



ISSN 1304-8120 | e-ISSN 2149-2786

**Araştırma Makalesi \* Research Article**

**Havaalanı Kıt Kaynaklarının Verimli Kullanılmasında Sürdürülebilir Bir Model:  
Zamana Dayalı Ayırma (ZDA)**

**A Sustainable Model for Efficient Use of Airport Scarce Resources: Time Based  
Separation (TBS)**

**Vildan DURMAZ**

Doç. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık Ve Uzay Bilimleri Fakültesi  
vkorul@eskisehir.edu.tr  
Orcid ID:0000-0003-3649-1780

**Kübra Nur CİNGÖZ**

Arş. Gör., Gaziantep Üniversitesi, Havacılık Ve Uzay Bilimleri Fakültesi  
kcingoz@gantep.edu.tr  
Orcid ID: 0000-0002-2919-8829

**Öz:** Tüm dünyada hava trafik talebi her geçen gün artmakta, meteorolojik koşulları göz ardı eden mevcut sistemler artan talebi karşılayamamakta ve kapasite sorunlarına yol açmaktadır. Hava trafik talebini karşılayabilmek ve kapasite sorunlarına yanıt vermek için küresel çözüm sağlayan modeller geliştirilmektedir. Bu kapsamda çalışmanın amacı özellikle büyük yatırımlar gerektiren havalimanlarında kapasite sorunlarına yanıt vermek için geliştirilen, farklı ülkelerde farklı havalimanlarında uygulanıp, havalimanı kapasitesini artıran Zamana Dayalı Ayırma (ZDA) modelinin avantajlarını ortaya koyarak bu alanda ilgili paydaşların farkındalığını artırmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Verimlilik, Zamana Dayalı Ayırma, Mesafeye Dayalı Ayırma, Kafa Rüzgârı, Kapasite arttırımı.

**Abstract:** Air traffic demand is increasing everyday all over the world, existing systems that ignore meteorological conditions cannot meet the increasing demand and cause capacity problems. Models that provide solutions are developed all over the world to be able to meet air traffic demand and respond to capacity problems. In this context, the aim of the study is to raise the awareness of the relevant stakeholders in this field by revealing the advantages of the Time Based Separation model which was developed to respond to capacity problems especially at airports that require large investments. The model was applied at different airports in different countries, as a result it has been seen that airport capacity has increased.

**Keywords:** Efficiency, Time-Based Separation, Distance-Based Separation, Increased Capacity, Headwind.

## GİRİŞ

Tüm dünyada başta hava taşımacılığı sektörü olmak üzere ulaştırma sektörüne olan talep artmakta, dolayısıyla havalimanlarına iniş kalkış yapan uçak trafiği de artmaktadır. Havaalanlarında inişin son yaklaşma safhasına yönelik operasyonlarda, uçakları ya kuyruk turbülansı ayırma

Geliş Tarihi:20.06.2022

Kabul Tarihi:12.05.2023

Yayın Tarihi:31.08.2023

**Atıf:** Durmaz, V., & Cingöz, K.N. (2023). Havaalanı kıt kaynaklarının verimli kullanılmasına sürdürülebilir bir model: Zamana dayalı ayırma (ZDA). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(2), 509-519. Doi: 10.33437/ksusb.1133329

kurallarıyla ya da kuyruk türbülans ayırma minimumlarının gerekli olmadığı durumlarda uygulanan pist ve gözetleme ayırma kurallarıyla ayıran (Morris vd., 2013: s.2), sakin rüzgâr (kafa rüzgarı) şartlarında olumlu yanıtlar vermesine rağmen şiddetli rüzgâr koşullarında iniş oranının düşmesine sebep olan ve meteorolojik koşulları göz ardı eden geleneksel sistemler, artan hava trafik talebini karşılamakta ve yetersiz kalmaktadır.

Bu durum özellikle büyük yatırım gerektiren ve kapasitesinin tamamına yakını kullanan havalimanları için kapasite sorunlarına neden olmakta, artan talebi karşılayabilmek için tüm dünyada gecikmeleri önleyen, yakıt tasarrufu sağlayan yöntemlere ulaşmak için yeni fikirler üretilmekte (Deprez, 2017: s.1) yeni modeller geliştirilmektedir. Bu kapsamda çalışmanın amacı farklı ülkelerdeki havalimanlarında uygulanan ve mevcut modelin aksine meteorolojik koşulları göz önünde bulunduran Zamana Dayalı Ayırma (ZDA) modelinin dünya örneklerinin incelenerek tanıtılması ve avantajlarının ortaya konulmasıdır.

## KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Havacılıkta emniyet en önemli konulardan biridir. Operasyonun her safhasında olduğu gibi inişin son yaklaşma safhasında da emniyetin tehlikeye düşmemesi gerekmektedir. Bu kapsamda iniş operasyonlarının emniyetli bir şekilde yapılması için uçakların uçarken arkalarındaki hava akımını bozmasına (Burnham ve diğerleri, 2012: s. 630) bağlı oluşabilecek kuyruk türbülansı (Tittsworth, 2012: s.1) karşılaşmaması gerekmektedir. Emniyeti tehlikeye düşüren bu tür karşılaşmayı önlemek için hava trafik kontrol ayırma standartları geliştirilmiştir (Burnham ve diğerleri, 2012: s. 630). Bu hava trafik kontrol ayırma standartları kuyruk türbülansı ayırma minimumları olarak adlandırılmakta ve uçakların maksimum kalkış ağırlığına uygulanmaktadır (Nagid, 1992: s.10-5).

