



## HAVAYOLU ŞİRKETLERİ UÇUŞ PLANLARI VE ROTALARI SİMÜLASYONU İLE OPTİMUM YOLUN BULUNMASI

*İlkün ORBAK* \*  
*Âli Yurdun ORBAK* \*\*

Alınma: 28.02.2020; düzeltme: 03.04.2020; kabul: 03.04.2020

**Öz:** Günümüzde zaman ile yarış önemli olmaktadır. En hızlı ulaşım aracı olarak havayolu birinci sırayı almaktadır. Son zamanlarda yeni birçok havayolu şirketinin kurulmakta olduğu ve mevcut olan havayolu şirketlerinin de kapasitelerini filolarına yeni uçak katarak artırdığı görülmektedir. Bununla birlikte artan pilot sayısı, uçuş mürettebat sayısı, yer personeli sayısı vb. maliyetleri de oldukça artırmaktadır. Uçak filo ağlarının firmalar tarafından dikkatlice planlanması ve çizelgelemesi ile maliyetlerin azaltılması bir çözüm olarak düşünülmektedir. Bunun için gelişmiş bilgisayar destekli programlar kullanılmaktadır. Kullanılan değişik yöntemler ile işletmeler arasında rekabet artmıştır. Havayolu işletmesi sektöründe düzensiz olayların yönetimi, ekip çizelgeleme, uçak çizelgeleme ve uçuş çizelgeleme temel operasyonel planlama ve çizelgeleme problemini oluşturmaktadır. Rotalama problemi olarak da adlandırılan uçuş çizelgeleme problemi en temel problemdir. Burada, rota planlama ile en uygun maliyetli güzergâh optimize edilir. Bu çalışmada, incelenen havayolu firmasının 2 uçuş rotasının filo çizelgeleme ve mürettebat çizelgeleme kavramları simülasyon yardımıyla incelenmiş ve yapılan çalışmalar üzerinde durulmuştur. İncelenen rotalar üzerinde uçuş sayısında artış sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Uçak Rotalama, Çizelgeleme, Simülasyon

### Finding the Optimal Path Using Simulation of Airline Companies' Flight Plans and Routes

**Abstract:** Today, racing with time is an important feature. As the fastest means of transportation, the airline takes the first place. It is obvious that many new airline companies have recently been established and existing airline companies have increased their capacities by adding new airplanes and routes to their schedules. However, as the number of pilots, the number of flight crews, the number of ground personnel, etc. increases costs are also increasing considerably. Careful planning and scheduling of aircraft fleet networks by companies is considered as a solution to reduce these costs. Usually advanced computer-aided programs are used for this purpose. Competition between companies also continues with different methods used in this manner. In the airline industry, irregular event management, team scheduling, aircraft scheduling and flight scheduling constitute the main operational planning and scheduling problem. The flight scheduling problem, also called the routing problem, is the most fundamental problem in which the most cost-effective route is optimized. In this study, concepts of fleet scheduling and crew scheduling of two flight routes of the examined airline company were analyzed using simulation methods. Number of flights have increased on the examined routes.

**Keywords:** Airplane Routing, Scheduling, Simulation

\* Maltepe Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34857, Türkiye

\*\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa, 16059, Türkiye

## 1. GİRİŞ

Rota planlama, belirli bir harita üzerindeki iki uçuş noktası arası en uygun yolu bulunması problemidir. Uygunluk kriterleri maliyeti etkileyen yol uzunluğu ve zamana göre belirlenir. Hava şartlarına ve dünyanın dönüş konumuna bağlı olarak aynı iki şehir arasında gidiş-dönüş zamanı ve mesafesi farklı olabilmektedir. Ayrıca havayolu trafiği de rota planlama probleminin içine dâhil edilmelidir. Çoğu havayolu firmaları aylık uçuş çizelgelemesi yapmaktadır. Bunun için pazar ihtiyacı (mevsime göre), uçuş tarife tasarımı, filo ataması, uçuş sıralamalarının seçilmesi, mürettebat eşleştirmesi, yer personeli çizelgelenmesi göz önüne alınmaktadır (İlkay O, vd). Büyük havayolu şirketlerinde mürettebatın ve uçuşların planlanması çok karmaşık hale gelmektedir. (Desrosiers J., vd.) Bu işlemleri kolaylaştırmak amacıyla çeşitli alt planlara bölmek genellikle uygulanan bir yöntemdir. Öncelikle uçuş çizelgeleme ile işlemlere başlanmaktadır. Temel amaç, işletme maliyetlerinde problemi özel kısıtlar altında en küçükleme. Bu amaç çerçevesinde simülasyon yöntemleri (örneğin; Arena programı) kullanılabilir.

### 1.1 Uçak Çizelgeleme

Havayolu firmaları, uçuş çizelgelemesini filo atama ve uçak rotalama olarak iki kısımda ele alırlar. Uçuş ağlarındaki her bir adıma en küçük maliyetle uçak atanır ve bir rota belirlenir. Bu işlem ile işletmesinin karlılığının artırılması öngörülmektedir. Uçuş çizelgelemesi yapılırken rakip havayollarının uçuş rotaları ve elinde bulundurduğu imkânlarda önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Uçuş çizelgelemesi yapılırken, sektördeki değişken talepler, rakip firmalar tarafından ortaya çıkan kısıtlar, pazar tahminleri gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Örnek bir uçuş çizelgelemesinde uçuş numarası, kalkış ve varış yeri, kalkış ve varış zamanı, günleri ve filo tipi bulunmaktadır.

### 1.2 Filo Atama

Filo atamada dikkat edilecek husus uçağın özellikleri (kapasite), uçuş maliyeti ve elde edilecek gelirdir. Uçuş rotasındaki işletme maliyetleri talebi karşılayamadığı durumlarda zarar en aza indirilmelidir.

Filo atama problemlerinde, aynı özellikteki uçaklar bir kategori olarak ele alınır. Ayrıca uçakların bakımı da filo atamada bir kısıt oluşturmaktadır. Uçak bakım istasyonunun yeri ve orada geçireceği süre de önem arz etmektedir. Her uçak için bu bakım periyodu aynı olmayabilir.

Filo atama probleminde bir uçuş süresi, uçak kapıları kapanmasından varış noktasında kapıların tekrar açılmasına kadar geçen süre olarak değerlendirilir. Bu sürenin uygun olduğu ve aksilik yaşanmadığı varsayımı kabul edilir. Ancak havaalanlarındaki yoğunluk, hava durumu şartları gibi bazı nedenler bu sürenin uzamasına neden olabilmektedir.

Uçuş maliyetlerini artırmamak için dikkat edilmesi gereken en önemli konu, işletmenin tam kapasitede dolu olan uçağı ön çalışma yaparak uçuşa atamasıdır. Böylelikle maliyetler yükselmez ve boşa giden kar oluşmaz. (Clarke J, vd).

### 1.3 Uçak Rotalama

Uçak rotalama, filo içerisindeki her bir uçağın üst üste gerçekleştireceği uçuş sayısı belirlenir. (Barış Ö, vd.) Bu belirleme yapılırken, uçağın hangi noktalarda bakıma gireceği de dikkate alınır. Uçak rotasında, bir uçuşun varış noktası, bir sonraki uçuşun başlangıç noktası olarak alınır. Her uçağın uçuş döngüsü, düzenli aralıklarla bakıma girecek şekilde hazırlanır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Uçak çizelgelemede, filoların uçuş rotalarına atanması gerçekleştirildikten sonra uçak için bakım kısıtları da dikkate alınarak uçuş rota planlaması oluşturulur. Daskin ve Panayotopoulos (1989) geliştirdikleri yöntemde, tek bir topla-dağıt (hub and spoke) serim yapısında uçakları rotalarına atayarak elde edilecek karın maksimum olabileceğini göstermiştir. Kabbani ve Patty (1992), uçak rotalama probleminde uçuşları küme belirleme problemi olarak ele almıştır. Hane (1995), filo atama problemini olabilecek yan kısıtlarıyla birlikte büyük çok ürünlü akış problemi olarak modellemiştir. Gopalan ve Talluri (1998), uçak rotalama problemini polinom zamanlı bir algoritma ile incelemiştir. Modelde, uygun uçak bakım rotalaması elde edebilmek için uçuşlar ve filolar arasında gerekli değişiklikleri gerçekleştirmiştir. Rexing (2000), mevcut uçuş programında uçuşlar arasında 5 – 20 dakikalık gecikmeler yaparak mevcut uçuş zamanlarında yeniden zamanlamaya olanak sağlayarak uçuş maliyetlerinin azalttığı gözlemiştir. Orhan (2007), uçak rotalarında bakım kısıtlarını da ele almıştır. Böylece uçakların etkin kullanılması ve bakım maliyetlerinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

## 3. UYGULAMA

Şirketinden alınan veriler, Arena programına göre uyarlayarak bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Projede İstanbul, İzmir ve (Muğla) Bodrum şehirleri birer nokta olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada aktarmasız uçuşlar göz önünde bulundurularak bir model oluşturulmuştur. Şirketin filo kapasitesi 19 uçaktan oluşmaktadır.

