8. büyük havalimanı olan Trabzon Havalimanı'nın pist ve apron kullanımının benzetim tekniği ile analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut sistemin

değerlendirilmesinin ardından geleceğe yönelik senaryolar oluşturulacak ve sistemin bu senaryolara vereceği tepkiler ölçülecektir.

### 1.5. Benzetim Yöntemi

Bir sistemin incelenmesi sürecinde uygun yöntemin seçilmesi oldukça önemlidir. Sistem, belli bir mantık içerisinde birbirleri ile hareket ve etkileşim içerisinde olan makine, insan vb. birimler topluluğu olarak ifade edilmektedir (Schmidt ve Taylor, 1970). Bir sistemin elemanları aklımıza gelen her şey olabilir; soyut-somut varlıklar, canlı-cansız varlıklar ve hatta başka sistemler. Bu durum ise sistemlerin birbirinden farklılaşmasına sebep olur.

Yukarıda belirtilen özellikler bazında sistemler incelendiğinde, farklı sistem yapıları için farklı yöntemlerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemler Şekil 8’de gösterilmektedir. Örneğin, uzay üssü ya da okyanus altındaki sistemlerde gerçek sistem üzerinden deney yapılması mümkün değildir, sistemin bir modeli üzerine çalışmaların yapılması gerekir. Yine pek çok sistemde analitik yöntemler kullanılarak en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılır ancak büyük ve kompleks sistemlerde benzetim yöntemine başvurulmaktadır (Law, 2008).



Şekil 8. Sistem üzerine çalışılırken kullanılacak yöntemler



Önceden belirtildiği üzere bu tez çalışmasında havaalanı sistemi üzerine bir inceleme yapılacaktır. Havaalanı sistemi de kompleks bir sistemdir ve gerçek sistemi üzerinde çalışma yapılması zordur. Uygulama süresi ve kullanım kolaylığı da dikkate alındığında, havaalanı sisteminin incelenmesinde benzetim yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

### **1.5.1. Benzetim Yönteminin Tanımlanması**

Benzetim, modelin nümerik olarak değerlendirilmesi için bilgisayar kullanımını ve modelin gerçek karakteristiklerinin kestirimini içerir (Law, 2008).

En genel anlamıyla benzetim (simülasyon) yöntemi, gerçek sistemin özelliklerinin, karakteristiklerinin ve çalışma şartlarının istatistiksel yöntemler ile analiz edilip genellikle bilgisayar ortamında taklit edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Benzetim yöntemi ayrıca, taklit edilen gerçek sistemin değişik koşullar altındaki davranışlarının analizini de sağlamaktadır.

Benzetim ile mevcut sistemin bilgisayar ortamında canlandırılması ile sistemin darboğazları vb. problemleri tespit edilir ve en uygun çözümler geliştirilir (Yıldız, 2010).

Yine benzetim, insan-makine sistemlerinin tasarım, kuruluş ve işletiminde karşılaşılan sorunları bilimsel bir şekilde çözmeye yarayan bir yöntem olarak tanımlanabilir. Bir deneyleme yöntemi olan benzetimle, modelde bulunan karar değişkenlerine ilişkin belirli değerlerin sistemin performansına olan etkileri araştırılır (Şahin, 2007).

Benzetim modelini, “eğer olursa ne olur” (“what-if”) analizlerinin yapılmasını sağlayan bir araç olarak ifade etmek de mümkündür. Bu şekilde, “eğer şöyle olursa ne olur?” gibi sorular sorularak sistemin değişik tasarım ve planlamaların genel sistem performansı üzerindeki etkileri incelenebilir.

### **1.5.2. Benzetim Yönteminin Kullanım Nedenleri**

Sistemlerin incelenmesi sürecinde benzetim yönteminin seçim sebeplerine kısaca değinilmiştir. Buna göre, gerçek sistem üzerinde deney yapmanın, deneyim kazanmanın zor olduğu durumlarda sistemin bir modeline ihtiyaç duyulur ve benzetim yöntemi kullanılır. Bu durumlar şu şekilde ifade edilebilir (Ören, 2006);

- Gerçek sistemin olmaması: Henüz var olmayan bir sistemin tasarım sürecinde seçeneklerin incelenmesi istendiğinde, tasarımın modeli üzerinden deneyler yapılabilir.
- Gerçek sisteme erişimin kolay olmaması: Okyanusun dibindeki veya uzaydaki bir sistem üzerine yapılacak çalışmada gerçek sisteme erişim olmayacağı için deneyler modeller üzerinden yapılabilir.
- Gerçek sistemle deneyin tehlikeli olması: Pilotların eğitimi gibi gerçek sistemde tehlikeli olacak süreçlerde, sistemin modeli olan simülasyonlar ile çalışmalar yapılabilir.
- Gerçek sistem ile deneyin rahatsız edici olması: Havaalanı terminali gibi kalabalık mekânlarda sistem üzerindeki değişiklikleri görmeye çalışmak büyük kitleleri rahatsız edeceğinden, sistem modeli üzerinde deneyler yapılabilir.
- Analitik çözüm tekniklerinin olmaması veya zor olması: Çok fazla değişkenli büyük problemlerde, analitik çözümlerin aksine benzetim yöntemi daha yararlı olur.
- Sistemin çok yavaş veya çok hızlı olması: Astronomik olaylar ya da fiziksel olaylar gibi sürecin çok kısa ya da çok uzun olması durumunda, çeşitli senaryoların sınanmasında benzetim yöntemi faydalı olmaktadır.

### 1.5.3. Benzetim Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Her yöntemde olduğu gibi benzetim yönteminde de üstün yönlerin yanı sıra zayıf yönler bulunmaktadır. Yöntemin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Değer: Benzetim modeli ile analiz sonucu işletmedeki gereksiz işler ortadan kaldırılabilir, hizmet süreleri hızlandırılabilir, gereksiz-büyük yatırımların önüne geçilebilir. Bu sayede işletme kara geçer.
- Zaman: Gerçek dünya problemlerinde yapılması istenen değişiklikler çok uzun zaman alacakken sistem değişiklikleri ve geleceğe yönelik tahmin analizleri benzetim yöntemi ile çok kısa sürede yapılabilir.
- Tekrar edilebilirlik: Normal bir sistemde iyileştirme çalışmaları yapılırken sistem öğelerinin değiştirilmesi zordur, halbuki benzetim modelinde sistem öğeleri sayısız kez değiştirilebilir, farklı şartlar altında bu model sürekli çalıştırılıp en iyi sonuca ulaşılabilir.

- Doğruluk: Geleneksel matematiksel hesaplama yöntemleri kompleks sistemlerde tüm detayları dikkate alamazlar. Bunun aksine benzetim ile modelleme, sistemi tüm ayrıntılarıyla ele almaya imkan tanır, ve daha doğru sonuçlar elde eder.
- Görünürlük: Benzetim yönteminin en önemli özelliklerinden biri, sistemin mevcut ya da önerilen hallerinin görsel olarak da sunulabilmesidir. Bu şekilde yapılmak istenen değişiklikler ve sonuçları daha rahat gözlemlenebilir.
- Çok yönlülük: Benzetim yöntemi, üretim, lojistik, finans, sağlık gibi hemen her alanda çalışmalara imkan sağlamaktadır. Her durumda mevcut sistem modellenenilmekte ve geleceğe yönelik sayısız alternatifler analiz edilebilmektedir (URL-4, 2015).

Tüm bu alternatiflerin yanı sıra benzetim yönteminin sakıncaları da bulunmaktadır.

Bu dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Benzetim modelleri deneysel nitelikli olduklarından istatistiksel deney hataları nedeniyle optimum sonucu garanti edemez. Yine de deneyler doğru bir biçimde yapıldığı takdirde sonuçlar optima çok yaklaşır. Bu süreçte ise, güvenilir sonuçlara ulaşmak için deneylerin istenilen biçimde düzenlenmesi zaman ve fiyat açısından artışa sebep olur (Sarıoğlu, 1986).
- Model geliştirme süreci eğitim ve tecrübe gerektirir.
- Benzetim sonuçlarının yorumlanması, normal tekniklerin sonuçlarına benzemediği için zor olabilmektedir (Şahin, 2007).
- Her benzetim modeli kendine özgüdür. Benzetim modeli, incelenecek olan sisteme göre oluşturulduğu için model sonucu elde edilen çözümler ve çıkarımlar başka problemlerin çözümünde kullanılamaz (Kavcar, 2004).

#### **1.5.4. Benzetim Yönteminin Kullanım Alanları**

Benzetim, pek çok sisteme kolayca uygulanabildiği ve etkin sonuçlar verdiği için oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. En genel ifadeyle bu kullanım alanları aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

- Üretimde; üretim hattı analizi ve iyileştirilmesi, tesis kapasite analizi, ürün akışının planlanması,
- Lojistik ve tedarik zincirinde; dağıtım ağı planlama ve analizi, lojistik sürecinin modellenmesi ve iyileştirilmesi,

- Ulaşımında; demiryolu kapasite analizi, yeraltı tren istasyonunun incelenmesi, havaalanı yolcu ve uçak trafiğinin incelenmesi, liman kapasite ve verimlilik analizi,
- Pazar analizinde; iletişim pazarında müşteri tercihlerinin tahmini ve analizi,
- Toplumsal süreçler ve gelişimde; bir ülkenin gelecek gelişiminin tahmini,
- Depolama ve yerleşimde; en uygun tesis yerleşimin seçimi, depolama sisteminin iyileştirilmesi,
- İş süreci modellemesinde; bir inşa sürecinin benzetimi,
- Sağlık sistemlerinde; hastane acil servisi kapasitesinin benzetimi, ambulans hizmetinin incelenmesi olarak çeşitlendirilebilir.

### **1.5.5. Benzetim Modellerinin Sınıflandırılması**

Benzetim modelleri, uygulanacakları sisteme ve sahip oldukları ölçütlere göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Buna göre benzetim modelleri;

- Zaman unsurunu içerip içermemelerine göre ikiye ayrılır:
  - Statik benzetim modelleri
  - Dinamik benzetim modelleri
- Rassal değişkenler içerip içermemesine bağlı olarak da ikiye ayrılır:
  - Deterministik (Belirli) benzetim modelleri
  - Stokastik (Olasılıklı) benzetim modelleri
- Durum değişkenlerinin aldıkları değerlerin sonlu ya da sonsuz sayıda olmasına göre de üç kısımda incelenir:
  - Kesikli benzetim modelleri
  - Sürekli benzetim modelleri
  - Birleştirilmiş kesikli-sürekli benzetim modelleri (Şahin, 2007).

#### **1.5.5.1. Statik Benzetim Modelleri**

Statik benzetim modellerinde zaman bir unsur olarak ele alınmadığı için model değişkenleri arasındaki ilişkiler belirli süre boyunca sabit sayılır (Gerşil, 2004). Bu modeller sistemin belirli bir anındaki gösterimidir ve olayların ne zaman meydana geldiği

önemli değildir. Örneğin, günlük n işin yapılması isteniyor ama işlerin yapılması gereken zaman sınırı konmuyorsa statik benzetim modeli olur.

#### **1.5.5.2. Dinamik Benzetim Modelleri**

Dinamik benzetimde, model değişkenleri arasında zamana bağlı değişimler söz konusudur. Envanter, kuyruk, sipariş, çizelgeleme gibi problemlerin modellenmesi bu alana girmektedir (Gerşil, 2004). Örneğin, çizelgeleme probleminde, işin başlangıç-bitiş zamanlarının ve işlem süresinin bilinmesi gerekir. Yine bu modellerde programın kaç saat çalıştırılacağı bilgisi de önemlidir. Örneğin tek vardiyalı iş modeli 8 saat üzerinden çalıştırılmalıdır.

#### **1.5.5.3. Deterministik Benzetim Modelleri**

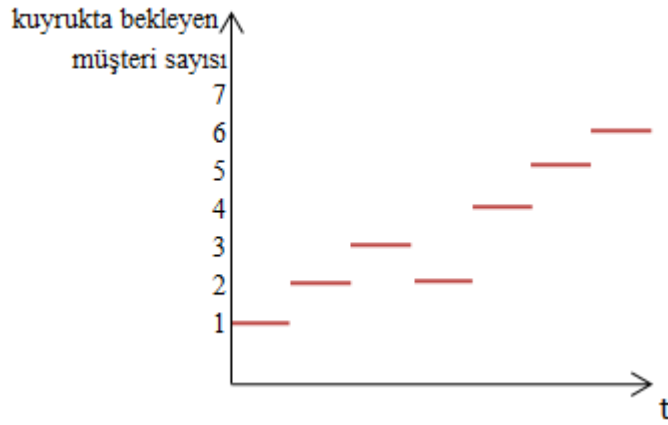
Bir benzetim modeli hiçbir olasılıklı değişken içermiyorsa deterministik modeldir (Law, 2008). Deterministik modellerde sistemde herhangi bir tesadüfi değer olmadığı için, bilinen girdilere karşın hep belirli çıktılar elde edilecektir. Gerçek fiziksel sistemde bazı istisnalar olacak olsa bile, modelin yapısını ve çözümünü kolaylaştırmak adına göz önüne alınmayabilir (Gerşil, 2004). İş sıralama problemi ve montaj hattı dengeleme problemi modelleri bu gruba örnek gösterilebilir.

#### **1.5.5.4. Stokastik Benzetim Modelleri**

Stokastik benzetim modelleri, bir veya birden fazla rassal değişken girdisi kullanarak rassal çıktı elde eden modellerdir. Bu çıktılar kesin değerler değildir. Ancak sistemin performans değerinin bir tahminini oluştururlar. Benzetim sonucu gerçek sisteme yakın sonuçlar elde edilmezse, veriler tekrar gözden geçirilip model revize edilmelidir (Gerşil, 2004). Sistem analizi sonucu elde edilen yolcuların ortalama işlem zamanı, sistemdeki ortalama kuyrukta bekleme süresi bu modelin çıktılarıdır.

### 1.5.5.5. Kesikli Benzetim Modelleri

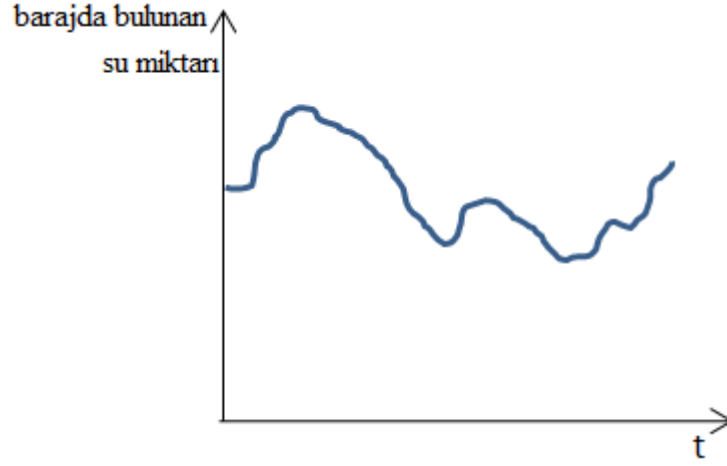
Kesikli benzetim modellerinde, durum değişkenleri zamanın herhangi bir anında değişir ve kesikli değerler alır. Havaalanı yolcu kuyruğu örneğinde, Şekil 9’da görüldüğü üzere durum değişkeni olan yolcu sayısı, kuyruğa yeni biri geldiğinde veya bir yolcu işlemini tamamladığında değişir. Kesikli benzetim modelleri, üretimden sağlık alanına, ulaştırımadan finans alanına pek çok sistemde verimliliği arttırmak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 9. Kuyrukta bekleyen müşteri sayısının zamana göre değişimi

### 1.5.5.6. Sürekli Benzetim Modelleri

Sürekli benzetim modellerinde sistemdeki durum değişkenleri zamana bağlı olarak sürekli değişim içerisindeydir. Diğer bir ifade ile sürekli benzetim yöntemi, davranışları zamanla birlikte sürekli değişen sistemlerle ilgilenmektedir. Bu modellerde sistem elemanları arasındaki etkileşim diferansiyel denklemler ile ifade edilir (Yıldız, 2010). Örneğin bir baraj sistemi benzetimi yapılacaksa barajdaki su seviyesi girdisi Şekil 10’da görüldüğü üzere sürekli değişim gösterecektir.