Mevcut kalkış ve varış kuyruk türbülans ayırması, hâkim meteorolojik koşulların etkisinden bağımsız olarak sabittir (Morris ve diğerleri, 2013: s.1). Meteorolojik şartları sabit kabul eden ve son yaklaşımda öndeki uçağın ve takip eden uçağın kuyruk türbülans kategorisine göre uygulanan Mesafeye Dayalı Ayırma (MDA) minimumu da sakin rüzgâr şartlarında iyi işlemesine rağmen, kuvvetli kafa rüzgârı alması durumunda iniş oranını azaltmakta ve havalimanı kapasitesini düşürmektedir.

Artan hava trafik talebi, kısıtlı kapasiteye sahip havalimanlarının artan sayısı (Robinson, 1996: s.22-4) uçakları maksimum ağırlıklarına göre sınıflandırarak ayırma kuralları belirleyen (Kolos-Lakatos, 2017: s.17) meteorolojik koşulları göz ardı eden geleneksel sistemin artan talebi karşılamakta yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu kapsamda artan talebi karşılayabilmek için tüm dünyada gecikmeleri önleyen, yakıt tasarrufu sağlayan yöntemlere ulaşmak için yeni fikirler üretilmekte (Deprez, 2017: s.1), yeni modeller geliştirilmektedir.

Havalimanı kapasitesini artırmak ve artan hava trafik talebine yanıt vermek için geliştirilen modellerden birisi de mevcut sistem olan Mesafeye Dayalı Ayırma (MDA) modeli aksine meteorolojik koşulları da dikkate alan Zaman Dayalı Ayırma (ZDA) modelidir. ZDA modeli simülasyon uygulamaları kapasite sorunları yaşayan birçok havalimanında yapılmış ve verim alınmıştır.

### Ayrırma Modelleri

Günümüzde, son yaklaşımdaki uçaklar, mevcut meteorolojik koşullardan bağımsız olarak, sabit bir mesafe ile ayrılmaktadır. Mevcut sistem, uçağın kafa rüzgârı alması durumunda da sabit kalan Mesafeye Dayalı Ayırma (MDA) sistemine dayanır. Mesafeye Dayalı Ayırma (MDA) modeli yürürlükteki düzenlemelere uygun olarak etkin bir şekilde uygulanmasına rağmen, uçağın karşısından esen rüzgârların (kafa rüzgârı) etkisiyle son yaklaşımdaki uçakların yer hızı (Ground Speed-GS) düşmekte (Deprez, 2017: s.1) bu durum uçaklar arasında deniz mili (nautical mile- Nm) esaslı yapılmış mesafeyi kat etmek için gerekli zamanı artırarak iniş oranını ve varış kapasitesini düşürmektedir. Bu ise sadece varış kapasitesini olumsuz etkilemekle kalmayıp aynı zamanda zaman ve yakıt verimliliğini, operasyonların öngörülebilirliğini ve çevreyi de olumsuz etkilemektedir.

Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için birçok ülkedeki çeşitli havaalanları, uçaklar arasındaki ayırmayı zaman dayalı yapma esasına dayanan ve rüzgâr koşullarını dikkate alan Zamana Dayalı Ayırma (ZDA) modelini benimsemiştir. Aşağıda hem Mesafeye Dayalı Ayırma (MDA) hem de Zamana Dayalı Ayırma (ZDA) modeli açıklanmış ve avantajları ve dezavantajları karşılaştırılarak verilmiştir.

## Mesafeye Dayalı Ayırma Modeli (MDA)

Uçuşlar, uçağın ağırlığına ve uçarken oluşturdukları girdabın boyutuna bağlı olarak mesafeye dayalı standartlar kullanılarak ayrılır. Bu ayırma modeline mesafeye dayalı ayırma (MDA) denir (Haskins, 2014).

İki uçak arasındaki minimum ayırma, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO-International Civil Aviation Organization) tarafından belirlenir ve Kuyruk Türbülans Kategorisine (Wake Turbulance Categories-WTC) göre ayırma kriterlerini içerir. Kuyruk türbülans kategorileri uçaklarının maksimum kalkış ağırlığına göre sınıflandırılmaktadır. Aşağıda bu sınıflandırma verilmiştir (Deprez, 2017: s.2; Ören ve Şahin, 2016: s.43);

- Hafif-Light (L) – Maksimum Kalkış Ağırlığı (MTOW) 7000 kg'dan daha hafif uçaklar
- Orta-Medium (M) – Maksimum Kalkış Ağırlığı 7000 kg -136 000 kg arasında olan uçaklar
- Ağır-Heavy (H) – Maksimum Kalkış Ağırlığı 136 000 kg'dan daha ağır olan uçaklar
- Çok ağır-Super Heavy (J) – Maksimum Kalkış Ağırlığı 560000 kg'dan ağır olan uçaklar

Uçakların maksimum kalkış ağırlığına göre belirlenen kuyruk türbülans kategorileri uçaklar arasındaki minimum ayırmanın belirlenmesinde kullanılır.