Bu modelde kullanılan veriler uygulama firmasından temin edilmiş olup aşağıda belirtilmiştir.

**Tablo 1. İstanbul-Bodrum Uçuş Saatleri**

Kalkış Saati	Variş Saati	Kalkış Noktası	Variş Noktası
09:20	10:30	İstanbul Havaalanı	Milas Bodrum Havaalanı
16:45	18:00	İstanbul Havaalanı	Milas Bodrum Havaalanı
12:00	13:10	Milas Bodrum Havaalanı	İstanbul Havaalanı
19:20	20:30	Milas Bodrum Havaalanı	İstanbul Havaalanı

**Tablo 2. İstanbul-İzmir Uçuş Saatleri**

Kalkış Saati	Variş Saati	Kalkış Noktası	Variş Noktası
08:25	09:35	İstanbul Havaalanı	İzmir Havaalanı
10:50	12:00	İstanbul Havaalanı	İzmir Havaalanı
16:40	17:50	İstanbul Havaalanı	İzmir Havaalanı
20:30	21:40	İstanbul Havaalanı	İzmir Havaalanı
07:50	09:00	İzmir Havaalanı	İstanbul Havaalanı
12:00	13:10	İzmir Havaalanı	İstanbul Havaalanı
19:00	20:10	İzmir Havaalanı	İstanbul Havaalanı

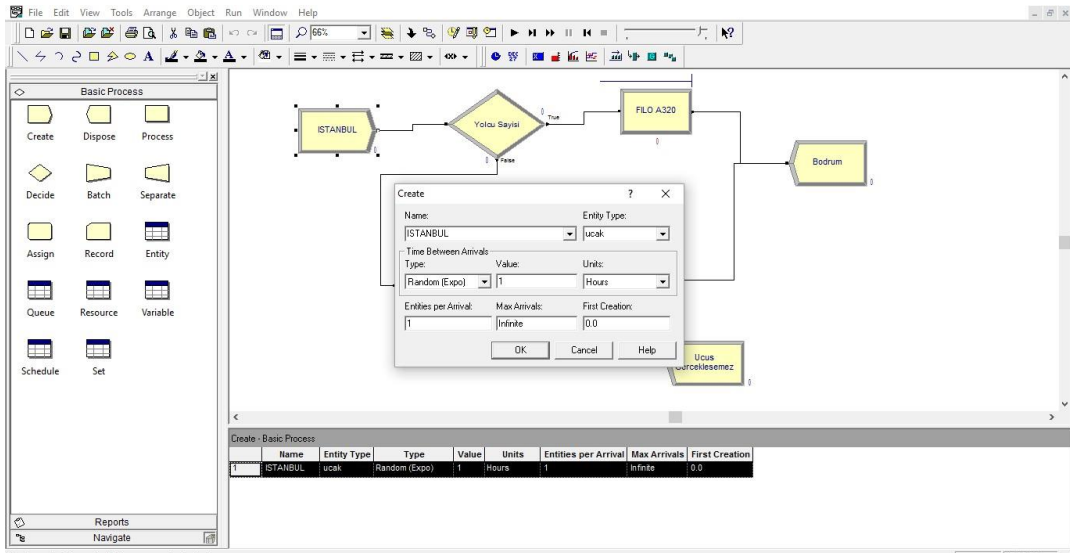
#### 4. SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Simülasyon çalışmasında, Arena programı kullanılmıştır. Arena programında model için Siman komutları kullanılmıştır. Veriler İstanbul – Bodrum ve İstanbul- İzmir, uçuşları baz alınarak 2 ayrı sistem üzerinde incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, Arena Programı içindeki create, process, decide, seize delay release ve dispose prosesleri kullanılmıştır. Create prosesinde uçuş isimleri belirtilmiştir. Filoların gelişler arası zamanı sonsuz sayıda seçilmiştir. Process modülü ile uçuşa filo ataması gerçekleştirilmiştir. Delay tipi triangular (üçgensel) olarak seçilerek minimum zaman 45 dakika, ortalama zaman 60 dakika ve maksimum zaman 75 dakika olarak belirlenmiştir. Filo için kaynak Seize Delay Release ile pilot ismiyle eklenmiştir. Decide prosesinde yolcu sayısı bir kısıt olarak düşünülmüş, yüksek kapasiteli filolar için %75, düşük kapasiteli filolar için %50 doluluk oranı baz alınmıştır. Dispose modülü ile uçuş sonlandırılmıştır.

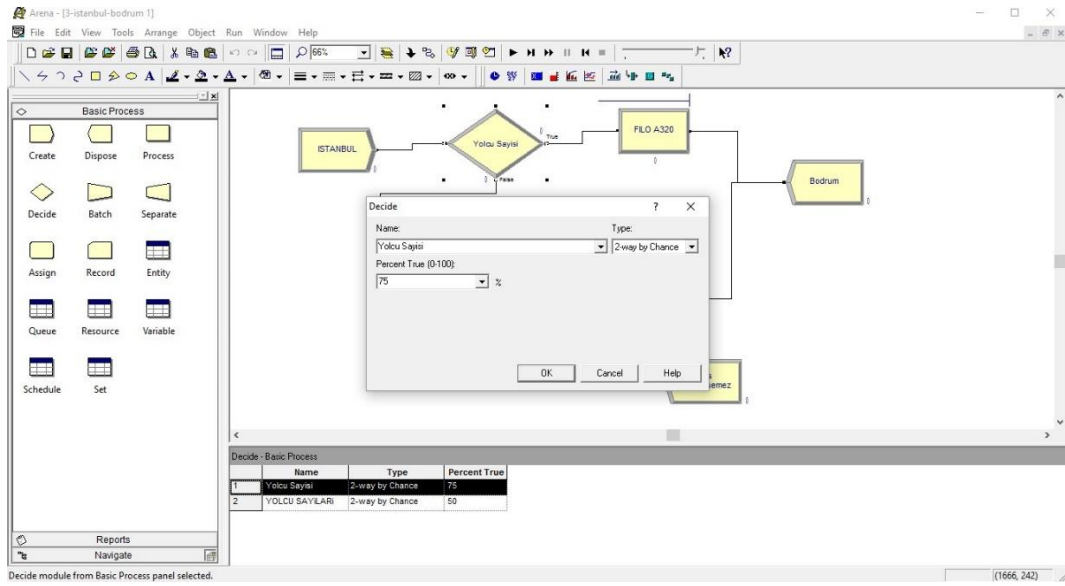
##### 4.1 İstanbul – Bodrum Simülasyon Çalışması

Şekil 1de görüldüğü gibi Create modülünde iki filo arası süre Random tipinde 1 saat olarak ele alınmıştır.



