

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DEKİ ULUSLARARASI HAVAALANLARININ KIZAKLAMA RİSK
DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Evrin HEZEK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DEKİ ULUSLARARASI HAVAALANLARININ KIZAKLAMA RİSK
DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Evrım HEZEK
(501171420)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdullah Hilmi LAV

HAZİRAN 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501171420 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Evrim HEZEK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TÜRKİYE’DEKİ ULUSLARARASI HAVAALANLARININ KIZAKLAMA RİSK DEĞERLENDİRMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Abdullah Hilmi Lav**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hilmi Berk ÇELİKOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN
İstanbul Gelişim Üniversitesi

Teslim Tarihi : 31 Mayıs 2022
Savunma Tarihi : 14 Haziran 2022





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Abdullah Hilmi LAV'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım esnasında bana her türlü desteği veren ve motivasyonumu artıran babam Nazım HEZEK'e, annem Sabiha HEZEK'e ve ablam Ezgi HEZEK'e teşekkür ederim.

Haziran 2022

Evrin HEZEK
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Sivil Havacılıkla İlgili Ulusal ve Uluslararası Kuruluşlar	1
1.2.1 ICAO (International Civil Aviation Organisation)	1
1.2.2 FAA (Federal Aviation Administration)	2
1.2.3 SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü)	2
1.2.4 DHMİ (Devlet Hava Meydanları İşletmesi) Genel Müdürlüğü	2
1.3 Uçuş Güvenliği ve İstatistiksel Veriler	3
2. KIZAKLAMA VE KAYMA DİRENCİ	11
2.1 Kayma Direnci	11
2.2 Kızaklama	13
2.2.1 Kızaklama türleri	16
2.2.1.1 Dinamik kızaklama	16
2.2.1.2 Viskoz kızaklama	19
2.2.1.3 Tersine kauçuk kızaklama	20
2.2.2 Kızaklamaya etki eden faktörler	21
2.2.2.1 Akışkan parametreleri	21
2.2.2.2 Lastik parametreleri	25
2.2.2.3 Pist parametreleri	31
2.2.2.4 Uçağın operasyonel parametreleri	47
2.2.2.5 Diğer parametreler	48
2.2.2.6 Kızaklamaya etki eden parametrelerin birbiriyle ilişkisi	49
2.2.3 Kızaklama riski oluşumuna karşı alınacak tedbirler	50
2.2.3.1 Piste oluk açma	50
2.2.3.2 Gözenekli sürtünme tabakası (PFC)	54
2.2.3.3 Drenaj	56
2.2.3.4 Pist bakımı	58
2.2.4 Kızaklama olayının etkilerini hafifletici tedbirler	62
2.2.4.1 Pist sonu emniyet alanı (RESA)	63
2.2.4.2 EMAS sistemi	65
2.2.5 Kızaklama sebebiyle gerçekleşen kaza örnekleri	67
2.2.5.1 Örnek 1	67

2.2.5.2 Örnek 2	70
3. UYGULAMA.....	75
3.1 İllere Ait Yağış Verileri ve Havalimanı Pist Sayıları.....	78
3.2 Havalimanlarının Potansiyel Kızaklama Riskleri	97
3.2.1 Asfalt piste sahip havalimanlarının potansiyel kızaklama riskleri	97
3.2.2 Beton piste sahip havalimanlarının potansiyel kızaklama riskleri	98
3.3 Risk Etki Alanlarının Değerlendirilmesi.....	100
3.3.1 Uçuş sayısına göre kızaklama riski etki alanı değerlendirmesi.....	100
3.3.2 Yolcu sayısına göre kızaklama riski etki alanı değerlendirmesi	102
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	107
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	117



KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
DHMI	: Devlet Hava Meydanların İşletmesi
EMAS	: Engineered Materials Arresting System
EPP	: Genleşmiş Polipropilen
FAA	: Federal Havacılık İdaresi
FAR	: Lastik İzi En-Boy Oranı
HMA	: Sıcak Karışımli Asfalt
ICAO	: Uluslararası Havacılık Örgütü
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
PCC	: Portland Çimento Betonu
PCI	: Pavement Condition Index
PFC	: Gözenekli Sürtünme Tabakası
PU	: Genleşmiş Poliüretan
RESA	: Pist Sonu Emniyet Alanı
SD	: Spin Down
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
TD	: Lastik Diş Derinliği
TXD	: Kaplama Doku Derinliği
WFD	: Su Filmi Kalınlığı



SEMBOLLER

V_P	: Kızaklama hızı
$F_{V,S}$	: Hidrodinamik basınç kuvvetinin dikey bileşeni
F_V	: Dikey yer kuvveti
V_G	: Kızaklamanın meydana geleceği yer hızı
A_G	: Lastik-yüzey temas alanı
ρ	: Sıvı yoğunluğu
p	: Lastik iç basıncı
α	: Açısal ivme
$C_{L,S}$	: Hidrodinamik kaldırma katsayısı
λ	: Kaplama yüzeyindeki parçacık büyüklüğü
D_R	: Yuvarlanma direnci
D_S	: Sıvı yer değiştirmesi sebebiyle oluşan direnç
μ	: Anlık lastik-yüzey sürtünme katsayısı
r	: Yüksüz lastiğin yarıçapı
δ	: Dikey lastik sapması
I	: Lastik ve tekerlek atalet momenti
W_D	: Kuru yüzeydeki tekerleğin dönüş hızı
W_W	: Islak pistle temasla birlikte dönüş hızındaki yavaşlamadan sonra tekerleğin dönüş hızı
L	: Kaplamanın akış yolu uzunluğu
S	: Kaplamanın çapraz eğimi
i	: Yağış yoğunluğu
X_C	: Dikey yük basınç merkezi yer değiştirmesi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : 2020 yılı uçuş safhalarına göre kaza yüzdeleri.	5
Çizelge 1.2 : 2011-2020 yılları arasındaki ölümlü kazaların uçuş safhasına göre dağılımı.	5
Çizelge 1.3 : 2011-2020 yılları arasında ölümlü kazaların ve uçak içindeki ölümlerin yüzdesi.	6
Çizelge 1.4 : İniş sırasında pisti aşma sebepleri.	9
Çizelge 2.1 : Dinamik ve viskoz kızaklama karşılaştırılması.....	20
Çizelge 2.2 : Lastik parametrelerinin kızaklama hızına etkileri.	30
Çizelge 2.3 : Parçacık büyüklüklerine göre doku türleri.	32
Çizelge 2.4 : Kanat açıklıklarına göre kod harfleri.....	36
Çizelge 2.5 : Pistlerin kod numaraları.	37
Çizelge 2.6 : Uçağın maksimum brüt ağırlığına göre rijid tabaka kalınlıkları.	40
Çizelge 2.7 : Uçağın maksimum brüt ağırlığına göre esnek tabaka kalınlıkları.....	43
Çizelge 2.8 : ASTM 2009'a göre tekerlek izi şiddetinin değerlendirilmesi.	44
Çizelge 2.9 : PCI Skalası.	45
Çizelge 2.10 : Havaalanı pisti oluk boyutları.	51
Çizelge 2.11 : Asfalt kaplama oluklarında görülebilecek sorunlar.....	52
Çizelge 2.12 : Suyun uzaklaştırılma sürelerine göre drenaj kalitesinin sınıflandırılması.	57
Çizelge 2.13 : Uçak referans baz uzunluğuna göre kod numaraları.	64
Çizelge 2.14 : ICAO Annex 14'e göre pist sonu emniyet alanı gereklilikleri.....	65
Çizelge 3.1 : Türkiye'deki uluslararası havalimanları ve kodları.....	77
Çizelge 3.2 : Adana Havalimanı yağış ve pist verileri.	78
Çizelge 3.3 : Ankara Esenboğa Havalimanı yağış ve pist verileri.	79
Çizelge 3.4 : Antalya Havalimanı yağış ve pist verileri.	79
Çizelge 3.5 : Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı yağış ve pist verileri.....	80
Çizelge 3.6 : Balıkesir Koca Seyit Havalimanı yağış ve pist verileri.....	80
Çizelge 3.7 : Bursa Yenişehir Havalimanı yağış ve pist verileri.	81
Çizelge 3.8 : Çanakkale Havalimanı yağış ve pist verileri.	81
Çizelge 3.9 : Denizli Çardak Havalimanı yağış ve pist verileri.	82
Çizelge 3.10 : Diyarbakır Havalimanı yağış ve pist verileri.	82
Çizelge 3.11 : Elazığ Havalimanı yağış ve pist verileri.....	83
Çizelge 3.12 : Erzurum Havalimanı yağış ve pist verileri.....	83
Çizelge 3.13 : Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı yağış ve pist verileri.....	84
Çizelge 3.14 : Gaziantep Havalimanı yağış ve pist verileri.	84
Çizelge 3.15 : Hatay Havalimanı yağış ve pist verileri.	85
Çizelge 3.16 : Isparta Süleyman Demirel Havalimanı yağış ve pist verileri.....	85
Çizelge 3.17 : İstanbul Havalimanı yağış ve pist verileri.	86
Çizelge 3.18 : İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı yağış ve pist verileri.....	86
Çizelge 3.19 : İzmir Adnan Menderes Havalimanı yağış ve pist verileri.....	87

Çizelge 3.20 : Kars Harakani Havalimanı yağış ve pist verileri.....	87
Çizelge 3.21 : Kayseri Havalimanı yağış ve pist verileri.	88
Çizelge 3.22 : Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı yağış ve pist verileri.....	88
Çizelge 3.23 : Konya Havalimanı yağış ve pist verileri.	89
Çizelge 3.24 : Kütahya Zafer Havalimanı yağış ve pist verileri.....	89
Çizelge 3.25 : Malatya Havalimanı yağış ve pist verileri.....	90
Çizelge 3.26 : Muğla Dalaman Havalimanı yağış ve pist verileri.	90
Çizelge 3.27 : Muğla Milas-Bodrum Havalimanı yağış ve pist verileri.....	91
Çizelge 3.28 : Nevşehir Kapadokya Havalimanı yağış ve pist verileri.	91
Çizelge 3.29 : Ordu-Giresun Havalimanı yağış ve pist verileri.....	92
Çizelge 3.30 : Rize-Artvin Havalimanı yağış ve pist verileri.....	92
Çizelge 3.31 : Samsun Çarşamba Havalimanı yağış ve pist verileri.	93
Çizelge 3.32 : Sinop Havalimanı yağış ve pist verileri.....	93
Çizelge 3.33 : Sivas Nuri Demirağ Havalimanı yağış ve pist verileri.	94
Çizelge 3.34 : Şanlıurfa GAP Havalimanı yağış ve pist verileri.	94
Çizelge 3.35 : Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı yağış ve pist verileri.	95
Çizelge 3.36 : Trazon Havalimanı yağış ve pist verileri.....	95
Çizelge 3.37 : Uşak Havalimanı yağış ve pist verileri.....	96
Çizelge 3.38 : Van Ferit Melen Havalimanı yağış ve pist verileri.	96
Çizelge 3.39 : Zonguldak Çaycuma Havalimanı yağış ve pist verileri.	97
Çizelge 3.40 : Asfalt piste sahip havalimanlarının potansiyel kızıklama riski değerlendirmesi.	98
Çizelge 3.41 : Beton piste sahip havalimanlarının potansiyel kızıklama riski değerlendirmesi.....	99
Çizelge 3.42 : 2021 yılında Türkiye'deki uluslararası havalimanlarında gerçekleşen toplam uçuş sayıları..	101
Çizelge 3.43 : 2021 yılında Türkiye'deki uluslararası havalimanlarını kullanan toplam yolcu sayıları.....	103
Çizelge 3.44 : Türkiye'deki uluslararası havalimanlarının kızıklama açısından en riskli olduğu aylar (en yağışlı aylar).	105

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : 2011-2020 yılları arasında uçuş sayısına göre kaza oranları.....	3
Şekil 1.2 : 1959-2010 yılları arasında ölümlü ve ölümlü olmayan kaza oranları.....	4
Şekil 1.3 : 2011-2020 yılları arasında ölümlü ve ölümlü olmayan kaza oranları.....	4
Şekil 1.4 : 2011-2020 yılları arasında uçuş aşamalarına göre ölümlü kaza ve ölüm sayıları.....	7
Şekil 1.5 : Ölümlü kazalarda kaza sebebine göre ölüm sayıları.	8
Şekil 2.1 : Kızaklama olayında tekerleğin durumu.	14
Şekil 2.2 : Kızaklamanın üç bölgede incelenmesi.	14
Şekil 2.3 : Akışkan sürtünme bileşeninin yer hızıyla ilişkisi.	15
Şekil 2.4 : Kızaklama sırasında yan sprey ve yay dalgası oluşumu.	16
Şekil 2.5 : Dinamik kızaklama sırasında tekerleğin durumu ve suyun etkisi.....	17
Şekil 2.6 : Viskoz kızaklama sırasında tekerleğin durumu ve suyun etkisi.....	20
Şekil 2.7 : Tersine kauçuk kızaklama sırasında lastiğin durumu ve lastik üzerinde oluşan kauçuk kalıntısı.....	21
Şekil 2.8 : 150 knot iniş hızı için frenleme katsayısı ve su derinliği ilişkisi.	23
Şekil 2.9 : Kuru, ıslak ve su basmış bir pistte yer hızının fonksiyonu olarak etkin frenleme sürtünme katsayısının karşılaştırılması.....	24
Şekil 2.10 : Uçak lastiğinin yapısı.	26
Şekil 2.11 : Oluklu uçak lastiği, pist yüzeyi ve su filmi etkileşimi.	27
Şekil 2.12 : Normal ve düşük iç basınçlarda lastiğin görünümü.	28
Şekil 2.13 : Kızaklama hızının lastik iç basıncıyla değişimi.	29
Şekil 2.14 : Yeni ve aşınmış lastikler için frenleme katsayısının belirli hızlara göre değişimi.	31
Şekil 2.15 : Pist yüzeyindeki makro ve mikro dokular.	32
Şekil 2.16 : Pist dokusunun lastik-zemin frenleme sürtünmesi üzerindeki etkisi.	34
Şekil 2.17 : Pist kaplama tabakaları.	38
Şekil 2.18 : Rijid kaplama tabakaları.	40
Şekil 2.19 : Kızaklamaya etki eden faktörlerin birbiriyle ilişkisi.....	49
Şekil 2.20 : FAA standartlarına göre oluk ölçüleri.	52
Şekil 2.21 : FAA standartlarına trapezoidal oluk ölçüleri.	53
Şekil 2.22 : Gözenekli sürtünme tabakası (PFC).	54
Şekil 2.23 : Oluklu ve PFC ile kaplı asfalt pistlerde frenleme katsayısının hıza göre değişimi.	55
Şekil 2.24 : Pist sonu emniyet alanı (RESA).	65
Şekil 2.25 : Kaza öncesi yapılan bakım.	68
Şekil 2.26 : Uçağın inişten sonraki hız değişimi.	69
Şekil 2.27 : Pistte kat edilen mesafeye göre uçak hızındaki değişim.	69
Şekil 2.28 : Kazadan sonra lastik üzerinde oluşan kauçuk kalıntıları.	74



TÜRKİYE’DEKİ ULUSLARARASI HAVAALANLARININ KIZAKLAMA RİSK DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Havayolları günümüzde ulaşım açısından sıklıkla tercih edilmektedir. Bunun sebebi hızlı olmasının yanı sıra diğer ulaşım araçlarından daha güvenli olmasıdır. Fakat uçaklarda da kaza riski her zaman vardır. İstatistiksel verilere göre uçaklarda kazaların önemli bir bölümü iniş aşamasında olmaktadır. İniş aşamasında kazaya sebebiyet verecek önemli olaylardan biri de kızaklamadır.

Pist üzerinde belli miktarda su birikintisi olduğunda ve uçak belirli iniş hızına ulaştığında su tarafından uçak lastiklerine bir kaldırma kuvveti uygulanır. Bu kaldırma kuvveti belirli bir büyüklüğe ulaştığında uçak, pist yüzeyinden tamamen ayrılır. Bu durumda frenleme ve viraj alma yeteneği kaybolur ve uçak hızlı bir şekilde pistten çıkar. Bu olay kızaklama olarak adlandırılmaktadır.

Kızaklama ilk olarak 1960’lı yıllarda NASA çalışmalarında keşfedilmiş ve konuyla ilgili birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Günümüzde de bu konunun sebepleri ve alınacak önlemler ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında kızaklama olayı ayrıntılarıyla ele alınmıştır. Kızaklama türleri (dinamik kızaklama, viskoz kızaklama ve tersine kauçuk kızaklama) incelendikten sonra, kızaklama olayına sebep olabilecek faktörler incelenmiştir. Kızaklamayı etkileyecek etkenlerin başında pist yüzeyinde biriken suyun derinliği gelmektedir. Bundan dolayı özellikle çok yağış alan bölgelerde kızaklama riski de fazla olmaktadır. Kızaklamayı etkileyecek bir diğer faktör ise pist kaplama yapısıdır. Pist yüzeyindeki parçacıkların türü, pistin kaplama türü (asfalt veya beton) gibi etkenler de kızaklama riskine etki eder. Pist yüzeyindeki makro dokunun varlığı yüksek hızlarda kızaklama riskini azaltırken, düşük hızlarda mikro doku kızaklama riskini azaltır. Ayrıca pistin eğimi de pist yüzeyinde biriken suyun ulaştığı derinliği etkileyerek kızaklama riskini etkilemektedir. Bunların dışında lastik yapısı, tasarımı ve lastik iç basıncı da kızaklama riskini etkileyen önemli bir parametredir. Özellikle lastik dış derinliği kaplama yüzeyi ile lastik arasındaki suyun tahliye edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Lastik iç basıncının artması da kızaklama riskinin azalmasına sebep olur. Bu etkenlerin dışında uçağın operasyonel parametreleri (iniş ağırlığı, iniş hızı), mevsimsel koşullar ve çevresel etkiler de kızaklamaya sebep olabilecek faktörlerdendir.

Kızaklamanın gerçekleşme riskini azaltmak için bir takım tedbirler alınmalıdır. Örneğin pist yüzeyinde yağış sırasında birikebilecek suyun tahliyesi için drenajın etkin bir şekilde yapılması kızaklama riskini önemli oranda azaltmaktadır. Bunun yanı sıra pist bakımları da standartlara uygun ve zamanında yapılmalı, gerekli durumlarda pist üzerine suyun daha iyi tahliyesi için oluklar açılmalıdır. Bazı durumlarda oluk açmak yerine gözenekli sürtünme tabakası (PFC) uygulaması da tercih edilmektedir.

Bununla birlikte kızaklama olayı gerçekleştiğinde olası etkilerini hafifletmek için de alınması gereken tedbirler vardır. Bunların en önemlisi pist sonu emniyet alanlarının (RESA) varlığıdır. Pist sonu emniyet alanları olası bir kızaklama durumunda uçağı pist dışına çıktığında yeterli sürtünme sağlayarak durdurmak üzere pistin hemen dışına inşa edilmiş yapılarıdır. Bazı durumlarda RESA inşa etmek için yeterli alan olamayabilir. Bu durumlarda ise mühendislik malzemesi durdurma sistemi (EMAS) adı verilen sistemler pist sonuna yerleştirilir.

Kızaklama sebebiyle gerçekleşen oldukça fazla kaza vardır. Bu tez çalışmasında şili ve Norveç’te kızaklama nedeniyle gerçekleşen iki adet kaza örneğine yer verilmiştir.

Uygulama kısmında ise ülkemizdeki uluslararası havalimanlarının potansiyel kızaklama risk değerlendirmesi yapılmıştır. Potansiyel kızaklama riski değerlendirilirken kullanılan faktör yıllık yağış miktarıdır. Asfalt ve beton kaplama arasında sürtünme katsayısı açısından farklılık olduğundan dolayı asfalt ve beton kaplamaya sahip havalimanlarının potansiyel risk değerlendirmesi ayrı ayrı yapılmıştır. Kızaklamayı etkileyen diğer faktörler arasında havalimanlarına göre belirgin bir farklılık olmadığı kabul edilmiştir. Örneğin uçak lastiklerinin yapısı ve tasarımı, uçak iniş hızları ve uçakların iniş ağırlıkları arasında belirgin bir farklılık bulunmadığı, pist bakımlarının ve drenajın standartlara uygun yapıldığı gibi varsayımlara dayanmaktadır.

Yapılan potansiyel risk değerlendirmesinde kızaklama açısından en riskli havalimanı Rize-Artvin Havalimanı’dır. Bunun sebebi yıllık yağış miktarının diğer illere göre çok daha fazla olmasıdır.

Sadece potansiyel kızaklama risk değerlendirmesi yapmak kızaklamanın etkisini araştırmak için yeterli bilgi vermemektedir. Bundan dolayı, yıllık yağış miktarına göre potansiyel kızaklama riski belirlendikten sonra risk etki alanları değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun anlamı olası bir kızaklama olayından ne kadar uçuşun ve ne kadar yolcunun etkilendiğini görmektir. Yıllık uçuş ve yıllık yolcu sayısı verilerine göre bu etki alanı değerlendirmesi yapılmıştır.

Uçuş sayısına göre kızaklama riski etki alanı ve yolcu sayısına göre kızaklama risk etki alanı en fazla olan havalimanı İstanbul Havalimanı’dır. İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya Havalimanı da yolcu ve uçuş trafiği bakımından oldukça yoğun havalimanlarıdır. Bu iki havalimanının da uçuş sayısına göre kızaklama riski etki alanı ve yolcu sayısına göre kızaklama risk etki alanı İstanbul Havalimanı’ndan sonra en yüksek değerlerdedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan yağış verilerine göre 38 havalimanının bulunduğu illerden 21 tanesinin en fazla yağış aldığı ay Aralık ayıdır. Ayrıca uçuş ve yolcu yoğunluğu yüksek olan Muğla, İstanbul ve Antalya gibi iller için de bu durum böyledir. Bundan dolayı zellikle Aralık ayında kızaklama riskine karşı daha dikkatli olunmalı ve ilave tedbirler alınmalıdır.

AQUAPLANING RISK ASSESSMENT AT INTERNATIONAL AIRPORTS IN TURKEY

SUMMARY

Airlines are frequently preferred in terms of transportation today. The reason for this is that it is not only fast, but also safer than other means of transportation. But there is always a risk of accident in airplanes. According to statistical data, a significant portion of aircraft accidents occur during the landing phase. One of the important events that will cause an accident during the landing phase is aquaplaning.

When there is a certain amount of water on the runway and the airplane reaches a certain landing speed, a lift is applied by the water to the airplane tires. When this lift reaches a certain magnitude, the airplane is completely separated from the runway surface. In this case, braking and cornering ability is lost and the aircraft quickly leaves the runway. This phenomenon is called aquaplaning.

Aquaplaning was first discovered in NASA studies in the 1960s and many experimental studies were conducted on the subject. Today, studies on the causes of this issue and the measures to be taken continue.

In this thesis, aquaplaning is discussed in detail. After examining the types of aquaplaning (dynamic aquaplaning, viscous aquaplaning, and reverse rubber aquaplaning), the factors that can cause aquaplaning are investigated.

One of the factors that will affect aquaplaning is the depth of the water accumulating on the runway surface. Therefore, the risk of aquaplaning is high, especially in regions with heavy rainfall. Another factor that will affect aquaplaning is the runway pavement structure. Factors such as the type of particles on the runway surface, the type of pavement (rigid or flexible) of the runway also affect the risk of aquaplaning. The presence of macro texture on the runway surface reduces the risk of aquaplaning at high speeds, while reducing the risk of micro-texture aquaplaning at low speeds. Apart from these, tire structure, design and tire inner pressure are also important parameters that affect the risk of aquaplaning. In particular, the tread depth of the tire plays an important role in evacuating the water between the pavement surface and the tire.

The increase in tire inner pressure also reduces the risk of aquaplaning. Apart from these factors, the operational parameters of the aircraft (landing weight, landing speed), seasonal conditions and environmental effects are also factors that can cause aquaplaning.

Several measures should be taken to reduce the risk of aquaplaning. For example, effective drainage for the discharge of water that may accumulate on the runway surface during precipitation significantly reduces the risk of aquaplaning. In addition, runway maintenance should be done in accordance with the standards and on time,

and when necessary, grooves should be opened on the runway for better drainage of water. In some cases, a porous friction layer (PFC) application is preferred instead of grooving.

However, when aquaplaning occurs, there are measures to be taken to mitigate its possible effects. The most important of these is the existence of runway end safety areas (RESA). Runway end safety areas are structures built just outside the runway to provide sufficient friction to stop the airplane when it goes off the runway in the event of a possible aquaplaning. In some cases, there may not be enough space to build a RESA. In these cases, systems called engineering material stopping system (EMAS) are placed at the end of the runway.

There are quite a few accidents caused by aquaplaning. In this thesis, two examples of accidents due to aquaplaning in Chile and Norway are included.

In the application part, aquaplaning risk assessment of international airports in our country has been made. The two factors used when assessing aquaplaning risk are annual precipitation and the type of runway cover.

It has been accepted that there is no significant difference between airports among other factors affecting aquaplaning. For example, the structure and design of aircraft tires are based on assumptions that there is no significant difference between aircraft landing speeds and aircraft landing weights, and that runway maintenance and drainage are carried out in accordance with standards.

In the risk assessment, the riskiest airport in terms of aquaplaning, that is, the airport with the highest risk score, is Rize-Artvin Airport. The reason for this is that the annual precipitation amount is much higher than other provinces, and the runway surface is asphalt. Because the coefficient of friction of asphalt pavements is lower than concrete pavements. This affects the skid resistance and causes a higher risk of aquaplaning.

Calculating aquaplaning risk scores alone does not provide enough information to investigate the effect of aquaplaning. Therefore, risk domains were evaluated after risk scores were calculated. This means seeing how many flights and how many passengers are affected against the risk score. As a result of the calculations, it has been seen that although some airports have high risk scores, aquaplaning risk impact area according to the number of flights per runway and aquaplaning risk impact area according to the number of passengers per runway, since the flight traffic and the number of passengers using these airports are low.

Istanbul Sabiha Gökçen Airport is the airport with the highest aquaplaning risk area according to the number of flights per runway and the maximum aquaplaning risk area according to the number of passengers per runway. Although it is the second busiest airport in our country with flight and passenger traffic, it has only 1 runway. Therefore, additional runway or runways are required to reduce this risk impact area. Istanbul Airport and Antalya Airport are also very busy airports in terms of passenger and flight traffic.

The aquaplaning risk impact area according to the number of flights per runway and the aquaplaning risk impact area according to the number of passengers per runway of these two airports are the highest after Istanbul Sabiha Gökçen Airport. Therefore, it may be considered to construct an additional runway at these two airports.

According to the precipitation data obtained from the General Directorate of Meteorology, 21 of the cities with 38 airports receive the most precipitation in December. This is also the case for provinces with high flight and passenger density such as Muğla, Istanbul and Antalya. Therefore, more attention should be paid to the risk of aquaplaning and additional measures should be taken, especially in December.





1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Havayolu taşıtları günümüzde oldukça sıklıkla kullanılan hızlı ve güvenli ulaşım araçlarıdır. Bununla birlikte insan yapımı tüm araçlarda olduğu gibi uçaklarda da kaza riski her zaman vardır. Uçak kazalarının önemli bir bölümü iniş safhasında gerçekleşmektedir. İniş aşamasında kazaya neden olan olaylardan biri de kızıklama riskidir. Bu tez çalışmasının amacı kızıklama olayını ayrıntılı bir şekilde incelemek ve ülkemizdeki 38 adet uluslararası havalimanı için kızıklama risk değerlendirmesi ve kızıklama risk etki alanı değerlendirmesi yapmaktır.

1.2. Sivil Havacılıkla İlgili Ulusal ve Uluslararası Kuruluşlar

Bu tez çalışmasında dört ulusal ve uluslararası sivil havacılık kuruluşunun dökümanlarından ve istatistiksel verilerinden yararlanılmıştır. Aşağıda bu kuruluşların görev ve sorumluluklarından kısaca bahsedilecektir.

1.2.1. ICAO (International Civil Aviation Organisation)

ICAO yani Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü, Birleşmiş Milletler'e bağlı olarak 1944 yılında kurulmuş bir uluslararası havacılık örgütüdür. Günümüzde ICAO'ya üye ülke sayısı 193'tür (url-1). ICAO, küresel sivil havacılık sisteminin sürdürülebilir bir şekilde büyümesini sağlamayı amaçlamaktadır. Politikalar ve standartlar geliştirerek, uygunluk denetimlerini üstlenir, çalışmalar ve analizler gerçekleştirir ve uçuş güvenliğinin maksimuma çıkarılmasını hedefler (url-2).

Uluslararası sivil havacılığın temelini oluşturan "Uluslararası Sivil Havacılık Anlaşması - Chicago Sözleşmesi"ne ülkemiz 1945 yılında taraf olmuş ve ICAO kurucu üyeleri arasında yer almıştır. Ülkemiz, birincil havacılık mevzuatı kapsamında ve ICAO gerekliliklerine uyumlu olacak şekilde, standart operasyonel prosedürler, ürünler, hizmetler, ekipman ve altyapıya yönelik düzenlemeleri yapmakla yükümlüdür (url-3).

1.2.2. FAA (Federal Aviation Administration)

FAA yani Federal Havacılık İdaresi, 1958 yılında kurulmuş olan Amerika Birleşik Devletleri merkezli bir havacılık kuruluşudur. Amacı güvenli ve verimli bir havacılık sistemi sağlamaktır (url-4).

1.2.3. SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü)

Dünya sivil havacılığının hızlı bir gelişme göstermesi, teknolojiye yaşanan büyük ilerleme karşısında, ulusal çıkarlarımızın korunması ile uluslararası ilişkilerimizin düzenli bir şekilde yürütülmesi ve denetlenmesi için 1954 yılında Ulaştırma Bakanlığı bünyesinde kurulan Sivil Havacılık Dairesi Başkanlığı, 1987 yılında Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü olarak günün koşullarına göre yeniden teşkilatlandırılmıştır (url-5).

Amacı Türk sivil havacılığının emniyetini ve güvenliğini belirlenen standartlar çerçevesinde sağlamak ve sivil havacılığın sürdürülebilir gelişimine hizmet etmek için etkin ve saygın bir konuma sahip olmaktır (url-6).

1.2.4. DHMİ (Devlet Hava Meydanları İşletmesi) Genel Müdürlüğü

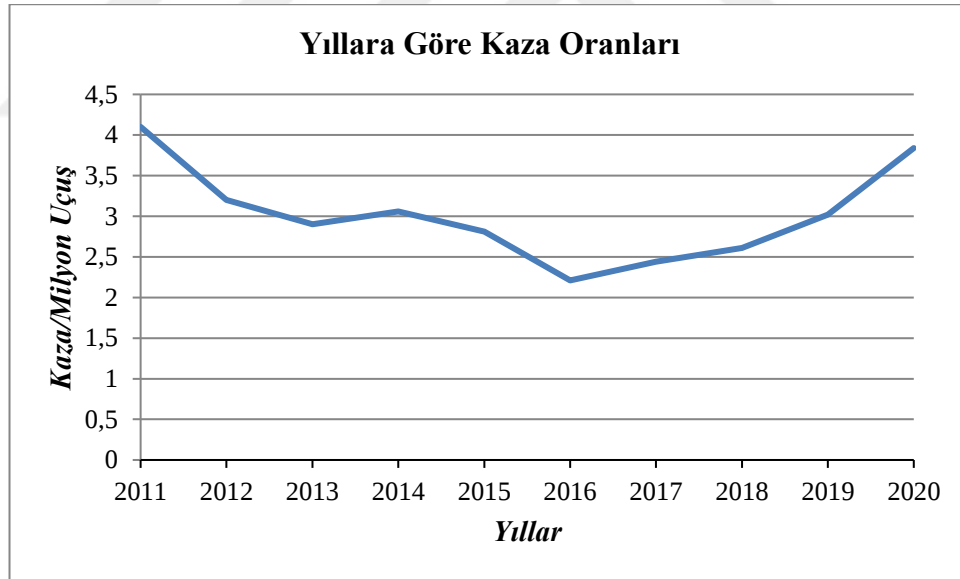
Türk sivil havacılık sektörünün altyapısını oluşturan tesis ve donanımıyla, 1933 yılından bu yana değişik isim ve statülerle hizmetlerini yürütmekte olan kuruluş, 233 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname ve Ana Statüsü çerçevesinde 1984 yılından itibaren faaliyetlerini Kamu İktisadi Teşebbüsü olarak sürdürmektedir. Türkiye havalimanlarının işletilmesi ile Türkiye hava sahasındaki hava trafiğinin düzenlenmesi ve kontrolü görevi, DHMİ Genel Müdürlüğü tarafından yerine getirilmektedir (url-7).

Amacı havacılık sektöründe uluslararası standartlarda, kaliteli, güvenli, konforlu, insana ve çevreye duyarlı ileri teknoloji ürünü altyapı ve sistemlere ve yetişmiş insan gücüne dayalı hava seyrüsefer ve havaalanı işletme hizmetleri sunmak ve hava trafik yönetimi ve havaalanı işletmeciliği alanında, küresel boyutta rekabet gücüne haiz dünyanın öncü kuruluşlarından biri olmaktır (url-8).

1.3. Uçuş Güvenliği ve İstatistiksel Veriler

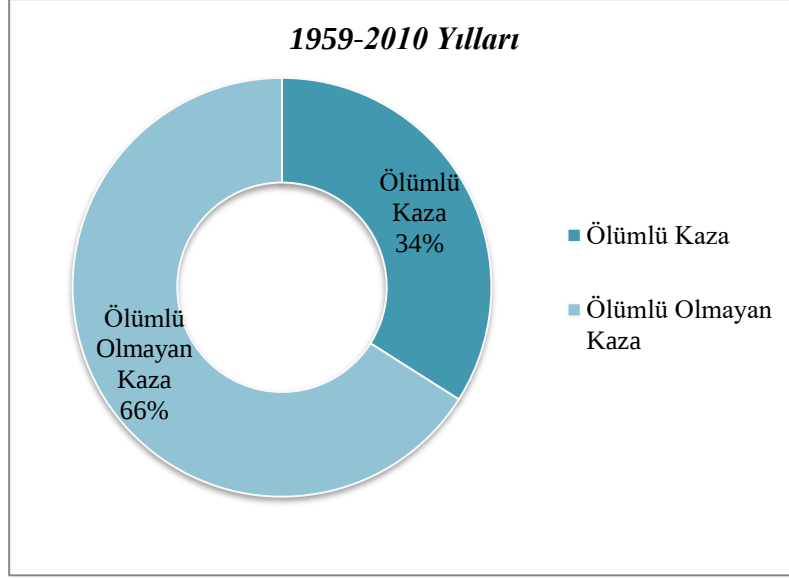
Havayolu taşımacılığı günümüz teknolojisiyle birlikte oldukça yaygınlaşmıştır. Dünya genelinde günde 100.000'nin üzerinde uçuş gerçekleşmekte ve 10.000.000'nun üzerinde insan ulaşım açısından uçakları tercih etmektedir (url-9). Bunun dışında yük taşımacılığında da uçaklar tercih edilmektedir. Özellikle çabuk bozulabilen ve ticari değeri yüksek ürünlerin taşınmasında kargo uçakları daha fazla tercih edilmektedir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte uçuş güvenliği oldukça yüksek seviyelerdedir. Uçaklar, karayolu ve demiryolu taşıtlarına göre çok daha hızlı ve güvenli ulaşım araçlarıdır. Bununla birlikte insan yapımı tüm araçlarda olduğu gibi uçaklarda da kaza riski her zaman vardır.

ICAO verilerine göre, Şekil 1.1'de 2011-2020 yılları arasında uçuş sayısına göre kaza oranları görülmektedir (url-10). Örneğin, 2020 yılında 1 milyonda 3,84 kaza meydana gelmiştir. Bu verilerden de havayolu taşımacılığının oldukça güvenli olduğu sonucu çıkarılabilir.