**Tablo 1.** Son yaklaşımda uygulanan ICAO MDA kuralları

		TAKİP EDEN			
		Çok Ağır(A380)	Ağır	Orta	Hafif
ÖNDEKİ UÇAK	Çok Ağır(A380)	SM	6Nm	7Nm	8Nm
	Ağır	SM	4Nm	5Nm	6Nm
	Orta	SM	SM	SM	5Nm
	Hafif	SM	SM	SM	SM

Kaynak: Eurocontrol, 2011

Tablo 1'de son yaklaşma aşamasında gözetleme radar sistemine sahip tüm uçaklar için uygulanması gereken mesafe olarak minimum kuyruk türbülans ayırma kuralları verilmiştir (Deprez, 2017: s.3; Eurocontrol, 2011: s.64). Bu kurallara bakıldığında, çok ağır bir uçağı takip eden hafif bir uçak arası minimum ayırma 8Nm, orta bir uçak arası minimum ayırma 7 Nm, ağır bir uçak arası minimum ayırma 6 Nm, çok ağır bir uçak arası minimum ayırma son yaklaşımda minimum radar ayırımının minimum aralığını temsil eden, yerel radar yetenekleri izin verdiğinde 3Nm sağlanan pist eşiğinin 10Nm içinde aynı son yaklaşma pistinde yerleşik olan sonraki uçaklar arasında 2.5Nm'ye düşürülebilen SM (Spacing Minimum) olmalıdır (Eurocontrol, 2011: s.64). Kuyruk türbülans kategorilerine göre belirlenen mesafeye dayalı ayırma modelinde sakin rüzgâr koşullarında sabit bir iniş oranı yakalanırken güçlü rüzgâr koşullarında (uçağın baş kısmından aldığı, kafa rüzgârı olarak adlandırılan rüzgâr) uçakların havada kalma süresini artırarak iniş oranının azalmasına neden olmaktadır.

**Tablo 2:** Kafa rüzgârının mesafe üzerindeki etkileri

Ortalama Kafa Rüzgârı	Ortalama Yer Hızı	90s	113s	135s
5kn	160kn	4.0Nm	5.0Nm	6.0Nm
15kn	150kn	3.8Nm	4.7Nm	5.6Nm
25kn	140kn	3.5Nm	4.4Nm	5.3Nm

Kaynak: Morris vd., 2013: s.3

Tablo 2'de Heathrow Havalimanı'nda uçakların 5, 10 ve 15 knot'luk rüzgârda belirli bir zamanda kat ettiği mesafe verilmiştir. Uçaklar 5 knot'luk bir kafa rüzgârı durumunda 90 sn'de 4 Nm uçabilirken 15 knot'luk rüzgârda 3.8 Nm, 25 knot'luk bir rüzgârda ise 3.5 Nm uçabilmektedir. Yani, kafa rüzgârı arttıkça uçaklar belli bir mesafeyi kat etmek için daha uzun sürede havada kalmakta ve iniş kapasitesi düşmektedir. Tüm bunlar son yaklaşımdaki geleneksel sistemin aksine rüzgâr durumlarını dikkate alan Zamana Dayalı Ayırma (ZDA) modelini gündeme getirmektedir.

### Zamana Dayalı Ayırma Modeli (ZDA)

Zamana Dayalı Ayırma (TBS), son yaklaşımda uçak inişini yönetmek için kullanılan bir prosedürdür ve uçaklar arası sakin rüzgâr (kafa rüzgârı) koşullarında mesafeye dayalı uygulanan uçaklar arası ayırma mesafesinin kat edilmesi için gerekli sürelerle karşılık gelen zaman olarak ifade edilmesine dayanan ayırma modelidir. Geleneksel modelde (MDA) aynı piste inen uçaklar, önceki uçağın ağırlık kategorisine dayalı olarak minimum bir mesafe ile ayrılır. Bununla birlikte, daha hafif bir uçak, daha ağır bir uçak iniş yaptıktan sonra iz türbülansının dağılması için gerekenden daha uzun süre beklemek zorunda kalabileceğinden, MDA verimsizliğe yol açabilir. TBS ise, gelen uçakları mesafe yerine zamana göre ayırarak pist verimini artırmayı ve dümen suyu (kuyruk) türbülans riskini azaltmayı hedeflemektedir. TBS, tip, ağırlık ve yaklaşma hızlarına göre ardışık uçaklar arasındaki uygun zaman aralığını hesaplamak için gerçek zamanlı verileri kullanmaktadır. Bu aralık, rüzgâr koşulları ve iniş kuyruğundaki uçak sayısı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak dinamik olarak ayarlanmaktadır (Eurocontrol, 2020: s. 14 ; Haskins, 2014).

Düşük rüzgâr koşullarında son yaklaşma süzülme eğiminde uçağın yer hızı profilini dikkate alarak MDA kurallarından türetilen ZDA'nın amacı, mesafeye dayalı ayırma uygulanırken hâlihazırda yaşanan kayıp iniş hızını geri kazanarak son yaklaşımda karşı rüzgâr koşullarına karşı iniş hızı esnekliğini iyileştirmektir (Morris vd., 2013: s.2).

**Tablo 3.** Zamana dayalı ayırma standartları

		TAKİP EDEN			
		Çok Ağır (A380)	Ağır	Orta	Hafif
ÖNDEKİ UÇAK	Çok Ağır (A380)	60s	145s	167s	189s
	Ağır	60s	98s	122s	145s
	Orta	60s	60s	60s	122s
	Hafif	60s	60s	60s	60s

**Kaynak:** Morris vd., 2013: s.3

Tablo 3'te son yaklaşımda uçaklar arasında uygulanan ayırma mesafesinin karşılık geldiği süreler verilmiştir. Pist iniş eşiğine kadar olan aralık üzerinde süzülme eğiminde (glideslope) 5 knot'luk bir kafa rüzgâr şartlarında (Morris vd., 2013: s.3) çok ağır (A380) bir uçağı takip eden çok ağır bir uçak arasında 60sn, ağır bir uçak arasında 145sn, orta bir uçak arasında 167sn, hafif bir uçak arasında 189sn uygulanmalıdır.