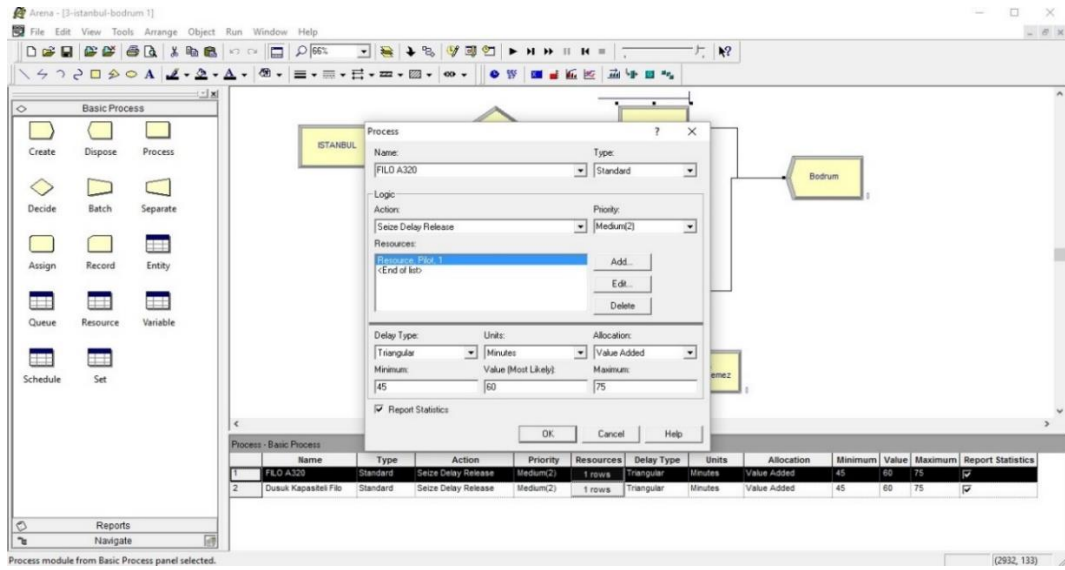
Şekil 1:  
İstanbul – Bodrum Create Modülü

Daha sonra Decide modülü kullanılarak filo kapasitesinin %75'i dolduğunda uçuş gerçekleştirilecektir kısıtı eklenmiştir. Kapasite %75 olmadığı takdirde düşük kapasiteli uçak atanmıştır (Şekil 2)

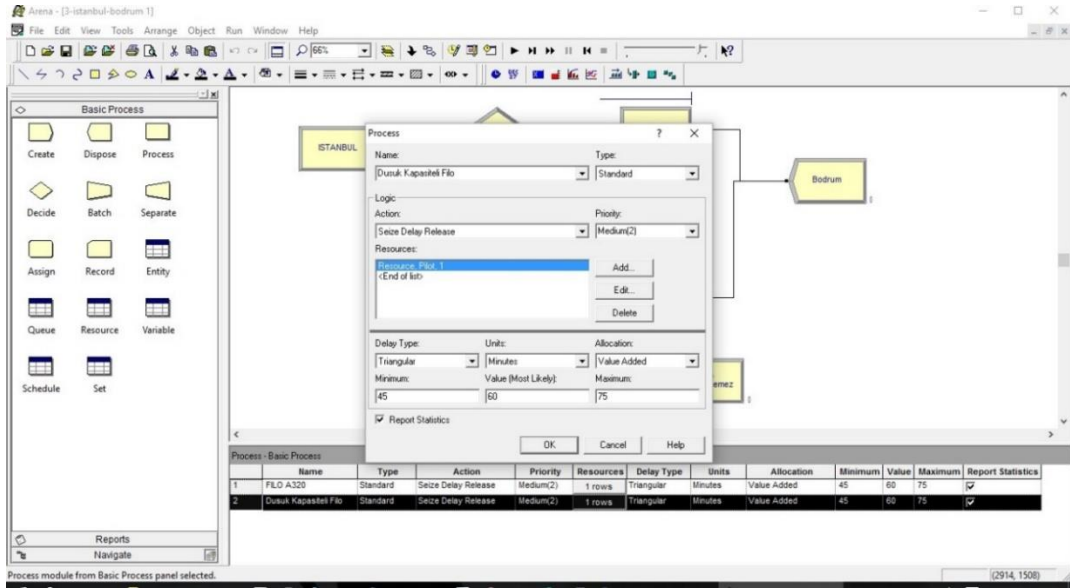


**Şekil 2:**  
*İstanbul – Bodrum Decide Modülü*

Process modülünde uçuşlar arasındaki mesafe Delay Type kısmında Triangular (üçgensel) olarak seçilmiştir. Minimum zaman 45 dakika, ortalama zaman 60 dakika ve maksimum zaman 75 dakika olarak belirlenmiştir (Şekil 3 ve Şekil 4).



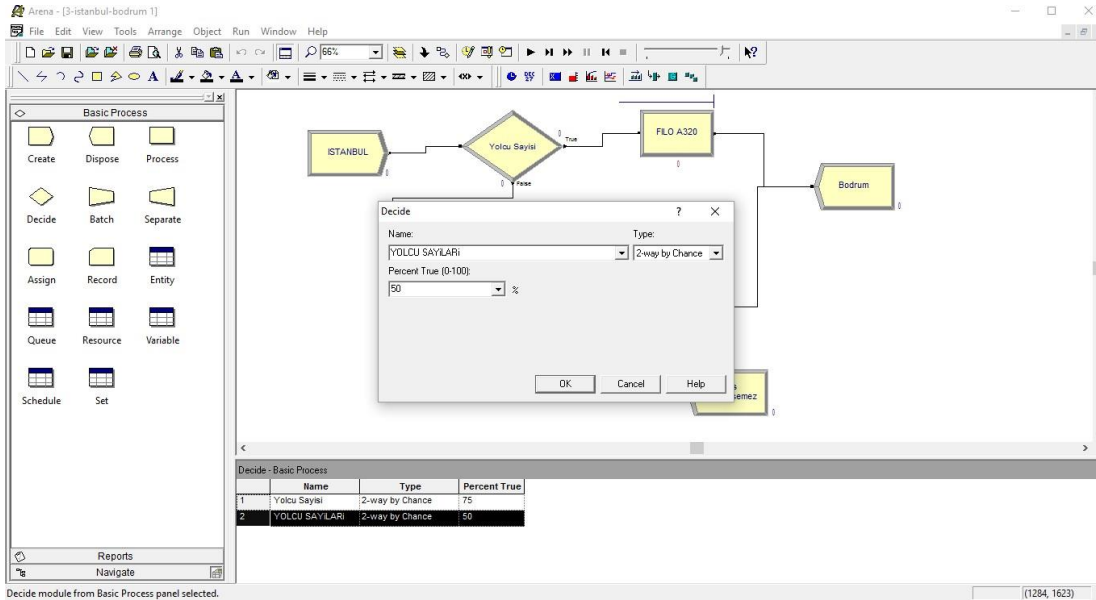
**Şekil 3:**  
*İstanbul – Bodrum Process Modülü*



**Şekil 4:**  
*İstanbul – Bodrum Proses Modülü (düşük kapasite)*

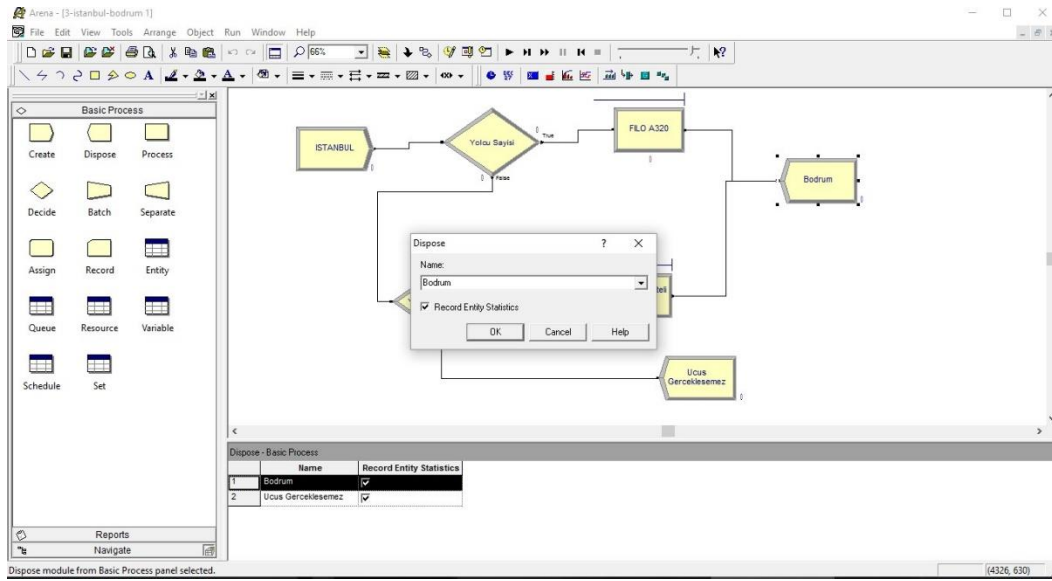
Decide modülünün false noktasına bağlanan process modülü ile yeni bir filo ataması yapılarak Seize Delay Release olarak kaynak girilmiştir. İki uçuş arası mesafe bir önceki proses modülünde olduğu gibi triangular (üçgensel) 45, 60 ve 75 dakika olarak oluşturulmuştur.

