

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI İKLİM KOŞULLARI ALTINDA HAVALİMANLARI YAĞMUR SUYU
DRENAJ HATLARININ TASARIMI**

Buket ÇELİKKOL

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ŞUBAT 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI İKLİM KOŞULLARI ALTINDA HAVALİMANLARI YAĞMUR SUYU
DRENAJ HATLARININ TASARIMI**

Buket ÇELİKKOL

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

ŞUBAT 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI İKLİM KOŞULLARI ALTINDA HAVALİMANLARI YAĞMUR
SUYU DRENAJ HATLARININ TASARIMI

Buket ÇELİKKOL
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 07/02/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Halil İbrahim BURGAN (Danışman)

Doç. Dr. Rıfat TÜR

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

ÖZET

FARKLI İKLİM KOŞULLARI ALTINDA HAVALİMANLARI YAĞMUR SUYU DRENAJ HATLARININ TASARIMI

Buket ÇELİKKOL

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Halil İbrahim BURGAN

Şubat 2025; 68 sayfa

Havalimanları, uluslararası ulaşım ağının merkezi olması, yolcu ve kargo taşımacılığına olanak tanınması, afet yönetiminde hızlı ve etkin ulaşım sağlaması ve yolcuların dünya genelinde bağlantı kurmasına olanak tanınması ve kritik alan olarak önem taşımasıyla öne çıkmaktadır. Bu nedenle operasyonun sürekli olması önem arz etmektedir. Operasyonun sürekliliğini etkileyen etkenlerden biri iklim koşullarıdır. Değişen iklim koşulları nedeniyle aşırı yağışlarda operasyonun devamlılığı kesintiye uğrayabilir. Bu nedenle, havalimanlarında altyapı tasarımının farklı iklim senaryoları göz önünde bulundurularak planlanması gerekmektedir.

Bu tez çalışması, havalimanlarında yağmur suyu drenaj hatlarının tasarımını ele alarak, değişen iklim koşullarının havalimanı altyapıları üzerindeki etkilerini incelemektedir. İklim değişikliği, beklenmeyen yağış senaryolarına yol açtığından, gelecekte oluşacak iklim değişikliği sonucunda oluşacak yağış senaryoları analiz edilmelidir. Özellikle kısa sürede oluşan şiddetli yağış koşulları yağmur suyu tasarımında dikkate alınması gereken senaryolardan biridir.

Havalimanı altyapılarının, yağış anomalileri olduğu dönemlerde oluşacak taşkın debilerini karşılayabilecek durumda tasarlanması gereklidir. İklim dirençli havalimanında aşırı yağışa karşı altyapı kapasitesinin yeterliliği, bölgeye ait uzun dönemli yağış şiddeti verileri kullanılarak yapılan analiz sonucu belirlenebilir. Modelleme sonuçlarına göre, hat kapasitelerinin yetersiz olduğu bölgelerde rehabilitasyon çalışmaları gereklidir. Taşkın kontrolü için, aşırı yağış dönemlerinde yüzey suyunun hızlı şekilde tahliye edilmesi, hatların düzenli bakım ve onarımının yapılması, yağmur suyu depolama yöntemlerinin uygulanması, uzun yıllık yağış verilerine göre tasarımların yapılması büyük önem taşır.

Bu tezde; İstanbul Havalimanı örneği üzerinden, değişen iklim koşullarının yağmur suyu drenaj hatlarının tasarımına olası etkileri değerlendirilmektedir. İstanbul Havalimanı'nın inşaat dönemi öncesi arazi topoğrafyasında kot farklılıkları bulunmaktaydı. İnşaat dönemi sonrasında ise bu kot farklılıkları en aza indirilmiştir. Topoğrafyada yapılan değişiklikler, havalimanı bölgesinin mikroiklim özelliklerinde bir miktar değişkenliğe sebep olmuştur. Bu doğrultuda, havalimanı altyapılarının gelecekteki farklı iklim senaryolarına nasıl adapte olabileceği detaylı bir şekilde incelenecektir. Günümüzde, artan yağış şiddeti ve sıklaşan hava anomalileri gibi iklim değişikliği faktörleri, havalimanı altyapılarının tasarımının bu koşullar göz önüne alınarak tasarlanmasını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışma, hidroloji ve altyapı mühendisliği disiplinlerini birleştirerek, havalimanlarının yağmur suyu drenaj sistemlerinin çeşitli iklim senaryolarına nasıl adapte edilebileceğini araştıracaktır. Araştırma, sahada gerçekleştirilen çalışmaların ve iklim verilerinin analizini, bölgedeki çeşitli yağış rejimlerinin değerlendirilmesi gibi unsurları içerecektir. Drenaj sistemlerinin kapasite gereksinimlerinin tahmin edilmesine yönelik de temel bilgiler sunacaktır.

Bu çalışma, havalimanlarında yetersiz yağış verileri durumunda, gelecek dönemlere ait iklim senaryolarını da dikkate alarak dayanıklı ve sürdürülebilir yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarımını amaçlamaktadır. Bu bağlamda, çalışmada iklim değişikliğine uyum sağlamak amacıyla dünyada ve Türkiye'deki önemli havalimanlarında kullanılan drenaj sistemleri ve tasarım yaklaşımları incelenmiştir. Ayrıca, iklim değişikliği senaryoları kullanılarak ilerleyen yıllarda yağış miktarlarında beklenen artış oranları incelenmiş ve bu artışların mevcut drenaj altyapısına olası etkileri değerlendirilmiştir. Senaryolar doğrultusunda, drenaj kapasitesine ve tasarımına ne kadar etkisi olabileceği de araştırılmıştır. İklim değişikliği etkisiyle oluşacak pik debinin 180 lt/sn üzerinde olacağı öngörülmektedir. Yağış rejimindeki değişikliklerin analiziyle, tasarlanan hatlarda taşkın olup oluşmayacağı kontrol edilecektir. Çalışmada elde edilecek bulgular, altyapı mühendisleri ve planlamacılar için, değişen iklim koşullarına uyumlu tasarım stratejileri konusunda pratik bir rehber olabilecektir.

ANAHTAR KELİMELEER: Havalimanı, Hidroloji , İklim değişikliği, Sürdürülebilirlik, Tasarım, Yağmur suyu drenajı

JÜRİ: Doç. Dr. Halil İbrahim BURGAN

Doç. Dr. Rıfat TÜR

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

ABSTRACT
DESIGN OF AIRPORT STORMWATER DRAINAGE SYSTEMS UNDER
DIFFERENT CLIMATE CONDITIONS

Buket ÇELİKKOL

MSc Thesis in Civil Engineering Department

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim BURGAN

February 2025; 68 pages

Airports play a critical role as central hubs in the international transportation network, facilitating passenger and cargo transportation, enabling rapid and efficient disaster management, and connecting travelers globally. Therefore, the continuity of operations is of great importance. One of the key factors affecting operational continuity is climatic conditions. Due to changing climate conditions, extreme precipitation events can disrupt airport operations. For this reason, airport infrastructure design must be planned with consideration of different climate scenarios.

This thesis examines the design of stormwater drainage networks at airports and evaluates the potential impacts of changing climate conditions on airport infrastructure. Climate change leads to unexpected precipitation scenarios, making it necessary to analyze future precipitation patterns resulting from these changes. In particular, short-duration intense rainfall conditions are among the key scenarios that must be considered in stormwater drainage design.

Airport infrastructure must be designed to withstand flood discharges that may occur during periods of precipitation anomalies. The adequacy of infrastructure capacity in climate-resilient airports against extreme rainfall can be determined through analyses based on long-term regional precipitation intensity data. According to modeling results, rehabilitation efforts are required in areas where drainage capacities are insufficient. For effective flood control, it is crucial to ensure rapid surface water drainage during extreme precipitation events, conduct regular maintenance and repairs of drainage systems, implement stormwater storage methods, and design infrastructure based on long-term precipitation data.

In this thesis, the potential effects of changing climate conditions on the design of stormwater drainage networks are assessed using the case of Istanbul Airport. Before the construction phase, the topography of the airport area exhibited significant elevation differences. However, after construction, these elevation differences were minimized. The modifications in the topography have caused slight variations in the microclimatic characteristics of the airport region. Accordingly, this study will explore how airport infrastructure can adapt to various future climate scenarios. Increasing precipitation intensity and the growing frequency of extreme weather anomalies due to climate change necessitate the design of airport infrastructure with these conditions in mind.

By integrating hydrology and infrastructure engineering disciplines, this research aims to investigate how airport stormwater drainage systems can be adapted to various

climate scenarios. The study will include field assessments, climate data analysis, and an evaluation of different precipitation regimes in the region. Additionally, it will provide essential insights into estimating the capacity requirements of drainage systems.

This research seeks to design resilient and sustainable stormwater drainage systems for airports by considering future climate scenarios, particularly in cases where historical precipitation data is insufficient. In this context, drainage systems and design approaches implemented in major airports worldwide and in Turkey to adapt to climate change have been examined. Moreover, using climate change scenarios, the expected increase in precipitation levels in future years has been analyzed, and the potential impacts of these increases on existing drainage infrastructure have been evaluated. The impact of these scenarios on drainage capacity and design has also been investigated.

It is projected that peak runoff due to climate change effects will exceed 180 L/s. By analyzing changes in precipitation patterns, it will be assessed whether the designed drainage networks can accommodate flood events. The findings obtained in this study will serve as a practical guide for infrastructure engineers and planners in developing climate-resilient design strategies for airport stormwater drainage systems.

KEYWORDS: Airport, Climate change, Design, Hydrology, Stormwater drainage, Sustainability.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Halil İbrahim BURGAN

Assoc. Prof. Dr. Rıfat TÜR

Asst. Prof. Dr. Murat KİLİT

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması esnasında bana yol gösteren ve destek olan çok değerli hocam Doç. Dr. Halil İbrahim BURGAN'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca çalışmaya jüri üyesi olarak destek veren kıymetli hocalarım Doç. Dr. Rıfat TÜR ve Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT'e teşekkür ederim.

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2024-6509 nolu proje olarak desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan verilere destek sağlayan MGM'ye katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca bu süreçte bana desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunuyorum.



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırladığım “Farklı İklim Koşulları Altında Havalimanları Yağmur Suyu Drenaj Hatlarının Tasarımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

07/02/2025

Buket ÇELİKKOL



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı	1
1.3. Konunun Önemi	2
1.4. Özgün Değer	2
1.5. Çalışmanın Düzeni	2
1.6. Tezin Amacı	3
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1. Taşkın Kontrolleri Üzerine Modelleme Çalışmaları.....	5
2.2. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Kaynakları Üzerine Çalışmalar	7
2.3. Hava Olaylarının Etkisi Üzerine Çalışmalar	9
2.4. Havalimanlarında Deicing Uygulamaları Üzerine Çalışma.....	10
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Havalimanlarında Yağmur Suyu Drenaj Tasarımı.....	11
3.2. Drenaj Sistemleri Tasarım İlkeleri	11
3.2.1. Yüzey eğimi ve akış yolları.....	12
3.2.2. Boru çapları ve drenaj hatlarının kapasitesi	12
3.2.3. Yüzey kaplama özellikleri.....	13
3.2.4. Hidrolik tasarım ve iklim değişikliği senaryoları.....	13
3.3. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Tasarım Sistemleri.....	13
3.3.1. Yağmur bahçeleri ve biyofiltreler	13
3.3.2. Geçirgen zeminler	14
3.3.3. Yağmur suyu depolama ve geri kazanım sistemleri.....	14
3.4. İklim Değişikliğinin Yağmur Suyu Tasarımına Etkileri	14
3.4.1. Yağış miktarı ve görülme sıklığının artması	15

3.4.2. Yağış rejimindeki değişiklikler	15
3.5. Değişen Yağış Koşullarına Karşı Tasarım Önlemleri.....	15
3.6. Drenaj Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi ve İyileştirilmesi.....	15
3.7. Havalimanı Drenajı İle İlgili Yönetmelikler ve Öneriler	16
3.7.1. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) standartları.....	16
3.7.2. Federal Havacılık İdaresi (FAA) yönetmelikleri.....	16
3.7.3. Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) yönetmelikleri	16
3.8. Havalimanlarında Yağmur Suyu Tasarım Adımları	17
3.8.1. Ön araştırma ve veri toplama	17
3.8.2. Topoğrafik analiz	17
3.8.3. İklim ve yağış verileri	18
3.8.4. Yağış miktarı ve frekansının belirlenmesi	19
3.8.5. IDF eğrileri	19
3.8.6. Geri dönüş periyotları.....	20
3.8.7. Taşkın ve yüzeysel su birikintisi risklerinin değerlendirilmesi.....	20
3.8.8. Pik debi oranlarının belirlenmesi ve yağmur suyu drenaj tasarımındaki rolü.....	20
3.8.8.1. Debi oranlarının hesaplanmasında kullanılan yöntemler	21
3.8.8.2. Pik debi oranlarının havalimanı drenaj tasarımında kullanımı	22
3.8.8.3. Pik debi oranlarının etkileyen faktörler.....	22
3.8.9. Yağış yüksekliğinin belirlenmesi	23
3.8.10. Yüzey drenajlarının tasarımı	23
3.8.11. Drenaj hatlarının tasarımı	24
3.8.12. Yağış verisi analiz yöntemleri.....	25
3.9. Uygulama	25
3.9.1. İstanbul Havalimanı drenaj tasarımı	26
3.9.2. İklim özellikleri	26
3.9.3. Havza özellikleri.....	27
3.9.4. Yağış verileri ve meteorolojik istasyon yerleşimleri.....	27
3.9.5. Havza yüzey akış yönleri	28
3.9.6. Yağış şiddetinin tespiti	30
3.9.7. Regresyon modelinin oluşturulması.....	30
3.9.8. Değerlendirme ölçütleri.....	31
4. BULGULAR.....	34

4.1. Verilerin Analizi.....	34
4.1.1. Terkos İstasyonu yağış verileri analizi	36
4.1.2. Kumköy İstasyonu yağış verileri.....	39
4.1.3. İnçeğiz İstasyonu yağış verileri.....	42
4.1.4. İstanbul Havalimanı yağış verileri	44
4.2. İstasyon Yağış Şiddetlerine Göre Havalimanı Bölgesi Yağış Verilerinin Oluşturulması.....	47
4.3. İklim Değişikliği RCP 4.5 Senaryosuna Göre Maksimum Yağış Şiddetinin Tespiti.....	50
4.4. Metodoloji	50
4.5. InfoDrainage Modeline Girilen Yağış Şiddeti Verilerine Göre Mevcut Drenaj Kapasitesinin Değerlendirilmesi	51
4.5.1. Analiz yöntemi ve modelleme süreci	57
4.5.2. Analiz bulguları.....	57
4.6. Yüzey Su Yüksekliğinin Görüntü İşleme Teknikleriyle Belirlenmesi ve Standartlara Uygunluğunun Tespiti	59
4.7. Toprakta Mevcut Olan Nem Oranı Ölçümü ve Standartlara Uygunluğunun Tespiti.....	61
4.7.1. Sıkışabilirlik	62
4.7.2. Taşıma kapasitesi	62
4.7.3. Erozyon direnci	62
4.7.4. Geçirgenlik	62
5. TARTIŞMA	63
6. SONUÇLAR	65
7. KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

A	: Havza alanı (ha)
C	: Akış katsayısı
I	: Yağış şiddeti (mm/h),
F	: Depolama ve akış faktörü
K	: Havza özelliklerine bağlı katsayı
Q	: Debi (m ³ /s)
R ²	: Determinasyon katsayısı
T _r	: Yağış süresi (dk)
T _c	: Konsantrasyon süresi (dk)

Kısaltmalar

ACI	: Uluslararası Havalimanları Konseyi
DEM	: Dijital yükseklik modeli
DSİ	: Devlet Su İşleri
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
FAA	: Federal Havacılık İdaresi
FIR	: Uçuş bilgi bölgesi
HadGem	: Handley Merkezi Küresel Çevre Modeli
IATA	: Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
IDF	: Şiddet-süre-tekerrür eğrisi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
RCP	: Temsili konsantrasyon yolu
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
SWMM	: Yağmur suyu yönetim modeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Jewel Changi Havalimanı yağmur suyu bahçesi.....	14
Şekil 3.2. Havalimanı uydu görüntüsü.....	26
Şekil 3.3. İstasyon konumları ve havza akış modellemesi.....	29
Şekil 3.4. Regresyon model türü ve performans değerlendirmesi.....	32
Şekil 4.1. Terkos İstasyonu IDF grafiği.....	38
Şekil 4.2. Kumköy İstasyonu IDF grafiği.....	41
Şekil 4.3. Kumköy İstasyonu MGM IDF grafiği.....	42
Şekil 4.4. İnçeğiz İstasyonu IDF grafiği.....	44
Şekil 4.5. İstanbul Havalimanı İstasyonu IDF grafiği.....	47
Şekil 4.6. 100 yıl 5 dakikalık verilere göre yağış şiddeti haritalandırması.....	48
Şekil 4.7. 100 yıl 10 dakikalık verilere göre yağış şiddeti haritalandırması.....	48
Şekil 4.8. 50 yıl 10 dakikalık verilere göre yağış şiddeti haritalandırması.....	49
Şekil 4.9. 50 yıl 5 dakikalık verilere göre yağış şiddeti haritalandırması.....	49
Şekil 4.10. Çalışma adımları akış şeması.....	51
Şekil 4.11. Pist deranj planı.....	52
Şekil 4.12. Şekil 4.11'e ait 3 boyutlu görüntü.....	52
Şekil 4.13. Yağmur suyu drenaj hattı boyuna kesiti.....	53
Şekil 4.14. Kara tarafı yağmur suyu hatları kısmi model görüntüsü.....	53
Şekil 4.15. 3 boyutlu model görüntüsü.....	54
Şekil 4.16. Yağış yönetim menüsü.....	54
Şekil 4.17. Toplanma süresi menüsü.....	55
Şekil 4.18. Havza-14 havza ayarları menüsü.....	55
Şekil 4.19. 100 yıl tekerrür süresi için 5 dk.'lık yağış senaryosu analiz sonucu.....	57
Şekil 4.20. 100 yıl tekerrür süresi için 10 dk.'lık yağış senaryosu analiz sonucu.....	58
Şekil 4.21. 100 yıl tekerrür süresi için 15 dk.'lık yağış senaryosu analiz sonucu.....	58
Şekil 4.22. 100 yıl tekerrür süresi için 30 dk.'lık yağış senaryosu analiz sonucu.....	59
Şekil 4.23. 100 yıl tekerrür süresi için 60 dk.'lık yağış senaryosu analiz sonucu.....	59
Şekil 4.24. Yağış altında apron yüzeyine ait fotoğraf.....	60
Şekil 4.25. Şekil 4.24'ün MATLAB ortamında su seviyesi tahmini için kullanılan kod ekranı görüntüsü.....	61

Şekil 4.26. Model kalibrasyonunda toprak nem ölçer cihazıyla nem ölçüm işlemi yapılması.....	62
---	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Terkos, Kumköy, İnceğiz meteoroloji istasyonları yağış yükseklikleri.....	35
Çizelge 4.2. Terkos İstasyonu yağış yüksekliği değerleri.....	37
Çizelge 4.3. Terkos İstasyonu yağış şiddeti değerleri.....	38
Çizelge 4.4. Kumköy İstasyonu yağış yüksekliği değerleri.....	39
Çizelge 4.5. Kumköy İstasyonu yağış şiddet değerleri.....	40
Çizelge 4.6. İnceğiz İstasyonu yağış yüksekliği değerleri.....	42
Çizelge 4.7. İnceğiz İstasyonu yağış şiddeti değerleri.....	43
Çizelge 4.8. İstanbul Havalimanı İstasyonu yağış yüksekliği değerleri.....	45
Çizelge 4.9. İstanbul Havalimanı İstasyonu yağış şiddeti değerleri.....	46
Çizelge 4.10. İklim projeksiyonu ve regresyon modelinin karşılaştırılması.....	50

1. GİRİŞ

Havalimanları, stratejik ve ekonomik önemi sebebiyle modern ulaşımın önemli bir parçası haline gelmiştir. Teknolojik, ticari, ekonomik, turizm ve sosyal gelişmeler hava ulaşımını sık tercih edilen ulaşım kanalı haline getirmiştir. Havalimanlarının kritik altyapı olması sebebiyle, operasyon devamlılığı önemlidir. Operasyonların devamlılığı için altyapının, tüm hava olaylarına dayanıklı olması gereklidir. Pistlerin, taksiyollarının ve terminallerin yağış sularını etkin bir şekilde tahliye edebilmesi gereklidir. Suyun etkili tahliyesi, operasyonun aksamadan devam etmesini ve uçuş güvenliğini sağlayacaktır. Havalimanlarında, taşkın sebebiyle maddi ve manevi zararların oluşmaması için, yağmur suyu tasarımının yağış koşullarına dayanıklılığı önemli bir konudur.

1.1. Çalışmanın Amacı

Günümüzde, dünyada oluşan iklim değişikliğinin etkileri belirgin şekilde gözlemlenmektedir. İklim değişikliği, sıcaklıklarda artışa, mevsimsel değişikliklere, kuraklıklılara ve taşkınlarına sebep olmaktadır. İklim değişikliğinin etkisinin artmasıyla ani yağışların şiddetinin ve süresinin artması olasıdır. Yağış şiddetinin artması, yağmur suyu hatlarının maksimum kapasiteye ulaşmasına, bazı hatlarda da taşkın oluşmasına sebep olabilir. Yağmur suyu drenaj tasarımları geçmiş iklim verilerine dayanması, iklim değişikliği etkilerinin dikkate alınmaması ve genellikle ortalama yağış değerlerine göre tasarlandığı için, mevcut yağmur suyu hatlarının kapasiteleri yetersiz olabilir. Bu nedenle operasyonların aksamaması için yağmur suyu hatları, uzun yıllık yağış değerleri ve gelecekteki iklim değişikliği yağış öngörülleri de ele alınarak tasarlanmalıdır.

Bu tez çalışmasında, gelecekteki ve günümüzdeki oluşabilecek farklı iklim senaryoları altında havalimanları için yağmur suyu drenaj tasarımlarının daha dayanıklı ve yeterli kapasiteye ulaştırılma olanakları araştırılacaktır. Çalışmanın ana amacı, iklim değişimi öngörülleri ile yağış anomalilerinin oluşması durumunda drenaj hatlarının yeterliliğini ve taşkın riskini değerlendirmektir. Bu doğrultuda, mevcut drenaj hatlarının kapasite yeterliliğine dair gerekli kontroller gerçekleştirilecektir. Kontroller sonucunda yetersiz olan hatlara dair çözüm önerilerinin geliştirilmesi planlanmaktadır. Yapılan bu inceleme, mevcut hatların performans kontrolünün yapılmasını ve gelecek yıllarda oluşabilecek risklerin analiz edilmesini sağlayacaktır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışılan tez kapsamında, İstanbul Havalimanı yağmursuyu hatları ve iklim senaryoları incelenecektir. Geniş ölçekli havza alanı olması ve değişen iklim koşullarına duyarlılığı seçilmesinde belirgin rol oynamıştır. İstanbul Havalimanı, yüzölçümü ve yüksek trafik kapasitesi ile Türkiye'deki en büyük havalimanıdır. İklim değişikliğine ve aşırı yağış olaylarına karşı etkileşimi yüksektir. Bu sebeple, farklı iklim projeksiyonlarına karşı hatların kapasiteleri değerlendirilmiş ve bu analizler yardımıyla taşkına maruz kalıp kalmayacağı kontrol edilmiştir. Kontrol modelleri InfoDrainage yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Havalimanının olduğu bölge özellikleri ve yağmur suyu verileri incelenmiştir. Yetersiz veri olan yağış istasyonları için regresyon modelleri oluşturulmuştur. Gelecek yıllara dair yağış verilerinin daha tutarlı tahmini için başvurulabilecek yöntemler incelenmiştir. Hidroloji ve altyapı mühendisliği

birleştirilerek, iklim değişikliklerine karşı dayanıklı altyapı sistemlerinin oluşturulması ve değerlendirilmesi açısından yol göstermesi amaçlanmaktadır.

1.3. Konunun Önemi

Bu tez, havalimanlarında imalatı yapılacak veya mevcut olan yağmur suyu drenaj hatlarının, küresel iklim değişimi ve yağış anomalilerine karşı yeterliliğine dair genel değerlendirme sunmaktadır. İklimsel anormalliklerin sebep olabileceği risklerin en aza indirilebilmesi ve optimize edilebilmesi için başvurulabilecek çözümlerin önemi üzerinde durulmaktadır. Ayrıca, gelecek yıllarda yapılacak havalimanı drenaj hatları tasarımları için de öngörü oluşturacaktır. Havalimanlarında iklim değişikliklerine karşı yağmur suyu tasarım kriterleri açısından yol gösterici olacak, mevcut arazi koşullarına uygun çözümler geliştirecek ve yetersiz veri olan istasyonlar için strateji belirlemek üzerine yol gösterici olacaktır. Böylelikle taşkın kontrolleri daha etkin şekilde gerçekleştirilebilecek, altyapı planlaması yapıp verimli şekilde yönetilebilecek, pistlerde su birikmesinin önlenerek uçuş güvenliği sağlanabilecek, iklim değişikliğine uyumu değerlendirilebilecek ve operasyonel süreklilik sağlanabilecektir. Ayrıca yağmur suyu yönetimi, iklim değişikliği ve havalimanı sürdürülebilirliği arasındaki ilişki incelenecektir.

1.4. Özgün Değer

Yağmur suyu ile ilgili önceki çalışmalarda genellikle kentsel sürdürülebilirlik, yağmur suyunun etkili depolanması ve havalimanlarında yeşil altyapı üzerine çalışmalara odaklanılmıştır. Bu tez çalışmasında, havza özelliklerinin yağmur suyu tasarımına olan etkileri incelenecektir. Ülkemizde bazı alanlarda yetersiz meteoroloji istasyonların olması ve uzun dönemlere ait yağış kayıtlarının olmaması yağmur suyu tasarımında yetersiz hat tasarımlarına sebep olabilmektedir. Bu durum da, taşkın ve sel olaylarına maruz kalınmasına yol açmaktadır. Yetersiz meteorolojik veri olan bölgelerde, uzun döneme ait yağış verilerinin regresyon modeli ile tahmin edilmesi ve Gumbel dağılımı uygulanarak kısa süreli yağış verilerinin elde edilmesi üzerine bir çalışma yapılacaktır. Gumbel dağılımı uygulamamızın sebebi, ekstrem yağış olaylarında maksimum yağışın güvenilir olarak tahmin edilmesine olanak sağlamasıdır. Bu yöntemle, yağmur suyu hatlarının gelecekte oluşacak yağışlara karşı dayanımlı olması sağlanacaktır. Ayrıca yetersiz veri olan yıllarda kısa süreli yağışları tahmin edebilmemizi sağlayacaktır. Havza akış yönleri Qgis programı ile tespit edilecektir. Elde edilen tahminler de iklim değişikliği senaryoları ile karşılaştırılacaktır. Karşılaştırma sonucunda bulunan yağış değerlerinin InfoDrainage programı kullanılarak mevcut hatların kapasite yeterlilik kontrolleri SWMM yöntemi ile yapılacaktır. Pist, apron ve taksiyollarında dikkat edilmesi gereken drenaj kriterleri üzerine bilgiler sunulacaktır. İncelenecek bölge olarak Marmara Havzası'ndaki İstanbul Havalimanı seçilmiştir. Bu tez çalışmasında, havalimanı tasarımında mühendislerin daha etkili drenaj sistemleri oluşturabilmeleri için tasarım aşamasında kullanabilecekleri yöntemler ve kriterlere yönelik pratik bilgiler sunulacaktır. Elde edilen bulguların, havalimanı altyapı tasarımında sürdürülebilir ve uyumlu çözümler ile uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

1.5. Çalışmanın Düzeni

Bu tez çalışması farklı iklim koşullarında havalimanlarının yağmur suyu hat tasarımı ile ilgili analizleri ve değerlendirmeleri içermektedir. İçerik 10 bölümden

oluşmaktadır. Tez giriş bölümü ile başlamaktadır. Bu bölümde, tezin yazım amacı, kapsamı ve önemi hakkında bilgiler verilmiştir. Günümüzde, havalimanlarında yağmur suyu tasarımının neden kritik öneme sahip olduğuna dair bilgiler verilmiştir. İkinci bölüm olan literatür özeti bölümünde, bu tezde incelenen konuya benzer çalışmalar incelenmiştir. Kentlerde ve havalimanlarında yağmur suyu tasarımı üzerine hangi konuların incelendiğine dair bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde ise tezin yazılma amacı üzerinde durulmuştur. Konunun önemi, hedefi ve drenaj sistemlerinin dayanıklılığı üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur. Dördüncü bölüm olan havalimanlarında yağmur suyu drenaj tasarımı başlığı altında havalimanlarında yağmur suyu tasarım kriterleri, sürdürülebilir tasarım ve uluslararası standartlar üzerine bilgiler verilmiştir. Beşinci bölüm olan materyal ve metot bölümünde analiz adımları, kullanılan yöntemler, modellemeler ve analiz adımları incelenmiştir. İstanbul Havalimanı yağmur suyu hatlarına dair değerlendirmelerde bulunulmuştur. Altıncı kısım olan bulgular kısmında analiz sonuçları değerlendirilmiş, havza özellikleri ve mevcut drenaj sisteminin performansı incelenmiştir. Yedinci bölüm olan tartışma bölümü, analiz sonuçlarının mevcut bilgiler ile yorumlanmasını içermektedir. Sekizinci bölüm olan sonuç bölümünde çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiş, çalışma süresince karşılaşılan zorluklara karşı önerilerde bulunulmuştur. Kaynak bölümünde ise yararlanılan kaynakçalara dair bilgiler verilmiştir. Tüm bölümler birleştirildiğinde, havalimanlarında etkin yağmur suyu yönetimine dair kapsamlı değerlendirme ve öneriler sunulmaktadır.

1.6. Tezin Amacı

Tez çalışmasında, uygulama alanı olarak seçilen İstanbul Havalimanı bölgesinde, iklim değişikliği etkilerine karşı yağmur suyu drenaj sistemlerini değerlendirmek ve sürdürülebilir bir su yönetimi altyapısı oluşturmak amaçlanmıştır. Mevcut meteorolojik veriler incelendiğinde, bölgedeki veri eksiklikleri nedeniyle yağış şiddetlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesinde zorluklar yaşandığı tespit edilmiştir. Bu durumu gidermek için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) alınan RCP 4.5 iklim senaryosuna dayalı olarak, 2098 yılına kadar beklenen yağış şiddetleri regresyon analizi ile öngörülmüştür.