Zamana Dayalı Ayırma (ZDA) mesafesi, hafif rüzgâr koşullarında Mesafeye Dayalı Ayırma (MDA) mesafesi ile aynı, kuvvetli rüzgâr koşullarında MDA mesafesinden daha azdır (Morris vd., 2013: s.3).

Aslında, ZDA modeli uygulanırken sakin rüzgâr koşullarında uygulanan MDA mesafesinin zaman olarak karşılığı alınır ve kuvvetli rüzgâr koşullarında bu zaman uygulanır.

**Tablo 4.** MDA ve ZDA modelinin avantaj ve dezavantajları

		Avantajları	Dezavantajları
Mesafeye Ayırma	Dayalı	Ekstra personel ve ekipman gereksinimi olmaması Azaltılmış iş yükü Düşük terminal manevra sahası ücreti	Azaltılmış varış kapasitesi Düşük operasyonel öngörülebilirlik Düşük operasyonel verimlilik Artan gecikme ve iptaller Havayolu maliyetlerinde artış Fazla yakıt tüketimi Artan çevre kirliliği ve emisyon oranı
Zamana Dayalı Ayırma		Azaltılmış gecikme oranı ve varış süresi değişkenliği Artırılmış varış kapasitesi, Artan operasyonel öngörülebilirlik Yüksek operasyonel verimlilik	Artan iş yükü

---

Yakıt verimliliği	Ekstra personel ve ekipman gereksinimi
Azaltılmış iptaller	Artan terminal manevra sahası ücretleri
Havayolu maliyetlerinde düşüş	
Çevre ve zaman verimliliğinde artış	
Artırılmış pist kapasitesi	
Daha fazla uçuş planlama imkânı (Eurocontrol, 2011: s.47-49)	
Kıt kaynakların verimli kullanımı	
Azalan çevre kirliliği ve emisyon oranı	

---

Tablo 4'te ZDA modelinin avantaj ve dezavantajları son yaklaşımda geleneksel model olan MDA modeli ile karşılaştırılmıştır. Meteorolojik şartları göz ardı eden ve kuvvetli rüzgâr şartlarında uçağın havada kalma süresini artırarak fazladan yakıt tüketimine neden olan ve dolayısıyla operasyonel verimlilik ve operasyonel öngörülebilirliği düşüren, gecikme ve iptallerin artmasına neden olan ve havayolları maliyetlerini artıran, havalimanı pist verimini ve iniş kapasitesine düşüren geleneksel model yerine ZDA modelinin kullanılması durumunda uçakların havada kalma süresi ve yakıt maliyeti azalacak, pist verimliliği ve operasyonel verimlilik artacak, havalimanına daha fazla uçuş planlama imkânı sağlanmış olacak, gecikme oranı, iptaller ve varış süresi değişkenliği azalacak ve dolayısıyla havayolu maliyetleri düşecektir.

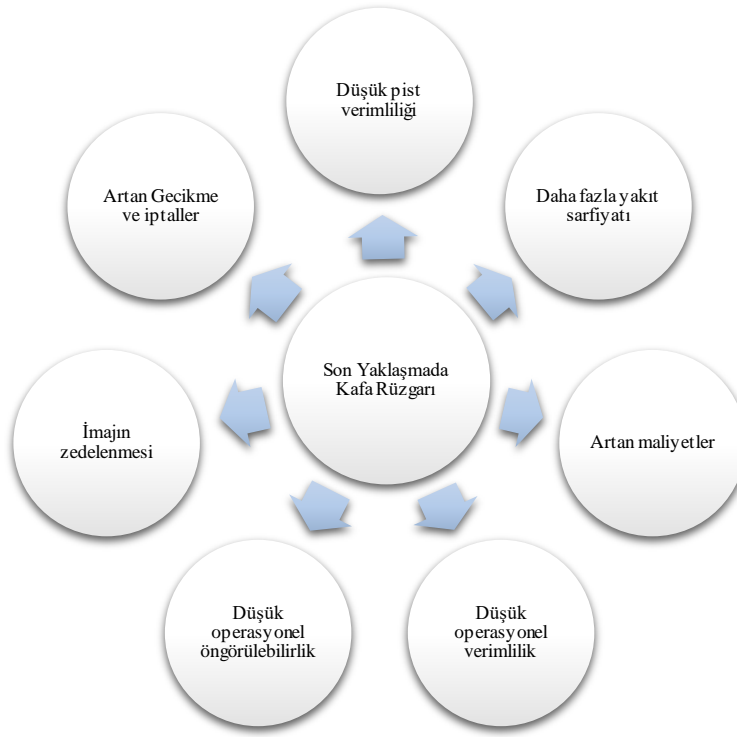
TBS'nin pist verimini artırdığı ve gecikmeleri azalttığı ve aynı zamanda dümen suyu türbülansı ile karşılaşma riskini azaltarak güvenliği iyileştirdiği gösterilmiştir. Birleşik Krallık Ulusal Hava Trafik Hizmetleri (NATS) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, TBS pist kapasitesini %12'ye kadar artırma ve genel gecikmeyi %17'ye kadar azaltma potansiyeline sahiptir (Haskins, 2014).