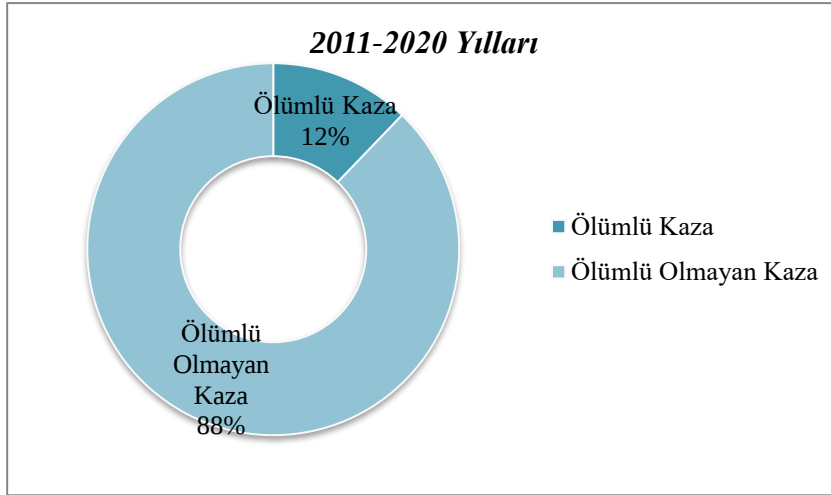
Şekil 1.1: 2011-2020 yılları arasında uçuş sayısına göre kaza oranları (url-10).

Boeing verilerine göre, Şekil 1.2'de 1959-2010 yılları arasında gerçekleşen ölümlü ve ölümlü olmayan kaza oranları verilmiştir (url-11). Gerçekleşen toplam 1762 kazanın 599'u ölümlü, 1163'ü ölümlü olmayan kazalardır.



Şekil 1.2: 1959-2010 yılları arasında ölümlü ve ölümlü olmayan kaza oranları (url-11).

Son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmelerle birlikte ölümlü kaza oranları oldukça azalmıştır. Boeing verilerine göre, Şekil 1.3’de 2011-2020 yılları arasında gerçekleşen ölümlü ve ölümlü olmayan kaza oranları verilmiştir. Ölümlü kaza oranları %34’ten %12’ye kadar gerilemiştir. Gerçekleşen toplam 320 kazanın 39’u ölümlü, 281’i ölümlü olmayan kazalardır.



Şekil 1.3: 2011-2020 yılları arasında ölümlü ve ölümlü olmayan kaza oranları (url-11).

Boeing verilerine göre 2020 yılında 17 adet uçak kazası meydana gelmiştir. Çizelge 1.1’de görüleceği gibi bu kazalardan 12 tanesi iniş sırasında, 1 tanesi havadayken, 2 tanesi kalkış sırasında, 1 tanesi ilk tırmanışta ve 1 tanesi de yaklaşma sırasında gerçekleşmiştir. Meydana gelen kazaların büyük çoğunluğu yine uçağın iniş

safhasında olmuştur. Bu da iniş sırasında kazaya sebep olabilecek faktörlerin araştırılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Çizelge 1.1: 2020 yılı uçuş safhalarına göre kaza yüzdeleri (url-11).

Uçuş Fazı	Kaza Sayısı	Kaza Yüzdesi
İniş	12	% 70,6
Kalkış	2	% 11,8
İlk Tırmanış	1	% 5,9
Havada	1	% 5,9
Yaklaşma	1	% 5,9

Boeing'in verilerine göre 2011-2020 yılları arasında toplam 39 adet ölümlü uçak kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların uçuş safhalarına göre dağılımı Çizelge 1.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.2: 2011-2020 yılları arasındaki ölümlü kazaların uçuş safhasına göre dağılımı (url-11).

Uçuş Safhası	Ölümlü Kaza Sayısı	Ölümlü Kaza Yüzdesi
Taksi, yükleme/ boşaltma, park etme, çekme	3	7,69
Havalanma	2	5,13
İlk Tırmanma	3	7,69
Tırmanış	4	10,26
Seyir	5	12,82
Alçalma	1	2,56
İlk Yaklaşma	0	0,00
Son Yaklaşma	11	28,21
İniş	10	25,64
Toplam	39	100,00

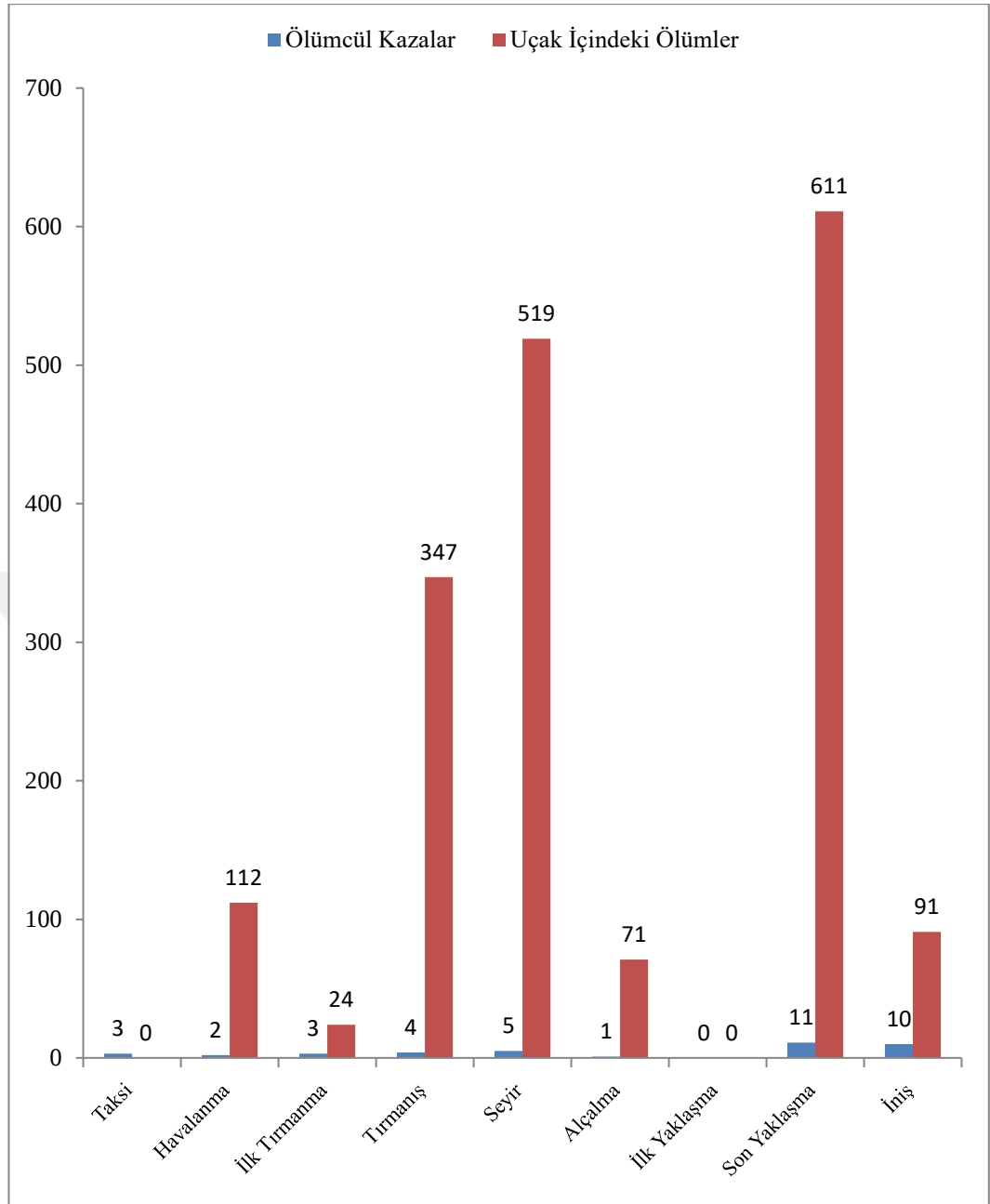
Boeing'in 2011-2020 yılları arasındaki verilerine göre, Çizelge 1.3'de görüldüğü üzere yüksekte seyir, havada geçirilen zamanın %57'sini oluşturmalarına rağmen, uçuşun bu aşaması tüm ölümlü kazaların %13'ünü oluşturur. Tersine, tüm ölümlü kazaların yarısından fazlası son yaklaşma ve iniş sırasında meydana gelir. Örneğin

iniş aşaması uçuş süresinin yalnızca %1’lik kısmını oluştururken bu aşamadaki ölümlü kazaların oranı %26’dır.

Çizelge 1.3: 2011-2020 yılları arasında ölümlü kazaların ve uçak içindeki ölümlerin yüzdesi (url-11).

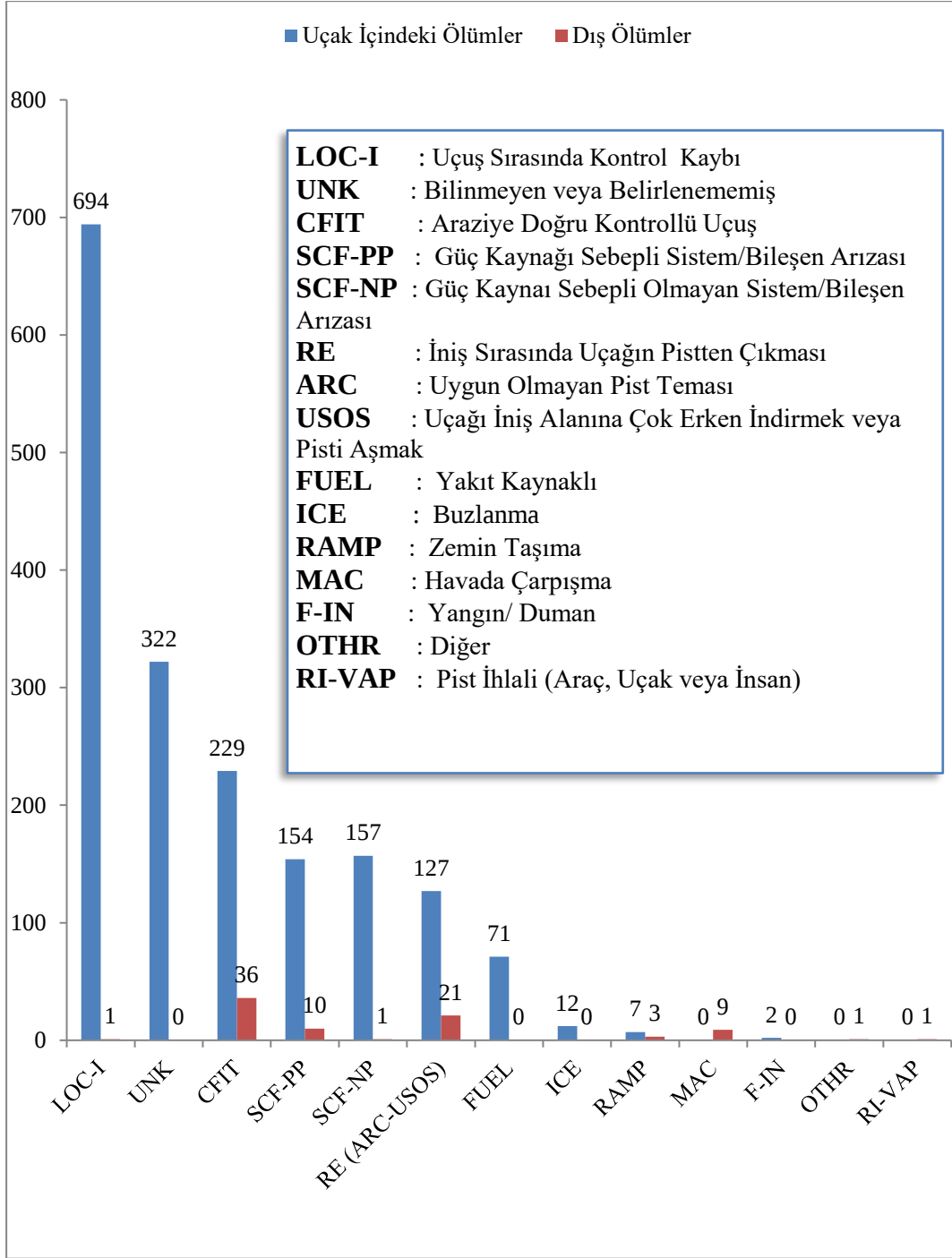
Uçuş Safhası	Ölümlü Kazalar	Uçak İçindeki Ölümler	Maruziyet (1.5 saatlik bir uçuş için tahmin edilen uçuş süresinin yüzdesi)
Taksi, yükleme/boşaltma, park etme, çekme	%8	%0	-
Havalanma	%5	%6	%1
İlk Tırmanma	%8	%1	%1
Tırmanış	%10	%20	%14
Seyir	%13	%29	%57
Alçalma	%3	%4	%11
İlk Yaklaşma	%0	%0	%12
Son Yaklaşma	%28	%34	%3
İniş	%26	%5	%1

Şekil 1.4’de ise Boeing verilerine göre, 2011-2020 yılları arasında uçuş aşamalarındaki ölümlü kaza ve ölüm sayıları gösterilmektedir. 39 ölümlü kazadan 21 tanesi son yaklaşma ve iniş aşamalarında meydana gelmiştir. Sadece iniş esnasında toplam 10 adet ölümlü kaza meydana gelmiştir.



Şekil 1.4: 2011-2020 yılları arasında uçuş aşamalarına göre ölümlü kaza ve ölüm sayıları (url-11).

Boeing verilerine göre, Şekil 1.5’de ölümlü kazalarda, kaza sebebine göre ölüm sayıları görülmektedir. En fazla ölüm uçuş sırasında uçağın kontrolünün kaybedilmesi sırasında gerçekleşmektedir. İniş sırasında uçağın pistten çıkması durumunda ise 127 kişi hayatını kaybetmiştir.



Şekil 1.5: Ölümlü kazalarda kaza sebebine göre ölüm sayıları (url-11).

Çizelge ve grafiklerde de görüleceği gibi iniş sırasında pistten çıkma sebebiyle meydana gelen kazalar en yaygın uçak kaza türleridir. Çizelge 1.4’de iniş sırasında pisti aşma sebepleri ve yüzdeleri görülmektedir (Van Es, 2010):

Çizelge 1.4: İniş sırasında pisti aşma sebepleri (Van Es, 2010).

İniş Sırasında Pisti Aşma	
<i>Faktör</i>	<i>Yüzde</i>
Islak/Kontamine Olmuş Pist	%58,8
Uzun İniş	%38,9
Yüksek Hız	%19,9
Hatalı İniş Kararı	%16,3
<u>Kızaklama</u>	%13,8
Kuyruk Rüzgarı	%13,6
Geç/Yanlış Fren Kullanımı	%11,3
Geç/Yanlış Ters İtici Kullanımı	%11,1
Çok Yüksekten Yaklaşmaya Başlamak	%6,1

Çizelge 1.4’de de görüldüğü gibi iniş sırasında pisti aşma sebeplerinden biri de kızaklamadır. İniş sırasında meydana gelen kazaların %13,8’i kızaklama nedeniyle gerçekleşmektedir. Kazaların önemli bir bölümünün iniş sırasında meydana geldiği göz önüne alındığında bu oranın ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasında kızaklama konusu ayrıntılarıyla ele alınacaktır.



2. KIZAKLAMA VE KAYMA DİRENCİ

Kızaklama ve kayma direnci birbiriyle ilişkili iki kavramdır. Bir yüzey kaplamasının kayma direnci ne kadar yüksek olursa kızaklama olayının gerçekleşme olasılığı da o kadar düşük olur. Çünkü kaymaya karşı kaplamanın gösterdiği direnç uçağın pist yüzeyinden ayrılmasını güçleştiren en önemli etkenlerdendir. Kızaklama konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle kayma direncinden bahsetmek gerekmektedir.

2.1. Kayma Direnci

Kayma direnci, uçak lastiği ile kaplama yüzeyi arasında oluşan sürtünme kuvvetinin bir göstergesidir (Uz ve Gökalp, 2017). Kaplama yüzeyinin, uçağın kaymasına veya savrulmasına karşı direncinin bir ölçüsüdür. Bu, bir lastiğin yüzey boyunca kaymasıyla oluşan dikey kuvvet ile yatay kuvvet arasındaki bir ilişkidir. Kaplama yüzeyinin dokusu ve cilalama etkisine direnme kabiliyeti, kayma direncinin sağlanmasında birinci derecede önemlidir. Agreganın cilalanması, açıkta kalan agregaların düzleşmesi ve yuvarlanması ile sonuçlanan mikro dokudaki azalmayı ifade etmektedir (Asi, 2007). Kayma direnci, uçağın yönünü ve hızını kontrol etmenin yanı sıra kısa fren mesafeleri sağlamanın en önemli faktörlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Lastik-yol sürtünmesinin olmaması, kazaların en önemli sebeplerinden biri olan savrilmaya yol açar (Panagouli ve Kokkalis, 1998). Kayma yüzeyinin pürüzlülüğü azaldıkça kayma direnci düşerek iniş güvenliğinin olumsuz etkilenmesine ve dolayısıyla kazaların oluşmasına neden olabilmektedir. Aşağıdaki nedenlerden dolayı kayma direnci azalarak uçak iniş güvenliğinde düşüşe yol açmaktadır (Şengöz ve diğ., 2010):

- Uçuş trafiğinin aşındırıcı etkisi ile aşınıp agrega yüzeyleri cilalanmakta, agrega/tekerlek arasındaki sürtünme azalmaktadır.
- Makro pürüzlülük azaldıkça tekerleğin altındaki sular drene olmayıp sürtünme kuvveti azalmakta ve kızaklama etkisi artmaktadır.
- Uçuş trafiğinin yoğun olduğu esnek kaplamalarda kalıcı deformasyonlar oluşmakta ve yağış suları kayma direncini azaltmaktadır.

Yeterli sürtünme özelliklerine sahip bir pist yüzeyi sağlamak için bir havalimanının kullanabileceği bir dizi seçenek vardır. ICAO (Ek 14), ağağıdakileri içeren seçenekleri açıklar (White 2017):

Açık Gradasyonlu Sürtünme Tabakası: Gözenekli sürtünme tabakası olarak da bilinir. Yüzey suyunun katmana girmesine ve asfalt katmanındaki i boşluklardan pist banketine çapraz olarak akmasına izin vermek için önemli ölçüde gözenekli olan ince (genellikle 20-30 mm) bir yüzey katmanını ifade eder. Açık gradasyonlu tabaka, bağlayıcı oksijene maruz kalır ve yüzey ömrü 5-7 yıla dğer. Boşluklar ayrıca trafik altında çökerek katmanı daha az geçirgen hale getirebilir ve koruma işlemleri boşlukları tıkayabilir.

Piste Oluk Açma: Standart oluklar 6 mm genişliğinde ve 6 mm derinliğindedir, pist merkez hattına dik olarak kesilir, merkezden merkeze her 38 mm aralıklarla yerleştirilir. Son yıllarda trapez oluklar da kullanılmaya başlanmıştır. Islak havalarda kayma direncini iyileştirmede etkili olmasına rağmen, oluklu yüzeylerde daha sonra çatlama, yaşlanma gibi sorunlar ortaya çıkabilir.

Asfaltik Yüzey rts: Sıcak bitümün püskürtülerek uygulanmasının ardından haddelenmiş tek boyutlu agregadan oluşur. 10 mm'lik bir agregada genellikle 1 mm'den fazla yüzey dokusu sağlar. Asfaltik yüzey örtüsü uzak bölgelerdeki daha küçük havaalanları için yaygındır. Bununla birlikte, asfaltik yüzey örtüsü, büyük jet uçaklarının neden olduğu yüksek gerilimlere karşı daha az dirençlidir ve büyük havaalanı pistlerine daha az uygundur.

Bitümlü Harç Kaplama: Bitümlü harç kaplama, agreganın kademelendirilmesi ve bitüm ile önceden karıştırılması dışında asfaltik yüzey örtüsü ile benzerdir. Daha küçük uçaklara hizmet veren uzak havaalanları için daha uygundur ve kullanımı daha azdır.

Kayma direncini etkileyen en önemli parametreler, kaplamanın mikro doku ve makro dokularıdır. Mikro doku, agregaların yüzey özelliklerine ve yapışmayı sağlayan bitümlü malzemeye bağlıdır (Prez-Acebo ve diğ., 2020), ve yol yüzeyindeki 0,5 mm ve daha küçük ince pürüzleri ifade etmektedir. Bu düzensizlikler, sürtünme sağlayan kuvvetler oluşturmak için araç lastikleri ile etkileşime girer. Mikro doku, düşük

hızlarda kayma direncine katkıda bulunan en önemli faktördür (Mayora ve Pina, 2009).

Makro doku, agregaların şekli, boyutu ve gradasyonu gibi asfalt karışımının karışım özelliklerinin bir fonksiyonudur (Pérez-Acebo ve diğ., 2020). Makro doku yüksek hızlarda daha iyi bir kayma direnci sağlamaktadır (Andriejauskas ve diğ., 2014).

Kaplama malzemelerinin de kayma direnci üzerinde büyük etkisi vardır, çünkü daha kaliteli malzemeler aşınmaya, ezilmeye ve cilalanmaya karşı daha dirençlidirler ve daha uzun bir süre için yeterli kaplama kayma direnci özellikleri sağlayabilir. Agregaların şekli karışımın düzgünlüğünü etkiler. Keskin kenarlı agrega parçacıkları, daha iyi sürtünme nedeniyle cilalı parçacıklardan daha fazla tercih edilir (Andriejauskas ve diğ., 2014).

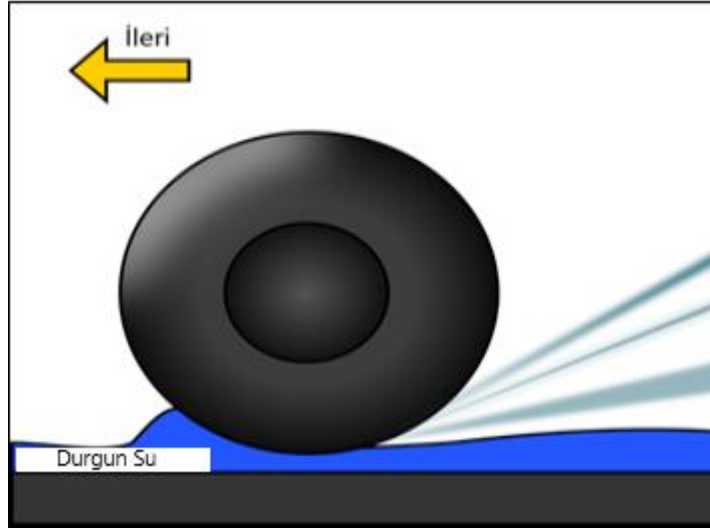
Mevsimsel koşullar da kayma direnci üzerinde etkilidir. Çünkü iklim koşulları kaplamanın yapısında bozulmalara sebebiyet verebilir ve bu da kayma direnci üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir.

Bunun yanı sıra tekrarlanan uçak iniş ve kalkışlarından kaynaklanan pist yüzeylerindeki kauçuk birikintiler, pist oluklarının kayma direncini azaltır (Yang ve diğ., 2021).

Bu parametrelerin dışında lastik türü ve dizaynı, araç hızı, rüzgar, yağış yoğunluğu, su filmi kalınlığı, yol üzerinde meydana gelmiş kontaminasyon gibi parametreler de kayma direnci üzerinde etkiye sahiptir.

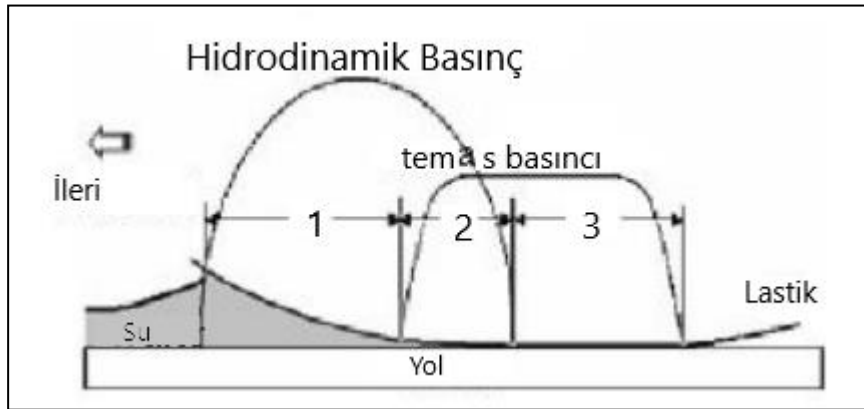
2.2. Kızaklama

Pist veya yol yüzeylerinde sulu kar veya su birikintisi olduğunda, hem uçaklar hem de kara taşıtları bazı kritik yer hızlarına ulaştığında lastikler kaplama yüzeyinden tamamen ayrılır. Lastiklerin araç hareketini durdurmak veya yönlendirmek için frenleme veya viraj alma çekişi geliştirme yeteneği neredeyse tamamen kaybolur. Bu durum kızaklama olarak ifade edilir (Horne ve Dreher, 1963). Şekil 2.1’de kızaklama olayının gerçekleşmesi sırasında tekerleğin durumu görülmektedir.



Şekil 2.1: Kızaklama olayında tekerleğin durumu (url-12).

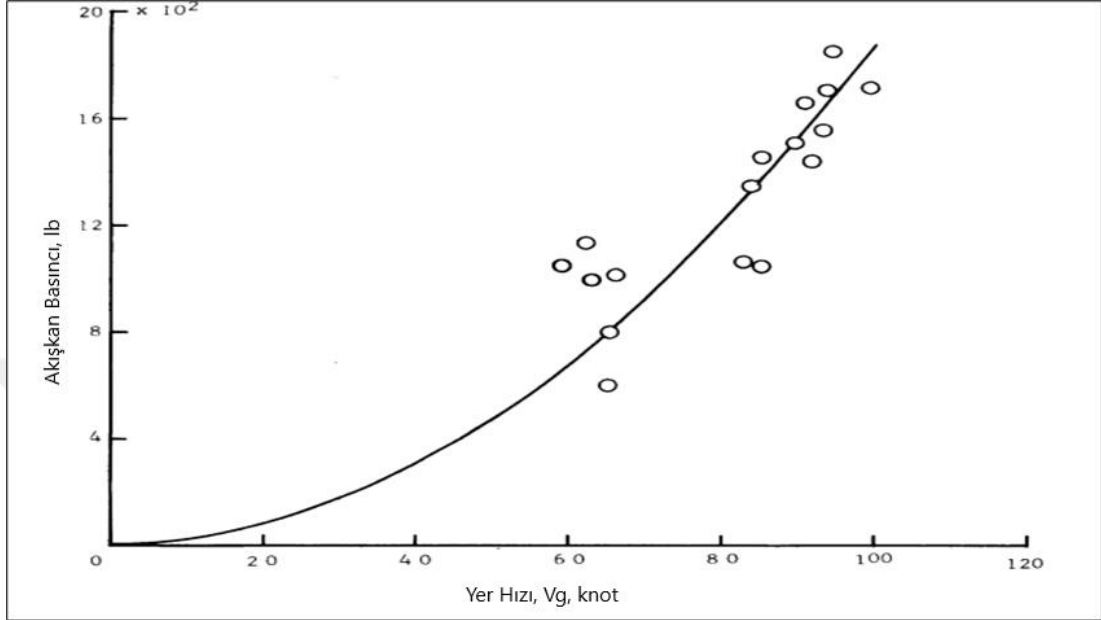
Bir uçak ıslak pistteki hareketi sırasında, hidrodinamik basınç üretirken ve lastiği deforme ederken su, lastik oluklarıyla çarpışır. Sonuç olarak, kızaklama sırasındaki su akışı ve lastiğin dinamik deformasyonu, karmaşık lastik sırt yüzeyi aracılığıyla birbirleriyle güçlü bir şekilde etkileşime girer. Şekil 2.2’de, lastik ile ıslak pist arasındaki bölge üç ayrı parçaya ayrılarak gösterilmektedir. 1. bölge hidrodinamik bölge olarak ifade edilir. Bu bölgede lastik tamamen yüzer, 2. bölge viskoz hidrodinamik bölgedir. Burada lastik kısmen yüzer ve tam temas bölgesi olan 3. bölgede lastik doğrudan zeminle temas eder. Bu bölgelerin oluşumu su derinliğine ve lastik hızına bağlıdır (Wang ve diğ., 2010):



Şekil 2.2: Kızaklamanın üç bölgede incelenmesi (Wang ve diğ., 2010).

Kızaklama konusundaki mevcut bilgilerin çoğu, 1960'lı yıllarda esas olarak NASA çalışmalarıyla elde edilmiştir. Horne ve Dreher'in (1963) yaptığı bu çalışmalara göre bir pistte hareket eden uçağın lastiği, sabit pist sıvısıyla temas ettiğinde ve yerini aldığı anda, sıvının momentumunda meydana gelen değişiklik, pist ve lastik yüzeyleri

üzerinde reaksiyona giren hidrodinamik basınçlar yaratır. Hidrodinamik teori ile uyumlu olarak, zemin hızı arttıkça lastiğe etki eden nihai hidrodinamik basınç kuvveti, bu basınç kuvvetinin akışkan sürtünme bileşeni için Şekil 2.3'de gösterildiği gibi yer hızının karesi olarak oluşma eğilimindedir.



Şekil 2.3: Akışkan sürtünme bileşeninin yer hızıyla ilişkisi (Horne ve Dreher, 1963).

Yer hızı arttıkça, sıvı atalet etkileri, lastik-zemin temas bölgesinde sıvı kaçışını geciktirme eğiliminde olacaktır ve lastiğin önünde biriken sıvı, lastiği yerden ayırma eğiliminde olacaktır. Bazı yüksek zemin hızlarında, lastiğin altında oluşan hidrodinamik kaldırma kuvveti, lastiğe etki eden aracın kısmi ağırlığına eşittir ve bu kritik hızının ötesindeki zemin hızındaki herhangi bir artış, lastiği pist yüzeyinden tamamen kaldırmaya zorlamaktadır. $F_{V,S} = F_V$ olduğu kritik yer hızı, lastiğin kızaklama hızı V_p olarak adlandırılır. Lastik, V_p 'nin altındaki zemin hızlarında kısmen kızaklama etkisindedir (Horne ve Dreher, 1963).

Bir uçak lastiği ıslak bir pistte döndüğünde, lastik hızı suda kızaklama hızının altına düştüğünde lastiğin yolundaki su yer değiştirmelidir. Yol boyunca suyun çoğunluğu lastik tarafından aşağı doğru sıkıştırılır ve yanal olarak yer değiştirir. Bu işlemde yan spray oluşur. Hala lastiğin önünde yer değiştiren bir "yay dalgası" içinde lastik yolundan çıkan az miktarda su vardır (Zhang ve diğ., 2020). Şekil 2.4'de kızaklama sırasında meydana gelen yan spray ve yay dalgaları görülmektedir:



Şekil 2.4: Kızaklama sırasında yan sprej ve yay dalgası oluşumu (Zhang ve diğ., 2020).

2.2.1. Kızaklama türleri

Kızaklama; dinamik kızaklama, viskoz kızaklama ve tersine kauçuk kızaklama olmak üzere üçe ayrılarak incelenebilir:

2.2.1.1 Dinamik kızaklama

Dinamik kızaklama sırasında su, artan lastik hızıyla birlikte yer değiştirmeye karşı artan bir direnç oluşturur. Direncin dikey bileşeni lastiği kaldırır, pistle temas halindeki lastik alanını azaltır ve nihayetinde tüm temas kaybolur (Judge ve Hampson, 1974).

Bir lastik, bir pistin az ıslak bölümünden dinamik suda kızaklamanın meydana gelebileceği su basmış bir bölüme geçtiğinde meydana gelen fiziksel süreç aşağıdaki gibidir (Agrawal, 1986):

- Az ıslak durumda, lastiğin altında kararlı bir basınç dağılımı mevcuttur. Bu basınç dağılımı, kuru temasla bağlantılı taşıma basıncı veya pist üzerindeki ince bir su filmiyle bağlantılı hidrodinamik basınç olabilir. Her iki durumda da, temas alanındaki net yukarı doğru kuvvet, lastik-pist ayrılmasını zorlamak için yeterince büyük değildir.
- Lastik, pistin su basmış kısmına yaklaştığında, öndeki kalın su tabakası, pistle temas halinde olan lastiğin ön kısmına kuvvetler uygular. Bu süreçte sıvının bağıl momentumu kısmen dinamik sıvı basınçlarına dönüştürülür. Bu basınçtan lastik üzerindeki kuvvetler, lastik yüzeyinde yerel bozulmaya neden olmak için yeterince yüksek olabilir.

- Bununla birlikte, lastiğin deformasyonu sırasında, lastik üzerindeki aşağı doğru yükleme ile lastiğin altındaki sıvı filminde gelişen yukarı doğru hidrodinamik kuvvetler arasında statik bir dengesizlik mevcuttur. Lastiğin altındaki sıvı filminde gelişen yukarı doğru hidrodinamik kuvvetler, lastik üzerindeki aşağı doğru yüklerden büyük olduğunda lastiğin pist ile teması kesilir ve dinamik kızaklama olayı gerçekleşir.

Dinamik kızaklama, lastik sırtı, su tabakası kalınlığı ve pist makro dokusundan etkilenir. Makro doku, pist yüzeyindeki büyük taşlar ve olukların oluşturduğu pist pürüzlülüğüdür. Yüzeyde yeterli makro doku olduğunda ve/veya lastik uygun sırta sahip olduğunda, genellikle dinamik kızaklama meydana gelmez. Bununla birlikte, su derinliği yeterince yüksek olduğunda suda kızaklama meydana gelebilir, böylece hem lastik sırtı hem de pist makro dokusu suyu yeterince hızlı tahliye edemeyebilir (Van Es, 2001). Şekil 2.5’de dinamik kızaklama sırasında tekerleğin durumu ve suyun etkisi görülmektedir.



Şekil 2.5: Dinamik kızaklama sırasında tekerleğin durumu ve suyun etkisi (url-13).

Horne ve Dreher (1963) yaptıkları çalışmalar neticesinde, lastiğin suda kızaklama hızını aşağıdaki gibi formülize etmişlerdir:

Frenlenmemiş bir tekerleğe etki eden net torklar veya momentler, herhangi bir zamanda, tekerleğe etki eden atalet torkuna eşit olmalıdır. Hidrodinamik etkiler dahil, açısal ivme yaklaşık olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\alpha = \frac{F_V(X_C) - [D_R + D_S + (F_V - F_{V,S})\mu](r - \delta)}{I} \quad (2.1)$$

Burada α ; *radyan/s²* cinsinden açısal ivme, F_V ; *lb* cinsinden uçak kütlesi nedeniyle lastik üzerinde oluşan dikey yer kuvveti, X_C ; *ft* cinsinden dikey yük basınç merkezi yer değiştirmesi, D_R ; *lb* cinsinden yuvarlanma direnci, D_S ; *lb* cinsinden sıvı yer değiştirmesi sebebiyle oluşan direnç, $F_{V,S}$; *lb* cinsinden hidrodinamik basınç kuvvetinin dikey bileşeni, μ ; anlık lastik-yüzey sürtünme katsayısı, r ; *ft* cinsinden yüksüz lastiği yarıçapı, δ ; *ft* cinsinden dikey lastik sapması ve I ; *slug - ft²* cinsinden lastik ve tekerlek atalet momentini ifade etmektedir.

Hidrodinamik basınç kuvvetinin dikey bileşeni $F_{V,S}$, dikey yer kuvveti F_V 'ye eşit olduğunda, lastik-zemin sürtünme momenti $(F_V - F_{V,S})\mu(r - \delta)$ sıfıra düşer ve bu noktada lastik, suda kızaklama için pistteki sıvı tarafından desteklenir. Bu olayın meydana geleceği yer hızı V_G 'yi öngörebilmek için, hidrodinamik teori ile uyumlu olarak, hidrodinamik basınç kuvvetinin kaldırma bileşeni $F_{V,S}$ 'nin, lastik-yüzey temas alanı A_G , sıvı yoğunluğu ρ ve yer hızının karesi V_G ile orantılı olduğu varsayılır. Lastik dış tasarımının etkileri, akışkan viskozitesi ve pist yüzey dokusu gibi diğer olası değişkenler göz ardı edilirse ve pistteki akışkan derinliğinin lastik dış oluşu derinliğinden daha büyük olduğu varsayılırsa, lastik suda kızaklama hızı V_P aşağıdaki yaklaşık ifade elde edilebilir:

$$F_V = F_{V,S} = \frac{1}{2} C_{L,S} \delta A_G V_P^2 \quad (2.2)$$

Terimler aşağıdaki denkleme göre yeniden düzenlenirse, V_P ; *knot* cinsinden ve A_G ; *inç²* olarak belirlenir:

$$V_P = 0,592 \left(\frac{F_V}{A_G C_{L,S} \delta} \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3 aşağıdaki şekilde basitleştirilebilir ($1 \text{ knot} = 1,85 \text{ km/saat}$):

$$V_P = 9\sqrt{p} \text{ knot} \quad (2.4)$$

$$V_P = 10,35\sqrt{p} \text{ mil/saat} \quad (2.5)$$

Burada lastik şişirme basıncı p ; $in\check{c}^2$ başına *pound* olarak ifade edilir. Bu basitleştirme üç ana varsayıma dayanmaktadır:

1. Denklem 2.3'deki F_V/A_G (ortalama lastik-zemin taşıma basıncı) terimi, lastik şişirme basıncı p ile yaklaşık olarak hesaplanabilir.
2. Lastikte suda kızaklama oluşturacak kadar büyük derinliklerde toplanabilen pist sıvıları, suyunkine yaklaşan yoğunluklara sahiptir.
3. Lastikler tarafından sıvı kaplı bir yüzey üzerinde geliştirilen hidrodinamik kaldırma katsayısı $C_{L,S}$ yaklaşık olarak 0,7'dir.