İstanbul Havalimanı pist ve apron bölgelerinde yağmur suyu drenaj altyapısının mevcut ve gelecekteki durumlarını değerlendirmek için InfoDrainage yazılımı kullanılarak hidrolik modelleme yapılmıştır. Bu modelleme, pist ve apron alanlarındaki su birikintilerini ve olası taşkın risklerini önlemek amacıyla uygun drenaj hattı, boru çapı ve açık kanal tasarımlarını belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonlar ve modelleme çalışmaları sonucunda, yüzey eğimleri ve yağış şiddetleri dikkate alınarak, optimum drenaj sistemlerinin nasıl olması gerektiği detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, önerilen drenaj sistemlerinin hem kapasite hem de tasarım açısından mevcut ve öngörülen koşullarda yüzey suyu birikimi ve taşkın riskini minimize edebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, pist yüzeyinde çekilen fotoğraflar ve düzenli olarak yapılan yüzey nem ölçümleri ile drenaj sistemlerinin etkinliği ve uçuş güvenliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu analizler, mevcut drenaj hatlarının yüzeyde su birikintisi oluşumunu önlemedeki etkinliğini değerlendirmek ve drenaj sisteminin iyileştirilmesi gereken alanları belirlemek amacıyla yapılmıştır. Özellikle, yağış sonrası yapılan ölçümlerle, pist yüzeyindeki suyun hızlı ve güvenli bir şekilde tahliye edilmediği gözlemlenmiş, böylece uçuş operasyonları sırasında yüzey suyu birikintisi ve yüzey neminin yol açabileceği potansiyel riskler analiz edilmiştir. Bu değerlendirmeler,

İstanbul Havalimanı'nın operasyonel güvenliğini sağlamak ve uçuş performansını artırmak için drenaj altyapısının iyileştirilmesi gereken alanlara ışık tutmaktadır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yağmur suyu drenaj sistemleri üzerine birçok kaynak, makale ve tez yazısı mevcuttur. Yapılan incelemeler daha çok kentlerde yağmur suyu geri kazanımı, sürdürülebilirliği ve drenaj sistemlerinin tasarımı üzerinedir. Havalimanlarında yağmur suyu drenaj tasarımları üzerine de önemli kaynaklar mevcuttur. Bu kaynaklar, iklim koşullarında oluşan değişiklik sonucunda havalimanı sürdürülebilirliği üzerine yapılan çalışmalardır. Bu incelemeler genellikle değişen iklim koşullarından daha az etkilenme üzerine yapılan çalışmalardır. Ancak, literatürde yer alan kaynaklarda yağmur suyu şiddetinin nasıl hesaplandığı, hangi kriterlerin göz önüne alındığı, havza koşullarının yağmur suyu hesaplamalarına nasıl etkilerde bulunduğu üzerine yol gösteren bir inceleme bulunamamıştır. Bu bağlamda, mevcut çalışmalardan farklı olarak, spesifik havalimanı senaryoları için uygulanabilir tasarım yönergeleri geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Özellikle pistlerin yağmur suyu drenajında etkin çözümlerin nasıl geliştirilebileceği üzerine bir inceleme yapılacak ve iklim değişikliğine dirençli havalimanı tasarımına yönelik önerilerde bulunulacaktır.

Havacılık sektörünün iklim değişikliğinden etkilenebileceği alanlar ise deniz seviyesinin yükselmesi, fırtına dalgalarının artması, sıcaklık ortalamalarındaki dalgalanmalar, yağış düzenindeki değişimler (yoğunluk ve tür bakımından), buzlanma koşullarındaki farklılıklar, rüzgar dinamiklerindeki değişiklikler, çölleşme riskleri ve biyoçeşitlilikteki azalmalar olarak sıralanabilir.

2.1. Taşkın Kontrolleri Üzerine Modelleme Çalışmaları

Kurak bölgelerde yağmur suyu yönetimi, artmakta olan iklim değişikliği sebebiyle önemlidir. Artan yağış anomalileriyle mevcut altyapı hatları yetersiz kalmakta ve şehirler taşkın riskiyle tehdit altında kalmaktadır. Buraydah'ın iki büyük havzası olan Al Naqaave ve Al Khaleej incelenmiştir. Yağmur suyu altyapılarının iyileştirilmesi için mevcut yağmur suyu hatları farklı analiz ve modellemelerle değerlendirilmiştir. HEC-HMS ve SewerGEMS yazılımlarıyla mevcut altyapıların kapasite yeterliliği ve taşkın riski oluşup oluşmayacağı incelenmiştir. Hatların taşkın riskini azaltmak amacıyla yağmur suyunun mikrotünellerle yönlendirilmesi ve ek havuzlar uygulanarak mevcut altyapının iyileştirilmesi çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmiştir (Allhumaid vd. 2018).

Akarçay Havzası; İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgeleri arasında yer alan, geçirimsiz toprak yapısı ve düzensiz yağışlarla taşkın riskine açık bir bölge olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, havzanın taşkın modellemesi Surface-water Modelling System (SMS) programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ArcGIS yazılımı ile hidrolojik ve meteorolojik veriler entegre edilmiştir. Yüzeysel ve sığ su modellemeleri için FESWMS ve ADH modülleri kullanılarak taşkın riskleri analiz edilmiştir. Taşkın modellemesi, taşkın sonrası oluşabilecek hasarların tahmin edilmesi ve önleyici tedbirlerin alınabilmesi açısından önemli bir rehber niteliği taşımaktadır (Burgan 2013).

Artmakta olan kentleşme sebebiyle geçirimsiz alanlar artmıştır. Bu durum da taşkın riskini artırmaktadır. Bu sebeple geleneksel yağmur suyu sistemlerinde kapasite yetersizlikleri yaşanmaktadır. Malatya ilindeki drenaj hatlarının kapasitesi Infoworks ICM yazılımı ile analiz edilmiştir. Drenaj hatları için geçmişte gözlenmiş yağış kayıtları

dikkate alınarak 5, 10 ve 15 dakikalık yağış süreleri, 2, 5 ve 10 yıllık tekrarlanma periyotları için model oluşturulmuştur. 10 yıllık geri dönüş periyoduna göre hesaplamalar yapılmıştır. Analiz sonucunda taşkın riski olan hatlar için yeşil çatı, yağmur hendekleri ve geçirgen yüzeyler uygulanarak sürdürülebilir drenaj sistemleri oluşturulabileceği önerilmiştir (Çırağ 2021).

Daha önce kentlerde yaşanmış bir taşkın olayı yarı dağıtılmış ve tam dağıtılmış hidrolik modellerde modellenmiştir. İki modelleme yöntemi arasında karşılaştırma yapılmıştır. İki modelleme arasında hangisinin uygun olduğu araştırılmıştır. Tam dağıtılmış hidrolik modellerin daha fazla ve ayrıntılı veriye ihtiyaç duyduğu fakat daha güvenli çözüm yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Pina vd. 2014).

Literatürdeki yağmur suyu şebekeleri ile ilgili olarak, mevcut sistemlerin muhtemelen başarısız olacağı ve gelecekteki iklim koşulları göz önüne alındığında yeterli olamayabilmektedir. Bu çalışmada Ankara’da mevcut altyapı tasarımlarının farklı c katsayılarına göre ve iklim değişikliği senaryolarına göre yeterliliği incelenmiştir (Oruç vd. 2020).

Sürdürülebilir kampüs uygulamalarının bir parçası olan sürdürülebilir su yönetimi, kampüsteki suyu planlamak, yönetmek ve kullanmak için bir yaklaşımdır. SWMM kullanılarak bir yağmur-yüzeysel akış modeli geliştirilmiş ve bu model, hem yağmur suyu toplanmasını anlamak hem kampüste düşük etkili uygulamalarının potansiyel faydalarını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Son olarak, kampüs içerisindeki yağmur suyu altyapı sisteminin mevcut durumu, varlık yönetimi yaklaşımıyla incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının, karar vericilere ODTÜ Kampüsü için sürdürülebilir su yönetimi stratejileri geliştirmede yardımcı olacağı düşünülmektedir (Kiraz 2018).

Odtü Kuzey Kıbrıs Kampüsü’nde, yağmur suyu toplama sistemi kurmak için yeterli potansiyel olup olmadığı araştırılmıştır. SWMM modeli yağmur suyu hatlarının yeterlilik analizinde kullanılmıştır (Harb 2015).

Adana ili’nde bekletme havuzunun mevcut yağmur suyu drenaj hattı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Hesaplamalarda yağış dağılım modeli olarak Kiefer&Chu (Chicago) Modeli kullanılmıştır. Elde edilen bulgulardan mevcut yağmur suyu drenaj sisteminin yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. PCSWMM programı kullanıldığında, 25 yıllık tekerrür süreli yağış sularının bölgeden problemsiz olarak uzaklaştırmak için mevcut hatların yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Klasik ve modern yağmur suyu uygulamaları ile modern ve sürdürülebilir yağmur suyu yönetim uygulamaları maliyet ve sürdürülebilirlik açısından karşılaştırılmış, bekletme havuzu kullanımının su taşkını gibi yaşanan olumsuzlukları engellediği ve sistem maliyetinde %15 tasarruf sağladığı tespit edilmiştir (Tanrıverdi 2018).

Güney Kore’de yer alan Seul’da taşkın simülasyonu yapılmıştır. Akışın hızlı ve verimli şekilde yapılması için tasarımın önemi vurgulanmıştır. Kentsel taşkın riskini

azaltmak için bir yağmur suyu boru hattındaki karmaşıklık miktarını belirlemenin önemli bir etken olduğunu belirtmiştir (Lee vd. 2018).

Derelerin kentsel taşkına olan etkisi incelenmiştir. Çatı oluklarının kentsel taşkınların üzerindeki etkisini analiz etmek için, üç farklı akış modeli birleştirilerek yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu birleştirilmiş yaklaşımı, kanalizasyon borularına doğrudan akan basitleştirilmiş bir yaklaşımla karşılaştırmışlardır. Birleştirilmiş yaklaşımda yüzey suyu, önce oluklara oradan da yanıl borularla kanalizasyon borularına aktarılmaktadır. Basit yaklaşımda ise yüzey suyu herhangi bir yanıl boru olmadan direkt kanalizasyon borularına aktarılmaktadır. Sonuç olarak birleştirilmiş yaklaşım, basit yaklaşıma göre taşkın tahmin edilmesini yüzde 27 oranında etkilemiştir (Jang vd. 2019).

Yağış sularının konut binalarının içinde ve dışında kullanımına ilişkin sistemlerin örneklerle değerlendirilmiş, ayrıca yağmur suyu kullanımının dünyada ve ülkemizde yasalar, yönetmelikler ve yeşil bina sertifikasyon sistemleri çerçevesinde ele alınmıştır. Yağış sularının kullanımıyla ilgili çalışmalar kapsamında, gelişmiş yağmur suyu toplama ve dağıtım sistemlerini, yağmur suyu hasadını, yağmur sularının konut içinde ve dışında kullanılmasını ayrıca binalarda yağmur suyu kullanılmasına ilişkin dünyada ve Türkiye'deki yasalar, yönetmelikler, teşvikler ve yeşil bina sertifikasyon sistemleri irdelenmiştir (Sel 2017).

Karabük Üniversitesi Sosyal Yaşam Merkezi'nin meydanında suyun etkin kullanımının sağlanması ve yüksek ısı adası özelliğine sahip olması nedeniyle bu olumsuz etkinin ortadan kaldırılması ya da etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, kamusal alanda önerilen kentsel örtü tasarımı için kullanılabilecek malzemeler belirlenmiş, bu malzemelerin yağmur suyu toplama verimi ve ısı adası etkisinin azaltılmasına dayalı özellikleri dikkate alınarak, çok kriterli karar verme yöntemi aracılığıyla bu tasarıma en uygun malzeme belirlenmeye çalışılmıştır. Malzeme seçimi için Promethee yöntemi kullanılmıştır (Temizkan 2020).

2.2. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Kaynakları Üzerine Çalışmalar

Filistin'de yetersiz su kaynaklarının olması sebebiyle yağmur suyunun geri kazanımı için çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenle, şehirlerde mevcut olan yapı stoğunun yağmur suyu hasadına olan uygunluğu incelenmiştir. Filistin'de kurulabilecek yağmur suyu hasadı sistemleri hakkında model önerisi geliştirilmiştir. Evlerin çatısına yerleştirilen depoların yüzeyde veya gömülü yapılmasının yağmur suyunun geri kazanımına nasıl bir katkı sağladığı incelenmiştir (Allabadi 2021).

Yağış sularının bir miktar sızabilmesi için suni drenajlar, yeşil alanlar oluşturmak vb. gerekmektedir. İklim değişikliğine dirençli ve kolay uyum sağlayan kent planlamasında, önce suların (içme ve kullanma suyu, evsel ve endüstriyel atıksu ve yağış suları) kontrollü şekilde kent dışına nasıl çıkarılabileceği hakkında çözümler araştırılmıştır. Yağmur suyunun geri kazanımına dair teknikler değerlendirilmiştir (Üçüncü 2022).

İstanbul'daki yağmur suyu problemlerine çözüm oluşturabilmek amacıyla, sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi için uygulanabilecek kritik yeşil altyapı örnekleri verilmiş olup, İstanbul'daki mevcut yağmur suyu altyapısıyla uyumlu bir metot olan

yağmur suyu ızgaraları ile ilgili yeni bir model geliştirilmiştir. Yağmur suyu ızgara hesaplamaları ve tasarımına farklı bir yaklaşım getirilmiş ve ızgara imalatı toplam maliyeti hesaplanmıştır (Kurtoğlu 2021).

Yağmur suyunun yerel bir su kaynağı olarak kullanılması ve taşkın risklerinin azaltılması için yağmur suyunun kontrol edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Yağmur suyu hasadının toplum ve ekolojiye katkılarından bahsedilmiş ve yağmur suyu hasadının önemine değinilmiştir (Shimabuku vd. 2018).

Schipol Havalimanı'nda suya duyarlı havalimanı tasarımı üzerine inceleme yapılmıştır. Suya duyarlı havalimanında yüksek yağış, deniz yükselmesi ve iklim değişikliğine karşı alınacak önlemler incelenmiştir. Sel baskının önlenmesi için su savunma yapıları araştırılmış, sürdürülebilirlik ve su baskınlarına karşı planlama yapılmıştır. Ayrıca suyun yükselmesi ile yer altı su seviyesi etkinliği artacağından yer altı suyu toplama bacaları yerleştirilmiş ve pompa ile denize uzaklaştırılmıştır. Toplanan yüzey suyundaki oksijen oranının düşürülmemesi ve sürdürülebilirlik için yapılan uygulamalar incelenmiştir (Dolman 2016).

Farklı sıcaklık yükselme senaryolarına göre deniz seviyesindeki yükselmenin hangi havalimanlarını tehdit ettiği araştırılmıştır. Bu yükselme ile hava trafiği kullanılamayan havalimanları nedeniyle etkilenecektir. Bu nedenle, havalimanlarının altyapılarının güçlendirilmesi, arazilerinin yükseltilmesi veya yeni bir yerleşime taşınmaları gibi öneriler sunulmuştur (Yesudian ve Dowson 2021).

Havalimanlarında ileride oluşacak taşkın, fırtına vb. iklim değişikliklerine karşı risk değerlendirmelerine karşı alınabilecek önlemler belirlenmiştir. Örneğin seyrüsefer sistemlerinin taşkınlara karşı düşük kotta konumlandırılmaması önem arz etmektedir. Daha sıcak havaya karşı ise kuzeydeki havalimanlarında sunucu odası soğutma kapasitesi gelecekteki yüksek sıcaklıklara göre dizayn edilmelidir. Bir diğer etki ise Kuzey Atlantik Bölgesi'nde hakim olacak yan rüzgarlardır. Uçuş performansını yan rüzgarlar düşürmektedir. Bu nedenle uçuş operasyonlarının etkilenmemesi için alternatif güzergahta pist planlaması yapılmalıdır. Planlama yapılırken olası iklim değişikliklerinin de göz önünde bulundurulması gereklidir (Larsen ve Fijellheim 2016).

ACI (Uluslararası Havalimanı Konseyi) kararı 3/2018 kapsamında, iklim değişikliği uyum ve esneklik ile ilgili karar kabul edilmiştir. Bu kararda iklim değişikliğini mevcut altyapı üzerine etkilerinin değerlendirilme çabası desteklenmektedir. Karbon akreditasyonu programı ve diğer yollarla sera gazı (GHG) emisyonlarını azaltmak için uygulanabilir tüm adımlar göz önünde bulundurulmalıdır (MMO 2019).

Sünger havalimanı konsepti Beijing Daxing Uluslararası Havalimanı ele alınarak incelenmiştir. Pekin Daxing Uluslararası Havalimanı'nda kapsamlı bir yağmur suyu modeli kullanarak (SWMM) LID tesislerinin etkisi üzerine bir değerlendirme yapılmıştır. Alınan sonuçlara göre LID tesislerinin uygulanması yağmur suyu uzaklaştırma kapasitesini büyük ölçüde geliştirmiştir. LID tesislerinin uygulanmasından önce ve sonra yağmur suyu akış simülasyon modelleri SWMM kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller, Pekin Daxing Havaalanı'ndaki yağmur suyu drenaj sistemi üzerinde uygulanmıştır. LID tesislerinin uygulanmasından önce ve sonra su derinliğini, tam akış

kanallarının ve taşkın durumunu, biriken suyun süresi incelenmiştir. LID sistemlerinin yağış altında yağmur suyu hatlarına olan etkisi değerlendirilmiştir (Peng vd. 2021).

Bu çalışma, limanlar ve havalimanlarının iklim değişikliğine uyum sağlamasıyla ilgili literatür taraması sunmaktadır. Deniz seviyesinin yükselmesi ve taşkınlar, altyapılar için en ciddi tehditlerdendir. Altyapının iklim değişikliğine karşı kırılganlığı değerlendirilmiş, sosyal ve ekonomik etkiler incelenmiştir. Bangkok Suvarnabhumi Havalimanı gibi örneklerle taşkın riskleri analiz edilmiş ve direnç artırıcı önlemler tartışılmıştır. Yükseltilmiş altyapılar, taşkın engelleri ve iyileştirilmiş drenaj sistemleri gibi stratejiler önerilmiştir. Risk değerlendirme modelleri, ekstrem hava olaylarının altyapıya etkilerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Gelecekte, daha kapsamlı yöntemlerle altyapıların iklim değişikliği etkilerine karşı dirençli hale getirilmesi hedeflenmektedir (Dimitriu vd. 2018).

İstanbul Havalimanı 'nda yağmur sularının toplanması, bu suların havalimanındaki yeşil alanların sulanması ve terminal binasında farklı amaçlarla kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma, yarı kurak iklim koşullarında yağmur suyu hasadı sistemlerinin tasarımı ve bu sistemlerin günlük su taleplerine uyum sağlayabilmesi için geliştirilen bir model üzerinde yoğunlaşmaktadır. Optimum depo boyutu ve yağmur suyu toplama verimliliği gibi konular ele alınarak, İstanbul Havalimanı gibi büyük altyapı projelerinde sürdürülebilir su yönetimi stratejileri önerilmiştir. Ayrıca, çalışmada bu tür sistemlerin ekonomik ve çevresel faydaları da incelenmiş, su tasarrufu ve maliyet etkinliği gibi faktörler göz önünde bulundurularak sistemin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Özellikle, yağmur suyu hasadı sistemlerinin yeşil alan sulaması ve tuvaletlerde kullanımı ile su tasarrufu sağlanabileceği ve bu şekilde su kaynaklarının daha verimli kullanılabileceği belirtilmiştir (Kılıç ve Rukiah 2022).

Spor sahalarının drenaj tasarımına ilişkin deneysel yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Spor sahalarında etkili bir drenaj sistemi oluşturmanın önemi vurgulanmış ve geleneksel deneyime dayalı yaklaşımların eksikliklerine dikkat çekilmiştir. Çalışmada, doğal yağış koşullarını taklit etmek amacıyla yağmur simülatörü tasarlanmış ve farklı drenaj kesitlerinin performansları analiz edilmiştir. Deneyler, drenaj tabakası kalınlıklarının drenaj hidrograf parametreleri üzerinde önemli etkiler yarattığını göstermiştir. Özellikle kısa süreli yoğun yağışlarda drenaj sistemlerinin etkinliği karşılaştırılmış ve uygun tasarım kriterleri önerilmiştir. Çalışma, spor sahalarının drenajına yönelik standart bir yaklaşım geliştirilmesine katkı sağlamayı ve bu alandaki literatür boşluğunu doldurmayı hedeflemektedir (Kesgin vd. 2023).

2.3. Hava Olaylarının Etkisi Üzerine Çalışmalar

Fırtınalar ve havacılığı etkileyen meteorolojik parametreler sırasıyla; Esenboğa Havalimanı için şiddetli fırtına, Atatürk Havalimanı için fırtına ve sis ve Türkiye FIR (uçuş bilgi bölgesi) sahaları için volkanik kül bulutlarının etkileri incelenmiştir. Maksimum rüzgar hızı 61 knot ölçülmüş ve 14 dakikalık bir zaman aralığında 16,2 mm yağış meydana getiren bulutlarının etkileri değerlendirilmiştir. Uçak park alanları sular altında kalmış ve terminal çatısından sızan yağmur suyu yolcuları etkilemiştir. 2006-2015 yılları arasında meydana gelmiş olan sis olaylarının aylık, yıllık dağılımları analiz edilmiştir. Türk FIR bölgelerinde etkili kül bulutlarının uçuş seviyesine olan etkileri

incelenmiştir. Bu çalışmada meteorolojik olayların havacılık sektörüne ışık tutması sağlanmıştır (Özdemir 2016).

ICAO'nun 2016 çevre raporu, havacılığın iklim değişikliği üzerindeki etkilerini incelerken, havalimanlarının iklim değişikliğine karşı uyum ve dirençlerini artırmaya yönelik stratejiler geliştirmektedir. Özellikle, gelecekte artacak sıcaklıklar ve yağış şiddeti gibi değişiklikler, havalimanı altyapısının planlanmasında dikkate alınmalıdır. Havalimanlarının su baskınlarına karşı korunması, efektif drenaj sistemlerinin ve yapısal çözümlerin geliştirilmesi önerilmektedir. Bu, havalimanı operasyonlarının devamlılığını sağlamak için kritik öneme sahiptir (ICAO 2016).

2.4. Havalimanlarında Deicing Uygulamaları Üzerine Çalışma

Deicing uygulamaları olan havalimanlarında yağmur suyu akışı, özellikle yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı ve sucul toksitiseye sahip buz çözücü kirleticilerle yüklü yağmur suyu için önemli ve maliyetli bir sorundur. Havalimanlarında, buz çözücü yağmur suyu yönetiminin mevcut uygulamalarını iyileştirme üzerine çalışma yapılmıştır (Shi vd. 2017).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Havalimanlarında Yağmur Suyu Drenaj Tasarımı

Havalimanları, büyük yüzey alanlarına sahip kompleks yapılardır ve sürekli olarak değişen hava koşullarına uyum sağlaması gereken altyapıları barındırır. Yağmur suyu yönetimi, özellikle havalimanları gibi geniş geçirimsiz yüzeylerin bulunduğu yerlerde oldukça önemlidir. Havalimanı pistleri, apronlar, taksi yolları ve terminal çevresi gibi alanlar yağmur suyunu doğal yollarla toprağa iletemez ve bu durum suyun yüzeyde hızla birikmesine neden olur. Yağmur suyunun yüzeyde birikmesi, uçuş operasyonlarını aksatabilir, güvenlik riskleri yaratabilir ve altyapıya zarar verebilir. Bu nedenle, yağmur suyu drenaj tasarımı, havalimanlarının sürdürülebilirliği ve operasyonel güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Havalimanları gibi geniş yüzeylere sahip altyapılarda, yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarımı, uçuş güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Su birikintileri, pistlerde ve taksi yollarında uçakların kalkış ve iniş sırasında kayma riskini artırarak hidroplaning gibi tehlikeli durumlara neden olabilir. Aynı zamanda yüzey suyunun yetersiz drenaj koşulları sebebiyle göllenmesi, uçakların fren performansını düşürerek operasyonel aksaklıklara yol açabilir. Bu nedenle, yağmur suyunun drenaj sistemleri aracılığıyla yüzeyden etkili bir şekilde toplanarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Havalimanları, büyük yüzey alanlarına sahip olduğu için yüksek miktarda yağmur suyu toplar. Pistler, apronlar ve taksi yolları gibi büyük geçirimsiz yüzeyler, suyun doğal yollardan toprağa sızmasını engeller. Bu yüzeylerde biriken suyun hızla uzaklaştırılması için iyi tasarlanmış drenaj sistemlerine ihtiyaç duyulur. Yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarımı, suyun hızlı ve güvenli bir şekilde toplanarak, birikmesini önlemeyi hedefler.

3.2. Drenaj Sistemleri Tasarım İlkeleri

Havalimanında, yağmur suyu drenajı ve apron yüzeyinde birikmiş olan suyun deşarjı tasarım kriterleri ile belirlenmiştir. Belirlenmiş olan tasarım kriterlerinde apron yüzey eğimi, boru çapları ve drenaj hatları kapasitesine değinilmiştir. Beton ve asfalt yüzeylerde suyun sızdırmazlık özelliği olduğu için yağış anomalilerinde yağmur suyunun etkili bir şekilde uzaklaştırılması önemlidir. Yüzeyden suyun etkili şekilde uzaklaştırılabilmesi için yüzey eğimi, boru çapları ve drenaj halarının kapasitesi, yüzey kaplama özellikleri, hidrolik tasarım ve iklim değişiklikleri etkilidir. Tüm bu etkenler uluslararası kaynaklarda belirlenmiştir. Kriterlerin olduğu uluslararası kaynaklar:

- ICAO Annex 14 (Uluslararası Sivil havacılık Örgütü, Ek 14 Cilt 1)
- ICAO Annex 14 (Uluslararası Sivil havacılık Örgütü, Ek 14-Cilt 2)
- FAA AC (Federal Sivil Havacılık İdaresi)
- EASA CS-ADR-DSN (Avrupa Birliği Havacılık Güvenlik İdaresi)
- CAP 168 (İngiltere Sivil Havacılık Otoritesi)
- IATA (Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği)
- ISO VE ASTM Standartları
- PIARC (Uluslararası Yol Kongresi Derneği)

3.2.1. Yüzey eğimi ve akış yolları

Havalimanlarında yüzeye düşen suyun hızlı şekilde uzaklaştırılabilmesi için yüzey eğimlerinin uygun şekilde uygulanması önemli bir husustur. Etkili bir şekilde uzaklaştırılamayan yüzey suyu su birikintilerine neden olacak ve uçuş güvenliğini riske atacaktır. Uçuş güvenliğinin risk teşkil ettiği durumlarda da uçuş operasyonları durdurulacak havalimanı için ekonomik açıdan kayba sebep olacaktır. Uluslararası kaynaklarda pistlerin yüzey eğimlerinde belli standartlar belirlenmiştir. ICAO'da; maksimum boyuna eğim %1,2, enine eğim ise %1-1,5 arasında olabilir. FAA, IATA, PIARC ve EASA'da boyuna eğim %1,5, enine eğimler %0,5-1,5 arasında uygulanması önerilmektedir. CAP 168'de boyuna eğim %1,5,%1-1,5 olarak önerilmektedir. Bu önerilen standartlar suyun yüzeyden hızlı bir şekilde uzaklaştırılabilmesi için önerilmektedir. Taksi yolları ve apronlar da suyun hızlı şekilde uzaklaştırılabilmesi için %1 ile %1,5 arasında uygulama yapılması önerilmektedir. Apron yüzeylerinde suyun etkili bir şekilde deşarjı mümkün olacaksa daha düşük oranda eğimler uygulanabilmektedir. Daha düşük eğim uygulanabilmesinin sebebi uçakların apron alanlarında park pozisyonlarında olması sebebi ile yüksek eğimler uçakların hareket etmesine sebep olabilir. Ayrıca yer hizmetleri ekipmanlarının daha kolay hareket edebilmesini sağlar. Ayrıca apron alanları geniş yüzeyli alanlar olduğu için yüzey suyunun daha kontrollü şekilde tahliye edilebilmesini sağlar. Pistlerde ise uçaklar daha yüksek hızda hareket etmektedir ve su yastıklamasının oluşmaması önem arz etmektedir. Su yastıklaması, uçak tekerleğinin apron yüzeyi ile suyun olması sebebi ile temasını kaybetmesidir. Bu da uçak kontrolünün kaybedilmesine sebep olabilmektedir. Pist yüzeyinden suyun tahliyesi için uygulanacak kriterler uluslararası şartnamelerde standartlaştırılmıştır. EASA ve FAA'de 5-10 dakikada suyun tahliyesi önerilmektedir. ICAO'da ise 20 dakikada suyun tahliyesi önerilmektedir. Havalimanlarında uygulanacak yüzey eğimlerinde bu standartlara uyulmalıdır. Uçak iniş ve kalkışlarının performansında pist yüzeyinde birikmiş yüzey suları önem arz etmektedir. Bu sebeple, yüzey suyunun bu süreler içinde tahliyesi önemlidir. Tahliye edilemeyip pistlerin yüzeyinde birikmiş olan su; uçakların kaymasına, frenleme performansının düşmesine ve su yastıklaması gibi tehlikeli durumların oluşmasına neden olabilir.

3.2.2. Boru çapları ve drenaj hatlarının kapasitesi

Yağmur suyunu tahliye edecek boruların çapı ve drenaj hatlarının kapasitesi önemlidir. Havalimanı gibi geniş yüzey alanları üzerinde, toplanan yağmur suyu miktarı çok yüksektir. Bu suyun güvenli bir şekilde taşınabilmesi için drenaj boruları ve kanallarının yeterli genişlikte ve kapasitede olması gerekir. Boru çapları, tasarım aşamasında dikkate alınan yağış miktarına ve yağmur suyunun akış hızına göre belirlenir. Yoğun yağış dönemlerinde sistemin tıkanmadan çalışabilmesi için yüksek kapasiteli hatlar kullanılmalıdır. Yağmur suyunun yüzeyden güvenli bir şekilde uzaklaştırılması için yeterli çap ve eğimde borular ve açık kanallar kullanılmalıdır. Boru çapları, tasarım aşamasında alınan yağış miktarına, yüzey alanına ve özelliklerine göre belirlenir. Drenaj sistemleri, büyük yağış olaylarında bile tıkanmadan ve taşma yapmadan çalışabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

3.2.3. Yüzey kaplama özellikleri

Havalimanlarında apron, pist ve taksiyollarının yüzeyleri, uçakların teker yüküne dayanıklı ve pürüzsüz olması için, beton veya asfalt tabakalarından yapılması gereklidir. Beton ve asfalt kaplama çatlama ve çökme durumlarının yaşanmasını minimuma indirmektedir. Yağmur suyu drenaj sistemlerinde, yüzeyde biriken suyun etkin bir şekilde yönlendirilmesi ve toplanması gerekir. Apron, taksiyolları ve pistlerde çatlak veya çukurların oluşması yüzey sularının bu noktalarda birikmesine ve göllenmeye sebep olmaktadır. Düzgün ve pürüzsüz beton ve asfalt kaplamalarının uygulanması suyun yüzeyde birikmeden akmasını sağlamaktadır. Beton ve asfalt kaplamanın uygulanması, yeraltına suyun iletilmesine engel olduğu için tüm yağış suyu yüzey akışına geçmektedir. Bu durum suyun daha kontrollü yönetimini sağlamaktadır. Yapılan tasarımlarda da yüzey özellikleri dikkate alınmalıdır.