Şekil 10. Barajdaki su seviyesi miktarının zamana göre değişimi

#### 1.5.5.7. Kesikli-Sürekli Benzetim Modelleri

Bazı durumlarda, özellikle büyük sistemlerde, sistemin birkaç alt sistemi kesikli, diğerleri ise sürekli olabilmektedir. Diğer bir ifadeyle alt sistemlerden bazılarının değişkenleri kesikli olurken diğerleri ise sürekli olarak değişebilmektedir. Bu nedenle, incelenen sistemin modeli hem kesikli hem de sürekli olarak kabul edilmektedir (Pritsker, 1986).

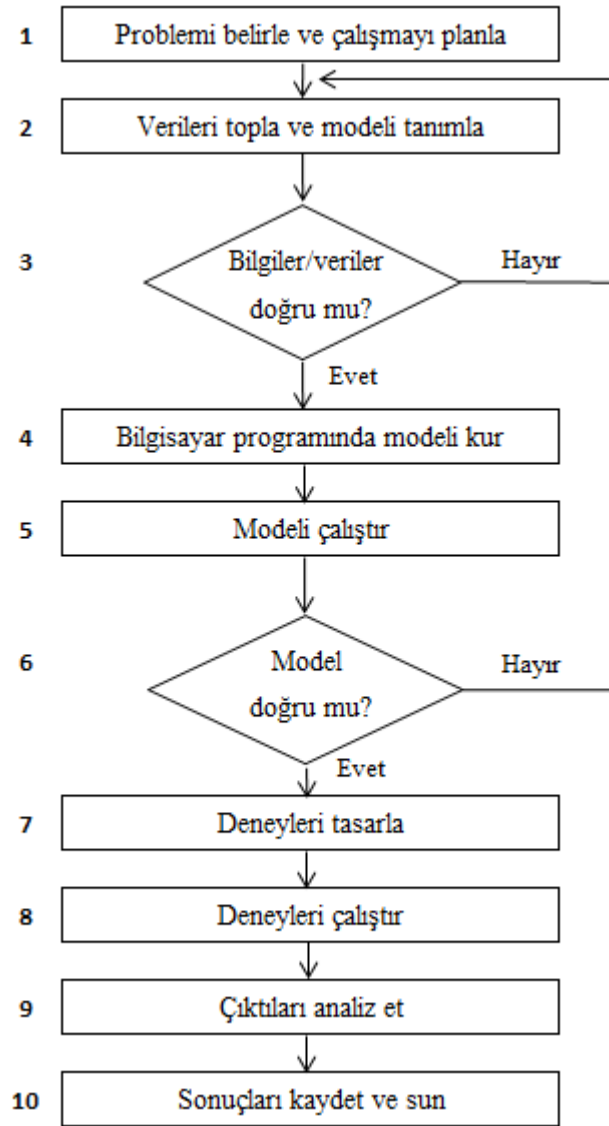
#### 1.5.6. Benzetim Yönteminin Adımları

Benzetim ile model kurma süreci iyi derecede analitik, istatistik, organizasyon, iletişim ve mühendislik kabiliyeti gerektirmektedir. Modellenecek sistem çok iyi anlaşılmalı ve analiz edilmeli, sistemin performansını etkileyen karmaşık neden-sonuç ilişkileri doğru kurulmalıdır (Yıldız, 2010).

Literatürde benzetim yönteminin uygulanması esnasında izlenecek adımlar için çeşitli diyagramlar bulunmaktadır. En genel şekliyle benzetim yönteminin adımları Şekil 11’de gösterilmiştir.

### 1.5.6.1. Problemin Belirlenmesi ve Çalışmanın Planlanması

Çalışmanın ilk aşamasında modellemesi yapılacak sistemin işleyişi anlaşılmaya çalışılır. Bu sayede sistemdeki problemler belirlenir ve yapılacak çalışmasının ana hatları tasarlanır. Sistemin performans ölçütleri belirlenir, bu ölçütler arasındaki ilişkiler ve istenen çıktı değerleri belirlenir. Bu aşamada sistemin iyice tanınması ve problem kısıtlarının farkına varılması, sağlıklı bir benzetim çalışması için çok önemlidir. Bu süreçte, sistemin işleyişine hâkim uzman kişilerin desteklerinden de faydalanılabilir.



Şekil 11. Benzetim yönteminin adımları (Law, 2008).



### 1.5.6.2. Modelin Tanımlanması, Verilerin Toplanması ve Analizi

Çalışmanın gidişatı planlandıktan ve sistem işleyişi anlaşıldıktan sonra ilk olarak kurulacak modelin basit bir şeması oluşturulur ve hangi ögenin nerede olacağı, birimlerin gideceği yollar gibi durumlar tanımlanır. Genel bir benzetim modeli aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır (Erkut, 1992);

- Bileşenler
- Değişkenler
- Parametreler
- İlişkiler
- Varsayımlar
- Kısıtlar

Bir benzetim modelinde bileşenler, sistemi oluşturan parçalardır. Değişkenler, aldıkları değerlere göre modelde farklılık oluşturan öğelerdir. Parametreler, sürecin başında belirlenen ve model analizi boyunca sabit kalan değerlerdir. İlişkiler, sistemin tüm öğeleri arasındaki işleyişi anlatır. Varsayımlar, modelin çözümü için gereken kabullerdir. Son olarak kısıtlar ise, değişkenlerin değerlerindeki sınırları temsil eder (Kavcar, 2004).

Modelin ana hatları belirlendikten sonra, ihtiyaç duyulan veriler tespit edilir. Sistem içerisindeki olaylardan bazıları için kesin ve sabit veriler vardır ancak bazı olaylar için veriler yetersiz olabilir. Bu gibi durumlarda sistemi iyi bilen bir uzman, fikir verme açısından yardımcı olabilir. Aksi durumda veriler bizzat toplanabilir ya da bazı özel yöntemlerle tahminlerde bulunulabilir. Veri toplama sürecinde, önemli noktaları gözden kaçırmamak adına, sisteme hâkim biri tarafından yardım istenebilir (Turna, 2009).

Toplanan verilerin benzetim modeline aktarılabilmesi için analiz edilmesi ve dağılımlarının tespiti gereklidir. Bu verilerin geçerliliği ve dağılımı gibi unsurlar benzetim çalışmasının başarısını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle stokastik sistemlerin modellenmesinde, tecrübelerle dayalı verilerin ya da teorik olasılık dağılımlarının kullanımı oldukça önemlidir (Yıldız, 2010).

Eğer benzetim modelinin oluşturulacağı sistem gerçekten var ise, gerçek veriler toplanabilir ya da önceden toplanmış gerçek veriler kullanılabilir. Bu şekilde sistemi yansıtan orijinal veriler ile model kurulur (Gerşil, 2004). Toplanan mevcut sistem verileri iki şekilde incelenebilir;

- Verileri teorik dağılıma uydurma: Normal, poisson, binomial, gamma v.b. teorik dağılımlarla belirlenen olayların gözlem veya tecrübe verilerine bu dağılımlar uydurulabilir (Şahin, 2007). Teorik verilerin kullanımında ilk adım verilere ait histogram grafiğinin çizimi ve buna uygun dağılımın seçimidir. Ardından veriler kullanılarak dağılımın parametreleri belirlenir. Son olarak da dağılımın doğruluğunun tespiti amacıyla Chi Kare, Kolmogorov-Smirnov veya Anderson Darling gibi uygunluk testleri ile hipotez kontrol edilir. Günümüzde bu süreç EasyFit, ExpertFit gibi veri dağılım analizi programları ile kolayca yapılmaktadır.
- Verileri deneysel dağılıma uydurma: Toplanan verilerin herhangi bir teorik dağılıma uymadığı durumlarda deneysel (ampirik) dağılımdan faydalanılır. Bu dağılımda toplanan gözlem değerleri kümülatif olasılık dağılımı şeklinde olmalıdır (Gerşil, 2004). Bu amaçla gözlem değerleri artan sıradan düzenlenir, gruplanır, frekansları belirlenir ve kümülatif dağılım haline getirilir.

Bazı durumlarda, benzetim modelinin oluşturulacağı sistem henüz mevcut olmayabilir. Bu nedenle ne geçmişte toplanmış verilere ulaşılabilir ne de yeni veriler toplanabilir. Bu durumlarda benzer sistemlere ait veriler kullanılabilir ancak çok sağlıklı sonuçlar elde edilemez.

#### **1.5.6.3. Bilgilerin/Verilerin Geçerliliği**

Sistem modelinin bilgisayar ortamında oluşturulması sürecinden önce, elde edilen veri analizlerinin ve model tasarımının gözden geçirilmesinde fayda vardır. Bu şekilde daha sonra karşılaşılabilecek problemler önlenmiş olabilir (Law, 2008).

#### **1.5.6.4. Bilgisayar Ortamında Modelin Kurulması**

Bu aşamada, ön tasarımı yapılan ve verileri toplanıp analiz edilen sistemin modeli, seçilen bir bilgisayar programı tarafından oluşturulur. Gerekli bilgileri eklenen model, sistemin genel işleyişini izlememizi, olaylar arasındaki ilişkileri anlamamızı sağlar.

Bu süreçte kullanılabilen 3 farklı yazılım aracı bulunmaktadır (Gerşil, 2004);

- C, FORTRAN, PASCAL gibi genel amaçlı bilgisayar dilleri,
- GPSS, SIMAN, ARENA, SIMIO gibi simülasyon dilleri,
- PROMDEL, SIMFACTORY gibi simülatörlerdir.

Bir benzetim modelinin başarısı, seçilen programa oldukça bağlıdır. Genel amaçlı bilgisayar dilleri oldukça esnek olmalarına rağmen, karmaşık sistemlerde işlem zamanını uzatacakları için süreci zorlaştırabilirler. Oldukça yaygın kullanılan simülasyon dilleri ile pek çok sistemin benzetimi kolayca yapılabilir. Ama mesela bir üretim sistemi gibi spesifik bir konuda bu alanda hazırlanan simülatörlerin kullanılmasında fayda vardır.

#### **1.5.6.5. Modelin Çalıştırılması**

Sistemin modellenmesi tamamlanıp her süreç için belirlenen veriler girildikten sonra model koşturulur. Eğer varsa animasyon izlenip modelin istenilen şekilde çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Bu aşamada, modelin denge durumunun belirlenmesi, üst üste belli sayıda çalıştırılması ve bu çıktıların ortalamasına göre analiz edilmesi daha doğru sonuçların alınmasını sağlar.

#### **1.5.6.6. Modelin Doğrulanması**

Model n kez koşturulduktan sonra sonuçlara bakılır ve sisteme ait verilerin modele gerektiği gibi dâhil edilip edilmediği ve modelin gerçek sistemi temsil edip etmediği değerlendirilir. Bu süreçte sisteme hâkim uzman kişilerin görüşlerinden de faydalanılarak, elde edilen sonuçlar değerlendirilip uygunluğu ölçülebilir. Bunun yanı sıra çeşitli istatistiksel testler ve yöntemler de kullanılabilir. Eğer oluşturulan modelin sistemi tam olarak temsil etmediği fark edilirse, eksiklikler giderilmeden bundan sonraki aşamalara geçilemez ve ilk iki aşamaya geri dönülerek gerekli düzenlemeler yapılır. Aksi takdirde yanlış bir mantık ve yanlış bir modelle gerçek sistemle ilişkisi olmayan sonuçlar elde edilecektir. İşte bu sebepten dolayı, benzetim modelinin doğrulanması çalışmanın önemli aşamalardan birisidir (Kavcar, 2004).

### **1.5.6.7. Deneylerin Tasarlanması**

Modelin istenilen şekilde çalıştığına kanaat getirildikten sonra, sistem üzerinde yapılması düşünülen değişiklikler ya da sistemin farklı koşullar altında çalışma şartları gibi durumların araştırılması için tahmini senaryolar geliştirilir. Bu şekilde, örneğin bir fabrikada ürün talebindeki artışın üretim hattı kapasitesini nasıl etkileyeceği gibi durumlar tahmin edilebilir.

### **1.5.6.8. Deneylerin Çalıştırılması**

Sistem üzerine oluşturulan senaryolar belirli sayıda çalıştırılıp sonuçları kıyaslanarak en iyi alternatifler bulunabilir. Bu aşamada, belirlenen problemin amacına hizmet edecek deneylerin yapılması gereklidir.

### **1.5.6.9. Çıktıların Analiz Edilmesi**

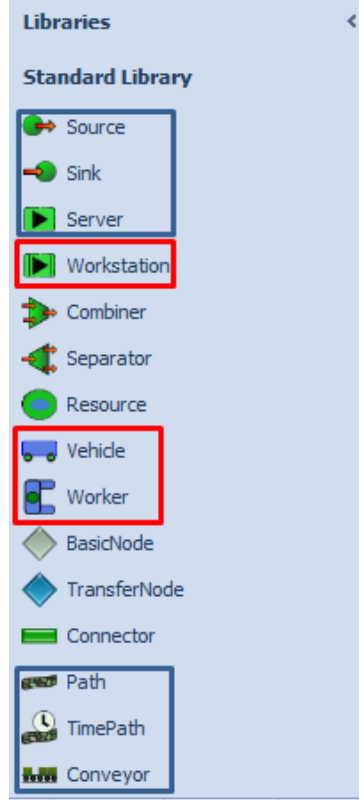
Belirlenen deneyler gerçekleştirildikten ve sonuçları elde edildikten sonra, bu çıktılar modelin mevcut halinin çıktıları ile karşılaştırılır ve elde edilen bulgular istatistiksel tablo, animasyon ya da grafik görseller halinde sunulur.

## **1.6. SIMIO Benzetim Programı**

Benzetim programı seçiminde dikkate alınacak pek çok özellik vardır. Bunların başında programın öğrenim ve kullanım kolaylığı, doğruluğu, detaylı izlenilebilmesi, hızı ve üzerinde çalışılan probleme uygunluğu gelmektedir. Bu tez çalışmasında yapılacak olan Trabzon Havalimanı pist-apron-taksi yolunun incelenmesi sürecinde Arena, GoldSim, Gpss/H ya da Flexim gibi güncel benzetim yazılımları kullanılabilirdi. Ancak gerek programın kullanım kolaylığı gerekse animasyonları ile sunduğu görsel imkanları sebebiyle çalışmada kullanılmak üzere SIMIO benzetim programı seçilmiştir.

