

HAVALİMANINDA KUYRUK SİMÜLASYONU: İZMİR-GAZİEMİR ADNAN MENDERES HAVALİMANI UYGULAMASI

H. Ahmet AKDENİZ*
Bülent TATAR**

Özet

Bilindiği gibi 6-16 Temmuz 2005 tarihleri arasında İzmir’de yapılacak olan 23. Uluslararası Üniversite Olimpiyat oyunları; dünya olimpiyatlarından sonra gerçekleştirilen en büyük spor organizasyonudur. 170 ülkeden 8000’e yakın sporcumun katılacağı bu organizasyonun başarılı olmasındaki ilk aşama tartışmasız havayolu ulaşımının düzenli sağlanmasıdır. Buradan hareketle; İzmir- TÜRKİYE Adnan Menderes Havalimanında ulusal trafiğin yanı sıra söz konusu tarihlerde uluslararası hava trafiğinin de yoğunlaşması nedeniyle havayolu ulaşımı optimizasyonuna gereksinim duyulması kaçınılmazdır. Buna bağlı olarak havalimanına gelen-giden uçakların bekleme optimizasyonunun yapılması gerekmektedir. Buna göre havalimanında yeni bir piste ihtiyaç duyulup duyulmadığı incelemesi yapılacaktır. Bunu yapabilmek için havalimanında 2002 yaz döneminin en yoğun günü olan 30-08-2002 baz alınarak inceleme yapılmıştır. Bahis konusu gün içerisinde havalimanını kullanan 100 uçak gözlemlenerek veriler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, Kuyruk Simülasyonu, optimizasyon.

QUEUING LINE SIMULATION IN AIRPORT: APPLICATION OF İZMİR- GAZİEMİR ADNAN MENDERES AIRPORT

Abstract

23rd International Universiade Olympic Games will be held in Izmir between July 6 and 16 and is the second largest organisation after world olympic games. Almost 8000 athletes from 170 different countries will attend to the games and a well organised airway transportation traffic is one of the major concerns. Thus optimization of the airway traffic is needed also because of the expected increase of the density of Adnan Menderes Airport due to continuing national air traffic. Waiting time optimization of the incoming and outgoing planes is a necessity. So it will be examined if a new landing field is need or not. In order to do this the most crowded day 08 30 2002 is selected as a referance and analysis has been carried. Data have been collected from the observation of 100 planes that had been used on the selected date.

Keywords: Simulation, Queueing Simulation, Optimization.

* Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü
+90 232 420 41 80, ahmet.akdeniz@deu.edu.tr

** Ekonometrist, +90533-5716113, bt_or@yahoo.co.uk

1. GİRİŞ

Türkiye de bulunan havalimanlarından yoğun olanlardan İstanbul, Ankara, özellikle yaz turizmi nedeniyle Antalya ve İzmir'den oluşan 4 büyük şehrimizde hava trafiği oldukça yoğundur. Bu nedenle belirtilen şehirlerdeki havalimanlarının pist kullanımı açısından yeterli olup olmadığını dolayısıyla yolcu trafiği konusunda analiz ve yorumlama yapabilmek için "Kuyruk Simülasyonu'nun" gerçekleştirilmesi kaçınılmazdır. Çünkü yılın bazı aylarında sözü edilen havalimanlarında kongre turizmi ve sportif organizasyonlar nedeniyle gerçekleşen talep artışı sistemde aksaklıklar oluşmasına neden olmaktadır. Örneğin, ülkemizde 2004'te Eurovision şarkı yarışması ve 2005'te 23. Uluslararası Üniversite Olimpiyat Oyunları ve Formula 1 otomobil yarışları gerçekleştirilecektir. Söz konusu bu faaliyetlerin ulaşım açısından aksamadan yürümesi için özellikle hava trafiği konusunda net bilgilere sahip olunması gerektiği aşikârdır. Bu nedenle 6-16 Temmuz 2005 tarihleri arasında İzmir'de düzenlenecek büyük bir organizasyon olan 23. Uluslararası Üniversite Olimpiyat Oyunlarının, İzmir – Adnan Menderes Havalimanı trafiğinde nasıl bir yoğunluğa yol açacağı incelenerek, analizi ve yorumlanması bu çalışmanın konusu olmuştur.