Denklem 2.3 ve denklem 2.4'den elde edilen suda kızaklama hızlarının, su için kaçış yollarına izin vermeyen düz ve kapalı desenli lastikler için ve sıvı derinliğinin olduğu sıvı kaplı pistlerde nervürlü lastikler için geçerli olduğuna dikkat edilmelidir.

2.2.1.2. Viskoz kızaklama

Viskoz kızaklama, suyun viskoz özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Viskoz kızaklama sırasında su, yağlayıcı gibi davranarak tekerlek ile pist yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısını azaltır (Emery ve diğ., 2011). Viskoz kızaklamanın meydana gelebilmesi için lastik-yol temas bölgesinde ince ve viskoz sıvı filmi oluşmuş olması gerekir. Ortaya çıkan ince, viskoz film son derece dirençlidir ve bir kez oluştuktan sonra temas geçişi boyunca var olmaya devam edebilir. (Sinnamon ve Tielking, 1974). Bu durumda lastik sıvıya nüfuz edemez sıvı filminin üzerinde yuvarlanır. Bu durum, dinamik kızaklamadan çok daha düşük bir hızda gerçekleşebilir. Viskoz kızaklama tipik olarak pürüzsüz bir mikro dokuya sahip ıslak pistlerde meydana gelir. Viskoz kızaklama çok düşük zemin hızlarında başlayabilir. Ayrıca viskoz kızaklama için gereken su derinliği, dinamik kızaklama için gerekenden çok daha azdır (Van Es, 2018). Şekil 2.6'da viskoz kızaklama sırasında tekerleğin durumu ve suyun etkisi görülmektedir.



Şekil 2.6: Viskoz kızaklama sırasında tekerleğin durumu ve suyun etkisi (url-13).

Dinamik kızaklama yalnızca yoğun yağış gibi durumlarda meydana gelirken, viskoz kızaklama ıslak yüzeylerde her zaman bir olasılıktır (Moore, 1967). Viskoz suda kızaklama gerçekleşmesi olasılığını en aza indirmedeki en önemli faktör, yapışmaya katkıda bulunan yüzey agregalarında yeterli bir mikro doku sağlanmasıdır (Agrawal, 1986). Çizelge 2.1’de dinamik ve viskoz kızaklama özellikleri ve aralarındaki farklılıklar görülmektedir:

Çizelge 2.1: Dinamik ve viskoz kızaklama karşılaştırılması.

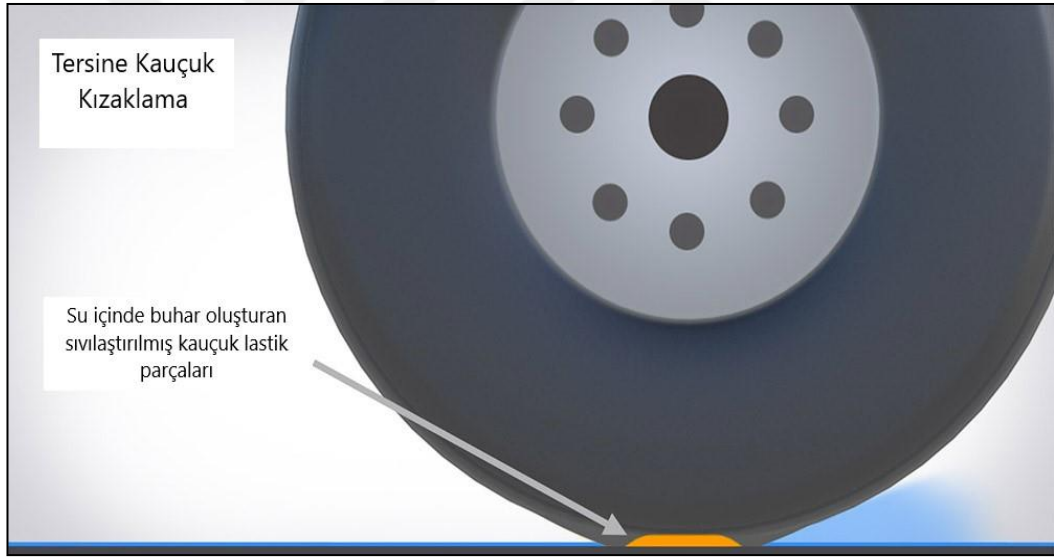
Kızaklama Türü		
Faktör	Dinamik Kızaklama	Viskoz Kızaklama
<i>Etki Eden Sıvı Özelliği</i>	Sıvı Yoğunluğu	Sıvı Viskozitesi
<i>Gereken Hız</i>	Yüksek Hızlar	Düşük veya Yüksek Hızlar
<i>Pist Kaplama Faktörü</i>	Makro Doku	Mikro Doku
<i>Gereken Su Derinliği</i>	Yüksek Su Seviyesi	İnce Film Tabakası

2.2.1.3. Tersine kauçuk kızaklama

Tersine kauçuk kızaklama, uzun süreli kilitli tekerlek kaymasına neden olan şiddetli frenleme sırasında meydana gelir. Tersine kauçuk kızaklamanın oluşabilmesi için pist üzerinde ince bir su tabakası oluşması yeterlidir. Lastik patinajı, su filmini, lastiği pistten uzak tutan bir buhar yastığına dönüştürmek için yeterli ısı üretir. Isının

bir yan etkisi, pist ile temas halindeki kauçuğun orijinal sertleşmemiş durumuna geri dönmesine neden olmasıdır (FAA). Yumuşak yapışkanlı geri dönüştürülmüş kauçuk, lastiğin izi çevresinde bir tabaka oluşturur ve sıkışan buhar ve su, frenleme ve viraj alma kabiliyetini önemli ölçüde azaltır (Yager, 1983). Tersine kauçuk kızaklamaya maruz kalmış bir uçağın belirtileri lastik üzerinde geri döndürülmüş lastik parçalarıdır.

Tersine kauçuk kızaklama, sıklıkla dinamik kızaklama ile karşılaşmanın ardından gerçekleşir ve bu sırada pilot, uçağı yavaşlatmak için frenleri kilitleyebilir. Sonunda uçak, lastiklerin pist yüzeyiyle temas ettiği yere kadar yeterince yavaşlar ve uçak kaymaya başlar. Tersine kauçuk kızaklama, çok yavaş yer hızlarında (20 knot veya daha az) devam edebileceği için oldukça tehlikelidir (url-19). Şekil 2.7’de tersine kauçuk kızaklama sırasında lastiğin durumu ve lastik üzerinde oluşan kauçuk parçası görülmektedir.



Şekil 2.7: Tersine kauçuk kızaklama sırasında lastiğin durumu ve lastik üzerinde oluşan kauçuk parçası (url-13).

2.2.2. Kızaklamaya Etki Eden Faktörler

2.2.2.1. Akışkan parametreleri

Kızaklamanın meydana gelmesine sebep olan en önemli faktör pist yüzeyinde birikmiş olan sudur. Van Es'in (2001) yaptığı çalışmaya göre havalimanları için tüm kalkış ve inişlerin %24'ünün ıslak veya kontamine pistlerde gerçekleştirildiği görülmektedir.

Pist yüzeyinde birikmiş olan suyun derinliği, yoğunluğu ve viskozitesi kızaklamanın oluşmasını etkileyen parametrelerdir. Bu bölümde bu parametreler incelenecektir.

Su derinliği

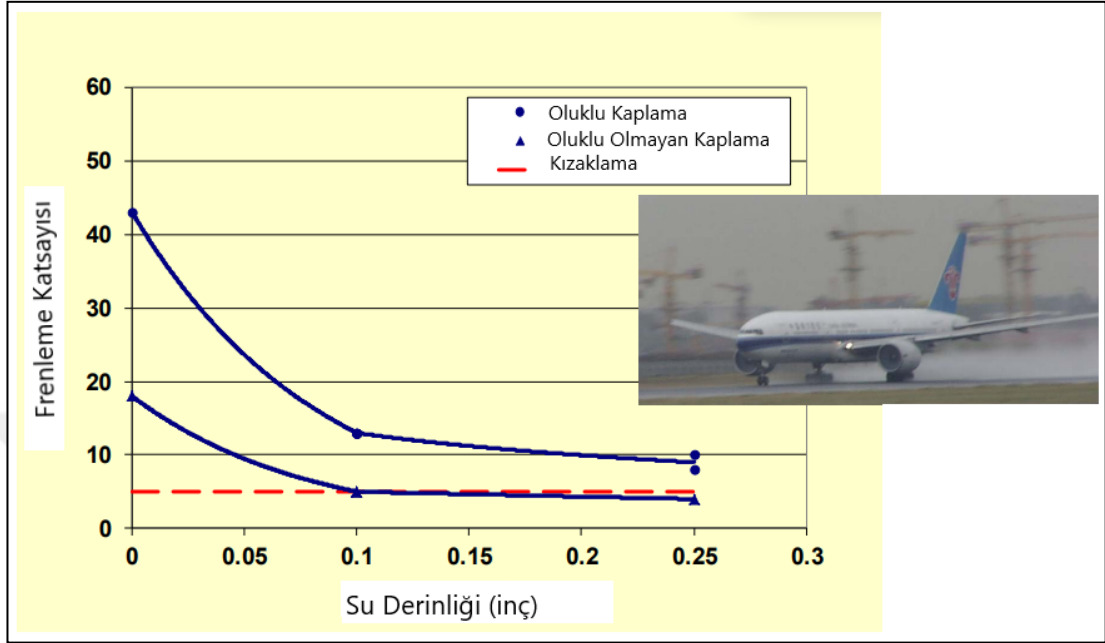
Pist yüzeyindeki su derinliği arttıkça kızaklamanın meydana gelmesi için gereken hız azalmakta ve dolayısıyla, kızaklama olayının gerçekleşme riski de artmaktadır.

Yoğun moleküler yapısı nedeniyle su, aşırı basınçlarda bile hiç sıkıştırılmaz veya çok az sıkıştırmaya maruz kalır (Andren ve Jolkin, 2003). Pist yüzeyinde birikmiş olan durgun suyun derinliği, lastiğin dış derinliğinden daha düşük olduğunda, lastik dışlarındaki su zamanla boşalabilir, bu nedenle lastiğin hidrodinamik basıncı lastik şişirme basıncından daha düşük olur. Ancak, suyun derinliği arttıkça, dış olduğunda kademeli olarak su birikimleri ortaya çıkar, bu da lastik dışının tüm suyu tahliye edememesine ve lastiğin hidrodinamik basıncının artmasına neden olur. Hidrodinamik basınç, lastik şişirme basıncından daha büyük olduğunda ve lastikler yol yüzeyleriyle temassız hale geldiğinde, suda kızaklama olayı gerçekleşir (Guo ve diğ., 2013).

Pistte biriken su, uçağın tekerleklerinin yol tutuş kapasitesini büyük ölçüde azaltır. Pistlerin tasarımında ve bakımında, yüzeylerinde suyun varlığı ve bunun uçuş güvenliği üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır (Beljatynskij ve diğ., 2010). Pistteki su seviyesine ilişkin veriler, pilotların güvenli bir şekilde nasıl incekleri konusunda daha iyi kararlar vermelerine yardımcı olur. Şiddetli yağmurda pist üzerindeki su tabakasının kalınlığına ilişkin bilgiler, karar vermeyi destekler ve havalimanı güvenliğini ve verimliliğini artırır (Haarlaa).

Şu ana kadar yapılan deneysel çalışmalarda özellikle dinamik suda kızaklamanın gerçekleşebilmesi için su derinliğinin belli bir seviyenin üzerinde olması gerektiği görülmüştür. Lastik dış tasarımı ve pist yüzey dokusu gibi diğer parametrelerin büyük etkileri nedeniyle, bu minimum sıvı derinliğinin tanımlanması zordur. Bununla birlikte, Horne ve Dreher'in (1963) yaptığı deneysel çalışmalarda pürüzsüz sırtlı lastikler için, suda kızaklamanın 0,02 ila 0,09 inç kadar düşük sıvı derinliklerinde meydana geldiği görülmüştür. Nispeten pürüzsüz bir beton test pistinde ve tam ölçekli uçak lastiklerinin kullanıldığı deneylerde ise, suda kızaklamanın 0,1 ila 0,4 inç (ortalama derinlik yaklaşık 0,3 inç) derinliklerde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

FAA'dan Daiutolo'nun (2013) çalışmalarına göre, 150 knot'luk bir iniş hızı için oluklu ve oluklu olmayan pist kaplamalarında su derinliğinin, frenleme katsayısıyla ilişkisi Şekil 2.8'deki gibidir:



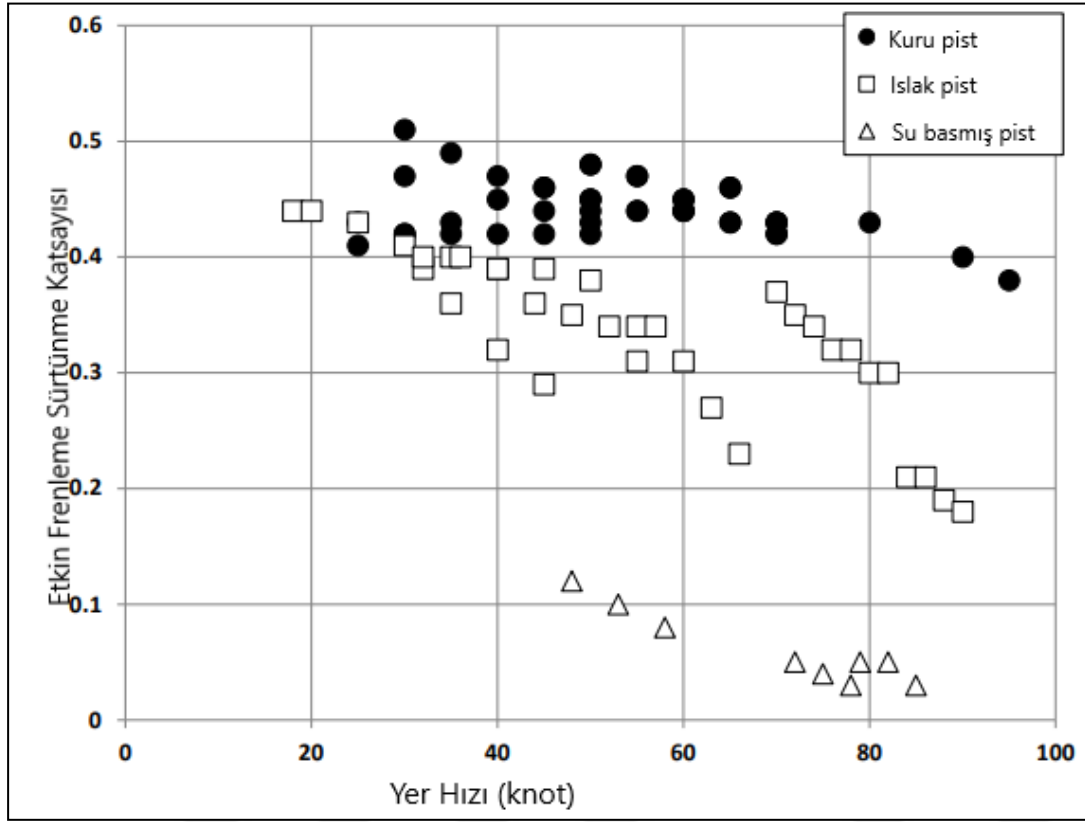
Şekil 2.8: 150 knot iniş hızı için frenleme katsayısı ve su derinliği ilişkisi (Daiutolo, 2013).

Şekil 2.8'de görüldüğü üzere pist kaplaması oluklu olduğunda 150 knotluk iniş hızında bile kızaklamaya sebep olacak frenleme katsayısına ulaşamamaktadır. Bununla birlikte su kalınlığındaki artış frenleme katsayısını önemli ölçüde düşürmektedir. Burada frenleme katsayısı pist sürtünmesinin bir ölçüsüdür. Pistte oluk olmadığı durumda ise 150 knotluk bir iniş hızında su kalınlığı en az 0,1 inçe ulaştığında suda kızaklamanın gerçekleştiği görülmektedir.

Daiutolo (2013), bu çalışmayı 130 knot, 110 knot, 90 knot ve 70 knot hızlar için de yapmış ve bu iniş hızlarında pistin oluklu ve oluksuz olması durumunda kızaklama olayının gerçekleşmediğini ortaya koymuştur. Fakat su derinliği arttıkça frenleme katsayısının belirgin bir şekilde düştüğünü göstermiştir. Özellikle su derinliğinin 0,1 inç olduğu durumda frenleme katsayısı önemli ölçüde düşmüş, bu derinlikten sonraki artışlar frenleme katsayısını daha az etkilemiştir.

Şekil 2.9'da, Van Es'in (2018) NASA uçuş testlerinden elde ettiği kuru, ıslak ve su basmış yüzeylerde tek bir lastiğin yer hızının fonksiyonu olarak frenleme sürtünme

katsayıları görülmektedir. Bu, su basmış bir yüzeyin yüksek hızlarda frenleme kabiliyetleri üzerindeki büyük etkisini açıkça göstermektedir (Van Es, 2018).



Şekil 2.9: Kuru, ıslak ve su basmış bir pistte yer hızının fonksiyonu olarak etkin frenleme sürtünme katsayısının karşılaştırılması (Van Es, 2018).

Pist geometrisi, su derinliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve pist tasarımcısının üzerinde en fazla kontrole sahip olduğu faktördür (Chesterton ve diğ., 2006). Bir yağış sırasında, yüzey akışı merkez çizgisinden yana doğru akar ve su filminin kalınlığı merkez çizgisinden daha uzaktaki noktalarda artar. Başka bir deyişle, su filminin kalınlığı pistin genişliği boyunca değişir. Pistin tüm genişliği uçakları alacak şekilde tasarlandığından, tüm pist genişliği boyunca su filmi kalınlığının dağılımı, suda kızaklama riski için belirlenmeli ve analiz edilmelidir (Ong ve Fwa, 2009).

Suyun pistte kalabileceği süre, ulaştığı derinliği etkileyecektir. Daha uzun akış yolları daha yüksek su filmi derinliklerine sebep olur. Bunun dışında pist yüzeyindeki sıvı derinliği, çevresel şartlar, yağış yoğunluğu, pist kaplama tasarımı, drenaj tasarımı ve bakımı ile uçağın durumundan kaynaklanan çok çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Chesterton ve diğ., 2006).

Yağış yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde pist yüzeyinde birikecek su derinliğinin artmasını ve dolayısıyla kızaklama oluşumunu önlemek için özellikle drenajın iyi bir şekilde yapılması, pist eğiminin su derinliğini minimum seviyede tutacak şekilde tasarlanması ve piste oluk açılması gibi önlemler daha fazla önem arz etmektedir. Bu önlemlerin dışında pist bakımı da birikecek su derinliğini azaltmada önemli bir tedbirdir. Çünkü pist yüzeyinde meydana gelebilecek deformasyonlar (bölgesel çökmeler gibi) da belli bölgelerde su derinliğinin artmasına ve dolayısıyla kızaklama riskinin artmasına neden olabilir.

Su yoğunluğu ve viskozitesi

Yağ, sıcaklık, kir ve tuz, pist üzerindeki suyun yoğunluk ve viskozite gibi özelliklerini değiştirebilir. (Andren ve Jolkin, 2003). Viskozite, viskoz suda kızaklama geliştirmekten sorumlu birincil sıvı özelliği iken, dinamik suda kızaklama sırasında sıvı yoğunluğu etkileri baskındır (Agrawal, 1986).

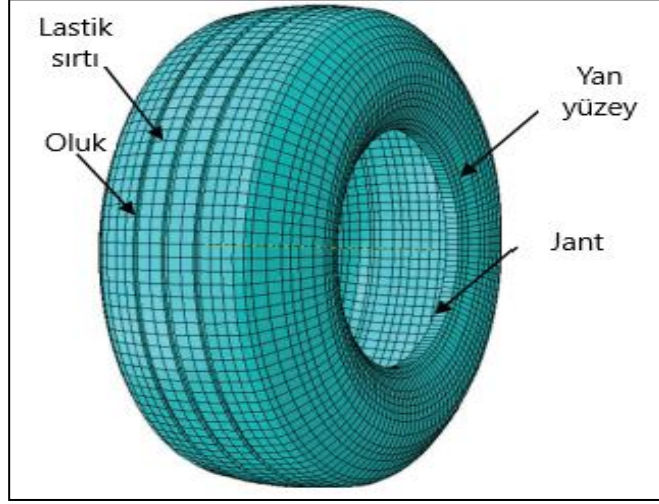
Lastiğin pist yüzeyiyle temas etmesini engelleyen sıvı filmi, bunu sıvının viskozite ve yoğunluk özellikleri ile yapar. Her iki durumda da sıvı basınçlarından kaynaklanan kuvvetler tekerlek üzerindeki dikey yükü dengeler, hareket halindeki uçak lastiklerinin karşılaştığı sıvının suda kızaklamayı engellemek için temas alanından dışarı atılması gerekmektedir (Agrawal, 1986).

Suyun yoğunluğu, lastiğin çevresindeki akış çizgilerinin bükülmesi ve yüksek hızlar nedeniyle, lastiğin suda kızaklamasında önemli bir akışkan özelliğidir (Martin, 1966).

Akışkan viskozitesindeki artışla birlikte pist kayganlığı artmaktadır. Örneğin, daha viskoz sulu kar suyu, sudan daha düşük bir sürtünme katsayısı göstermektedir. Aynı şekilde su ve yağ karışımı, tek başına suya göre daha yüksek bir kayganlık göstermektedir (Horne ve Leland, 1963).

2.2.2.2. Lastik parametreleri

Uçak lastikleri, uçaklar için önemli parçalardır. Uçak lastiğinin performansı, uçağın güvenliği ile doğrudan ilişkilidir. Uçak lastiklerinin kızaklaması, genellikle pistten sapma ve pistten çıkma kazalarına sebep olan önemli bir faktördür (Wang ve diğ., 2010). Şekil 2.10'da pist yüzeyinde biriken suyun, lastik-kaplama temas yüzeyinden tahliyesi için lastikte açılmış oluklar ve uçak lastiğinin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 2.10: Uçak lastiğinin yapısı (Anupam, 2017).

Bir uçak ıslak pistte yüksek hızda giderken, lastik dış oluklarından geçen su akışı hidrodinamik basıncın artmasına neden olur. Bu hidrodinamik kuvvetin meydana gelmesi, lastik temas kuvvetini azalttığı için lastiğin çekiş verimliliğini bozar, böylece sürüş kontrol edilebilirliği ve frenleme performansı, iniş sırasında kuru pisttekilerden daha kötü hale gelir (Wang ve diğ., 2010). Bu nedenle ıslak zeminlerde kayma direncini artırmak ve dinamik kızaklamanın oluşmasını önlemek için lastik ile kaplama arasındaki suyun etkin bir şekilde tahliye edilmesi gerekir (Thenoux ve diğ., 1996). Lastik-kaplama temas alanından yüzey suyunu tahliye etmek için lastik parametreleri önemli bir faktördür. Bu parametreler;

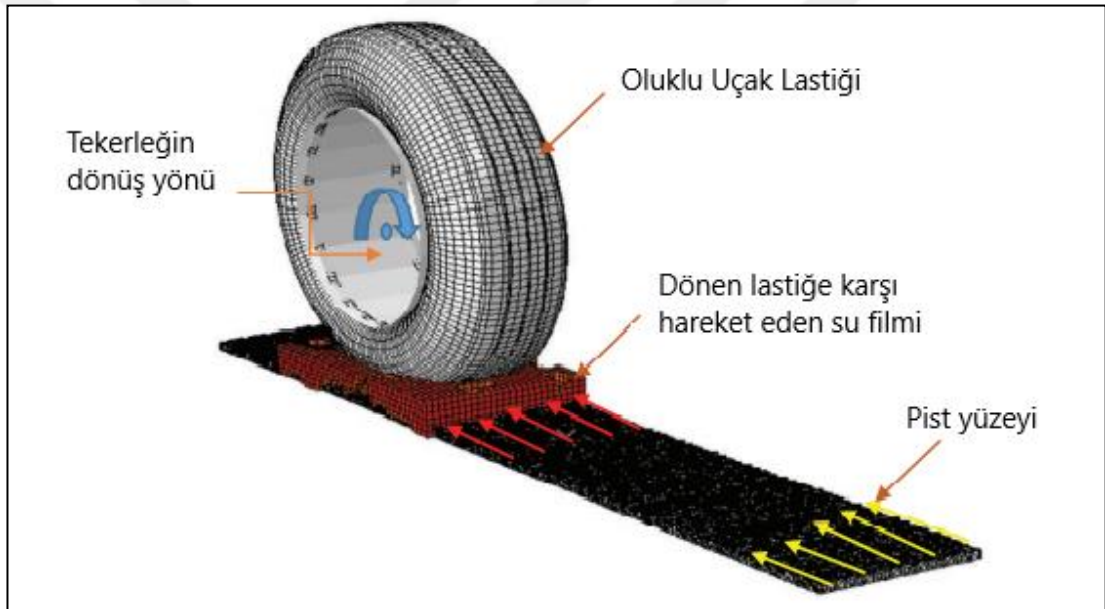
- Lastik tasarımı; lastik sırtı ve oluk derinliğini ifade etmektedir.
- Lastik izi en-boy oranı; lastik iç basıncı ve tekerlek yüküne bağlıdır.
- Lastiğin aşınması,
- Lastik üretiminde kullanılan kauçuk türü.

Bu bölümde bu lastik parametreleri incelenecektir.

Lastik tasarımı

Islak havalarda uçakların güvenli inişi için yeterli kayma direnci sağlamak ve kızaklama riskini azaltmak için lastik sırtında oluk açılması gereklidir (Fwa ve diğ.,

2009). Lastikteki bu oluklar, lastik ayak izinin altındaki suyun tahliyesi için kanallar sağlar. Bu nedenle, ıslak bir pistten kaynaklanan sürtünme kaybı, düz uçak lastiklerine göre oluklu uçak lastikleri için önemli ölçüde daha düşüktür. Böylece, yeterli diş derinliğine sahip oluklu lastikler, kızaklama için gereken hızı ve ayrıca suda kızaklamayı başlatmak için gereken minimum su filmi derinliğini artırır. Pist yüzeyi dokusuna ve lastik oluğu hacmine bağlı olarak, suyun bir kısmı lastik oluklarına ve pist makro dokusuna akabilir. Aynı zamanda, deforme olabilen lastik yapısına karşı dinamik su basıncı nedeniyle, lastik temas alanının altında hidrodinamik bir kaldırma kuvveti ortaya çıkar. Böylece, su kademeli olarak lastik izi alanının altına nüfuz edebilir, bu da lastik ile pist yüzeyi arasındaki etkin temas alanını azaltır. Bu durum Şekil 2.11’de gösterilmektedir (Anupam ve diğ., 2017):



Şekil 2.11: Oluklu uçak lastiği, pist yüzeyi ve su filmi etkileşimi (Anupam ve diğ., 2017).

Fwa ve arkadaşlarının (2009) yaptığı deneysel çalışmalarda, analiz edilen lastik oluk tasarımları için, oluk derinliğindeki birim artış başına suda kızaklama hızının artış oranı, aralık için mm başına yaklaşık 2,5 ila 3,5 km/sa arasında değişmektedir. Farklı lastik sırtı tasarımları arasında ise çok fazla bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

Lastik izi en-boy oranı

Kızaklama riski analizinde önemli bir faktör de lastik izi en boy oranıdır. Bu oran lastik temas alanının genişliğinin uzunluğuna bölünmesine ile elde edilir. Lastik izi oranı azaldıkça, kızaklama hızı artar yani kızaklama riski azalır (Ong ve Fwa, 2008).

Horne ve arkadaşlarının (1986) yılında yaptığı çalışmalardan elde ettikleri aşağıdaki denklem kızaklama hızının, lastik izi en boy oranına (FAR: *footprint aspect ratio*) göre değişimini ifade etmektedir:

$$V_p = 23,3p^{0,21} \sqrt{\frac{1,4}{FAR}} \quad (2.6)$$

Burada $V_p, mil/saat$ cinsinden kızaklama hızını ve p, psi cinsinden lastik iç basıncını ifade etmektedir. Lastik izi en boy oranı; lastiğin iç basıncına ve dikey yüke bağlıdır (Horne ve diğ, 1986).

Lastik iç basıncı

Lastik iç basıncı, lastik izi en boy oranını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Eğer lastiğin iç basıncı artarsa lastik izi en boy oranı azalır.

Lastik iç basıncının artırılması, lastiğin kızaklama hızını artırır yani kızaklamanın gerçekleşebilmesi için daha yüksek hızlara çıkmak gerekir, çok düşük lastik iç basınçlarında ise suda kızaklama riski söz konusudur (Horne ve Dreher, 1963).

Yüksek basınçlı lastikler, daha yüksek su kaçış hızları nedeniyle, düşük basınçlı lastiklere kıyasla yüzey suyunu lastik dişlerinden daha kolay tahliye edebilir (Van Es, 2018). Düşük lastik iç basıncı aşırı ısınmaya neden olur, bu durum lastik dişlerinin aşınmasını artırarak ıslak zeminde daha yüksek kızaklama olasılığına neden olur (Mathew ve diğ, 2014).

Şekil 2.12’de normal ve düşük iç basınçlarda lastiğin durumu görülmektedir. Düşük iç basınçlarda lastik-kaplama temas yüzeyinin arasında su birikimi meydana geldiği görülmektedir. Bu biriken su da kızaklama riskini artırmaktadır.



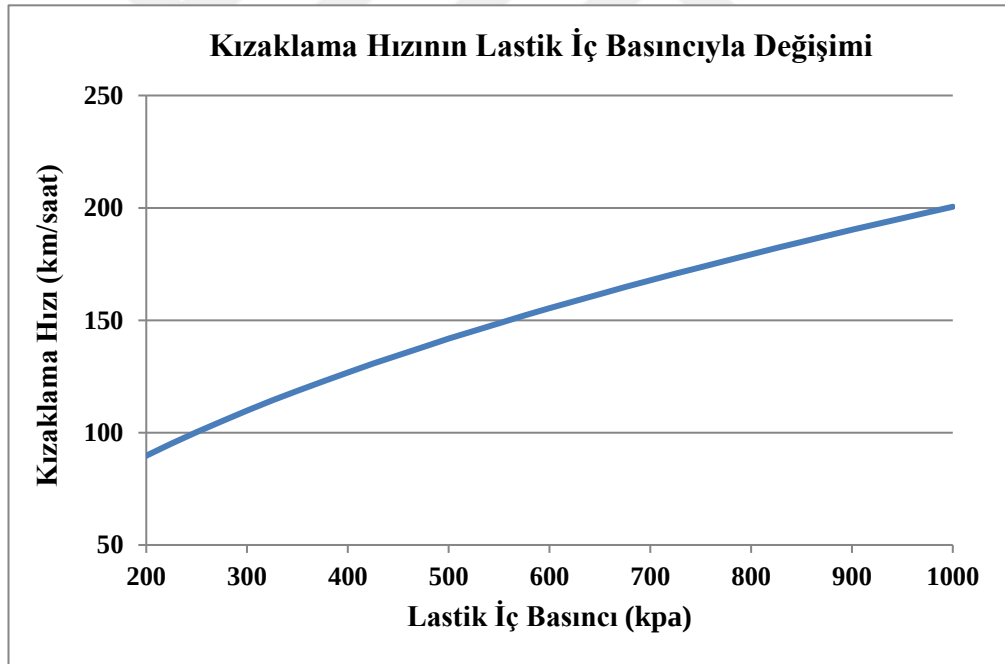
Şekil 2.12: Normal ve düşük iç basınçlarda lastiğin görünümü (url-13 ve url-14).

NASA'dan Horne ve Dreher'in (1963) yaptığı çalışmalardan elde ettikleri aşağıdaki denkleme göre belirli basınçlar için kızaklama hızları aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$V_p = 9\sqrt{p} \text{ knot} \quad (2.7a)$$

$$V_p = 16,65\sqrt{p} \text{ km/saat} \quad (2.7b)$$

Burada p *pound/inç²* yani *psi* cinsindendir. $1 \text{ kpa} = 0,145 \text{ psi}$ olduğundan, sırasıyla 200 kpa ile 1000 kpa arasındaki basınçlar için kızaklama hızları hesaplanırsa kızaklama hızının lastik iç basıncıyla değişimi Şekil 2.13'de görüldüğü gibi gerçekleşmektedir. Örneğin; 200 kpa basınçtaki kızaklama hızı 89,66 km/saat iken, basınç 1000 kpa'a çıkarıldığında kızaklama hızı 200,49 km/saat olmaktadır. Dolayısıyla daha yüksek lastik iç basıncı, daha düşük kızaklama riski anlamına gelmektedir.



Şekil 2.13: Kızaklama hızının lastik iç basıncıyla değişimi.

Tekerlek yükü

Tekerlek yükü uçağın ağırlığının, lastikler üzerine bindirdiği yüküdür. Dikey yük olarak da ifade edilebilir. Lastik yüzeyinin pist ile temas ettiği alanın büyüklüğünü yani lastik izi en boy oranını etkileyen parametrelerden biridir.

Uçak üzerindeki ağırlığın veya lastik üzerindeki dikey yükün arttırılması, lastiğin suda kızaklama hızı üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Bu etkinin küçük olmasının sebebi, lastiğin elastik bir gövde gibi davranması ve lastik üzerindeki dikey yükteki değişikliklerin, lastik-zemin lastik izi alanında karşılık gelen değişiklikleri üretmesidir (Horne ve Dreher, 1963).

Tekerlek yükü arttıkça kızaklama hızı artar yani kızaklama riski azalır. Bu ilişki, daha büyük bir tekerlek yükünün, suda kızaklamanın meydana gelmesi için daha yüksek bir kaldırma kuvvetine ihtiyaç duyulduğu anlamına gelmesi nedeniyle oluşmaktadır (Ong ve Fwa, 2007). Kaldırma kuvvetleri, lastiklerin pistte dönüşü sırasında uçağın hızıyla değiştiğinden, inişten sonra uçağın hızı azaldıkça tekerlek yükü kademeli olarak artar (Pasindu ve diğ., 2015). Daha yüksek bir kaldırma kuvveti üretmek için daha yüksek bir kayar tekerlek hızı gerektiğinden, kızaklama hızı da artış göstermektedir (Ong ve Fwa, 2007). Çizelge 2.2’de lastik parametrelerinin kızaklama hızına etkileri özetlenmiştir:

Çizelge 2.2: Lastik parametrelerinin kızaklama hızına etkileri.