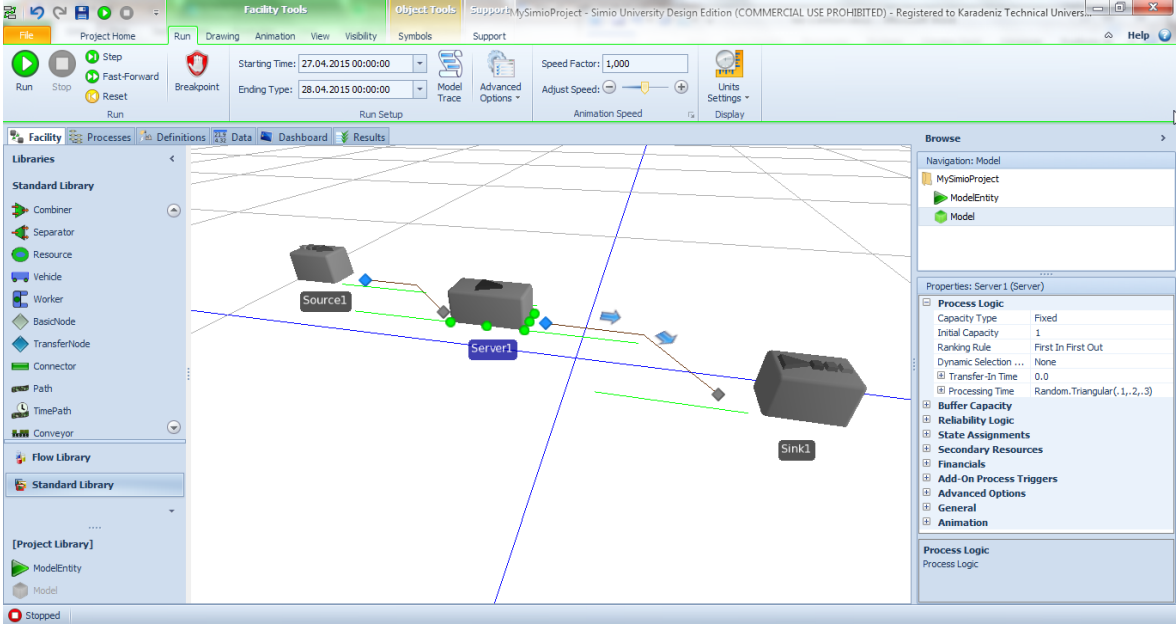
SIMIO, kesikli, sürekli ve ajan-tabanlı benzetimi nesne-tabanlı benzetim ile birleştiren yeni nesil bir benzetim programıdır. Nesne yönelimli ürünlerde sıklıkla karşılaşılan ölçeklenebilirlik ve kullanım zorluğu gibi yaygın problemlerin üstesinden gelecek çeşitli teknik yeniliklere sahiptir. SIMIO'nun standart nesne kütüphanesi, özel

geliştirilmiş üretim nesnelerinin yanı sıra her türlü uygulamada kullanılacak genel amaçlı nesnelere oluşmaktadır (Şekil 12).



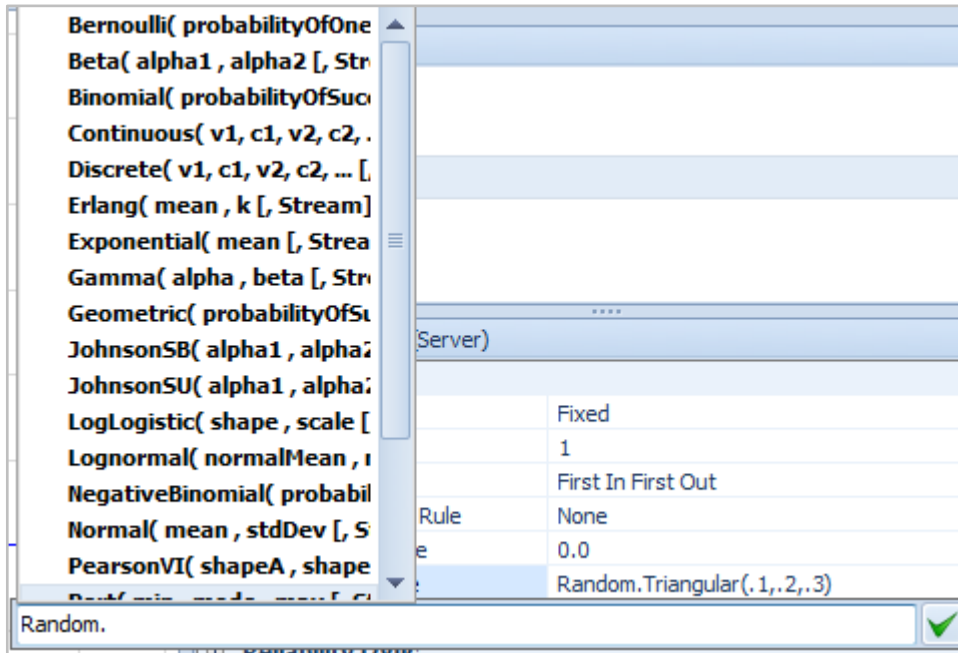
Şekil 12. Simio programında kullanılan genel amaçlı nesnelere

Bir sistem modellenirken kullanılan ana nesnelere, sistemin girişini ifade eden Source (kaynak), sistemde görülen bir işi ifade eden Server (sunucu) ve sistemin çıkışını ifade eden Sink (çıkış)'tir. Bu nesnelere birbirine Path, TimePath, Connector seçeneklerinden biri ile bağlanır. Bu seçenekler, belirlenen yolun özelliklerine göre (mesafe mi yoksa zaman mı dikkate alınacak?) dikkatlice seçilmelidir. SIMIO ile kurulan basit bir model Şekil 13'te gösterilmiştir.



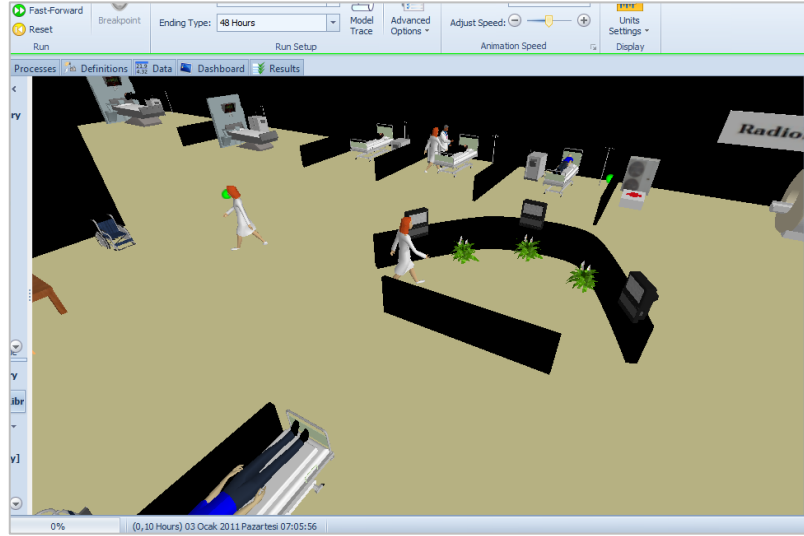
Şekil 13. Simio programında örnek model kurulumu

SIMIO programında sistem öğelerinin özelliklerinin girilmesi ve değiştirilmesi de oldukça kolaydır. Model için tanımlı varsayımlar, öğelerin kapasiteleri, çalışma şartları, iş-zaman çizelgeleri gibi gerekli tüm istekler sağ sütündeki Properties (özellikler) alanından ayarlanabilmektedir. Bu arada program 21 veri dağılımını kabul etmektedir (Şekil 14).



Şekil 14. Nesnelere için tanımlanacak özelliklerin girilmesi

Herhangi bir yazılım bilgisine ihtiyaç duymaksızın süreç grafikleri ile akıllı nesnelere tanımlama ve modifiye etme imkânı, SIMIO yazılımını kullanıcılar için kolaylaştırmaktadır. Programın bir diğer özelliği ise Şekil 15'te görüldüğü gibi son derece etkileyici bir animasyon imkânı sunmasıdır.



Şekil 15. Örnek Simio benzetim modeli

SIMIO programı, model kurma sürecindeki kolaylığını ve başarısını, sonuçların alınması, analizi ve raporlanması sürecinde de göstermektedir. Gerek model üzerinde deneylerin oluşturulması ve çalıştırılması, farklılıkların izlenmesi, gerekse de program çıktılarının ayrıntılı tablo şeklinde elde edilmesi rahat bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu özellikleri, SIMIO programını hem basit hem de karmaşık sistemlerde oldukça başarılı kılmaktadır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde, Trabzon Havalimanı PAT sahası üzerine yapılan benzetim çalışması anlatılmıştır. Oluşturulan model stokastik ve kesikli benzetim modeli uygulamasıdır. Bahsi geçen PAT sahası bir adet pist, on dört adet apron ile bu alanları birbirine bağlayan dört adet taksi yolundan oluşmaktadır (Şekil 16). Hem yurtiçi hem de yurtdışı seferlerin gerçekleştirildiği Trabzon Havalimanı'nda 34 iniş – 34 kalkış seferi olmak üzere günlük ortalama 68 uçuş gerçekleşmektedir. İnişe geçen bir uçak kuleden gerekli izni aldıktan sonra piste inmekte, alanın müsait olmasına göre taksi yollarından birisini kullanarak aprona park etmektedir. Apronda yolcu-bagaj-yük indirme ve temizlik gibi faaliyetlerden sonra kalkış saati gelen uçak yine taksi yolunu kullanarak pistte geçmekte ve kalkış işlemini gerçekleştirmektedir. Bakım-onarım faaliyetlerine ihtiyaç duyan uçak ise aprondaki işlemlerinin ardından hangara çekilmektedir.



Şekil 16. Trabzon Havalimanı PAT sahası görünümü

### 2.1. Problemin Belirlenmesi ve Çalışmanın Planlanması

Trabzon Havalimanı uçak trafiği özellikle yaz döneminin başlangıcında ve bitişinde oldukça artmakta ve gerçekleşen sefer sayısı günlük 75 i bulmaktadır. Toplam sefer sayısı çok olmasa da bazı durumlarda iniş-kalkış sefer saatlerinin birbirine yakın saatlere



konması PAT sahasında sıkışıklığa ve haliyle uçakların yerde ya da havada beklemesine sebep olabilmektedir. Yapılan çalışmada havalimanı PAT sahasının benzetim yöntemi ile modellenmesi ve mevcut durumunun analiz edilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan modelin doğrulanmasından sonra sistem üzerinde geleceğe yönelik oluşturulacak senaryolar incelenecektir.

Problem tanımlandıktan sonra, çalışmanın planlanması ve sistem işleyişinin iyice anlaşılabilmesi için sisteme ait bileşenler, değişkenler, parametreler ve varsayımlar belirlenmiştir.

- Sistem ile ilgili bileşenler;
  - Uçak,
  - Pist,
  - Taksi yolu,
  - Apron.
- Sistem performansı ile ilgili değişkenler;
  - Ardışık uçak gelişleri arasındaki zaman,
  - Uçağın pistte geçirdiği süre,
  - Uçağın taksi yolunda geçirdiği süre,
  - Uçağın apronda geçirdiği süre,
  - Pist, apron ve taksi yolu sayısı.
- Modelin parametreleri;
  - Ardışık uçuşlar arası süre dağılımı,
  - İniş-kalkışta pistte geçirilen süre dağılımı,
  - Taksi yolu kullanım süresi dağılımı,
  - Apronda bekleme süresi dağılımı.
- Sistemin varsayımları;
  - Pisti tek seferde tek uçak kullanıyor,
  - Pistte uçağın olması aprondaki bekleme süresini etkilemiyor,
  - Pist kuyruğundaki bekleme pistte geçen süreyi etkilemiyor,
  - Uçaklar piste giriş kuyruğu uzunluğundan dolayı geri dönmüyor,
  - Pistte inen uçak, boş apronlardan birine giriyor,
  - Pist doluysa, kalkışa geçecek uçak taksi yolunda bekliyor,
  - Pist doluysa inişe geçmek isteyen uçak havada bekliyor.

➤ Sistemin Kısıtları;

- Apron sahası maksimum 14 uçak kapasitelidir,
- 1 adet pist bulunmaktadır ve aynı anda birden fazla uçak pistte bulunamaz,
- Toplam 4 tane taksi yolu bulunmaktadır,
- Pisti bir uçak kullandıktan sonra bir sonraki uçağın kullanması için belirli bir süre geçmelidir.

## 2.2. Modelin Tanımlanması, Verilerin Toplanması ve Analizi

Sisteme ait ölçütler belirlendikten sonra modelin ana hatlarının belirlenmesi amacıyla aşağıdaki olay akışları dikkate alınmıştır;

- Uçağın hava sahasında pist kuyruğuna girmesi,
- Uçağın piste inmesi,
- Uçağın taksi yolunu kullanması,
- Uçağın apronda beklemesi,
- Uçağın aprondan ayrılması,
- Uçağın taksi yolunu kullanması,
- Uçağın pisti kullanarak havalimanından ayrılması.

Havalimanı modelinin işleyişi belirlendikten sonra, model parametrelerinin tespiti için veri toplama aşamasına geçilmiştir. Veri toplama süreci havalimanında uçak trafiğinin genel olarak yüksek olduğu Ağustos ayında 11-25 Ağustos 2014 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Bu sürede 475'i iniş, 470'ı kalkış olmak üzere 945 uçuş verisi incelenmiştir. Parametrelerin belirlenmesi amacıyla toplanan veriler EasyFit programı ile analiz edilmiş, uygun dağılımlar seçilmiş ve sonuçlar uyum iyiliği testleri ile test edilmiştir.