Düşük kapasiteli filonun koltuk sayısı %50 oranında dolduğunda uçuş gerçekleşebilir kısıtı ise Decide modülü ile gerçekleştirilmiştir. Bu karar sayesinde düşük kapasiteli olarak atanan filonun uçuşu gerçekleştirip gerçekleştirilemeyeceği durumlar göz önüne alınmıştır (Şekil 5).

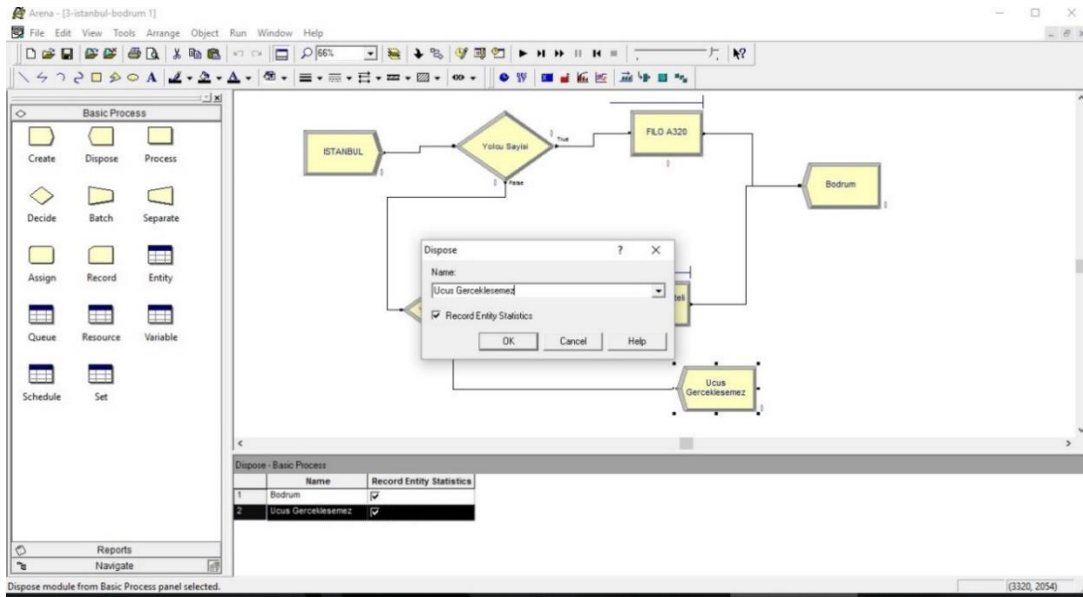


**Şekil 5:**  
*İstanbul – Bodrum Decide Modülü (düşük kapasite)*

Şekil 6'da görüldüğü gibi Dispose modülü decide modülünün true noktasından oluşturulmuştur. Burada ilk aşamada atanan yüksek kapasiteli filo eğer kapasitesinin belirlenen kısıtı çerçevesinde doluluk gerçekleştirmiş ise uçuş gerçekleştirilerek son uçuş noktası decide modülü ile belirlenmiştir.



**Şekil 6:**  
*İstanbul – Bodrum Dispose Modülü*

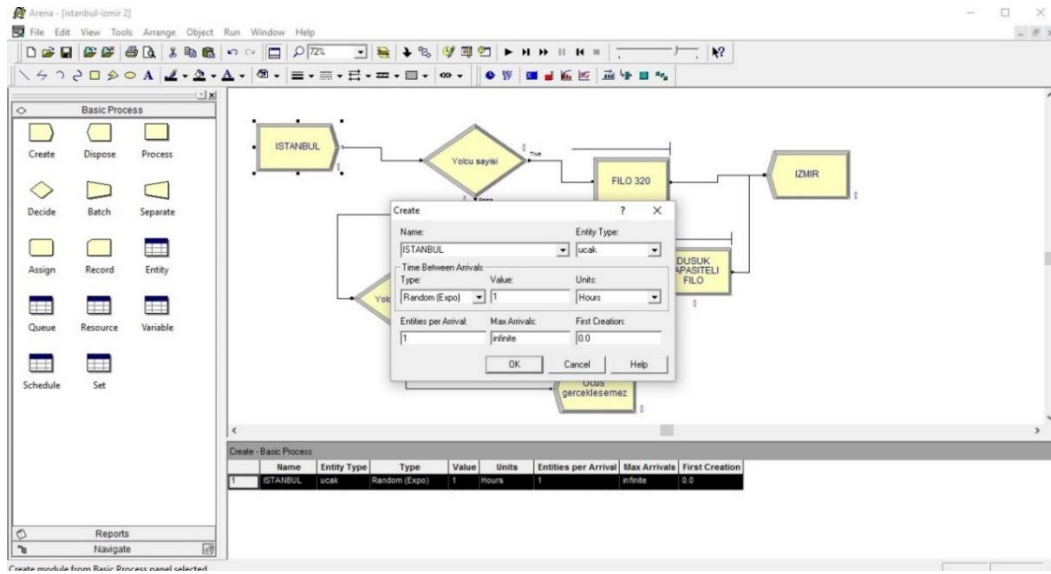


**Şekil 7:**  
*İstanbul – Bodrum Dispose Modülü (düşük kapasite)*

Yüksek kapasiteli filonun kapasite kısıtının gerçekleşmediği durumda atanan düşük kapasiteli filonun decide modülünden sonra eğer karar olumsuz ise uçuş gerçekleştirilemez komutu dispose modülü ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

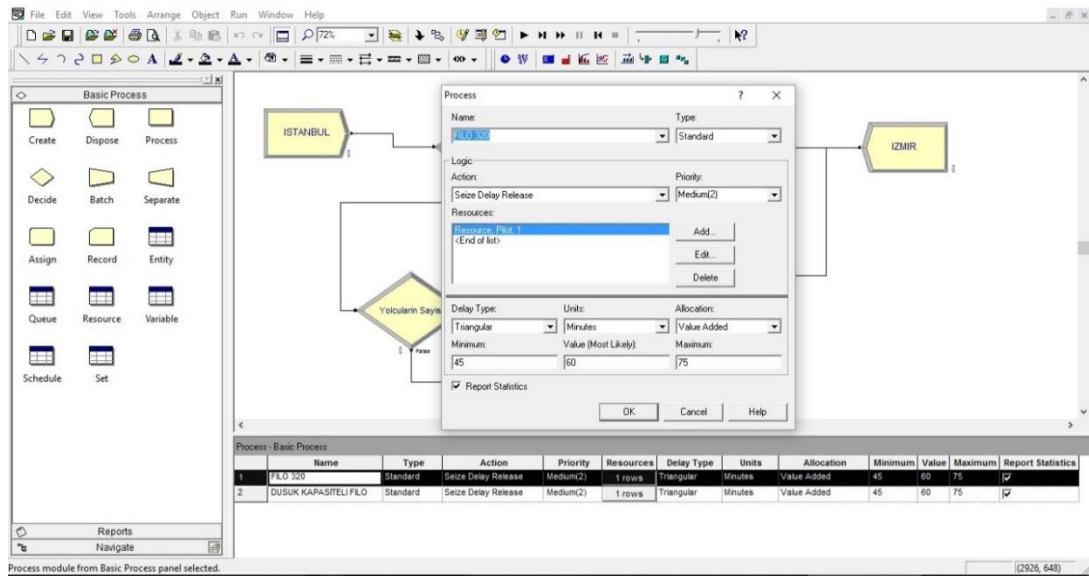
#### 4.2 İstanbul – İzmir Simülasyon Çalışması

Bölüm 4.1’de yapılan çalışma aynı adımlar ile İstanbul-İzmir rotası için tekrarlanmıştır.