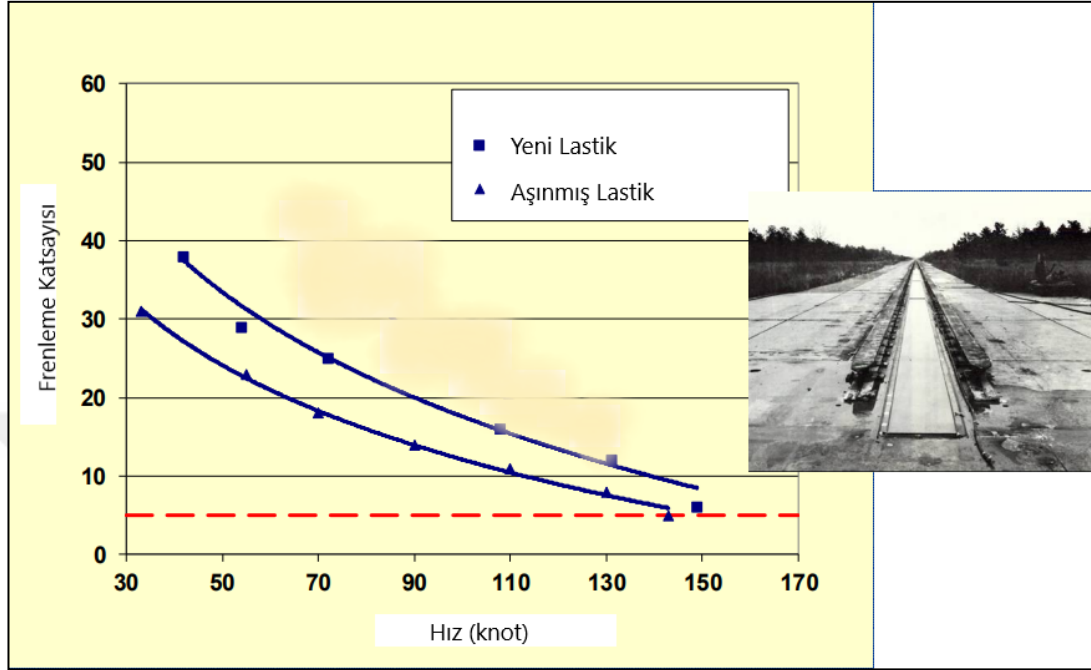
Lastik Parametresi	Kızaklama Hızına Etkisi	
Oluk Derinliği	Artarsa	Artar
Lastik İzi En Boy Oranı	Artarsa	Azalır
İç Basınç	Artarsa	Artar
Tekerlek Yükü	Artarsa	Artar

Lastiğin aşınması

Lastik sırtı üzerindeki oluklar kaplama-lastik temas yüzeyindeki suyun tahliye edilmesi açısından önemlidir. Lastikler belli bir süre kullanıldıklarında sürtünme sebebiyle aşınırlar. Bu aşınma diş derinliğinin azalmasına ve dolayısıyla tahliye edilen suyun da azalmasına sebep olur. Su, kaplama-lastik temas yüzeyinden yeterince tahliye edilemediği durumda kızaklama olayının gerçekleşme riski de artar. Bundan dolayı lastiklerin belli bir süre kullanıldıktan sonra, aşınma durumuna göre değiştirilmesi gerekmektedir.

FAA’dan Daiutolo’nun (2013) belirli bir su derinliğinde, asfalt pistlerde gerçekleştirdiği deneysel çalışmalarda lastiğin aşınmasının frenleme katsayı

üzerindeki etkilerini incelemiştir. Şekil 2.14’de görüldüğü gibi aşınmış lastik 145 knot hızında kızaklama gerçekleşirken, yeni lastikte 150 knot hızında bile kızaklama olayı gerçekleşmemiştir.



Şekil 2.14: Yeni ve aşınmış lastikler için frenleme katsayısının belirli hızlara göre değişimi (Daiutolo, 2013).

Lastik kauçuk türü

Ağır yükler ve yüksek hızlar, uçak lastiklerindeki ısı üretimine sebep olurlar. Bir lastikte kullanılan ana malzeme olan kauçuk, iyi bir yalıtkandır ve bu nedenle ısıyı yavaş yayar. Kullanılan kauçuğun kaliteli olması üretilen bu ısının yayımını azaltır. Böylelikle aşınma daha az meydana gelir. Aşınma lastiklerdeki oluk derinliklerinin azalmasına sebep olacağından lastik-pist temas yüzeyinden daha az su tahliye edilir. Böylece kızaklamanın meydana gelmesi için gereken su filmi derinliği azalır ve kızaklama riski artar. Bununla birlikte lastik üretiminde kullanılan kauçuğun türü diğer lastik parametrelerine göre kızaklama üzerinde görece daha az bir etkiye sahiptir.

2.2.2.3. Pist parametreleri

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tanımına göre pist, uçakların inişi ve kalkışı için hazırlanmış bir kara havaalanı üzerinde belirlenmiş bir dikdörtgen alanı ifade etmektedir. Uçakların güvenli iniş kalkışı için önemli havaalanı elemanlarından

biridir. Pistlerin dokusu, pist eğimi, pist genişliği ve pist kaplamaları ile bu pist kaplamalarında meydana gelen bozulmalar kızaklama hızını önemli ölçüde etkilemektedirler. Bu bölümde bu faktörler ayrıntılı incelenecektir.

Pist dokusu

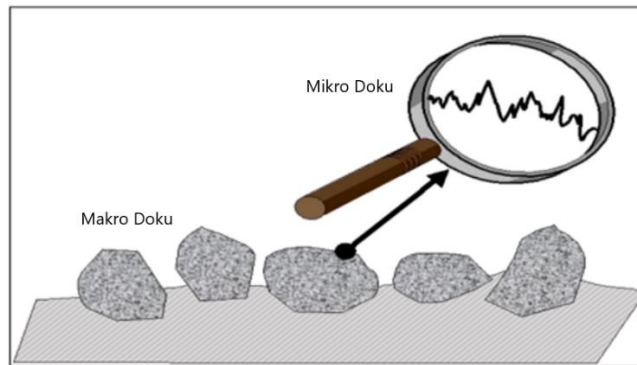
Lastik-pist temasında yeterli sürtünme seviyesini korumak için bir yüzeyin hem makro dokuya hem de mikro dokuya sahip olması gerekmektedir (Agrawal, 1986). Islak bir pistte mikro doku, düşük hızlarda kızaklama riskini azaltırken daha yüksek hızlarda makro doku buna yardımcı olur (Van Es, 2018).

Mikro doku 0,5 mm ve daha küçük parçacıklardan oluşur. Makro doku ise 0,5 mm ile 50 mm arasındaki büyüklükte parçacıklardan oluşmaktadır. SHGM Havaalanı Kaplama Yüzey Koşulları Standartlarına göre makro dokunun 1 mm ve üzerinde olması tavsiye edilmektedir. 50 mm ve daha büyük parçacıklara ise mega doku olarak ifade edilmektedir. Çizelge 2.3’de parçacık büyüklüklerine göre mikro, makro ve mega doku görülmektedir.

Çizelge 2.3: Parçacık büyüklüklerine göre doku türleri (SHGM Havaalanı Kaplama Yüzey Koşulları Standartları).

Doku Türü	Parçacık Büyüklüğü
Mikro Doku	$\lambda \leq 0,5 \text{ mm}$
Makro Doku	$0,5 \text{ mm} \leq \lambda \leq 50 \text{ mm}$
Mega Doku	$\lambda \geq 50 \text{ mm}$

Şekil 2.15’de kaplama yüzeyindeki makro ve mikro dokular ve parçacık büyüklükleri temsili olarak görülmektedir.



Şekil 2.15: Pist yüzeyindeki makro ve mikro dokular (Van Es, 2018).

Bu bölümde makro doku ve mikro dokunun yapısı, kayma direnci ve kızaklamaya etkileri incelenecektir.

Makro doku

Makro doku, tüm pist yüzeyinin kaba, büyük ölçekli yüzey düzensizliklerini tanımlar (Agrawal, 1986). Pist yüzeyindeki büyük taşlar, oluklar tarafından meydana gelen pist pürüzlülüğüdür. Suyun boşaltılabilmesi için bir çeşit drenaj sağlamaktadır. Makro doku boyunca su drenajı, sıvı dinamik basıncının oluşmasını, makro dokuya sahip olmayan veya çok az olan kaplamalar için bulunan hızlardan çok daha yüksek hızlara geciktirir. Bu yüzden de yüzeyin makro dokusu az olduğunda kızaklama riski artar. Yüzeyde yeterli makro doku olduğunda ve/veya lastik dişleri yeterli seviyede derinliğe sahipse, su derinliği hem lastik dişlerinin hem de pist makro dokusunun suyu tahliye edemeyeceği bir seviyede olmadıkça, dinamik kızaklama meydana gelmez (Van Es, 2018). SHGM Havaalanı Kaplama Yüzey Koşulları Standartlarına göre, herhangi bir yeni yüzeyin ortalama yüzey makro doku derinliğinin pist ıslak olduğunda iyi sürtünme özellikleri sağlamak amacıyla 1 mm'nin altında olmaması tavsiye edilmektedir. 1 mm'nin altındaki derinlik tarafından da iyi drenaj sağlanabilecek olmasına karşın, yeni bir yüzey inşa ederken, normal kaplama kullanımının yüzey bozulmasına yol açacak olmasından dolayı asgari değerin üzerinde bir derinlik seçilmelidir.

Genel olarak yüzey makro doku derinliğinin ölçümü için mevcut olan en uygun tekniklerin gres ve kum yaması yöntemleri olduğu kabul edilmektedir. Tüm kaviteler doluncaya değin, bilinen boyutta kum partikülleri veya bilinen hacimde gres yüzey boyunca serilir/yayılır. Böylece bilinen hacmin kaplı sahayla bölünmesi halinde kavitelerin ortalama derinliği bulunabilir.

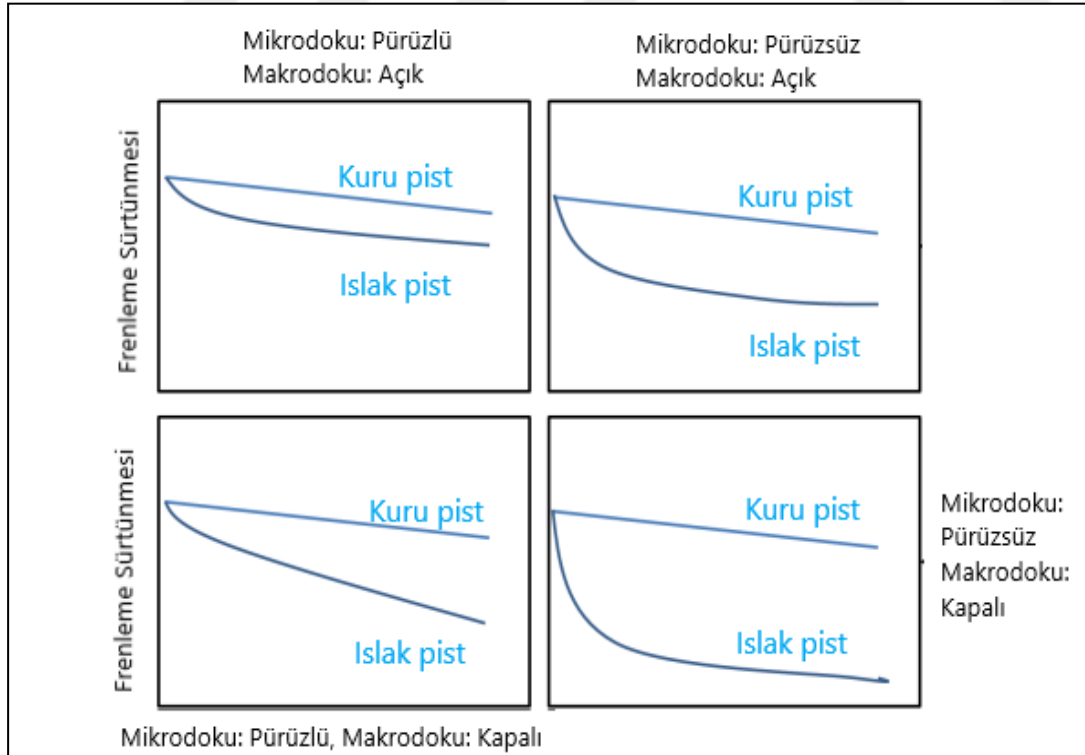
Mikro doku

Mikro doku, ince taneli parçacıklarla oluşur. Kaplama mikro dokusu, işlevini yüzeye, lastik sırtıyla temas ettiğinde çok yüksek yerel yatak basınçları oluşturan çok sayıda keskin sivri çıkıntılar sağlayarak gerçekleştirir (Van Es, 2018). Mikro doku, yapışmanın gelişmesine izin vermek için lastik ve yüzey agregaları arasında oluşan ince su filmine nüfuz etmek için gereken sertliği veya pütürlülüğü sağlar (Agrawal, 1986). Mikro doku, genel olarak 0,5 mm'den daha küçük parçacıklardan

oluşmaktadır. Bu mikro doku sürtünme üretir. Mikro doku tarafından sağlanan sürtünme, uçağın güvenli ve etkili bir şekilde fren yapmasına izin vermek için yeterli olmalıdır (White, 2017). Mikro doku, çok ince su filmlerinin penetrasyonu bakımından önem arz eder. Mikro doku çok ince su filmleri ile ilişkili olan akışkansız suda tekerlek kaymasının başlangıcının indirgenmesi bakımından çok önemlidir. Mikro doku ile ilgili başlıca sorunlardan biri, kısa zaman dilimleri içerisinde değişebilmesi ve bunun kolaylıkla tespit edilememesidir. Buna tipik bir örnek, konma alanındaki lastik kalıntılarının birikimidir; bu tortu birikimi makro dokuyu azaltmaksızın, mikro dokuyu büyük ölçüde saklar (SHGM- Havaalanı Kaplama Yüzey Koşulları Standartları).

Yeterli yağış alan ve daha yüksek makro doku derinliğine sahip pistler, mikro doku yetersizliğinden dolayı dinamik suda kızaklama yaşayabilir. Mikro dokuyu belirlemek için makro dokuda olduğu gibi bir ölçüm yöntemi bulunmamaktadır (Van Es, 2018).

Şekil 2.16’de mikro doku ve makro dokuların lastik zemin frenleme sürtünmesine bileşke etkileri görülmektedir.



Şekil 2.16: Pist dokusunun lastik-zemin frenleme sürtünmesi üzerindeki etkisi (Van Es, 2018).

Mikro doku pürüzlü olduğunda ve makro doku suyun tahliyesi için yeterince açık olduğunda kuru ve ıslak pistlerin frenleme sürtünmeleri arasındaki fark nispeten daha azdır. Mikro doku pürüzsüz ve makro doku suyun tahliyesi için yeterince açık olduğunda kuru ve ıslak pistlerin frenleme sürtünmeleri arasındaki fark ilk duruma göre daha fazladır. Bunun sebebi mikro dokunun pürüzsüz olmasından dolayı sürtünmenin azalmasıdır.

Mikro doku pürüzlü olduğunda ve makro dokunun nispeten kapalı olduğu durumda kuru ve ıslak pistlerin frenleme sürtünmeleri arasındaki fark yine ilk duruma göre daha fazladır. Hem mikro dokunun pürüzsüz hem de makro dokunun yeterince su tahliyesinin gerçekleşmesini engelleyecek kadar kapalı olması durumunda kuru ve ıslak pistlerin frenleme sürtünmeleri arasındaki fark diğer tüm üç durumdan çok daha fazladır.

Islak zeminde uçuşlar sırasında kızıklamadan korunmak için lastik/kaplama temas bölgesinde sıkışan suyun tahliyesini kolaylaştırmak için bir kaplama yüzeyinin hem yüksek makro dokuya hem de pürüzlü bir mikro dokuya sahip olması gerekir (Van Es, 2018).

Pist eğimi

Su birikmesinin önlenmesi amacıyla havaalanı pistleri belirli bir eğimle dizayn edilmektedir. Bu eğim havaalanı referans koduna göre değişiklik göstermektedir. 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.

Çizelge 2.4'de gösterilen kod unsuru uçak kanat açıklığıdır. Tasarım amaçlı seçilen bir unsurun içindeki kod harfi veya rakamı, tesisin sağlanmış olduğu kritik uçak özelliği ile ilgilidir. Havaalanı planlama amaçlı seçilen bir havaalanı referans kodu (kod harfi) bir havaalanı tesisinin öngörüldüğü uçağın özelliklerine göre belirlenmektedir (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

Çizelge 2.4: Kanat açıklıklarına göre kod harfleri (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

Kod Unsuru	
Kod Harfi	Kanat Açıklığı
A	15 metreden az
B	15 metre ve üzeri ile 24 metreden az
C	24 metre ve üzeri ile 36 metreden az
D	36 metre ve üzeri ile 52 metreden az
E	52 metre ve üzeri ile 65 metreden az
F	65 metre ve üzeri ile 80 metreden az

Enine eğim

Pist kaplamalarının enine eğimi, yağışların pistten tahliye edilmesinde önemli bir rol oynar. Pistin enine eğiminin artması, suyun daha hızlı boşalmasını ve pist genişliği boyunca daha düşük su filmi derinlikleri oluşmasını sağlar. Ayrıca pistin enine eğimi, tekerlek izleri veya çöküntüler gibi kaplama yüzeyi bozulmalarından kaynaklanan su birikimini de en aza indirmektedir (Pasindu, 2011).

Çizelge 2.4’de belirtilen kod unsurlarından hareketle en hızlı su drenajını geliştirmek için verilmesi gereken enine eğimin aşağıdaki şekilde olması idealdir:

- Kod harfinin C, D, E veya F olduğu durumlarda % 1,5,
- Kod harfinin A veya B olduğu durumlarda % 2,

Fakat her halükarda, duruma göre, % 1,5’i veya % 2’yi aşmamak üzere % 1’den az olmamalıdır. Kavis verilmiş bir yüzey için merkez hattının her bir tarafındaki enine eğim simetrik olmalıdır (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

Boyuna Eğim

Boyuna eğim pist merkez hattı boyunca olan azami ve asgari rakım arasındaki farkın, pist uzunluğuna bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Çizelge 2.5’de pist genişliğine göre pistlerin kod numaralarının belirlenme yöntemi görülmektedir (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

Çizelge 2.5: Pistlerin kod numaraları (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

Kod Numarası	Kod harfi					
	A	B	C	D	E	F
1a	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2a	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

SHGM Havaalanı Pistleri Standartlarına göre, boyuna eğimler aşağıdaki oranları aşmamalıdır:

- Kod numarasının 3 veya 4 olduğu hallerde % 1,
- Kod numarasının 2 olduğu hallerde % 2.

Pist genişliği

Pist genişliği, biriken suyun tahliye edildiği drenaj yolunun uzunluğunu etkiler. Pist genişliğindeki bir artış, drenaj yolunun uzunluğunu artırır ve pist enine kesiti boyunca daha yüksek su filmi kalınlıkları ile sonuçlanır (Pasindu ve diğ., 2010).

Pist uzunlukları, operasyonların güvenliğini sağlamak için gerekli görülen asgari genişliklerdir. SHGM Havaalanı Pistleri Standartlarına göre pistlerin genişliğini etkileyen faktörler şunlardır:

- Bir uçağın konma sırasında merkez hattan sapması,
- Yan rüzgâr koşulu,
- Pist yüzeyinin kontaminasyonu (örn. yağmur, kar, sulu kar veya buz),
- Kauçuk kalıntıları,
- Yan rüzgâr koşullarında kullanılan krap iniş yaklaşımları,
- Kullanılan yaklaşma hızları,

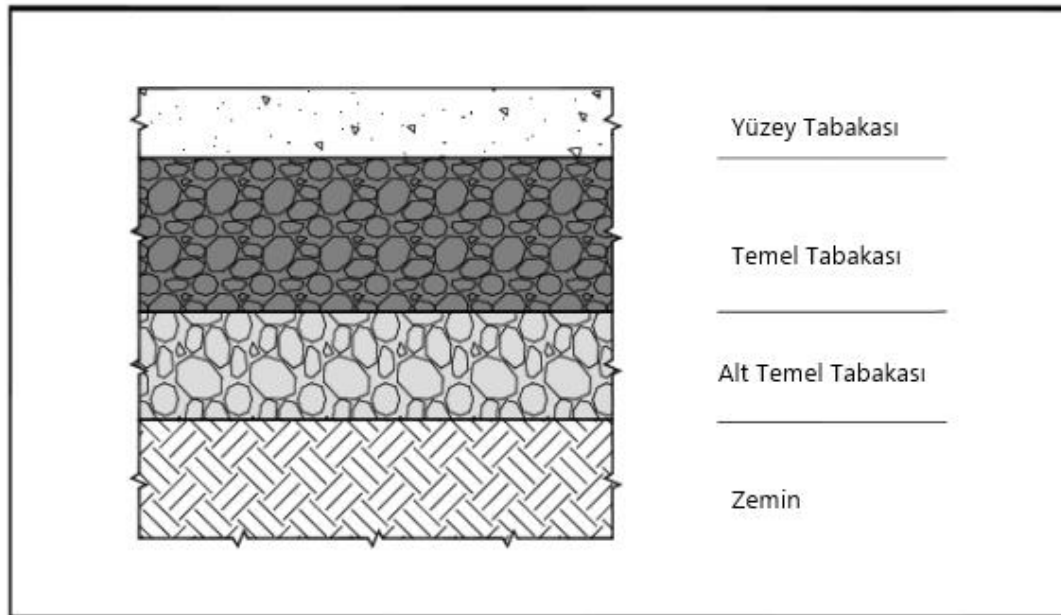
- Görüş,
- İnsan faktörleri.

Pist kaplamaları

Pistlerin; kaymaya karşı direnç, iyi frenleme için iyi drenaj, hava taşıtında bulunan hassas elektronik cihazların zarar görmemesi ve yolcu konforu için satıh düzgünlüğü gibi özelliklere sahip olmaları gerekirken aynı zamanda modern hava taşıtlarının teker yüklerine karşı da dayanıklı olmaları gerekmektedir.

Havaalanı pisti kaplamaları hava taşıtı yüklerini taşıyan, kapalı ve açık alanlarda yapılan, tabii ve/veya ıslah edilmiş zemin üzerindeki tüm tabakaları kapsayan yüzeylerdir. Bu yüzeyler genel olarak kaplamalı saha şeklinde anılmaktadır. Her tabakanın kalınlığı ise aynı tabakada veya farklı tabakalarda uygulanan yüklerden dolayı kopma ve kırılmaya sebebiyet vermeyecek yeterli kalınlıkta olmalıdır. (Kuloğlu ve diğ., 2007).

Şekil 2.17’de görüldüğü gibi kaplama yapısı yüzey tabakası, temel tabakası, alt temel tabakası ve alt zeminden oluşmaktadır (FAA Havaalanı Kaplama Tasarım ve Değerlendirmesi Standardı).



Şekil 2.17: Pist kaplama tabakaları (FAA Havaalanı Kaplama Tasarım ve Değerlendirmesi Standardı).

Yüzey Tabakası: Yüzey tabakası tipik olarak Portland Çimento Betonu (PCC) ve Sıcak Karışımli Asfaltı (HMA) ifade etmektedir.

Temel Tabakası: Temel tabakası genellikle stabilize ve stabilize olmayan tabakalar olmak üzere ikiye ayrılır. Stabilize tabakalar, çimento veya asfalt ile stabilize edilmiş ezilmiş ve ezilmemiş agregalardan oluşur. Stabilize olmayan tabakalar, ezilmiş ve ezilmemiş agregalardan oluşmaktadır.

Alt Temel Tabakası: Alt temel tabakaları, stabilize edilmemiş veya stabilize olabilen granüler malzemelerden oluşmaktadır.

Alt Zemin: Alt zemin, doğal veya modifiye edilmiş topraklardan oluşur.

Kaplama türünün seçimi, maliyet ve finansman sınırlamaları, operasyonel kısıtlamalar, inşaat-zaman çerçevesi, öngörülen bakım maliyeti ve sıklığı, çevresel kısıtlamalar, malzeme mevcudiyeti, gelecekteki havalimanı genişletme planları ve trafikte beklenen değişiklikler dahil olmak üzere birçok faktörün değerlendirilmesini gerektirir.

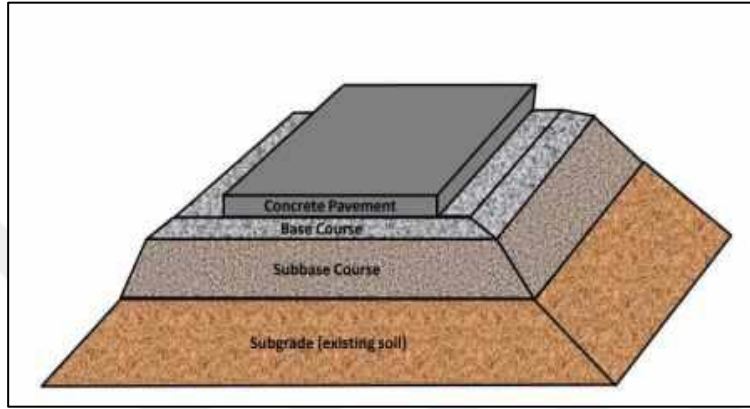
Havaalanı kaplamaları yapımında kullanılan yöntem ve malzemelere göre; rijit, kompozit ve esnek kaplama olmak üzere sınıflandırılmaktadır:

Rijid Kaplama

Rijit kaplamalar, temel yük direncinin yüzey beton tabakasının döşeme hareketiyle sağlandığı kaplamalardır. Portland çimentosu betonu (PCC) ve P-501, sert kaplamaları ifade eder (FAA Havaalanı Kaplama Tasarım ve Değerlendirmesi Standardı).

Rijit kaplama, beton veya betonarme plaklardan oluşmaktadır. Yapısal ana elemanlar beton plak, drenaj tabakası, ayırıcı tabaka ve sıkıştırılmış zemindir (Kuloğlu ve diğ., 2007). Rijit kaplamalarda zeminlerde donma kabarması, şişme ve büzülmelere karşı koymak, kaplama altı drenajı sağlamak, kaplamanın taşıma gücünü artırmak, ağır taşıtların meydana getirdiği pompaj etkisini önlemek ve beton plak için düzgün yüzey oluşturmak amacıyla beton plağın altına alt temel yapılmaktadır (Bakış, 2018). Beton plağın elastisite modülü, taban zemininin elastisite modülünden çok büyüktür. Bu bakımdan beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışmakta ve trafik yüklerini bu esasa göre, esnek üstyapıya nazaran daha geniş bir alana yayarak, taban

zeminine iletmektedir (Tanyıldızı ve Geçkil, 2019). Rijit kaplamada, rijit beton yüzey ile doğrudan betonun altındaki geçirimsiz bir tabaka arasında sıkışan serbest su, yüklemelerin neden olduğu basınç nedeniyle hareket eder. Rijit kaplamalarda drenaj tabakası genellikle doğrudan beton levhanın altına yerleştirilir. Bu konumda, drenaj tabakası, çatlaklardan ve derzlerden giren suyu kesecek ve suyun beton levhanın altından hızlı bir şekilde drenajına izin verecektir. (Guyer, 2013). Şekil 2.18’de rijit kaplamanın tabakaları görülmektedir.



Şekil 2.18: Rijid kaplama tabakaları (Kaynak, url-15).

FAA Havaalanı Kaplama Tasarım ve Değerlendirmesi Standardına göre rijid bir pist kaplamasının tabakalarının sahip olması gereken minimum kalınlıklar Çizelge 2.6’da gösterilmektedir. Bu minimum kalınlıklar uçakların operasyon sırasında sahip olacağı maksimum brüt ağırlığa göre hesaplanmaktadır.

Çizelge 2.6: Uçağın maksimum brüt ağırlığına göre rijid tabaka kalınlıkları (FAA Havaalanı Kaplama Tasarım ve Değerlendirmesi Standardı).

Tabaka Türü	Kaplama Üzerindeki Uçağın Maksimum Brüt Ağırlığı (kg)		
	<5.670	< 45.360	≥45.360
Portland Çimentolu Beton (PCC) Yüzey	125 mm	150 mm	150 mm
Stabilize Temel Tabakası	Gerekli değil	Gerekli değil	125 mm
Temel Tabakası	Gerekli değil	150 mm	150 mm
Alt Temel Tabakası	100 mm	Gerektiği kadar	Gerektiği kadar

Esnek Kaplama

Esnek kaplamalar, her bir yapısal katmanın alttaki katman tarafından desteklendiği ve nihayetinde alt zemin tarafından desteklendiği yapılardır. Sıcak karışım asfalt (HMA) ve P-401/403, esnek kaplamaları ifade etmektedir (FAA- Havaalanı Kaplama Tasarım ve Değerlendirmesi Standardı).

Esnek kaplama, yük uygulandığında elastik davranış altında esneklik sergileyebilen ve küçük ölçekli deformasyonlara olanak sağlayan kaplamadır. Yapısal elemanların bitümlü yüzey tabakası, temel tabakası, drenaj tabakası, ayırıcı tabaka, alt temel tabakası ve sıkıştırılmış zemin olduğu üstyapı esnek üstyapıdır (Kuloğlu ve diğ., 2007). Esnek kaplamalarda drenaj tabakası normalde temelin altına yerleştirilmektedir. Drenaj tabakasının temel altına yerleştirilmesinde drenaj tabakası üzerindeki gerilmeler kabul edilebilir bir düzeye indirilerek ve temel tabakası için drenaj sağlanmaktadır. Su, esas olarak yüzey altı malzemelerini zayıflatarak veya serbest su hareketiyle malzemenin erozyona uğramasıyla, kaplama performansı üzerinde zararlı bir etkiye sahiptir. Esnek üstyapılar için, su ile doyduğunda temel, alt temel veya alt zeminin zayıflaması, üstyapı arızalarının ana nedenlerinden biridir. (Guyer, 2013). Nem, esnek kaplama performansını önemli ölçüde etkileyebilir. Esnek bir üstyapı yapısında ne kadar uzun süre nem kalırsa, üstyapı arızasının meydana gelme olasılığı o kadar artar. Özellikle, bir üstyapı alt zemininde sürekli olarak nemin bulunması, alt zeminin modülünü önemli ölçüde etkileyebilir ve üstyapı performansını azaltabilir. Bu nedenle, özellikle üstyapı alt tabanına nemin girmesini önlemek için, bu tür üstyapılardan nemin mümkün olduğunca çabuk uzaklaştırılması önemlidir. Uygun bir drenaj sistemi kullanmak, kaplama yapılarından nemi uzaklaştırmanın bir yöntemidir (Ghavami ve diğ., 2019).

Kaplama tabanındaki, alt temeldeki ve taban altı zeminlerindeki aşırı su içeriği, önlemler alınmazsa, erken bozulmaya neden olabilir ve kaplamanın yapısal veya işlevsel olarak bozulmasına neden olabilir. Suya bağlı hasar, aşağıdaki bozulma biçimlerinden bir veya daha fazlasına neden olabilir:

- Temel ve temel/alt temel mukavemetinde azalma,
- Geniş zemin altı zeminlerde farklı şişme,

- Esnek kaplamalarda asfaltın sıyrılması,
- Donma-donma erimesi sırasında kabarma ve mukavemetin azalması,
- İnce parçacıkların hidrolik iletkenliğin önemli ölçüde azalmasına neden olan temel veya alt temel tabaka malzemelerine hareketi

Bitümlü tabakaların katsayısı sıcaklık değişimine daha duyarlıyken, bağlanmamış malzemelerin katsayısı nem içeriğinin değişimine duyarlıdır. Bu iki çevresel faktör, sıcaklık ve nem içeriği, özellikle kış aylarında kaplamaların kabardığı ve daha sonra bahar erimesi sırasında taşıma kapasitesinin bir kısmını kaybettiği mevsimsel don bölgelerinde esnek kaplamaların tasarım sürecine dahil edilmelidir. Kaplama yapısındaki aşırı nem; bağlanmamış zemin/alt temel malzemelerinin kesme mukavemetinde bir azalma, bağlanmamış ince tanelerin esnek kaplama alt temel/temel sıralarına hareketiyle zayıf katmanların oluşturulması, don kabarması, donma erimesi sırasında mukavemetin azalması, durabilite çatlaması, rijit kaplamalarda ince tanelerin pompalanmasıyla destek kaybı ve asfalt kaplamalarda sıyrılma gibi durumların bir veya daha fazlasına neden olabilmektedir (Rokade ve diğ., 2012).

FAA Havaalanı Kaplama Tasarım ve Değerlendirmesi Standardına göre esnek bir pist kaplamasının tabakalarının sahip olması gereken minimum kalınlıklar Çizelge 2.7'de gösterilmektedir. Bu minimum kalınlıklar uçakların operasyon sırasında sahip olacağı maksimum brüt ağırlığa göre hesaplanmaktadır.

Çizelge 2.7: Uçağın maksimum brüt ağırlığına göre esnek tabaka kalınlıkları (FAA Havaalanı Kaplama Tasarım ve Değerlendirmesi Standardına).

Tabaka Türü	Kaplama Üzerindeki Uçağın Maksimum Brüt Ağırlığı (kg)		
	<5.670	< 45.360	≥45.360
Sıcak Karışım Asfalt (HMA) Yüzey	75 mm	100 mm	100 mm
Stabilize Temel Tabakası	Gerekli değil	Gerekli değil	125 mm
Ezilmiş Agregalı Temel Tabakası	75 mm	150 mm	150 mm
Agregalı Temel Tabakası	75 mm	Kullanılmamaktadır	Kullanılmamaktadır
Alt Temel Tabakası	100 mm	100 mm	100 mm

Pist kaplama yüzeylerinde meydana gelebilecek bozukluklar

Kaplama düzgünsüzlüğü, yağış zamanlarında kaplama yüzeyinde rastgele su birikintilerinin oluşmasına neden olur. Diferansiyel frenleme veya viraj çekişi nedeniyle uçaklarda patinaj üreten yalpalama momentlerinin meydana gelme olasılığı büyüktür. Bu nedenle, normal yağış zamanlarında, eşit olmayan üstyapı oturma etkileri nedeniyle üstyapı düzgünsüzlüğünün üstyapı üzerinde çok sayıda su birikintisi oluşturduğu görüldüğünde, üstyapılar yeniden kaplanmalıdır (Horne ve Dreher, 1963).

Pist kaplama yüzeylerinde meydana gelen ve özellikle kızaklama açısından risk oluşturabilecek deformasyonlar bu bölümde tartışılacaktır.

Tekerlek izi (rutting)

ICAO'nun tanımına göre tekerlek izi oluşumu (rutting); kaplama malzemesinin, tekerlek yollarında kanallar oluşturacak şekilde yer değiştirmesidir.

Tekerlek izi, tekerlek yolundaki bir yüzey çöküntüsü ile karakterize edilir. Çoğu durumda, tekerlek yolları suyla dolduğunda, tekerlek izleri ancak bir yağıştan sonra fark edilir hale gelir. Bu tür bir sorun, trafik yükleri nedeniyle malzemelerin konsolidasyonu veya yer değiştirmesinden kaynaklanan, kaplama katmanlarından

veya alt zeminlerden herhangi birinde kalıcı bir deformasyondan kaynaklanır (FAA-Havaalanı Kaplama ve Bakım Prosedürü).

Tekerlek izi oluşumu, suyun pist yüzeyinde birikmesine sebep olarak, kızaklama ve sürtünme kaybıyla ilgili operasyonel risklere neden olabilir. İniş operasyonları sırasında frenleme kabiliyetinde ve yön kontrolünde kayba neden olabilir ve bu da özellikle yağışlı havalarda pistten sapma veya pisti aşma kazalarına yol açabilir (Pasindu ve diğ., 2015). Tekerlek izi deformasyonları, kaplamaların düzlüğünü (veya düzgünlüğünü) ve pürüzlülüğünü etkiler, bu da uçakların yanal stabilitesini ve manevra kabiliyetini tehlikeye atar (Ling ve diğ., 2021). Havaalanı kaplaması bakımıyla ilgili çeşitli standartlar, tekerlek izi oluşumunun, kızaklama riski nedeniyle uçaklar için güvenlik tehlikelerine neden olabileceğini belgelemiştir (Pasindu ve diğ., 2015).

Sıcaklık ve kaplamanın maruz kaldığı yük tekerlek izi oluşumunu etkileyen en önemli faktörlerdir (Nepal, 2014). Tekerlek izi yapısal bir sorundur ancak yükle ilgili olmayan mekanizmalardan da (zayıf asfalt karışım tasarımı, asfaltta yetersiz sıkıştırma, temel veya alt temel tabakası) kaynaklanabilir (Garg ve diğ., 2010).

Kaplama tekerlek izi oluşumu sebebiyle bakım yapıp yapılmayacağına; ölçülen tekerlek izi derinliğinin şiddetine göre karar verilir. Bunun için PCI (Pavement Condition Index) metodu kullanılır. ASTM D5340-04 (2009)'a göre tekerlek izi şiddeti Çizelge 2.8'deki gibi tanımlanır (Pasindu ve diğ., 2015):

Çizelge 2.18: ASTM 2009'a göre tekerlek izi şiddetinin değerlendirilmesi (Pasindu ve diğ., 2015).