### 2.2.1. Uçakların Gelişler Arası Zaman Verilerinin Analizi

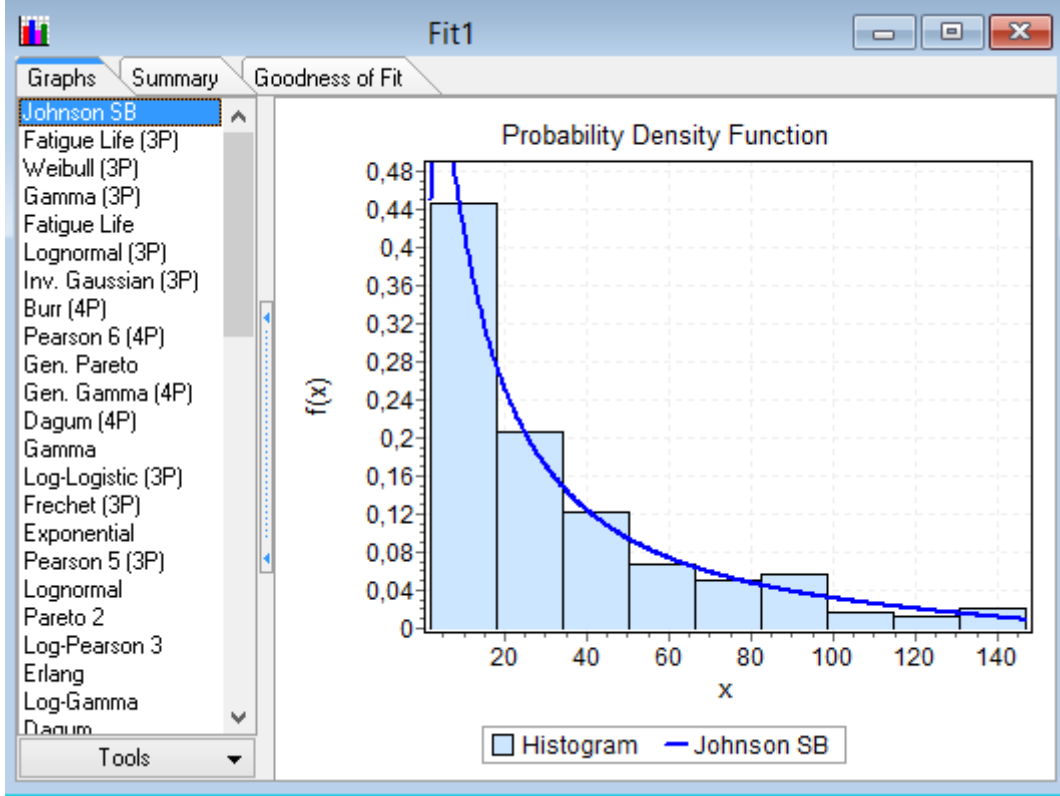
Trabzon Havalimanına inen uçakların gelişleri arasındaki zamanın istatistiksel değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Buna göre gelişler arası zamanı 2 dk. ile 147 dk. arasında değişen 475 adet iniş verisinin standart sapması 33.065 dk., varyansı 1093.3 dk<sup>2</sup>., ortalaması ise 33.777 dk.'dır. Gelen uçakların yarısı, en fazla 2 dk. ile 22 dk. arasında iniş yapmıştır.

Uçak iniş saatleri ile gelişler arası zamanı gösteren bir günlük örnek veri seti Ek 1.'de verilmiştir.

Tablo 3. Uçakların gelişler arası zaman verilerinin analizi

İstatistik	Değer	Yüzdesel	Değer
Örnek Büyüklüğü	475	En Düşük	2
Aralık	145	5%	4
Ortalama	33.777	10%	5
Varyans	1093.3	25% (Q1)	9
Standart Sapma	33.065	50% (Orta değer)	22
Varyasyon Katsayısı	0.97892	75% (Q3)	48
Standart Hata	1.5171	90%	87
Çarpıklık	1.4689	95%	107
Basıklık	1.6741	En Büyük	147

İstatistiksel açıklaması yapılan uçak gelişleri arası zaman verisine ait olasılık yoğunluk fonksiyon grafiği oluşturulmuş ve uygun dağılımlar incelenmiştir (Şekil 17). En uygun dağılım Tablo 3'te görüldüğü üzere Johnson SB dağılımı olmuştur



Şekil 17. Uçakların gelişler arası zamanına ait histogram çizimi

Tablo 4. Uçakların gelişler arası zaman verilerine uyan dağılımların kontrolü

Dağılım	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
	İstatistik	Sıra	İstatistik	Sıra	İstatistik	Sıra
Johnson SB	0,04949	1	0,91044	1	5,0866	1
Fatigue Life	0,05955	5	1,6784	2	13,575	5
Fatigue Life (3P)	0,05705	2	2,0061	3	16,286	8
Gen. Gamma (4P)	0,07117	11	2,0125	4	9,0511	3

Bu durumda uçakların gelişleri arası zaman verilerine ilişkin  $H_0$  ve  $H_1$  hipotezlerini şu şekil oluşturabiliriz;

$H_0$  : Uçakların gelişleri Johnson SB dağılımına uymaktadır.

$H_1$  : Uçakların gelişleri Johnson SB dağılımına uymamaktadır.

Uçak gelişleri arasındaki zaman verilerinin Johnson SB dağılımına uyumunu kontrol etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling ve Chi-Squared testleri yapılmıştır. Tablo 4’te görüldüğü gibi her üç test de  $H_0$  hipotezini reddedememektedir. Buna göre Johnson SB dağılımı kabul edilmiştir.

Tablo 5. JohnsonSB dağılımı için uyum iyiliği testi

<b>Johnson SB Dağılımı</b>					
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>					
Örnek Büyüklüğü	0,475				
İstatistik	0,04949				
P-değeri	0,18861				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	0,04923	0,05612	0,06231	0,06965	0,07474
Ret Edilsin mi?	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Anderson-Darling</b>					
Örnek Büyüklüğü	475				
İstatistik	0,91044				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	1,3749	1,9286	2,5018	3,2392	3,9074
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Chi-Squared</b>					
Serbestlik Derecesi	8				
İstatistik	5,0866				
P-değeri	0,74828				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	11,03	13,362	153507	18,168	20,09
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır

Trabzon Havalimanına iniş yapan uçakların gelişlerine ilişkin Johnson SB dağılımının parametreleri  $\gamma=1,2055$  dk. ;  $\delta=0,76368$  dk. ;  $\lambda= 178,83$  dk. ;  $\zeta=1,1731$  dk. olarak belirlenmiştir.

Johnson SB dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu Ek 2.’de verilmiştir.

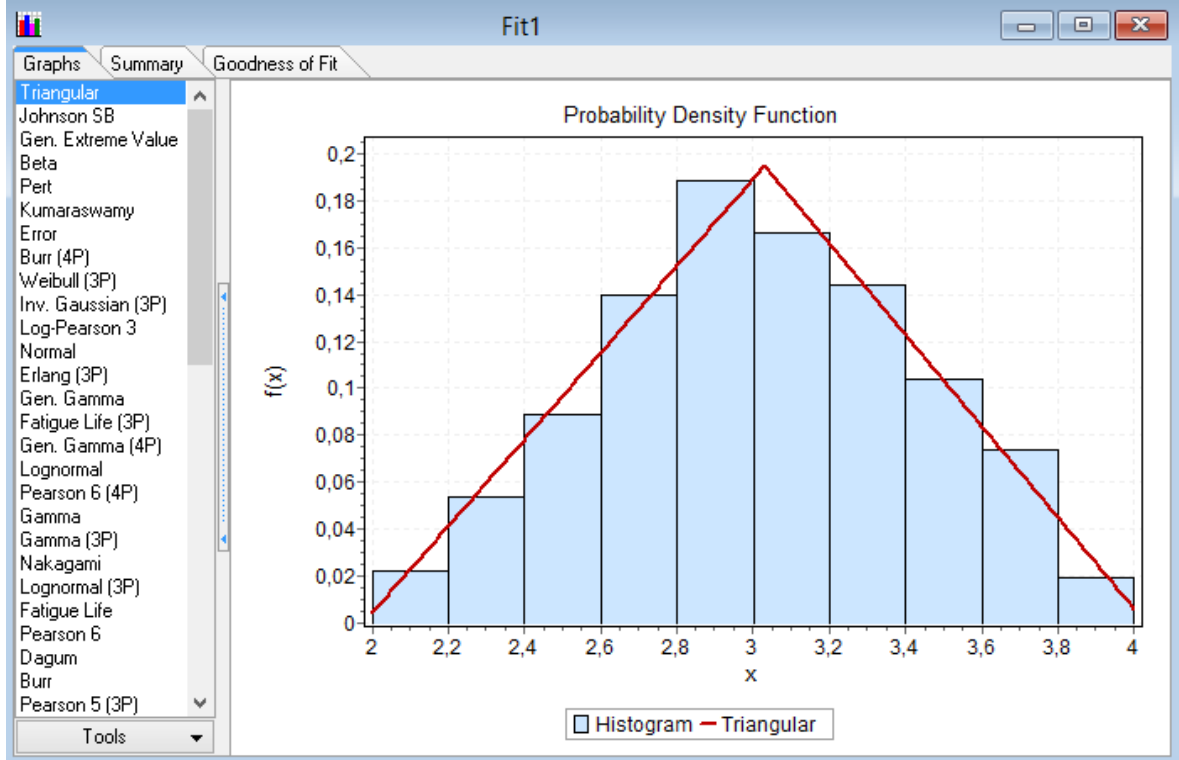
### 2.2.2. Uçakların Pist Hareket Süresi Verilerinin Analizi

Önceden de bahsedildiği gibi, hem iniş yapan uçaklar hem de kalkış yapan uçaklar tek pisti kullanmaktadır. Gözlem süresi içerisinde 945 uçak pisti kullanmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel analizi sonraki sayfada Tablo 5'te sunulmuştur. Buna göre verilerin ortalaması 3,0148 dk.; standart sapması 0,41283 dk. ve varyansı 0,17043 dk<sup>2</sup>'dir.

Tablo 6. Pist hareket süresi verilerinin istatistiksel analizi

İstatistik	Değer	Yüzdesel	Değer
Örnek Büyüklüğü	945	En Düşük	2
Aralık	2	5%	2,323
Ortalama	3,0148	10%	2,45
Varyans	0,17043	25% (Q1)	2,72
Standart Sapma	0,41283	50% (Orta değer)	3,02
Varyasyon Katsayısı	0,13694	75% (Q3)	3,32
Standart Hata	0,01343	90%	3,58
Çarpıklık	-0,0148	95%	3,7
Basıklık	-0,5895	En Büyük	4

İstatistiksel açıklaması yapılan pist kullanım süresi verisine ait olasılık yoğunluk fonksiyon grafiği oluşturulmuş ve uygun dağılımlar incelenmiştir (Şekil 18). En uygun dağılımın Tablo 6'da görüldüğü üzere Triangular dağılım olduğu belirlenmiştir.



Şekil 18. Pist hareket süresi verilerinin histogramı

Tablo 7. Pist hareket süresi verilerine uyan dağılımların kontrolü

Dağılım	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
	İstatistik	Sıra	İstatistik	Sıra	İstatistik	Sıra
Triangular	0,01815	1	0,33239	1	11,35	9
Johnson SB	0,02037	2	0,33661	2	19,239	30
Beta	0,02237	4	0,40235	3	12,794	14
Pert	0,02255	5	0,4079	4	12,795	15

Bu durumda uçakların pist hareket süresine ilişkin  $H_0$  ve  $H_1$  hipotezlerini şu şekil oluşturabiliriz;

$H_0$  : Uçakların pist hareket süreleri Triangular dağılıma uymaktadır.

$H_1$  : Uçakların pist hareket süreleri Triangular dağılıma uymamaktadır.

Uçak pist hareket süresinin Triangular dağılıma uyumunu kontrol etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling ve Chi-Squared testleri yapılmıştır. Tablo 7’de

görüldüğü gibi her üç test de  $H_0$  hipotezini reddedememektedir. Buna göre Triangular dağılımı kabul edilmiştir.

Tablo 8. Triangular dağılımın uyum iyiliği testleri ile doğrulanması

<b>Triangular Dağılım</b>					
<b>Kolmogorov-Smimov</b>					
Örnek Büyüklüğü	945				
İstatistik	0,01815				
P-değeri	0,90901				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	0,0349	0,03978	0,04418	0,04988	0,05299
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Anderson-Darling</b>					
Örnek Büyüklüğü	945				
İstatistik	0,33239				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	1,3749	0,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Chi-Squared</b>					
Serbestlik Derecesi	9				
İstatistik	11,35				
P-değeri	0,25247				
Sıralama	9				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	12,242	14,684	16,949	19,679	21,666
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır

Trabzon Havalimanına inen ve kalkan uçakların pistte geçirdikleri sürelerin verilerine ilişkin Triangular dağılımın parametreleri şu şekildedir:  $m=3,03$  dk. ;  $a=1,977$  dk. ;  $b=4,03$  dk.

### 2.2.3. Uçakların Taksi Yolu Hareket Süresi Verilerinin Analizi

Pist ve apron arasında dört taksi yolu bulunmaktadır. Uçaklar iniş ve kalkış işlemlerinde, buldukları konuma yakın olan yoldan geçmektedir. Gözlem süresi içerisinde taksi yolunu kullanan 945 uçak için işlem zamanlarına ilişkin istatistiksel analiz

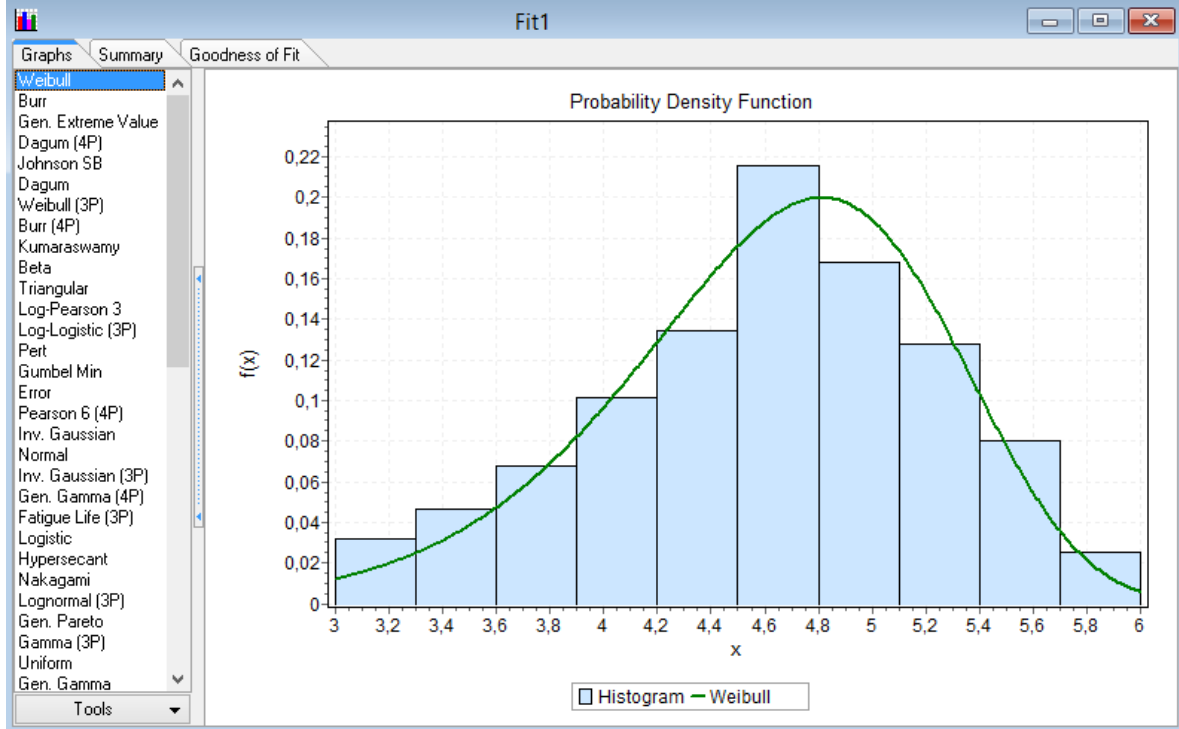


Tablo 8’de sunulmuştur. Buna göre verilerin ortalaması 4,6231 dk.; standart sapması 0,62622 dk. ve varyansı 0,39215 dk<sup>2</sup>.’dır.