### ZAMANA DAYALI AYIRMA MODELİ DÜNYA ÖRNEKLERİ

Literatürde çok yer almamakla birlikte ZDA modelinin dünya örnekleri incelenmiş, yapılan çalışmalardan dünyanın en yoğun iki pistli havalimanı olan ve kapasitesinin %99'unu kullanacak şekilde planlanan Londra Heathrow Havalimanı ile (Haskins, 2014) özellikle turizm sektörünün büyümesi ve düşük maliyetli şirketlerin artan varlığı nedeniyle yoğun saatlerde tam kapasite çalışan Lizbon Havalimanı (Deprez, 2017: s.2) örnekleri incelenmiş ve ZDA modeli, MDA modeli ile karşılaştırıp faydaları sıralanmıştır.

#### Londra Heathrow Havalimanı

Londra Heathrow Havalimanı, IATA kodu "LHR", ICAO kodu "EGLL" olan ([Londra Heathrow Havalimanı, 2022](#)), yılda 470.000'den fazla uçuş gerçekleştiren, dünyanın en yoğun iki pistli havalimanıdır. Aynı zamanda kapasitesinin %99'unu kullanacak şekilde planlanmıştır ve iniş hızı (saatte inen uçak sayısı) üzerindeki herhangi bir etki, gecikme ve iptal gibi sonuçlara yol açabilmektedir (Haskins, 2014).



**Şekil 1.** Londra Heathrow Havalimanı'nda MDA modelinin kullanılmasının dezavantajları

Şekil 1'de kapasitesinin tamamına yakınına yaklaşımını kullanan Londra Heathrow Havalimanı için son yaklaşmada MDA modelinin kullanılmasının dezavantajları verilmiştir. Uçakların son yaklaşmada aldığı kafa rüzgârı, kapasitesinin %99'unu kullanan Londra Heathrow Havalimanı için pist etkinliğini düşürmekte, kafa rüzgârı nedeniyle oluşan gecikmeler yılda 60 gündür ve gecikmelerin 12000 dakikayı aşabilmekte, uçakların daha uzun süre havada kalmasına bağlı olarak gecikmeleri, iptalleri ve yakıt tüketimini artırmakta, dolayısıyla operasyonel verimliliği ve öngörülebilirliği azaltmakta, maliyetleri yükseltmektedir. Ayrıca gecikme ve iptallerin artması yolcu memnuniyetini düşürmekte, işletmenin imajın zedelenmesine yol açmaktadır. Tüm bu dezavantajları ortadan kaldırmak için Heathrow Havalimanı'nda son yaklaşmada ZDA modelinin kullanılması için çalışmalar yapılmış, 11 Şubat 2012'den 5 Mart 2012'ye kadar NATS CTC'de Swanwick yaklaşımı gerçek zamanlı simülatörde 6'sı eğitim olmak üzere 51 simülasyon gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar alınmıştır (Morris ve diğerleri, 2013: s.5-6 ; Haskins, 2014);

- Simüle edilen trafik örnekleri ve rüzgâr koşulları için tüm uygulamalarda ZDA ile uçak iniş oranları tutarlı bir şekilde artırılmış; MDA'ya kıyasla ZDA ile saatte 5'e kadar ek uçak, saatte ortalama ise 2 ek uçak inmiştir.

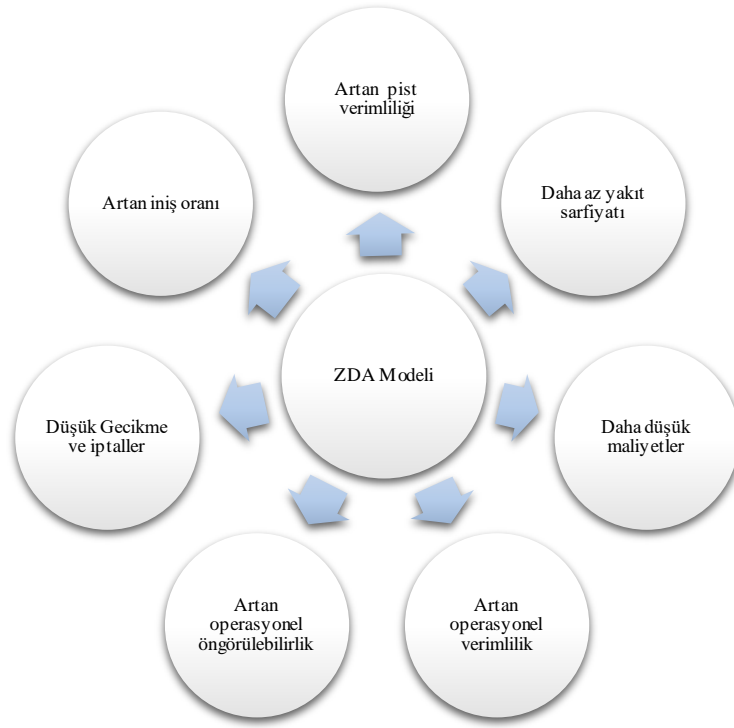
- ZDA ile bekletme sürelerindeki ortalama azalma, maksimum 9.4 dakika azalma ile 0.9 dakika olmuştur.

- ZDA ile teker koyma sürelerine girişindeki ortalama azalma, maksimum 9.3 dakika azalma ile 1.4 dakika olmuştur.

- MDA ile karşılaştırıldığında ZDA ile kontrolör iş yüklerinde hiçbir fark olmadığı gözlemlenmiştir.

Tüm bu sonuçlar dikkate alınarak çalışmamızda Londra Heathrow Havalimanı'nda son yaklaşmada MDA modeli yerine ZDA modeli kullanıldığında elde edilebilecek avantajlar sıralanmış ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

Bu kapsamda, son yaklaşmada ZDA modelinin kullanılması Londra Heathrow Havalimanı için iniş oranı ve pist verimliliğini artıracak, yakıt verimliliği sağlayacak, gecikme ve iptalleri azaltacak, hem de operasyonel verimliliği ve operasyonel öngörülebilirliği artıracak ve maliyet avantajı sağlayacaktır.