Çizelge 1: 30-08-2002 tarihinde pisti kullanan uçak sayısı

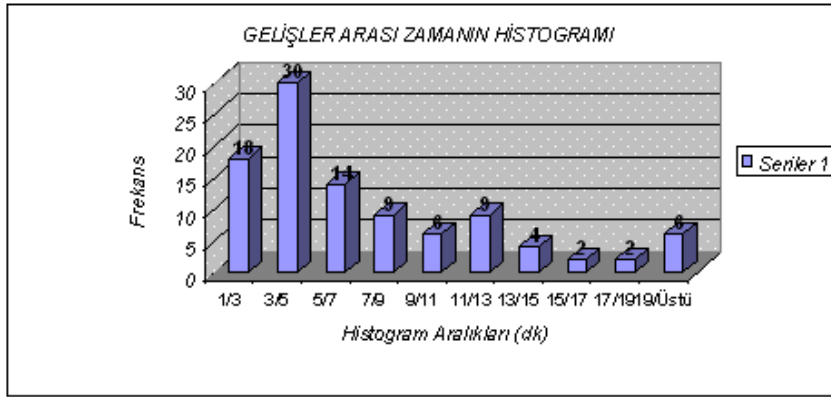
Gelişler arası zaman (dk)	Frekans
1 ile 3 dk. arası	18
3 ile 5 dk. arası	30
5 ile 7 dk. arası	14
7 ile 9 dk. arası	9
9 ile 11 dk. arası	6
11 ile 13 dk. arası	9
13 ile 15 dk. arası	4
15 ile 17 dk. arası	2
17 ile 19 dk. arası	2
19 dk. ve üstü	6

Adnan Menderes Havalimanının söz konusu tarihlerde yoğunluğunun ne olacağını belirlenmesi için havalimanının yoğun olduğu 30-08-2002 tarihinde 07:00 ve 19:20 saatleri arasında diğer bir deyişle 740 dakikalık bir süreçte "pistin doluluğu" gözlemlenmiştir. Elde edilen verilerle kuyruk simülasyonunu oluşturabilmek amacıyla temelinde Siman komutlarını kullanan Windows ara yüzüne sahip, başarılı bir simülasyon için gereksinim duyulan animasyon, uçağın iniş-kalkışlarını içeren verinin analizi gibi fonksiyonları detaylı bir şekilde içeren bir simülasyon programı olan ARENA paket programının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar yorumlanarak öneriler getirilecektir.

2. ADNAN MENDERES HAVALİMANI TRAFİĞİNİN GÖZLEMLENMESİ

Adnan Menderes Havalimanı yaklaşık 20 yıl önce gereksinim duyulması üzerine İzmir-Gazimemir de geniş bir alanda; tek pistli olarak kurulmuş olup uluslar arası havalimanı niteliğindedir. İç hatlar ve dış hatlar terminalleri ayrı binalarda eğitim seviyesi yüksek personel ile hizmet vermektedir. Söz konusu havalimanına şehir merkezinden mevcutta tren yolu ve çevre yolu bağlantılı kara yolu ulaşımı söz konusu olup yakın bir gelecekte de hafif raylı metro sistemi ile ulaşım planlanmaktadır. Ayrıca havalimanının uluslararası turizm çerçevesinde İzmir için özellikle Balçova Kaplıcaları, Çeşme ilçesi ve çevre iller için önemli bir yeri bulunmaktadır. Adnan Menderes Havalimanının 2002 yılı yaz döneminde en yoğun olduğu gün olan 30 Ağustos 2002'de 100 uçağın iniş – kalkış ve piste geliş sürelerinin dağılımı gözlemlenmiştir. Buradan elde edilen veriler çizelge 1'de gösterilmiştir. Burada gelişler arası zamandan anlaşılın, uçakların iniş veya kalkış amaçlı pisti kullanmak için piste gelişleri arasındaki zaman farkıdır. Çizelge 1'de görüldüğü gibi 18 uçak iniş ya da kalkış için bir önceki uçaktan 1-3 dakika sonra pisti kullanmak için sıraya girmiştir. Elde edilen verilerin histogramı ise şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1: Gelişler arası zamanın histogramı