3.2.4. Hidrolik tasarım ve iklim değişikliği senaryoları

Küresel hava değişiklikleri, günümüzde yağış ve mevsim koşullarını etkileyen bir unsurdur. İklim değişikliği, ani yağış ve fırtına olaylarının oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle kullanılacak yağış şiddeti için uzun dönemli yağış kayıtları, kısa dönemli ani yağış olayları, gelecek zaman dilimlerinde beklenen yağış değerleri incelenmelidir. Analiz edilen yağış şiddeti verilerine göre hatların tasarımı yapılmalıdır. Uzun dönem yağış verileri kullanıldığında ve yağış değişimleri göz önüne alındığında, hatlar yağış değişimlerine karşı daha esnek özellikte olacaktır. İklim modelleri, iklim senaryoları ve istatistiksel yaklaşımlar gelecek yıllara dair veri analizinde yol gösterici olacaktır. Bu esneklik, sistemin ileride iyileştirilmesi veya genişletilmesi gerektiğinde kolayca adapte olmasını sağlayacaktır.

3.3. Sürdürülebilir Yağmur Suyu Tasarım Sistemleri

Sızdırma özelliği olan doğal yüzeylerin uygulanması; yağmur suyunun yüzey akışına dönüşmesini bir miktar engelleyerek, drenaj hatlarına daha az yük binmesini sağlayacaktır. Böylece, beklenmeyen yağış olaylarında taşkın riskinin bir miktar önüne geçilerek, daha sürdürülebilir altyapı sağlayacaktır. Yeşil altyapı sistemleri, geçirgen yüzey uygulamaları, doğal su yönetimi sistemi ve su geçişini yavaşlatan yapılar ile sürdürülebilir su yönetimi sağlanabilmektedir.

Bazı havalimanları yeşil altyapı ve LID sistemleri uygulanmaktadır. Yağmur suyu bahçeleri, geçirgen zeminler, yeşil çatı ve yağmur suyu depolama sistemleri yeşil altyapı sistemlerine örnek olarak verilebilir. Uygulanan yeşil altyapı sistemleri ile suyun bir kısmının filtrelenmesini veya depolanmasını sağlayarak drenaj hatlarında daha az debi yükünün oluşmasını sağlar. Bu uygulamalar da taşkın riskini azaltır, karbon emisyonunu azaltır ve yağmur suyunun daha kontrollü yönetilebilmesini sağlar. Sık olarak kullanılmakta olan LID sistemleri yağmur suyu bahçeleri ve biyofiltreler, geçirgen zeminler ve yağmur suyu depolama ve geri kazanım sistemleri olarak sıralanabilir.

3.3.1. Yağmur bahçeleri ve biyofiltreler

Fazla miktardaki yağmur suyunu toplar. Havalimanının içinde uygulanması kuşları çekebileceği ve uçuş güvenliğini riske atacağı için havalimanı etrafında uygulanabilir bir çözümdür. Böylece havalimanının çevre etkilerden daha az

etkilenmesini sağlar. Biyofiltre uygulanması suyun kalitesini artırır, suyun filtrelenmesini sağlar. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi Jewel Changi Havalimanı’nda uygulanan yağmur suyu bahçesi yer almaktadır.



Şekil 3.1. Jewel Changi Havalimanı yağmur suyu bahçesi (Kara 2019).

3.3.2. Geçirgen zeminler

Havalimanları yüzeyleri sızdırmazlık özelliğine sahip olduğu için yağmur suyunun, bazı bölgelerde geçirgen zemin uygulaması ile yeraltı suyu olarak geri kazanılması sağlanmıştır. Havalimanlarında düşük trafik yükü olan peyzaj alanları, yaya yolları ve otopark alanları gibi büyük alanlarda geçirgen zemin uygulaması yapılabilmektedir. Operasyonel alanlarda dayanımı düşük olması sebebi ile kullanılması önerilmemektedir. Chicago O’hare Havalimanı, San Francisco, Dallas Uluslararası Havalimanları bazı geçirgen zemin uygulamalarının yapılmış olduğu havalimanlarıdır. Geçirgen zemin yağmur suyunun bir miktarının sızmasını sağlayarak yüzey akışını azaltır.

3.3.3. Yağmur suyu depolama ve geri kazanım sistemleri

Yağmur suyu olarak akışa geçen su, drenaj hatları ile toplanarak yağmur suyu depolarında toplanır. Depolanan su ise sulama suyu olarak kullanılabilir. Yağmur suyu depoları uygulaması yağmur suyu drenaj sistemlerinde aşırı yüklenme olmasını engeller, sel ve taşkın riskini azaltmaktadır.

3.4. İklim Değişikliğinin Yağmur Suyu Tasarımına Etkileri

Günümüzde ve gelecek yıllarda etkisi göstermekte olan iklim değişikliği, yağmur suyu yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Atmosferde oluşan karbon dioksit, metan gazları ve azot oksitler güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşarak geri yansıyan ışınlarını hapsedmektedir. Bu durum mevsim zamanlarının kaymasına, aşırı yağış ve sel olaylarına,

rüzgar şiddetinin değişmesine, kuraklıklara, deniz sıcaklıklarının artmasıyla birlikte buzulların erimesine, kıyı bölgelerinde su baskınlarına neden olmaktadır. Yağış dağılımlarında dengesizlikler yaşanmaktadır. Bazı bölgeler aşırı yağış almakta, bazı bölgelerde ise kuraklıklar yaşanmaktadır. Yağışlardaki anomaliler; tarım ürünleri zarar gördüğü için besin kıtlıklarının yaşanmasına, içme suyu kıtlığına, hayvancılığın zarar görmesine, orman yangınlarındaki artışa, hayvanların yaşam alanlarının yok olmasına ve insan sağlığını tehlikeye atan bulaşıcı hastalıkların oluşmasına sebep olmaktadır. Su baskınları sebebi ile ulaşım ve altyapı sistemleri olumsuz etkilenmektedir. İklim değişikliğine karşı oluşacak etkileri en aza indirebilmek için yağış koşullarındaki değişim göz önüne alınarak altyapı tasarımları yapılmalıdır.

3.4.1. Yağış miktarı ve görülme sıklığının artması

İklim değişikliği sebebi ile sıcaklıklarda artışlar yaşanmaktadır. Bu durum da daha fazla su buharının atmosferde tutulmasını sağlar. Tutulan su buharı sebebi ile de şiddetli ve ani yağış olayları yaşanır. Şiddetli yağışlar mevcut altyapı sistemlerinin yetersiz olmasına sebep olmaktadır. Bazı bölgelerde ise yağışın azalmasına ve su kıtlığına sebep olmaktadır. Mekan ve zaman olarak yaşanan yağış düzensizlikleri, yağış frekanslarında değişime yol açacaktır.

3.4.2. Yağış rejimindeki değişiklikler

İklim değişiklikleri sebebi ile yağış dengeli bir dağılım göstermeyebilir. Bazı dönemlerde yoğun yağış veya az yağış oluşabilir. Bu oluşumların sebebi hava hareketlerindeki bozulmalar ve atmosferin su buharı taşımasıdır. Değişen yağış koşulları sel ve taşkın risklerini artırır, drenaj kapasitelerini yetersiz kılar ve yağmur suyu kalitesinde bozulmalar oluşturabilir.

3.5. Değişen Yağış Koşullarına Karşı Tasarım Önlemleri

İklim değişiklikleri sebebi ile yüksek yoğunluktaki yağışlar için taşkın kontrolleri:

- Drenaj sistemlerinin değişen yağış koşullarına göre tasarlanması,
- Eski altyapıların düşen maksimum yağışa göre iyileştirilmesi,
- Yeşil alan uygulamaları,
- Yüzey suyunun yer altına iletilebilmesi için geçirimli yüzey uygulamaları,
- Taşkın havzaları veya havuzları uygulamaları,
- Doğal altyapı uygulamaları
- Erken uyarı ve izleme sistemlerinden faydalanılması ile önlenabilir.

3.6. Drenaj Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi ve İyileştirilmesi

Eski altyapıların değişen iklim koşullarına göre performans değerlendirmelerinin yapılması önemli bir husustur. Drenaj hattının hesaplanmasında uzun yıllık yağış şiddeti verileri performans değerlendirmesi için göz önünde bulundurulması gereken bir kriterdir. Performans değerlendirmesi sonucunda doluluk oranını aşan ve taşkın riski olan altyapılarda iyileştirme yapılması gereklidir. Drenaj sistemlerinin etkinliğini değerlendirmenin bir diğer önemli yolu da düzenli izleme ve bakım süreçleridir. Mevcut hatta tıkanıklık olup olmadığı, gerekli bakım ve onarımlarının yapılması da önem arz

etmektedir. Bu sebeple drenaj hatlarına dair düzenli bakımların yapılması ve aralıklı dönemlerde hat doluluk oranlarının kontrolü yapılmalıdır.

3.7. Havalimanı Drenajı İle İlgili Yönetmelikler ve Öneriler

Havalimanı drenaj sistemleri, pistlerin, apronların ve diğer kritik alanların güvenliğini sağlamak amacıyla tasarlanmış önemli altyapılardır. Bu sistemler, hava koşulları nedeniyle meydana gelen su birikintilerini yönetmek ve operasyonel güvenliği artırmak için uygun şekilde planlanmalı ve inşa edilmelidir. Havalimanı drenajı ile ilgili yönetmelikler, uluslararası standartlarda belirlenmiştir. Aşağıda, yağmur suyu tasarımına dair uluslararası standartlar belirtilmiştir.

3.7.1. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) standartları

ICAO, havalimanı tasarımı ve güvenliği konusunda önemli standartlar oluşturmuştur. ICAO Annex 14, havalimanlarının drenaj sistemlerine ilişkin gereklilikleri açıklar. Drenaj sistemlerinin, havalimanı yüzeylerinden suyun hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlaması, pist ve apronların üzerinde su göllenmesini önleyici nitelikte olması gerekmektedir. Yüzey akışı, uçağın iniş ve kalkış operasyonları sırasında tehlike oluşturabilecek herhangi bir kayganlık durumuna sebep olmamalıdır.

3.7.2. Federal Havacılık İdaresi (FAA) yönetmelikleri

ABD’de, FAA tarafından yayınlanan Danışma Belgeleri (AC 150/5320-5D) havalimanı tasarımı ve inşaatıyla ilgili birçok yönerge sunar. FAA AC 150/5320-5D, havaalanlarında su yönetimi ve drenaj sistemlerinin tasarımı hakkında ayrıntılı talimatlar verir. Bu yönetmelikte, pistlerin ve apronların eğimleri, drenaj kanallarının boyutları ve suyun etkili bir şekilde yönlendirilmesi üzerine odaklanılmaktadır.

3.7.3. Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) yönetmelikleri

Türkiye’de havalimanı inşaatı ve işletmesine ilişkin yönetmelikler, ICAO ve Avrupa standartlarına uyumlu olarak hazırlanmıştır. SHGM tarafından belirlenen Havalimanı tasarım standartları, drenaj sistemlerinin tasarımı için özel hükümler içermektedir. Bu yönetmeliklerde, yerel iklim koşullarına göre drenaj hesaplarının yapılması ve uzun vadeli dayanıklılık ile suyun etkin bir şekilde uzaklaştırılmasının sağlanması önem taşır. İstanbul Havalimanı ve Yağmur Suyu Drenaj Sistemi Önemi

İstanbul Havalimanı, dünya çapında stratejik bir konuma sahip olması ve geniş operasyonel kapasitesiyle öne çıkan bir havalimanıdır. Hem Avrupa hem de Asya arasında köprü niteliği taşıyan İstanbul Havalimanı, büyük bir coğrafi alana yayılarak, yılda milyonlarca yolcuya hizmet vermektedir. Havalimanı, yapısal büyüklüğü ve tasarımı nedeniyle yağmur suyu yönetimi açısından dikkatli bir planlama ve uygulama gerektirmektedir.

İstanbul Havalimanı’nın bulunduğu bölge, yıl boyunca yoğun yağış alan bir iklime sahiptir. Karadeniz kıyısına yakın olması, mevsimsel yağışların yanı sıra ani ve şiddetli yağışlara da maruz kalmasına sebep olmaktadır. Bu meteorolojik koşullar, havalimanının pist ve apron alanlarındaki su birikintilerinin önlenmesi adına özel bir

yağmur suyu drenaj sistemine ihtiyaç duyulmasına neden olur. Havalimanındaki yağmur suyu yönetim sistemi, yüzeyde oluşabilecek su birikintilerinin ve olası taşkınların hava trafiği üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmek için tasarlanmıştır. Yoğun yağışlar, özellikle pistlerde ve apronlarda su birikmesine neden olabilir. Bu su birikintileri, uçakların iniş ve kalkış sırasında kayma riskini artırarak operasyonel aksamalara ve güvenlik sorunlarına yol açabilir. Bu nedenle, İstanbul Havalimanı 'ndaki drenaj altyapısı, suyun yüzeyden hızla ve güvenli bir şekilde tahliye edilmesini sağlamak üzere optimize edilmiştir. Yağmur suyu drenaj sisteminin tasarımında kullanılan teknolojiler ve yöntemler, suyun hızlıca drenaj hatlarına yönlendirilmesini ve borular aracılığıyla güvenli alanlara taşınmasını hedefler. İstanbul Havalimanı 'nda kullanılan yağmur suyu drenaj sistemi, yüksek kapasiteli boru hatları, açık kanallar ve modern drenaj sistemleriyle donatılmıştır. Bu sistemler, yağmur suyunun hızlı bir şekilde toplanmasını ve etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar. İklim değişikliği, yağış düzenlerinde değişikliklere ve aşırı hava olaylarının sıklığında artışa yol açabilir. Bu nedenle, İstanbul Havalimanı 'nın drenaj altyapısı, gelecekte yaşanabilecek yoğun yağışlara ve olası su baskınlarına karşı dayanıklı olması gereklidir.

Yağmur suyu drenaj sistemlerinin başarısı, havalimanının güvenli operasyonlarına ve uçuş güvenliğine doğrudan katkı sağlar. Havalimanı yönetimi, su birikintilerinin ve taşkınların önlenmesi amacıyla yüzey eğimleri, boru çapları ve su tahliye kapasitelerini sürekli olarak izleyerek ve bakım onarımları yapılarak sistemin etkinliğini en üst düzeyde tutmaya çalışmaktadır.

3.8. Havalimanlarında Yağmur Suyu Tasarım Adımları

Havalimanlarında, yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarımında bazı yöntemlerin izlenmesi gereklidir. Tasarım sürecinde yağmur suyu yönetimi, havalimanının geniş yüzey alanlarını ve farklı bölümlerinin yapısal ve fonksiyonel ihtiyaçlarını göz önünde bulundurmalıdır. Bu kapsamda, havalimanlarında yağmur suyu hatlarının belirlenebilmesi için ; ön araştırma ve veri toplama, topoğrafik analiz, iklim ve yağış verileri, yağış frekansının belirlenmesi, IDF (şiddet-süre-tekerrür) eğrileri, geri dönüş periyotları, taşkın ve yüzeysel su birikintisinin belirlenmesi, pik debi oranının tespiti, yüzey drenajlarının tasarımı, yağış miktarının belirlenmesi ve drenaj hatlarının tasarımı önem verilmesi gereken hususlardır.

3.8.1. Ön araştırma ve veri toplama

Tasarım sürecinin başlangıcında, sahaya özgü verilerin toplanması tasarım için ilk adımdır. Bölgesel yağış istatistikleri, havaalanının topoğrafik yapısı, zemin özellikleri ve mevcut drenaj altyapısına dair tüm veriler bu aşamada elde edilir. Yağış verileri, tasarımın temelini oluşturur. Bu veriler, gelecekteki yağış olaylarının analizine olanak tanır. Ayrıca, yeraltı su seviyesi gibi hidrolojik veriler de tasarım sürecine dahil edilir.

3.8.2. Topoğrafik analiz

Havzanın bulunduğu bölgenin yüzey şekillerinin, zemin özelliklerinin, su akış yönlerinin ve iklim koşullarının değerlendirilmesi topoğrafik analiz amacıyla yapılmaktadır. Havalimanı drenaj sistemi tasarımında, havza su akış yönlerinin tayini ve mevcut yağmur suyu hatlarının bilinmesi önemlidir. Drenaj sistemleri, yüksek kottan

düşük kotun olduğu noktaya doğru cazibeli olarak tasarlanmaktadır. Havza topoğrafyasının bilinmesi, dijital yükseklik verileri de analiz edilerek, suyun hangi bölgelerde toplanacağına dair bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Bu veriler, suyun toplanabileceği noktalara karşı önlemler alabilmemizi sağlayacaktır. Havalimanı gibi büyük alanlarda, topoğrafik harita incelenerek suyun toplanabileceği alanlara ve daha önce yapılmış yağmur suyu hatlarına göre yağmur suyu altyapı güzergahı belirlenir. Yüzey eğimleri ile su yönlendirilir ve suyu toplayabileceğimiz drenaj kanalları oluşturulur. Drenaj ihtiyaçlarının hesabı ve değerlendirilmesi için sahanın yerinde incelenmesi önem arz etmektedir.

3.8.3. İklim ve yağış verileri

İklim ve yağış verileri, havalimanları gibi büyük altyapı projelerinin planlanmasında ve yönetiminde hayati bir rol oynar. Özellikle yağmur suyu drenaj sistemleri tasarlanırken, bu veriler sistemin güvenliğini ve verimliliğini sağlamak için temel alınır. Bir bölgedeki iklim özellikleri ve yağış miktarları, su yönetiminin doğru şekilde planlanmasına yardımcı olurken, gelecekteki risklerin öngörülmesine de katkı sağlar. İklim verileri, bir bölgenin uzun dönemli hava koşullarını belirler ve bu veriler yağış, sıcaklık, rüzgar yönleri, nem oranları gibi unsurları içerir. Bir havalimanı inşa edilirken, bu veriler göz önüne alınarak tasarım kararları verilir. Örneğin, pistlerin su birikintisinden korunması, yağış sıklığı ve şiddetine göre planlanır. İklim verileri, uzun dönemli ortalamaları sunduğu için drenaj sistemlerinin boyutlandırılması ve olası su baskınlarına karşı önlemlerin alınmasında kritik bir veri seti sunar. Yağış verileri, havalimanı drenaj sistemlerinin kapasitesini belirlerken kullanılan ana parametrelerden biridir. Bölgedeki yağış yoğunluğu, yağmur suyu toplama ve tahliye sistemlerinin yeterliliğini doğrudan etkiler. Yağış verileri, genellikle milimetre (mm) cinsinden ölçülür ve belirli zaman dilimleri içerisinde (saatlik, günlük, yıllık) kaydedilir. Bir havalimanı için tasarlanan drenaj sistemlerinde, yağmur sularının birikmeden tahliye edilmesi için bu verilerin kullanımı son derece önemlidir. Özellikle şiddetli ve ani yağışların yaşandığı bölgelerde, suyun birikme potansiyeline karşı önlemler alınması gereklidir. Yağış şiddeti, belirli bir zaman aralığında bir bölgeye düşen yağış miktarını ifade eder. Yoğun yağışlar, su birikintilerinin oluşmasına yol açarak hem operasyonel güvenliği hem de altyapıyı tehdit edebilir. Bu nedenle, havalimanlarında yağmur suyu drenaj sistemleri tasarlanırken, uzun döneme ait yüksek yağış şiddeti dikkate alınmalıdır. Örneğin, çok kısa sürede yüksek miktarda yağış alan bölgelerde, suyun hızlı tahliyesini sağlayacak geniş çaplı drenaj sistemleri ve yağmur suyu depolama sistemleri devreye sokulmalıdır. Havalimanı yüzeylerinin uygun eğimlerle tasarlanması, suyun drenaj kanallarına doğru yönlendirilmesini sağlar ve suyun göllenmesini önler. İklim değişikliği, yağış düzenlerinde belirgin değişikliklere neden olabilir ve bu durum su yönetimi stratejilerini zorlaştırabilir. Gelecekte artan yağış miktarları ve ani yağış olayları, havalimanı drenaj sistemlerinin kapasitelerini zorlayabilir. İklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkabilecek aşırı hava koşullarına karşı hazırlıklı olmak amacıyla, iklim projeksiyonları kullanılarak drenaj sistemleri genişletilebilir veya güçlendirilebilir. Yağış verileri, yerel meteoroloji istasyonlarından ve uluslararası iklim veri tabanlarından temin edilebilir. Bu veriler, havalimanı projelerinde kullanılmak üzere analiz edilerek tasarım aşamasına dahil edilir. İstanbul Havalimanı örneğinde olduğu gibi, proje sürecinde 100 yıllık yağış verileri analiz edilerek drenaj sistemleri tasarlanmış ve suyun en hızlı şekilde tahliye edilmesi için yüzey eğimleri optimize edilmiştir. Yağış verilerinin sürdürülebilir bir su yönetim

sistemiyle entegre edilmesi, havalimanlarında suyun yeniden kullanılabilir hale getirilmesine olanak tanımaktadır. Toplanan yağmur suları, havalimanının sulama, yangın söndürme gibi ihtiyaçları için kullanılabilir. Ayrıca, yağmur suyunun çevreye etkilerini azaltmak amacıyla biyolojik arıtma sistemleri ve sızdırma kanalları gibi sürdürülebilir çözümler devreye alınabilir. Böylece hem suyun geri kazanılması sağlanır hem de altyapının çevresel etkileri azaltılır.

3.8.4. Yağış miktarı ve frekansının belirlenmesi

Havalimanı gibi büyük altyapı projelerinde yağış miktarı ve frekansı, etkin su yönetimi ve güvenli drenaj sistemlerinin tasarımı için kritik veriler sağlar. Yağış miktarı, bir alana düşen toplam yağmur suyu hacmini ifade ederken, yağış frekansı, belirli büyüklükteki yağış olaylarının ne sıklıkla tekrarlanacağını gösterir. Bu iki parametre, uzun yıllar boyunca toplanan meteorolojik veriler ışığında değerlendirilir ve çeşitli analiz yöntemleriyle ortaya konur.

3.8.5. IDF eğrileri

Havalimanları, geniş yüzey alanlarına sahip, operasyonel güvenliğin en üst düzeyde tutulması gereken tesislerdir. Yağmur suyu drenaj sistemlerinin bu tür büyük altyapılarda etkin bir şekilde çalışması, su birikintisi ve taşkın risklerinin önlenmesi için kritik öneme sahiptir. Yağmur suyu drenaj tasarımında kullanılan temel araçlardan biri, IDF eğrileridir. IDF eğrileri, belirli bir bölgede yağış şiddetini, süresini ve sıklığını bir arada değerlendiren grafiksel göstergelerdir ve drenaj sistemlerinin boyutlandırılmasında önemli bir parametre olarak kullanılır. IDF eğrileri, belirli bir bölgede farklı sürelerde meydana gelen yağışların belirli sıklıklarla ne kadar yoğun olduğunu gösteren grafiklerdir. Yağmur suyu yönetimi ve tasarımı için kritik bir bileşen olan IDF eğrileri, yağışın şiddeti ile yağış süresi arasındaki ilişkiyi inceleyerek, sistemlerin farklı hava koşullarında nasıl performans göstermesi gerektiğini belirler. Bu eğriler, havalimanları gibi geniş ve geçirimsiz yüzey alanlarının bulunduğu bölgelerde drenaj hatlarının ve su toplama sistemlerinin boyutlandırılmasında kullanılır. IDF eğrileri, yağışın tekrerrürü (bir yağış olayının ne sıklıkla gerçekleşeceği), süresi (yağışın ne kadar sürdüğü) ve şiddetinin (yağışın birim zaman başına düşen miktarı) birlikte değerlendirilmesiyle oluşturulur. Drenaj sistemlerinin tasarımında bu eğriler kullanılarak farklı geri dönüş periyotlarına sahip (örneğin, 10 yıllık, 50 yıllık) yağış senaryoları modellenir ve sistemin en yoğun yağış koşullarına dahi dayanıklı olması sağlanır.

Havalimanları, geniş asfalt veya beton gibi geçirimsiz yüzeylerden oluşur. Bu nedenle, yağmur suyu doğal yollarla toprak tarafından emilemez ve yüzeyde hızla birikmeye başlar. Yağmur suyunun güvenli bir şekilde tahliye edilebilmesi için iyi tasarlanmış bir drenaj sistemine ihtiyaç duyulur. Bu sistemlerin tasarımında IDF eğrileri temel bir rehber görevi görür. Havalimanlarında IDF eğrileri, maksimum yağış yoğunluklarını ve bunların hangi sürede ve sıklıkta meydana geleceğini belirlemek için kullanılır. Bu bilgiler, drenaj hatlarının kapasitesinin ve boru çaplarının doğru bir şekilde boyutlandırılmasını sağlar. Özellikle apronlar, pistler ve taksi yolları gibi kritik operasyon alanlarında yağmur suyu yönetimi, uçuş güvenliğini doğrudan etkiler.

Yağmur suyu drenaj sistemlerinin boyutlandırılması ve tasarımında IDF eğrileri belirli adımlar çerçevesinde kullanılır. İlk olarak, belirli bir bölgedeki geçmiş yağış

verileri analiz edilerek IDF eğrileri oluşturulur. Daha sonra bu eğriler, drenaj sistemlerinin hangi koşullarda çalışması gerektiğini anlamak için kullanılır.

3.8.6. Geri dönüş periyotları

Drenaj sistemleri tasarlanırken, nadiren meydana gelen fakat şiddetli etkiler yaratan yağış olayları da dikkate alınmalıdır. IDF eğrileri, farklı geri dönüş periyotlarına ait yağış miktarını gösterir. Örneğin, 10 yıllık geri dönüş periyoduna sahip bir yağış, belirli bir bölgede her 10 yılda bir görülen yağış miktarını ifade eder. Havalimanı drenaj sistemleri, genellikle 50 yıllık veya 100 yıllık geri dönüş periyodlarına göre boyutlandırılır çünkü bu tür ekstrem olaylar altyapı üzerinde yüksek drenaj yükü oluşturur. IDF eğrileri, bu periyotlara dayalı olarak drenaj sisteminin kapasitesini belirlemede temel bir araçtır.

3.8.7. Taşkın ve yüzeysel su birikintisi risklerinin değerlendirilmesi

IDF eğrileri; havalimanı pistleri, apronlar ve taksi yolları gibi kritik alanlarda taşkın risklerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Yoğun yağışların kısa sürede büyük miktarda su birikmesine neden olabileceği bu bölgelerde, IDF eğrilerine dayanarak tasarlanmış bir drenaj sistemi, suyun hızla tahliye edilmesini sağlar. Kullanılan bu yöntem, uçuş operasyonları sırasında güvenliği sağlamak için önemlidir. Ayrıca, taşkın riskinin yüksek olduğu bölgelerde suyun toplanması için ekstra önlemler alınabilir. Örneğin geçici su tutma havuzları veya suyu yavaşça tahliye eden sistemler gibi. IDF eğrileri, yerel iklim verilerine dayalı olarak oluşturulur. Her bölgenin yağış özellikleri farklıdır ve bu nedenle IDF eğrileri, her havalimanı için özelleştirilmiş bir yaklaşım sunar. Yerel meteorolojik veriler, geçmiş yağış kayıtları ve iklim projeksiyonları kullanılarak IDF eğrileri hesaplanır. Daha sonra bu veriler, drenaj sistemlerinin en yoğun yağış koşullarında nasıl performans göstermesi gerektiğini belirler. Özellikle iklim değişikliği göz önüne alındığında, gelecekte yağış düzenlerinin değişebileceği ve aşırı hava olaylarının artabileceği öngörülmektedir. Bu durum, IDF eğrilerinin geleceğe yönelik projeksiyonlar dahilinde yeniden değerlendirilmesini gerektirir. Havalimanı gibi kritik altyapılarda, IDF eğrilerinin dinamik olarak güncellenmesi ve sistemlerin bu değişikliklere uyum sağlaması gereklidir.

3.8.8. Pik debi oranlarının belirlenmesi ve yağmur suyu drenaj tasarımındaki rolü

Yağmur suyu drenaj sistemleri tasarlanırken, suyun yüzeyden ne kadar hızlı miktarda akacağını belirlemek büyük önem taşır. Pik debi, belirli bir yağış olayı sırasında drenaj sistemi üzerinden geçen maksimum su akış hızını ifade eder. Pik debi oranlarının doğru bir şekilde belirlenmesi, sistemin boyutlandırılması ve kapasitesinin aşırı yağış koşullarında yeterli olup olmadığının değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, drenaj tasarımı pik debi oranlarının hesaplanması, taşkın risklerinin ve su birikintilerinin önlenmesi için önemli bir gereksinimdir. Pik debi, bir yağış olayının en yoğun anında drenaj sistemine ulaşan maksimum su akış hızı olarak tanımlanır. Genellikle m^3/s veya l/s gibi birimlerle ifade edilir. Pik debi oranı, bir bölgede yağışın yüzeyde birikmeden hızlı bir şekilde nasıl akacağını ve drenaj hatlarının bu suyu nasıl tahliye edeceğini anlamak için kullanılır. Pik debinin hesaplanması, yağmur suyunun yüzeyde birikerek taşkınlara yol açmasını önlemek amacıyla drenaj boruları, kanallar ve su tutma havuzları gibi altyapı unsurlarının boyutlandırılmasında temel bir rol oynar.