Şekil 8:  
İstanbul – İzmir Create Modülü

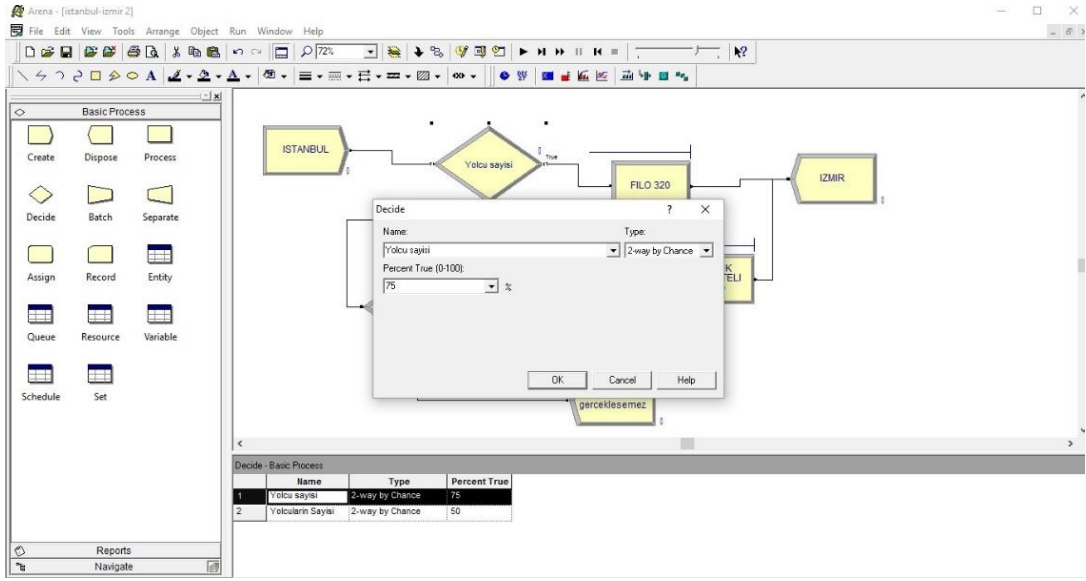
Create modülü ile kabul olarak iki filo arası süre Rndom tipinde 1 saat olarak ele alınmıştır.



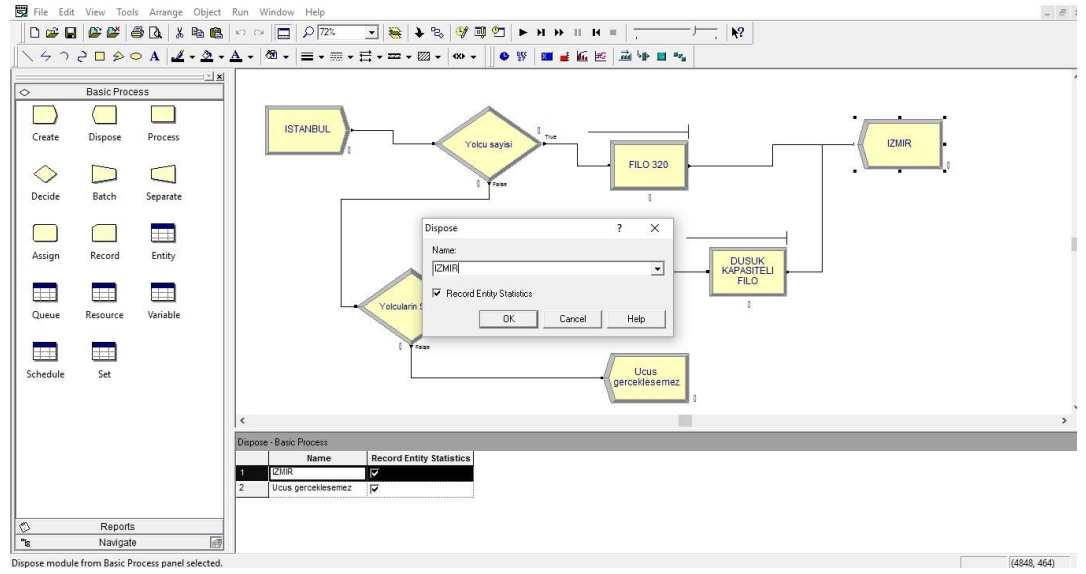
Şekil 9:  
İstanbul – İzmir Proses Modülü

Uçuşlar arasındaki mesafe Delay Type triangular olarak seçilmiştir. Her uçuş için süreler veriler ile belirlenerek aynı dakika üzerinden gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.



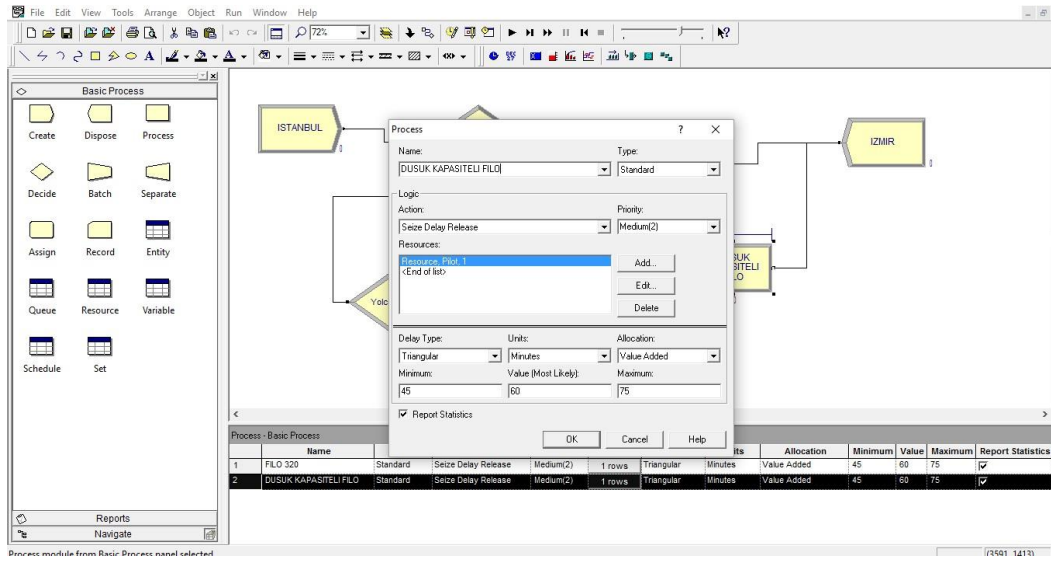


Şekil 10:  
İstanbul – İzmir Decide Modülü



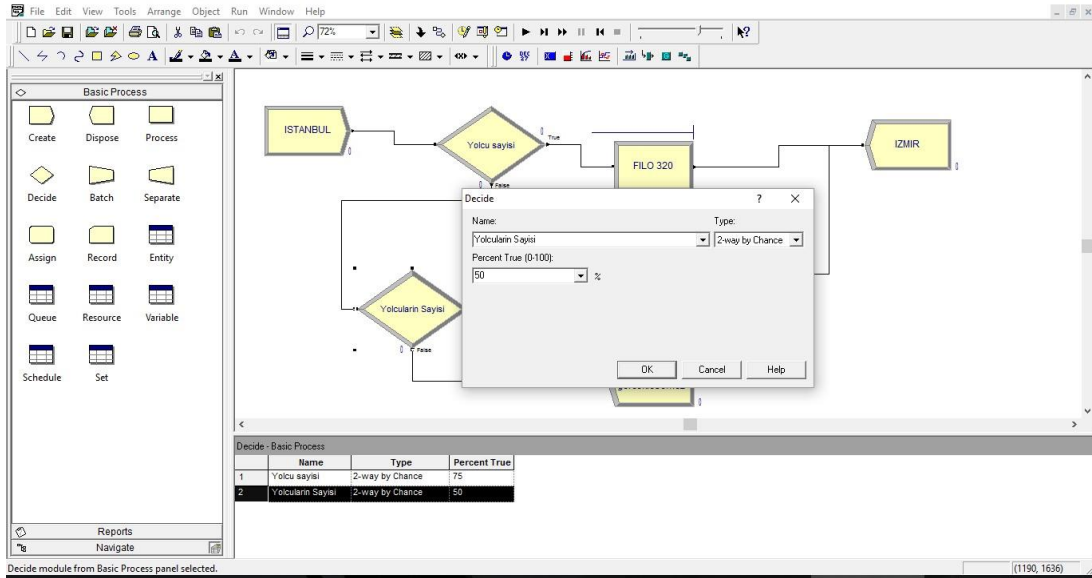
Şekil 11:  
İstanbul – İzmir Dispose Modülü (düşük kapasite)

Atanan yüksek kapasiteli filo eğer kapasitesinin belirlenen kısıtı çerçevesinde doluluk gerçekleştirmiş ise uçuş gerçekleştirilerek son uçuş noktası decide modülü ile sonlandırılmıştır.