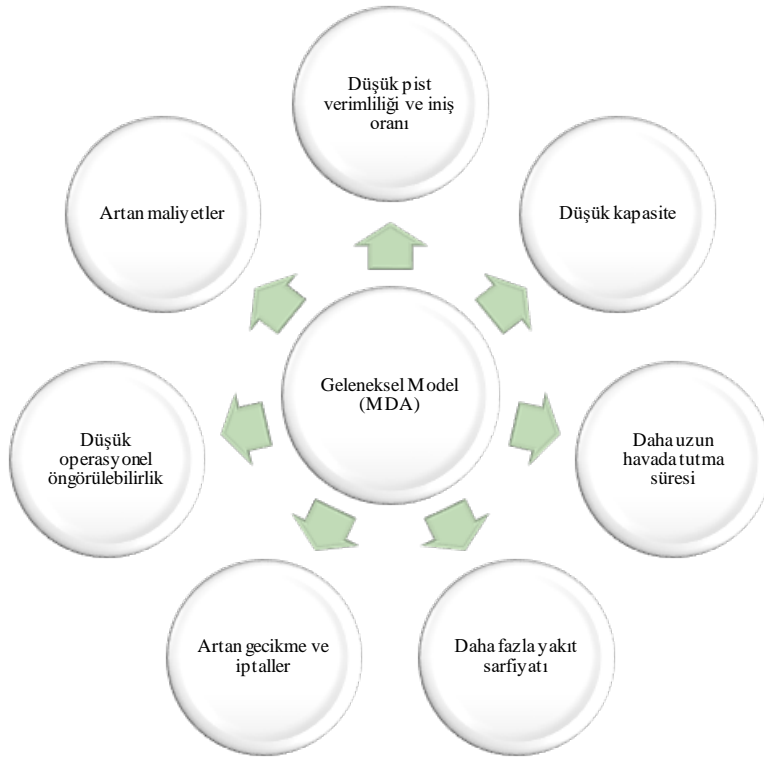
**Şekil 2.** Londra Heathrow Havalimanı'nda ZDA modelinin kullanılmasının avantajları

Londra Heathrow Havalimanı'nda yapılan çalışmada elde edilen bulgular da ZDA konseptinin Heathrow yaklaşımı için simüle edildiği gibi uygulanabilir olduğunu ve daha kuvvetli rüzgâr koşullarında daha yüksek uçak iniş hızları ve azaltılmış bekleme ve yaklaşma süreleri açısından önemli faydalar sağlayabileceğini göstermektedir (Morris ve diğerleri, 2013: s.6).

### Lizbon Havalimanı

Lizbon Havalimanı'nın IATA kodu "LIS", ICAO kodu "LPPT" (Lizbon Havalimanı, 2022)'dir. Özellikle turizm sektörünün büyümesi ve 2015 yılında Lizbon'da %27 büyüyen düşük maliyetli şirketlerin artan varlığı nedeniyle yoğun saatlerde tam kapasite çalışan Lizbon Havalimanı 2016 yılında günde en az 3 saat boyunca tam kapasitesinin en az %80'ini kullanarak sıkışık bir şekilde çalışmıştır.

Kapasite yetersizliğine yanıt vermek için ülkedeki diğer bir havalimanı olan Montijo havaalanının genişletilmesi gibi tartışmalar olsa da gelen uçakların akışını belirleyen en önemli faktörlerden biri Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından talep edilen minimum ayırma (Deprez, 2017: s.2) olduğu için son yaklaşımda uçaklar arası ayırma mesafeye dayalı yapılmaktadır ve rüzgâr gibi meteorolojik koşullar göz ardı edilmesi nedeniyle son yaklaşımdaki kafa rüzgârı, minimum ayırmadaki mesafeyi kat etmek için gerekli süreyi uzatmakta ve iniş oranı düşmektedir.



**Şekil 3.** Lizbon Havalimanı'nda MDA modelinin kullanılmasının dezavantajları

Şekil 3'te Lizbon Havalimanı'nda MDA modelinin kullanılmasının dezavantajları verilmiştir. Son yaklaşımda MDA modelinin kullanılması iniş oranını, pist verimliliğini ve dolayısıyla da kapasiteyi düşürecek, yakıt sarfiyatını, maliyetleri, gecikme ve iptalleri artıracak ve operasyonel öngörülebilirliği düşürecektir.

Bu kapsamda yukarıda bahsedilen olumsuz etkiler dikkate alınmış, Lizbon Havalimanı'nda son yaklaşımda ZDA modeli kullanılması için çalışmalar yapılmış ve gerçek örnekler için kapasite analiz edilmiştir.