3.8.8.1. Debi oranlarının hesaplanmasında kullanılan yöntemler

Pik debi oranlarının hesaplanması, çeşitli yöntemler ve formüller kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntemler, bölgenin fiziksel özelliklerine, yağışın yoğunluğuna, süresine ve suyun akış yollarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Pik debi oranlarının belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemler şunlardır:

a. Rasyonel yöntem: Rasyonel yöntem, pik debi oranlarının hesaplanmasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, küçük ve orta ölçekli drenaj alanları için uygundur ve basit bir formül kullanarak maksimum akış hızını tahmin eder. Rasyonel yöntem, formül 3.1’de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$Q=C \times I \times A \quad (3.1)$$

Q: Pik debi (l/s)

C: Akış katsayısı (boyutsuzdur)

I: Yağış şiddeti (mm/h)

A: Drenaj alanı (ha)

Bu formül, yağış yoğunluğu ile su toplama alanının özelliklerini dikkate alarak maksimum debiyi belirler. Rasyonel yöntem, basit bir hesaplama sunduğu için özellikle küçük alanlarda etkili bir çözüm sağlar. Ancak geniş alanlarda daha karmaşık yöntemler gerekebilir.

b. Modifiye rasyonel metot: Rasyonel metotun genişletilmiş versiyonudur. Büyük ölçekli drenaj sistemlerinde kullanılır. Farklı sürelerdeki akışları da hesaba katmaktadır. Pik debi, formül 3.2’de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$Q=C \times I \times A \times F \quad (3.2)$$

Q = Pik debi (l/s)

C= Yüzey akış katsayısı (boyutsuzdur)

I = Yağış şiddeti (mm/h)

A= Havza alanı (ha)

F = Depolama ve akış faktörü (standart rasyonel metottan farkı buradadır)

F faktörü formül 3.3’de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$F=\frac{T_r}{(T_r+T_c)} \quad (3.3)$$

T_r = Yağış süresi (dk)

T_c = Konsantrasyon süresi (dk) → Su damlasının en uzak noktadan drenaj sistemine ulaşma süresi

c. SWMM (Yağmur suyu yönetim modeli) : EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) tarafından geliştirilmiştir. Zaman içindeki akış değişikliklerini analiz etmektedir. Dezavantajı bir çok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. İki ana hesap bileşeni mevcuttur. Bunlar hidrolojik modelleme (yüzey akışı) ve hidrolik modellemedir (hat içindeki akış).

3.8.8.2. Pik debi oranlarının havalimanı drenaj tasarımında kullanımı

Havalimanları, geniş geçirimsiz yüzeylere sahip olduğundan yağış sonrası suyun hızla yüzeyde birikmesine ve akışa geçmesine yol açar. Bu nedenle pik debi oranlarının doğru bir şekilde hesaplanması, havalimanı drenaj sistemlerinin tasarımında kritik bir rol oynar. Pistler , apronlar ve taksi yolları gibi alanlar, yağmur suyunun doğrudan toprağa sızmasına izin vermez, bu da suyun yüzeyde hızla birikmesine ve potansiyel olarak operasyonel sorunlara neden olmasına yol açar. Havalimanlarında pik debi oranlarının hesaplanması, özellikle yağışın en yoğun olduğu dönemlerde drenaj sisteminin performansını belirlemek için gereklidir. Yağmur suyu drenaj sistemlerinin, ani ve yoğun yağış olayları sırasında suyun hızlıca tahliye edilmesini sağlayacak şekilde boyutlandırılması gerekir. Pik debi oranları, drenaj borularının ve kanallarının çapını, su toplama havuzlarının kapasitesini ve suyun tahliye edileceği noktaların belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Pik debi oranları, havalimanı gibi büyük yüzey alanlarına sahip altyapılarda, drenaj sistemlerinin aşırı yüklenmesini önlemek için tasarım parametresi olarak kullanılır. Eğer drenaj sistemleri, pik debi oranlarına göre boyutlandırılmamışsa, suyun yüzeyde birikmesi ve taşkınlara yol açması kaçınılmaz hale gelir. Bu da uçuş güvenliğini doğrudan etkileyebilir.

3.8.8.3. Pik debi oranlarının etkileyen faktörler

Pik debi oranlarını etkileyen birçok faktör vardır ve bu faktörler, yağış olayının şiddetine, drenaj alanının özelliklerine ve yüzeyin geçirgenliğine göre değişiklik gösterir. Pik debi oranlarını etkileyen temel faktörler şunlardır:

a. Yağış şiddeti: Yağış şiddeti, pik debi oranlarını doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Yoğun yağış, kısa sürede büyük miktarda suyun birikmesine yol açar ve bu durum drenaj sistemlerinin aşırı yüklenmesine neden olabilir. Yağış şiddeti, IDF eğrileri kullanılarak hesaplanır ve drenaj sistemlerinin boyutlandırılmasında temel bir veri olarak kullanılır.

b. Drenaj alanının büyüklüğü ve yüzey özellikleri: Drenaj alanının büyüklüğü, suyun ne kadar hızla akacağını belirleyen önemli bir faktördür. Geniş yüzey alanlarında su daha hızlı birikir ve akış hızı artar. Ayrıca yüzeyin geçirgenliği de pik debiyi etkiler. Geçirimsiz yüzeyler, suyun yüzeyde hızla toplanmasına neden olurken, geçirgen yüzeyler suyun toprağa sızmasına olanak tanır ve akış hızını düşürür.

c. Su toplama ve drenaj yolları: Suyun drenaj sistemine ulaşma yolları, pik debi oranlarını etkiler. Drenaj kanallarının ve borularının yapısı, suyun yüzeyden ne kadar hızlı uzaklaştırılacağını belirler. Eğer drenaj hatları ve kanalları uygun şekilde tasarlanmamışsa, suyun yüzeyde birikmesi ve taşkınlarla yol açması olasıdır.

d. Pik debi oranlarının optimizasyonu: Pik debi oranlarının doğru hesaplanması, drenaj sistemlerinin etkin çalışmasını sağlamak için yeterli değildir; aynı zamanda sistemlerin bu oranlara göre optimize edilmesi de gerekir. Drenaj borularının kapasitesi ve su toplama havuzlarının boyutları, pik debi oranlarına göre ayarlanmalıdır. Ayrıca, suyun yüzeyde birikmesini önlemek amacıyla yüzey eğimleri optimize edilmelidir. Pik debi oranlarının hesaplanması, sistemin sadece mevcut koşullarda değil, gelecekteki iklim değişikliği senaryolarında da dayanıklı olmasını sağlar.

3.8.9. Yağış yüksekliğinin belirlenmesi

Yağış yüksekliğini belirlemek için öncelikle yağmur ölçüm cihazları kullanılır. Bu cihazlar, belirli bir bölgeye düşen yağmurun milimetre cinsinden miktarını ölçer. Veriler, günlük, aylık ve yıllık olarak düzenli bir şekilde kaydedilir ve böylece uzun dönemli iklim gözlemleri yapılır. Havalimanı gibi büyük projelerde bu veriler, yüzey akışını yönetmek için kritik bir rol oynar. Özellikle ani ve şiddetli yağış durumlarında su birikimini önlemek için gerekli önlemler, bu veriler kullanılarak hesaplanır. Yağış miktarı hesaplanırken, sadece günlük toplam yağış miktarı değil, yağışın ne kadar sürede düştüğü de önemlidir. Kısa süreli ama şiddetli yağışlar, özellikle yoğun beton ve asfalt alanlarda ciddi yüzey akışına neden olabilir. Bu yüzden, belirli zaman dilimlerinde kaydedilen en yüksek yağış değerleri, drenaj sistemlerinin tasarımında esas alınır.

Yağış frekansı ise belirli bir büyüklükteki yağışın ne sıklıkla tekrarlanabileceğini ifade eder. Örneğin, 50 yıllık yağış frekansı, belirli bir büyüklükteki yağışın her 50 yılda bir tekrarlanma olasılığını tanımlar. Yağış frekansı, altyapı projelerinde risk yönetimi ve taşkın riskine karşı alınacak önlemleri belirlemek için hayati öneme sahiptir. Bu frekansların belirlenmesinde kullanılan yöntemler, istatistiksel analizlere dayanır. Uzun yıllar boyunca toplanan yağış verileri analiz edilerek, belli büyüklükteki yağış olaylarının hangi sıklıkla gerçekleştiği hesaplanır. Havalimanlarında, drenaj sistemlerinin bu frekanslara dayanarak tasarlanması, aşırı yağış dönemlerinde bile suyun hızlı bir şekilde tahliye edilmesini sağlar. Yağış yüksekliği ve frekansı belirlenirken, iklim değişikliğinin uzun vadede yağış düzenleri üzerindeki etkisi de dikkate alınmalıdır. İklim modelleri, yağışların daha sık ve daha yoğun olabileceğini öngörmektedir. Bu nedenle, geleceğe yönelik drenaj sistemi tasarımlarında sadece geçmiş veriler değil, gelecekte olası ekstrem hava olaylarına yönelik tahminler de göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak, yağış miktarı ve frekansı verilerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, özellikle geniş yüzey alanlarına sahip havalimanları gibi altyapı projelerinde sürdürülebilir su yönetimi ve güvenli operasyonlar için kritik bir etkidir.

3.8.10. Yüzey drenajlarının tasarımı

Havalimanları, geniş ve sert yüzeylerden oluşan yapıları nedeniyle yüzey drenajının dikkatle planlanmasını gerektiren alanlardır. Pistler, taksi yolları, apronlar ve terminal çevresindeki alanlar, suyun hızla biriktiği yerler olabilir. Bu yüzden, havalimanlarında etkin bir yüzey drenaj sistemi, operasyonel güvenlik açısından kritik bir

rol oynar. Su göllenmeleri, uçakların iniş-kalkış güvenliğini tehlikeye atabilir ve apronlardaki hareket kabiliyetini sınırlandırabilir. Dolayısıyla, yağışlar sonucunda oluşan yüzey akışlarının hızlı ve etkili bir şekilde tahliye edilmesi zorunludur. Yüzey drenajının temel amacı, yüzeyde biriken yağmur suyunun, havalimanının sert zeminleri üzerinde herhangi bir su birikintisine yol açmadan hızlıca tahliye edilmesidir. Bunun için havalimanı tasarımında yüzey eğimi planlaması büyük bir önem taşır. Yüzey eğimleri, suyun doğal akışını yönlendirecek şekilde planlanır ve suyun akış yönüne uygun olarak drenaj hatları oluşturulur. Bu süreçte, havalimanı yüzeylerinde suyun hangi bölgelerde yoğunlaşabileceği ve hangi güzergahlar üzerinden tahliye edileceği ayrıntılı olarak analiz edilir. Beton ve asfalt yüzeylerin geçirimsiz olması nedeniyle suyun yüzeyde akışı hızlanır, bu da drenaj sisteminin kapasitesini zorlar. Bu nedenle drenaj boruları, oluklar, ızgaralar ve yağmur suyu toplama kanalları gibi altyapı elemanları uygun kapasitede tasarlanmalıdır. Aynı zamanda, drenaj sistemlerinin tıkanmadan etkin çalışabilmesi için düzenli bakımlarının yapılması şarttır.

Havalimanlarındaki yüzey drenaj sistemlerinin tasarımında, iklimsel koşullar ve yağış miktarları detaylı olarak değerlendirilmelidir. Havalimanının bulunduğu bölgedeki yıllık yağış verileri, geçmişte yaşanan ekstrem hava olayları ve olası iklim değişiklikleri, drenaj sisteminin kapasitesini belirlerken önemli veriler sağlar. Özellikle ani ve yoğun yağışlar, kısa süre içerisinde büyük miktarda suyun birikmesine neden olabilir. Bu tür yağış olaylarına karşı dirençli sistemler tasarlamak, suyun hızlı ve güvenli bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlayacaktır. Ayrıca, yüzey drenajının planlanmasında, sadece günlük ortalama yağışlar değil, aynı zamanda taşkın frekansı gibi parametreler de dikkate alınmalıdır. Örneğin, 100 yıllık bir yağış senaryosu, sistemin yoğun bir yağmur sırasında taşkın riski oluşturmadan çalışabileceği şekilde tasarlanmasını sağlar. Bu da drenaj kanallarının genişliği, boruların çapı ve ızgaraların yerleşimi gibi detayları belirler.

3.8.11. Drenaj hatlarının tasarımı

Drenaj kanalları, yüzeyde biriken suyu toplamak ve ana tahliye sistemine yönlendirmek için kullanılan açık veya kapalı hatlardır. Havalimanlarında drenaj kanallarının yerleşimi, yüzeydeki eğimler göz önünde bulundurularak planlanır. Pistler, apronlar ve taksi yolları gibi kritik alanlarda suyun hızla uzaklaştırılması gerektiği için, bu kanallar stratejik noktalara yerleştirilir ve suyun doğal akışına uygun olarak eğimlendirilir. Kanallar genellikle beton veya dayanıklı malzemelerden yapılır ve üzerlerinde suyun yüzeyde birikmesini engelleyen ızgaralar bulunur. Bu ızgaralar, suyun hızla kanala girişini sağlarken aynı zamanda yabancı cisimlerin drenaj sistemine girmesini de önler. Bu da drenaj sistemlerinin tıkanma riskini azaltır ve bakım işlemlerini kolaylaştırır. Kanalların boyutları, havalimanının maruz kaldığı yağış miktarı ve suyun birikme hızına göre belirlenir. Özellikle aşırı yağışlarda taşkın riskini önlemek amacıyla yeterli kapasitede ve genişlikte kanallar inşa edilmelidir. Drenaj boruları, kanallar tarafından toplanan suyun tahliye edilmesi için kullanılan kapalı hatlardır. Bu borular, yüzeyde biriken yağmur suyunu havalimanı dışına taşımak veya biriktirme alanlarına yönlendirmek amacıyla yer altına döşenir. Boru sistemleri, genellikle beton, PVC veya çelik malzemelerden yapılır ve dayanıklı olmaları gerekir, çünkü büyük havaalanlarında yoğun yüzey akışı ve zamanla aşınma etkisi hatları zorlayabilir. Boru çapları, yüzeydeki su miktarına bağlı olarak hesaplanır. Uygun çapta boru kullanımı, suyun taşkın riski olmadan etkin bir şekilde taşınmasını sağlar. Bunun yanında, boruların eğimi de suyun akış hızını etkileyen önemli bir faktördür. Yetersiz eğim, suyun borularda birikmesine ve

drenaj sisteminin tıkanmasına neden olabilir. Bu nedenle, drenaj boruları yeterli eğim ve kapasite ile yerleştirilmelidir. Günümüzde havalimanlarında kullanılan drenaj kanalları ve boruları, sadece mevcut yağış koşullarına değil, aynı zamanda gelecekte olası aşırı hava olaylarına da uyum sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. İklim değişikliğiyle birlikte artan yağış miktarları ve frekansları göz önünde bulundurularak, sistemlerin esnek ve yüksek kapasiteli olması önem kazanmıştır. Yeni nesil drenaj sistemlerinde suyun geri kazanımı veya doğal yollardan tekrar yer altı sularına kazandırılması gibi sürdürülebilir yaklaşımlar da giderek yaygınlaşmaktadır. Drenaj hatlarının yanısıra su toplama havuzları da suyun kontrollü şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Aşırı yağış anında taşkın karşı risklerin azaltılmasını sağlar. Sürdürülebilir su stratejisi olarak önem teşkil etmektedir. Havuzlarda biriken su, yeraltı sularını beslemek, sulama sistemlerinde kullanılıp geri dönüştürülmek üzere kullanılabilir. Böylece su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar. Yetersiz eğim veya kot olduğunda pompalar ve diğer tahliye sistemleri kullanılabilir. Suyun düşük kottan daha yüksek kota tahliyesini sağlamaktadır. Pompaların düzenli olarak bakımı bu sebeple önem teşkil etmektedir.

3.8.12. Yağış verisi analiz yöntemleri

Planlanan drenaj hatları ve boru çapları, bölgeye ait elde edilen yağış şiddeti ve frekans verileri kullanılarak modele girilir. Hatların yeterliliği ve pik yağış zamanlarında taşkın olup olmayacağı kontrol edilir. Bu simulasyonlar, drenaj hatlarının doluluk oranlarını, kapasite ve verimliliğinin ölçülebilmesini sağlar. Analizde kullanılabilecek yöntemler:

- Aritmetik ortalama yöntemi
- Thiessen poligon yöntemi
- Eş-yağış haritası yöntemi

➤ **Aritmetik ortalama – alansal ortalama yöntemi:** Bu yöntemde, bölge içindeki tüm istasyonların değerlerinin ortalaması alınarak bölgenin ortalama yağış yüksekliği bulunur. Çok basit olan bu yöntem, dağlık bölgelerde ve şiddetli yağışlar sırasında uygulanamaz. Çünkü bu durumlarda yağış şiddeti çok kısa mesafelerde hızla değişebilir. 500 km²'den küçük alanlar için uygundur.

➤ **Thiessen poligonu (çokgeni) yöntemi:** Thiessen yönteminde birbirine yakın istasyonlar doğru parçalarıyla birleştirilir ve bu doğru parçalarından orta dikmeler çıkılarak her bir istasyona ait temsili alanlar elde edilir. Herbir ölçeğin çevresinde kalan alanın yüzdesi o ölçekteki yağışa ağırlık olarak verilir. Bölgedeki istasyon verileri uniform değil ise bu yöntem uygulanabilir. 500 km² ile 5000 km² arasındaki haza alanlarında uygulanabilir.

➤ **İzohiyet yöntemi:** İzohiyetler çizilir ve ardışık izohiyetler arasındaki alanda yağış yüksekliğinin izohiyetlerinin değerlerinin ortalamasına eşit olduğu kabul edilerek ağırlıklı ortalama ile P_{ort} değeri bulunur.

3.9. Uygulama

3.9.1. İstanbul Havalimanı drenaj tasarımı

Bu tez çalışmasında yağmur suyu tasarımı için İstanbul Havalimanı örnek olarak incelenmiştir. İstanbul Havalimanı, Avrupa Yakası'nda, Karadeniz kıyısına yakın bir bölgede yer almaktadır. Havalimanının konumu uluslararası uçuşlar için stratejik bir nokta olmasını sağlarken, coğrafi ve iklimsel özellikleri de çeşitli mühendislik ve tasarım gereksinimlerini beraberinde getirmektedir. Havalimanı, 3 ana 3 yardımcı pist olmak üzere toplam 7650 ha'lık alan üzerine kurulmuştur. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi havalimanı uydu görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.2. Havalimanı uydu görüntüsü

3.9.2. İklim özellikleri

İklim koşulları genel olarak Marmara Bölgesi'nin iklim özelliklerini yansıtır. Karadeniz ve Akdeniz iklimlerinin geçiş bölgesinde yer alır ve dört mevsim belirgin olarak yaşanır. Deniz etkisi nedeniyle ani sıcaklık değişiklikleri gösterebilir. Yıl boyunca yağışlı gün sayısı yüksektir. Kış ve sonbahar aylarında yoğun yağış almaktadır. Yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 80-100 mm arasındadır (MGM,2024). Yağışlar yıl boyunca dağılır, kış aylarında daha yoğundur. Özellikle Karadeniz'den gelen rüzgarlar havalimanını etkiler. Kış aylarında kuvvetli poyraz rüzgarları görülebilir. Kış aylarında kar yağışı olasılığı bulunmaktadır. Yoğun ve uzun süreli kar yağışı nadirdir. Bu özellikler, İstanbul Havalimanı'nın yağmur suyu yönetimi ve diğer mühendislik projeleri açısından dikkate alınması gereken temel unsurlardır.

3.9.3. Havza özellikleri

İstanbul Havalimanı'nın kuzeyinde Karadeniz, güneyde Alibeyköy Havza'sı yer almaktadır. Sahanın çevresinde küçük ve orta büyüklükte yerleşim alanları bulunmaktadır. Bunlar kuzey batıda Yeniköy, batıda Tayakadın, doğuda Ağaçlı ve Akpınar'dır. Kuzeyde Karadeniz, güneyde ise yeni yapılacak olan Kuzey Marmara Otoyolu ile sınırlı olan inşaat sahası toplamda 7650 hektarlık bir alan üzerine kuruludur. Karadeniz kıyısında olan İstanbul Havalimanı'nın yerleştiği bölge tipik Batı Karadeniz iklimi özellikleri göstermektedir. Bölge özellikle sonbahar ve kış aylarında önemli ölçüde yağış almaktadır.

Havalimanı yerleşiminin güney istikametinde ortalama yağışlar azalmakta ve Karadeniz iklimi etkisi kaybolmaktadır. Kuzeye doğru ise yağışlar artmaktadır. Bu nedenle havalimanının taşkın hassasiyeti de göz önünde bulundurularak İstanbul güneyinde daha düşük yıllık ortalama yağış verileri olan meteoroloji istasyonlarının değerleri dikkate alınmayacaktır. Yağışların karşılaştırılması açısından İstanbul bölgesi etrafındaki meteoroloji istasyonları incelenecektir.

3.9.4. Yağış verileri ve meteorolojik istasyon yerleşimleri

Havalimanı bölgesine yakın birçok istasyon mevcuttur. Bunlardan bazıları DSI bazıları ise MGM'ye ait istasyonlardır. Bunlar;

- Terkos,
- İnceğiz,
- Kumköy,
- Arnavutköy,
- İstanbul Havalimanı'dır.

Havalimanlarında yağmur suyu tasarımında iklim değişikliği sebebiyle yağışlarda ani değişikliklerin olması sebebiyle uzun yıllık yağışlara bakılmalıdır. Yağış şiddeti hesaplamalarında genellikle 25 yıllık verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük ölçekli projelerde ise 50 veya 100 yıllık veri göz önüne alınmalıdır. İstanbul Havalimanı 3 yıllık bir istasyon olduğu için uzun yıllara dair bir veri sağlayamamaktadır. Bu nedenle yakında bulunan her bir istasyon yağış şiddeti hesaplaması için ayrı ayrı incelenecektir.

a. Terkos Gölü İstasyonu: Dsi'ye ait istasyondur. Enlem ve boylam verileri 41° 18' K - 28° 42' D'dir. Rakımı 10m'dir. 1962'den 2001 yılına kadar aktirftir. İstanbul - Çatalca bölgesindedir. 1983 ve 1996 yılları arasında veri kaydı mevcuttur. 6 yıla ait maksimum yağış miktarı veri eksikliğinden dolayı hesaplanamamaktadır. Sağlıklı olarak 33 yıllık veri elimizde mevcuttur. 1 yıl içindeki maksimum toplam yağış minimum 557 mm , maksimum 1217 mm arasında değişkenlik göstermektedir. 1 günlük yıl içindeki maksimum yağış şiddeti ise 202 mm/h'dir. 2001'den sonra veri olmadığı için günümüz yağış koşullarına dair yetersiz veri mevcuttur.

b. İnceğiz İstasyonu: İstasyon DSI'ye aittir. İstanbul-Çatalca bölgesinde yer almaktadır. Enlem boylam verileri 28°24' D-41°11' K'dır. Yağış ölçümleri 2012 ve 2022 yılları arasındadır. 10 yıllık yağış ölçümü mevcuttur. 1 ay içindeki günlük maksimum yağış yüksekliği 135 mm'dir.

c. Kumköy İstasyonu: Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait bir istasyondur. 1965’den 2020 yılına kadar yağış ölçümleri mevcuttur. Bunun yanında 5,10,15,30,60 dakikalık; 1, 2 , 3, 6, 8, 12, 18, 24 saatlik yağış ölçümleri ve yağış tekerrür grafikleri de mevcuttur. Maksimum günlük yağış yüksekliği 214 mm’dir.

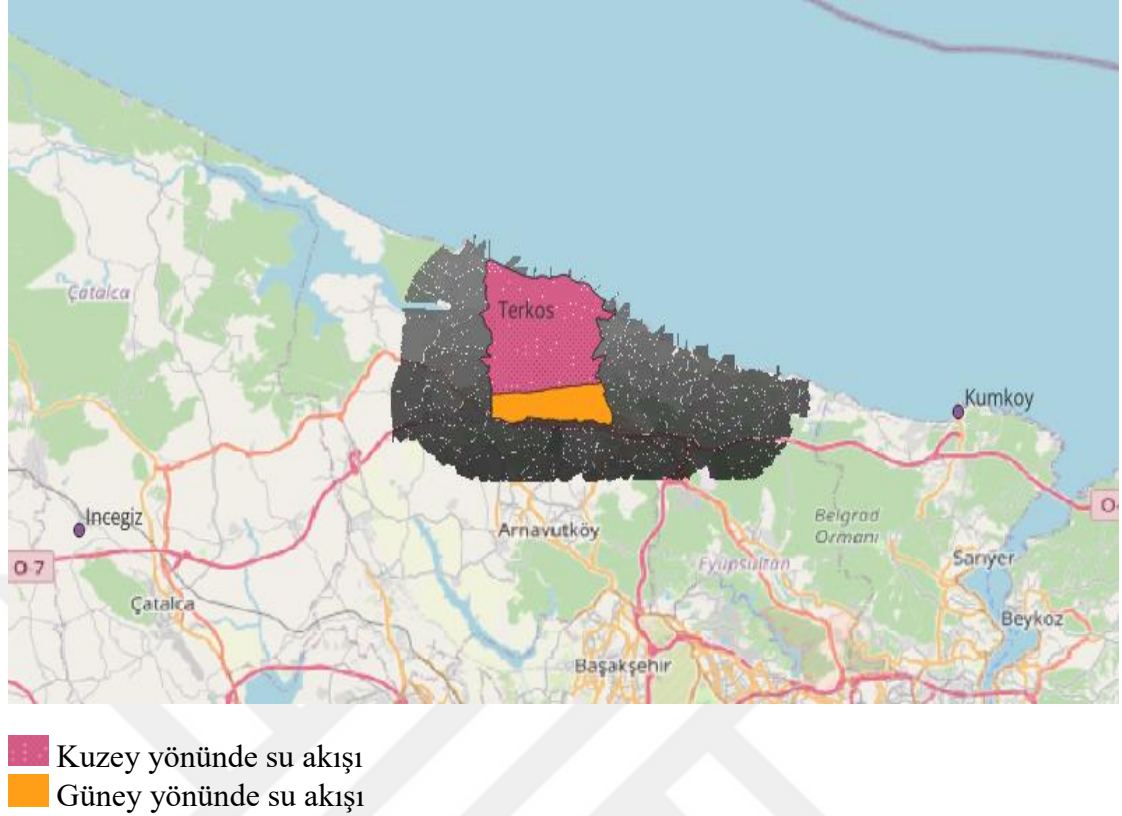
d. Arnavutköy İstasyonu: MGM’ye aittir. 2 yıllık sağlıklı verisi mevcuttur. Yetersiz veri olması nedeniyle havalimanına yakın olmasına rağmen değerlendirilememektedir.

e. İstanbul Havalimanı İstasyonu: MGM’ye ait istasyon mevcuttur. 2019’dan 2023’e kadar ölçüm mevcuttur. 65.4 mm 4 yıl içinde ölçülen maksimum günlük yağış yüksekliğidir. 4 yıllık veri değerlendirme olarak yetersizdir.

3.9.5. Havza yüzey akış yönleri

İncelenen bölgeye ait 5m. aralıklı DEM (dijital yükseklik modeli) verileri kullanılarak Qgis programında yüzey akış yönleri bulunacaktır. Öncelikli olarak bölgeye ait sayısal yükseklik verileri Qgis programına yüklenmiştir. Programda sayısal yükseklik verileri doğrultusunda akış yönleri hesaplanır. Akış yönleri belirlendikten sonra ise havza sınırları belirlenir. Havza akış yönlerine göre yağmur suyu deşarj noktaları ve tasarımları belirlenecektir. Şekil 3.3’de görülen havza yerleşiminde turuncu bölgenin akışı güneye doğru, pembe renkli alan akışı ise Karadeniz’e doğrudur. Yağmur suyu tasarımları da bu akış yönlerine göre belirlenecektir. Buna göre, pembe renkli alanda bulunan yağmuruyu hatları toplanıp Karadenize deşarj edilecektir. Turuncu renk içinde kalan yağmur suyu hatları ise şehir drenaj ana hattına bağlanacaktır. Gri renkli alanlar ise hava fotoğrafı çekimlerinden elde edilen alanın akışını göstermektedir. İnceğiz, Terkos ve Kumköy istasyon yerleşimleri de görselde görünmektedir. Bölgedeki istasyon konumlarının havza yerleşimi ile olan uzaklığı yağış hesaplamalarında önemli olduğu için istasyon konumları da modele girilmiştir. Daha önce değinildiği gibi koordinat verileri mevcut olan ve en yakın istasyonlar İnceğiz, Kumköy ve Terkos Gölü’dür. Kumköy İstasyonu deniz kenarında olması sebebiyle yağışa daha çok maruz kalmaktadır. İnceğiz İstasyonu ise iç bölgede yer almaktadır. Bu durum da daha az yağış almasına sebep olacaktır. Havalimanı yerleşimi inşaat döneminden önce deniz etkisinin bir miktar bulunduğu bölgeye ulaşmasını engelleyecek dağlık bölgeler mevcuttu. Günümüzde ise yapılan kazı sebebiyle yükseltilerin büyük kısmı uçuş güvenliği ve pist yerleşimi sebebiyle kazılmıştır. Bu nedenle Kumköy İstasyonu’na benzer yağış özelliklerine sahip olması beklenmektedir.

Kritik ve büyük alanların drenajında kullanılacak olan yağış şiddeti uzun yıllık yağışlara göre hesaplanmalıdır. Meteorolojik verilerde eksiklik olduğunda başvurulacak iki yöntem mevcuttur. Mevcut gözlem verilerinden yola çıkılarak regresyon modellemesi yapılarak tahminlerde bulunulabilir. İkinci olarak da HadGem (Hadley merkezi küresel çevre modeli) gibi küresel iklim modellerinden yararlanılabilir. HadGem, IPCC (uluslararası iklim değişikliği modeli)’de kullanılan ana modellerden biridir. İklim projeksiyonu modellemeleri için güvenilir rol oynamaktadır.



Şekil 3.3. İstasyon konumları ve havza akış modellemesi

İlk olarak regresyon ile eksik yıllara ait yağışlar tahmin edilecektir. Aylık gözlem verileri ve uydu yağış ölçümleri karşılaştırılmıştır. İki veri arasında farklılıklar vardır. Bu verilerin kalibre edilebilmesi ve doğru bir yağış yaklaşımında bulunulması gereklidir. Gözlem verileri baz alınarak yağış dağılımları ile ilgili ay bazlı olarak regresyon modellemesi yapılacaktır. Yapılacak olan bu modelleme, gözlem verisi eksik ama uydu verisi mevcut olan zamanlara dair regresyon yaklaşımı üzerinden yağış tahminlerinde bulunabilmemizi sağlayacaktır. Regresyon modeli oluşturulurken, R^2 (determinasyon katsayısı), MAPE (ortalama mutlak yüzde hatası) ve RE (bağıl hata) gibi değerlendirme kriterleri kullanılmıştır. Logaritmik, lineer, polinom, üstel ve power dağılımları karşılaştırılarak en olumlu değer veren model, tahminler için kullanılmıştır. Yer gözlem istasyon verileri uydu verilerine göre daha güvenilir veri oluşturmaktadır. Yer gözlem verileri yer seviyesinde ölçüm yaptığından yerel iklim özelliklerine dair daha doğru yaklaşım sunmaktadır. Uydu verileri de yer gözlem istasyon verisi olmayan yıllara dair öngörü oluşturmaktadır. Bu nedenle, yer gözlem verisi olan tüm yıllar değiştirilmeden kullanılmış, sadece uydu verisi olan yıllar için ise gözlem ve uydu verisi arasındaki ilişkiyi açıklayan regresyon modeli denklemi oluşturularak bulunan sonuçlar kullanılmıştır. Terkos, Incegiz ve Kumköy meteorolojik istasyonları regresyon değerlendirmeleri sonucunda yağış yüksekliklerine dair öngörülerde bulunulmuştur.