<i>ASTM 2009'a göre</i>	
Şiddet	Ölçü
Düşük	0,25-0,5 inç aralığında veya daha düşük
Orta	0,5-1,0 inç aralığında
Yüksek	1,0 inçten daha büyük

PCI (kaplama koşulları oranı) 0 olası en kötü koşul ve 100 olası en iyi koşul olmak üzere 0 ile 100 arasında değişen kaplama koşulunun sayısal bir derecesini ifade etmektedir.

Çizelge 2.9'da PCI değerine göre pist bakımı değerlendirilmesi görülmektedir (Di Mascio ve Moretti, 2019):

Çizelge 2.9: PCI skalası (Di Mascio ve Moretti, 2019).

PCI Skalası		
Aktivite	PCI Değeri	Renk
Aksiyon yok	>55	Yeşil
Bir sonraki denetim 4 ay sonra yapılmalı	$40 < PCI \leq 55$	Sarı
1 yıl içinde onarım yapılmalı	$20 < PCI \leq 40$	Turuncu
2 ay içinde onarım yapılmalı	≤ 25	Kırmızı

Ondülasyon

Ondülasyon, yüzey boyunca dalgalanmalarla karakterize edilen bir plastik yüzey hareketi sebebiyle meydana gelmektedir. Ondülasyon, karışımdaki stabilite eksikliğinden veya malzeme katmanları arasındaki zayıf bağlardan kaynaklanabilir (FAA Havaalanı Kaplama ve Bakım Prosedürü).

Kazıma

Kazıma (shoving), bir kaplama yüzeyinde meydana gelen lokalize şişkinliktir. Karışımdaki stabilite eksikliğinden, bir ara katmandaki kayma hareketinden veya genişleme sırasında bitişik beton kaplama tarafından üretilen yanıl gerilmelerden kaynaklanabilir (FAA Havaalanı Kaplama ve Bakım Prosedürü). Havaalanlarında kazıma olayı, yüksek hızlı çıkışlar gibi yüksek yüzey kesme kuvvetlerinin bir sonucu olarak, uçakların fren yaptığı ve dönüş yaptığı bölgelerde meydana gelebilmektedir (Cook ve diğ., 2016). Kazıma, kayma direnci etkilendiğinden asfalt deformasyonuna karşı korumanın önemi yüksektir ve bu tür sıkıntıların yaşandığı alanlarda erken bakım müdahalesini gerektirmektedir (Jamieson ve White, 2018).

Çökme

Çökmeler sınırlı büyüklükte lokalize düşük alanlardır. Hafif çöküntüler tipik olarak yalnızca yağmurdan sonra, göllenme alanları oluşturduğunda fark edilir. Çökmeler;

alttaki kaplama katmanlarının lokalize yerleşimi, kötü inşaat yöntemleri veya tasarlandığından daha yoğun trafik olması gibi sebeplerle meydana gelebilirler (FAA Havaalanı Kaplama ve Bakım Prosedürü).

Çukur oluşumu

Çukur oluşumu, kaplama malzemesinin bir kısmının kırılarak boşluk oluşturduğu bir bozulma olarak tanımlanır. Çukurların çoğu, kaplama yüzeyinin yorulmasından kaynaklanır. Yorulma çatlakları geliştikçe, timsah sırtı çatlağı oluşturarak iç içe geçerler. Çatlak kaplamanın bölümleri gevşediğinde, sonunda sürekli tekerlek yükleri ile yüzeyden çıkarılabilir ve bir çukur oluşturabilirler. Donma-çözülme döngülerinin şiddetli olduğu kuzey iklimlerinde, sürekli donma çözülme eylemi nedeniyle çukur gelişimi şiddetlenir ve yalnızca trafik kalıplarıyla ilgili olmayabilir. Olası bir durum olmakla birlikte, çukurlar havaalanları için yaygın bir sıkıntı değildir (FAA Havaalanı Kaplama ve Bakım Prosedürü).

Kayma direnci kaybı

Bir kaplama yüzeyinin kayma direncini azaltan ve kızaklamaya neden olabilecek faktörler; bitümlü karışımda çok fazla asfalt bulunması, aşınmaya maruz kalan zayıf agrega ve kirleticilerin birikmesidir. Esnek kaplamalarda, aşağıdaki sıkıntılardan dolayı kayma direnci kaybı meydana gelebilir (FAA Havaalanı Kaplama ve Bakım Prosedürü):

Agreganın cilalanması, tekrarlanan trafik uygulamalarından kaynaklanır. Cilalanmış agrega, asfaltın üzerinde uzanan agrega kısmı ya çok küçük, kalitesiz olduğunda ya da iyi bir kayma direnci sağlayacak kaba veya köşeli parçacıklar olmadığında mevcuttur.

Kaplama yüzeyinde kauçuk parçacıklarının, yağların veya diğer dış malzemelerin birikmesi kaplamanın kayma direncini azaltmaktadır. Ek olarak, kaplama oluklarında kauçuk birikintilerinin birikmesi, olukların etkinliğini azaltacak ve kızaklama olasılığını artırır.

Bazı durumlarda, kaplama yüzeyinde genellikle oldukça yapışkan hale gelen parlak, cam benzeri, yansıtıcı bir yüzeye benzeyen bir bitümlü malzeme filmi oluşur. Bu durum karışımdaki aşırı miktarda asfalt bağlayıcıdan ve/veya düşük hava boşluğu içeriğinden kaynaklanır. Asfalt bağlayıcının sıcak havalarda karışımdaki boşlukları

doldurması ve daha sonra kaplama yüzeyine doğru genişlemesi ile meydana gelir. Asfalt yüzeyinin yerleştirilmesinden önce aşırı bir yapışkan kat uygulandığında da bu durum meydana gelebilir. Soğuk havalarda bu olay geri dönüşümlü olmadığı için yüzeyde asfalt bağlayıcı birikir ve böylece kayma direncinde ciddi bir azalma meydana gelebilir.

Kompozit kaplama

Kompozit kaplama ise, zamanla bozulmuş beton plakların üzerine bitümlü sıcak asfalt serilmesiyle veya bozulmuş asfalt tabakası üzerine beton plakların inşa edilmesiyle oluşan kaplamadır (Kuloğlu ve diğ., 2007).

2.2.2.4. Uçağın operasyonel parametreleri

Bir piste iniş yapan bir uçağın kızıklama riskini etkileyen önemli faktörlerden biri de uçağın operasyonel parametrelerdir. Bu parametreler iniş hızı, uçağın iniş sırasında pist üzerindeki yeri (pist merkezinden sapması), uçağın iniş ağırlığı, pilotaj ve uçak lastiği parametreleridir. Uçak lastiği parametreleri önceki bölümlerde tartışıldığı için bu bölümde buna değinilmeyecektir.

Uçağın iniş hızı

İniş sırasında kızıklama riskini doğrudan etkileyebilecek önemli işletme özelliklerinden biri, uçağın iniş hızıdır. Bu, hem uçak tiplerine göre hem de aynı uçak tipine göre bile farklılık gösterir (Barnes ve diğ., 1999).

Uçakların çalışma hızları arttıkça, sıvı parçacıklarının lastik pist temasından kaçması için mevcut olan süre azalmakta, bu durum da kızıklama riskini artırmaktadır (Agrawal, 1986). Uçağın iniş hızı, 90 ila 170 knot arasında oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir. İniş hızı, uçak tipine, iniş sırasındaki uçak flap ayarlarına, uçağın iniş ağırlığına, çevresel koşullara (rüzgar koşulları, yağmur varlığı, pistlerde buzlanma gibi) ve pilotların kabiliyetine bağlıdır. Kızıklama risk analizi için, her bir uçak tipi için bir olasılıksal iniş hızı dağılımı belirlenmelidir (Ong ve Fwa, 2009).

Uçağın pist merkezinden sapması

Piste inen uçaklar bazı durumlarda pistin merkez hattına inemezler. Uçağın merkez hattına inememesi, uçağın sapması olarak bilinir. Sapma yayılımı, uçak özelliklerine ve pist genişlikleri gibi faktörlere, uçak seyrüsefer kontrollerinin varlığına, pist

işaretlemeleri ve ışıklandırma koşulları ve zayıf görüşe, çapraz rüzgar ve yağmur gibi çevresel koşullara bağlıdır (Ong ve Fwa, 2009).

Bir yağış sırasında, yüzey akışı merkez çizgisinden yana doğru akar ve su filminin kalınlığı merkez çizgisinden daha uzaktaki noktalarda artar. Başka bir deyişle, su filminin kalınlığı pistin genişliği boyunca değişir. Kızaklama risk analizi yapılırken her bir uçak tipi için pist genişliği boyunca bir uçak sapma frekans dağılımı gerekmektedir (Ong ve Fwa, 2009).

Uçağın iniş ağırlığı

İniş ağırlığı farklı yakıt, yolcu ve kargo yükleme gereksinimleri nedeniyle uçak türleri arasında ve her tür içinde farklılık gösterir (Barnes ve diğ., 1999). Uçağın iniş ağırlığının artması kızaklama hızını artırır dolayısıyla kızaklama riskini azaltır. Bunun sebebi uçağın ağırlığının artmasıyla uçağı kaldırmak için daha yüksek bir kaldırma kuvvetine ihtiyaç duyulmasıdır. Bu konu tekerlek yükü bölümünde ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

Pilotaj

Pilotların iniş sırasında belirledikleri hız, risk anında doğru karar alma yetenekleri de kızaklama olayına sebep olan parametreleri etkilemektedir.

2.2.2.5. Diğer parametreler

Mevsim koşulları

Uçağın inişi sırasındaki genel risk, havalimanının konumuna ve yerel iklim koşullarına da bağlıdır. Örneğin, muson bölgelerinde fırtınalı ve şiddetli yağış olasılığı kurak bölgelere göre daha yüksektir. Bu nedenle, kızaklama risk hesaplaması sahaya özel olmalı ve risk değerlendirme sürecinde yağış süresi ve yoğunluğunun olasılığını tahmin etmek için yerel yoğunluk-süre-frekans bilgileri kullanılmalıdır (Pasindu ve diğ., 2010).

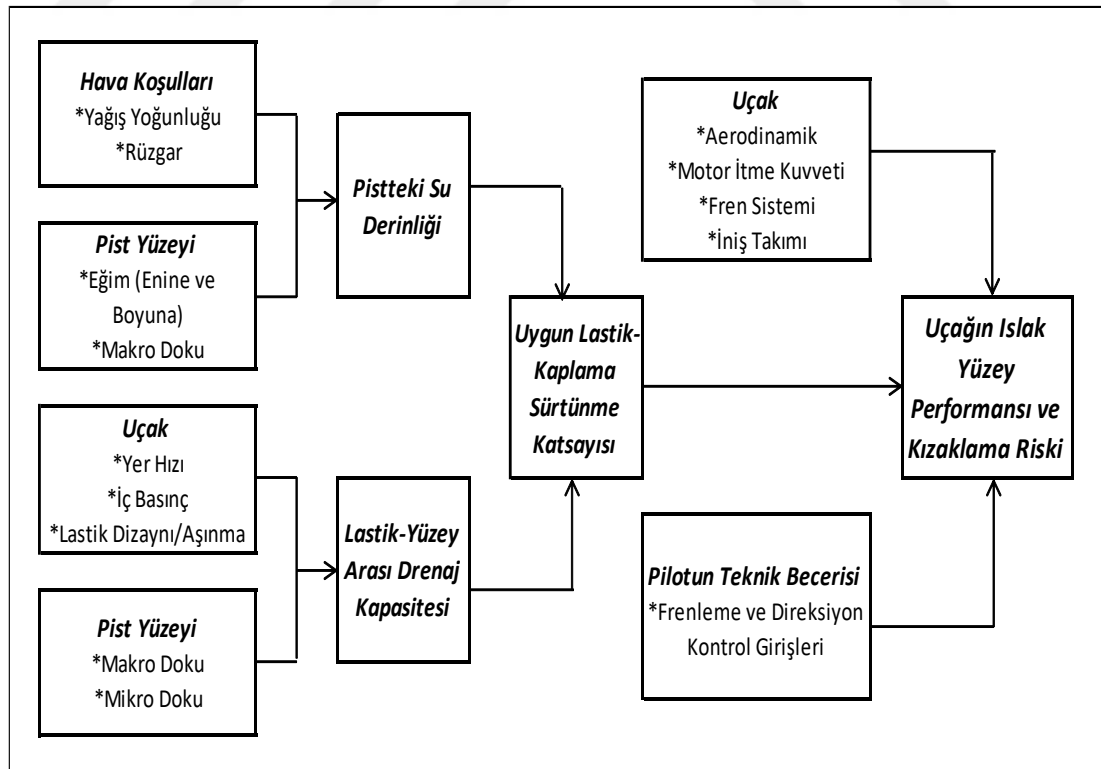
Ayrıca mevsim koşulları pist kaplamasının da deforme olmasına sebep olmaktadır. Örneğin sürekli kar yağışı alan bölgelerde buz çözücü kimyasalların kullanılması pist yüzeyinin daha çabuk bozulmasına sebep olur. Bununla birlikte donma-erime sırasında kaplamanın mukavemeti azalmaktadır.

Yüzey rüzgarları

Pistlerde meydana gelen yüzey rüzgarları, drenaj yolu uzunluğunu artırarak, pist su derinliklerini artırabilirler ve pistin yan tarafındaki su akış yönünü değiştirerek, pist drenajını önemli ölçüde etkileyebilirler (Horne, 1976).

2.2.2.6. Kızaklamaya etki eden faktörlerin birbiriyle ilişkisi

Kızaklamaya etki eden faktörler bazen kızaklamayı doğrudan etkiler bazen de dolaylı olarak etkiler. Örneğin pist eğimi, pist yüzeyinden biriken suyun derinliğini etkileyerek kızaklama riskine etki eder. Bu ilişki Pasindu (2011) tarafından Şekil 2.19’de gösterilmiştir. Yağış yoğunluğu, rüzgar, pist eğimi ve yüzey makro dokusu pist yüzeyinde bulunan suyun derinliğini etkilemekte, pist su derinliği ise lastik-kaplama yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısını etkileyerek kızaklama riskinin artmasına veya azalmasına sebep olmaktadır. Aynı şekilde uçağın iniş hızı, lastik iç basıncı ve lastik tasarımı, ayrıca pistin sahip olduğu mikro ve makro dokular, lastik ile yüzey arasındaki drenaj kapasitesini etkileyerek lastik-kaplama yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısını etkiler, böylece kızaklama riskinin artmasına veya azalmasına neden olur.



Şekil 2.19: Kızaklamaya etki eden faktörlerin birbiriyle ilişkisi (Pasindu, 2011).

2.2.3. Kızaklama oluşumu riskine karşı alınacak tedbirler

2.2.3.1. Piste oluk açma

Kaplamada enine kanal açmanın (yani, aracın hareket yönüne dik yönde hizalanmış kanal açma), kızaklamanın gerçekleşmesi için gereken su derinliğini önemli ölçüde artırabileceği, böylece suda kızaklama riskini azaltabileceği deneysel olarak gösterilmiştir (Ong ve Fwa, 2006).

Hem yeni hem de mevcut havalimanı pistlerinde kaplamada oluk açma, kaplamanın kayma direncini büyük ölçüde iyileştirir (Lee ve diğ., 2009). Oluklu pistlerde kızaklama riskinin azalmasının yanı sıra, durma mesafesi kısalır ve dolayısıyla iniş güvenliği artar. Islak kaplamadaki lastik sürtünme katsayılarını kuruya yakın kaplama sürtünme düzeylerine geri getirir. Oluklar suyun geçişi için kanallar sağlar. Islak koşullarda frenleme katsayısını artırır (Zuzelo, 2014). Oluk açma; oluklu bir yüzeyin daha yüksek drenaj boşaltma kapasitesi nedeniyle kaplama yüzeyindeki su filmi kalınlığını azaltarak ve oluklu bir yüzeyin, lastik-kaplama ara yüzeyinde hidrodinamik basınç oluşumunu azaltarak, ıslak havalarda lastik-kaplama sürtünme kaybını azaltır (Pasindu ve Fwa, 2015). Oluk açma, asfaltın sertleşmesinin beklenmesi amacıyla, yüzey inşa edildikten dört ila sekiz hafta sonra yapılır. Bunun sebebi, kesme işlemi sırasında agreganın yerinden oynamasının önlemesidir (Jamieson ve White, 2018). Mevcut kaplamalara oluk açma, kesme işlemiyle yapılmalıdır. Eğer yeni bir beton kaplama inşa edilecekse beton henüz donmadan oluklar şekillendirilebilir (FAA- Kayma Dirençli Havalimanı Kaplama Yüzeylerinin Ölçümü, İnşası ve Bakımı Prosedürü).

FAA Kayma Dirençli Havalimanı Kaplama Yüzeylerinin Ölçümü, İnşası ve Bakımı Prosedürüne göre turbojet uçaklara hizmet veren veya hizmet vermesi beklenen tüm pistlerin oluk açma işlemi, yüksek öncelikli güvenlik işi olarak kabul edilir ve ilk inşaat sırasında gerçekleştirilmelidir. Oluk olmayan bu tür mevcut pistler, mümkün olan en kısa sürede programlanmalıdır. Diğer pistler için aşağıdaki durumlar göz önüne alınarak oluk açma işleminin yapılıp yapılmayacağına karar verilmelidir:

- Havaalanında suda kızaklama ile ilgili uçak kazaları ve olaylarının olup olmadığı
- Yıllık yağış yoğunluğu ve oranı

- Enine ve boyuna eğimler, düz alanlar, çöküntüler, tümsekler veya su akışını engelleyebilecek diğer yüzey anormalliklerinin olup olmaması
- Kuru veya ıslak koşullarda kayganlık açısından yüzey dokusu kalitesi. Agreganın cilalanması, uygun olmayan kaplama, yetersiz mikro-makro doku ve kirletici birikmesi gibi yüzey sürtünmesinin kaybına neden olabilecek bazı durumların varlığı
- Pist sonu emniyet alanlarında inişler gibi arazi sınırlamaları olup olmaması
- Mevcut pistlerin sayısının ve uzunluğunun yeterli olup olmaması
- Özellikle havaalanında düşük sürtünme faktörlerinin hakim olduğu durumlarda yan rüzgar etkilerinin olup olmaması
- Tesisteki pist kaplamalarının sağlamlığı ve durumu

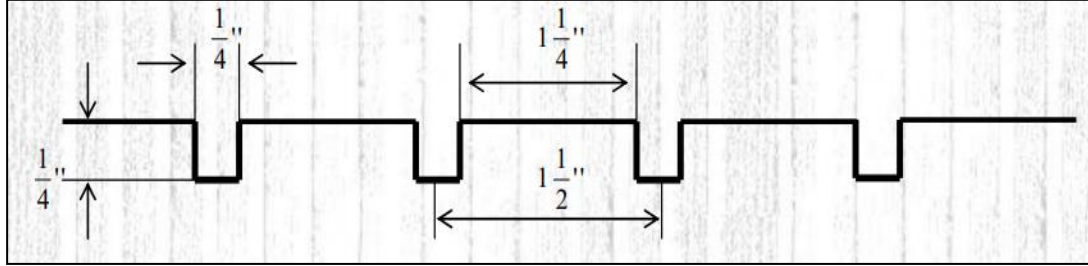
Mevcut kaplamalar, olukların kesilmesine uygun olmayan yüzeylere sahip olabilir. Kanal açmadan önce kaplama yüzeyinin kaplanması veya rehabilitasyonunun gerekli olup olmadığını belirlemek için bir araştırma yapılmalıdır. Bunun için pistin tüm genişliği ve uzunluğu hakkında kapsamlı bir inceleme yapılmalıdır. Kaplamadaki tümsekler, çöküntü alanları, kötü veya kusurlu derzler ve aşırı çatlamış ve/veya parçalanmış alanlar varsa, bu tür alanlar yeterince tamir edilene veya değiştirilene kadar oluk açılmamalıdır. Kaplamanın yapısal durumunu doğrulamak için görsel gözlemleri destekleyen testler yapılmalıdır (FAA-Kayma Dirençli Havalimanı Kaplama Yüzeylerinin Ölçümü, İnşaatı ve Bakımı Prosedürü).

FAA standartlarına göre havaalanı pistlerindeki olukların boyutları Çizelge 2.10'da görüldüğü gibidir (Zuzelo, 2014) :

Çizelge 2.10: Havaalanı pisti oluk boyutları (Zuzelo, 2014).

Standart	En	Boy	Merkezden Merkeze Uzaklık
FAA	6 mm	6 mm	38 mm
Diğer	10 mm	10 mm	80 mm

Şekilde 2.20’de FAA standartlarında kare oluk çizimi görülmektedir. Oluk genişliği ve oluk derinliği 6 mm (1/4 inç) ve bir oluğun merkezinden diğerinin merkezine uzaklığı ise 38 mm (1,5 inç)’dir.



Şekil 2.20: FAA standartlarına göre oluk ölçüleri (Kaynak, FAA).

Apeageyi ve arkadaşlarının (2007) çalışmalarına göre asfalt kaplamadaki oluklarda meydana gelebilecek sorunlar Çizelge 2.11’de gösterilmektedir.

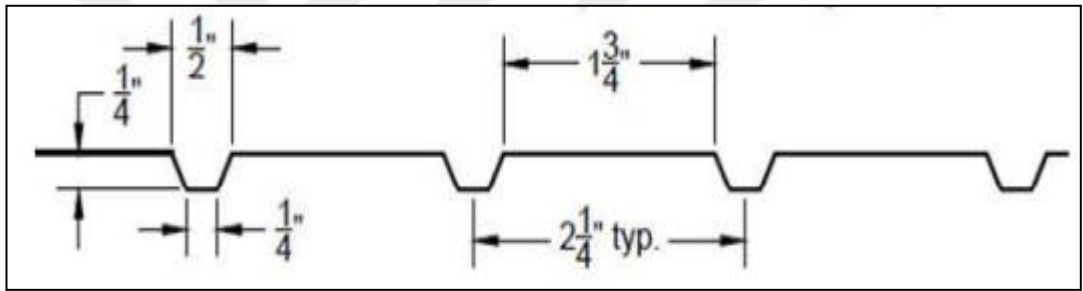
Çizelge 2.11: Asfalt kaplama oluklarında görülebilecek sorunlar (Apeageyi ve diğ., 2007).

Sorun	Tanım
Yıpranma	Standart 1/4 inç derinliğe kıyasla 1/8 inç veya daha az olan oluk derinliği
Oluğun Kapanması	Standart 1/4 inç genişliğe kıyasla 3/16 inç veya daha az olan oluk genişliği
Kauçuk Kalıntıları	Oluklarda ve pistte kauçuk kalıntıları birikmesi
Çatlamalar	Oluklar boyunca yayılan yansıma çatlakları
Migrasyon	Dalgalı bir oluk deseniyle sonuçlanan asfalt akışı
Derin/Sığ Kesme	Hatalı kesme yöntemlerinden kaynaklanan farklı derinliklerde bitişik oluklar
Yuvarlaklaşma	Keskin oluk kenarlarının aşınması
Parçalanma	Parçalanma, asfalt yüzeyinin parçalanması
Ufalanma	Kanalların keskin kenarlarında agrega ve/veya dolgu malzemesinin kırılması
Aşınma	Açıkta agrega bırakarak ince dolgu veya bağlayıcı malzemenin yıkanması

Oluklar, olukların kauçukla dolması, yüzey erozyonu nedeniyle oluk derinliğinin azalması, oluk kenarı kırılması ve oluk kapanması dahil olmak üzere, oluksuz bir yüzeyde bulunmayan bir dizi potansiyel sorun ortaya çıkarır. Kapanma nedeniyle oluşan oluk kaybı, genellikle yüzeyin ömrünün erken dönemlerinde meydana

geldiğinden ve oluklar yeniden kesilerek düzeltilemeyeceğinden, en çok endişe edilen sorun biçimidir. Kapalı kanalların kaldırılmasından sonra asfaltın yeniden kaplanması ve yeniden kanal açılması gereklidir. Ek olarak, çatlak doldurma, yüzey gençleştirme püskürtmeli işlemler, yama ve yüzey yenileme gibi bakım faaliyetleri, oluklar mevcut olduğunda ek değerlendirme gerektirir. Oluklarla ilgili zorluklara rağmen, ıslak asfalt pistlerde uçakların fren performansını iyileştirmek için artık olukların inşası en yaygın yöntemdir (White ve Rodway, 2014).

2012 yılında, FAA tarafından yeni bir trapezoidal (ikizkenar yamuk şeklinde) kanal açma tasarımı test edildi ve geleneksel kare kanal açma tasarımına göre kauçuk kirlenmesine karşı daha fazla direnç, daha iyi bütünlük ve daha uzun ömür dahil olmak üzere çeşitli avantajlar sağladığı görüldü. (Pasindu ve Fwa, 2015). Şekil 2.21’de trapezoidal oluk ölçüleri görülmektedir (Wang ve Davis, 2013):



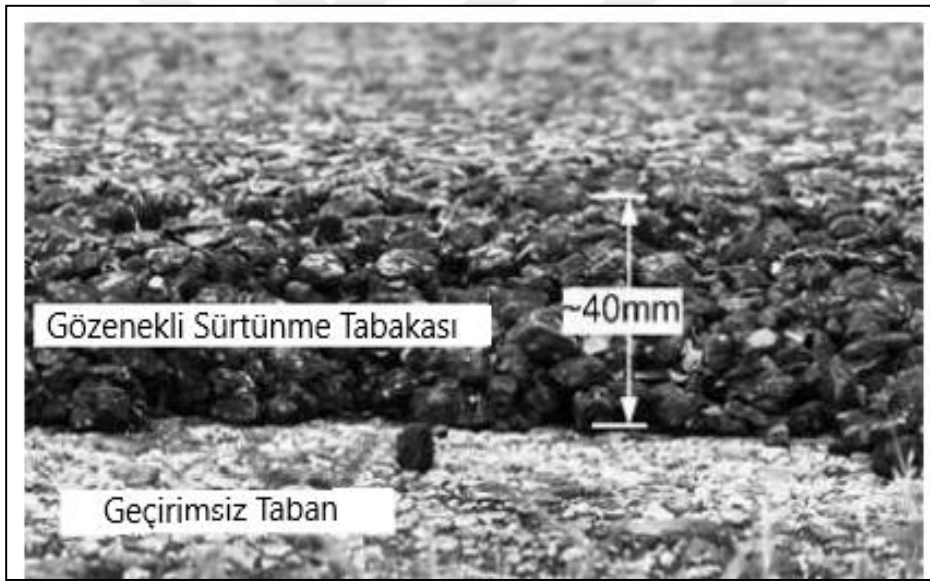
Şekil 2.21: FAA standartlarına trapezoidal oluk ölçüleri (Wang ve Davis, 2013).

Pasindu ve Fwa (2015) yaptıkları deneysel çalışmalarda, standart kare oluk ve trapezoidal olukların performanslarını karşılaştırdılar. Bu çalışmaya göre, kare oluklar ile karşılaştırıldığında, trapez oluklar kauçuk birikintilerinin birikmesinden daha az etkilenmiş, daha yüksek akış kapasitesi sağlanmış ve daha geniş aralıklarla kauçuk alma işlemleri gerektirmiştir. Özetle, analitik çalışma ve saha denemesi, trapezoidal şeklindeki olukların yağışlı havadaki pist operasyonları için geliştirilmiş performans ürettiğini, kauçuk birikintilerinden daha az etkilendiğini ve daha az bakım çabası gerektirdiğini gösterdi. Hem kare hem de trapez oluklar aynı makine kullanılarak aynı kaynaklar ve inşaat süresi ile kesilebildiğinden, daha iyi pist performansı elde etmek için trapezoidal olukların kullanılmasının daha avantajlı olduğu belirtilmiştir.

2.2.3.2. Gözenekli sürtünme tabakası (PFC)

Gözenekli sürtünme tabakası (PFC- Porous Friction Course), ıslak zeminlerde kızıklamayı önleme ve çekişi iyileştirme aracı olarak kullanılan, açık gradasyonlu, serbest drenajlı, bitümlü bir karışımdır (Shoenberger, 1981) ve esas olarak ya üstyapı yüzeyinde ya da üstyapı içinde drenaj tabakaları olarak hizmet etmek için kullanılır. Açık gradasyonlu asfalt karışımlarla kaplanmış kaplamaların, yağışlı havalarda kayma direncini iyileştirdiği, kızıklamayı en aza indirdiği, sıçramayı ve püskürmeyi azalttığı, yağışlı hava koşullarında gece görünürlüğünü iyileştirdiği görülmektedir (Suresha ve diğ., 2009).

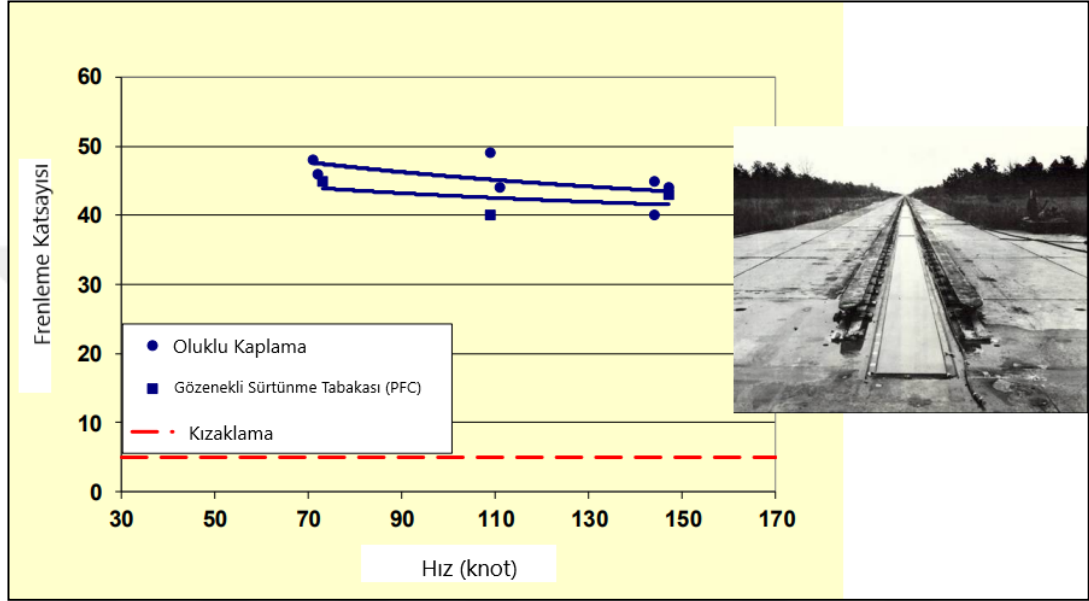
FAA Kayma Dirençli Havalimanı Kaplama Yüzeylerinin Ölçümü, İnşaatı ve Bakımı Prosedürüne göre gözenekli sürtünme tabakalarının boyutları 25 mm ile 40 mm arasında değişmektedir.



Şekil 2.22: Gözenekli sürtünme tabakası (PFC) (Klenzendorf, 2012).

PFC'nin uygulanması, enine eğim % 2'den az olduğunda ve bir yönde iki veya daha fazla şerit olduğunda dikkate alınmalıdır. Kaplama yüzeyinden suyun uzaklaştırılmasında etkili olmakla birlikte, enine eğimleri düzeltmek için bir çözüm değildir. PFC, alttaki kaplamadaki şiddetli tekerlek izini veya çöküntüleri düzeltmek için kullanılmamalıdır. Bu çöküntüler suyun birikmesine izin vererek, kaplama hasarını hızlandırabilir. Oyuklar ve çöküntüler, PFC ile kaplanmadan önce yoğun dereceli karışımla tesviye edilmelidir (Estakhri ve diğ., 2008).

FAA'dan Daiutolo'nun (2013) belirli bir su derinliğinde gerçekleştirdiği deneysel çalışmalarda oluklu ve PFC ile kaplı asfalt pistlerde frenleme katsayısının hıza göre değişimini göstermiştir. Şekil 2.23'de görüldüğü gibi oluklu pistler ile PFC kaplı pistler arasında frenleme katsayısı açısından belirgin bir farklılık yoktur. Bununla birlikte oluklu pistler 150 knotun altındaki hızlarda frenleme katsayısı açısından PFC kaplı pistlere göre biraz daha iyi frenleme katsayısına sahiptirler.



Şekil 2.23: Oluklu ve PFC ile kaplı asfalt pistlerde frenleme katsayısının hıza göre değişimi (Daiutolo, 2013).

Yüksek uçak trafiği operasyonlarına sahip PFC ile inşa edilmiş pist yüzeylerinde, yakından izlenmediği takdirde kauçuk birikimi ciddi bir sorun haline gelebilir. Kauçuk birikintiler, kaplama yüzeyini tamamen kaplamadan ve kaplamadaki boşlukları tıkamadan kaldırılmazsa, su artık kaplamanın yapısından dahili olarak akamaz. Bu durum meydana geldiğinde, kaplamanın yapısal bütünlüğüne ciddi zarar vermeden kauçuk birikintilerini çıkarmak mümkün değildir. Bu nedenle, FAA, yüksek uçak trafiği operasyonlarına (pist sonu başına günde 91'den fazla turbojet varış) sahip olan havaalanı pistlerinde PFC kaplamalarının inşa edilmemesini tavsiye etmektedir (FAA- kaplama Yüzeylerinde Kayma Direnci Ölçümü, İnşası ve Bakımı Yönetmeliği).

2.2.3.3. Drenaj

Drenaj, yağmur sonrası pist yüzeyinde oluşan su film tabakasının tahliye edilmesidir. Kızaklamanın önlenmesi ve uçakların iniş güvenliğinin sağlanması için su drenajının etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir.

SHGM Havaalanı Kaplama Yüzey Koşulları Yönetmeliğine göre pist yapısının sonradan konsolidasyonu profilin değişmesine sebebiyet verebilir ve göllenme alanlarına yol açabilir. Bu alanlar, yağmur sonrasında pistin sudan arındırılmış kısmı geride göller bırakarak kurduğunda açık bir şekilde görülebilir. Suda kızaklamanın, başlar başlamaz, çok daha küçük su derinlikleriyle ıslak pistte sürdürülebilmesi sebebiyle, göllerin ortalama kızaklama başlangıcı derinliğinin (yaklaşık olarak 3 mm) üzerinde olduğu tespit edildiğinde iyileştirici faaliyet gerekir.

Pist yüzeyinden su drenajın sağlanması büyük oranda makro doku vasıtasıyla gerçekleştirilir. Pist yüzeyi makro dokusunun karakteristik yapısı, doku derinliğine bağlı olarak bir tutma hacmi oluşturmaktadır. Bu hacim yağmur suyu hacmi için yetersiz kaldığında, pist yüzeyinde sürekli bir su filmi oluşacaktır. Aynı zamanda, dokunun pürüzlülüğü nedeniyle, yavaş deşarja ve daha büyük bir su filmi derinliğine sahip alanların oluşumuna neden olarak, drenaja karşı bir direnç oluşturulur. Makro doku, asli olarak, kullanılan agreganın büyüklüğü ya da kaplamanın yüzey işlemi ile oluşturulur ve yüksek hızlarda drenaj kapasitesi üzerinde belirleyiciliğe sahip en önemli faktördür. Malzemeler iyi makro doku temin edilecek şekilde seçilmelidir.

Suyun pistten ve özellikle tekerlek yolu alanından mümkün olan en kısa yoldan drenajı yoluyla yüzeyde bulunan su derinliğinin en aza indirilmesidir. Bu kapsamda gerçekleştirilen iki ayrı drenaj işlemi bulunmaktadır:

1. Yüzey suyunun kaplama yüzeyinin üstünden, nehirler veya diğer su kütleleri gibi nihai alıcılara ulaşana değin doğal drenajı,
2. Hareket eden bir lastiğin altında tutulmuş yüzey suyunun, lastiğin yerle temas ettiği alanın dışına ulaşana değin dinamik drenajı.

Her iki işlem de, kaplama yüzeyi üzerinde su birikmesinin önlenmesine yönelik olarak kaplamaların tasarımı, yapımı ve muhafazası yoluyla kontrol edilebilir. Dinamik drenaj, kaplama yüzeyine dahili/ gömme doku yoluyla sağlanır. Silindir

lastik su basıncı oluşturarak suyu dokunun sağladığı tahliye kanallarına doğru sıkıştırır. Lastiğin yerle temas ettiği alanın dinamik drenajı, titiz biçimde bakıma tâbi tutulmaları kaydıyla, enine oluklar ilave edilerek geliştirilebilir (SHGM- Havaalanı Kaplama Yüzey Koşulları Yönetmeliği).