Tablo 9. Uçakların taksi hareket sürelerinin analizi

İstatistik	Değer	Yüzdesele	Değer
Örnek Büyüklüğü	945	En Düşük	3
Aralık	3	5%	3,4
Ortalama	4,6231	10%	3,7
Varyans	0,39215	25% (Q1)	4,2
Standart Sapma	0,62622	50% (Orta değer)	4,6
Varyasyon Katsayısı	0,13545	75% (Q3)	5
Standart Hata	0,02041	90%	5,4
Çarpıklık	-0,3293	95%	5,5
Basıklık	-0,3354	En Büyük	6

İstatistiksel açıklaması yapılan taksi yolu kullanım süresi verisine ait olasılık yoğunluk fonksiyon grafiği oluşturulmuş ve uygun dağılımlar incelenmiştir (Şekil 19). En uygun dağılımın Weibull dağılımı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 19. Uçakların taksi hareket sürelerinin histogram ile gösterimi

Bu durumda uçakların taksi hareket süresine ilişkin  $H_0$  ve  $H_1$  hipotezlerini şu şekil oluşturabiliriz;

$H_0$  : Uçakların taksi hareket süreleri Weibull dağılımına uymaktadır.

$H_1$  : Uçakların taksi hareket süreleri Weibull dağılımına uymamaktadır.

Uçak taksi yolu işlem zamanı verilerinin Weibull dağılımına uyumunu kontrol etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling ve Chi-Squared testleri yapılmıştır. Tablo 9’da görüldüğü gibi, her üç test de  $H_0$  hipotezini reddedememektedir. Buna göre Weibull dağılımı kabul edilmiştir.

Tablo 10. Weibull dağılımının uyum iyiliği testleri ile doğrulanması

<b>Weibull Dağılımı</b>					
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>					
Örnek Büyüklüğü	945				
İstatistik	0,02016				
P-değeri	0,82962				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	0,0349	0,03978	0,04418	0,04938	0,05299
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Anderson-Darling</b>					
Örnek Büyüklüğü	945				
İstatistik	0,89144				
Sıralama	7				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Chi-Squared</b>					
Serbestlik Derecesi	9				
İstatistik	9,9826				
P-değeri	0,35189				
Sıralama	3				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır

Trabzon Havalimanına inen ve kalkan uçakların taksi yolunda geçirdikleri süre verilerine ilişkin Weibull dağılımının parametreleri şu şekildedir:  $\alpha= 8,7683$  dk. ;  $\beta=4,8783$  dk.

#### 2.2.4. Uçakların Apron Bekleme Süresi Verilerinin Analizi

Trabzon Havalimanına inen uçakların büyük kısmı yolcu-yük indirme/bindirme işleminden sonra hemen kalkarken, bir kısım uçaklar uzun süreli park haline geçmektedir. Bu nedenle uçakların apronda bekleme süreci iki sınıfta incelenmiştir; kısa süreli işlem ve uzun süreli işlem. Gözlem süresi içerisinde apronları kullanan 475 uçağın %85'i kısa süreli işlem görmüş, %15'i ise uzun süreli işlem görmüştür.

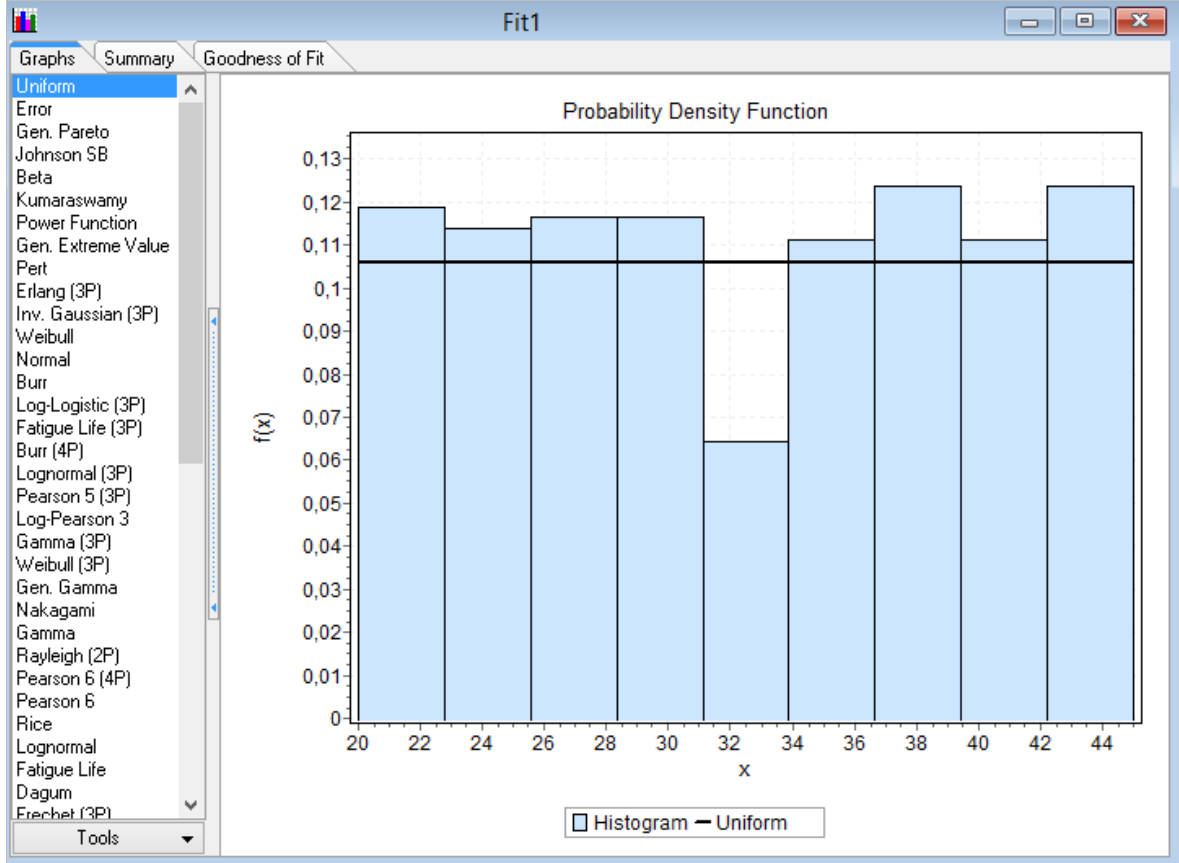
### 2.2.4.1. Apronda Kısa Süreli İşlem Verilerinin Analizi

Apronda inişten sonra gerekli hizmetleri alıp hemen kalkan 404 uçak için işlem zamanlarına ilişkin istatistiksel analiz Tablo 10'da sunulmuştur. Buna göre verilerin ortalaması 32,599 dk.; standart sapması 7,582 dk. ve varyansı 57,486 dk<sup>2</sup>. 'dır.

Tablo 11. Kısa süreli park eden uçakların apron işlem süresi analizi

İstatistik	Değer	Yüzdesel	Değer
Örnek Büyüklüğü	404	En Düşük	20
Aralık	25	5%	21
Ortalama	32,599	10%	22
Varyans	57,486	25% (Q1)	26
Standart Sapma	7,582	50% (Orta değer)	31
Varyasyon Katsayısı	0,23258	75% (Q3)	39
Standart Hata	0,37722	90%	43
Çarpıklık	-0,0102	95%	44
Basıklık	-1,2445	En Büyük	45

İstatistiksel açıklaması yapılan kısa süreli apron kullanım zamanı verisine ait olasılık yoğunluk fonksiyon grafiği oluşturulmuş ve uygun dağılımlar Şekil 20'de incelenmiştir. Buna göre Uniform dağılımı veri yapısına en uygun dağılım olarak seçilmiştir (Tablo 11).



Şekil 20. Kısa süreli park eden uçakların apron işlem süresi verilerinin histogram ile gösterimi

Tablo 12. Kısa süreli park eden uçakların apron süresine uyan dağılımın seçilmesi

Dağılım	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
	İstatistik	Sıra	İstatistik	Sıra	İstatistik	Sıra
Uniform	0,03367	1	0,7311	4	9,5953	5
Error	0,03376	2	0,72936	3	9,5837	4
Gen. Pareto	0,03404	3	0,70889	2	9,638	3
Johnson SB	0,03617	4	0,62525	1	5,7308	2
Beta	0,03766	5	17,149	45	4,9203	1

Bu durumda uçakların apronda kısa süreli bekleme süresine ilişkin  $H_0$  ve  $H_1$  hipotezlerini şu şekil oluşturabiliriz;

$H_0$  : Uçakların apronda kısa süreli bekleme süreleri Uniform dağılıma uymaktadır.

$H_1$  : Uçakların apronda kısa süreli bekleme süreleri Uniform dağılıma uymamaktadır.

Uçağın apronda kısa süreli bekleme zamanına ait verilerinin Uniform dağılımına uyumunu kontrol etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling ve Chi-Squared testleri yapılmıştır. Tablo 12’de görüldüğü üzere, her üç test de  $H_0$  hipotezini reddedememektedir. Buna göre Uniform dağılımı kabul edilmiştir.

Tablo 13. Uniform dağılımın uyum iyiliği testleri ile doğrulanması

<b>Uniform Dağılım</b>					
<b>Kolmogorov-Smirnov</b>					
Örnek Büyüklüğü	404				
İstatistik	0,03367				
P-değeri	0,73616				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	0,05338	0,06385	0,06756	0,07552	0,08105
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Anderson-Darling</b>					
Örnek Büyüklüğü	404				
İstatistik	0,7311				
Sıralama	4				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Chi-Squared</b>					
Serbestlik Derecesi	8				
İstatistik	9,5953				
P-değeri	0,29459				
Sıralama	5				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	11,03	13,362	15,507	18,168	20,09
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır

Trabzon Havalimanına inen-kalkan ve apronda kısa süreli park halinde bulunan uçakların işlem sürelerine verilerine ilişkin Uniform dağılımının parametreleri şu şekildedir:  
 $a = 19,467$  dk. ;  $b = 45,731$  dk.

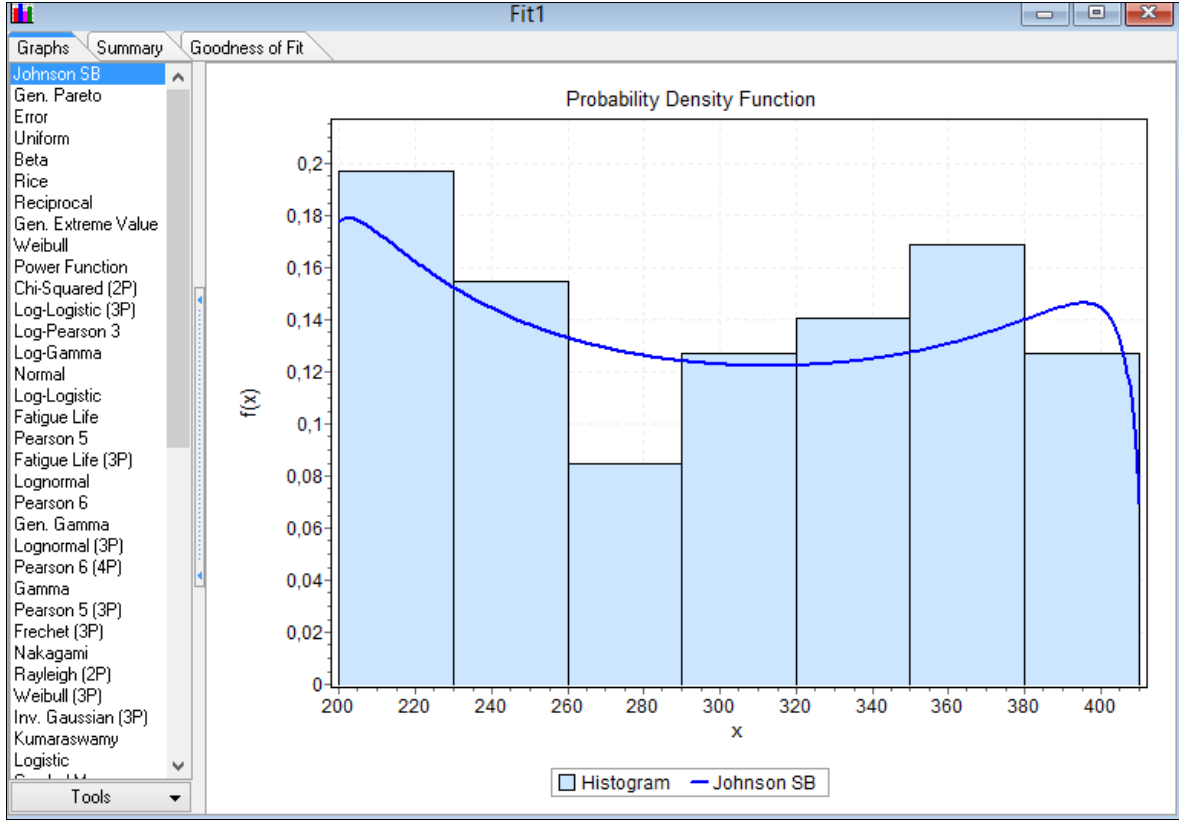
### 2.2.4.2. Apronda Uzun Süreli İşlem Verilerinin Analizi

Apronda inişten sonra gerekli hizmetleri alıp park haline geçen daha geç kalkan 71 uçak için işlem zamanlarına ilişkin istatistiksel analiz Tablo 13'te sunulmuştur. Buna göre verilerin ortalaması 297,04 dk.; standart sapması 65,138 dk. ve varyansı 4242,9 dk<sup>2</sup>.’dir.

Tablo 14. Uzun süreli park eden uçakların apron işlem süresi analizi

İstatistik	Değer	Yüzdesele	Değer
Örnek Büyüklüğü	71	En Düşük	200
Aralık	210	5%	206
Ortalama	297,04	10%	210
Varyans	4242,9	25% (Q1)	230
Standart Sapma	65,138	50% (Orta değer)	300
Varyasyon Katsayısı	0,21929	75% (Q3)	350
Standart Hata	7,7304	90%	390
Çarpıklık	0,07183	95%	400
Basıklık	-1,2854	En Büyük	410

İstatistiksel açıklaması yapılan uzun süreli apron kullanım zamanı verisine ait olasılık yoğunluk fonksiyon grafiği oluşturulmuş ve uygun dağılımlar incelenmiştir (Şekil 21). Johnson SB dağılımı veri yapısına en uygun dağılım olarak seçilmiştir.



Şekil 21. Uzun süreli park eden uçakların apron işlem süresi verilerinin histogram ile gösterimi

Bu durumda uçakların apronda uzun süreli bekleme süresine ilişkin  $H_0$  ve  $H_1$  hipotezlerini şu şekil oluşturabiliriz;

$H_0$ : Uçakların apronda uzun süreli bekleme süresi Johnson SB dağılımına uymaktadır.