Minimum ayırma ve kuyruk türbülans kategorileri dikkate alınarak ZDA modeli hakkında mümkün olan en iyi bilgileri toplamak için havalimanının en yoğun olduğu peak saatler seçilmiş ve farklı kafa rüzgârı koşullarında elde edilen kapasite analiz edilmiş, Lizbon Havalimanı için farklı kafa rüzgârı koşullarında ZDA modeli kullanılmadan ve ZDA modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir (Deprez, 2017: s.9):

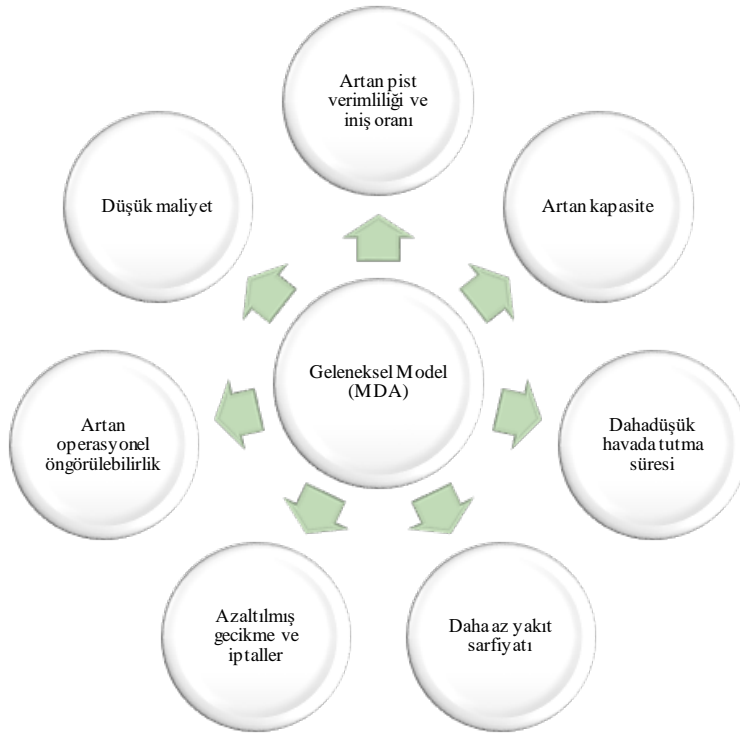
**Tablo 5.** Farklı kafa rüzgârı koşulları ve ZDA kapasitesi

	Trafik Örnekleri		Saatlik Kapasite		Toplam Kapasite
	Geliş	Gidiş	Geliş	Gidiş	
Kafa Rüzgârı < 5 knot	25	11	26	11	37
5 knot < Kafa Rüzgârı < 10 knot	20	16	23	18	41
Kafa Rüzgârı > 10 knot	23	21	20	18	38
ZDA			35	8	43

**Kaynak:** Deprez, 2017: s.9

Tablo 5'te görüldüğü üzere, bir saatlik süre için Lizbon Havalimanı'nda 5 knot'dan düşük bir kafa rüzgârda trafik 37, 5 ila 10 knot arası 41, 10 knot'dan yüksek bir kafa rüzgârı için 38 iken ZDA ile elde edilen hareket sayısı toplam 43'tür. Bu nedenle, saatte sadece 1 ila 6 hareketin artmasına rağmen, Lizbon Havalimanı kapasitesinin gelişme potansiyeli olduğu ve ZDA'nın iniş hızında fayda sağladığı sonucuna varılabilmektedir.



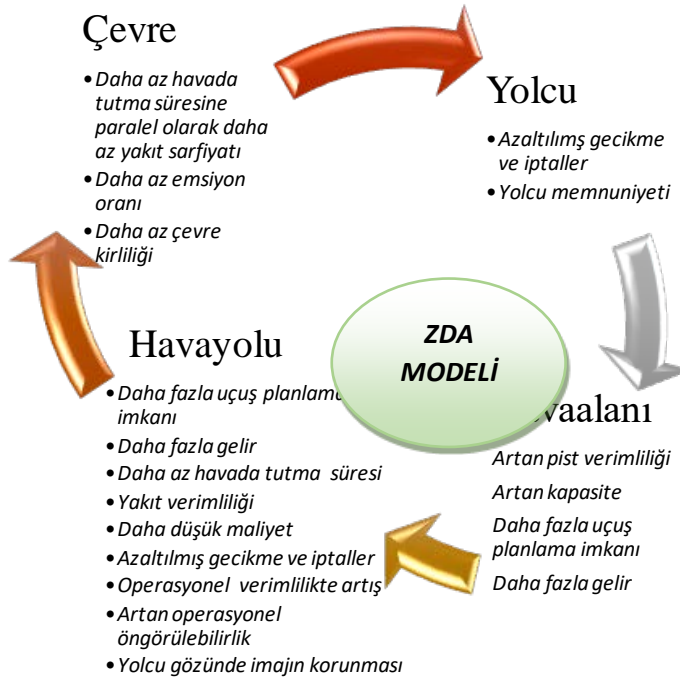


**Şekil 4.** Lizbon Havalimanı'nda ZDA modelinin kullanılmasının avantajları

Şekil 4'te, Lizbon Havalimanı'nda ZDA modelinin kullanılmasının avantajları verilmiştir. Son yaklaşımda ZDA modelinin kullanılması iniş oranı, pist verimliliğini ve dolayısıyla kapasiteyi artıracak, uçakları havada tutma süresi düşecek ve yakıt sarfiyatı, gecikme ve iptaller azalacak, maliyetler düşecek ve operasyonel öngörülebilirlik artacaktır.