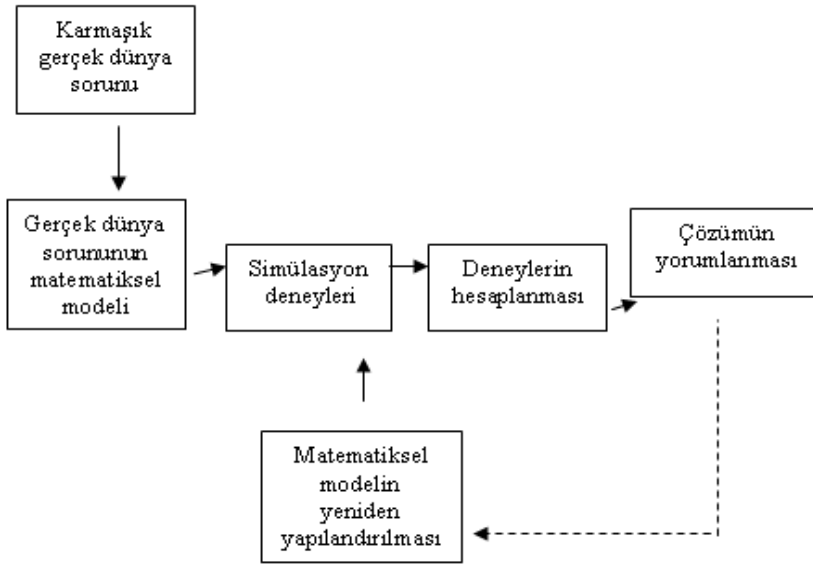
3. SİMÜLASYON MODELLEMESİ

3.1. Simülasyonun Tanımlanarak Program Seçimi

Bilindiği gibi simülasyon dinamik bir sistemin özelliklerini bilgisayar aracılığıyla veren ve sonuçlarını sayısal olarak değerlendiren bir tekniktir. Bu yolla elde edilen sonuç aranan model karakteristiklerine ait birer tahmindir. Joseph H.Mice simülasyonun sistem üzerinde denemeler yoluyla ya da sistemle ilgili bir sorunun analitik çözümünü bulmak yerine sistemin modelini kurup denemelere girişme anlamında tanımlamıştır. Morgenthaler ise simülasyonu sistemin çekirdeğini ya da gerçeğe ulaşmaksızın sistemin faaliyetlerinin bir kolyesi şeklinde tanımlamıştır. Tarihi gelişimi içerisinde simülasyon kelimesi; Monte Carlo, şans oyunu, model örnekleme ve bunların çok sayıda kombinasyonları olan birden

fazla terim eşleştirilmiştir. Analitik yaklaşımların tersine simülasyon modelleri kompleks sorunların modellenmesi yolu ile çözümünde daha başarılı olurlar. Değişkenler arasındaki etkileşim simülasyon modellerinde daha iyi gözlenir. Ancak bu durum yoğun bilgisayar kullanımını gerektirir. Gerçek sistemden elde edilen bilgiler bilgisayarda geliştirilen modellere uygulanarak sayısal sonuçlara varılmak amaçlanır. Daha sonra yorumlanma yoluyla sistem performans etkinliğine ilişkin tahminlerde bulunulur. Simülasyon modelleri yolu ile senaryolarda incelenebilir. Simülasyonun bir kavramsal yaklaşımının özeti şekil 2’de gösterilmiştir.

Şekil 2: Simülasyonun kavramsal yaklaşımı



Bu verilen simülasyon bilgisi mantığından hareketle bilindiği gibi simülasyon uygulamalarında rastgele sayı üretimi, sayılar planının uyumlaştırılması, hesaplamalar, özel veri çıktılarını da kapsayan tüm detayların programlanması bilgisayar programlarını gerektirmektedir. Bunun için Fortran, Pascal, Siman, Simscript, Simpaio, Dynamo ve Gasp gibi genel amaçlı simülasyon dillerinin yanı sıra özel amaçlı GPSS, DYNAMO, SIMSCRIPT RAND, Simpac, Simulate, GSP, ESP, CSL, Monte Code ve CLP dilleri mevcuttur. Bu bilgilerin ışığı altında Siman komutlarını kullanan ARENA paket programı elde edilen verilerin analizinde kullanılmıştır.