$H_1$ : Uçakların apronda uzun süreli bekleme süresi Johnson SB dağılımına uymamaktadır.

Uçağın apronda uzun süreli bekleme zamanına ait verilerinin Johnson SB dağılımına uyumunu kontrol etmek amacıyla Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling ve Chi-Squared testleri yapılmıştır. Tablo 14'te görüldüğü gibi, her üç test de  $H_0$  hipotezini reddedememektedir. Buna göre Johnson SB dağılımı kabul edilmiştir.



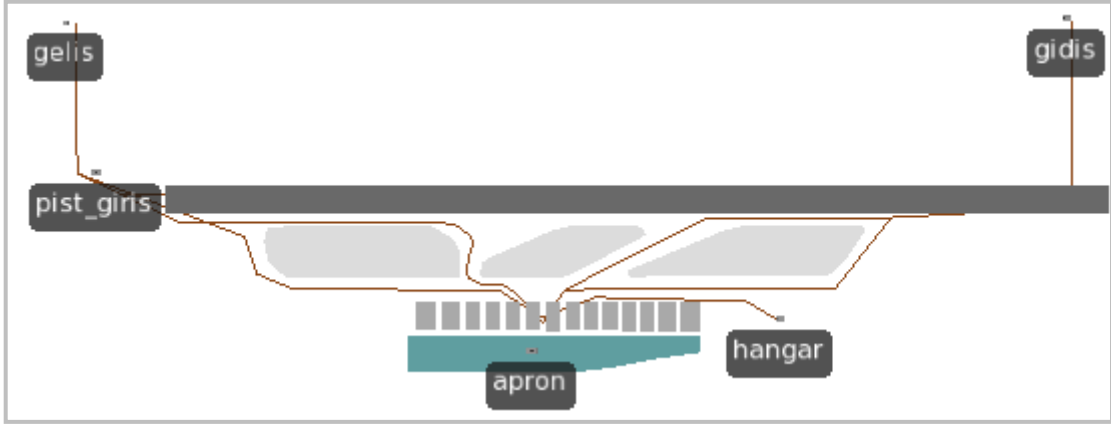
Tablo 15. Johnson SB dağılımın uyum iyiliği testleri ile doğrulanması

<b>Johnson SB Dağılımı</b>					
Kolmogorov-Smirnov					
Örnek Büyüklüğü	71				
İstatistik	0,06088				
P-değeri	0,94054				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	0,12499	0,14281	0,15864	0,17739	0,19034
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Anderson-Darling					
Örnek Büyüklüğü	71				
İstatistik	0,43955				
Sıralama	1				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Chi-Squared					
Serbestlik Derecesi	6				
İstatistik	4,1135				
P-değeri	0,66132				
Sıralama	6				
$\alpha$	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Kritik Değer	8,5581	10,645	12,592	15,033	16,812
Ret Edilsin mi?	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır

Trabzon Havalimanına inen-kalkan ve apronda uzun süreli park halinde bulunan uçakların işlem sürelerine verilerine ilişkin Johnson SB dağılımının parametreleri şu şekildedir:  $\gamma=0,06484$  dk ;  $\delta=0,56681$  dk ;  $\lambda= 220,67$  dk.;  $\zeta=190,81$  dk.

### 2.3. Bilgisayar Ortamında Modelin Kurulması

Sistem parametrelerine uygun dağılımlar belirlendikten ve test edildikten sonra, SIMIO benzetim programı kullanılarak Trabzon Havalimanı PAT sahasının birebir ölçülerde bir modeli oluşturulmuştur. Bu model Şekil 22’de gösterilmektedir. Modelde uçakları oluşturacak kaynak ‘Geliş’ olarak, uçakları çıkaracak kaynaklar ‘Gidiş’ ve ‘Hangar’ olarak, iniş-kalkış yapacak uçakların kullanacağı pist alanı ‘Pist\_Giriş’ olarak ve uçak park alanları ‘Apron’ olarak tanımlanmıştır. Pist ve apron sahasını birbirine bağlayan yollar ise sırasıyla ‘Taksi\_YoluA’, ‘Taksi\_YoluB’, ‘Taksi\_YoluC’ ve ‘Taksi\_YoluD’ dir.



Şekil 22. Simio programında Trabzon Havalimanı'nın modelinin kurulması

Buna göre JohnsonSB(1.2055,0.76368,1.1731,178.83) dağılımına göre Trabzon Havalimanına gelen uçak sabit 2 dakikalık piste giriş süresinden sonra Triangular(3.03,1.977,4.03) dağılımına göre pistte ilerleyecek, Weibull(8.7683,4.8783) dağılımına göre taksi yollarından birisini kullanarak aprona gelecek, park sınıfına göre Uniform(19.467,45.731) dağılımına ya da JohnsonSB(0.06484,0.56681,220.67,190.81) dağılımına göre apronda bekleyecek, kalkış için yine aynı dağılımları kullanarak taksi yolundan ve pistten geçerek sistemden çıkacaktır.

Modelin çizimi hazırlandıktan sonra parametreler için elde edilen veri dağılımları ve diğer özellikleri girilmiştir. İlk olarak modelde uçakları üreten kaynağımız 'Geliş' için birim tipi; uçak ve varış modu; gelişler arası zaman olarak tanımlanmıştır. Gelişler arası zaman verisine uygun Johnson SB dağılımının parametreleri girilmiş ve tek seferde gelen uçak sayısı 1 olarak belirlenmiştir (Şekil 23).

Properties: gelis (Source)	
Entity Arrival Logic	
Entity Type	ucak
Arrival Mode	Interarrival Time
Time Offset	0.0
Interarrival Time	Random.JohnsonSB(1.2055,0.76368,1.1731,178.83)
Entities Per Arrival	1

Şekil 23. Geliş kaynağı için verilerin girilmesi

Hem iniş yapan uçaklar, hem de aprondan ayrılıp kalkışa geçen uçaklar aynı pisti kullanmaktadırlar. Bu uçuşları saymak ve pisti izlemek için pist girişine konan Pist\_Giriş adlı sunucumuzun hizmet kapasitesi (initial capacity) 1 olarak alınmıştır. Bu sayede pistte tek seferde sadece bir uçak bulunacaktır. Sunucunun sıralama kuralı (ranking rule) ‘İlk Giren İlk Çıkar’ olarak düzenlenmiş ve işlem zamanını belirten veri dağılımı girilmiştir. Pistte girmeyi bekleyen uçakları ifade eden giriş tampon kapasitesi (input buffer) sınırsız olarak alınmışken, çıkış tampon kapasitesi (output buffer) sıfır yapılmıştır. Bu şekilde taksi yolu veya apronlar dolu iken uçağın pistte kuyruk oluşturması önlenmiştir (Şekil 24).

Properties: pist_giris (Server)	
<b>Process Logic</b>	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	1
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Processing Time	2
<b>Buffer Capacity</b>	
Input Buffer	Infinity
Output Buffer	0

Şekil 24. Pistte giriş ögesi için verilerin girilmesi

Taksi yolu ile Giriş-Çıkış ögelerini birleştiren ana yol Pist\_Yolu olarak tanımlanmıştır. İşlem zamanı piste inen ya da pistten kalkacak uçakların pist başından pist sonuna kadar geçirdikleri süre ve pistin önceden hazırlanması gereken sürenin toplamıdır. Buna göre, istatistiksel analiz sonucu elde edilen dağılım parametreleri girilmiş ve yolun hizmet kapasitesi 1 olarak belirtilmiştir (Şekil 25).

Properties: pist_yolu (TimePath)	
<b>Travel Logic</b>	
Type	Unidirectional
Initial Traveler Capacity	<b>1</b>
Entry Ranking Rule	First In First Out
<b>Travel Time</b>	<b>Random.Triangular( 1.977, 3.03,4.03 )</b>
Units	Minutes
<b>Routing Logic</b>	
Selection Weight	<b>1</b>

Şekil 25. Ana pist yolu için verilerin girilmesi

Apron olarak hizmet verecek alan için tek bir sunucu öge eklenmiş, işlem önceliği İlk Giren İlk Çıkar ve kullanım kapasitesi sabit 14 uçak olarak tanımlanmıştır. Ardından apronda uzun süreli ve kısa süreli kalacak uçakları tanımlama için uçak tipi 2 çeşit olarak belirlenmiş ve yüzdeleri girilmiştir (Şekil 26). Buna göre uçakları %85'i kısa süreli hizmet alırken, geri kalanları uzun süre park halinde duracaktır. Ardından bu iki tür uçak için elde edilen zaman verilerinin dağılımları ayrı bir tabloya eklenmiştir (Şekil 27). Son olarak, oluşturulan bu tablolar ve uçakların yüzde değerleri apron server'in işlem zamanına girilmiştir (Şekil 28).

<b>Routing Logic</b>	
Initial Priority	<b>Random.Discrete(1,0.85,2,1)</b>
Initial Sequence	
<b>Population</b>	

Şekil 26. Apronda farklı sürelerde bekleyen uçaklar için yüzde değerlerinin girilmesi

İşlem_Suresi	
Bekleyen_Ucak	Apron_Bekleme_Suresi (Minutes)
1	random.uniform(19.467,45,731)
2	Random.JohnsonSB(0.06484,0.56681,190.81,220.67)

Şekil 27. Apronda farklı dağılımlarla bekleyen uçaklar için grupların oluşturulması

Properties: apron (Server)	
<b>Process Logic</b>	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	<b>14</b>
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Processing Time	<b>Islem_Suresi[ModelEntity.Priority].Apron_Bekleme_Suresi</b>

Şekil 28. Apron ögesi için verilerin girilmesi

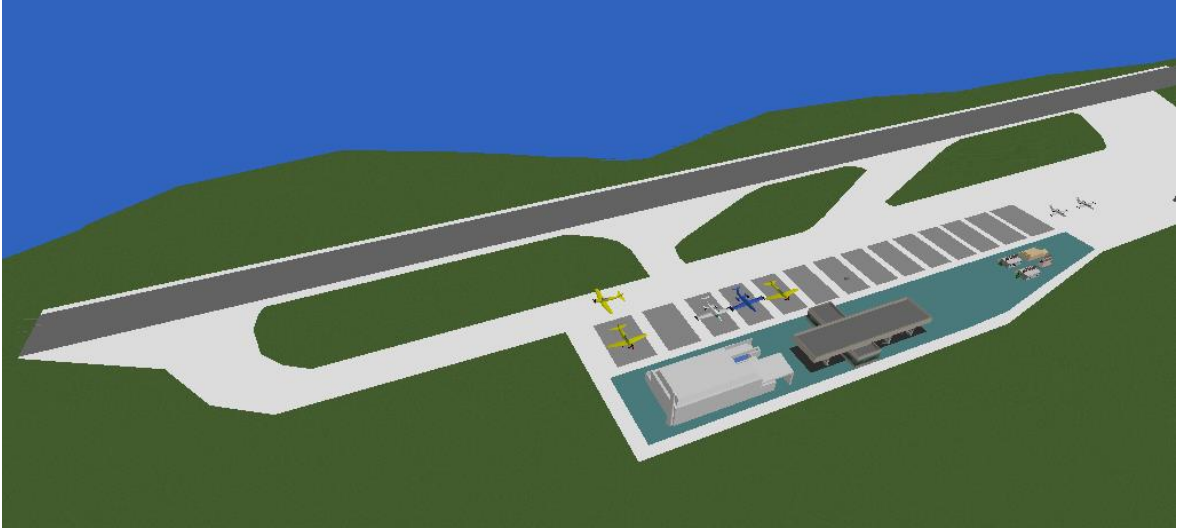
Pist ile apronları bağlayan dört taksi yolu için de hesaplanan veri dağılım parametreleri ile yolların kullanım oranları girilmiş ve hizmet kapasiteleri Şekil 29'deki gibi belirlenmiştir.

Properties: Taksi_yoluD (TimePath)	
<b>Travel Logic</b>	
Type	Unidirectional
Initial Traveler Capacity	<b>1</b>
Entry Ranking Rule	First In First Out
Travel Time	<b>Random.Weibull( 8.7683, 4.8783 )</b>
Units	Minutes
<b>Routing Logic</b>	
Selection Weight	<b>0.5</b>

Şekil 29. Taksi yolları için verilerin girilmesi

Uçakların sistemden çıkmasını sağlayan iki öge bulunmaktadır; 'Gidiş' ve 'Hangar'. Genelde sistem tarafından üretilen her uçak, apronda işlemini tamamladıktan sonra tekrar pistten kalkmaktadır. Ancak eldeki verilere göre uçuşların %1 lik kesimi bakım-onarım gibi faaliyetler amacıyla hangara çekilmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak, apron sonrası ayrılan uçakların %99 u Gidiş'e, kalanlar ise Hangar'a yönlendirilmiştir.

Model oluşturulduktan ve analiz edilen veriler girildikten sonra modele gerçeklik katması açısından Şekil 23'te görülen gerekli animasyonlar yapılmış ve havalimanı sisteminin benzetim modeli tamamlanmıştır.



Şekil 30. Simio ile kurulan modelin animasyonunun oluşturulması

#### 2.4. Modelin Çalıştırılması ve Denge Durumunun Belirlenmesi

Modelin animasyon kısmı tanımlandıktan sonra düzgün çalışıp çalışmadığının anlaşılması için ilk koşturmalar yapılmıştır. Ancak şu unutulmamalıdır ki, model ilk koşturmalarda denge durumunda olmayacağı için elde edilen sonuçlar da güvenilir değildir. Bu nedenle ilk olarak modelin kaç deneme (replication) sonunda daha stabil sonuçlar verdiğinin anlaşılması amacıyla 1’den 15’e farklı düzeylerde tekrarlı koşturumlar yapılmıştır (Tablo 16). Bu süreçte her model 2 haftalık (360 saat) süre boyunca çalıştırılmış ve uçağın sistemde geçirdiği ortalama süre örnek alınarak sonuçlar incelenmiştir. Ardından bu çıktılara ilişkin %90 güvenilirlikle güven aralığı belirlenmiştir.