Drenaj katsayısı, drenaj özellikleri ve nem doygunluğuna maruz kalma nedeniyle görelî mukavemet kaybını temsil eden kaplama tabakasına atanan bir değerdir. Suyu yavaş tahliye eden veya genellikle doygun olan katmanlar daha düşük bir drenaj katsayısına sahip olurken, suyu hızlı bir şekilde tahliye eden veya neredeyse hiç doygun hale gelmeyen katmanlar daha yüksek bir drenaj katsayısına sahip olacaktır. Çoğu üstyapı tasarımı için, drenaj katsayısının normal drenaj özelliklerini gösteren 1'e eşitlenmesi muhtemelen en basit ve en iyisidir (url-16). Çizelge 2.12'de suyun uzaklaştırılma sürelerine göre drenaj kalitesinin sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.12: Suyun uzaklaştırılma sürelerine göre drenaj kalitesinin sınıflandırılması (url-16).

Drenaj Kalitesi	Suyun Uzaklaştırılma Süresi
Çok İyi	2 saat
İyi	1 gün
Vasat	1 hafta
Kötü	1 ay
Çok Kötü	Dren yok

Havaalanının bütün bölümlerini duran sudan arındırmak, aşırı yağışlara bağlı sulardan, zemin suyundan, gölcük ve su birikintisi oluşumlarını önlemek için yüzey drenajı gerekmektedir. Drenaj kanallarının bakım kolaylığı, hizmet ömrü ve etkinliği açısından kaplamalı kanal olarak yapılmasında yarar vardır. DHMİ Genel Müdürlüğü Havalimanı Altyapı Kontrol, Bakım ve Onarım Yönergesine göre drenaj sistemi tasarlanırken aşağıdaki temel amaçlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Yüzeydeki ve yeraltındaki suyu toplama ve uzaklaştırma,
- Zemin dolgu erozyonunu önleme,
- Çevredeki alanlardan gelen suyu durdurma ve alanlardan uzaklaştırma,

- Yeraltı suyunun seviyesini düşürme.

Yüzey drenajı, kaplamalı alanın yüzeyinde ya da yakınındaki zeminde bulunan suların atılmasını içerir. Yeraltı drenajı, kaplamalı alanda ve zeminde bulunan sularla ilgilidir. Bu sular açık derzlerden, çatlaklardan, yüzeyde bulunan deliklerden ya da altyapıdaki zeminden üstyapıya girebilir. Drenajlarda gözlenmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir:

- Temiz yüzey drenajları bakım ve temizliğin her yıl en az bir defa yapılması,
- Yöresel mevsim şartlarına göre yağış sezonu öncesi ve sonrası kanalların bakım – temizliğinin mutlaka yapılması,
- Mevsim normallerinde olağan dışı yağış sonrası kanalların gözlenmesi ve gerektiğinde bakımının yapılması,
- Yüzey drenaj sistemini civar çay, nehir, göl gibi yerlere taşıyan drenaj borularının temizliğinin yapılması,
- Açık kanal ve drenaj rögarları kenarlarının bitkilerden arındırılması
- Yüzey sularının drenaj kanallarına akışını sağlamak amacıyla, kontrolsüz gelişmiş olan çevre bitki örtüsünün ıslah edilmesi.

2.2.3.4. Pist bakımı

Önleyici havaalanı pist bakımı, pist kaynaklı kazaları önlemede önemli bir faktördür ve bu nedenle hava taşımacılığında yönetilmesi gereken önemli bir konudur. Kaplamalı bir pistin bakımı, yüzey sürtünme özellikleri asgari sürtünme seviyesinde ya da bunun üzerinde olacak şekilde yapılmalıdır.

Sürtünmenin değerlendirilmesi, pist yüzeyi özelliklerinin izlenmesi ve kontrol edilmesinde kilit bir faktördür. Bu nedenle, yeterli düzeyde güvenlik ve işlevsellik sağlamak için gereken performans özelliklerini sürekli olarak izlemek için özel havaalanı yönetimi ve bakımı gereklidir (Biancardo ve diğ., 2020).

Uçaklar tarafından kullanım yoğunluğuna bağlı olarak pist yüzey şartlarında değişme meydana gelmektedir. DHMİ Hava Alanları Pist Yüzey Şartları Yönergesine göre

pist yüzeyinde değişime neden olarak sürtünmeyi etkileyen ve giderilmesi gereken hususlar aşağıda gösterilmiştir:

- Yapısal bozukluklar,
- Tekerlek izleri,
- Yakıt, yağlayıcı maddeler, hidrolik yağlar vb.
- Karla mücadele hizmetlerinde oluşan etkiler.

Ayrıca, yağışlı havalarda pist üzerindeki su ve kar birikintileri ile buzlanma durumlarında, uçak lastikleri ile pist yüzeyi arasındaki sürtünmede azalma meydana gelir.

Pist yüzeyinde kaplama türüne bağlı olarak kopma, çatlak, kırılma, ufalanma gibi deformasyonlar oluşabilir. Bu deformasyonların tespiti ve onarımı uçakların iniş güvenliği için oldukça önemlidir.

Yüksek hızla inen uçaklar, pist yüzeyinde tekerleğin temas ettiği alanlarda sürtünmenin yol açtığı yüksek ısıdan dolayı, eriyip yüzey dokusuna yapışan lastik atıkları oluştururlar. Bu atıklar pist yüzeyindeki gözenekleri tıkayarak kayma direncinin azalmasına ve dolayısıyla kızıklama riskinin artmasına neden olurlar. DHMİ Genel Müdürlüğü Hava Alanları Pist Yüzey Şartları Yönergesine göre bu atıkların temizlenmesinde üç yöntem kullanılır:

- **Kimyasal Yöntem:** Temizlenecek olan saha, sprey bölümü olan depolu bir araçtan kimyasal sıvı ile ya da hortum yoluyla elle spreylenir. Kimyasalın reaksiyon süresi lastik atığının derinliğine bağlı olarak 8 – 15 dakika arasında değişir. Bu süre içerisinde lastik boya kabarır ve yüksek basınçlı su ile silinir. Süpürücü kamyon veya diğer aletler gevşek lastiği yüzeyden emerek suyla dolu bölgeyi temizlemelidir.
- **Yüksek Basınçlı Su Yöntemi:** Yüksek basınçlı su fışkıyelerinin eğik açılarla döşeme yüzeyine tutulmasıyla lastik artığı temizliği yapılır. Temizleme belirli bir mesafeden kamyonu takip eden süpürücülerle yapılmak zorundadır. Su tedarikinin sorun olmadığı yerlerde yüksek basınçlı su yöntemi, çevre koruması yönünden de en etkili yöntemdir.

- **Sıcak Kompres Havalı Yöntem:** Bu yöntem, yanma olayının gerçekleştiği yanma odasına gönderilen bir hava/gaz karışımına dayanan bir makine ile yapılır. Çıkan egzoz, hızla doğrudan yüzeye gönderilir. Bu gazlar, yüzeydeki lastik artıklarını yumuşatıp parçalar. Söz konusu parçalar fırçalama makinesinin yardımıyla süpürülür.

Havaalanı pistlerinde yakıt, yağlayıcı ve hidrolik yağ dökülmesi ve birikmesi gibi durumlar gerçekleşebilir. Bunların zamanında temizlenmesi de uçuş güvenli açısından önemlidir.

Kar ve buzla mücadelede çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasallar kullanılırken, aşındırıcı özellikleri ve kalıntı bırakmaları sebebiyle, pist kaplamasını ve dolayısıyla kaplamanın sürtünme özelliklerini etkileyebileceği ve ayrıca drenaj yollarını kapatarak suyun drene olmasını da engelleyebileceği muhakkak göz önüne alınmalıdır.

Ayrıca pist yüzeyinde taş, yabancı madde, kum, toz veya çamur gibi maddelerin de kontrol ve temizliği günlük kontrollerle gerçekleştirilmelidir.

Pist sürtünme seviyesinin ölçülmesi

DHMI tarafından yayınlanan Hava Alanları Pist Yüzey Şartları Yönergesi'nde belirtildiği üzere, pist yüzey sürtünme seviyesinin belirlenmesinde Mu-Meter, Skiddometer, Grip Tester, Runway Friction Tester (Pist sürtünme test cihazı) veya Surface Friction Tester (Yüzey sürtünme test cihazı), ASFT, SARSYS gibi mekanik-elektronik araç/cihazlar kullanılır.

Bu cihazlar farklılık göstermekle birlikte, genel olarak sürtünme ölçüm tekerlekleri olan ve bir araç ile çekilen veya araç üzerine monteli olan ve pistin her 3'te 1'lik bölümü için frenleme değerlerini cihaza bağlı elektronik aygıtaya yazılı olarak veren yapıdadırlar.

Pist yüzeyinde frenleme ölçümü, özellikle pist ıslak, su birikintili ve pist yüzeyi kar veya buzla kaplı olduğunda yapılır. Pist frenleme ölçümü, frenleme ölçüm aracı ile pist eşiğinden ve merkez hattının sağından başlanarak gidiş dönüş yapmak sureti ile tamamlanır.

Kızaklama direnci ölçüm metodu

SHGM Kaplama Yüzey Koşulları Yönetmeliğine göre kızaklama direnci “Sürekli Sabit Frenleme Kayması Tekniği Kullanılarak Kaplamalı Yüzeylerde Kızaklama Direncine Yönelik Standart Test Metodu” ile ölçülmektedir. Aşağıda bu test metodu incelenecektir.

Kapsam

Bu standart test yöntemiyle, sabit frenleme kayması tekniği kullanılarak (temiz veya kirli) kaplamalı yüzeylerdeki kızaklama direnci ölçülür. Bu yöntem, öncelikli olarak, azami kızaklama direnci değerinde veya civarında bir ölçüm gerçekleştirmeye yönelik olmakla birlikte, diğer frenleme kayması oranları için de kullanılabilir. Bu yöntemde, herhangi bir test tekerlek lastiğinin, dinamik olarak askıda olan sabit bir yük altındayken, sürekli bir hızda ıslatılmış bir kaplama yüzeyi üzerinde sabit frenleme kaymasında dönmeye zorlanması yoluyla elde edilen bir ölçüm kullanılır. Bu yöntem, test yüzeyinin tüm uzunluğu boyunca frenleme sürtünmesinin kaydedilmesini ve herhangi bir belirli test uzunluğuna ilişkin ortalamaların elde edilmesini sağlar.

Metodun Özeti

Test ekipmanı, içinde test tekerleği bulunan veya bir araç tarafından çekilen uygun bir römorkun parçası olan bir otomotiv araçtan oluşur. Bu araç, bir dönüştürücü, alet düzeni, su kaynağı ve uygun dağıtım sistemi ile test tekerleğinin frenlenmesine yönelik harekete geçirme kontrolleri içerir. Test tekerleği, standart bir kaplama test lastiği ile donanımlıdır.

Test edilen cihaz, istenilen test hızına getirilir. Lastiğin önüne su dökülür ve test lastiğini, tasarlanan frenleme kaymasında dönmeye zorlamak için, frenleme sistemi harekete geçirilir. Rölatif frenleme kayması hızı, tekerlek eksenine bağlı olarak, lastiğin çevresel hızı ile toprağa bağlı olarak tekerlek ekseninin yatay hızı arasındaki farka eşittir. Bu rölatif frenleme kayması hızının, tekerlek ekseninin yatay hızına oranı (genellikle yüzde olarak ifade edilir), kayma oranı olarak tanımlanır. Rölatif frenleme kayması hızının, tekerlek ekseninin yatay hızına oranı, rölatif frenleme kayması RPM’sinin, aynı frenleme yapmayan tekerlek RMS’ine oranına eşittir.

Lastik ile kaplama arasında meydana gelen yaklaşık azami frenleme kuvveti, lastiğin belirli bir hızda sabit frenleme kaymasında dönmesi ile üretilen kuvvet sonucunda belirlenen frenleme kayma sayısı (BSN) olarak bildirilen frenleme kuvveti veya tork sonucunda belirlenir ve ölçülen ve hesaplanan tekerlek yüküne bölünerek 100 ile çarpılır.

Önemi ve Kullanımı

Durağan durumdaki frenleme sürtünmesi, kaplama yüzeylerinin karakterize edilmesine yönelik ilave bir bilgidir. Araştırmalar sonucunda, pek çok kaplama yüzeyi ile ilgili olarak, araç lastikleri ile kaplama yüzeyleri arasında meydana gelen azami veya pik frenleme ve viraj (yanal kuvvet) sürtünme değerlerinin büyüklük olarak benzer olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, azami frenleme sürtünmesi, farklı kaplama koşullarında aracın durdurma ve yönlendirme performansının araştırılmasında kullanışlıdır.

Ekipman ile ölçülen değerlerin, diğer kaplamalı yüzey sürtünme ölçüm yöntemleriyle elde edilen değerler ile doğrudan örtüşmesi veya uyumlu olması gerekmemektedir.

Prosedür

Cihaz, istenilen test hızına ayarlanır. Test lastiğine su verilir. Test başlatılmadan en az 1 saniye önce test tekerleğinin sabit kayma modunda olması ve test tamamlanıncaya kadar bu modda kalması sağlanır. Etkinlik işaretleyicisi ile testin başlangıcı ve bitişi belirtilir. Uygulanabilir olması halinde, test tekerleği serbest bırakılmalı ve test tamamlandıktan yaklaşık 1 saniye sonra su kapatılmalıdır.

Geçerli veriler sağlamak amacıyla, her bir test serisinin öncesinde ve sonrasında veya gerekli görüldüğünde elektrikli kalibrasyon sinyalleri kaydedilir. Kaydedilen BSN izi, FAA ya da ICAO kriterleri doğrultusunda değerlendirilir.

2.2.4. Kızaklama Olayının Etkilerini Hafifletici Tedbirler

Kızaklama olayının gerçekleşmesi pistten çıkma ve pisti aşma kazalarına sebebiyet vermektedir. Bu kazaların olumsuz sonuçlarını en aza indirmek için pist sonlarında tedbirler alınmalıdır. Bunlardan en önemlileri RESA alanları ve EMAS sistemleridir. Bir kaza durumunda pisti aşan veya pistten çıkan uçak bu bölgelere geldiğinde

uçağın hızı önemli ölçüde azaltılarak ölüm, yaralanma ve maddi hasarların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bu bölümde RESA alanları ve EMAS sistemlerinden bahsedilecektir.

2.2.4.1. Pist sonu emniyet alanı (RESA)

ICAO, piste iniş sırasında meydana gelebilecek uçak kazalarının sonuçlarını hafifletmek için bir dizi güvenlik alanı belirlemiştir. Bu güvenlik alanlarından biri de pist sonunun her bir ucundaki alan olan “Pist Sonu Güvenlik Alanı”dır (RESA-Runway End Safety Area). Pist sonu güvenlik alanları düz, çoğunlukla çim veya kumdan oluşan ve üzerinde hiçbir nesne bulunmayan alanlardır (Pavlin ve Bracic, 2011). SHGM tanımına göre RESA, uzatılan pist merkez hattına simetrik olan ve piste erken temas eden veya pist sonunda duramayan bir uçağın uğrayacağı zarar riskini azaltmak üzere öngörülen şerit sonuna bitişik olan bir alanı ifade etmektedir. Pist sonu emniyet alanları bir pist şeridinin her bir sonunda sağlanmalıdır.

Pist sonu emniyet alanı, kurtarma ve yangınla mücadele araçlarının hareketini kolaylaştırmak için bir yüzey sağlarken, uçağın yavaşlamasını da sağlamalıdır (Suckling ve Grobler, 2014). Ayrıca bir uçağın burun iniş takımının çökmesini önleyebilmelidir. Yüzey, pisti aşan bir uçağa yeterli sürtünme sağlamalı ve hasarları önlemek için yeterli taşıma gücüne sahip olmalıdır. (Crispino ve diğ, 2011). Pist sonu emniyet alanlarının boyutları, pist ucunun ötesinde kazaların meydana gelmesine ilişkin istatistiksel veriler temelinde belirlenir. ICAO kaza veri tabanı, tüm aşılma ve yetersiz kalma kazalarının yaklaşık %80'inin, normal bir pist şeridi ile çevrili, pistin 90 m ötesine uzanan ve pistin genişliğini iki katına çıkaran bir pist sonu emniyet alanı içinde yer alacağını göstermektedir. Tüm bu tür kazaların %90'ı, 150 m genişliğinde ve 300 m uzunluğunda bir pist sonu güvenlik alanı içinde yer almaktadır (Kazda ve Caves, 2015). Pist sonu emniyet alanı oluşturulduğunda, olası olumsuz işletme faktörleri nedeniyle piste erken temas etme ve pist sonunda duramama için yeterli uzunlukta bir alan sağlanmasına dikkat edilmelidir. Bir pist sonu emniyet alanı, pist şeridinin sonundan en az 90 m mesafeye uzanmalıdır. Bununla birlikte, kod numarasının 3 veya 4 olduğu durumlarda 240 metre ve kod numarasının 1 veya 2 olduğu durumlarda 120 metre uzanması tavsiye edilmektedir (Kod numaraları ve tekabül ettiği uçak referans baz uzunlukları Çizelge 2.13'de gösterilmiştir). Pist sonu emniyet alanının genişliği ise, bağlantılı pistin genişliğinin en az 2 katı kadar

olmalıdır. Pist sonu emniyet alanındaki kaplamanın, pist kaplaması ile aynı kalitede hazırlanması gerekmemektedir. Pist sonu emniyet alanının boyuna eğimleri, %5'i aşmamalıdır. Boyuna eğim değişiklikleri mümkün olduğunca kademeli olmalı, ani eğim değişiklikleri önlenmelidir (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

Çizelge 2.13: Uçak referans baz uzunluğuna göre kod numaraları (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

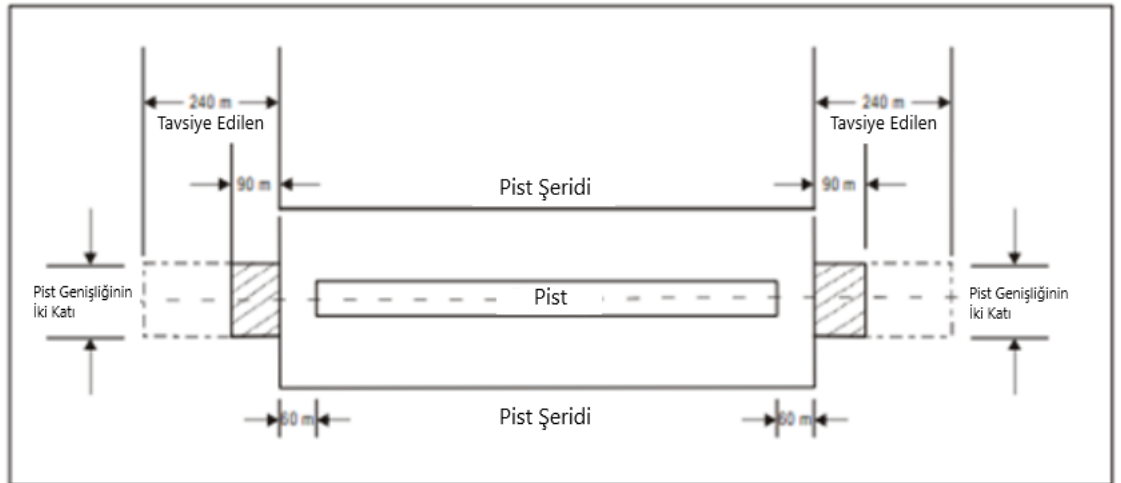
Kod Unsuru	
Kod Numarası	Uçak Referans Baz Uzunluğu
1	800 metreden az
2	800 metre ve üzeri ile 1200 metreden az
3	1200 metre ve üzeri ile 1800 metreden az
4	1800 metre ve üzeri

SHGM Havaalanı Pistleri Standartlarına göre, hava seyrüsefer veya uçak emniyeti amaçları doğrultusunda gerekli olan ekipman veya tesisatlar hariç olmak üzere, bir pist sonu emniyet alanında konumlandırılan ve uçaklar için tehlike arz edebilecek olan herhangi bir cisim, engel olarak addedilmeli ve uygulanabilir olduğu ölçüde kaldırılmalıdır. Hava seyrüsefer veya uçak emniyeti amaçları doğrultusunda gerekli olan ve pist sonu emniyet alanında konumlandırılması gereken ekipmanın veya tesisatın kırılabilir olması, uygulanabilir olduğu ölçüde düşük seviyede monte edilmesi ve de uçaklara yönelik tehlikeleri en aza indirecek şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Bir pist sonu emniyet alanında, herhangi bir uçağın pist başına erken gelmesi veya pistten çıkması durumunda, pistin hizmet vermesi öngörülen uçaklara yönelik olarak temizlenmiş ve tesviye edilmiş bir alan sağlanmalıdır. Çizelge 2.14'de ICAO Annex 14'e göre pist sonu emniyet alanı gereklilikleri görülmektedir (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

Çizelge 2.14: ICAO Annex 14'e göre pist sonu emniyet alanı gereklilikleri (SHGM Havaalanı Pistleri Standartları).

ICAO Annex 14'e göre;			
	Unsur	Gereklilik	Tavsiye
Pist Sonu Emniyet Alanı	Uzunluk	En az 90 m	1 veya 2 kod numarası için 120 m 3 veya 4 kod numarası için 240 m
	Genişlik	Pist genişliğinin en az 2 katı	
	Eğim	En fazla %5	
	Cisimler	Yabancı cisimlerden arındırılmış olmalı	

Şekil 2.24'de 3 ve 4 kod numaralı pistler için pist sonu emniyet alanları ölçüleri görülmektedir.



Şekil 2.24: Pist sonu emniyet alanı (RESA) (SHGM Havaalanı Emniyet Standartları Talimatı).

2.2.4.2. EMAS sistemi

Bazı havaalanları, yeni pist sonu emniyet alanı standardını mevcut havalimanlarına uygulamanın önündeki başlıca engeller olan binalar, su veya diğer coğrafi özelliklerle çevrilidir. Bu havaalanları, pist sonu emniyet alanı (RESA) inşa etmek için mevcut arazi gereksinimlerini karşılayamaz. Bu koşullar altında, pist taşmalarının gerçekleşmesi daha olası hale gelir. Bu bağlamda FAA, ilgili havalimanlarına iyileştirici bir önlem olarak bir uçak durdurma sistemi kurmalarını

tavsiye etmektedir. Bu sistemler mühendislik malzemesi durdurma sistemi (EMAS-Engineered Materials Arresting System) olarak ifade edilir. Bu tutucu sistemler genellikle pisti aşan bir uçağın hızını kesmek için bir pistin sonuna yerleştirilir. Aralık 2011'in sonunda, 42 ABD havaalanında kurulu toplam 63 EMAS mevcuttu ve birkaç başarılı durdurma vakası, durdurma sisteminin etkinliğini doğrulamıştır (Yang ve diğ., 2017).

Bir durdurma sisteminin tasarımında, müsaade edilen uçak teçhizat yükleri, teçhizat konfigürasyonu, lastik temas basıncı, uçak ağırlık merkezi ve uçak hızı dâhil olmak ve fakat bunlarla sınırlı kalmamak üzere, uçakla ilgili çok sayıda parametre göz önünde bulundurulmalıdır (SHGM Havaalanı Emniyet Standartları Talimatı).

Böyle bir tasarımda, herhangi bir uçağın ağırlığı altında ezilecek olan, dolayısıyla da enerjisini emecek olan tasarlanmış malzemelerin kullanımı esas alınmaktadır. EMAS pasif bir enerji sistemidir ve bu nedenle uçak yavaşlaması için harici bir enerji kaynağı kullanmaz (Heymsfield, 2019). EMAS, tipik olarak düşük basınç dayanımına sahip (30 psi'den daha az) çimentolu bir malzemedir. Düşük basınç dayanımı, uçak tekerlek yükleri altında ezilen ancak bir taşma durumunda kurtarma acil durum araçlarını sürdürmek için yeterli güce sahip bir malzeme üretir. Sonuç olarak, bir uçak bir EMAS sistemini geçerken, uçak tekerlek yüklerine tepki olarak tutucu malzeme ezilir ve yeni oluşturulan kapsayıcı malzeme, iniş takımları üzerinde sürüklenme yükleri üretir (Heymsfield ve Halsey, 2008). Bu sürüklenme kuvvetleri, uçağın iniş takımına zarar vermeden veya yolcu güvenliğini tehlikeye atmadan uçağın durma mesafesini önemli ölçüde azaltmak için tasarlanmıştır (Heymsfield ve diğ., 2012).

FAA tavsiye genelgesinde önerilen köpük beton, özel mikro yapı morfolojisi ve mekanik davranışları nedeniyle durdurma sisteminin yapımında tercih edilen malzeme olmuştur. Köpük betonun dikkate değer avantajı, düşük plato gerilimidir. Ek olarak, gerilme platformu alanı nispeten uzundur, gerilme dalgalanması düşüktür, bu da tekerleğe uygulanan darbe kuvvetini iniş takımının hasar eşiğinin altında tutar. Böylece uçak yapısının ve yolcuların güvenliği sağlanabilir. Bununla birlikte araştırmacılar köpük beton malzemenin yanı sıra yeni malzemeler de araştırılmaktadır. Genleşmiş polipropilen (EPP) ve genleşmiş poliüretan (PU) köpük gibi hücreli yapılara sahip alternatif bazı polimerlerin mekanik ve enerji absorpsiyon davranışlarını da incelemektedirler (Yang ve diğ., 2017).

2.2.5. Kızaklama sebebiyle gerçekleşen kaza örnekleri

2.2.5.1. Örnek 1

Uçak Modeli: British Aerospace BAE 146-200

Kazanın Gerçekleştiği Ülke ve Havalimanı: Şili- Port Williams Havalimanı

Tarih: 20.02.1991

British Aerospace BAE 146-200 uçağı, Şili’de Port Williams Havalimanı’nda, 20 Şubat 1991’de kazaya uğradı. Uçak, 1000 metreden fazla kayarak Beagle Kanalı’na girdi. Uçak bir kiralık turizm uçağıydı. 60 turistten 40’ı hayatta kaldı. Uçağın, pistin sonundan kayarak çıktığı tespit edildi. Kazanın raporu aşağıdaki gibidir (Thenoux ve diğ., 1996):

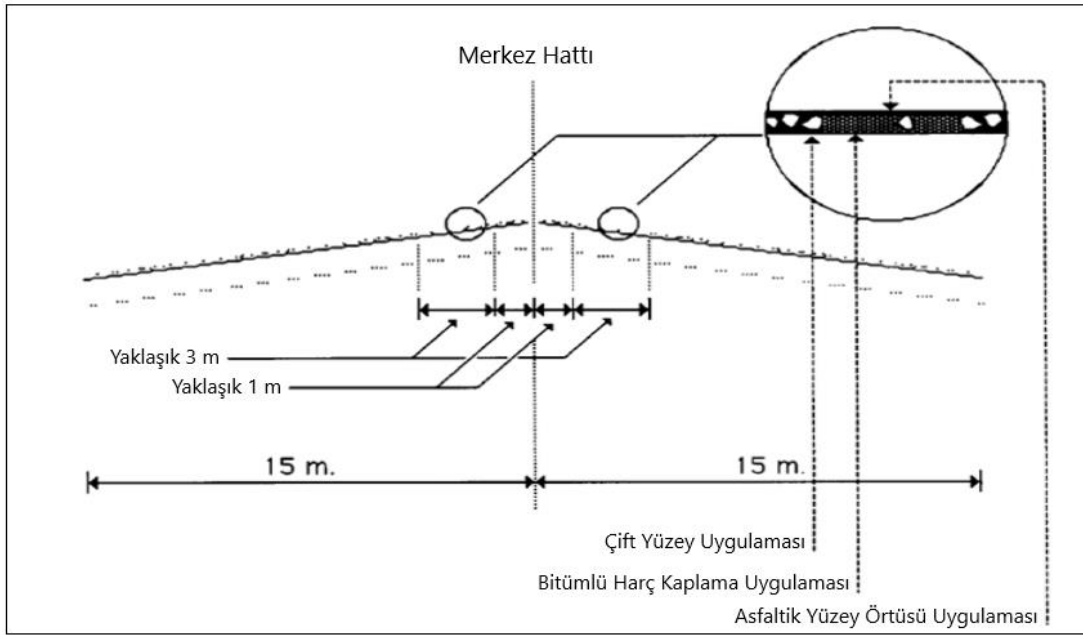
Meteorolojik veriler

İniş sırasında görüş çok iyiydi ve yağmur yağmıyordu. Uçağın inişinden önce yağın sağanak yağış pistin ıslak kalmasına neden olmuştu. Kazadan 2 saat önce ortalama sıcaklık 8,6 °C idi.

Kaza Öncesi Pist Bakımı

Kazanın gerçekleştiği pist yaklaşık 1.500 m uzunluğundadır ve iniş yönünde yüzde 1,34 eğime sahiptir. Kazadan bir ay önce pist yüzeyine bakım yapılmıştır. Bakım öncesi yüzeyin gevşek olduğu alanlar belirlendi. Bu alanlar esas olarak pistin merkez hattı boyunca iniş pistindeydi. Bakım şunlardan oluşuyordu:

1. Pist yüzeyinin 8.700 m^2 'sine bir bitümlü harç kaplama (slurry seal) uygulanmıştır. Bu bakım, öncelikle iniş pisti boyunca bozulmuş alanlara uygulanmıştır.
2. Bitümlü harç kaplama (Slurry seal) uygulamasından sonra pistin genel yüzeyine 50.160 m^2 'lik asfaltik yüzey örtüsü (fog seal) uygulaması yapılmıştır. Asfaltik yüzey örtüsü, merkez hattın her iki tarafında pistin tüm uzunluğu boyunca uzanan ve halihazırda bitümlü harç kaplama uygulanmış alanlar da dahil olmak üzere tüm alanların üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 2.25’de bu uygulama görülmektedir.



Şekil 2.25: Kaza öncesi yapılan bakım (Thenoux ve diğ., 1996).

Bitümlü harç kaplama tipik olarak pist sürüş kalitesini iyileştirmek veya kaplamalar için yüzey aşınma koruması sağlamak için kullanılır. Aynı zamanda, kaba agregalar kullanılırsa kaplamanın kayma direnci artar. Asfaltik yüzey örtüsü, asfalt emülsiyonlarının hafif uygulamalarıdır. Bir dereceye kadar yıpranmış asfalt yüzeylerdeki kılcal çatlakları ve agregalar/bağlayıcı ayrımlarını doldurur.

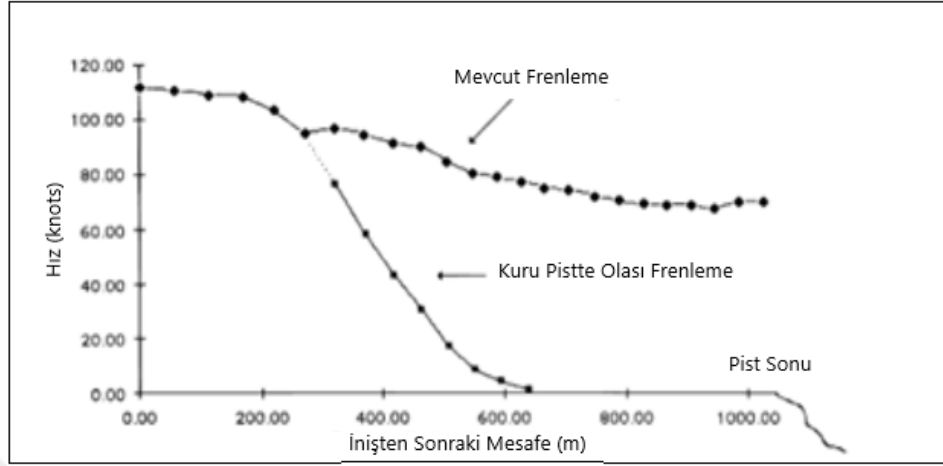
Uçak pistleri gibi kritik bölgelere yerleştirildiğinde, bitümlü harç kaplamaların bazı önemli yönlerinin dikkate alınması gerekir. Emülsiyon oranı veya asfalt dozajı çok önemlidir çünkü çok düşük asfalt içeriği, agreganın tutulmasını engeller, çok yüksek asfalt içeriği ise yüzeyde çok fazla asfalt oluşmasına neden olur.

Agreganın özellikleri; ezilmiş ve yuvarlatılmış, boyut ve gradasyonu, bitümlü harç kaplamanın yüzey dokusunu belirler.

İniş

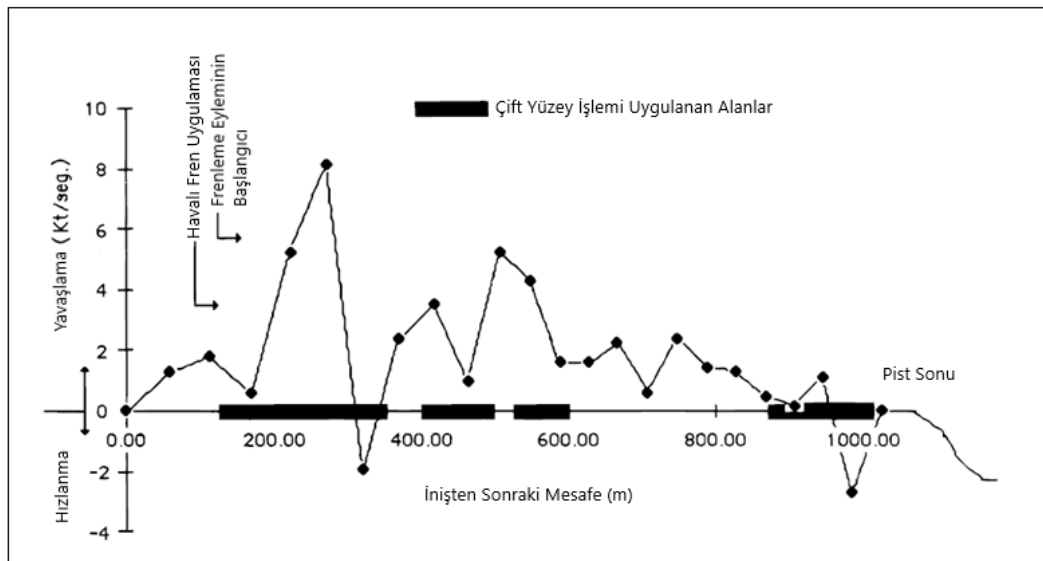
Uçağın kara kutusundan alınan bilgilere dayanarak bir analiz yapılmıştır. Uçaktaki kara kutudan alınan bilgiler, inişten 95 m sonra frenleme eyleminin ilk etkisinin başladığını gösterir. Pist boyunca uçağın hızına göre mesafenin grafiği çizilmiştir. Şekil 2.26, iniş hızının 112 knot olduğunu ve pist sonundaki hızın 70 knot olduğunu göstermektedir. Hız düşüşü, pist - lastik sürtünmesinden değil, çoğunlukla uçağın rüzgarlıklarının ve kanatlarının iniş konumundan kaynaklanıyordu. Uçağın kuru pist üzerindeki varsayımsal hızı, 0,2'lik bir pist sürtünme katsayısı kullanılarak

hesaplandı. Şekil 2.26'daki grafiğe göre, kaplama kaza anında iyi bir sürtünme yüzeyine sahip olsaydı, yüzde 1,34 eğim dikkate alındığında, uçak 700 m'de durabilirdi.



Şekil 2.26: Uçağın inişten sonraki hız değişimi (Thenoux ve diğ., 1996).

Şekil 2.27, pistte kat edilen mesafeye göre uçak hızındaki değişimi göstermektedir. Frenlemenin uçağı durdurmak için yeterli yavaşlamayı sağlayamadığı alanlar, kızıklama nedeniyle uçak lastiklerinin pist yüzeyinde kaydığı alanlara karşılık gelir. Grafiğin ve kaplama bakımı verilerinin daha yakından bir analizi, bu alanların, yeni tamamlanmış bitümlü harç kaplama üzerine bir asfaltik yüzey örtüsü yerleştirildiği alanlara çok yakın olduğunu ve nemli koşullar altında kızıklamaya yatkın bir yüzey bıraktığını gösterdi.



Şekil 2.27: Pistte kat edilen mesafeye göre uçak hızındaki değişimi (Thenoux ve diğ., 1996).