3.2. Kullanılan Paket Program Hakkında Kısa Bilgi

Bu program Systems Modeling Corporation adlı firmanın geliştirdiği Windows altında çalışan bir simülasyon programıdır. Windows altında çalıştığı için menüler, pencereler ve araç çubukları ile çalışma konusunda önceki bilgilerimizde katkısı ile çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Program modeli oluştururken ve çalıştırırken “komut bilgisine ihtiyaç duymamasına rağmen” Siman komutlarını kullanır. Birçok şablona sahip olan bu programda şablonlarda kısa

yolları verilmiş modülleri (Arrive, Server, Depart gb) program sayfanıza ekleyerek ve bu modülleri çift tıklayarak açılan pencereye gerekli bilgileri (istasyon adı, geliş zamanı, akış zamanı gb) girerek model programımızı oluşturabiliriz. Programın içerisinde Input Analyzer, Arena, Output Analyzer, Scenario Manager ve Arena Viewer adı altında toplam 5 tane program prosedürü bulunmaktadır. Programın bazı özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

a) Arena'nın nesne temelli çizim sisteminde önce bir nesne seçilmeli daha sonra gerekli işlemler yapılmalıdır. (Gerekli işlemi nesnenin üzerinde çift tıkladığımızda açılan pencerede yaparız.)

b) Nesnelerin karakteristiklerinin (özelliklerinin) değiştirilmesi için Undo (File/Undo veya Ctrl+Z veya geri ok tuşu) ve Redo (File/Redo veya Ctrl+Y)komutları kullanılabilir.

c) Program mouse'un sağ tuşunun kullanımına izin vermektedir. Mevcut fonksiyondan çıkma işlemini sağ tıklayarak gerçekleştiririz. Yaptığımız bir şekil çizimini tamamlayıp çıkabilmek için mouse'un sağ tuşunu kullanırız.

d) Çizim yaparken Shift tuşunu basılı tutmak yapılan işlemlere bazı özellikler kazandırmaktadır. Bu özellikler çizilen şekle göre değişebilmektedir. Örneğin çizgiler yatay, dikey veya 45°açı ile, dikdörtgen çizimi kare ile, elipslerde daire ile çizilecek biçimde ayarlanabilir.

e) Programda birden çok açık pencere ile çalışabilir ve çalışma esnasında pencereler arası geçiş yapmak istenirse Ctrl+Tab tuşu ile bunu sağlayabiliriz.

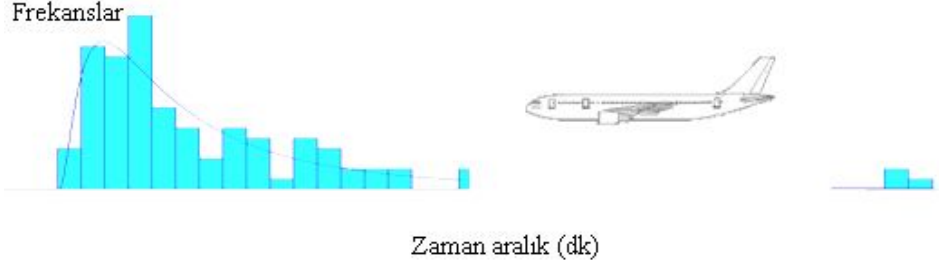
f) Programda model içinde Ctrl+D veya Insert tuşuna basarak seçili nesnenin kopyasını yaratabiliriz.

Ayrıca; Arena simülasyon dillerinin esnekliğinin yüksek seviyeli modelleme yeteneğini simülasyon dışı (Fortran, Visual Basic ve C) dillerle desteklemektedir. Arena'da istenildiği takdirde SIMAN simülasyon dilinden modüller yerleştirilebilmekte Hand Simulation dili yardımıyla yazar gibi komutları ekranda tıklayarak yerleştirebilmekteyiz. Bu sayede bir çok dalda simülasyon yapılabilmektedir.

4. UYGULAMA

4.1. Verilerin Dağılımının Belirlenmesi

Gelişler arası zamanın istatistiksel dağılımının tespiti Arena 3.0 programı ile gerçekleştirilmiştir. Buradan elde edilen dağılım tipi şekil 3'te gösterilmiştir. Ve söz konusu dağılım grafiğine dayanarak elde edilen bilgiler ise çizelge2'de gösterilmiştir.