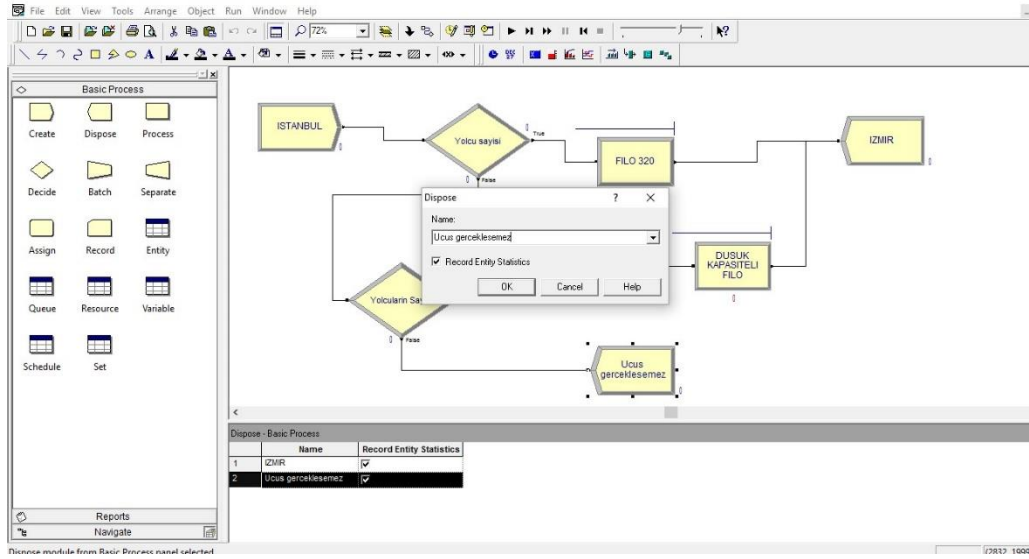


Şekil 12:  
İstanbul – İzmir Proses Modülü

İki uçuş arası mesafe bir önceki proses modülünde olduğu gibi triangular (üçgenel) 45, 60 ve 75 dakika olarak oluşturulmuştur.



Şekil 13:  
İstanbul – İzmir Decide Modülü



**Şekil 14:**  
İstanbul – İzmir Dispose Modülü

Yolcu sayısı kısıtı doğrultusunda ataması gerçekleştirilen düşük kapasiteli filonun kapasitesinin %50'den az olması durumunda uçuş gerçekleştirilemez noktası dispose ile oluşturulmuştur.

## 5. ARENA PROGRAMI İLE BULUNAN ÇÖZÜMLER

Bir önceki bölümde hazırlanan simülasyonlar çalıştırılarak sonuçlar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

İstanbul-İzmir sonuç özetleri Şekil 15 – Şekil 19'de görülebilir.



**Şekil 15:**  
İstanbul-İzmir Uçuşu İçin Bir Gündeki Tekrar Süresi

10:13:21		Category Overview				Mayıs 17, 2016	
<i>Values Across All Replications</i>							
<b>İZMİR</b>							
Replications:	8	Time Units:	Hours				
<b>Entity</b>							
<b>Time</b>							
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.7069	0,09	0.5357	0.8504	0.00	1.2409	
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.5507	0,26	0.00	0.9416	0.00	3.2261	
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00	

**Şekil 16:**  
*İstanbul-İzmir Uçuşu İçin Sistemde Ortalama Geçirilen Zaman*

10:13:21		Category Overview				Mayıs 17, 2016	
<i>Values Across All Replications</i>							
<b>İZMİR</b>							
Replications:	8	Time Units:	Hours				
<b>Queue</b>							
<b>Time</b>							
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
DUSUK KAPASITELI FILO.Queue	0.8166	0,79	0.00	2.0584	0.00	2.0584	
FILO 320.Queue	0.8457	0,43	0.00	1.6051	0.00	3.3222	
<b>Other</b>							
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
DUSUK KAPASITELI FILO.Queue	0.08166025	0,08	0.00	0.2058	0.00	1.0000	
FILO 320.Queue	0.8961	0,54	0.00	1.8482	0.00	4.0000	

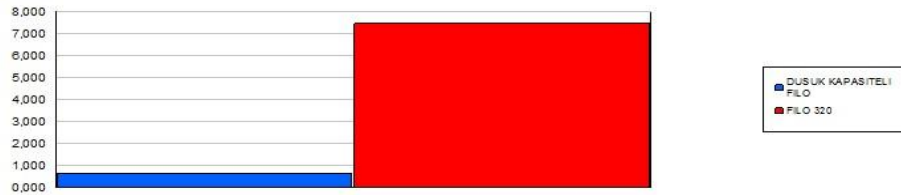
**Şekil 17:**  
*İstanbul-İzmir Uçuşu İçin Kuyrukta Bekleme Süreleri*

Resource						
Usage						
Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Pilot	0.8448	0,07	0.7319	0.9354	0.00	1.0000
Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Pilot	0.8448	0,07	0.7319	0.9354	0.00	1.0000
Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Pilot	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Pilot	0.8448	0,07	0.7319	0.9354		
Total Number Seized						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Pilot	8.8750	0,83	7.0000	10.0000		

**Şekil 18:**  
İstanbul-İzmir Uçuşu İçin Kaynak Kullanımı

#### Accumulated Time

Accum VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
DUSUK KAPASITELI FILO	0.6503	0,45	0.00	1.1751
FILO 320	7.4521	0,92	6.1566	9.3545



**Şekil 19:**  
İstanbul-İzmir Uçuşu İçin Birikmiş Zaman

İstanbul-Bodrum uçuşu sonuç özetleri Şekil 20-Şekil 24’de görülebilir.

11:43:07		Category Overview		Mayıs 10, 2016	
Values Across All Replications					
<b>ISTANBUL</b>					
Replications:	4	Time Units:	Hours		
<b>Key Performance Indicators</b>					
<b>System</b>		Average			
Number Out		11			

**Şekil 20:**  
İstanbul-Bodrum Uçuşu İçin Bir Gündeki Tekrar Süresi

11:43:07		Category Overview				Mayıs 10, 2016	
Values Across All Replications							
ISTANBUL							
Replications:	4	Time Units:	Hours				
Entity							
Time							
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.7631	0,15	0.6289	0.8504	0.00	1.1751	
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.5831	0,70	0.00	0.9416	0.00	3.2261	
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
ucak	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00	

**Şekil 21:**  
İstanbul-Bodrum Uçuşu İçin Sistemde Ortalama Geçirilen Zaman

Queue							
Time							
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Dusuk Kapasiteli Filo.Queue	0.8873	1,67	0.00	2.0581	0.00	2.0581	
FILO A320.Queue	0.8499	1,08	0.00	1.6051	0.00	3.3222	
Other							
Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Dusuk Kapasiteli Filo.Queue	0.08872718	0,17	0.00	0.2058	0.00	1.0000	
FILO A320.Queue	0.8804	1,22	0.00	1.8482	0.00	4.0000	

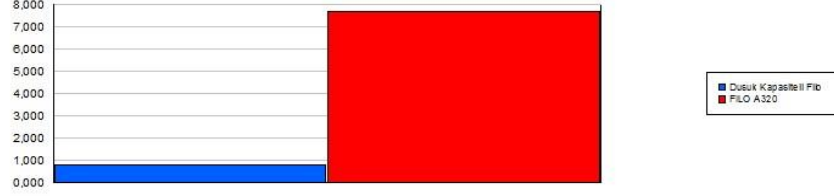
**Şekil 22:**  
İstanbul-Bodrum Uçuşu İçin Kuyrukta Bekleme Süreleri