### SON YAKLAŞMADA SÜRDÜRÜLEBİLİR ZDA MODELİ

Dünyada büyük yatırım gerektiren havalimanlarında ZDA modelinin kullanılması son yaklaşımda geleneksel model olan MDA modeline göre avantaj sağlayacaktır. Ülkemiz havalimanlarında ZDA modelinin kullanılmasıyla elde edilecek bu avantajlar Şekil 5'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.** ZDA modelinin ülkemizde kullanılmasının avantajları

Ülkemizde MDA modeli yerine ZDA modelinin kullanılması sistem içerisinde bulunan ve her birinin olumlu etkisi bir diğerini pekiştiren 4 faktörü etkilemektedir. Bu faktörler aşağıda sıralanmıştır:

- Havaalanını
- Havayolu
- Yolcu
- Çevre

Havaalanı pist verimliliğinin artması ile iniş oranı ve kapasite artacak, daha fazla uçuş planlama ve dolayısıyla hem havaalanı işletmesi hem de havayolları için daha fazla gelir sağlama imkânı sağlanmış olacaktır. Bununla birlikte uçakları havada tutma süresi kısaldığından hem yakıt verimliliği sağlanacak, hem de emisyon oranı ve olumsuz çevresel etkiler azalacaktır. Ayrıca yer operasyonlarında ve havadaki gecikme ve iptal oranları azalacak, operasyonel verimlilik ve öngörülebilirlik artacak ve yolcu memnuniyeti sağlanmış olacaktır.

Ayrıca havacılık emniyeti açısından da önem arz eden bu çalışmada kullanılan, uçakların beklenen varış, kalkış veya hava sahasında belirli bir noktayı geçme zamanlarına göre ayrılmasını içeren zamana dayalı ayırma modeli, özellikle havalimanı kalkış ve iniş trafiğinin yüksek olduğu dönemlerde uçaklar arasındaki çarpışma riskini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Birleşik Krallık'ın hava trafik kontrol sağlayıcısı NATS tarafından yürütülen bir araştırma, zamana dayalı ayırma modelinin pist ihlalleri, pas geçme ve ayrılma olaylarının kaybı riskini azaltarak güvenliği iyileştirdiğini göstermektedir. Ek olarak, zamana dayalı ayırmanın hava sahasındaki kapasiteyi ve verimliliği artırdığını da göstermektedir (Haskins, 2014). Zamana dayalı ayırmanın, havacılık operasyonlarının güvenliğine önemli ölçüde katkıda bulunan önemli bir güvenlik önlemi olduğu açıktır.

## SONUÇ

Artan hava trafik talebi neticesinde yaşanan kapasite sorunlarına yanıt vermekte yetersiz kalan geleneksel sisteme alternatif olarak geliştirilen ZDA modeli kapasitenin artırılması konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Sadece kapasite artırımı değil, aynı zamanda kıt kaynakların verimli kullanılması, yakıt verimliliği sağlanması, emisyon oranının düşürülerek çevresel etkilerin azaltılması konusunda önemli bir yere sahip olan modelin dünya genelinde Londra Heathrow ve Lizbon gibi havalimanlarında simülasyon çalışmaları yapılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Ülkemizde de son yaklaşımda kafa rüzgârına maruz kalan ve büyük yatırımlar gerektiren, genişletilmesi mümkün olmayan ya da genişletme maliyeti fazla olan havalimanlarında bu sistemin uygulanması elde edilen bulgulara göre hem kapasite sorunlarına çözüm olacak hem de yolcular, havaalanları ve havayolları bu durumdan avantaj sağlayacaktır. Buna ek olarak emisyon oranı düşecek ve çevre kirliliği azalacaktır.

## KAYNAKÇA

Burnham, D. C., Hallock, J. N., & Greene, G. C. (2002), Wake turbulence limits on paired approaches to parallel runways, *Journal Of Aircraft*, 39(4), 630-637.

Deprez, L.D. (2017), Potential benefits in the application of time based separation concept at lisbon airport

Eurocontrol (2020). *Time-Based separation*. retrieved from <https://www.eurocontrol.int/articles/time-based-separation>, (Erişim tarihi: 02.05.2022)

Kolos-Lakatos, T (2017). *A system level study of new wake turbulence separation concepts and their impact on airport capacity*. PhD Thesis, Massachusetts Institute Of Technology.

Lizbon Havalimanı, (2022). Lisbon Havalimanı, <https://www.kiwi.com/tr/airport/lis/lisbon-portela-lisbon-portugal/>, (Erişim tarihi: 10.01.2022)

Londra Heathrow Havalimanı, (2022). Londra Heathrow Havalimanı, <https://www.airfleetrating.com/airport-codes/london-heathrow-airport/>, (Erişim tarihi: 10.01.2022)

Morris, C., Peters, J., & Choroba, P. (2013). *Validation of the time based separation concept at London Heathrow Airport*. In *10th Usa/Europe Atm R&D Seminar, Chicago* (Vol. 10), 1-10.

Nagid, G. (1992). *ICAO Wake Turbulence Provisions. Cover Photograph: Citation Vı Climbing Out Of The Early Morning Fog Over Lake Tahoe. Photograph Courtesy Of Paul Bowen, Wichita, Kansas*.

Ören, A. & Özlem Ş. (2016). Uçak kuyruk türbülans kategorilerinde yenilikler ve hava trafik yönetimi üzerindeki etkileri. *Engineer & The Machinery Magazine*, 57(680), 42-50

Paul H. (2014), *Time-Based separation at heathrow*, <https://nats.aero/blog/2014/02/explaining-time-based-separation-heathrow/>, (Erişim tarihi: 10.01.2022)

Pekcanattı, F. (2006). *İstanbul Atatürk Ve Sabiha Gökçen Havalimanı'nın kapasite, talep değerlendirmesi, Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Robinson, Jerry J. (1996). A simulation-based study of the impact of aircraft wake turbulence weight categories on airport capacity. *Agard Conference Proceedings Agard Cp*, 22-22

Tittsworth, J., Lang, S., Johnson, E. J., & Barnes, S. (2012). *Federal aviation administration wake turbulence program-recent highlights. 57th Air Traffic Control Association (ATCA) Annual Conference & Exposition*. Gaylord National Resort and Convention Center, Maryland, 1-8