Şekil 3: Verilen dağılım tipinin gösterilmesi.**Çizelge 2 :** Verilen dağılım tipinin sayısal özeti

<i>Distribution Summary</i>	<i>Data Summary</i>
Distribution: Lognormal	Number of Data Points = 100
Expression: $0.5 + \text{LOGN}(7.01, 8.15)$	Min Data Value = 1
Square Error: 0.007106	Sample Mean = 7.42
<i>Chi Square Test</i>	Sample Std Dev = 7.17
<i>Number of intervals</i> = 7	<i>Histogram Summary</i>
Degrees of freedom = 4	Histogram Range = 0.5 to 37.5
Test Statistic = 4.05	Number of Intervals = 37
Corresponding p-value = 0.414	

Çizelge 2’de görüldüğü gibi verilerin dağılımı LOGN(7.01, 8.15) şeklindedir. Bununla birlikte Ki-kare testi sonuçları anlamlı olup verilerin dağılıma uygun olduğunu görülmektedir.

4.2. Verilerin Paket Programa Girilmesi:

Arena programının en büyük özelliği şekil 4’de de görüldüğü gibi görselliğe olanak vermesidir. Burada çeşitli modüller bulunmaktadır. Bu modüllere girilen değerler çeşitli tanımlamalar ve istatistiki bilgilerden oluşmaktadır. Bu modülleri kısaca incelersek;

Arrive Modülü: Uçakların gelişlerinin oluşturulduğu yerdir. Arrive modülüne girebileceğimiz bilgi türleri üç kısma ayrılmıştır. Enter Data, uçaklar için giriş noktasının tarif edildiği kısımdır. Çalışmamızda buradaki değer “Pist Başı” olarak karşımıza çıkmaktadır. Arrival Data, gelişlerin tarif edildiği ve dağılımının girildiği kısımdır. Son olarak üçüncü kısım ise Leave Datadır ve bu kısma uçakların bir kere sisteme geldikten sonra uçaklara neler olduğunu belirten kısımdır.

Server Modülü : Server modülü makineyi(uçak), kaynağı(pist), kuyruğu ve kuyrukta bulunanların (uçakların) işlemleri için gerekli zamanları içerir. Arrive modülü gibi Server modülü de üç ana bölümden oluşmaktadır. Enter Data, modüle gerekli olan istasyon ismini vermektedir. Yani server modülünün ismi olacak olan “Pist” değerinin yazıldığı yerdir. İkinci kısım ise Server Data kısmıdır. Bu kısımda uçaklara server’dayken neler olduğu açıklanmaktadır. Son olarak üçüncü kısım olan Leave Data kısmında ise bu modülü terk eden uçakların kontrolü yapılmaktadır. Yani server’dan çıktıktan sonra nereye gideceklerinin ve gidiş sürelerinin tanımlandığı kısımdır.

Depart Modülü : Bu modülde sistemi terk eden uçaklar gösterilmektedir. Bu modülde üç bölümden oluşmaktadır. Enter Data kısmında müşterilerin sistemi nasıl terk edeceklerini belirttik. Bu kısımda istasyonu “Pist sonu” olarak adlandırdık. Count kısmında ise uçakların sistemi terk ettikçe sayısal değeri artacak olan mavi kutucuk tanımlanmıştır. Bu kutucuk simülasyonu çalıştırmadan önce 0 olarak görüntülenmelidir. Simülasyon sonunda ise 99 olarak görülmüştür. Üçüncü kısım olan Tally kısmında ise uçakların hesaplanması ve akış zamanlarının kayıtlarının tutulması sağlanmaktadır. Yapılan işlemlerle uçağın akış zamanı Arrive modülünde başlayıp, Depart modülünde son bulmuştur.