Terkos İstasyonu için 1963-1996 yılları arasında yer gözlem verileri mevcuttur. 1996-2010 yılları arası için ise, uydu verilerinden yararlanılarak oluşturulan regresyon modeli sonucundaki tahminler kullanılmıştır. Bu yöntemle toplam 47 yıllık yağış verisi oluşturulmuştur.

Incegiz İstasyonu için 1983-1996 yılları arası yer gözlem verileri kullanılmıştır.

1996-2020 yılları için, uydu verilerinden yararlanılarak oluşturulan regresyon tahminleri kullanılmıştır. Bu yöntemle toplam 37 yıllık yağış verisi oluşturulmuştur.

Kumköy İstasyon’unda yeterli yer gözlem verisi kesintisiz olarak ölçüldüğü için regresyon modeli oluşturulmamış sadece yer gözlem verileri kullanılmıştır.

3.9.6. Yağış şiddetinin tespiti

ICAO’da yer alan havalimanı yağmur suyu hesaplamalarında, büyük çaplı ve yüksek yağış alabilen bölgeler için 50 ve 100 yıllık fırtına süresi içindeki pik yağış verilerinin kullanılması önerilmektedir. Her bir yılda elde edilen maksimum yağış verisinden yola çıkılarak 50 ve 100 yıl için 5,10 ve 15 dakikadaki pik yağış yükseklikleri belirlenmiştir. İzohiyet yöntemi kullanılarak havalimanı bölgesindeki 50 ve 100 yıl içinde bulunan maksimum yağış yükseklikleri belirlenecektir.

3.9.7. Regresyon modelinin oluşturulması

İnceğiz İstasyonu’nda 2012-2022 yılları arasında yıllık maksimum oluşan yağış yüksekliklerini tahmin etmek amacıyla regresyon modelleri oluşturulmuştur. Gözlem verileri, MGM istasyonundan alınan yer gözlem istasyonuna dair günlük yağış kayıtları arasından, her ay içinden maksimum yağış değeri seçilerek oluşturulmuştur. Uydu verisi ise, her ay için uydu yağış kayıtlarından elde edilen maksimum yağış değerleri ele alınarak oluşturulmuştur. Bu yaklaşım ile 2012’den 2022 yılına kadar, Ocak ayından Aralık ayına kadar olan maksimum yağış yükseklikleri elde edilmiştir. Farklı model türleri kullanılarak ay içindeki maksimum yağış tahminleri 2012 yılından 2022 yılına kadar yapılmıştır. Aynı hesap yöntemi Terkos istasyonu için de yapılmıştır. Sonuçların uygunluğu karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar sırasında altı çeşit regresyon modeli oluşturulmuştur.

a. Doğrusal (linear) regresyon modeli: Bu model türünde, uydu ve gözlem verileri arasında lineer bir ilişki olduğu varsayılmıştır. Bu modelden üretilen sonuçlar lineer sütun adı altında kategorize edilmiştir. Formül 3.4’de doğrusal regresyon formülü yer almaktadır.

$$y=ax+b \quad (3.4)$$

b. İkinci dereceden polinom (pol2) regresyon modeli: Lineer modelden daha esnektir. Değişkenler arasında eğrisel ilişki vardır. Veriler üzerinde 2. dereceden denklem grafiğine benzer bir uyum mevcuttur. Formül 3.5’de ikinci dereceden polinom denklemi yer almaktadır.

$$y=ax^2+bx+c \quad (3.5)$$

c. Üçüncü dereceden polinom (pol 3) regresyon modeli: İkinci derece pol 2 modelinden daha esnek bir yapıdır. Veriler üzerinde 3. dereceden denklem grafiğine benzer bir uyum mevcuttur. Formül 3.6'da üçüncü dereceden polinom denklemi yer almaktadır.

$$y=ax^3+bx^2+cx+d \quad (3.6)$$

d. Üstel (exp) regresyon modeli: Belli oranda artış veya azalış olan modeller için uygundur. Yağış miktarının hızla artış veya azalış yönünde bir davranış gösterdiği durumlarda kullanılabilir. Formül 3.7'de üstel regresyon denklemi yer almaktadır.

$$y=ae^{bx} \quad (3.7)$$

e. Güç (power) regresyon modeli: Değişkenler arasında üssel ilişki olduğu zaman kullanılan regresyon modelidir. Formül 3.8'de üçüncü dereceden polinom denklemi yer almaktadır.

$$y=ax^b \quad (3.8)$$

f. Logaritmik regresyon modeli: Değişkenler arasında lineer olmayan, ilk olarak hızlı artış gösterip daha sonra azalan bir artış gösteren modellerde kullanılan modeldir. Regresyon model türleri oluşturulduktan sonra modeller arasında uygunluk için karşılaştırmalar yapılır. Modellerin performans değerlendirmeleri yapılır. Model doğruluğunu değerlendirebilmek için ise hata analizleri yapılır. Bu yöntemler ile model veri performansları hesaplanmış olur. Bu hesaplamalar model uyumluluğunu belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Formül 3.9'da logaritmik regresyon denklemi yer almaktadır.

$$y=a\ln(x)b \quad (3.9)$$

3.9.8. Değerlendirme ölçütleri

Şekil 3.4'de Aralık ayına dair örnek bir regresyon modeli sonucunda bulunan veriler ve yapılan tahminlerin performans değerlendirmesi gösterilmektedir. 2012'den 2022 yılına kadar gözlem verileri yazılmış, pol 2 regresyon modeli sonucunda bulunan verilerin performansları karşılaştırılmıştır. Tahmin verisi uyumluluğu için kritik göstergelerden yararlanılmıştır.

- **Ortalama mutlak hata (MAD):** Tahmin verilerin gerçek veriden ne kadar sapma gösterdiğini belirtmektedir. Sapma oranı %10 değerinden küçük ise sonuçlar iyi, %10 ile %20 arasında ise kabul edilebilir doğrulukta, %20 ile %30 arasında ise iyileştirilmesi gereken ancak kabul edilebilir performans olarak değerlendirilir. Sapma oranı %30 üzerinde sonuç veriyor ise verilerin zayıf performansta olduğu kabul edilmektedir.
- **Ortalama kare hata (MSE):** Hata verilerinin kare toplamının gözlem veri sayısına bölünmesi ile elde edilir. Değerin düşük olması tahmini değerlerin gerçek değere daha yakın olduğunu göstermektedir.
- **Kök ortalama kare hata (RMSE) :** Mse'nin kareköküdür. Ne kadar düşük değer ise modelin performansı o kadar iyidir.
- **Ortalama mutlak yüzde hata (MAPE):** Mutlak hata değerlerinin gözlenen verilere oranıdır. Modelin tahmin hatasını yüzde olarak gösterir.
- **Determinasyon katsayısı (R^2):** Oluşturulan tahmin verilerinin modele olan uyumunu gösterir. $R^2=1$ ise model, verileri mükemmel şekilde açıklamaktadır. $R^2=0$ ise modelin, verilerdeki değişimi açıklamadığı anlamına gelir.
- **Bağıl Hata (RE):** Tahmin edilen değer gerçek veriden sapma miktarını göstermektedir. Değer ne kadar düşük ise modelin tutarlılığı o kadar iyidir.

REGRESYON MODEL TÜRLERİ									
	UYDU	GÖZLEM	LINEER	POL2	EXP	power	log	pol3	
2012	30.7	38.2	30.43	29.84	31.19	26.88	27.09	31.66	
2013	1.8	12	10.30	9.29	10.99	8.81	6.93	11.32	
2014	16.11	23.2	20.27	21.01	18.42	20.86	22.51	20.90	
2015	2.8	7.8	10.99	10.21	11.39	10.49	10.07	10.77	
2016	33	23.2	32.03	30.94	33.89	27.65	27.61	29.57	
2017	8.12	16.2	14.70	14.84	13.81	15.94	17.64	11.78	
2018	23	31.4	25.07	25.57	23.62	23.99	25.04	29.46	
2019	16.2	20.8	20.33	21.07	18.48	20.91	22.55	21.02	
2021	12.00	16.80	17.40	17.95	15.88	18.58	20.41	15.54	
2022	18.14	13.6	21.68	22.43	19.82	21.86	23.35	23.67	
PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ									
Period		C Forecast	D Error		Absolute Value of Error		Square of Error		Absolute Values of Errors Divided by Actual Values.
ay	A_t	F_t	$A_t - F_t$	Formula	$ A_t - F_t $	Formula	$(A_t - F_t)^2$	Formula	$ A_t - F_t /A_t$
2012	38.20	29.84	8.361	=B19-C19	8.361	=ABS(B19-C19)	69.906	=D19^2	0.2189
2013	12	9.29	2.712	=B20-C20	2.712	=ABS(B20-C20)	7.354	=D20^2	0.2260
2014	23.2	21.01	2.191	=B21-C21	2.191	=ABS(B21-C21)	4.800	=D21^2	0.0944
2015	7.8	10.21	-2.406	=B22-C22	2.406	=ABS(B22-C22)	5.788	=D22^2	0.3084
2016	23.2	30.94	-7.744	=B23-C23	7.744	=ABS(B23-C23)	59.962	=D23^2	0.3338
2017	16.2	14.84	1.362	=B24-C24	1.362	=ABS(B24-C24)	1.854	=D24^2	0.0841
2018	31.4	25.57	5.829	=B25-C25	5.829	=ABS(B25-C25)	33.971	=D25^2	0.1856
2019	20.8	21.07	-0.273	=B26-C26	0.273	=ABS(B26-C26)	0.075	=D26^2	0.0131
2021	16.80	17.95	-1.153	=B27-C27	1.153	=ABS(B27-C27)	1.329	=D27^2	0.0686
2022	13.60	22.43	-8.826	=B28-C28	8.826	=ABS(B28-C28)	77.903	=D28^2	0.6490
		46.410	0.052	=SUM(D19:D28)	40.855	=SUM(F19:F28)	262.943	=SUM(H19:H28)	2.182
	n	10		=COUNT(B19:B28)					
					MAD	4.086	=F29/C31		
						MSE	26.294	=H29/C31	
						RMSE	5.128	=SQRT(H33)	
								MAPE (%)	21.82

Şekil 3.4. Regresyon model türü ve performans değerlendirmesi

3.9.9. Eksik verinin hesaplanmasında regresyon modelinin kullanılması

Tablonun üst kısmında, 2012 ve 2022 yılları arasındaki uydu ve yer gözlem verilerinin; lineer, polinom (2. derece), eksponansiyel, üstel (exp), güç (power), logaritmik (log) ve polinom (3. derece) regresyon modelleri ile oluşturulan değerleri yer almaktadır. Oluşturulan bu veriler kullanılarak R^2 , RE ve MAPE değerleri arasında tahmin değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. En uygun değer hangi model sonucunda elde ediliyorsa, gözlem değeri olarak kabul edilecektir. Ocak ayından Aralık ayına kadar her ay için bu değerlendirmeler yapılmıştır. 2012 yılına ait tüm aylar içindeki en yüksek yağış değeri, 2012 yılının maksimum yağış değeri olarak alınmıştır. Her ay için regresyon modeline göre kullanılacak olan denklemler analiz edilmiştir. Denklemler belirlendikten sonra, uydu verilerinden yola çıkarak oluşturulacak gözlem verileri için, her ayın uydu verileri arasından maksimum yağış şiddeti seçilmiş ve seçilen değer, ilgili aya ait belirlenmiş olan regresyon deklemleri yardımıyla elde edilmiştir. Bulunan sonuç eksik yıla ait yağış gözlem verisi tahminidir. Eksik yıllar için veriler oluşturulduktan sonra, mevcut olan meteoroloji yer gözlem verilerinin bulunduğu yılların maksimum verileri ve regresyon modeli sonuçları tablo haline getirilmiştir. Bu yöntemle, uzun yıllara dair yıllık maksimum yağış verileri elde edilmiştir. Belirli zaman aralığına dair yağış verisini elde edebilmek için 3.10 'daki formül kullanılmıştır.

$$P_t = P_{24} \times \left(\frac{T}{1440} \right)^n \quad (3.10)$$

P_t = İstenilen süre için hesaplanan yağış miktarı (mm),

P_{24} = 24 saatlik toplam yağış miktarı (mm),

T: Kısa süreli yağışın süresi (dk),

n: yağışın süresi ile yoğunluğu arasındaki bağıntıyı temsil eden katsayıdır. Bölge ve yağış değerine göre değişkenlik göstermektedir.

Hidrolik modelleme ve taşkın analizinde uzun yılları kapsayan tekerrür ve kısa süreli yağış miktarı önemlidir. 24 saatlik toplam yağış verilerini kısa süreli yağış verilerine dönüştürmede 3.10'daki formül kullanılabilmektedir. Bu formülü kullanarak 24 saatlik toplam yağış verisi 5, 10, 15, 30 dakikalık daha kısa süreli yağış şiddeti verilerine dönüştürülebilecektir. İstediğimiz sürelerdeki yağış şiddetini elde ettikten sonra, farklı sürelerdeki ekstrem yağış değerleri tespit edilebilmektedir.

4. BULGULAR

4.1. Verilerin Analizi

Oluşturmuş olduğumuz regresyon modelleri, eksik yıllara ait yağış verilerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. İnceğiz İstasyonu'nu için, 2012 ve 2022 yılları arasındaki veriler elimizde mevcuttur. 1983 yılına kadar olan veriler ise, uydu verileri kullanılarak regresyon modelleri ile üretilmiş tahmini verilerdir. Bu yöntemle, elimizde uzun yıllara ait yağış veri seti oluşturulmuştur. Elde etmiş olduğumuz veri setini analiz etmek için ortalama ve standart sapma değerlerini hesaplamak gerekmektedir. İstasyonlara dair analiz edilmiş tüm verilerin ortalama (μ) ve standart sapma (σ) hesaplamaları yapılmıştır. 50 ve 100 yıllık uzun döneme ait yağış tahminleri için bilimsel doğruluğu ve geniş kabul görmüş olması nedeniyle Gumbel dağılımı kullanılmıştır. Gumbel dağılımı ortalama ve standart sapma verileri de kullanılarak ekstrem yağış değerlerinin tahminini sağlar. Gumbel dağılımı, formül 4.1'de gösterilmiştir.

$$X_T = \mu + K_T \sigma \quad (4.1)$$

X_T : T yıllık dönüş periyodu için yağış miktarı (mm),

μ : Ortalama yağış miktarı (mm),

σ : Standart sapma (mm),

K_T : T yıllık dönüş periyoduna karşılık gelen frekans faktörü (Gumbel dağılımına göre tablodan alınır).

K_T değeri 5,10,15,25,50 ve 100 yıla göre ayrı ayrı oluşturulacak bir katsayıdır. K_T değeri, formül 4.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$K_T = -\ln(-\ln(1-(1/T))) \quad (4.2)$$

T=Süre (dk)

Hesaplamalar sonucunda;

5 yıl için $K_T = 1.50$

10 yıl için $K_T = 2.25$

25 yıl için $K_T = 3.20$

50 yıl için $K_T = 3.90$

100 yıl için $K_T = 4.60$ 'dır.

Terkos, İnceğiz ve Kumköy istasyonlarının verilerinin bir bölümü Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Tüm veriler üzerinden standart sapma değerleri ve ortalama değerleri

hesaplanmıştır. Maksimum günlük yağış verisi üzerinden kısa süreli (5, 10,15 dk) yağış için hesaplama yapılacaktır. Bunun için kullandığımız denklem formül 4.3'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_t = P_{24} \times \left(\frac{T}{1440} \right)^n \quad (4.3)$$

P_t : t dakikalık (5, 10 dk) yağış miktarı (mm),

P_{24} : 24 saatlik toplam yağış miktarı (mm),

T : Süre (dk),

n : Empirik katsayı (0.4 ve 0.6 aralığındadır. Bulunduğu bölgeye göre değişir. 0.5 verisi kullanılmıştır).

Çizelge 4.1. Terkos, İnceğiz, Kumköy Meteoroloji istasyonları yağış yükseklikleri

TERKOS		İNCEĞİZ		KUMKÖY	
1983	49.80	1983	49.8	1983	62.80
1984	76.70	1984	76.7	1984	44.40
1985	105.50	1985	105.5	1985	88.90
1986	45.80	1986	45.8	1986	34.60
1987	50.40	1987	50.4	1987	56.60
1988	57.80	1988	57.8	1988	69.50
1989	55.60	1989	55.6	1989	32.10
1990	65.40	1990	39.07	1990	46.10
1991	59.60	1991	51.53	1993	41.60
1992	58.80	1992	34.11	1994	74.30
1993	61.30	1993	33.205	1995	30.00
1995	42.50	1995	166.33	1996	37.60
1996	40.30	1996	48	1997	96.90
1997	48.05	1997	73	1998	59.80
1998	24.27	1998	35.59	1999	45.90
1999	18.66	1999	26.57	2000	22.70
2000	19.22	2000	63.02	2001	82.70
2001	45.45	2001	149.52	2002	165.80
2002	45.47	2002	28.61	2003	45.60
2003	129.45	2003	113.82	2004	73.70
2004	64.36	2004	49.72	2005	64.00
2005	98.09	2005	90.06	2006	50.80
2006	42.18	2006	40.5	2007	52.20
2007	44.38	2007	30.84	2008	83.70

Devamı Arkada

Çizelge 4.1'in devamı

2008	30.95	2008	50.88	2009	184.20
2009	70.53	2009	130.76	2010	75.40
2010	57.15	2010	52.18	2011	65.40
2011	61.08	2011	91.42	2012	214.20
2012	39	2012	41.12	2013	38.60
2013	31.04	2013	48.20	2014	102
2014	19.36	2014	53.40	2015	89.2
2015	63.74	2015	56.60	2016	69
2016	48.47	2016	62.40	2017	129.2
2017	74.07	2017	111	2018	67.6
2018	87.63	2018	84.60	2019	88.4
2019	28.18	2019	35.20	2020	26.4
2020	109.42	2020	42.40		
		2021	34.80		
		2022	86.40		
μ	60.64	μ	64.01	μ	67.97
σ	32.53	σ	33.90	σ	36.96

4.1.1. Terkos İstasyonu yağış verileri analizi

Gumbel dağılımı ile Terkos İstasyonu'ndaki günlük maksimum yağış yükseklik değerleri bulunur;

$$X_{T-5 \text{ yıl}} = 60.64 + 1.50 \times 32.53 = 109.44 \text{ mm.}$$

$$X_{T-10 \text{ yıl}} = 60.64 + 2.25 \times 32.53 = 133.84 \text{ mm.}$$

$$X_{T-25 \text{ yıl}} = 60.64 + 3.20 \times 32.53 = 164.75 \text{ mm.}$$

$$X_{T-50 \text{ yıl}} = 60.64 + 3.90 \times 32.53 = 187.52 \text{ mm.}$$

$$X_{T-100 \text{ yıl}} = 60.64 + 4.6 \times 32.53 = 210.29 \text{ mm.}$$

Bulunan günlük yağış değerlerinden kısa süreli (5,10,15,30 dk.lık) yağış değerleri hesaplanır. Kısa süreli yağış şiddetini bulurken kullanabileceğimiz formül 4.4'de belirtilmiştir.

$$P_t = P_{24} \times \left(\frac{T}{1440} \right)^n \quad (4.4)$$

Örnek olarak 5 yıllık dönüş periyodu ve 5 dakika içinde günlük maksimum yağış değeri $P_t = 109.44 \times \left(\frac{5}{1440} \right)^{0.5} = 6.4 \text{ mm.}$ 'dir. Tüm yıl ve zaman dilimleri için hesaplama yapılır ve elde edilen sonuçlarla tablo oluşturulur. Aynı formülle yapılan hesaplamada yağış yükseklikleri 10 yıl 5 dakika için 7.9 mm., 25 yıl 5 dakika için 9.7 mm., 50 yıl 5

dakika için 11 mm, 100 yıl 5 dakika için ise 12.4 mm. olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de yılların farklı zaman sürelerinde oluşacak pik yağışlarına dair değerler mevcuttur.

Çizelge 4.2. Terkos İstasyonu yağış yüksekliği değerleri

Yağış yüksekliği (mm)					
Zaman (dk)	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
5	6.4	7.9	9.7	11.0	12.4
10	9.1	11.2	13.7	15.6	17.5
15	11.2	13.7	16.8	19.1	21.5
30	15.8	19.3	23.8	27.1	30.4
60	22.3	27.3	33.6	38.3	42.9
120	31.6	38.6	47.6	54.1	60.7
240	44.7	54.6	67.3	76.6	85.9
360	54.7	66.9	82.4	93.8	105.1
720	77.4	94.6	116.5	132.6	148.7
1080	94.8	115.9	142.7	162.4	182.1
1440	109.4	133.8	164.7	187.5	210.3

Yağış yüksekliği değerleri yağış şiddeti verilerine dönüştürülür. Hesaplama için kullanılan formül 4.5’te belirtilmiştir.

$$D = I \times T \quad (4.5)$$

D: yağış yüksekliği (mm)

I: yağış şiddeti (mm/h)

T: yağış süresi (h)

Örnek olarak çizelge 4.2’de 5 yıllık dönüş periyodu içinde oluşan 5 dakika içindeki maksimum yağış yüksekliği 6.4 mm’dir. Bu durumda $I = 6.4 / (5/60) = 77.4$ mm/h’dır. Tüm yağış şiddeti değerleri bu formül kullanılarak bulunur.

Terkos İstasyonu için bulunan yağış şiddeti verileri çizelge 4.3’de 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür süresi için gösterilmiştir. Satırlar, yağışın süresini (örneğin 0.08 h, 0.017 h, 1 h vb.); sütunlar, her bir geri dönüş periyoduna karşılık gelen yağış şiddeti değerlerini (mm/h) göstermektedir.

Çizelge 4.3. Terkos İstasyonu yağış şiddeti değerleri

Zaman (h)	Yağış şiddeti (mm/h)				
	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
0.08	77.4	94.6	116.5	132.6	148.7
0.17	54.7	66.9	82.4	93.8	105.1
0.25	44.7	54.6	67.3	76.6	85.9
0.5	31.6	38.6	47.6	54.1	60.7
1	22.3	27.3	33.6	38.3	42.9
2	15.8	19.3	23.8	27.1	30.4
4	11.2	13.7	16.8	19.1	21.5
6	9.1	11.2	13.7	15.6	17.5
12	6.4	7.9	9.7	11.0	12.4
18	5.3	6.4	7.9	9.0	10.1
24	4.6	5.6	6.9	7.8	8.8

Yağış şiddeti verileri oluşturulduktan sonra 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl için IDF grafiği oluşturulmuştur. Şekil 4.1 çizelge 4.3 olarak grafiğe dönüştürülmüş ve IDF grafiği oluşmuştur.

**Şekil 4.1.** Terkos İstasyonu IDF grafiği

Terkos İstasyonu'nun regresyon modeliyle yağış tahminleri yapılmış olup, uzun yıllara ait yağışları tablo haline getirilmiştir. Oluşturulan tablo sonucunda tüm verilerin

ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları içindeki yağış değerleri Gumbel dağılımına göre bulunmuştur.

- 50 yıl 10 dakikalık yağış şiddeti 93.8 mm/h'tır.
- 50 yıl 5 dakikalık yağış şiddeti 132.6 mm/h'tır.
- 100 yıl 10 dakikalık yağış şiddeti 105.1 mm/h'tır.
- 100 yıl 5 dakikalık yağış şiddeti 148.7 mm/h'tır.

4.1.2. Kumköy İstasyonu yağış verileri

Gumbel dağılımı ile Kumköy İstasyonu'ndaki günlük maksimum yağış yükseklikleri bulunmuştur.

- $X_T-5 \text{ yıl} = 67.97 + 1.50 \times 36.96 = 123.42 \text{ mm.}$
- $X_T-10 \text{ yıl} = 67.97 + 2.25 \times 36.96 = 151.14 \text{ mm.}$
- $X_T-25 \text{ yıl} = 67.97 + 3.2 \times 36.96 = 186.25 \text{ mm.}$
- $X_T-50 \text{ yıl} = 67.97 + 3.9 \times 36.96 = 212.13 \text{ mm.}$
- $X_T-100 \text{ yıl} = 67.97 + 4.6 \times 36.96 = 238 \text{ mm.}$

Bulunan günlük yağış yüksekliği değerlerinden kısa süreli yağış yüksekliği değerleri hesaplanır. Yağış yüksekliğini bulurken kullanabileceğimiz denklem, formül 4.6'da gösterilmiştir.

$$P_t = P_{24} \times \left(\frac{T}{1440} \right)^n \quad (4.6)$$

Örnek olarak 5 yıllık dönüş periyodu içinde 5 dakika içindeki günlük maksimum yağış yüksekliği değeri:

$$P_t = 123.42 \times \left(\frac{5}{1440} \right)^{0.5} = 7.27 \text{ mm.}$$

Tüm yıl ve zaman dilimleri ve dönüş periyotları için hesaplama yapılır ve çizelge 4.4 oluşturulur.

Çizelge 4.4. Kumköy İstasyonu yağış yüksekliği değerleri

Yağış yüksekliği (mm)					
Zaman (dk)	5 yıl	10 yıl	25 YIL	50 yıl	100 yıl
5	7.27	8.91	10.98	12.50	14.02
10	10.28	12.59	15.52	17.68	19.83

Devamı Arkada

Çizelge 4.4'ün devamı

15	12.60	15.43	19.01	21.65	24.29
30	17.81	21.81	26.88	30.62	34.35
60	25.19	30.85	38.02	43.30	48.58
120	35.63	43.63	53.77	61.24	68.71
240	50.38	61.70	76.04	86.60	97.16
360	61.71	75.57	93.13	106.06	119.00
720	87.27	106.87	131.70	150.00	168.29
1080	106.88	130.89	161.30	183.71	206.12
1440	123.41	151.14	186.25	212.13	238.00

Yağış yüksekliği değerleri yağış şiddeti verilerine dönüştürülür. Hesaplama için kullanılabilecek denklem formül 4.7'de belirtilmiştir.

$$D=I \times T \quad (4.7)$$

D: yağış yoğunluğu (mm)

I: yağış şiddeti (mm/h)

T: yağış süresi (h)

Örnek olarak çizelge 4.4'de 5 yıllık dönüş periyodu içinde oluşan 5 dk. içindeki maksimum yağış yüksekliği 7.27 mm'dir. Bu durumda $I = 7.27 / (5/60) = 87.27$ mm/h'tır. Tüm yağış şiddeti değerleri formül 4.7'de bulunur. Çizelge 4.5 analiz sonucu oluşturulan yağış şiddeti verileridir.

Çizelge 4.5. Kumköy İstasyonu yağış şiddeti değerleri

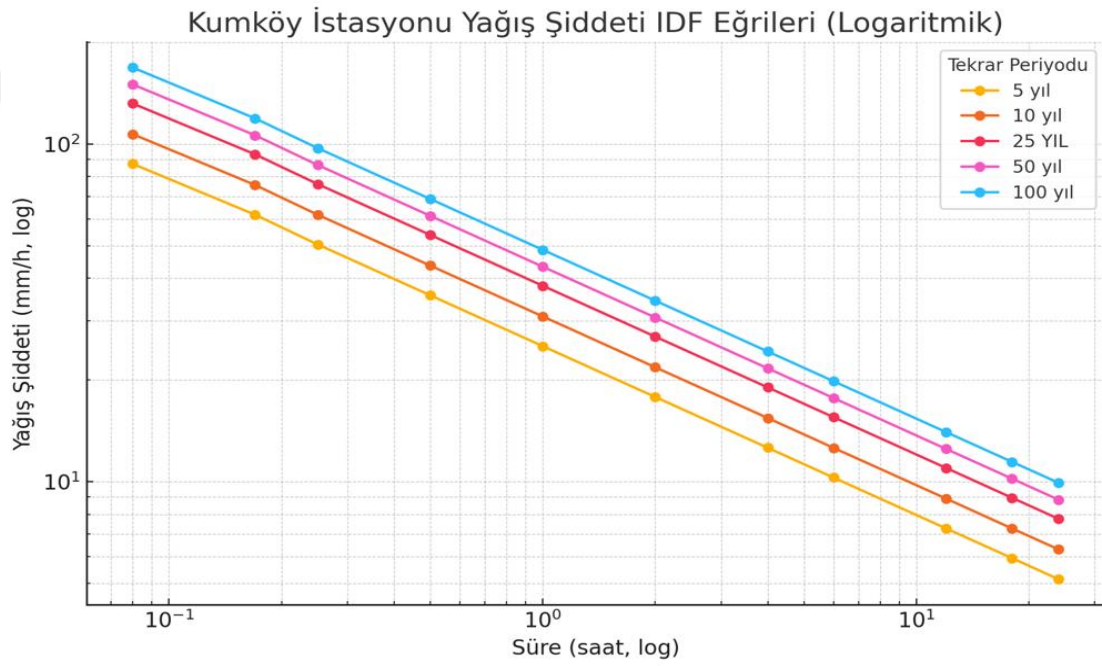
Yağış şiddeti (mm/h)					
Zaman (h)	5 yıl	10 yıl	25 YIL	50 yıl	100 yıl
0.08	87.27	106.87	131.70	150.00	168.29
0.17	61.71	75.57	93.13	106.06	119.00
0.25	50.38	61.70	76.04	86.60	97.16
0.50	35.63	43.63	53.77	61.24	68.71
1	25.19	30.85	38.02	43.30	48.58
2	17.81	21.81	26.88	30.62	34.35
4	12.60	15.43	19.01	21.65	24.29

Devamı Arkada

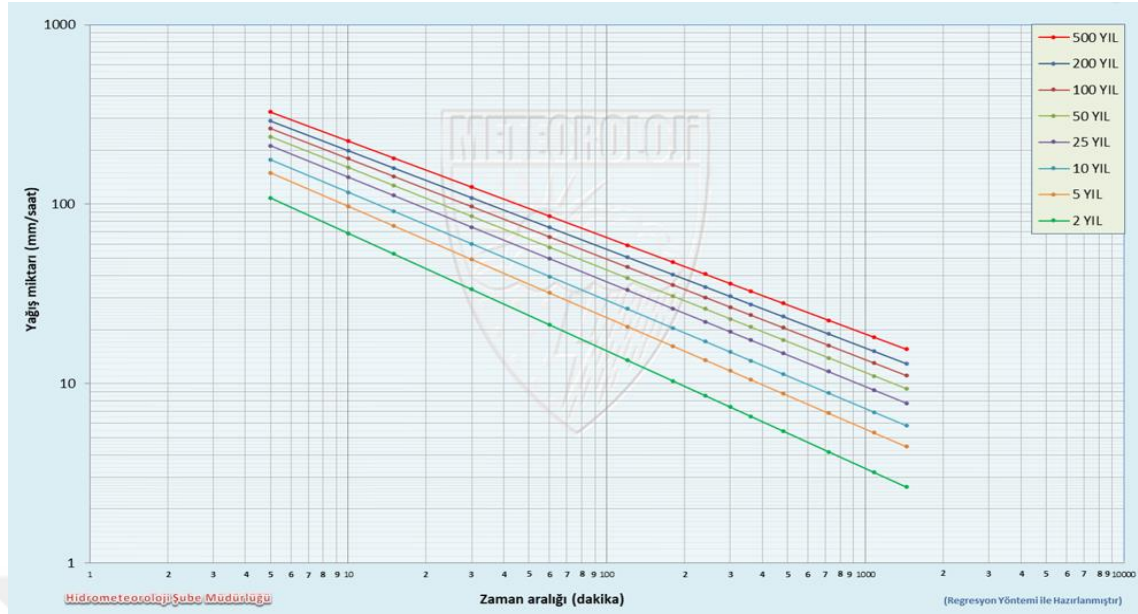
Çizelge 4.5'in devamı

6	10.28	12.59	15.52	17.68	19.83
12	7.27	8.91	10.98	12.50	14.02
18	5.94	7.27	8.96	10.21	11.45
24	5.14	6.30	7.76	8.84	9.92

Yağış şiddet verileri oluşturulduktan sonra 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür süresi için IDF grafiği oluşturulur. Çizelge 4.5'deki değerlere göre oluşturulan grafik şekil 4.2'de görülmektedir. Şekil 4.3, MGM'den alınan Kumköy İstasyonu yağış şiddet-süre-tekerrür eğrileridir.