Tablo 16’ye göre 15 tekrar için değerlerin ortalaması  $\bar{X}(10) = 113.68$  ve varyansı  $s^2 = 2.318$  olarak hesaplanmıştır. Buna göre güven aralığı şu şekilde bulunur;

$$\bar{X}(n) \pm t_{n-1; 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2(n)}{n}} \quad (1)$$

Olmak üzere;

$$\bar{X}(15) \pm t_{14; 0.95} \sqrt{\frac{2.318}{15}}$$

$$113.68 \pm (1.76 \times 0.393)$$

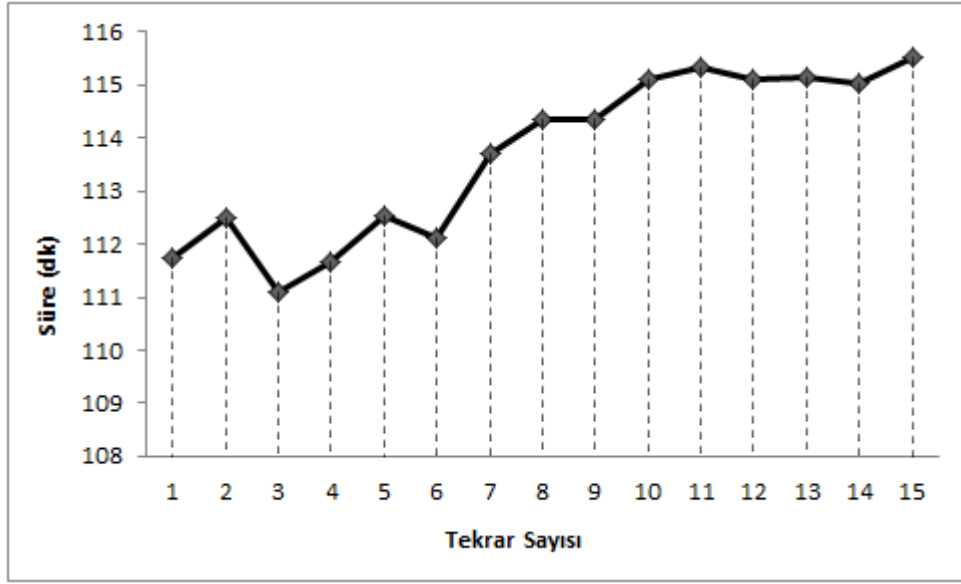
$$113.68 \pm 0.691$$

Bu sonuca göre bir uçağın sistemde geçirdiği ortalama süre %90 güvenle [112,989;114,371] aralığındadır.

Tablo 16. Oluşturulan modelin farklı tekrarlar ile çalıştırılması

Tekrar Sayısı	Sistemde Geçirilen Ortalama Süre (dk)
1	111,7194
2	112,4882
3	111,0879
4	111,6784
5	112,5301
6	112,1003
7	113,6952
8	114,3416
9	114,3425
10	115,1007
11	115,3282
12	115,0977
13	115,1386
14	115,0328
15	115,5226
Ortalama	113,68028
Std. Sapma	1,522758001
Varyans	2,318791928

Gerekli minimum tekrar sayısının belirlenmesi için Tablo 16'daki veriler kullanılarak Şekil 31'deki grafik oluşturulmuştur. Buna göre modelin ilk on tekrarlı denemeye kadar verdiği sonuçlarda dalgalanmalar görülmekteyken, on tekrar sonrasında sistemin denge durumuna geldiği ve daha stabil sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışmanın bundan sonraki kısımlarında model 360 saatlik 10 tekrar şeklinde çalıştırılacaktır.



Şekil 31. Yineleme sayısına bağlı olarak sonuçtaki değişimin incelenmesi

## 2.5. Modelin Doğrulanması

Tanımlanan sisteme ilişkin ortaya çıkarılan model ile gerçek sistem karşılaştırıldığında her ikisinin de benzer olduğu gözlenmiştir.

İlk olarak model parametrelerinde değişiklikler yapılarak modelin verdiği tepkiler ölçülmüş ve her ögenin çalışma yolunun doğruluğu onaylanmıştır. Pist, taksi yolu ve apronlar için elde edilen hizmet zamanı dağılımları yerine sabit zaman değerleri girilmiş (örneğin pist için 2dk., apron için 30 dk. gibi) ve çalıştırılan modelde elde edilen sonuçlara bakılarak uçağın sistemde geçirdiği zamanın bu verilerin toplamına eşit olduğu belirlenmiştir. Sistem ögelerinin ve bağlantı yollarının sorunsuz çalıştığı anlaşıldıktan sonra veri dağılımları kullanılarak model çalıştırılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Model üst üste defalarca çalıştırılmış ve çıktılar sisteme hâkim yetkili bir kişi ile beraber gözden geçirilmiştir. Modelde gerçeği yansıtmadığı düşünülen kısımlar revize edilmiş, gerekli durumlarda veriler yeniden analiz edilerek model iyileştirilmiştir. Bu şekilde modelin işleyişinin doğruluğuna karar verilmiştir.

Bu aşamada gözlemlerin yapıldığı 15 günlük sürede elde edilen inen/kalkan uçak sayısı, uçağın sistemde geçirdiği ortalama süre gibi gerçek veriler ile 15 günlük çalıştırılan benzetim modelinin çıktıları karşılaştırılmış ve model çıktılarının gerçek sisteme uygun olduğu belirlenmiştir.



## 2.6. Modelin Değerlendirilmesi

Yapılan analizler sonucu, modelin 10 tekrardan sonra denge durumuna geldiği belirlenmişti. Buna göre 360 saat 10 tekrarlı çalışan benzetim modelinin çıktıları şu şekildedir;

✓ Toplamda 516 uçak sisteme girmiş ve 515 uçak çıkmıştır. Aynı anda sistemde maksimum 9 uçak, ortalama 3 uçak bulunmaktadır. Uçakların sistemde geçirdikleri süre minimum 51dk, ortalama 111 dk., maksimum 453 dk. olarak hesaplanmıştır (Tablo 17).

Tablo 17. Modelin ana birimi olan uçak için elde edilen program çıktıları

Uçak	Birim	Sistemdeki Sayı	Ortalama	2,6664
			En Fazla	9,0000
			En Az	0,0000
	Akış Zamanı	Sistemde Geçirilen Süre	Ortalama (dk)	111,7194
			En Fazla (dk)	453,7448
			En Az (dk)	51,3415
	Çıktı	Sisteme Giren Uçak	Toplam	516
		Sistemden Çıkan Uçak	Toplam	515

✓ Tablo 18’de görüldüğü üzere, sistemin herhangi bir anında piste inmeyi bekleyen uçak sayısının maksimum 2 ve bu süreçte harcanan sürenin maksimum 7,80 dk. olduğu belirlenmiştir.

Tablo 18. Sisteme girecek uçaklar için elde edilen program çıktıları

Alçalma	Birim	Yoldaki Uçak Sayısı	Ortalama	0,1864
			En Fazla	2,0000
			En Az	0,0000
	Akış Zamanı	Yolda Geçirilen Süre	Ortalama (dk)	7,8018
			En Fazla (dk)	7,8018
			En Az (dk)	7,8018
	Çıktı	Yola Giren Uçak	Toplam	516

✓ Pisti toplamda 1028 uçak kullanmıştır. Yani inen uçaklardan 3 tanesi tekrardan kalkmayarak hangara çekilmiştir. Model çalışmasının herhangi bir anında maksimum 2 uçak piste giriş yapmak için beklerken bu bekleme süreleri maksimum 3,56 dk. olarak belirtilmiştir. Piste tek seferde tek uçak hareket etmiş ve hareket süresi ortalama 2,11 dk. olmuştur. Pist yaklaşık %10 kullanım kapasitesi ile çalışmaktadır (Tablo 19).

✓ Taksi yolları eşit olarak kullanılmış olup her birisinin ortalama işlem zamanları da birbirine yakın çıkmıştır. Özellikle iniş işlemini gerçekleştiren uçakların kullandığı A ve B taksi yollarında sistemin herhangi bir anında kuyruk olduğu 5 ile 8 dk. arası bekleme olduğu görülmüştür (Tablo 20).

Tablo 19. Pist için elde edilen program çıktıları

Pist- Giriş	Kaynak	Kapasite	Kullanım Oranı	%	9,5185
			Gelen Uçak	Toplam	1028,0000
			Kullanılan Birim	Ortalama	0,0952
				En Fazla	1,0000
				En Az	0,0000
	Giriş Kuyruğu	İçerik	İstasyondaki Uçak Sayısı	Ortalama	0,0035
				En Fazla	2,0000
				En Az	0,0000
		Tutma Süresi	İstasyondaki İşlem Süresi	Ortalama (dk)	0,0731
				En Fazla (dk)	3,5679
				En Az (dk)	0,0000
		Çıktı	Giren Uçak	Toplam	1028,0000
			Çıkan Uçak	Toplam	1028,0000
		İşlem	İçerik	İstasyondaki Uçak Sayısı	Ortalama
	En Fazla				1,0000
	En Az				0,0000
	Tutma Süresi		İstasyondaki İşlem Süresi	Ortalama (dk)	2,1183
				En Fazla (dk)	4,2497
				En Az (dk)	2,0000
	Çıktı		Giren Uçak	Toplam	1028,0000
Çıkan Uçak			Toplam	1028,0000	

Tablo 20. A-B Taksi yolları için elde edilen program çıktıları

Taksi Yolu_A	Giriş Kuyruğu	Bekleyen Uçak Sayısı	Ortalama	0,0014
			En Fazla	2,0000
			En Az	0,0000
		Bekleme Zamanı	Ortalama (dk)	0,1105
			En Fazla (dk)	8,5052
			En Az (dk)	0,0000
Taksi Yolu_B	Giriş Kuyruğu	Bekleyen Uçak Sayısı	Ortalama	0,0013
			En Fazla	1,0000
			En Az	0,0000
		Bekleme Zamanı	Ortalama (dk)	0,1199
			En Fazla (dk)	5,0817
			En Az (dk)	0,0000

✓ Tablo 21'deki sonuçlara göre sisteme giren 516 uçak da apronlara uğramıştır. Bu uçaklar minimum 20 dk, ortalama 72 dk apronda bekleyip ayrılmışlardır. Aprondan çıkış sürecinde maksimum 2 uçak 8,5 dk. sıra beklemiştir. Apronda aynı anda ortalama 2, maksimum 7 uçak hizmet görmüştür. Bu bilgilere göre apron sahasının kullanım kapasitesi %12 dir.

Özet olarak sistemin mevcut durumunu yansıtan benzetim modeli incelendiğinde PAT sahasının ana öğeleri olan pist, apron ve taksi yollarında genel anlamda çok fazla sıklık oluşmadığı, hatta pist ve apronların doluluk oranlarının %10 dolaylarında olduğu görülmüştür. Ancak uçakların gelişler arası zamanından ötürü belirli zamanlarda sistemde 2 uçağın inmek için beklediği, ya da 1 uçağın taksi yolunu kullanmak için beklediği gözlemlenmiştir. Uçakların sistem içerisinde geçirdiği süre de oldukça farklılık göstermektedir. Ancak yapılan bir düzenleme ile bu süreyi azaltmak mümkün değildir. Çünkü uçakların iniş-kalkış saatleri özel olarak belirtilmektedir ve işlemi erken biten uçağın kalkış saatini beklemesi gerekmektedir.

Tablo 21. Apronlar için elde edilen program çıktıları

Apron	Kaynak	Kapasite	Kullanım Oranı	%	12,4184
			Gelen Uçak	Toplam	516,0000
			Kullanılan Birim	Ortalama	1,7386
				En Fazla	7,0000
				En Az	0,0000
	Çıkış Kuyruğu	İçerik	İstasyondaki Uçak Sayısı	Ortalama	0,0027
				En Fazla	2,0000
				En Az	0,0000
		Bekleme Zamanı	İstasyondaki İşlem Süresi	Ortalama (dk)	0,1141
				En Fazla (dk)	8,5052
				En Az (dk)	0,0000
	İşlem	İçerik	İstasyondaki Uçak Sayısı	Ortalama	1,7386
				En Fazla	7,0000
				En Az	0,0000
		Bekleme Zamanı	İstasyondaki İşlem Süresi	Ortalama (dk)	72,8520
En Fazla (dk)				412,6354	

## 2.7. Deneylerin Tasarlanması ve Çalıştırılması

Trabzon Havalimanı PAT sahasının mevcut durumu oluşturulduktan sonra, sistem modeli üzerinden deneyler yapılarak pist, apron ve taksi yolu doluluk oranları incelenmiştir.

Çalışmanın başında da belirtildiği üzere son yıllarda hava yolu taşımacılığına karşı yoğun ilgi vardır ve bu durum sonucu Türkiye genelinde uçak trafiğinden son sekiz yılda iki kat artış olmuştur. Bu artış dikkate alınarak geleceğe yönelik bir senaryo oluşturulmuş ve günlük ortalama 64 uçuşun olduğu Trabzon Havalimanı'nın on yıl sonraki durumunun günde 130 uçuş seferine çıktığı varsayılmıştır. Bu durumda uçuşlar arası ortalama zaman 12 dk. ve uçak gelişleri arası ortalama süre 24 dk. olacaktır. Bu veriler dikkate alınarak hazırlanan deney Şekil 32'deki gibi 360 saat 10 sefer koşturulmuştur.

Scenario			Replications		Controls
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	gelisler_arasi_zaman
<input checked="" type="checkbox"/>	senaryo 1	Completed	10	10 of 10	Random.exponential(20)
<input checked="" type="checkbox"/>	mevcut durum	Completed	10	10 of 10	Random.JohnsonSB(1.2055,0.76368,1.1731,178.83)
<input type="checkbox"/>					

Şekil 32. Mevcut model ile bir senaryonun çalıştırılması

Koşuturular sonucu elde edilen sonuçların karşılaştırılması Tablo 22’de verilmiştir. Yapılan incelemeler sonucu, uçak trafiğinde iki katlık bir artışın, apron ve pist kullanım oranını da %100 oranında arttırdığı gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, sistemin herhangi bir anında havalimanına inmek için bekleyen maksimum uçak sayısının 2,3’ten 4,4’e çıktığı, aprondan ayrılmak için bekleyen maksimum uçak sayısının 1,5’ten 2,4’e çıktığı ve son olarak taksi yollarında oluşan kuyruğun maksimum 1,1’den 2,1’e çıktığı gözlenmiştir. Apronlarda aynı anda işlem gören uçak sayısı 6,8’den 12 ye çıkmış, genel olarak sistemdeki toplam uçak sayısı ise maksimum 15,5’e ulaşmıştır.

Çıktı sonuçları incelendiğinde özellikle kuyruktaki beklemlerin çok arttığı gözlenmektedir. Ancak pist ve apronların kullanım oranları %20 civarındadır. Bunun nedeni, mevcut sistemde günlük olarak ortalama 40 dakikada bir uçak iniyor olmasına rağmen uçakların geliş sıklığına bakıldığında günlük inişlerin yarısının 2 dakika ile 20 dakika arasında olmasıdır. Bu durum ise belirli saatlerde trafikte sıkışıklığa sebep olmaktadır. Bu şekilde bir trafiğin çözülmesi normal şartlarda ikinci bir pistin varlığı ile giderilebilir ancak unutulmamalıdır ki mevcutta %10 kapasite ile çalışan bir pist varken havalimanında yaşanacak sıkışıklıklar çok seyrek olacaktır. Bu nedenle ikinci bir pistin yapım maliyeti de göz önüne alındığında, mevcut pistin uzun yıllar yeterli olabileceği görülmektedir.