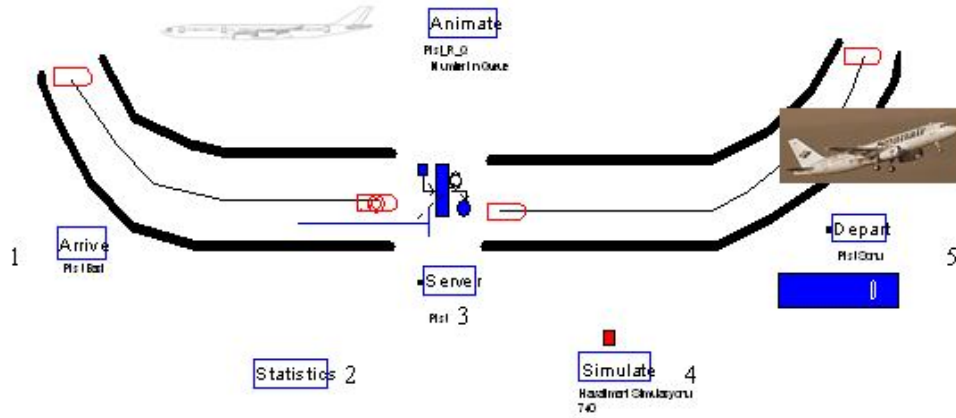
Simulate Modülü: Bu bölümde; çalışma uzunluğu (başlangıç zamanı 0, bitiş zamanı 740 dakikadır.), tekrar sayısı (varsayılan olarak 1’dir.) bilgilerinin yanı sıra “proje adı, analizi yapanın adı ve projenin tarihi” bilgileri girilerek çıktıda yer alması sağlanır.

Statistics Modülü: Output Analyzer’ı kullanabilmek için bu modülden yararlanılır. Bu modül simülasyonun çalışması esnasında istediğimiz istatistik türünün kaydını tutar.

Animate Modülü: Bu modülde animasyonu yapılan uçaklardan hangi göstergelerin istendiğine karar verilir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yukarıda kısaca tanımlanan ve uygulamamız için gerekli verileri girdiğimiz modüllerin ekran görüntüsü aşağıdaki şekil 4’te görülmektedir. Şekil 4’deki numaralandırılmış bölgeleri açıklayacak olursak;



Şekil 4: Modüllerin Ekran Görüntüsü

Çizelge 3: Simülasyon sonuç çıktısı

Project: Havalimanı Simülasyonu		Run execution date : 1/ 5/2003			
Analyst: Bülent TATAR		Model revision date: 1/ 5/2003			
Replication ended at time : 740.0					
TALLY VARIABLES					
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Akis Zamani	47.820	(Insuf)	7.4200	87.076	99
Pist_R_Q Queue Time	40.530	(Insuf)	.00000	79.656	100
DISCRETE-CHANGE VARIABLES					
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in Pist_R_Q	5.7516	(Insuf)	.00000	11.000	8.0000
Pist_R_Busy	.99981	(Insuf)	.00000	1.0000	1.0000
Pist_R_Available	1.0000	(Insuf)	1.0000	1.0000	1.0000
COUNTERS					
Identifier	Count	Limit			
Ucak	99	Infinite			
Simulation run time: 0.02 minutes.					
Simulation run complete.					

1. Pist başı olarak değerlendirilmiş ve uçakların pisti meşgul etmeye başladıkları yer olarak belirlenmiştir.

2. Bu nokta bizim "server"ımızı temsil etmekte ve Pist olarak adlandırılmaktadır.

3. Pist sonu olarak değerlendirilmiş ve uçakların ya limandan ayrılışlarını ya da hangara veya servis bölgesine çekildiklerini yani pisti boşalttıkları yer olarak belirlenmiştir.

4. Bu noktada bulunan “arrive” modülü ise uçakların piste giriş yapmalarını sağlayan verilerin girildiği modüldür. Bu nokta uçağın “server” ile ilişkisinin başladığı nokta olarak da tanımlanabilir.

5. “Depart” modülü ise uçakların bir şekilde pistten ayrıldıklarını ve diğer bir uçağın pisti kullanabileceğinin yani uçağın “server” ile ilişkisinin kesildiği noktadır.

Çizelge 3’te görüldüğü gibi Tally Variables kısmında görülen “Akış Zamanı” satırında uçakların ortalama akış zamanı süresi 47.820 dakika olarak belirtilmektedir. Ayrıca minimum akış zamanı 7.42 dakika maksimum akış zamanı ise 87.076 dakika olarak bulunmuştur.