Şekil 4.2. Kumköy İstasyonu IDF grafiği



Şekil 4.3. Kumköy İstasyonu MGM IDF grafiği

4.1.3. İnceğiz İstasyonu yağış verileri

Gumbel dağılımı ile İnceğiz İstasyonu'ndaki günlük maksimum yağışlar bulunmuştur.

$$X_{T-5 \text{ yıl}} = 64.01 + 1.50 \times 33.90 = 114.87 \text{ mm.}$$

$$X_{T-10 \text{ yıl}} = 64.01 + 2.25 \times 33.90 = 140.29 \text{ mm.}$$

$$X_{T-25 \text{ yıl}} = 64.01 + 3.2 \times 33.90 = 172.50 \text{ mm.}$$

$$X_{T-50 \text{ yıl}} = 64.01 + 3.9 \times 33.90 = 196.23 \text{ mm.}$$

$$X_{T-100 \text{ yıl}} = 64.01 + 4.6 \times 33.90 = 219.96 \text{ mm.}$$

Örnek olarak 5 yıllık dönüş periyodu içinde 5 dakika içindeki günlük maksimum yağış değeri:

$P_t = 114.87 \times \left(\frac{5}{1440} \right)^{0.5} = 6.8 \text{ mm.}$ 'dir. Tüm yıl ve zaman dilimleri için hesaplama yapılır ve çizelge 4.6 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.6. İnceğiz İstasyonu yağış yüksekliği değerleri

Yağış yüksekliği (mm)					
Zaman (h)	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
5	6.8	8.3	10.2	11.6	13.0
10.	9.6	11.7	14.4	16.4	18.3
15	11.7	14.3	17.6	20.0	22.4
30	16.6	20.2	24.9	28.3	31.7

Devamı Arkada

Çizelge 4.6'nın devamı

60	23.4	28.6	35.2	40.1	44.9
120	33.2	40.5	49.8	56.6	63.5
240	46.9	57.3	70.4	80.1	89.8
360	57.4	70.1	86.3	98.1	110.0
720	81.2	99.2	122.0	138.8	155.5
1080	99.5	121.5	149.4	169.9	190.5
1440	114.9	140.3	172.5	196.2	220.0

Yağış yüksekliği değerleri yağış şiddeti verilerine dönüştürülür. Hesaplama için kullanılabilecek denklem formül 4.8'de belirtilmiştir.

$$D=I \times T \quad (4.8)$$

D: Yağış yüksekliği (mm)

I: Yağış şiddeti (mm/h)

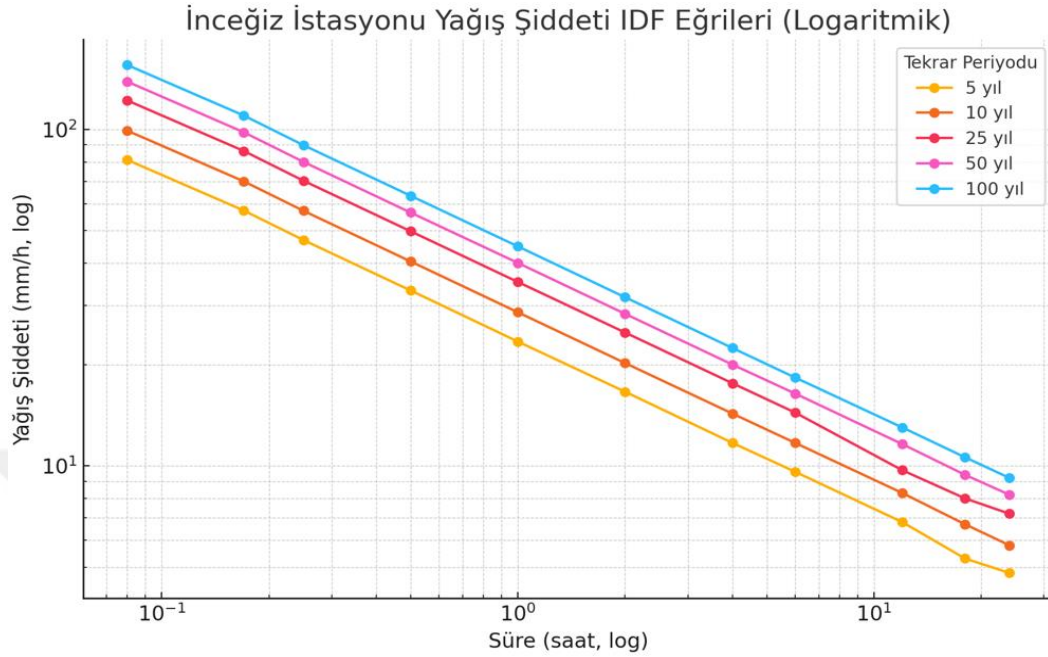
T: Yağış süresi (h)

Çizelge 4.6 yağış yükseklikleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda çizelge 4.7'deki yağış şiddeti verileri bulunmuştur.

Çizelge 4.7. İnceğiz İstasyonu yağış şiddeti değerleri

Yağış şiddeti (mm/h)					
Zaman (h)	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
0.08	81.2	99.2	122.0	138.8	155.5
0.17	57.4	70.1	86.3	98.1	110.0
0.25	46.9	57.3	70.4	80.1	89.8
0.50	33.2	40.5	49.8	56.6	63.5
1	23.4	28.6	35.2	40.1	44.9
2	16.6	20.2	24.9	28.3	31.7
4	11.7	14.3	17.6	20.0	22.4
6	9.6	11.7	14.4	16.4	18.3
12	6.8	8.3	10.2	11.6	13.0
18	5.5	6.7	8.3	9.4	10.6
24	4.8	5.8	7.2	8.2	9.2

Yağış şiddet verileri oluşturulduktan sonra 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl için IDF grafiği oluşturulmuştur. Şekil 4.4’de oluşturulan grafik görülmektedir.



Şekil 4.4. İnceğiz İstasyonu IDF grafiği

İnceğiz İstasyonu’nun regresyon modeliyle yağış tahminleri yapıp uzun yıllara ait yağışları tablo haline getirilmiştir. Oluşturulan tablo sonucunda tüm verilerin ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotlarına göre Gumbel dağılımına göre hesaplama yapılarak yağış şiddeti değerleri bulunmuştur.

- 50 yıl 10 dakikalık yağış yoğunluğu 98.1 mm/h’tır.
- 50 yıl 5 dakikalık yağış yoğunluğu 138.8 mm/h’tır.
- 100 yıl 10 dakikalık yağış yoğunluğu 110 mm/h’tır.
- 100 yıl 5 dakikalık yağış yoğunluğu 155.5 mm/h’tır.

4.1.4. İstanbul Havalimanı yağış verileri

Analiz sonucunda bulunan verilerinin karşılaştırılması için, MGM’den alınan iklim projeksiyon verileri doğrultusunda 1971-2000 ve 2024-2098 yağış verileri incelenmiştir. En yüksek yağış verisi 1971-2000 yılları aralığındadır. Bu nedenle 1971-2000 yılları arasındaki yıllara dair analizler yapılacaktır. Analiz sonucunda bulunan standart sapma ve yağış ortalamaları bulunmuştur.

μ (yağış ortalamaları) = 70.79 mm.

σ (standart sapma) = 40.65 mm.

Her tekerrür süresi için K_t değeri hesaplanır.

5 yıl için: $K_T=1.50$

10 yıl için: $K_T=2.25$

25 yıl için: $K_T=3.20$

50 yıl için: $K_T=3.90$

100 yıl için: $K_T=4.60$

5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş periyodu içindeki günlük maksimum yağış yükseklikleri bulunur.

$$X_{T-5} \text{ yıl} = 70.79 + 1.50 \times 40.65 = 131.77 \text{ mm.}$$

$$X_{T-10} \text{ yıl} = 70.79 + 2.25 \times 40.65 = 162.26 \text{ mm.}$$

$$X_{T-25} \text{ yıl} = 70.79 + 3.2 \times 40.65 = 200.87 \text{ mm.}$$

$$X_{T-50} \text{ yıl} = 70.79 + 3.9 \times 40.65 = 229.33 \text{ mm.}$$

$$X_{T-100} \text{ yıl} = 70.79 + 4.6 \times 40.65 = 257.78 \text{ mm.}$$

Bulunan günlük yağış yüksekliği değerlerinden kısa süreli yağış değerleri hesaplanır. Kısa süreli yağış yüksekliğini bulurken formül 4.9'da kullanılmıştır.

$$P_t = P_{24} \times \left(\frac{T}{1440} \right)^n \quad (4.9)$$

Örnek olarak, 5 yıllık dönüş periyodunda 5 dakika içindeki günlük maksimum yağış değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$P_t = 131.77 \times \left(\frac{5}{1440} \right)^{0.5} = 7.8 \text{ mm.}$$

Formül 5.9 kullanılarak 10, 15, 25, 50 ve 100 yıl dönüş periyotlarına ilişkin ve farklı zaman dilimlerine dair veriler elde edilmiştir. Bulunan veriler sonucunda çizelge 4.9 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.8. İstanbul Havalimanı İstasyonu yağış yüksekliği değerleri

Yağış yüksekliği (mm)					
Zaman (dk)	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
5	7.8	9.6	11.8	13.5	15.2
10	11.0	14.0	16.8	19.1	21.5
15	13.4	17.2	20.6	23.4	26.3
30	19.0	24.3	29.2	33.1	37.2

Devamı Arkada

Çizelge 4.8'in devamı

60	26.9	34.4	41.3	46.8	52.6
120	38	48.6	58.4	66.2	74.4
240	53.8	68.8	82.5	93.6	105.2
360	65.9	84.2	101.1	114.7	128.9
720	93.2	119.1	143.0	162.2	182.3
1080	114.1	145.9	175.1	198.6	223.2
1440	131.8	168.5	202.2	229.3	257.8

Yağış yükseklik değerleri yağış şiddeti verilerine dönüştürülmüştür. Hesaplama için kullanılabilecek denklem formül 4.10'da belirtilmiştir.

$$D=I \times T \quad (4.10)$$

D: yağış yüksekliği (mm)

I: yağış şiddeti (mm)

T: yağış süresi (h)

Yapılan analizler sonucunda çizelge 4.9'daki yağış şiddeti verileri bulunmuştur.

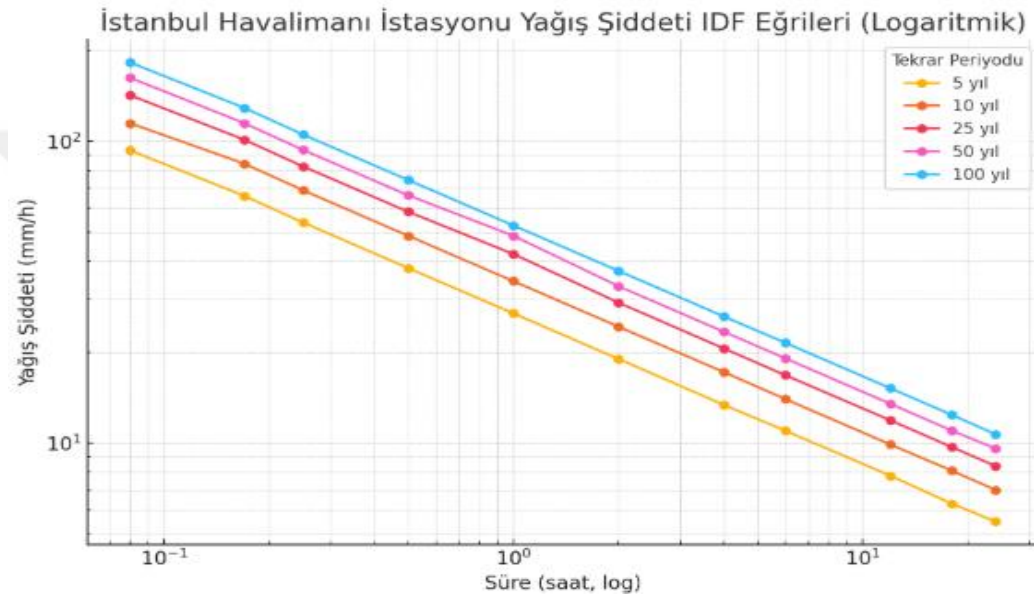
Çizelge 4.9. İstanbul Havalimanı İstasyonu yağış şiddeti verileri

Yağış şiddeti (mm/h)					
Zaman (h)	5 yıl	10 yıl	25 yıl	50 yıl	100 yıl
0.08	93.2	114.7	142.0	162.2	182.3
0.17	65.9	84.2	101.1	114.7	128.9
0.25	53.8	68.8	82.5	93.6	105.2
0.50	38.0	48.6	58.4	66.2	74.4
1	26.9	34.4	41.3	46.8	52.6
2	19.0	24.3	29.2	33.1	37.2
4	13.4	17.2	20.6	23.4	26.3
6	11.0	14.0	16.8	19.1	21.5
12	7.8	9.9	11.9	13.5	15.2
18	6.3	8.1	9.7	11.0	12.4
24	5.5	7.0	8.4	9.6	10.7

Tüm verilerin ortalamaları ve standart sapmaları hesaplanmıştır. 5,10, 25, 50 ve 100 yıllık dönüş periyotları için Gumbel dağılımına göre hesaplama yapılarak yağış değerleri bulunmuştur.

- 50 yıl 10 dakikalık yağış yoğunluğu 114.7 mm/h
- 50 yıl 5 dakikalık yağış yoğunluğu 162.2 mm/h
- 100 yıl 10 dakikalık yağış yoğunluğu 128.9 mm/h
- 100 yıl 5 dakikalık yağış yoğunluğu 182.3 mm/h

Analizler sonucunda şekil 4.5’de görülen IDF grafiği oluşturulmuştur. Çizelge 4.9’un grafiği şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. İstanbul Havalimanı İstasyonu IDF grafiği

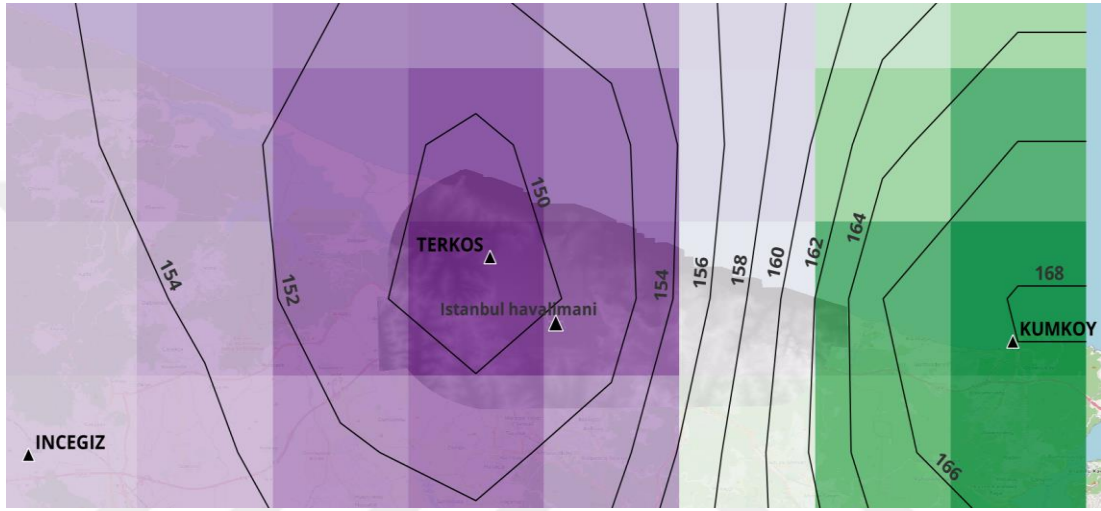
MGM’den gelen yağış verileri yardımıyla Gumbel dağılımı kullanılarak 50 ve 100 yıllık tekerrür sürelerine dair yağış şiddet verileri bulunmuştur. Regresyon analizi ve Gumbel yaklaşımı ile Terkos, Kumköy ve İnceğiz istasyonları ile oluşturmuş olduğumuz izohiyet yöntemi ile İstanbul Havalimanı için oluşacak yağış değeri ile iklim projeksiyonları sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.2. İstasyon Yağış Şiddetlerine Göre Havalimanı Bölgesi Yağış Verilerinin Oluşturulması

Analiz sonucunda bulunan veriler, istasyon ölçümleri ve modelleme sonuçlarından sağlanmıştır. 50 yıl ve 100 yıllık Terkos, Kumköy ve İnceğiz istasyonlarına ait yağış verileri Qgis modeline girilmiştir. Yağış şiddeti verilerinin mekansal olarak tahmin edilmesi amacıyla interpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Modelin oluşturduğu interpolasyon sonucunda, havalimanı bölgesinin 50 ve 100 yıllık yağış şiddet haritası oluşturulmuştur. Interpolasyon haritası 5 ve 10 dakikalık süreler için ayrı ayrı hazırlanmıştır.

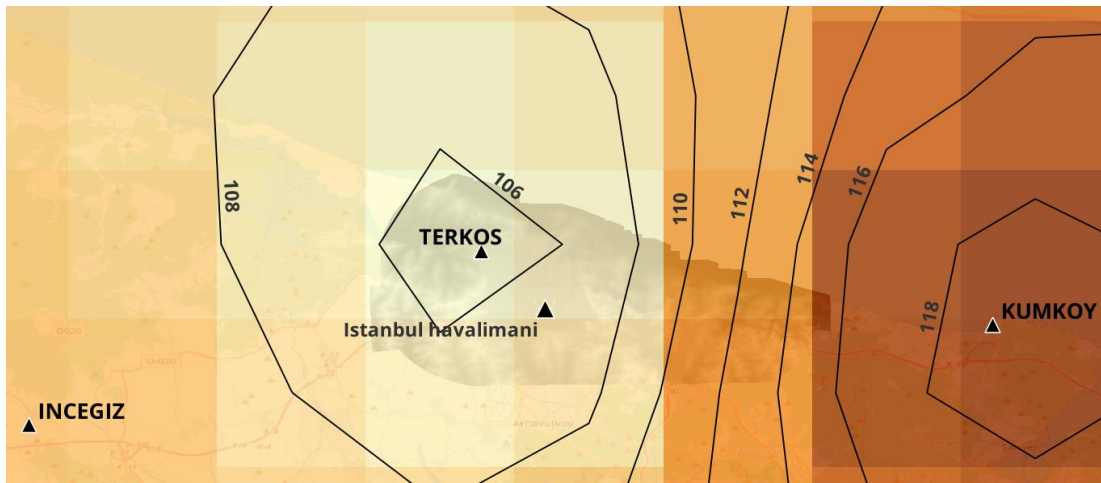
Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9 Qgis yazılımında gerçekleştirilmiş olan bir interpolasyon çalışmasıdır. Terkos, Kumköy ve İnçeğiz istasyonlarından elde edilmiş olan yağış şiddeti verileri, harita üzerinde dağılımını yansıtacak şekilde enterpole edilmiştir. Renk geçişleri yağış şiddetine dair değişimleri göstermektedir. Harita üzerindeki kontur çizgileri üzerinde de yağış şiddeti değerleri görülmektedir. İstasyon konumları üçgen ile işaretlenmiştir. Bu noktalar interpolasyonun temel verilerinin baz alındığı lokasyonlardır.

Şekil 4.6, havalimanı bölgesi için oluşturulan yağış haritasından 100 yıllık tekrar periyodu ve 5 dakikalık süre için yağış şiddeti değeri 152 mm/h olarak tahmin edilmiştir. Şekil 4.6, oluşturulan yağış şiddeti haritasını göstermektedir.



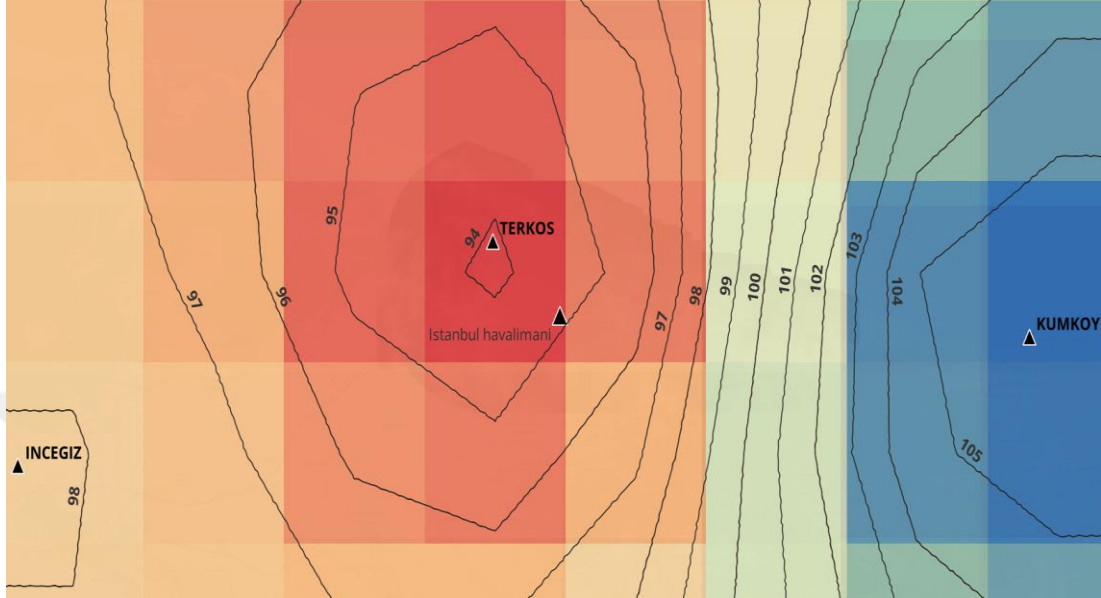
Şekil 4.6. 100 yıl 5 dakikalık verilere göre yağış şiddeti haritalandırması

Şekil 4.7’de Gumbel dağılımına göre bulunmuş olan 100 yıl 10 dakikalık yağış verilerine göre Qgis’de interpolasyon yapılmıştır. Yapılan interpolasyon sonucunda oluşan yağış haritasında, İstanbul Havalimanı için 100 yıl tekerrür periyodu ve 10 dakikada oluşabilecek yağış şiddeti verisi 108 mm/h olacağı tahmin edilmiştir.



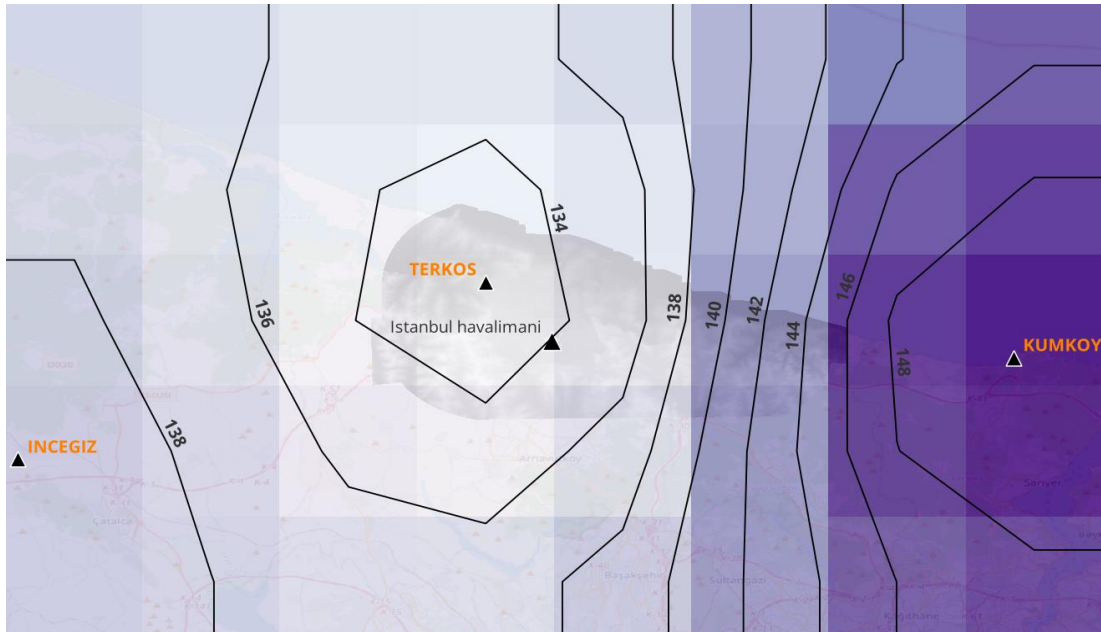
Şekil 4.7. 100 yıl 10 dakikalık verilere göre yağış şiddeti haritalandırması

Şekil 4.8’de Gumbel dağılımına göre bulunmuş olan 50 yıl tekerrür periyodu ve 10 dakikalık süre için bulunan yağış verilerine göre Qgis’de interpolasyon yapılmıştır. Yapılan interpolasyon sonucunda oluşan yağış şiddeti haritalandırmasına göre İstanbul Havalimanı için alınabilecek yağış şiddeti verisinin 95 mm/h olacağı tahmin edilmiştir.



Şekil 4.8. 50 yıl 10 dakikalık verilere göre yağış şiddeti haritalandırması

Şekil 4.9’da Gumbel dağılımına göre bulunmuş olan 50 yıl 5 dakikalık yağış verilerine göre Qgis’de interpolasyon yapılmıştır. Yapılan interpolasyon sonucunda oluşan yağış şiddeti haritalandırmasına göre, İstanbul Havalimanı için 50 yıl tekerrür süresi ve 5 dakikalık süre için yağış şiddeti 134 mm/h olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 4.9. 50 yıl 5 dakikalık verilere göre yağış şiddeti haritalandırması

Çizelge 4.10'da 50 yıl ve 100 yıllık tekerrüre göre iklim projeksiyonu ve regresyon modeli verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda iklim projeksiyonu verilerinin modelde kullanılmasına karar verilmiştir. Regresyon modeli verileri, 100 yıl 10 dakikalık iklim projeksiyonu verisi karşılaştırıldığında 100 yıl tekerrür süresinde en yüksek değer olan 182,3 mm/h verisi yağış şiddeti olarak baz alınacaktır.

Çizelge 4.10. İklim projeksiyonu ve regresyon modeli karşılaştırması

	İklim projeksiyonu		Regresyon Modeli- Gumbel Dağılımı	
zaman	50 Yıl	100 Yıl	50 Yıl	100 Yıl
5 dk.	162.2	182.3	134	151
10 dk.	114.7	128.9	95	107

4.3. İklim Değişikliği RCP 4.5 Senaryosuna Göre Maksimum Yağış Şiddetinin Tespiti

Analiz sonucunda havalimanı bölgesinde oluşacak olan yağış tahminlerini analiz etmek ve karşılaştırmak için, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) İklim ve Ziraî Meteoroloji Dairesi Başkanlığı'ndan iklim değişikliği senaryolarına dair çalışmalar talep edilmiştir. İki verinin karşılaştırılmasının sebebi; iklim değişikliğinin etkilerini görmek, kısa vadeli tahmin modellerinin gelecekteki iklim şartlarına olan uyumunu analiz edebilmek, güvenilirliğini anlamak ve sürdürülebilir tasarım yapabilmektir. Bu doğrultuda HadGem2-Es küresel iklim modeli ve RCP 4.5 senaryosu kullanılarak, havalimanı bölgesi için 1971-2098 yılları arasında beklenen yağış verileri talep edilmiştir.

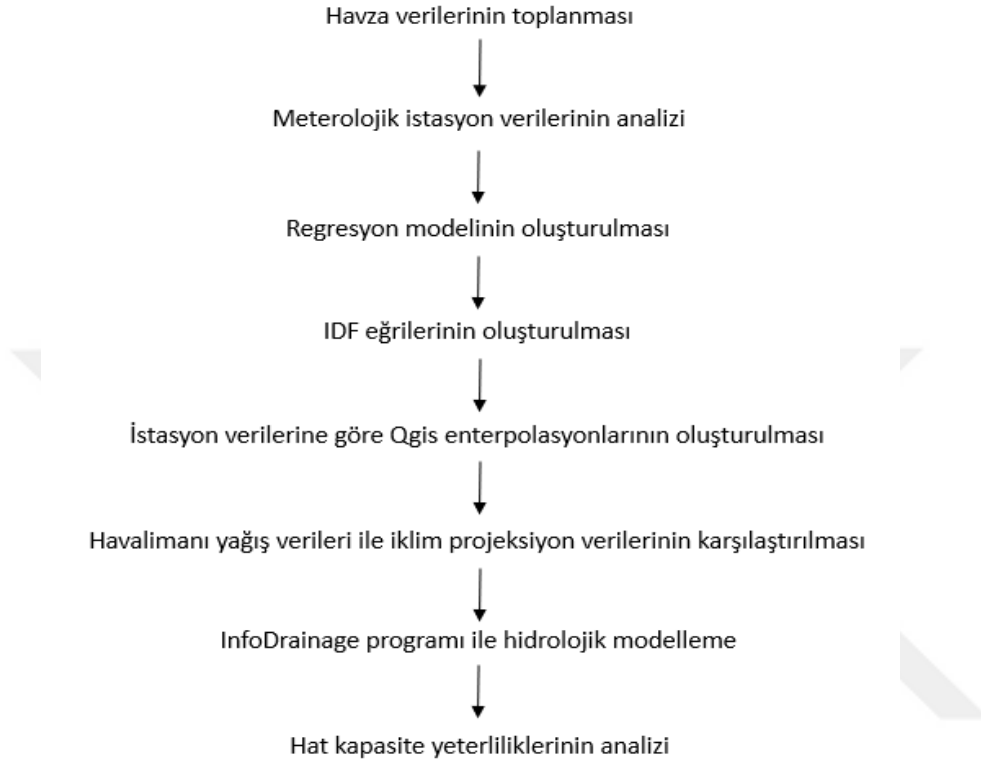
Talep etmiş olduğumuz Hadgem2-es modeli atmosfer, okyanus, kara yüzeyi sistemlerini entegre eder ve modelde dünyada oluşan iklim değişikliğini simüle eder. Modelleme ekosistem üzerindeki uzun vadeli etkiyi öngörebilmemizi sağlar. Dünyada oluşan sera gazı sebebi ile sıcaklık, yağış ve diğer iklimsel değişikliklerini öngörebilmek amacıyla hadgem modelleme yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır.