Test sonuçlarının yorumlanması

Ekim 1991'de, kaplama dokusunu değerlendirmek ve kaza nedeni ile ilgili hipotezi kanıtlamak için sahada iki kayma testi yapıldı. Gerçekleştirilen testler, İngiliz sarkaç kayma direnci testi ve kum yama yöntemi idi. İngiliz sarkaç testi, pistin mikro dokusunun koşullarını gösterirken, kum yaması testi ise makro doku koşullarını gösterir. Havaalanları için özel bir standart bulunmamakla birlikte, karayolları için bu değer 55-65 arası olmalıdır. Bu değerlere göre, pistin mikro dokusu zayıftı. Ölçülen sarkaç değerleri, pist merkez hattından 4 metre uzaklıkta 58 ila 61'di.

ICAO'ya göre makro doku 1 mm'den büyük olmalıdır. Burada ise ortalama kum yaması değeri pist merkez hattından 4 m uzaklıkta 0,82 mm olarak tespit edilmiştir. Buradaki sonuçlara göre pistin merkez hattı boyunca iniş bölgesi, ne makro ne de mikro dokuya sahip değildi.

Bir kaplama ıslak olduğunda, makro doku ve mikro doku kritik hale gelir. Islak zeminlerde kayma direncini artırmak ve dinamik kızaklamanın oluşmasını önlemek için lastik ile kaplama arasındaki suyun tahliye edilmesi gerekir. İlk etapta uygun yüzey eğimleri veya açık gradasyonlu malzeme kullanılarak suyun birikmesini önlemek uygun olabilir. Bu durum uygulanmıyorsa, lastik kaplama temas alanından yüzey suyunu tahliye etmek için lastik sırtına ve dışlarına odaklanılmalıdır.

Port Williams havalimanı örneğinde, pist yüzeyindeki makro ve mikro doku eksikliği, kazadan 1 ay önce pist kaplama yüzeyine yapılan bakımın hatalı olması nedeniyle olmuştur. Bir bitümlü harç tabakası işleminin ardından asfaltik yüzey örtüsünden oluşan bu bakım, pistin merkez hattı boyunca yüksek oranda asfalta sahip bir iniş pisti oluşturdu ve bu da ıslak pist koşullarında kayma direncini oldukça düşürdü.

2.2.5.2. Örnek 2

Uçak Modeli: British Aerospace BAE 146-200

Kazanın Gerçekleştiği Ülke ve Havalimanı: Norveç- Stord Havalimanı

Tarih: 10.10.2006

10 Ekim 2006 tarihinde Atlantik Havayollarına ait BAE 14-200 uçağı Norveç Stord Havalimanı'na inişi sırasında pistten çıktı. Uçakta büyük hasar oluştu ve uçak alev aldı. Yangın çok hızlı yayıldığı için herkesin uçağı tahliye etmesi için yeterli zaman

yoktu. Dört kişi öldü, altı kişi ağır yaralandı. Kazanın raporu aşağıdaki gibidir (Accident Investigation Board Norway, 2012):

Meteorolojik Veriler

Norveç Meteoroloji Enstitüsü tarafından, Stord'daki ölçüm istasyonunda, kazadan önceki gün saat 07:00 ile kaza günü saat 07:00 saat arasında yaklaşık 10 mm yağış ölçülmüştür. Yetkililerin kazadan sonraki gözlemleri, kaza yapan uçak piste indiğinde pistin nemli olduğunu göstermektedir.

İniş

Uçağın kara kutusundan alınan bilgiler ve mürettebatla yapılan görüşme, pilotların profesyonel bir iniş yönetimi gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Radar verilerine dayanarak, uçağın inişten hemen önce yaklaşık 112 knot hava hızına ve kuyruk rüzgarı nedeniyle yaklaşık 117 knot yer hızına sahip olduğu belirlenmiştir. Uçağın pistten ayrıldığında hangi hızda hareket ettiğini belirlemek daha zordur. FAA tarafından sağlanan bilgilerden de anlaşılacağı gibi, tersine kauçuk kızaklama, 20 knot veya daha düşük hızlara kadar gerçekleşebilir. Sonuç olarak, uçak pistten çıkarken hızın 20 knot civarında olduğu öngörülmüştür. Buna uygun olarak, hesaplamalar, uçağın pisti yokuş aşağı takip edebilmek için yaklaşık 20 knot veya daha az bir hıza sahip olması gerektiğini göstermektedir. Mürettebatın hesabıyla birleştirilen bu rakamlar, uçağın pistten ayrıldığında 15-20 knot hıza sahip olduğunu göstermektedir. Bu da uçağın iniş sırasında hızının 97-102 knot düştüğünü gösteriyor.

İniş sırasında ekonomik, zaman ve çevre ile ilgili nedenlerle en kısa yaklaşma seçilir. Söz konusu durumda mürettebat, kabul edilebilir bir arka rüzgara sahip 33 numaralı pisti seçmiştir. Hesaplamalar, kuyruk rüzgarı bileşeninin 5 knot olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte kuyruk rüzgarı, uçağın ters yönde rüzgar koşullarında iniş yapmasına kıyasla yer hızını 10 knot artırdı. Yetkililer, uçak mürettebatının seçiminin o anki ağırlık, mevcut pist uzunluğu ve pistin kuru olduğu varsayımına dayanarak anlaşılabilir olduğuna inanmaktadır.

Mevcut veriler, uçağın son yaklaşımda ve inişte doğru hava hızını koruduğunu göstermektedir. Uçak mürettebatı yetkililere, inişin standart iniş noktasının birkaç metre ötesinde gerçekleştiğini ve "yumuşak" olduğunu açıkladı. Ayrıca, beklenenden

farklı herhangi bir sapma açıklamadılar. Tanık ve yolcu ifadeleri de bu uçuş sırasında, inmeden önce olağan dışı bir şey olmadığını göstermektedir.

Kaza Anı

Uçak mürettebatı, tekerleklerin piste temas etmesinden kısa bir süre sonra rüzgarlık kolunun arka konuma ayarlandığını açıkladı. Bu, kara kutu tarafından kaydedilen seslerin analizi ile doğrulanır. Rüzgarlık kolu etkinleştirildikten yaklaşık 2,5 saniye sonra yardımcı pilot SPLR-Y ve SPLR-G ışıklarının beklendiği gibi yandığını görmediği için rüzgarlıkların açılmadığını belirtti. Yetkililer, bunun iniş işleminin beklendiği gibi ilerlemediğinin ilk göstergesi olduğunu belirtti.

Rüzgarlıkların etkinleştirilmemesi, kanatların önemli ölçüde kaldırmaya devam etmesi ve iniş takımı üzerindeki ağırlığın buna bağlı olarak düşük olması anlamına geliyordu.

Yetkililer, rüzgarlığın açılmamış olmasının tek başına uçağın neden pistten çıktığını açıklayamayacağını belirttiler. İniş işleminin başlarında, kanatlar önemli ölçüde kaldırmayı sürdürdüğü için frenleme eylemi önemli ölçüde azaldı. Ancak hız azaldıkça pist üzerindeki baskının artması ve dolayısıyla frenleme etkisinin de artması gerekirdi. Bunun, kademeli olarak normal frenleme eylemiyle sonuçlanacak olan bir etki vermesi gerekirdi. Sonuç olarak yetkililer, optimum frenleme gerçekleştirilebilmiş olsaydı, uçağın mevcut pist uzunluğu içinde durabileceğini değerlendirir. Bu, bir simülatörde gerçekleştirilen testler ve ayrıca uçağın pistten ayrılmadan önceki hızının tanık açıklamaları ve yetkililerin hız hesaplamaları ile doğrulanır.

Uçak, rüzgarlık açılmadan indiğinden, kanatlar tam kaldırma üretmeye devam etti. Bu, açılmış rüzgarlık tarafından yapılması gereken kaldırma kuvvetindeki azalmaya engel olmuştur. Hız azaldıkça kaldırma kuvveti de azaldı ancak mürettebat frenleme hareketindeki iyileşmeyi fark etmeden önce, uçağın pistin büyük bir bölümünü yüksek bir hızda geçtiğini fark ettiler. Kaptan pilot bunu, yardımcı pilotun rüzgarlıkların açılmadığını söylemesiyle aynı anda fark etti. Yaklaşık beş saniye içinde kaptan pilot üç rahatsız edici uyarıyla karşı karşıya kaldı: Önce rüzgarlıkların açılmaması, ardından frenlerin bariz başarısızlığı ve son olarak da yüksek hızda pistin sonuna yaklaşmış olmaları. En kritik sorun, tekerlek frenleri üzerinde kontrol

sağlamaktı. Birkaç sistemde bariz bir arıza yaşanmıştı ve bu nedenle acil fren sistemi uygulandı.

Acil durum frenleri uygulandığında tekerlekler kilitlendi. Bu, frenleme etkisinin azalmasına neden oldu. İncelemelere göre uçak pistin sonundan çıkmadan önce 520 m boyunca kilitli ana tekerleklerle patinaj yapmıştır. Uzun mesafelerde sert fren yapıldığında bu durum, uçağın ana tekerleklerinde de patlamalara neden olabilir. Ancak, Sørstokken'de pist nemli olduğu için kilitli tekerleklerin farklı bir etkisi oldu. Uçak lastiklerinin altındaki sürtünme, nemin anında buhara dönüşmesine neden olan ısı üretti. Lastik, bir buhar yastığı üzerinde kısmen yerden kaldırılana kadar basınç arttı. Bu olay büyük ölçüde kendi kendini düzenler, çünkü buhar basıncı lastik ve pist arasında çok az teması yol açacak ve bu da daha az buhar üretimine yol açacaktır. Buna uygun olarak, düşük buhar basıncı, lastik ve pist arasında artan sürtünme üretir, bunun üzerine daha fazla buhar üretilir ve buhar basıncı tekrar yükselir. Buharın yüksek sıcaklığı lastiklerdeki kauçuğun erimesine neden olur. Kauçuk ayrışır ve yapışkan bir kütle haline gelir, bunların bir kısmı topaklar halinde lastiğe yapışır ve bir kısmı da dışarı fırlar.

Yukarıda açıklanan olay tersine kauçuk kızaklamadır. Görevli memurun tekerleklerden gözlemlendiği olağandışı beyaz spre, yüksek basınç altında çıkan buhardı. Küçük yırtık lastik parçaları piste yayıldı ve tekerleklerin altındaki buhar basıncı, pistin etrafında yüksek basınçlı su oluşumuna neden oldu. Bu, pistte açık kahverengi lastik izlerine yol açtı. Bunlar, normal frenleme sırasında oluşan patinaj izlerinden görünüş olarak oldukça farklıydı. Açık kahverengi lastik izleri sürekli olarak birikiyordu ve bu, frenlerin hiçbir zaman serbest bırakılmadığını gösteriyordu. Şekil 2.28'de uçağın tekerleğindeki kauçuk kalıntıları görülmektedir.



Şekil 2.28: Kazadan sonra lastik üzerinde oluşan kauçuk kalıntıları (Accident Investigation Board Norway, 2012).

Pist bitiminden hemen önce, ana tekerleklerden üçü asfaltta siyah kauçuk lastik izleri bıraktı. Bunlar iki şekilde açıklanabilir. Bunlardan ilki uçağın hızının, uçak pistten çıkmadan hemen önce, tersine kauçuk kızaklamanın durması için yeterince azaltılmış olmasıdır. Diğer açıklama, burun tekerleği pistten çıktığında, kilitli tekerleklerin dönmüş olması olabilir. Lastiklerin yeni serin alanları böylece asfaltla temas etmiş ve buhar üretimi durmuştur.

Tersine kauçuk kızaklama için bir ön koşul, buhara dönüştürülebilen ince bir su veya nem filmidir. Buhar yastığının lastiğin altında kalması için lastiklerin de aşınmış olması veya diş derinliğinin az olması gerekir. Lastik dönmemeli, uçağın hızı ve ağırlığı gerekli sürtünme ısısını üretmeye yeterli olmalıdır. Pist yüzeyinin durumu da belirleyicidir. Örneğin, pistteki oluklar, buhar basıncını lastikle temas yüzeyinden uzaklaştıran kanallar oluşturabilir. Bu nedenle, oluklu pistlerde tersine kauçuk kızaklamanın olmayacağı veya önemli ölçüde azaltılacağı düşünülmektedir.

Uçak üreticileri, nemli pistler için iniş ağırlıkları yayınlayarak, tersine kauçuk kızaklama olgusunu hesaba katmamışlardır. Ancak bu kazadan çıkarılacak ders, kaymayı önleyici koruma sisteminin devre dışı bırakılmasının ciddi sonuçlara yol açabileceği ve tekerleklerin kilitlenmesi durumunda küçük miktarlardaki nemin bile fren mesafesinde önemli bir artışa yol açabileceğidir.

3. UYGULAMA

Bu tez çalışmasında ülkemizde bulunan 38 adet uluslararası havalimanının kızaklama açısından potansiyel risk değerlendirmesi ve risk etki alanı değerlendirmesi Gallaway formülü kullanılarak yapılabilir. Bu yöntem, Gallaway tarafından ABD Ulaştırma Bakanlığı için geliştirilmiştir. Su filmi kalınlığını elde etmek için ilk olarak denklem 3.5'deki yağış yoğunluğu ve yol geometrisi verileri kullanılır. Bu derinlik daha sonra kızaklama hızına (denklem 3.1) göre kontrol edilir. Gallaway formülü aşağıda verilmektedir (Chesterton, 2006):

$$V_p = 0,9143SD^{0,04}p^{0,3}(TD + 0,794)^{0,06}A \quad (3.1)$$

Burada V_p ; $km/saat$ cinsinden kızaklamanın gerçekleştiği uçak hızını ifade etmektedir.

$$SD = \left(\frac{W_D - W_W}{W_D} \right) 100 \quad (3.2)$$

SD (*spindown*); dönüş hızındaki yavaşlama (kızaklama başlangıcında %10 olmaktadır), W_D ; kuru yüzeydeki tekerleğin dönüş hızı, W_W ; ıslak pistle temasla birlikte dönüş hızındaki yavaşlamadan sonra tekerleğin dönüş hızı, p ; Kpa cinsinden lastik basıncı, TD ; mm cinsinden lastik diş derinliği, A ; aşağıdaki iki denklemde büyük olarak seçilen bir sayıdır:

$$A = \frac{12,639}{WFD^{0,06}} + 3,50 \quad (3.3)$$

$$A = \left[\frac{22,351}{WFD^{0,06}} - 4,97 \right] \times TXD^{0,14} \quad (3.4)$$

Burada WFD ; mm cinsinden su filmi kalınlığı, TXD ; mm cinsinden kaplama doku derinliğini ifade etmektedir.

$$WFD = 0,01485 \left\{ \frac{TXD^{0,11} L^{0,43} i^{0,59}}{S^{0,42}} \right\} - TXD \quad (3.5)$$

Yukarıdaki formülde L ; m cinsinden kaplamanın akış yolu uzunluğu, i ; mm/sa cinsinden yağış yoğunluğu, S ; m/m cinsinden kaplamanın çapraz eğimini ifade etmektedir.

Ancak bu çalışmada, Gallaway formülünü tamamen kullanmak için gerekli bilgilere (havaalanı kaplama derinliği, lastik iç basıncı, lastik dış derinliği, kaplamanın akış yolu uzunluğu, kaplamanın çapraz eğimi vs.) ulaşılamadığından aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Tüm havalimanlarına iniş yapacak uçakların lastik basıncı, lastik dizaynının standartlara uygun olduğu ve aralarında belirgin bir farklılık bulunmadığı,
- Pist kaplamalarının doku derinliklerinin, çapraz eğimlerinin ve akış yolu uzunluklarının ICAO standartlarına uygun olduğu ve aralarında belirgin farklılıklar bulunmadığı.

Bu kabuller doğrultusunda kızaklamanın gerçekleşmesini etkileyecek parametrenin pist üzerindeki su tabakası kalınlığı olduğu ve bu çalışmada değerlendirmenin bu doğrultuda yapılmasına karar verilmiştir.

Su filmi tabakası kalınlığı havalimanlarının bulunduğu illerin aldığı yıllık yağış miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte pistin drenajı da su birikmesini etkileyen önemli bir faktördür. Ülkemizdeki havalimanları birincil havacılık mevzuatı kapsamında ve ICAO gerekliliklerine uyumlu olacak şekilde, standart operasyonel prosedürler, ürünler, hizmetler, ekipman ve altyapıya yönelik düzenlemeleri yapmakla yükümlüdür. Bundan dolayı drenajın ICAO standartlarına uygun yapıldığı dikkate alındığından yalnızca yıllık yağış miktarı potansiyel risk değerlendirmesi için kullanılacaktır.

Havaalanlarındaki pist kaplamalarının türü sürtünme katsayısı üzerinde etkili olduğu için asfalt ve beton piste sahip havalimanları için potansiyel risk değerlendirmesi ayrı ayrı yapılacaktır. Daha sonraki aşamada ise pist başına uçuş ve pist başına yolcu sayıları değerlendirmeye alınarak kızaklama risk etki alanı değerlendirilecektir. Ülkemizde bulunan 38 tane uluslararası havalimanı ve kodları Çizelge 3.1’de görülmektedir:

Çizelge 3.1: Türkiye’deki uluslararası havalimanları ve kodları (DHMİ).

Sıra No	Havalimanı Adı	Havalimanı Kodu
1	Adana Havalimanı	ADA
2	Ankara Esenboğa Havalimanı	ESB
3	Antalya Havalimanı	AYT
4	Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı	GZP
5	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı	EDO
6	Bursa Yenişehir Havalimanı	YEI
7	Çanakkale Havalimanı	CKZ
8	Denizli Çardak Havalimanı	DNZ
9	Diyarbakır Havalimanı	DIY
10	Elazığ Havalimanı	EZS
11	Erzurum Havalimanı	ERZ
12	Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı	AOE
13	Gaziantep Havalimanı	GZT
14	Hatay Havalimanı	HTY
15	Isparta Süleyman Demirel Havalimanı	ISE
16	İstanbul Havalimanı	IST
17	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	SAW
18	İzmir Adnan Menderes Havalimanı	ADB
19	Kars Harakani Havalimanı	KSY
20	Kayseri Havalimanı	ASR
21	Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı	KCO
22	Konya Havalimanı	KYO
23	Kütahya Zafer Havalimanı	KZR
24	Malatya Havalimanı	MLX
25	Muğla Dalaman Havalimanı	DLM
26	Muğla Milas-Bodrum Havalimanı	BJV
27	Nevşehir Kapadokya Havalimanı	NAV
28	Ordu-Giresun Havalimanı	OGU
29	Rize-Artvin Havalimanı	RZV
30	Samsun Çarşamba Havalimanı	SZF
31	Sinop Havalimanı	NOP
32	Sivas Nuri Demirağ Havalimanı	VAS
33	Şanlıurfa GAP Havalimanı	GNY
34	Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı	TEQ
35	Trabzon Havalimanı	TZX
36	Uşak Havalimanı	USQ
37	Van Ferit Melen Havalimanı	VAN
38	Zonguldak Çaycuma Havalimanı	ONQ

3.1. İllere Ait Yağış Verileri ve Havalimanı Pist Sayıları

Ülkemizde bulunan 38 adet havalimanının potansiyel kızıklama risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için bu havalimanlarının bulundukları şehirlerdeki yağış miktarı verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Yıllık toplam yağış miktarı verileri 1991-2020 yılları arasındaki ortalama yağış miktarlarını *mm* cinsinden ifade etmektedir (Kaynak, url-.

Havalimanlarına ait pist sayısı ve pist kaplama türü verileri DHMİ Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır.

Adana Havalimanı risk değerlendirmesi için Adana iline ait yıllık yağış miktarı ve havalimanının pist sayıları ve pist kaplama türleri Çizelge 3.2'de görülmektedir. Adana ili yıllık toplam 680,8 mm yağış almaktadır. Adana Havalimanı'nda 1 adet asfalt pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.2: Adana Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

ADANA HAVALİMANI (ADA)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	680,8
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	71,9
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	143
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	1

Ankara ilinin yıllık toplam yağış miktarı ve Ankara Esenboğa Havalimanı'nın pist sayıları ve pist kaplama türleri Çizelge 3.3'de görülmektedir. Ankara ili yıllık toplam 413,6 mm yağış almaktadır. Ankara Esenboğa Havalimanı'nda 2 adet asfalt pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.3: Ankara Esenboğa Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>ANKARA ESENBOĞA HAVALİMANI (ESB)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	413,6
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	126,9
En Yağışlı Ay	Mayıs
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	51
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	2
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	2

Antalya iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Antalya Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.4'de görülmektedir. Antalya yıllık toplam 1059,4 mm yağış almaktadır. 1 adet asfalt-beton ve 2 adet de beton olmak üzere toplam 3 adet piste sahiptir.

Çizelge 3.4: Antalya Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>ANTALYA HAVALİMANI (AYT)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	1059,4
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	83,5
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	271,7
PİST VERİLERİ	
Asfalt-Beton Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	2
Toplam Pist Sayısı	3

Çizelge 3.5'de Antalya Gazipaşa Havalimanı pist sayısı ve Antalya iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Antalya Gazipaşa Havalimanı'nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. Antalya ili yıllık toplam 1059,4 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.5: Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

ANTALYA GAZİPAŞA-ALANYA HAVALİMANI (GZP)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	1059,4
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	83,5
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	271,7
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Balıkesir iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Balıkesir Koca Seyit Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.6'da görülmektedir. Balıkesir yıllık toplam 524,2 mm yağış almaktadır. Balıkesir Koca Seyit Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.6: Balıkesir Koca Seyit Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

BALIKESİR KOCA SEYİT HAVALİMANI (EDO)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	524,2
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	107,8
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	87,2
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Bursa yıllık toplam 719,1 mm yağış almaktadır. Bursa Yenişehir Havalimanı'nda toplam 2 adet beton pist bulunmaktadır. Bursa'ya ait veriler Çizelge 3.7'de görülmektedir.

Çizelge 3.7: Bursa Yenişehir Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

BURSA YENİŞEHİR HAVALİMANI (YEİ)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	719,1
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	119,8
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	93,9
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	2
Toplam Pist Sayısı	2

Çanakkale ilinin yıllık toplam yağış miktarı ve Çanakkale Havalimanı'nın pist sayıları ve pist kaplama türleri Çizelge 3.8'de görülmektedir. Çanakkale ili yıllık toplam 620,3 mm yağış almaktadır. Çanakkale Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.8: Çanakkale Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

ÇANAKKALE HAVALİMANI (CKZ)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	620,3
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	87,1
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	100,4
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.9'da Denizli Çardak Havalimanı pist sayısı ve Denizli iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Denizli Çardak Havalimanı'nın 1 adet asfalt pisti bulunmaktadır. Denizli ili yıllık toplam 573,8 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.9: Denizli Çardak Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>DENİZLİ ÇARDAK HAVALİMANI (DNZ)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	573,8
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	95,2
En Yağışlı Ay	Ocak
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	85,7
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	1

Diyarbakır iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Diyarbakır Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.10'da görülmektedir. Diyarbakır yıllık toplam 498,4 mm yağış almaktadır. Diyarbakır Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.10: Diyarbakır Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>DİYARBAKIR HAVALİMANI (DIY)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	498,4
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	93,9
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	75,2
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Elazığ iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Elazığ Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.11'de görülmektedir. Elazığ yıllık toplam 404 mm yağış almaktadır. Elazığ Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.11: Elazığ Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>ELAZIĞ HAVALİMANI (EZS)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	404
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	78,2
En Yağışlı Ay	Nisan
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	60,7
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.12’de Erzurum Havalimanı pist sayısı ve Erzurum iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Erzurum Havalimanı’nda 1 adet beton, 1 adet de asfalt olmak üzere 2 adet pist bulunmaktadır. Erzurum ili yıllık toplam 396 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.12: Erzurum Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>ERZURUM HAVALİMANI (ERZ)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	396
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	133,3
En Yağışlı Ay	Mayıs
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	72,4
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	2

Çizelge 3.13’de Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı pist sayısı ve Eskişehir iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı’nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. Eskişehir ili yıllık toplam 340 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.13: Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

ESKİŞEHİR HASAN POLATKAN HAVALİMANI (AOE)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	340
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	NaN
En Yağışlı Ay	Haziran
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	40,5
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.14’de Gaziantep Havalimanı pist sayısı ve Gaziantep iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Gaziantep Havalimanı’nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. Gaziantep ili yıllık toplam 601,6 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.14: Gaziantep Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

GAZİANTEP HAVALİMANI (GZT)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	601,6
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	90,6
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	104,5
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.15’de Hatay Havalimanı pist sayısı ve Hatay iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Hatay Havalimanı’nın 2 adet beton pisti bulunmaktadır. Hatay ili yıllık toplam 1124,2 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.15: Hatay Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>HATAY HAVALİMANI (HTY)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	1124,2
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	87,1
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	188,7
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	2
Toplam Pist Sayısı	2

Isparta iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Isparta Süleyman Demirel Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.16'da görülmektedir. Isparta yıllık toplam 526,3 mm yağış almaktadır. Isparta Süleyman Demirel Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.16: Isparta Süleyman Demirel Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>ISPARTA SÜLEYMAN DEMİREL HAVALİMANI (ISE)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	526,3
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	105,1
En Yağışlı Ay	Ocak
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	70,3
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

İstanbul iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve İstanbul Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.17'de görülmektedir. İstanbul yıllık toplam 690,5 mm yağış almaktadır. İstanbul Havalimanı'nda toplam 5 adet adet asfalt pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.17: İstanbul Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>İSTANBUL HAVALİMANI (İST)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	690,5
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	125,1
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	103,7
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	5
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	5

Çizelge 3.18’de İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı pist sayısı ve İstanbul iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı’nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. İstanbul ili yıllık toplam 690,5 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.18: İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>İSTANBUL SABIHA GÖKÇEN HAVALİMANI (SAW)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	690,5
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	125,1
En Yağışlı Ay	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	103,7
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.19’da İzmir Adnan Menderes Havalimanı pist sayısı ve İzmir iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. İzmir Adnan Menderes Havalimanı’nın 1 adet beton, 1 adet de asfalt-beton olmak üzere toplam 2 adet pisti bulunmaktadır. İzmir ili yıllık toplam 730,5 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.19: İzmir Adnan Menderes Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>İZMİR ADNAN MENDERES HAVALİMANI (ADB)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	730,5
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	87,2
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	131,3
PİST VERİLERİ	
Asfalt-Beton Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	2

Kars iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Kars Harakani Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.20'de görülmektedir. Kars ili yıllık toplam 530 mm yağış almaktadır. Kars Havalimanı'nda 2 adet asfalt pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.20: Kars Harakani Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>KARS HAKAKANİ HAVALİMANI (KSY)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	530
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	114,8
En Yağışlı Ay (Miktar)	Mayıs
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	83,6
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	2
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	2

Kayseri iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Kayseri Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.21'de görülmektedir. Kayseri ili yıllık toplam 408,2 mm yağış almaktadır. Kayseri Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.21: Kayseri Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>KAYSERİ HAVALİMANI (ASR)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	408,2
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	106,5
En Yağışlı Ay (Miktar)	Mayıs
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	57,9
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Kocaeli iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.22'de görülmektedir. Kocaeli ili yıllık toplam 850,2 mm yağış almaktadır. Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.22: Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>KOCAELİ CENGİZ TOPEL HAVALİMANI (KCO)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	850,2
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	152
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	110,1
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Konya iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Konya Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.23'de görülmektedir. Konya ili yıllık toplam 325,3 mm yağış almaktadır. Konya Havalimanı'nda 1 adet beton ve 1 adet de asfalt-beton olmak üzere 2 adet pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.23: Konya Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

KONYA HAVALİMANI (KYO)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	325,3
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	95,2
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	45,2
PİST VERİLERİ	
Asfalt-Beton Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	2

Kütahya iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Kütahya Zafer Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.24'de görülmektedir. Kütahya ili yıllık toplam 550,6 mm yağış almaktadır. Kütahya Zafer Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.24: Kütahya Zafer Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

KÜTAYHA ZAFER HAVALİMANI (KZR)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	550,6
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	113,1
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	67,2
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.25'de Malatya Havalimanı pist sayısı ve Malatya iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Malatya Havalimanı'nın 2 adet asfalt pisti bulunmaktadır. Malatya ili yıllık toplam 365,8 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.25: Malatya Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>MALATYA HAVALİMANI (MLX)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	365,8
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	76
En Yağışlı Ay (Miktar)	Nisan
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	49,5
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	2
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	2

Çizelge 3.26’da Muğla Dalaman Havalimanı pist sayısı ve Muğla iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Muğla Dalaman Havalimanı’nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. Muğla ili yıllık toplam 1165,2 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.26: Muğla Dalaman Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>MUĞLA DALAMAN HAVALİMANI (DLM)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	1165,2
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	99,3
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	229,6
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.27’de Muğla Milas-Bodrum Havalimanı pist sayısı ve Muğla iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Muğla Milas-Bodrum Havalimanı’nın 2 adet beton pisti bulunmaktadır. Muğla ili yıllık toplam 1165,2 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.27: Muğla Milas-Bodrum Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

MUĞLA MİLAS-BODRUM HAVALİMANI (BJV)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	1165,2
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	99,3
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	229,6
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	2
Toplam Pist Sayısı	2

Çizelge 3.28’de Nevşehir Kapadokya Havalimanı pist sayısı ve Nevşehir iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Nevşehir Kapadokya Havalimanı’nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. Nevşehir ili yıllık toplam 418 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.28: Nevşehir Kapadokya Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

NEVŞEHİR KAPADOKYA HAVALİMANI (NAV)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	418
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	92
En Yağışlı Ay (Miktar)	Mayıs
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	57,4
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.29’da Ordu-Giresun Havalimanı pist sayısı ve Giresun iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Ordu-Giresun Havalimanı’nın 1 adet asfalt pisti bulunmaktadır. Giresun ili yıllık toplam 1308,4 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.29: Ordu-Giresun Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

ORDU-GİRESUN HAVALİMANI (OGU)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	1308,4
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	164,3
En Yağışlı Ay (Miktar)	Ekim
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	175,8
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.30’da Rize-Artvin Havalimanı pist sayısı ve Rize iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Rize-Artvin Havalimanı’nın 1 adet asfalt pisti bulunmaktadır. Rize-Artvin Havalimanı’nın yapım aşaması tamamlanmış olup ve Mayıs 2022’de hizmete girmiş bulunmaktadır. Rize ili yıllık toplam 2309,5 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.30: Rize-Artvin Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

RİZE-ARTVİN HAVALİMANI (RZV)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	2309,5
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	183,5
En Yağışlı Ay (Miktar)	Ekim
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	307,3
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.31’de Samsun Çarşamba Havalimanı pist sayısı ve Samsun iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Samsun Çarşamba Havalimanı’nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. Samsun ili yıllık toplam 729,7 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.31: Samsun Çarşamba Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>SAMSUN ÇARŞAMBA HAVALİMANI (SZF)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	729,7
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	156,8
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	82,5
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.32’de Sinop Havalimanı pist sayısı ve Sinop iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Sinop Havalimanı’nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. Sinop ili yıllık toplam 727,8 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.32: Sinop Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>SİNOP HAVALİMANI (NOP)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	727,8
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	135,8
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	104,4
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Sivas iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Sivas Nuri Demirağ Havalimanı’nın pist sayıları Çizelge 3.33’de görülmektedir. Sivas ili yıllık toplam 455,4 mm yağış almaktadır. Sivas Nuri Demirağ Havalimanı’nda 1 adet asfalt pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.33: Sivas Nuri Demirağ Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>SİVAS NURİ DEMİRAĞ HAVALİMANI (VAS)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	455,4
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	108,6
En Yağışlı Ay (Miktar)	Mayıs
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	64,6
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	1

Şanlıurfa iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Şanlıurfa GAP Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.34'de görülmektedir. Şanlıurfa ili yıllık toplam 450,5 mm yağış almaktadır. Şanlıurfa GAP Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.34: Şanlıurfa GAP Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

<i>ŞANLIURFA GAP HAVALİMANI (GNY)</i>	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	450,5
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	77,3
En Yağışlı Ay (Miktar)	Ocak
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	81
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Tekirdağ iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.35'de görülmektedir. Tekirdağ ili yıllık toplam 601,1 mm yağış almaktadır. Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.35: Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

TEKİRDAĞ ÇORLU ATATÜRK HAVALİMANI (TEQ)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	601,1
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	109
En Yağışlı Ay (Miktar)	Ekim
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	81,6
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Trabzon iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Trabzon Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.36'da görülmektedir. Trabzon ili yıllık toplam 902,1 mm yağış almaktadır. Trabzon Havalimanı'nda 1 adet asfalt pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.36: Trabzon Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

TRABZON HAVALİMANI (TZX)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	902,1
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	121,3
En Yağışlı Ay (Miktar)	Ekim
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	134,1
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	1

Uşak iline ait yıllık toplam yağış miktarı ve Uşak Havalimanı'nın pist sayıları Çizelge 3.37'de görülmektedir. Uşak ili yıllık toplam 564,5 mm yağış almaktadır. Uşak Havalimanı'nda 1 adet beton pist bulunmaktadır.

Çizelge 3.37: Uşak Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

UŞAK HAVALİMANI (USQ)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	564,5
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	83,2
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	77,3
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.38’de Van Ferit Melen Havalimanı pist sayısı ve Van iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Van Ferit Melen Havalimanı’nın 1 adet asfalt pisti bulunmaktadır. Van ili yıllık toplam 410,2 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.38: Van Ferit Melen Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

VAN FERİT MELEN HAVALİMANI (VAN)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	410,2
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	90,5
En Yağışlı Ay (Miktar)	Nisan
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	57,2
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	1
Beton Pist Sayısı	0
Toplam Pist Sayısı	1

Çizelge 3.39’da Zonguldak Havalimanı pist sayısı ve Zonguldak iline ait yıllık toplam yağış miktarı görülmektedir. Zonguldak Havalimanı’nın 1 adet beton pisti bulunmaktadır. Zonguldak ili yıllık toplam 1238,6 mm yağış almaktadır.

Çizelge 3.39: Zonguldak Çaycuma Havalimanı yağış ve pist verileri (MGM ve DHMİ).

ZONGULDAK ÇAYCUMA HAVALİMANI (ONQ)	
YAĞIŞ VERİLERİ	
Yıllık Toplam Yağış Miktarı (mm)	1238,6
Yıllık Yağışlı Gün Sayısı	152,2
En Yağışlı Ay (Miktar)	Aralık
En Yağışlı Aydaki Yağış Miktarı (mm)	161,8
PİST VERİLERİ	
Asfalt Pist Sayısı	0
Beton Pist Sayısı	1
Toplam Pist Sayısı	1

3.2. Havalimanlarının Potansiyel Kızaklama Riskleri

Havalimanlarına ait potansiyel kızaklama riski belirlenirken kullanılacak veri yıllık yağış miktarı verisidir. Asfalt ve beton kaplamaların sürtünme katsayıları farklı olduğu için potansiyel risk değerlendirmesi asfalt kaplamaya sahip havalimanları ve beton kaplamaya sahip havalimanları için ayrı ayrı yapılacaktır. Birden fazla türde pist kaplamasına sahip havalimanları her iki kategoride de değerlendirmeye alınacaktır.

3.2.1. Asfalt piste sahip havalimanlarının potansiyel kızaklama riskleri

Çizelge 3.40 ‘da ülkemizdeki uluslararası havalimanlarından asfalt piste sahip olanların potansiyel kızaklama risk sıralaması görülmektedir.

Çizelge 3.40: Asfalt piste sahip havalimanlarının potansiyel kızıklama riski değerlendirmesi (DHMI ve MGM).

Havalimanı Adı	Asfalt Pist Sayısı	Asfalt/Beton Pist Sayısı	Yıllık Yağış Miktarı
Adana Havalimanı	1	0	680,8
Ankara Esenboğa Havalimanı	2	0	413,6
Antalya Havalimanı	0	1	1059,4
Denizli Çardak Havalimanı	1	0	573,8
Erzurum Havalimanı	1	0	396,0
İstanbul Havalimanı	5	0	690,5
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	0	1	730,5
Kars Harakani Havalimanı	2	0	530,0
Konya Havalimanı	0	1	325,3
Malatya Havalimanı	2	0	365,8
Rize - Artvin Havalimanı	1	0	2309,5
Ordu-Giresun Havalimanı	1	0	1308,4
Sivas Nuri Demirağ Havalimanı	1	0	455,4
Trabzon Havalimanı	1	0	902,1
Van Ferit Melen Havalimanı	1	0	410,2

Çizelge 3.40’da görüldüğü üzere Rize –Artvin Havalimanı’nın potansiyel kızıklama riski diğer havalimanlarına göre oldukça yüksektir. Bunun sebebi Rize ilinin diğer illere göre çok daha fazla yağış almasıdır. Rize-Artvin Havalimanı’na potansiyel kızıklama riski bakımından en yakın olan Ordu-Giresun Havalimanı’nıdır. Antalya Havalimanı ve Trabzon Havalimanı’nda da potansiyel kızıklama riski diğer havalimanlarına göre yüksektir.