Resource							
Usage							
Instantaneous Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Pilot	0.8739	0,15	0.7319	0.9354	0.00	1.0000	
Number Busy	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Pilot	0.8739	0,15	0.7319	0.9354	0.00	1.0000	
Number Scheduled	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value	
Pilot	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average			
Pilot	0.8739	0,15	0.7319	0.9354			
Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average			
Pilot	8.7500	2,00	7.0000	10.0000			

**Şekil 23:**  
İstanbul-Bodrum Uçuşu İçin Kaynak Kullanımı

### Accumulated Time

Accum VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Dusuk Kapasiteli Filo	0.7834	0,85	0.00	1.1751
FILO A320	7.6760	2,05	6.2990	9.3545



**Şekil 24:**  
İstanbul-Bodrum Uçuşu İçin Birikmiş Zaman

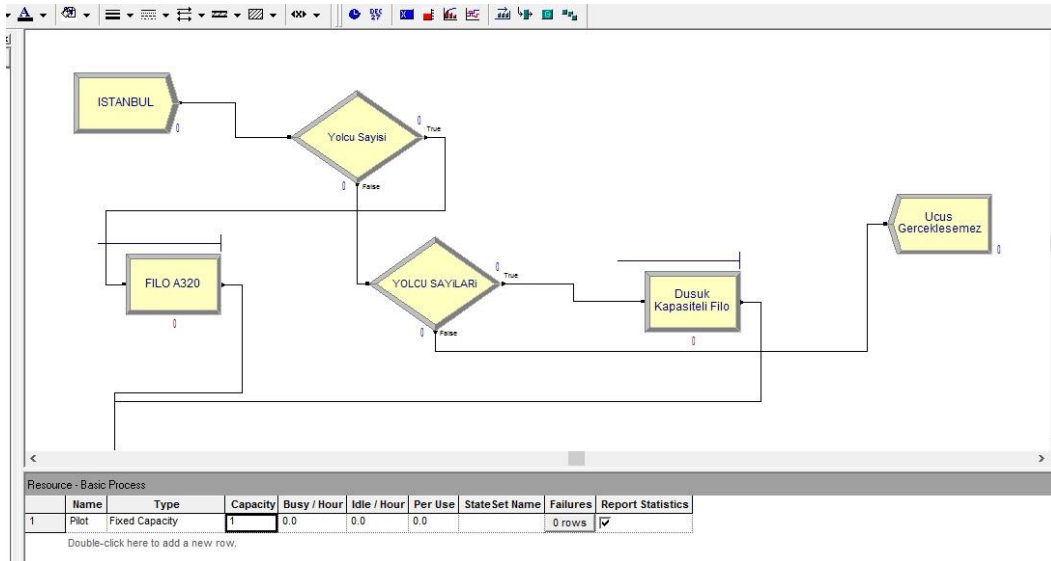
Bu sonuçlardan görüldüğü üzere her iki rotada da ciddi beklemler ve kayıplar mevcuttur. Yapılacak iyileştirme çalışmaları ile kayıpların azaltılması ve uçuş sayısının artırılması hedeflenecektir. Bu amaçla simülasyon modelinde çeşitli denemeler gerçekleştirilmiştir.

## 6. İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Simülasyon modeli ile günlük uçuş sayıları belirlenmiştir. İyileştirme çalışması ile uçuş sayılarını artırarak havayolu şirketinin daha fazla uçuş gerçekleştirmesini sağlamak ve sonuç olarak şirketin kazancını arttırmaktır.

Yapılan denemeler sonucunda iki türlü değişim sonucunda uçuş sayısının arttığı gözlemlenmiştir. İlk deneme uçuşu gerçekleştiren pilot sayısının artırılması olmuştur. Kaynak kapasitesi artırılarak uçuş sayısındaki olumlu veya olumsuz değişim gözlemlenmiştir. Pilot sayısının artması uçuş sayısında bir değişiklik görülmemiştir. Sonuç olarak değişikliğin tekrar sayısına bağlı olduğu bulunmuştur. Replication bölümünden günlük gerçekleştirilecek tekrar sayıları değiştirilerek uçuş sayısında artış olduğu sonucuna varılmıştır.

### 6.1 Kaynak Arttırma Denemesi

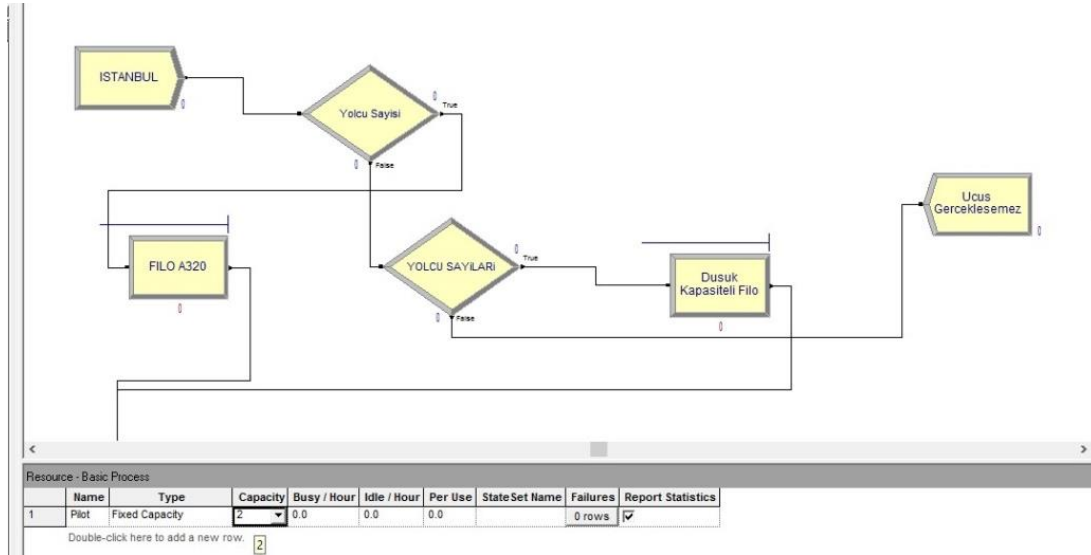


**Şekil 25:**  
Bodrum- İstanbul Uçuşu Kaynak Arttırma



**Şekil 26:**  
*İstanbul – Bodrum Uçuşu Tek Kaynak Çıktı Sonucu*

İstanbul – Bodrum uçuşu ele alınarak tek bir kaynak (pilot) ile uçuş gerçekleştirildiğinde günlük 4 adet uçuş sayısı elde edilmiştir.



**Şekil 27:**  
*İstanbul – Bodrum Uçuşu Kaynak Arttırma*



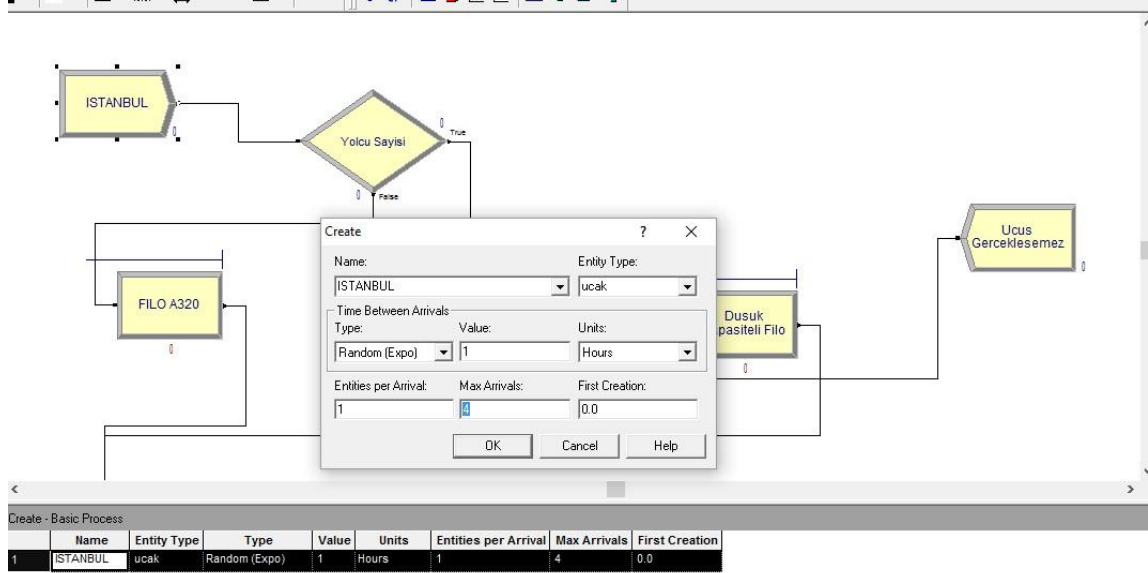
**Şekil 28:**  
*İstanbul – Bodrum Uçuşu Çift Kaynak Çıktı Sonucu*

Kaynak kapasitesi ikiye çıkarılarak, uçuş sayısının değişip değişmediği incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda kaynak artırılmasının gerçekleştirecek uçuş sayısında bir değişiklik



olmamıştır. Bunun sebebinin ise uçuş sayısının pilota bağlı olmadığı, uçuş tekrar sayısına bağlı olduğu saptanmıştır. Bu sebeple yapılan bir diğer çalışmada Replication bölümünden tekrar sayıları değiştirilerek uçuş sayısındaki değişiklik saptanmaya çalışılmıştır.