Tablo 22. Senaryo sonuçları ile mevcut sistem sonuçlarının karşılaştırılması

Obje Adı	Veri Adı	İstatistik	Mevcut Durum	Senaryo
Uçak	Sistemdeki uçak sayısı	Ortalama	2,6461	5,7087
		En Fazla	8,7	15,5
	Uçağın sistemde geçirdiği zaman	Ortalama (dk)	111,3518	115,4504
		En Fazla (dk)	456,7596	461,5254
		En Az (dk)	53,8132	52,2255
	Sisteme giriş yapan uçak sayısı	Toplam	513,2	1.066,90
Sistemden çıkış yapan uçak sayısı	Toplam	510,6	1.061,50	
Alçalma	Piste inmeyi bekleyen uçak sayısı	Ortalama	0,1854	0,3853
		En Fazla	2,3	4,4
Pist_giriş	Pist kullanım oranı	%	9,4315	19,6129
	Pisti kullanan uçak sayısı	Toplam	1.018,60	2.118,40
	Piste girmeyi bekleyen uçak sayısı	En Fazla	1,7	3,2
	Uçağın kuyrukta bekleme süresi	En Fazla (dk)	3,6433	9,22
Apron	Apron kullanım oranı	%	12,3135	26,6411
	Aprona gelen uçak sayısı	Toplam	512,8	1.065,90
	Aprondan çıkmayı bekleyen uçak sayısı	En Fazla	1,5	2,4
	Çıkış kuyruğunda bekleme süresi	En Fazla (dk)	5,6927	8,0423
	Aprondaki uçak sayısı	Ortalama	1,7239	3,7298
		En Fazla	6,8	12
Taksi yolu	Giriş kuyruğu	En Fazla	1,1	2,1
	Kuyrukta bekleme zamanı	En Fazla (dk)	4,7048	7,0213

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ele alınan havalimanı sistemi hem karmaşık hem büyük bir sistemdir. Ayrıca sistem üzerinde deney yapılması mümkün değildir. Böyle bir sistem incelenmek istendiğinde ilk olarak sistemin bir modeli oluşturulur, model doğrulanır ve deneyler yapılır. Bu çalışmada da havaalanı sisteminin modeli kurularak doğrulanmış ve üzerinde senaryolar denenmiştir. Bu şekilde Trabzon Havalimanı PAT sahasının uçak trafiği incelenmiştir.

İlk olarak belirli bir dönem boyunca havalimanı pist, apron ve taksi yollarına ait uçak hareketlerinin işlem süreleri ile uçakların iniş-kalkış saatleri ile ilgili veriler toplanmış, istatistiksel olarak analiz edilmiş ve bu verilere uygun dağılımlar seçilmiştir. Ardından animasyon destekli yeni bir program olan SIMIO benzetim programı kullanılarak havalimanının bir modeli oluşturulmuş ve elde edilen veriler programa girilerek model çalıştırılmıştır. Model denge durumuna gelinceye kadar çalıştırılmış ve mevcut durumu gösteren sonuçlar incelenmiştir. Bu sonuçların doğruluğunun tespiti amacıyla bir uzman gözetiminde, program çıktıları gerçek sistem çıktıları ile karşılaştırılmıştır.

Mevcut model analiz edildiğinde, pist ve apronları %10 gibi düşük bir kullanım oranına sahip olduğu ve uçakların iniş-kalkışında maksimum iki uçağın beklediği gözlemlenmiştir. Bunun üzerine gelecek bir dönem için senaryo oluşturulmuş ve uçak trafiğinin iki katına çıkması durumunda sistemin vereceği tepkiler ölçülmüştür.

Oluşturulan senaryo sonucunda, piste girişte, aprondan çıkışta ve hatta taksi yoluna girişte bile uçak kuyruğu olduğu ancak pistin ve apronların genel kullanım oranlarının %25'e ancak ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durumda havaalanı meydan sahasının normal şartlarda yeterli olduğu ancak günün belirli saatlerinde anlık trafik yoğunluğundan dolayı hatlarda bekleme meydana geldiği sonucuna varılmıştır.

Şu anda Trabzon Havalimanı için ikinci pistin yapılması gerektiği gibi haberler ortaya çıkmaktadır. Yapılan bu çalışmanın sonucunda, gerek pistin gerekse diğer saha elamanlarının çok düşük bir doluluk oranına sahip olduğu ve uzun bir dönem boyunca da mevcut kapasitesinin yeterli olacağı söylenebilir.

Çalışmanın devamında;

- Havalimanında uçaklara verilen yer hizmetleri ile iç/dış hat yolcu terminal binaları modele dâhil edilerek genel bir havalimanı modeli oluşturulabilir. Bu şekilde, PAT sahasında karşılaşılmayan darboğaz soruna terminal çıkış kapıları ya da hizmet noktalarında rastlanılabilir.

- Bir maliyet analizi yapılarak, bekleme yapan uçakların uğradığı maliyet kaybı ile ikinci bir pist yapımının getireceği maliyet hesabı karşılaştırılıp yeni bir pist konusunda gerekli değerlendirmeler yapılabilir.

Havalimanı üzerine çalışma yapılırken sistemin büyük ve karmaşık olduğu hatırlanmalı ve özellikle verilere ulaşmanın zor olduğu bilinmelidir. Mevcut sisteme yakın bir model kurmak için doğru verilerin uzun süre gözlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle havalimanı yönetiminden özel izinler alınmalıdır. Bunun yanı sıra sistemin işleyişinin doğru anlaşılması için muhakkak sisteme hâkim ve yetkili kişilerden destek alınmalıdır. Ancak bu şekilde doğru sonuçların alınacağı bir çalışma yapılabilir.



#### 4. KAYNAKLAR

- Akdeniz, H. A. ve Tatar, B., 2009. Havalimanında Kuyruk Simülasyonu: İzmir-Gaziemir Adnan Menderes Havalimanı Uygulaması, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11, 3, 3-12.
- Al-Salihe, T., 2012. Akıllı Hava Trafik Kontrol Sisteminin Tasarımı ve Simülasyonları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Andreatta, G., Brunetta, L. ve Righi, L., 2007. Evaluating terminal management performances using SLAM: The case of Athens International Airport, Computers & Operations Research, 34, 6, 1532-1550.
- Aybek, F., 2009. Uçuş Eğitimi Amaçlı Havaalanlarının Kontrol Bölgesi Kapasitesinin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Bubalo, B. ve Daduna, J.R., 2012. Airport Capacity and Demand Calculations by Simulation - The Case of Berlin-Brandenburg International Airport, NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking, 12, 3, 161-181.
- Cheng, Y., 1998. A Rule-Based Reactive Model for the Simulation of Aircraft on Airport Gates, Knowledge-Based Systems, 10, 225-236.
- DHMİ, 2011. Havacılık Terimleri Sözlüğü, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Yayınları-1, Ankara.
- Erkut, H., 1992. Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı, İrfan Yayıncılık, İstanbul.
- Gatersleben, M. R. ve Weij, S.W., 1999. Analysis and Simulation of Passenger Flows in an Airport Terminal, Winter Simulation Conference, USA.
- Gerşil, M., 2004. İmalatta Simülasyon Kullanımı ve "Arena" Dili İle Bir Uygulama, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Manisa.
- Grether, D., Fürbas, S., ve Nagel, K., 2013. Agent-based Modelling and Simulation of Air Transport Technology, Procedia Computer Science, 19, 821-828.
- ICAO, 2001. Annex 11: Air Traffic Services, International Standards and Recommended Practices,.
- ICAO, 1996. Doc 4444- Rules Of The Air and Air Traffic Services, Procedures For Air Navigaiton Services.
- ICAO, 2006. Doc 9157: Aerodrome Design Manual Part 1 – Runways.

- ICAO, 2009. Annex 14: Aerodromes, International Standards and Recommended Practices.
- Ignaccolo, M., 2003. A Simulation Model for Airport Capacity and Delay Analysis, Transportation Planning and Technology, 26, 2, 135-170.
- Kavcar, B., 2004. Simülasyon Yöntemi Kullanılarak Yapılan Satış Tahminleriyle Satış Bütçesi Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Ankara.
- Kaya, E., 2005. Havaalanlarında Yap İşlet Devret Uygulamaları: Antalya ve Atatürk Havalimanlarındaki Uygulamaların Değerlendirilmesi, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Kesikbaş, E., 2006. Havalimanı Terminal İşletmeciliği ve Konya Havaalanı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Kütahya.
- Kılıç, S. ve Kaylan, A.R., 2005. Uçak Çizelgeleme Probleminin Karınca Kolonileri Optimizasyonu İle Çözümü, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 2, 1, 87-95.
- Law, A. M., 2008. Simulation Modeling and Analysis, McGraw Hill, USA.
- Mirkovic, B., 2011. Airport Apron Capacity Estimation – Model Enhancement, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 20, 1108-1117.
- Ören, T. I., 2006. Benzetim: Temel Kavramlar ve İlerlemeler, Türkiye Bilişim Ansiklopedisi, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pitfield, D. E., Brooke, A.S. ve Jerrard, E.A., 1998. A Monte-Carlo Simulation of Potentially Conflicting Ground Movements at a New International Airport, Journal of Air Transport Management, 4, 3-9.
- Pritsker, B. A., Introduction to Simulation and Slam II, John Wiley and Sons, New York, 1986.
- Roanes-Lozano, E., Laita, L. M., ve Roanes-Macías, E., 2004. An accelerated-time simulation of departing passengers' flow in airport terminals, Mathematics and Computers in Simulation, 67, 1-2, 163-172.
- Sarıaslan, H., 1986. Sıra Bekleme Sistemlerine Simülasyon Tekniği, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Satılmış, A., 2011. Single Airport Ground Holding Problem: An Application in Adnan Menderes Airport, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Schmidt, J. W. ve Taylor, R.E., 1970. Simulation and Analysis of Industrial Systems, Richard D. Irwin: Homewood, IL, USA.

- Stolletz, R., 2011. Analysis of Passenger Queues At Airport Terminals, Research in Transportation Business & Management, 1, 1, 144-149.
- Suryani, E., Chou, S.Y. ve Chen, C.H., 2012. Dynamic Simulation Model of Air Cargo Demand Forecast And Terminal Capacity Planning, Simulation Modelling Practice and Theory, 28, 27-41.
- Şahin, B., 2007. Spor Tesislerinde Kuyruk Modelinin Benzetim Yöntemiyle Çözümü, Yüksek Lisans Tez, Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Resmi Gazete, Ulaştırma Bakanlığı Hava Alanı Yapım, İşletim ve Sertifikalandırma Yönetmeliği Başbakanlık Basımevi (SHY-14A), 24755.
- Tofukuji, N., 1997. Air Traffic Flow Management Methods: Development and Testing by Real-Time Dynamic Simulation Experiments, Electronic and Communication in Japan, 80, 1, 35-44.
- Turna, T., 2009. Bir Havaalanı Dış Hatlar Terminalinin Benzetim İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- URL-1, <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>, Uçak, Yolcu ve Yük İstatistikleri.
- URL-2, <http://en.wikipedia.org/wiki/Airport>, Airport, Jenuary 2013.
- URL-3, <http://www.trabzon.dhmi.gov.tr/havaalanlari/sayfa.aspx?hv=8&mnu=1342#.VU9v-vntmko>, Trabzon Havalimanı Tarihçesi.
- URL-4, <http://www.anylogic.com/use-of-simulation>, Simülasyonun Avantajları.
- Uslu, T., 2012. Hava Trafik Akış Yönetimi ve Esenboğa Havalimanı Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Yan, S., Shien, C.Y., ve Chen, M., 2002. A Simulation Framework for Evaluating Airport Gate Assignments, Transportation Research Part A, 36, 885-898.
- Yan, S., Tang, C.H. ve Chen, M., 2004. A Model And a Solution Algorithm For Airport Common Use Check-In Counter Assignments, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 38, 2, 101-125.
- Yıldız, A., 2010. Benzetim Modellemesi ile Üretim Sistemlerinde Süreç Optimizasyonu ve Bir Uygulama Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı, İzmir.

## 5. EKLER

**Ek 1. Örnek Bir Gün İçin Uçak İniş Saatleri ve Gelişler Arası Zamanları**

İniş Saati	Gelişler Arası Zaman	İniş Saati	Gelişler Arası Zaman
02:43	117	15:20	79
04:40	16	16:39	5
04:56	10	16:44	39
05:06	21	17:23	21
05:27	7	17:44	23
05:34	72	18:07	52
06:46	25	18:59	8
07:11	14	19:07	11
07:25	38	19:18	34
08:03	43	19:52	71
10:46	22	21:03	31
11:08	39	21:34	8
11:47	23	21:42	9
12:10	5	21:51	11
12:15	5	22:02	56
12:20	32	22:58	11
12:52	74	23:09	13
14:06	4	23:22	16
14:10	70	23:38	32

## Ek 2.: Johnson SB Dağılımı Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

### Parametreler

- $\gamma$  - Şekil parametresi
- $\delta$  - Şekil parametresi ( $\delta > 0$ )
- $\lambda$  - Ölçü parametresi ( $\lambda > 0$ )
- $\xi$  - Konum parametresi

### Alan

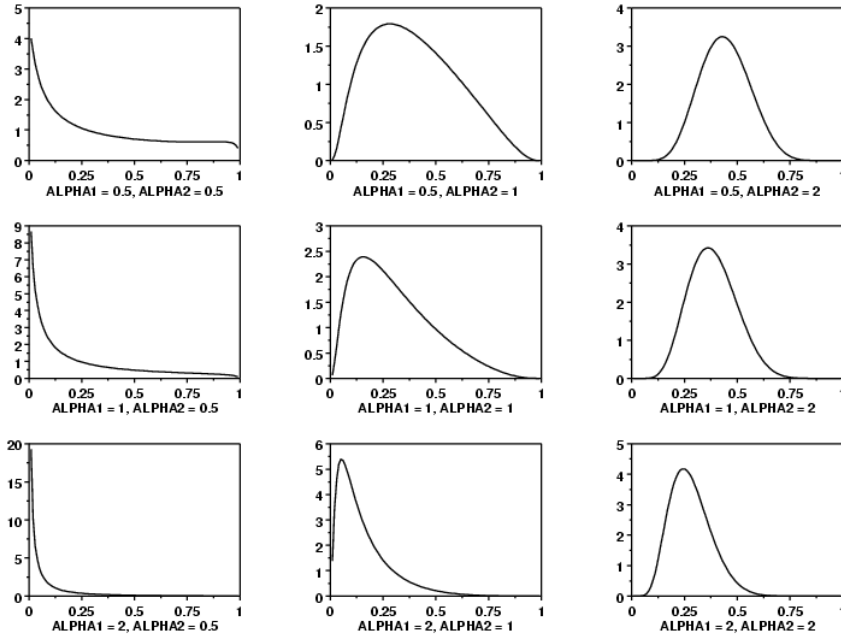
$$\xi \leq x \leq \xi + \lambda$$

### Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

$$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} z(1-z)} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\gamma + \delta \ln\left(\frac{z}{1-z}\right)\right)^2\right)$$

$$z \equiv \frac{x - \xi}{\lambda}$$

Buna göre, farklı parametre değerlerinde Johnson SB'nin OYF gösterimi şu şekildedir;



## **ÖZGEÇMİŞ**

Fatma Betül Yeni, 1990 yılında Bursa'da doğdu. 2007 yılında Şanlıurfa ÇEAŞ Anadolu lisesinden mezun olduktan sonra aynı yıl Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı ve 2011 yılında mezun oldu. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisan öğrenimine başladı. 2012 yılı Şubat ayından beri Karadeniz Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görevine devam eden Fatma Betül Yeni, iyi derecede İngilizce bilmektedir.