Konya Havalimanı, Malatya Havalimanı ve Erzurum Havalimanı’nın potansiyel kızıklama riskleri yıllık yağış miktarları nispeten düşük olduğu için diğer havalimanlarına göre daha düşüktür.

3.2.2. Beton piste sahip havalimanlarının potansiyel kızıklama riskleri

Çizelge 3.41’de ülkemizdeki uluslararası havalimanlarından beton piste sahip olanların potansiyel kızıklama risk sıralaması görülmektedir.

Çizelge 3.41: Beton piste sahip havalimanlarının potansiyel kızıklama riski değerlendirmesi (DHMI ve MGM).

Havalimanı Adı	Beton Pist Sayısı	Yıllık Yağış Miktarı
Antalya Havalimanı	2	1059,4
Antalya Gazipaşa - Alanya Havalimanı	1	1059,4
Balıkesir Koca Seyit Havalimanı	1	524,2
Bursa Yenişehir Havalimanı	2	719,1
Çanakkale Havalimanı	1	620,3
Diyarbakır Havalimanı	1	498,4
Elazığ Havalimanı	1	404
Erzurum Havalimanı	1	396
Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı	1	340
Gaziantep Havalimanı	1	601,6
Hatay Havalimanı	2	1124,2
Isparta Süleyman Demirel Havalimanı	1	526,3
İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	1	690,5
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	1	730,5
Kayseri Havalimanı	1	408,2
Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı	1	850,2
Konya Havalimanı	1	325,3
Kütahya Zafer Havalimanı	1	550,6
Muğla Dalaman Havalimanı	1	1165,2
Muğla Milas - Bodrum Havalimanı	2	1165,2
Nevşehir Kapadokya Havalimanı	1	418
Samsun Çarşamba Havalimanı	1	729,7
Sinop Havalimanı	1	727,8
Şanlıurfa GAP Havalimanı	1	450,5
Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı	1	601,1
Uşak Havalimanı	1	564,5
Zonguldak Çaycuma Havalimanı	1	1238,6

Çizelge 3.41’de görüldüğü üzere Antalya Havalimanı, Antalya Gazipaşa Havalimanı, Hatay Havalimanı, Muğla Dalaman Havalimanı, Muğla Milas-Bodrum Havalimanı ve Zonguldak Çaycuma Havalimanı’nın potansiyel kızıklama riski diğer havalimanlarına göre daha yüksektir.

Konya Havalimanı, Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı ve Erzurum Havalimanı’nın potansiyel kızıklama riskleri yıllık yağış miktarları nispeten düşük olduğu için diğer havalimanlarına göre daha düşüktür.

3.3. Risk Etki Alanlarının Değerlendirilmesi

Sadece potansiyel kızaklama riskini değerlendirmek kızaklamanın etkisini araştırmak için yeterli bilgi vermemektedir. Bundan dolayı DHMİ verilerine göre bu havalimanlarında gerçekleşen uçuş sayıları ve bu havalimanlarını kullanan yolcu sayıları verileri kullanılarak kızaklama riski etki alanı hesaplaması yapılacaktır.

3.3.1. Uçuş sayısına göre kızaklama riski etki alanı değerlendirmesi

Uçuş sayısına göre kızaklama riski etki alanını belirlenirken her bir havalimanında gerçekleşen uçuş sayısı verileri göz önüne alınacaktır.

DHMİ verilerine göre 2021 yılında bu havalimanlarında gerçekleşen uçuş sayıları Çizelge 3.42'de görülmektedir. Rize-Artvin Havalimanı 2022 yılı Mayıs ayında hizmete girdiği için risk etki alanı değerlendirmesi yapılmamıştır.

Çizelge 3.42: 2021 yılında Türkiye’deki uluslararası havalimanlarında gerçekleşen toplam uçuş sayıları (DHMİ).

Sıra No	Havalimanı Adı	Toplam Uçuş Sayısı
1	Adana Havalimanı (ADA)	36.958
2	Ankara Esenboğa Havalimanı (ESB)	66.867
3	Antalya Havalimanı (AYT)	140.581
4	Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı (GZP)	5.506
5	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı (EDO)	20.680
6	Bursa Yenişehir Havalimanı (YEI)	15.504
7	Çanakkale Havalimanı (CKZ)	5.717
8	Denizli Çardak Havalimanı (DNZ)	4.622
9	Diyarbakır Havalimanı (DIY)	9.069
10	Elazığ Havalimanı (EZS)	5.276
11	Erzurum Havalimanı (ERZ)	6.588
12	Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı (AOE)	5.094
13	Gaziantep Havalimanı (GZT)	16.452
14	Hatay Havalimanı (HTY)	7.649
15	Isparta Süleyman Demirel Havalimanı (ISE)	27.682
16	İstanbul Havalimanı (IST)	280.109
17	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı (SAW)	181.467
18	İzmir Adnan Menderes Havalimanı (ADB)	58.291
19	Kars Harakani Havalimanı KSY)	3.365
20	Kayseri Havalimanı (ASR)	13.729
21	Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı (KCO)	3.073
22	Konya Havalimanı (KYO)	6.444
23	Kütahya Zafer Havalimanı (KZR)	688
24	Malatya Havalimanı (MLX)	5.477
25	Muğla Dalaman Havalimanı (DLM)	31.705
26	Muğla Milas-Bodrum Havalimanı BJV)	29.744
27	Nevşehir Kapadokya Havalimanı (NAV)	18.012
28	Ordu-Giresun Havalimanı (OGU)	5.807
29	Samsun Çarşamba Havalimanı (SZF)	13.013
30	Sinop Havalimanı (NOP)	2.048
31	Sivas Nuri Demirağ Havalimanı (VAS)	4.150
32	Şanlıurfa GAP Havalimanı (GNY)	5.752
33	Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı (TEQ)	24.766
34	Trabzon Havalimanı (TZX)	20.942
35	Uşak Havalimanı (USQ)	5.408
36	Van Ferit Melen Havalimanı (VAN)	15.549
37	Zonguldak Çaycuma Havalimanı (ONQ)	765

Çizelge 3.42'den görüldüğü üzere uçuş sayısına göre kızaklama riski etki alanı en yüksek olan havalimanı İstanbul Havalimanı olmuştur. 2021 yılında bu havalimanında toplam 280.109 uçuş gerçekleşmiştir. İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya Havalimanı'nda da çok sayıda uçuş gerçekleştiği için kızaklama riski etki alanı oldukça yüksektir. Muğla Dalaman Havalimanı ve Muğla Milas-Bodrum Havalimanı da uçuş yoğunluğu yüksek havalimanlarından ve yağış miktarı da yüksek olduğundan dolayı risk etki alanları yüksektir.

Uçuş yoğunluğu oldukça az olduğundan dolayı Zonguldak Çaycuma Havalimanı'nın yıllık yağış miktarı fazla olmasına rağmen uçuş sayısına göre kızaklama risk etki alanı düşüktür.

Bunların dışında uçuş yoğunluğu oldukça az olan Kütahya Zafer Havalimanı ve Sinop Havalimanı'nın da risk etki alanları düşüktür.

3.3.2. Yolcu sayısına göre kızaklama riski etki alanı değerlendirmesi

Yolcu sayısına göre kızaklama riski etki alanını belirlenirken her bir havalimanını kullanan yolcu sayısı verileri göz önüne alınacaktır.

DHMI verilerine göre 2021 yılında bu havalimanlarını kullanan yolcu sayıları Çizelge 3.43'de görülmektedir.

Çizelge 3.43: 2021 yılında Türkiye’deki uluslararası havalimanlarını kullanan toplam yolcu sayıları (DHMİ).

Sıra No	Havalimanı Adı	Toplam Yolcu Sayısı
1	Adana Havalimanı (ADA)	3.371.998
2	Ankara Esenboğa Havalimanı (ESB)	7.026.175
3	Antalya Havalimanı (AYT)	22.007.108
4	Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı (GZP)	620.387
5	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı (EDO)	266.389
6	Bursa Yenişehir Havalimanı (YEI)	77.515
7	Çanakkale Havalimanı (CKZ)	79.370
8	Denizli Çardak Havalimanı (DNZ)	308.209
9	Diyarbakır Havalimanı (DIY)	1.360.174
10	Elazığ Havalimanı (EZS)	515.328
11	Erzurum Havalimanı (ERZ)	781.030
12	Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı (AOE)	98.987
13	Gaziantep Havalimanı (GZT)	1.872.236
14	Hatay Havalimanı (HTY)	896.572
15	Isparta Süleyman Demirel Havalimanı (ISE)	44.865
16	İstanbul Havalimanı (IST)	37.176.509
17	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı (SAW)	24.968.761
18	İzmir Adnan Menderes Havalimanı (ADB)	7.669.552
19	Kars Harakani Havalimanı KSY)	453.369
20	Kayseri Havalimanı (ASR)	1.681.218
21	Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı (KCO)	9.252
22	Konya Havalimanı (KYO)	657.370
23	Kütahya Zafer Havalimanı (KZR)	22.936
24	Malatya Havalimanı (MLX)	651.388
25	Muğla Dalaman Havalimanı (DLM)	2.449.858
26	Muğla Milas-Bodrum Havalimanı BJV)	2.935.236
27	Nevşehir Kapadokya Havalimanı (NAV)	264.306
28	Ordu-Giresun Havalimanı (OGU)	739.349
29	Samsun Çarşamba Havalimanı (SZF)	1.142.051
30	Sinop Havalimanı (NOP)	72.544
31	Sivas Nuri Demirağ Havalimanı (VAS)	407.170
32	Şanlıurfa GAP Havalimanı (GNY)	556.701
33	Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı (TEQ)	8.399
34	Trabzon Havalimanı (TZX)	2.614.385
35	Uşak Havalimanı (USQ)	52
36	Van Ferit Melen Havalimanı (VAN)	1.282.384
37	Zonguldak Çaycuma Havalimanı (ONQ)	57.932

Çizelge 3.43'den görüldüğü üzere yolcu sayısına göre kızaklama riski etki alanı en yüksek olan havalimanı uçuş sayısında olduğu gibi İstanbul Havalimanı olmuştur. 2021 yılında bu havalimanını 37 milyonun üzerinde yolcu kullanmıştır. İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya Havalimanı'nı da çok sayıda yolcu kullandığından dolayı yolcu sayısına göre kızaklama riski etki alanı oldukça yüksektir. Muğla Dalaman Havalimanı ve Muğla Milas-Bodrum Havalimanı da yolcu yoğunluğu yüksek havalimanlarındandır ve yağış miktarı da yüksek olduğundan dolayı risk etki alanları yüksektir.

Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı, Uşak Havalimanı ve Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı'nı kullanan yolcu sayıları az olduğundan dolayı bu havalimanlarının yolcu sayısına göre kızaklama riski etki alanı diğer havalimanlarına göre daha düşüktür.

Çizelge 3.44'den görüldüğü üzere genellikle illerin en yağışlı olduğu dolayısıyla da kızaklama açısından en riskli olduğu ay genellikle Aralık ayıdır. 38 havalimanının 21 tanesinin bulunduğu ildeki en yağışlı ay Aralık ayıdır. Bundan dolayı özellikle Aralık ayında kızaklama olayına karşı daha dikkatli olunarak ve ilave tedbirler alınarak kızaklama riski azaltılabilir.

Çizelge 3.44: Türkiye’deki uluslararası havalimanlarının kızıklama açısından en riskli olduğu aylar (en yağışlı aylar) (MGM).

Sıra No	Havalimanı Adı	Kızıklama Açısından En Riskli Ay (En Yağışlı Ay)
1	Adana Havalimanı (ADA)	Aralık
2	Ankara Esenboğa Havalimanı (ESB)	Mayıs
3	Antalya Havalimanı (AYT)	Aralık
4	Antalya Gazipaşa-Alanya Havalimanı (GZP)	Aralık
5	Balıkesir Koca Seyit Havalimanı (EDO)	Aralık
6	Bursa Yenişehir Havalimanı (YEI)	Aralık
7	Çanakkale Havalimanı (CKZ)	Aralık
8	Denizli Çardak Havalimanı (DNZ)	Ocak
9	Diyarbakır Havalimanı (DIY)	Aralık
10	Elazığ Havalimanı (EYS)	Nisan
11	Erzurum Havalimanı (ERZ)	Mayıs
12	Eskişehir Hasan Polatkan Havalimanı (AOE)	Haziran
13	Gaziantep Havalimanı (GZT)	Aralık
14	Hatay Havalimanı (HTY)	Aralık
15	Isparta Süleyman Demirel Havalimanı (ISE)	Ocak
16	İstanbul Havalimanı (IST)	Aralık
17	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı (SAW)	Aralık
18	İzmir Adnan Menderes Havalimanı (ADB)	Aralık
19	Kars Harakani Havalimanı (KSY)	Mayıs
20	Kayseri Havalimanı (ASR)	Mayıs
21	Kocaeli Cengiz Topel Havalimanı (KCO)	Aralık
22	Konya Havalimanı (KYO)	Aralık
23	Kütahya Zafer Havalimanı (KZR)	Aralık
24	Malatya Havalimanı (MLX)	Nisan
25	Muğla Dalaman Havalimanı (DLM)	Aralık
26	Muğla Milas-Bodrum Havalimanı (BJV)	Aralık
27	Nevşehir Kapadokya Havalimanı (NAV)	Mayıs
28	Ordu-Giresun Havalimanı (OGU)	Ekim
29	Rize-Artvin Havalimanı (RZV)	Ekim
30	Samsun Çarşamba Havalimanı (SZF)	Aralık
31	Sinop Havalimanı (NOP)	Aralık
32	Sivas Nuri Demirağ Havalimanı (VAS)	Mayıs
33	Şanlıurfa GAP Havalimanı (GNY)	Ocak
34	Tekirdağ Çorlu Atatürk Havalimanı (TEQ)	Ekim
35	Trabzon Havalimanı (TZX)	Ekim
36	Uşak Havalimanı (USQ)	Aralık
37	Van Ferit Melen Havalimanı (VAN)	Nisan
38	Zonguldak Çaycuma Havalimanı (ONQ)	Aralık



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz teknolojisinde uçaklar oldukça güvenli ulaşım araçlarıdır. Bununla birlikte insan yapımı her araçta olduğu gibi uçaklarda da kaza olma riski her zaman vardır. Bu çalışmada özellikle iniş sırasında uçakların kaza yapmasına sebep olabilecek bir durum olan kızaklama olayı ayrıntılarıyla ele alındı. Kızaklama yoğun yağış sonucunda pistte su birikmesi ile meydana gelebilen bir durumdur. Bundan dolayı özellikle yoğun yağışın olduğu bölgelerde göz önüne alınması ve risk değerlendirmesi yapılması gereken önemli bir kaza sebebidir. Bu çalışmada kızaklamanın türleri, kızaklamaya sebep olan etkenler, kızaklama riskine karşı alınacak tedbirler ve kızaklama gerçekleşmesi sonucu meydana gelebilecek kazaların yıkıcı sonuçlarını hafifletmek için yapılması gerekenler ayrıntılarıyla ele alınmıştır. Ayrıca kızaklama sebebiyle gerçekleşen iki adet kaza örneğine yer verilmiştir.

Uygulama kısmında ise ülkemizdeki uluslararası havalimanlarının kızaklama açısından potansiyel risk değerlendirmesi yapılmıştır. Potansiyel kızaklama riskinin belirlenmesinde yıllık yağış miktarı verileri kullanılmıştır. Zira pistte biriken suyun derinliği kızaklamaya sebep olan en önemli etkidir. Bununla birlikte asfalt ve beton kaplamaların sürtünme katsayıları farklı olduğunda dolayı potansiyel risk değerlendirmesi asfalt ve beton pistte sahip havalimanları için ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan potansiyel risk değerlendirmesine göre ülkemizde en fazla yağış alan il olan Rize'deki Rize-Artvin Havalimanı potansiyel kızaklama riski en yüksek havalimanıdır. Bundan dolayı drenajın etkin olarak yapılması bu havalimanı için oldukça önemlidir. Ayrıca olası bir pistten çıkma durumunda RESA alanı inşa edilmesi hayati önem taşımaktadır. Fakat Rize-Artvin Havalimanı'nın denize dolgu yapılarak inşaa edildiği düşünüldüğünde RESA için yeterli alan olmayabilir. Bu durumda EMAS sistemi inşası tercih edilebilir.

Bu havalimalarında gerçekleşen uçuş sayıları ve bu havalimanlarını kullanan yolcu sayıları göz önüne alınarak kızaklama riskinin etki alanları değerlendirilmiştir. Buna göre yolcu sayısına göre kızaklama riski etki alanının en fazla olduğu havalimanı İstanbul Havalimanı'dır. Bununla birlikte İstanbul Sabiha Gökçen ve Antalya

Havalimanı da yolcu sayısı bakımından Türkiye'nin en yoğun havalimanları olduğundan dolayı risk etki alanları yüksektir.

Uçuş sayıları değerlendirildiğinde de kızıklama riski etki alanının en fazla olduğu havalimanı yine İstanbul Havalimanı'dır. Aynı şekilde İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı ve Antalya Havalimanı'nın da uçuş sayısına göre risk etki alanı yüksektir.

Bunun dışında ülkemizdeki 38 tane uluslararası havalimanının bulunduğu illerin 21 tanesinin ve yine uçuş ve yolcu açısından en yoğun olan havalimanlarının bulunduğu illerin en fazla yağış aldığı ay Aralık ayıdır. Bundan dolayı Aralık ayında ilave tedbirler alınması da kızıklama riskinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Accident Investigation Board Norway.** (2012). *Report On Aircraft Accident On 10 October 2006 At Stord Airport, Sørstokken (Enso) Norway Involving A Bae 146-200, Oy-Crg, Operated By Atlantic Airways* (Report No: SL 2012-04). Lillestrom: Accident Investigation Board Norway.
- Agrawal, S. K.** (1986). Braking performance of aircraft tires. *Progress in Aerospace Sciences*, 23(2), 105-150.
- Andren, P. & Jolkin, A.** (2003). Elastohydrodynamic aspects on the tyre-pavement contact at aquaplaning (Report No. 483A). Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute.
- Anupam, K., Santosh Kumar, S., Kasbergen, C., Scarpas, A., & Kane, M.** (2017). Finite element framework for the computation of runway friction of aircraft tires. *Transportation Research Record*, 2641(1), 126-138.
- Apeagyei, A. K., Al-Qadi, I. L., Ozur, H., & Buttlar, W. G.** (2007). Performance of grooved bituminous runway pavement (Report No. 28). Urbana: Center of Excellence for Airport Technology.
- Asi, I. M.** (2007). Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes. *Building and Environment*, 42(1), 325-329.
- Andriejauskas, T., Vorobjovas, V., & Mielonas, V.** (2014). Evaluation of skid resistance characteristics and measurement methods, *The 9th International Conference Environmental Engineering-ICEE*, Vilnius, Lithuania: May 22-23.
- Bakış, A.** (2018). Esnek ve rijit üstyapılarda kaplama kalınlığı ve üstyapı maliyetinin en küçük kareler yöntemiyle hesaplanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(2), 119-126.
- Barnes, T., DeFiore, T., & Micklos, R.** (1999). Video landing parameter survey-washington national airport (Report No. DOT/FAA/AR-97/106). Atlantic City: Federal Aviation Administration Technical Center.
- Beljatynskij, A., Prentkovskis, O., & Krivenko J.** (2010). The experimental study of shallow flows of liquid on the airport runways and automobile roads. *Transport* 25(4), 394-402.
- Biancardo, S. A., Abbondati, F., Russo, F., Veropalumbo, R., & Dell'Acqua, G.** (2020). A broad-based decision-making procedure for runway friction decay analysis in maintenance operations. *Sustainability*, 12(9), 3516.
- Chesterton, J., Nancekivell, N., & Tunncliffe, N.** (2006). The use of the Gallaway formula for aquaplaning evaluation in New Zealand, *Transportation and the Pursuit of Excellence NZIHT & Transit NZ 8th Annual Conference*, Auckland, New Zealand: October 15-17.

- Cook, K., Garg, N., Singh, A., & Flynn, M.** (2016). Detection of delamination in the HMA layer of runway pavement structure using asphalt strain gauges. *Journal of Transportation Engineering*, 142(11), 1-11.
- Crispino, M., Giustozzi, F., & Paracchini, G.** (2011). Soil improvement of runway strip and runway end safety area (RESA) through an innovative methodology, *Transportation and Development Institute Congress 2011: Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow*, Chicago, Illinois: March 13-16.
- Daiutolo, H., Federal Aviation Administration.** (2013). *Runway Grooving and Surface Friction* [PowerPoint slides]. Retrieved from <https://www.alacpa.org/Runway%20Grooving%20and%20Surface%20Friction%20-%20ALACPA%20-%202013%20-%20H.pdf>
- DHMI Genel Müdürlüğü** (2003). *Hava Alanları Pist Yüzey Şartları Yönergesi* (Yönerge No: 15). Retrieved from <https://kms.kaysis.gov.tr/Home/Goster/44732?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
- DHMI Genel Müdürlüğü** (2018). *Havalimanı Altyapı Kontrol, Bakım Ve Onarım Yönergesi* (Yönerge No: 05). Retrieved from <https://www.dhmi.gov.tr/Lists/KanunveYonetmelikler/Attachments/211/DHMI-Hava-Alani-Altyapi-Kontrol-Bakim-ve-Onarim-Yonergesi.pdf>
- Di Mascio, P., & Moretti, L.** (2019). Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces. *Case Studies in Construction Materials*, 11, 1-11.
- Emery, S., Norheim, A., & Mihaljevic, I.** (2011). Slippery asphalt runways after rejuvenation, *24th World Road Congress, In Airfield Pavements Seminar*, Mexico City, Mexico: September 28-29.
- Estakhri, C. K., Alvarez, A. E., & Martin, A. E.** (2008). Guidelines on construction and maintenance of porous friction courses in Texas (Report No. FHWA/TX-08/0-5262-2). Austin: Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office.
- FAA** (1997). *Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces* (150-5320-12C). Retrieved from https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/150-5320-12c/150_5320_12c.pdf
- FAA** (2014). *Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements* (150-5380-6C). Retrieved from https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5380-6C.pdf
- FAA** (2021). *Airport Pavement Design and Evaluation* (150-5320-6G). Retrieved from https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5320-6G-Pavement-Design.pdf
- Fwa, T. F., Kumar, S. S., Anupam, K., & Ong, G. P.** (2009). Effectiveness of tire-tread patterns in reducing the risk of hydroplaning. *Transportation research record*, 2094(1), 91-102.

- Garg, N., Hayhoe, G. F., & Guo, E.** (2010). Operational life of hot mix asphalt (HMA) airfield pavements, *11th International Conference on Asphalt Pavements*, Nagoya, Aichi, Japan, August: 1-6.
- Ghavami, M. S. M., Hosseini, M. S., Zavattieri, P. D., & Haddock, J. E.** (2019). Flexible pavement drainage system effectiveness. *Construction and Building Materials*, 218, 99-107.
- Guo, X., Zhang, C., Cui, B., Wang, D., & Tsai, J.** (2013). Analysis of impact of transverse slope on hydroplaning risk level. *Procedia-social and Behavioral Sciences*, 96, 2310-2319.
- Guyer, J. P.** (2013). An Introduction to the Principles of Pavement Drainage. <https://www.cedengineering.com>. Retrieved October 11, 2021, from <http://www.cedengineering.com/userfiles/Intro%20to%20the%20Principles%20of%20Pavement%20Drainage.pdf>
- Haarlaa, T.** (t.y.). *Aquaplaning - too much water on the runway?* Retrieved January 9, 2022 from http://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/vn181_14_aquaplaning.pdf
- Heymsfield, E.** (2019). Investigating the potential of using glass foam for an EMAS material to mitigate aircraft overrun accidents. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(7), 807-821.
- Heymsfield, E., Hale, W. M., & Halsey, T. L.** (2012). Aircraft response in an airfield arrestor system during an overrun. *Journal of transportation engineering*, 138(3), 284-292.
- Heymsfield, E., & Halsey, T. L.** (2008). Sensitivity analysis of engineered material arrestor systems to aircraft and arrestor material characteristics. *Transportation research record*, 2052(1), 110-117.
- Horne, W. B.** (1976). Status of runway slipperiness research, *NASA Conference on Aircraft Safety and Operating Problems*, Langley Research Center, Hampton, Virginia, October: 18-20.
- Horne, W. B. & Dreher, R. C.** (1963). Phenomena of pneumatic tire hydroplaning (Report No. NASA TND-2056). Washington: National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center.
- Horne, W. B. & Leland, T. J.** (1963). Runway slipperiness and slush. *The Aeronautical Journal*, 67(633), 559-571.
- Horne, W. B., Yager, T. J., & Ivey, D. L.,** (1986). Recent studies to investigate effects of tire footprint aspect ratio on dynamic hydroplaning speed. Retrieved from <http://books.google.com/books> (Original work published 1986)
- Jamieson, S. & White, G.** (2018). Review of stone mastic asphalt as a high-performance ungrooved runway surfacing. *Road Materials and Pavement Design*, 21(4), 886-905.
- Judge, R. & Hampson, G.** (1974). Methods of improving runway friction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 56(3), 395-397.

- Kazda, T. & Caves, B.** (2015). Runway strips and other areas. *Airport Design and Operation: Third Edition*, 103-112.
- Klenzendorf, J. B., Eck, B. J., Charbeneau, R. J., & Barrett, M. E.** (2012). Quantifying the behavior of porous asphalt overlays with respect to drainage hydraulics and runoff water quality. *Environmental & Engineering Geoscience*, 18(1), 99-111.
- Kuloğlu, N., Özdemir, M. A., & Kök, B. V.** (2007). Havaalanı esnek üstyapı tasarım metodlarının değerlendirilmesi, *Ulaştırma Kongresi*, İstanbul, Türkiye: Eylül 19-21.
- Lee, M. H., Chou, C. P., & Li, K. H.** (2009). Automatic measurement of runway grooving construction for pavement skid evaluation. *Automation In Construction*, 18(6), 856-863.
- Ling, J., Ren, L., Tian, Y., Gao, J., & Man, L.** (2021). Analysis of airfield composite pavement rutting using full-scale accelerated pavement testing and finite element method. *Construction and Building Materials*, 303, 1-10.
- Martin, C. S.** (1966). Hydrodynamics of tire hydroplaning final report (Report No. NASA-CR-76018). Atlanta: National Aeronautics and Space Administration.
- Mathew, S. J., Thomas, S., Vijayan, V., Yedukrishnan, V., & Anilkumar, G.** (2014). Tire pressure inflation system. *International Journal For Research & Development in Technology*, 1(1), 34-41.
- Mayora, J. M. P. & Pina, R. J.** (2009). An assessment of the skid resistance effect on traffic safety under wet-pavement conditions. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 881-886.
- Moore, D. F.** (1967). A theory of viscous hydroplaning. *International Journal of Mechanical Sciences*, 9(12), 797-810.
- Nepal, S.** (2014). TIA runway overlay project failure: a case study from Nepal. *PM World Journal*, 3(5), 1-10.
- Ong, G. P., & Fwa, T. F.** (2006). Transverse pavement grooving against hydroplaning. I: Simulation model. *Journal of Transportation Engineering*, 132(6), 441-448.
- Ong, G. P., & Fwa, T. F.** (2007). Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: modeling. *Journal of Transportation Engineering*, 133(10), 590-598.
- Ong, G. P. & Fwa, T. F.** (2008). Modeling and analysis of truck hydroplaning on highways. *Transportation Research Record*, 2068(1), 99-108.
- Ong, G. P. & Fwa, T. F.** (2009). Runway geometric design incorporating hydroplaning consideration. *Transportation Research Record*, 2106(1), 118-128.
- Panagouli, O. K. & Kokkalis, A. G.** (1998). Skid resistance and fractal structure of pavement surface. *Chaos, Solitons & Fractals*, 9(3), 493-505.

- Pavlin, S. & Bracic, M.** (2011). Runway end safety area, *International Scientific Conference Modern Safety Technologies in Transport-MOSSAT*, Zlata Idka, Kosice, Slovakia: September 20-22.
- Pasindu, H. R.** (2011). *Incorporating risk considerations in airport runway pavement maintenance management* (Doctoral dissertation). Retrieved from <http://scholarbank.nus.edu.sg>
- Pasindu, H. R., & Fwa, T. F.** (2015). Improving wet-weather runway performance using trapezoidal grooving design. *Transportation In Developing Economies*, 1(1), 1-10.
- Pasindu, H. R., Fwa, T. F., & Ong, G. P.** (2010). Evaluation of aircraft landing hydroplaning risk, *2nd international Conference on Transport Infrastructures*, Sao Paulo, Brazil: August 4-6.
- Pasindu, H. R., Fwa, T. F., & Ong, G. P.** (2015). Analytical evaluation of aircraft operational risks from runway rutting. *International Journal of Pavement Engineering*, 17(9), 810-817.
- Pérez-Acebo, H., Gonzalo-Orden, H., Findley, D. J., & Rojí, E.** (2020). A skid resistance prediction model for an entire road network. *Construction and building materials*, 262, 120041.
- Rokade, S., Agarwal, P. K., & Shrivastava, R.** (2012). Drainage and flexible pavement performance. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4(04), 1308-1311.
- Shoenberger, J. E.** (1981). Condition survey of porous friction surface course (Report No. FAA-RD-80-111). Washington: U. S. Department Of Transportation, Federal Aviation Administration, Systems Research & Development Service.
- Sinnamon, J. F. & Tielking, J. T.** (1974). Hydroplaning and tread pattern hydrodynamics (Report No. UM-HSRI-PF-74-10). Michigan: Highway Safety Research Institute, University of Michigan.
- SHGM** (2016). *Havaalanı Emniyet Standartları Talimatı* (SHT-HES). Retrieved from <https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/SHT-HES.pdf>
- SHGM** (2016). *Havaalanı Pistleri Standartları* (HAD/T-28). Retrieved from https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/Havaalani_Pistleri.pdf
- SHGM** (2017). *Havaalanı Kaplama Yüzey Koşulları Standartları* (HAD/T-33). Retrieved from https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/Havaalani_Kaplama_Yuzey_Kosullari.pdf
- SHGM** (2021). *Türkiye Sivil Havacılık Devlet Emniyet Programı*. Retrieved from https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/dep/TR_SHDEP_210421.pdf
- Suckling, B. C. & Grobler, J. E.** (2014). Flight operational considerations during airfield design, *33rd Southern African Transport Conference*, Pretoria, South Africa: July 7-10.

- Suresha, S. N., Varghese, G., & Shankar, A. R.** (2009). Characterization of porous friction course mixes for different Marshall compaction efforts. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2887-2893.
- Şengöz, B., Tanyel, S., Görkem, Ç., ve Kaçmaz, B.** (2010). İzmir şehir içi yollarının kayma dirençlerinin trafik güvenliği açısından değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 12(1), 75-85.
- Tanyıldızı, M. M. & Geçkil, T.** (2019). AASHTO Metodunda rijit ve esnek üstyapıların projelendirilmesinde kullanılan parametrelerin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 187-194.
- Thenoux, G., Allen, W., & Bell, C. A.** (1996). Study of aircraft accident related to asphalt runway skid resistance. *Transportation Research Record*, 1536(1), 59-63.
- Uz, V. E. ve Gökalp, İ.** (2017). Farklı Tür Agregalarla Üretilen Yüzeysel Kaplamaların Kayma Direnci Performanslarının İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1), 109-120.
- Wang, Q. & Davis, J.** (2013). Airport pavement groove identification and analysis at NAPTF, *In Advanced Materials Research*, 723, 1003-1010.
- Wang, Y. S., Wu, J., & Su, B. L.** (2010). Analysis on the hydroplaning of aircraft tire. *In Advanced Materials Research*, 87, 1-6.
- White, G.** (2017). Managing skid resistance and friction on asphalt runway surfaces, *In Proceedings of the World Conference on Pavement and Asset Management*, Milan, Italy: June 12-16.
- White, G. & Rodway, B.** (2014). Distress and maintenance of grooved runway surfaces, *Airfield Engineering and Maintenance Summit*, Furama Riverfront, Singapore: March 25-28.
- Van Es, G. W. H.** (2001). Hydroplaning of modern aircraft tires, *2nd International Meeting on Aircraft Performance on Contaminated Runways*, Montreal, Canada: November 2-4.
- Van Es, G. W. H.** (2010). *A Study of Runway Excursions From a European Perspective* (Report No: 259). Brussels: NLR-CR Eurocontrol Technical Report.
- Van Es, G. W. H.** (2018). Aircraft tyre hydroplaning and how to analyse it in runway excursion events, *ISASI International Conference*, Dubai, United Arab Emirates: October 29- November 1.
- Yager, T.** (1983). Review of factors affecting aircraft wet runway performance, *21st Aerospace Sciences Meeting*, Nevada, USA: January 10-13.
- Yang, X., Zhang, Z., Xing, Y., Yang, J., & Sun, Y.** (2017). A new theoretical model of aircraft arresting system based on polymeric foam material. *Aerospace Science and Technology*, 66, 284-293.

- Yang, Y., Zhu, X., Jelagin, D., Guarin, A., & Steyn, W. J.** (2021). Numerical analysis concerning the skid resistance of rubber-contaminated runway grooves. *Tribology International*, 163, 107157.
- Zhang, X., Fei, X. U., Xuanqi, R. E. N., Xiangyang, G. A. O., & Rengang, C. A. O.** (2020). Consideration on aircraft tire spray when running on wet runways. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33(2), 520-528.
- Zuzelo, P.** (2014). The benefits of runway grooving. *Airfield Engineering and Maintenance Summit*, Vancouver, Canada: September 18.
- Url-1**<<https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>>. erişim tarihi 29.04.2022.
- Url-2**<<https://www.icao.int/about-icao/Council/Pages/vision-and-mission.aspx>>. erişim tarihi 29.04.2022.
- Url-3**<https://www.mfa.gov.tr/uluslararası-sivil-havacılık-orgutu-_icao_.tr.mfa>, erişim tarihi 29.04.2022.
- Url-4**< https://www.faa.gov/about/history/brief_history>, erişim tarihi 29.04.2022.
- Url-5**< <https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/1--tarihce>>, erişim tarihi 29.04.2022.
- Url-6**<<https://web.shgm.gov.tr/tr/kurumsal/5981-misyon-vizyon-ve-kalite-politikamiz>>, erişim tarihi 29.04.2022.
- Url-7**<<https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Hakkimizda.aspx>>, erişim tarihi 29.04.2022.
- Url-8**<<https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/MisyonveVizyon.aspx>>, erişim tarihi 29.04.2022.
- Url-9**<<https://www.turizmajansi.com/haber/dunyada-bir-gunde-kac-kisi-ucaga-biniyor-h30886>>, erişim tarihi 02.05.2022
- Url-10**<<https://www.icao.int/safety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx>>, erişim tarihi 15.12.2021.
- Url-11**<https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf>, erişim tarihi 10.11.2021.
- Url-12**<<https://en.wikipedia.org/wiki/Aquaplaning#/media/File:Hydroplaning.svg>>, erişim tarihi 10.09.2021.
- Url-13**<<https://www.bolmethod.com>>. erişim tarihi 01.02.2021.
- Url-14**<<https://www.nonda.co/blogs/news/6-things-you-need-to-know-about-tire-pressure>>, erişim tarihi 01.02.2021.
- Url-15**<<https://theconstructor.org/transportation/rigid-pavement-composition-structure/5495/>>, erişim tarihi 03.04.2021.
- Url-16**<<https://pavementinteractive.org/pavement-design-whats-my-structural-number/>>, erişim tarihi 15.11.2021.
- Url-17**<<https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H>> erişim tarihi 15.12.2021.
- Url-18**<<https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/HavaLimanlari.aspx>> erişim tarihi 03.01.2022.

Url-19<https://www.faaafety.gov/gslac/alc/course_content.aspx?cID=34&sID=171>, erişim tarihi 17.11.2021.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Evrim Hezek

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Lisansüstü Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019 Aralık'tan itibaren İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Park Bahçe ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığında çalışmaktadır.