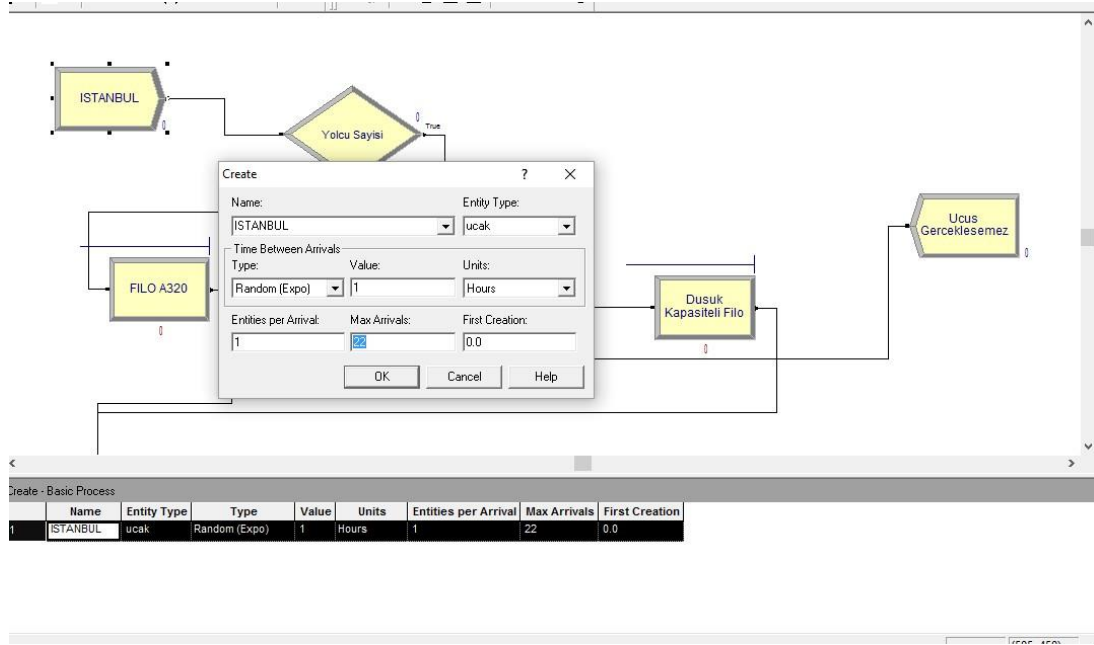
## 6.2 Günlük Tekrar Sayısı Değişimi



Şekil 29:  
İstanbul – Bodrum Max Arrivals



Şekil 30:  
Max Arrivals Değişmeden Önceki Çıktı Sayısı



Şekil 31:  
İstanbul – Bodrum Max Arrivals Değişimi



Şekil 32:  
Max Arrivals Değişim Sonucu Çıktı Sayısı

İstanbul – Bodrum uçuşu ele alınarak tekrar sayısı değiştirilmiştir. Gelişler arası zaman sekmeleri kullanılarak tekrar sayıları değiştirilerek ilk elde edilen 4 adetlik gelişler arası zaman 22 olarak değiştirilmiştir. Gelişler arası zaman sayısının 22 olması ile birlikte günlük uçuş sayısı 7 adet artarak 11 uçuş gerçekleştirilmiştir.

## 7. SONUÇ

Firmadan elde edilen veriler Arena programında değerlendirilmiştir. Uçuşların aktarmasız olarak gerçekleştirildiği kabul edilmiştir. Uçak kapasiteleri ve uçuş süreleri göz önüne alınarak iyileştirmeler yapılmıştır ve İstanbul – Bodrum arasında 7 adet uçuş artırılmıştır.

Böylelikle gün içerisinde gerçekleşen uçuş sayısının önceden belirlenmesi sağlandıktan sonra artırılması gerçekleştirilmiştir. Uçuş sayısının artması ile kazanç doğru orantı olarak artacak ve havayolu şirketine kar kazandırılmış olacaktır. Çalışmanın devamı olarak rotalama

probleminin belirli kısıtlar kabul edilerek eniyileme yöntemleri kullanılarak daha fazla rota için çözülmesi hedeflenmektedir.

Son olarak simülasyon çalışmasında kullanılan proses modülündeki triangular (üçgensel) 45, 60 ve 75 dakika süreleri üzerinde değişiklik yapılarak veya iki filo arası süre olarak kabul edilen bir saatlik süre üzerinde değişik değerler girilerek İstanbul – İzmir uçuşlarında istenilen uçuş adeti artışı çalışmaları denemeleri de ayrıca gerçekleştirilebilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Endüstri Mühendisi Merve Pazarcıklar'e, Endüstri Mühendisi Eda Özbuğan'a ve Endüstri Mühendisi Tuğçe Bolat'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Barış Ö. , Utku Ç. , Yrd. Doç. Dr. Aybars U. (2008) “Melez Bir En İyileme Yöntemi İle Rota Planlama”, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Akademik Bilişim.
2. Clarke, J., Larsen A., Larsen, J. And Rezanova, N.J., (2010), “Disruption Management in the Airline Industry-Concepts, Models and Methods”, Computer&Operations Research,vol. 37, no. 5, p. 809-821, DOI: 10.1016/j.cor.2009.03.027.
3. Daskin M.S., Panayotopoulos, N.D., (1989) “A Lagrangian Relaxation Approach to Assigning Aircraft to Routes in Hub and Spoke Networks.” Transportation Science, Vol. 23, No: 2, DOI: 10.1287/trsc.23.2.91.
4. Desrosiers J., Lasry A., MacInnis D., Solomon M. M., Soumis F., (2000), “Air Transat Uses ALTITUDE to Manage Its Aircraft Routing Crew Pairing, and Work Assignment”, Interfaces, vol. 30, no. 2, DOI: 10.1287/inte.30.2.41.11673.
5. Gopalan R., Talluri K. T. (1998), “Mathematical models in airline schedule planning: A survey”. Annals of Operations Research, vol. 76, p. 155–185, DOI: 10.1023/A:1018988203220.
6. Hane C.A., Barnhart C., Johnson E. L., Marsten R. E., Nemhauser G. L., Sigismondi G. (1995), “The fleet assignment problem: Solving a large-scale integer program. Mathematical Programming” vol. 70, p. 211–232, DOI: 10.1007/BF01585938.
7. İlkay O., Muzaffer K. , Hikmet K, (2010), “Planning and Scheduling Of Airline Operations”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 2, 2010, Sayfa 181-191.
8. Kabbani N. M., Patty, B. W. (1992) “Aircraft Routing at American Airlines”. Proceeding of 32nd Agifors Symposium, p. 12-28.
9. Orhan, İ, Kapanoğlu, M. And Karakoç, T.H., (2007). “Flight-hour Based Optimization for Aircraft Scheduling”, Inform, 369, WD43, A.B.D.
10. Rexing B., Barnhart C., Kniker T., Jarrah A., Krishnamurthy N., (2000), “Airline Fleet Assignment with Time Windows” Transportation Science, Vol. 34, No: 1, DOI: 10.1287/trsc.34.1.1.12277.