RCP 4.5 senaryosu ele alınarak orta düzey sera gazı salınımı olacağı varsayılmıştır. RCP 4.5 senaryosu enerji tüketiminde artış, deniz seviyesinde yükselme, ve yağış düzenlerinde değişimi öngörmektedir. İletilen günlük yağış verileri analiz edilerek yıllık maksimum yağış verisi seçilir. Yıl içinde günlük maksimum yağış yükseklikleri belirlenir. Daha sonra ise kısa süreli yağış değerlerine dönüştürülür. 50 ve 100 yıllık tekerrür süresindeki 5 ve 10 dakikalık yağış şiddetleri bulunur.

4.4. Metodoloji

Modelleme sürecine kadar izlenen adımlar şekil 4.10'da akış şeması olarak gösterilmiştir. Havza verileri toplanarak, çalışma alanının hidrolojik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Meteorolojik istasyon verileri analiz edilerek, bölgenin iklimsel verileri ve istatistiksel özellikleri belirlenmiştir. Regresyon modeli oluşturularak, istasyonların eksik olan verileri ve gelecekyıllara ait yağış şiddet verileri tahmin edilmiştir. IDF eğrileri oluşturularak yağış şiddetlerinin 50 ve 100 yıllık tekerrür yıllarındaki davranışları belirlenmiştir. İstasyon verilerine göre Qgis interpolasyonları oluşturularak bölgesel

yağış dağılımları görselleştirilmiştir ve eksik noktalardaki verilerin tahmini için interpolasyon işlemi uygulanmıştır. Havalimanı yağış verileri ile iklim projeksiyon verileri karşılaştırılarak hesaplanan yağış değerleri gelecekteki iklim senaryoları ile karşılaştırılmıştır. InfoDrainage ile hidrolik modelleme yapılarak hat yeterlilikleri analiz edilmiştir. Hat yeterlilikleri analiz edilerek de taşkın oluşabilecek hatlar belirlenmiştir.



Şekil 4.10. Çalışma adımları akış şeması

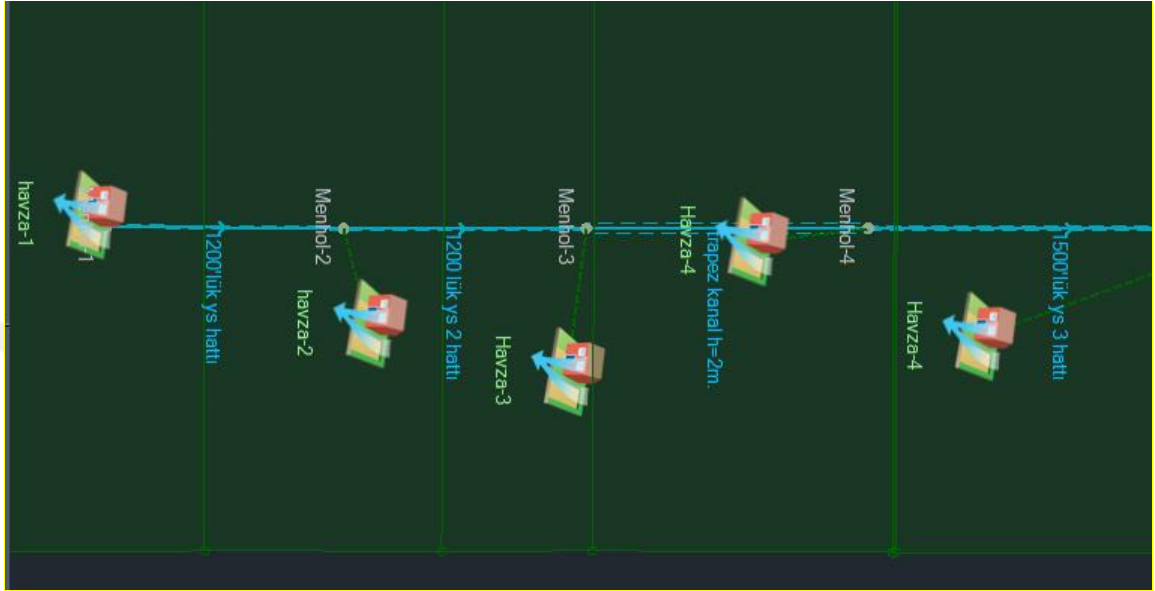
4.5. InfoDrainage Modeline Girilen Yağış Şiddeti Verilerine Göre Mevcut Drenaj Kapasitesinin Değerlendirilmesi

Yağmur suyu tasarımında, günümüzde birçok drenaj programı kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında iklim değişikliği verilerine göre hattın yeterlilik durumu InfoDrainage programı kullanılarak analiz edilmiştir. İklim değişikliği sebebiyle oluşan aşırı yağış olaylarında drenaj hatlarının taşkın riskini minimumda tutmak ve sürdürülebilir su yönetimi sağlamak önemlidir. InfoDrainage programının seçilmesinde, kapalı ve açık sistemleri birlikte analiz edebilmesi, akış yolu ve taşkın bölgelerini görselleştirebilmesi, taşkın riski olan bölgeleri analiz edebilmesi ve karmaşık sistemleri kolayca modellemesi etkili olmuştur. Yağış şiddetinin tespitinden sonra InfoDrainage programı kullanılarak öncelikli olarak İstanbul Havalimanı bölgesine ait bir alan modellenmiştir. Mevcut sistemin performansı farklı yağış senaryolarına göre değerlendirilmiştir.

4.5.1. Analiz yöntemi ve modelleme süreci

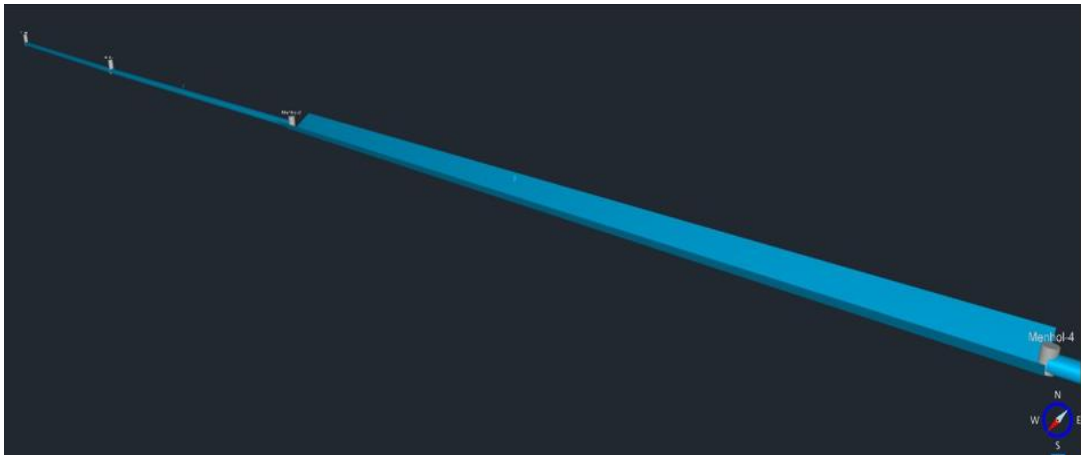
Öncelikle, sahada uygulanmış olan yağmur suyu hatları ile aynı özellikteki hatlar model üzerinde oluşturulmuştur. Modelde; hattın eğimi, boru çapı, malzeme türü, akar

kotları ve mevcut kaplamaya uygun havza yüzeyi oluşturulmuştur. Drenaj hattının tüm özellikleri modele girildikten sonra, regresyon ve iklim senaryo verileri sonucunda kullanılmasına karar kılınan yağış değerleri kullanılarak mevcut sistemin performansı test edilmiştir. Bu senaryo, 100 yıllık geri dönüş periyodu içinde 5, 10, 15, 30 ve 60 dakikalık yağış değerlerini içermektedir. Şekil 4.11’de, modelde oluşturulan plana dair kısmi görüntü mevcuttur.



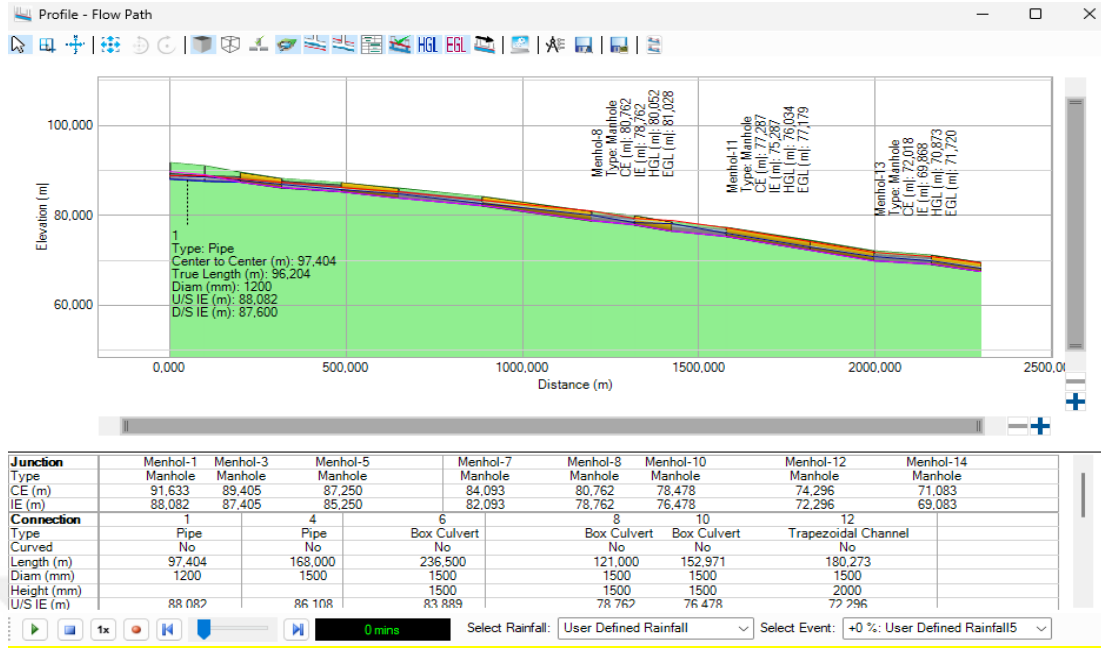
Şekil 4.11. Pist drenaj planı

Şekil 4.12, şekil 4.11’de görülen görselin 3 boyutlu görüntüleme sonucudur. 2 adet 1200 mm’lik kapalı boru hattı ve bağlanmış olduğu açık kanal üç boyutlu görünüşte görülmektedir.



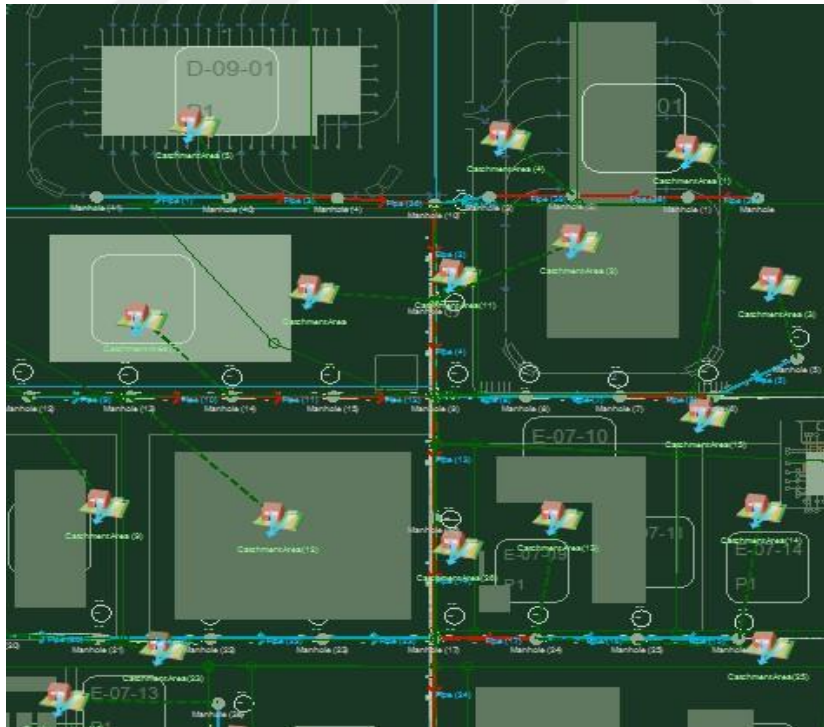
Şekil 4.12. Şekil 4.11'e ait 3 boyutlu görüntü

Şekil 4.13'te ise drenaj hattının InfoDrainage modelinde oluşturulan profil görüntüsü görülmektedir.



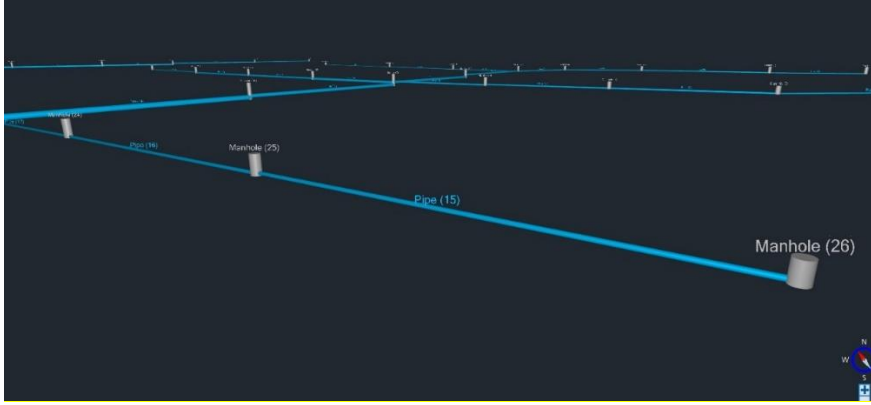
Şekil 4.13. Yağmur suyu drenaj hattı boyuna kesiti

Şekil 4.14, havalimanı kara tarafı parselleri için oluşturulan drenaj modeli görüntüsüdür. Kırmızı bölgeler RCP 4.5 senaryosuna göre taşkın riskiyle karşı karşıya kalabilecek drenaj hatlarını göstermektedir.



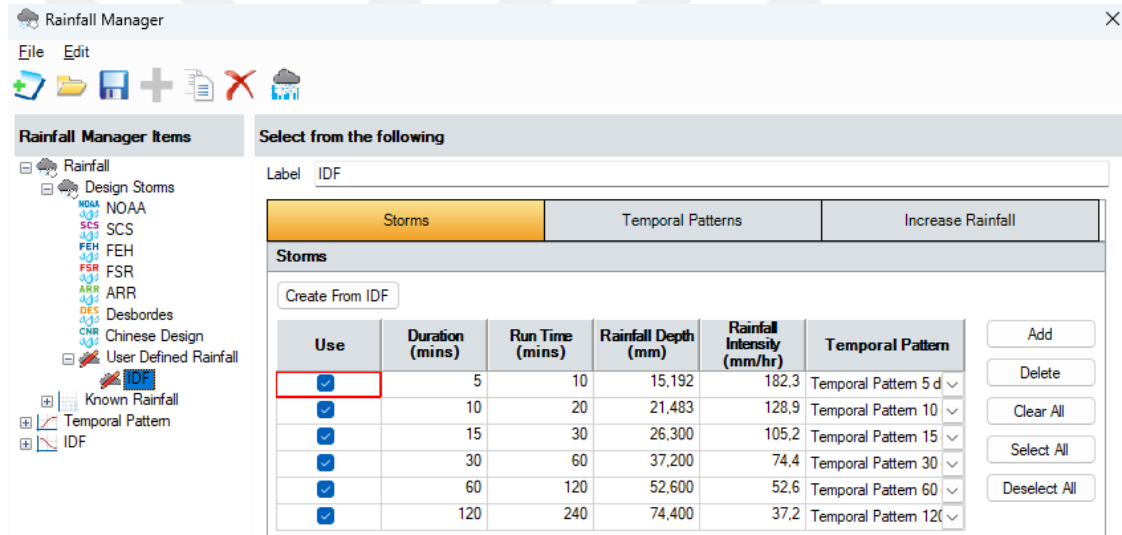
Şekil 4.14. Kara tarafı kısmi model görüntüsü

Şekil 4.15 ise şekil 4.14'de görünen planın 3 boyutlu model görüntüsüdür.



Şekil 4.15. Şekil 4.14 3 boyutlu model görüntüsü

Şekil 4.16 ise yağış yönetim menüsünü göstermektedir. Bu menü, yağış olaylarının modellenmesi için kullanılan tasarım yağışlarını ve yağış yoğunluklarını yönetmek amacıyla kullanılır.



Şekil 4.16. Yağış yönetim menüsü.

Rainfall (yağış) başlığı altında, farklı yağış modelleri bulunmaktadır.

- NOAA, SCS, FEH, FSR, ARR, Desbordes, Chinese Design gibi standart yağış modelleri,
- User Defined Rainfall (Kullanıcı Tanımlı Yağış) bölümü, özel yağış verilerini modellemeye imkan tanır.

Oluşturulan modelde, IDF eğrileri kullanılarak oluşturulmuş yağış verileri seçilmiştir.

IDF eğrileri kullanılarak farklı süre ve şiddetlerde yağış senaryoları tanımlanmıştır. Burada farklı sürelerdeki (5-120 dk) yağış olayları tanımlanmıştır. Kullanılacak yağış senaryolarının seçimi “use” sekmesinde görülmektedir. Yağış süreleri

“duration” sekmesinde görüldüğü gibi 5, 10, 15, 30, 60, 120 dakika olarak seçilmiştir. Modelin çalıştırılacağı süre “run time” sekmesinde görülmektedir. Örneğin 5 dakikalık yağış için model 10 dakika çalıştırılmıştır. Her bir yağış süresi için pik yağış değerleri “rainfall intensity” modülüne girilmiştir.

Seçilen yağış süreleri ve şiddetleri, drenaj altyapısının gelecekteki iklim koşullarına nasıl yanıt vereceğini değerlendirmek için kullanılabilir. Temporal pattern (zamansal dağılım), yağışın belirli bir zaman diliminde nasıl dağıldığını simüle ederek, yağmursuyu drenaj kapasitesinin test edilmesine olanak sağlar. Bu bilgiler, havacılık operasyonları sırasında pist, apron ve taksi yollarında su birikme riskinin analiz edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Şekil 4.17 modele ait toplanma süresi menüsünü göstermektedir.

Şekil 4.17. Toplanma süresi menüsü

Şekil 4.18 havza-14 drenaj alanı ayarlarını göstermektedir. Bu ekran, yağmur suyu akışının hesaplanmasında kullanılan parametreleri ve havza yüzeyinin özelliklerini göstermektedir.

Şekil 4.18. Havza-14 havza ayarları menüsü

- Volumetric runoff coefficient değeri 1 olarak seçilmiştir. Tüm suyun yüzey akışına geçtiği, suyun yeraltına sızmadığı koşul göz önüne alınmıştır.
- Percentage impervios değeri (geçirimsiz yüzey oranı) 100'dür.
- Toplanma süresi 5.58 dk.'dır. Toplanma süresi, yağışın en uzak noktadan çıkış noktasına olan ulaşım süresidir. Bu değer 5,58 dk. olarak alınmıştır. Yağışın toplanma süresinin hesap metodu şekil 4.18'de görülmektedir. Yağışın toplanma süresi FAA konsantrasyon süresi metodu ile bulunmuştur. Bu metot, özellikle havaalanları, pist ve apron gibi büyük alanların yağış akış süresini belirlemek amacıyla kullanılan konsantrasyon süresi hesaplama yöntemidir. FAA tarafından geliştirilmiştir. FAA konsantrasyon süresi formül 4.11'de gösterilmiştir.

$$T_c = \frac{1.8*(1.1-C)*L^{0.5}}{S^{0.33}} \quad (4.11)$$

T_c = Konsantrasyon süresi (dk)

C = Yüzey akış katsayısı (Yüzey akışının toplam yağışa oranıdır. Beton ve asfalt için genelde 0.9-1 arasında değer almaktadır. Girilen eğim değeri c katsayısını etkilemektedir.)

L = Akış yolu uzunluğu (m)

S = Ortalama eğim (metre başına düşey değişim, yani düşey fark/yatay mesafe)

- Dinamik modelleme ile çözüm yapılmıştır. Yapmış olduğumuz modelleme mevcut hat kapasitesi ve yeni yağış durumunda akışın yağmur suyu hattında taşkın oluşturup oluşturmadığıdır. Dinamik modelleme taşkın analizleri için daha uygun bir yöntemdir. Dinamik modellemede SWMM (yağmur suyu yönetim modeli) methoduyla yapılmıştır.
- SWMM modeli yağmur suyunun yüzey harekeri ve zaman içindeki akışını zaman içinde incelemektedir, statik modellemeden farklı olarak suyun nasıl hareket ettiğini, taşkın riskini ve drenaj hattının kapasitesini değerlendirir ve havalimanı projeleri gibi büyük ölçekli projelerde kullanımını uygundur.
- Urban creep (kentsel yayılma oranı) 0 olarak girildi. Zamana bağlı bu bölgede geçirimsiz yüzeyde bir artış olmayacaktır.
- Equivalent width (eşdeğer genişlik) 240 m.'dir. Bu değer, havzanın genişliğini ifade eder. Bu da akışın yüzeyde nasıl yayılacağını belirler.
- Average slope (ortalama eğim) %1.1'dir. Bu değer, havzanın eğimini göstermektedir. Havalimanlarında %0.5-%1.5 aralığındadır.
- Internal routing (içsel yönlendirme) direkt olarak seçilmiştir. Bu durum, suyun doğrudan belirlenen çıkış noktasına gideceğini gösterir.

- Routing percentage (yönlendirme yüzdesi) 0'dır. Bu değer, suyun mevcut sistem içinde kaldığını gösterir. Su başka bir havza veya depolama sistemine yönlendirildiğinde bu değer değiştirilebilir.
- Impervious area (geçirimsiz alan) tüm havza alanı değeri olan 0,03206 km²'dir. Tüm havza geçirimsiz olduğu için tüm alan alınmıştır. Çimenlik veya suyu geçirecek alanlar olduğunda bu değer daha düşük alınabilir.
- Manning pürüzlülük katsayısı 0.015 olarak girilmiştir. Bu değer yüzeyin pürüzlülüğünü ifade etmektedir. Dolaylı olarak da suyun akış hızını da belirlemektedir. Farklı yüzey türlerinde alınabilecek Manning katsayıları pürüzsüz beton ve asfalt için 0.011-0.016 aralığında, çimenlik alanlar için 0.15-0.40 aralığında, toprak yüzey için ise 0.02-0.10 aralığındadır.
- Depression storage depth (çukur depolama derinliği) 0 olarak girilmiştir. Bu, yüzeyde suyun birikmediği ve göllenmenin olmadığını ifade eder. Yüzeyde küçük çukurlar veya suyun birikebileceği alanlar olursa bu değer yükseltilebilir.

4.5.2. Analiz bulguları

Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 100 yıl tekerür süresi için 5, 10, 15, 30, 60 dakikalık yağış süreleri ile drenaj hatlarının performansı analiz edilmiştir. İklim değişikliği verilerine göre 100 yıl tekerür süresi 5 dk. ve 10 dk.'lık süreler için bulunan yağış şiddeti verisi doğrultusunda analiz yapıldığında bazı hatların taşkın riskiyle karşı karşıya kalabileceği görülmüştür. Sistem içindeki borular, trapezoidal kanallar ve kutu menfezler, her senaryo için maksimum su seviyeleri, akış kapasiteleri ve debi değerleri açısından değerlendirilmiştir. Farklı yağış süreleriyle değişen hidrolik yükün drenaj sistemine etkisi incelenerek, hangi hatların taşkın riski altında olduğu belirlenmiştir.

Connections Summary

All Items All Storms Select Filter Flow Path Critical Rank By: Total Discharge Volume Critical Storm

IDF: Increase Rainfall (%): +0: IDF5

Connection	Connection Type	From	To	Upstream Cover Elevation (m)	Max. US Water Elevation (m)	Max. Flow Depth (m)	Discharge Volume (m ³)	Max. Velocity (m/s)	Flow / Capacity	Max. Flow (L/s)	Status
1	Pipe	Menhol-1	Menhol-2	91,637	88,484	0,540	227,058	1,3	0,24	664,5	OK
2	Pipe	Menhol-2	Menhol-3	90,928	88,278	0,482	418,900	2,9	0,71	1226,1	OK
3	Trapezoidal Channel	Menhol-3	Menhol-4	89,405	87,692	0,484	561,167	1,5	0,02	1632,5	OK
4	Pipe	Menhol-4	Menhol-5	88,108	86,790	0,525	718,283	3,1	0,33	1673,6	OK
5	Trapezoidal Channel	Menhol-5	Menhol-6	87,250	85,618	0,508	934,344	1,8	0,03	1968,7	OK
6	Box Culvert	Menhol-6	Menhol-7	85,889	84,561	0,587	1266,898	3,7	0,42	3268,6	OK
7	Trapezoidal Channel	Menhol-7	Menhol-8	84,093	82,595	0,747	1604,520	2,7	0,06	4426,5	OK
8	Box Culvert	Menhol-8	Menhol-9	80,762	79,754	0,810	1383,238	4,3	0,68	5285,2	OK
9	Trapezoidal Channel	Menhol-9	Menhol-10	79,855	78,483	0,853	1769,226	2,5	0,07	5919,7	OK
10	Box Culvert	Menhol-10	Menhol-11	78,485	77,564	0,857	1513,463	4,6	0,75	5971,2	Flood Risk
11	Trapezoidal Channel	Menhol-11	Menhol-12	77,287	75,915	0,651	1903,270	4,2	0,08	6735,0	OK
12	Trapezoidal Channel	Menhol-12	Menhol-13	74,296	72,971	0,674	1884,561	4,3	0,09	7332,0	OK
13	Box Culvert	Menhol-13	Menhol-14	72,018	70,692	0,777	1920,797	3,2	0,49	7451,1	OK
14	Trapezoidal Channel	Menhol-14	Simple Junction	71,083	69,812	0,698	1779,924	4,3	0,1	7649,5	OK

Şekil 4.19. 100 yıl tekerür süresi için 5 dakikalık yağış senaryosu analiz sonucu

Connections Summary

All Items All Storms Select Filter Flow Path Critical Rank By: Total Discharge Volume Critical Storm

IDF: Increase Rainfall (%): +0: IDF10

Connection	Connection Type	From	To	Upstream Cover Elevation (m)	Max. US Water Elevation (m)	Max. Flow Depth (m)	Discharge Volume (m³)	Max. Velocity (m/s)	Flow / Capacity	Max. Flow (L/s)	Status
1	Pipe	Menhol-1	Menhol-2	91,637	88,550	0,608	476,879	1,4	0,3	832,8	OK
2	Pipe	Menhol-2	Menhol-3	90,928	88,348	0,537	874,609	3,2	0,9	1555,6	OK
3	Trapezoidal Channel	Menhol-3	Menhol-4	89,405	87,731	0,583	1144,104	1,5	0,03	2044,7	OK
4	Pipe	Menhol-4	Menhol-5	88,108	86,949	0,664	1590,816	3,7	0,55	2763,9	OK
5	Trapezoidal Channel	Menhol-5	Menhol-6	87,250	85,737	0,740	2166,464	1,9	0,06	3688,2	OK
6	Box Culvert	Menhol-6	Menhol-7	85,889	84,882	0,810	3143,117	4,1	0,63	4978,8	OK
7	Trapezoidal Channel	Menhol-7	Menhol-8	84,093	82,719	0,868	4166,564	2,7	0,09	6614,9	OK
8	Box Culvert	Menhol-8	Menhol-9	80,762	79,906	0,921	4428,797	4,7	0,84	6552,1	Flood Risk
9	Trapezoidal Channel	Menhol-9	Menhol-10	79,855	78,587	0,995	5313,259	2,6	0,09	7315,3	OK
10	Box Culvert	Menhol-10	Menhol-11	78,485	77,779	1,011	5156,085	5,2	0,99	7834,8	Flood Risk
11	Trapezoidal Channel	Menhol-11	Menhol-12	77,287	76,008	0,755	6198,024	4,5	0,11	8930,0	OK
12	Trapezoidal Channel	Menhol-12	Menhol-13	74,296	73,085	0,844	6803,063	4,4	0,13	10187,1	OK
13	Box Culvert	Menhol-13	Menhol-14	72,018	70,917	0,976	7162,360	3,7	0,72	10908,9	OK
14	Trapezoidal Channel	Menhol-14	Simple Junction	71,083	69,987	0,864	7335,938	4,8	0,16	11593,7	OK

Şekil 4.20. 100 yıl tekerrür süresi için 10 dakikalık yağış senaryosu analiz sonucu

Connections Summary

All Items All Storms Select Filter Flow Path Critical Rank By: Total Discharge Volume Critical Storm