Sistemde ortalama olarak her zaman 6 uçak hazır halde işlem görmek için sırada beklerken pistin doluluk oranı ise 0.99981 olarak bulunmuştur. Sistemin maksimum taşıyabileceği uçak kapasitesi 11 olarak görülmektedir. Maksimum 1 uçak için pist kullanılışlıdır.

Havalimanında uygulanan “**Euro Control**” sistemi ile Avrupa’da bulunan havalimanları ile ortak bir çalışma yürütülmektedir. Bu ise hava trafiğindeki sıkışıklığı büyük ölçüde önlemekle birlikte, sağlıklı bir kontrol mekanizması oluşturmaktadır. Radar sisteminin kullanılması ise uçakları takip açısından bir başka önemli nokta olmakta ve bu sistem sayesinde aynı anda alana iniş yapacak iki uçak ve kule arasında kurulan bağlantı ile “uçaklar birbirlerine paralel uçuyorlarsa aralarındaki mesafe 2000 fit’e çıkartılmakta veya uçaklar aynı yönde uçuyorlarsa birine hız düşürülerek, diğerine ise hız artırılarak aralarında 3 dakikalık bir zaman farkı olması sağlanmakta” ve pistte oluşacak herhangi bir kuyruk önlenilmeye çalışılmaktadır. Ancak talep artışıdaki gelişmeler sonucunda böyle bir uygulama yolcuları havada bekletmek anlamına geleceğinden ve müşteri memnuniyeti esas olduğundan sağlıklı bir durum olmayacaktır. Gözlem sonucunda bir uçak kalkış ya da iniş için piste geldiğinde ortalama 11 dakika pist zamanı gerekmektedir. Uçağın pistte harcandığı zaman sabit olmayıp 6 dakika ile 24 dakika arasında değişip Erlang (1.82 , 3) dağılışı göstermektedir. Ayrıca bir uçağın piste inişini veya kalkışını gerçekleştirmesi ortalama 3 dakika olarak gözlemlenmiştir. Yani bir uçağın pisti meşgul ettiği sürenin ortalama 11 dakikanın son 3 dakikasını ya iniş için ya da kalkış için kullandığı görülmektedir. Bu nedenle kuyruk oluşsa bile uçağın 3 dakika içerisinde havalimanı ile ilgili aşamayı bitirmesi yani sadece kalkış veya sadece iniş hareketini tamamlaması gerekmektedir.

Bu sonuçlardan ve önceki açıklamaların ışığında açıkça görülüyor ki havalimanı, düzenlenecek söz konusu olimpiyatın ağırlığını kaldıramayacak seviyededir. Kuyruk oluşmaması için ikinci bir piste gereksinim vardır. İleriki aşamada bu konuyla ilgili yeni bir pistin ekonomik analizinin yapılarak sonuçlarının değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

KAYNAKÇA

Akdeniz, H.A. “Yöneylem Araştırması”, Can Ofset, İzmir-2000.

Akdeniz, H.A. ve Durmaz, F. “Simulation of providing the Electric Need Of Residence By The Use of The Wind Energy in Izmir-Turkey”, S.D.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi Cilt:7,Sayı2, Sayfa:345-368, Isparta-2002.

Bonini, C. P. 1963. *Simulation of Information and Decision Systems in the Firm*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall.

Box, G., M. Muller, “A Note on the Generation of Random Normal Deviates,”*Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 29, pp.610-611,1958.

Bulgren, W. 1982. *Discrete System Simulation*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall.

Chorafas, D. N. 1965. *Systems and Simulation*. New York: Academic Press, Inc.

Emshof, J. R., and Roger L. S. 1970. *Design and Usa of Computer Simulation Models*. New York: Macmillan Publishing Company.

Gordon, G. 1978. *System Simulation*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall.

Halaç, O. “Kantitatif Kara Verme Teknikleri”, 3. Baskı,Evrım Dağıtım, İstanbul-1991

Karayalçın, İ.İ. *Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi El Kitabı II*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul-1986

Law, A., and Kelton, W., *Simulation Modelling & Analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1991.

Markland, R. E. (1989) *Topics in Management Science*, John Willey. Canada.

Ross, S., *A Course in Simulation*, Macmillan, New York, 1990.

Taha, H., *Simulation Modelling and SIMNET*, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 1988.

Taha, H., *Operations Research*, sixth Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 1997.