IDF: Increase Rainfall (%): +0: IDF15

Connection	Connection Type	From	To	Upstream Cover Elevation (m)	Max. US Water Elevation (m)	Max. Flow Depth (m)	Discharge Volume (m³)	Max. Velocity (m/s)	Flow / Capacity	Max. Flow (L/s)	Status
1	Pipe	Menhol-1	Menhol-2	91,637	88,541	0,592	666,386	1,5	0,3	813,3	OK
2	Pipe	Menhol-2	Menhol-3	90,928	88,324	0,519	1210,433	3,2	0,87	1489,9	OK
3	Trapezoidal Channel	Menhol-3	Menhol-4	89,405	87,720	0,569	1567,345	1,4	0,03	1926,5	OK
4	Pipe	Menhol-4	Menhol-5	88,108	86,931	0,657	2216,243	3,7	0,54	2723,8	OK
5	Trapezoidal Channel	Menhol-5	Menhol-6	87,250	85,740	0,759	3060,772	1,9	0,06	3741,0	OK
6	Box Culvert	Menhol-6	Menhol-7	85,889	84,916	0,838	4479,395	4,3	0,68	5364,7	Flood Risk
7	Trapezoidal Channel	Menhol-7	Menhol-8	84,093	82,742	0,975	5993,012	2,7	0,1	7179,1	OK
8	Box Culvert	Menhol-8	Menhol-9	80,762	80,062	1,054	6593,833	4,9	0,95	7421,5	Flood Risk
9	Trapezoidal Channel	Menhol-9	Menhol-10	79,855	78,662	1,115	7834,015	2,6	0,11	8939,0	OK
10	Box Culvert	Menhol-10	Menhol-11	78,485	77,930	1,114	7765,610	5,1	1,07	8517,7	Flood Risk
11	Trapezoidal Channel	Menhol-11	Menhol-12	77,287	76,087	0,834	9312,245	4,5	0,13	10319,8	OK
12	Trapezoidal Channel	Menhol-12	Menhol-13	74,296	73,164	0,944	10519,725	4,4	0,15	11575,1	OK
13	Box Culvert	Menhol-13	Menhol-14	72,018	71,038	1,065	11146,833	3,8	0,79	12059,7	Flood Risk
14	Trapezoidal Channel	Menhol-14	Simple Junction	71,083	70,042	0,907	11686,762	4,8	0,17	12462,2	OK

Şekil 4.21. 100 yıl tekerrür süresi için 15 dakikalık yağış senaryosu analiz sonucu

Connections Summary

All Items All Storms Select Filter Flow Path Critical Rank By: Total Discharge Volume Critical Storm

IDF: Increase Rainfall (%): +0: IDF30

Connection	Connection Type	From	To	Upstream Cover Elevation (m)	Max. US Water Elevation (m)	Max. Flow Depth (m)	Discharge Volume (m³)	Max. Velocity (m/s)	Flow / Capacity	Max. Flow (L/s)	Status
1	Pipe	Menhol-1	Menhol-2	91,637	88,473	0,507	1053,145	1,4	0,23	630,5	OK
2	Pipe	Menhol-2	Menhol-3	90,928	88,223	0,445	1891,923	3,0	0,66	1128,9	OK
3	Trapezoidal Channel	Menhol-3	Menhol-4	89,405	87,672	0,485	2426,862	1,3	0,02	1442,4	OK
4	Pipe	Menhol-4	Menhol-5	88,108	86,810	0,565	3468,672	3,4	0,41	2070,6	OK
5	Trapezoidal Channel	Menhol-5	Menhol-6	87,250	85,677	0,641	4847,733	1,8	0,04	2902,6	OK
6	Box Culvert	Menhol-6	Menhol-7	85,889	84,743	0,716	7116,239	4,0	0,54	4257,9	OK
7	Trapezoidal Channel	Menhol-7	Menhol-8	84,093	82,670	0,866	9575,816	2,5	0,08	5739,1	OK
8	Box Culvert	Menhol-8	Menhol-9	80,762	79,916	0,943	10688,918	4,5	0,82	6404,2	Flood Risk
9	Trapezoidal Channel	Menhol-9	Menhol-10	79,855	78,586	1,006	12610,939	2,6	0,09	7549,9	OK
10	Box Culvert	Menhol-10	Menhol-11	78,485	77,766	1,011	12592,010	5,0	0,95	7531,8	Flood Risk
11	Trapezoidal Channel	Menhol-11	Menhol-12	77,287	76,021	0,772	15089,768	4,4	0,11	9028,9	OK
12	Trapezoidal Channel	Menhol-12	Menhol-13	74,296	73,105	0,870	17374,934	4,4	0,13	10443,2	OK
13	Box Culvert	Menhol-13	Menhol-14	72,018	70,948	0,999	18476,855	3,7	0,73	11103,6	OK
14	Trapezoidal Channel	Menhol-14	Simple Junction	71,083	70,002	0,875	19602,537	4,8	0,16	11806,6	OK

Şekil 4.22. 100 yıl tekerrür süresi için 30 dakikalık yağış senaryosu analiz sonucu

Connections Summary

All Items All Storms Select Filter Flow Path Critical Rank By: Total Discharge Volume Critical Storm

IDF: Increase Rainfall (%): +0: IDF60

Connection	Connection Type	From	To	Upstream Cover Elevation (m)	Max. US Water Elevation (m)	Max. Flow Depth (m)	Discharge Volume (m³)	Max. Velocity (m/s)	Flow / Capacity	Max. Flow (L/s)	Status
1	Pipe	Menhol-1	Menhol-2	91,637	88,408	0,424	1546,221	1,2	0,16	443,6	OK
2	Pipe	Menhol-2	Menhol-3	90,928	88,122	0,370	2765,358	2,7	0,46	791,7	OK
3	Trapezoidal Channel	Menhol-3	Menhol-4	89,405	87,623	0,399	3534,906	1,2	0,01	1010,3	OK
4	Pipe	Menhol-4	Menhol-5	88,108	86,688	0,466	5068,382	3,1	0,29	1450,8	OK
5	Trapezoidal Channel	Menhol-5	Menhol-6	87,250	85,601	0,504	7112,528	1,8	0,03	2039,5	OK
6	Box Culvert	Menhol-6	Menhol-7	85,889	84,545	0,567	10442,734	3,5	0,38	2994,1	OK
7	Trapezoidal Channel	Menhol-7	Menhol-8	84,093	82,571	0,686	14073,622	2,4	0,05	4037,2	OK
8	Box Culvert	Menhol-8	Menhol-9	80,762	79,657	0,742	15752,030	4,1	0,58	4522,6	OK
9	Trapezoidal Channel	Menhol-9	Menhol-10	79,855	78,443	0,790	18550,063	2,6	0,07	5323,9	OK
10	Box Culvert	Menhol-10	Menhol-11	78,485	77,476	0,802	18548,881	4,4	0,67	5323,8	OK
11	Trapezoidal Channel	Menhol-11	Menhol-12	77,287	75,893	0,639	22222,350	4,1	0,08	6377,2	OK
12	Trapezoidal Channel	Menhol-12	Menhol-13	74,296	72,968	0,685	25741,756	4,3	0,09	7405,5	OK
13	Box Culvert	Menhol-13	Menhol-14	72,018	70,716	0,805	27390,092	3,3	0,52	7881,7	OK
14	Trapezoidal Channel	Menhol-14	Simple Junction	71,083	69,846	0,731	29137,441	4,4	0,11	8392,4	OK

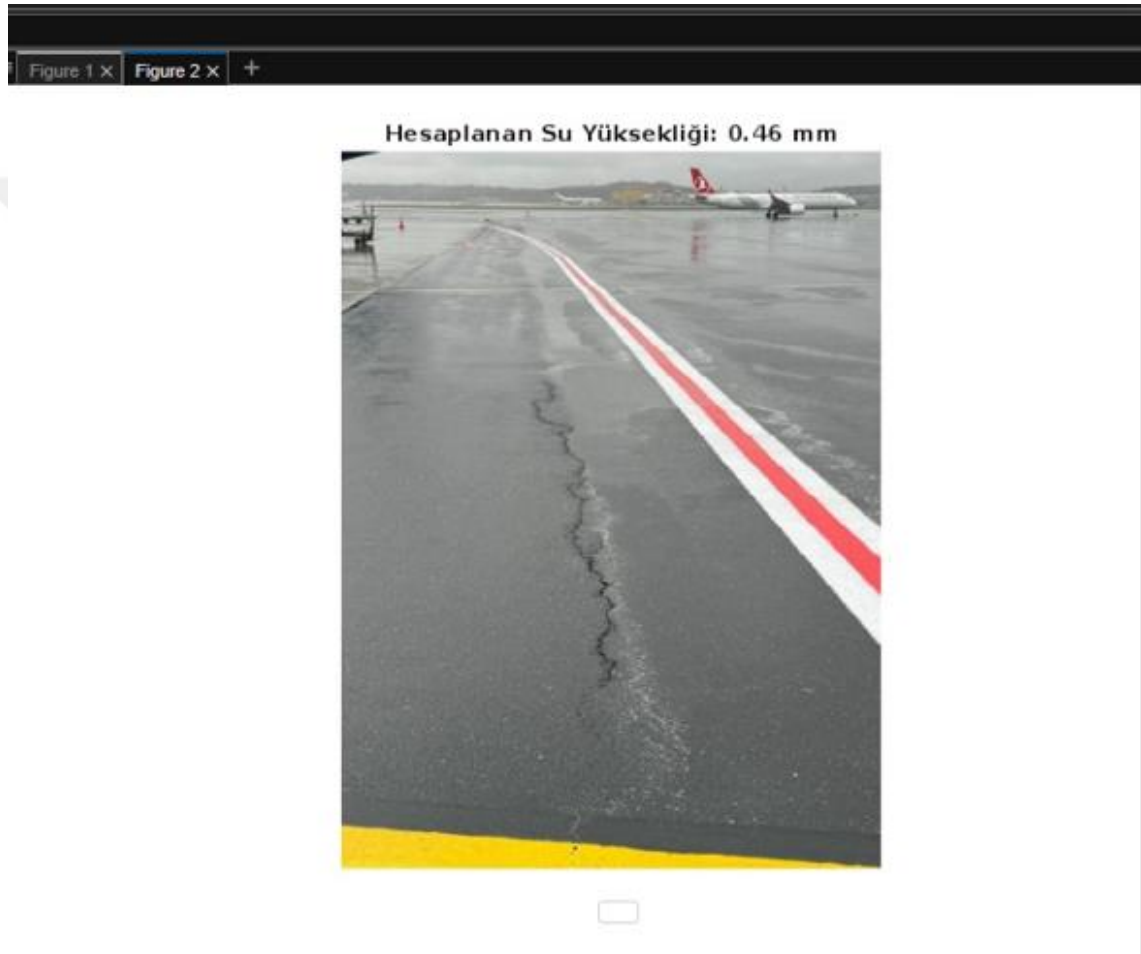
Şekil 4.23. 100 yıl tekerür süresi için 60 dakikalık yağış senaryosu analiz sonucu

Şekillerde görüldüğü gibi kısa süreli yağışlar (5-10 dk) daha yüksek ani debi oluşturmaktadır. Ancak toplam hacim daha düşüktür. Uzun süreli yağışlar (30-60 dk) daha fazla toplam hacim getirir ve sistem üzerindeki yük daha uzun süre devam eder.

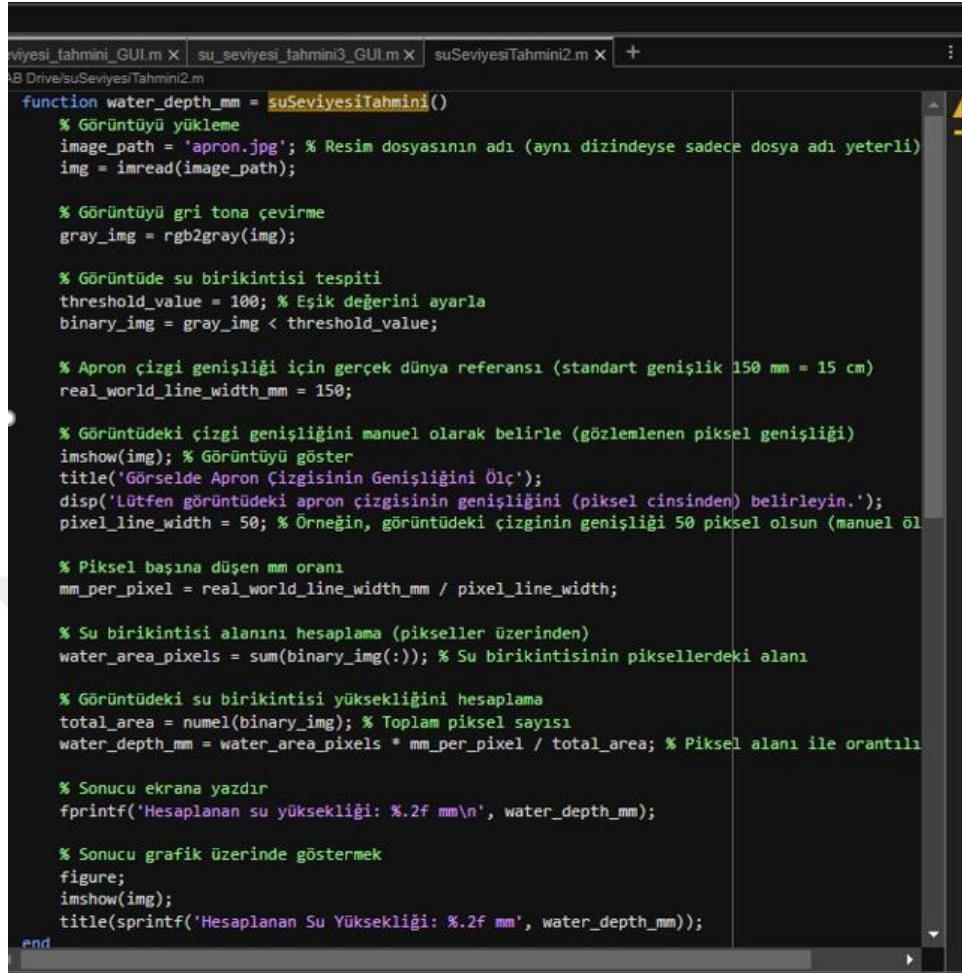
4.6. Yüzey Su Yüksekliğinin Görüntü İşleme Teknikleriyle Belirlenmesi ve Standartlara Uygunluğunun Tespiti

Havalimanlarında operasyonun sürekliliği için apron yüzey suyunun belli bir sınırı geçmemesi gerekir. Annex 14, Bölüm 3.1.14 ve FAA'de yüzey drenajı su birikintisi derinliği 3 mm.'yi aşmamalıdır. 3mm.'den daha yüksek su birikintisi uçak güvenliği açısından tehlikelidir. Yağış olduğu bir zamanda apron üzerinde biriken suyun fotoğrafı Şekil 4.24'de görülmektedir. Su yüksekliğinin kolay bir şekilde tayini için yerinde ölçüm

veya Matlab modellemesi ile kolay bir şekilde su yüksekliği tayinleri yapılabilir. Şekil 4.25 Matlab’de yapılmış yüzey su tayinine dair bir örnektir. Matlab analizi sonucunda su yüksekliği 0.46 mm. olarak bulunmuştur. Su yüksekliği operasyonu engellemeyecek ölçüdedir. Etkin yüzey drenajı için; doğru yüzey eğimleri, yeterli kapasitede drenaj sistemlerinin uygulanması, uzun yıllara dair kısa süreli yağışlar baz alınarak modelleme yapılması, hatların projede verilen çaplarda sahada uygulanması ve hatların bakım ve onarımlarının düzenli aralıklarla yapılması gereklidir. İstanbul Havalimanı drenaj tasarımlarında da tüm bu kriterler dikkate alınarak tasarım yapılmıştır. Bu nedenle; taksiyolu ve pistlerdeki su göllenmeleri büyük ölçüde önlenir, uçak ve ekipman güvenlikleri sağlanır ve havalimanı sürdürülebilirliği sağlanır.



Şekil 4.24. Yağışlı havada apron yüzeyine ait fotoğraf



```

function water_depth_mm = suSeviyesiTahmini()
% Görüntüyü yükleme
image_path = 'apron.jpg'; % Resim dosyasının adı (aynı dizindeyse sadece dosya adı yeterli)
img = imread(image_path);

% Görüntüyü gri tona çevirme
gray_img = rgb2gray(img);

% Görüntüde su birikintisi tespiti
threshold_value = 100; % Eşik değerini ayarla
binary_img = gray_img < threshold_value;

% Apron çizgi genişliği için gerçek dünya referansı (standart genişlik 150 mm = 15 cm)
real_world_line_width_mm = 150;

% Görüntüdeki çizgi genişliğini manuel olarak belirle (gözlemlenen piksel genişliği)
imshow(img); % Görüntüyü göster
title('Görselde Apron Çizgisinin Genişliğini Ölç');
disp('Lütfen görüntüdeki apron çizgisinin genişliğini (piksel cinsinden) belirleyin.');
```

Şekil 4.25. Şekil 4.24'ün MATLAB ortamında su seviyesi tahmini için kullanılan kod ekran görüntüsü

4.7. Toprakta Mevcut Olan Nem Oranının Ölçümü ve Standartlara Uygunluğunun Tespiti

Yağışın 2 saat sonrasında havalimanında toprak nemi ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonucu şekil 4.26'da görülmektedir. Havalimanında hava tarafında ölçülen toprak nemi cihaz ekranında görüldüğü gibi %25.9'dur. Bu durum toprağın kuru ağırlığına göre içindeki su ağırlığını ifade eder. Bu şekilde hızlıca arazinin nem oranı ölçülebilmektedir.

Havalimanında drenaj etrafında kullanılan toprağın bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Bunlar sıkışabilirlik, taşıma kapasitesi ve erozyon direncidir.



Şekil 4.26. Model kalibrasyonunda toprak nem ölçer cihazıyla nem ölçümü işleminin yapılması

4.7.1. Sıkışabilirlik

Kullanılan toprağın stabil kalabilmesi için yüksek sıkışma özelliğine sahip olması gereklidir. Bu durum toprak stabilitesini artırmaktadır.

4.7.2. Taşıma kapasitesi

Pist bölgesinde kullanılan toprağın ağır yük taşıyan araçların geçişine dayanacak kadar güçlü olması gereklidir. Genellikle kumlu killi toprak kullanılmaktadır. İstanbul Havalimanı'nda da bu özellikte toprak kullanılmıştır.

4.7.3. Erozyon direnci

Akıšta olan suyun kesme kuvvetine kullanine karşı, kullanılan toprak yeterli dayanımda olmalıdır. Kil içeriği yüksek toprakların da erozyon direnci yüksektir.

4.7.4. Geçirgenlik

Kanalların etrafında kullanılan toprağın fazla suyun drenajı için geçirgenlik önemli bir etkendir. Ayrıca yaban hayvanları için cazip birbölge oluşturmaması için kısa çimler uygulanmalıdır.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada İstanbul Havalimanı yağmur suyu drenaj hatlarının gelecekteki iklim senaryolarına karşı yeterliliği analiz edilmiştir. Yağmur suyu tasarımı için istasyon verilerinin kesintisiz ve etkin bir şekilde ölçümü önemlidir. İstanbul Havalimanı'nda kurulan istasyonun yeni olması, havalimanı bögesine yakın istasyonlarda uzun yıllara dair gözlem verilerinin olmaması, yağışlara dair tahmin yapılmasına sebep olmuştur. En doğru yağmur suyu şiddeti ölçümü için uzun yıllara dair günlük veri ölçümü gereklidir. Meteoroloji istasyonlarının günlük ölçümlerinin yapılması ve yağmur suyu ölçümü yapan istasyonlarının yaygınlaştırılması yağış durumunun takibi için önem arz etmektedir. Sağlıklı gözlem verilerinin olması, olası taşkın risklerine karşı önlem alınabilmesini de sağlayacaktır. İstasyon verileri eksik olan bölgelerde regresyon yöntemine başvurulmaktadır. Bu tezde eksik yılların tamamlanması için regresyon yaklaşımı kullanılmıştır. Verilerin doğruluğu için yağmur suyu tasarımı için regresyon modeli ile karşılaştırılmış olan iklim değişikliği senaryosunda RCP 4.5 senaryosu ele alınmıştır. Gelecekte iklim değişikliğinin ne seviyede olacağı ve iklim değişikliği ile dünya ülkelerinin hangi tutumda olduğu bilinemediği için orta şiddetli karbon salınımı olacağını öngörülmüştür. Regresyon sonucu ile MGM'den iklim değişikliği senaryoları birbirine yakın değerlerdir. Hesaplamalarda yüksek olan değer kullanılmıştır.

Havalimanı yağmur suyu tasarımında uzun yıllara ait veriler gerekli olduğu için, yağış senaryoları da değişken olması sebebiyle hatların yetersiz kalması olasıdır. Bu nedenle iklim değişikliğinin hava olaylarına nasıl etki edeceği yönündeki çalışmalara yoğunluk verilmelidir. Gelecekteki yağış anomalileri havalimanı gibi büyük alanlar için risk teşkil etmektedir. Bu nedenle hassas tasarım yaklaşımlarının yapılması önemlidir. Bu nedenle uzun yıllara ait kısa süreli yağış analizleri yapılmaktadır. Kısa süreli yağış şiddeti için Gumbel dağılımı kullanılarak IDF grafikleri oluşturulmuştur. IDF grafikleri 25, 50 ve 100 yılda yağış davranışının nasıl olacağına dair fikir vermektedir. Her bir istasyon için IDF grafiği oluşturulmuş ve iklim senaryoları sonucunda oluşan IDF grafiği de analiz edilmiştir.

Yağmur suyu hatları kapasite ve performans ölçümü için oluşturulan InfoDrainage modelinde tüm hat çapları, model programları tarafından hesaplanmamaktadır. Her bir hat çapını manuel girmek gereklidir. Bu da modelin pratik kullanılabilirliğini önlemektedir. Ama modelin kullandığı metotlar dinamik ve kısa süreli yağış ve analizleri için yeterlilik göstermektedir.

ICAO, Annex 14 ve diğer uluslararası standartlar incelendiğinde kesin ve net tasarım sınırlandırmaları yoktur. Yağmur suyu tasarımı için analiz standartları öneri olarak verilmiştir. Bazı tasarım kriterleri FAA ve Annex 14 arasında farklılıklar gösterebilir. Havalimanı tasarımında en negatif durum göz önüne alınarak standartlar belirlenmiştir. Havalimanındaki tasarım uygulamaları incelendiğinde yapılan tasarım uluslararası kriterlere uygunluk göstermektedir.

İklim değişikliği senaryoları kapsamında mevcut drenaj sistemleri üzerindeki yüklenmeleri artırabilmek için esnek tasarım yaklaşımları uygulanabilir. Yağmur suyu bahçeleri, yağmur suyu depo uygulamaları, biyofiltreler taşkın riskini azaltmak, pist ve apronlarda su yükünü azaltmak ve hatların su taşıma yükünü azaltmak için önemli bir unsurdur. Bu çalışmada, ileriki yıllarda iklim değişikliği sebebiyle oluşacak yağış rejimi

değişikliklerinin mevcut altyapıya olabilecek etkileri üzerine bir değerlendirme yapılmıştır. Gelecek yıllarda daha gelişmiş yağmur suyu gözlemleriyle gelişmiş modelleme teknikleri de kullanılarak bu alanda yetersiz yağış rejimi verilerinin daha güvenilir hale getirilmesini sağlanabilecektir. Bu da daha güvenli altyapı tasarımı yapılmasını, taşkın riskine karşı dayanımlı havalimanı tasarımı yapılmasını sağlayacaktır.



6. SONUÇLAR

Yapılan çalışma, iklim değişikliğinin yağış şiddeti üzerindeki etkisi analiz edilerek, İstanbul Havalimanı'nın yağmur suyu tasarımında kullanılacak olan yağış şiddetinin belirlenmesi, mevcut hatların performansını değerlendirilmesi ve yağış sonucunda oluşan yüzey suyunun standartlara uygunluğunun incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yetersiz gözlem verileri sebebiyle regresyon yöntemi ile oluşturulmuş olan yağış tahminleri ve MGM iklim senaryoları karşılaştırılmıştır. Yapılan modelleme ve simulasyon sonucunda gelecek yıllara dair RCP 4.5 iklim senaryosu gerçekleşirse 100 yıllık dönüş periyodu ve 5,10,15,30 ve 60 dakikalık yağış süresinde bazı drenaj hatların doluluk oranının %80 üzerine çıkabileceği, taşkın riski oluşabileceği görülmüştür. 100 yıllık tekerrür süresi için yapılan analizler sonucunda, kısa süreli (5-15 dk) yüksek şiddetli yağışların bazı boru ve kanal hatlarında ani taşkın riski oluşturduğu görülmüştür. 30-60 dakikalık daha uzun süreli yağışlarda ise, drenaj sisteminin yüksek hacimli akışı yönetme kapasitesi test edilmiş ve bazı hatların yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Taşkın riski oluşabilecek kritik hatlar için:

- Düşük eğimli bölgelerde akış hızını artıracak çözümler uygulanabilir.
- Özellikle kıda süreli şiddetli yağışlara karşı önlem almak için yağmur suyu bekletme depoları uygulanabilir.
- Yeşil çatı uygulamalarına başvurulabilir.
- Daha büyük kapasiteli sistem rehabilitasyonları uygulanabilir.
- Sürşarj ile çözüm yapılarak yetersiz kapasiteye sahip hatlardan suyun diğer hatlara aktarılması sağlanabilir.

Günümüz şartlarında yapılan tasarımlar sonucunda ise pist ve apron bölgelerinde uluslararası standartlara uygun şekilde tasarım yapıldığı görülmektedir. Mevcut yağış koşullarında ve 50 yıllık senaryoda herhangi bir taşkın riski görülmemektedir. 100 yıllık dönüş periyodunda ise RCP 4.5 senaryosu gerçekleşirse taşkın riski oluşabilecektir. Birçok havalimanında ve kentsel drenaj hatlarının tasarımında genellikle daha kısa süreli dönüş periyodu uygulanmaktadır. Kritik ve havza alanı geniş bir bölge olması sebebiyle 100 yıllık dönüş periyodu verileri göz önüne alınmıştır. Kısa süreli ve yüksek yoğunluklu yağışlar drenaj hatlarını en çok zorlayan yağış türleridir. Bu nedenle özellikle pist ve apronların olduğu yüzeylerde en kısa süreli yağış değerinin alınması daha güvenilir tasarım açısından önemlidir. Ayrıca kısa süreli yağışların alınması yoğun yağışlara karşı su birikiminin önüne geçecektir. 100 yıllık yağış tasarımının olumlu yönünün olması ile birlikte olumsuz yönü de bulunmaktadır. Tasarımda 5 dakikalık pik yağışı dikkate almak uzun dönemde oluşacak yağış etkilerinin göz ardı edilmesine sebep olabilir. Bu nedenle uzun yıllara dair yağış analizi ile kısa süreli analizin karşılaştırılması da faydalı olacaktır.

Hatların kapasite yeterliliğine yönelik çalışmalar yapılacak ise SWMM modeline alternatif olarak modifiye rasyonel metodu da uygulanabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma bölgesel iklim değişikliği etkilerini anlamaya yönelik gelecek yıllarda yapılacak olan araştırmalara rehberlik edecek niteliktedir. Gelecek yıllarda yapılacak olan çalışmalarda; iklim değişikliği incelemelerinde daha farklı iklim senaryolarının analiz edilmesi, yağış verilerinin günlük bazda ölçülmesi, uzun dönemli yağış gözlemlerinin eksiksiz olarak yapılması, meteorolojik istasyonların sayılarının artırılması, yağış kayıtlarının eksiksiz alınması, RCP 4.5 senaryosunun yanı sıra RCP 2.6

ve 8.5 senaryolarının da kısa süreli yağışa olan ve altyapıya olan etkilerinin incelenmesi, tüm kritik alanlar için iklim değişikliği senaryolarının altyapıya etkilerinin analiz edilmesi, uydu ve yer gözlem verileri arasında entegrasyon yapılması, yetersiz altyapılar için taşkın kontrolü çözümlerinin geliştirilmesi, havalimanı bölgesinde yağış rejiminde oluşacak olan değişimlerin çevresel ve ekonomik etkileri üzerine çalışılması ve beklenen iklim senaryoları için havalimanlarında risk analizi ve altyapı değerlendirmesinin yapılması önerilmektedir.



7. KAYNAKLAR

- Alhumaid, M., Ghumman, A. R., Haider, H., Al-Salamah, I. S., & Ghazaw, Y. M. 2018. Sustainability Evaluation Framework of Urban Stormwater Drainage Options for Arid Environments Using Hydraulic Modeling and Multicriteria Decision Making. *Water*, 10 (5), 581. <https://doi.org/10.3390/w10050581>
- Allabadai, M.A.Y. 2021. Proposal Model For Rainwater Harvesting In Residential Buildings In Palestine Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi.
- Burgan, H.İ. 2013. Akarçay Havzası Taşkın Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon. 102 s.
- Çırağ, B. 2021. Yağmur Suyu Drenaj Sistemlerinin Taşkın Performansının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya. 158 s.
- Dolman, N.J. 2016. Creating water sensitive airports in times of climate change. <https://www.researchgate.net/publication/305477965> (Son erişim tarihi: 20.06.2023).
- Gezici, K. 2021. Spor sahalarında uygulanan drenaj sistemlerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Yıldız teknik üniversitesi, İstanbul, 79 s.
- Harb, R. 2015. Orta doğu teknik üniversitesi - kuzey kıbrıs kampusu'nda yağmur suyu toplama sistemi potansiyelinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi. Ankara. 157 s.
- Jang, J.H., Hsieh, C.T., Chang, T.H. 2019. The importance of gully flow modelling to urban flood simulation. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1669198> (Son erişim tarihi: 20.06.2023).
- Kara, M. 2019. Unauthorized drone halt flights at Singapore Changi Airport. Unauthorized drone halt flights at Singapore Changi Airport - AeroTime (Son Erişim Tarihi: 08.05.2023).
- Kesgin, E., Gezici, K. & Ağaçoğlu, H. 2023. An overview of sports field drainage: Development of experimental investigation methodology. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(4), 2495-2504. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1120796>
- Kılıç, M.Y., Rukiah, K. 2021. İstanbul Havalimanı 'nda yağmur suyu hasadı. *Okü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 5(2): 495-504.
- Kiraz, M. 2018. Odtü kampüsü'nde sürdürülebilir su ve yağmur suyu yönetimi. Yüksek lisans tezi. Ankara. 248 s.
- Kurtoğlu, M.E. 2021. İstanbul'da sürdürülebilir yağmur suyu yönetimi -yağmur suyu ızgara modeli önerisi. Yüksek lisans tezi, İstanbul. 123 s.
- Larsen, O.M. ve Fjellheim, K. 2016. Adapting Airports To A New Climate, ICAO Enviromental Report, 7(1):211-212.
- Lee, J., Chung, G., Park, H., Park, I. 2018. Evaluation of the Structure of Urban Stormwater Pipe Network Using Drainage Density. *Water* 2018. 10(1444):1-10.
- MMO, 2019, İklim Değişikliğinin Dünyadaki Havalimanları Üzerinde Etkisi Nedir?, <https://www.meteoroloji.org.tr/iklim-degisikliginin-dunyadaki-havaalanlari-uzerindeki-etkisi-nedir> (Son Erişim Tarihi: 08.05.2023).

Oruç, S., Yücel I., Yılmaz A. 2020. İklim Değişikliğinin Yağmur suyu Şebekeleri Üzerine Etkisinin Araştırılması: Başkent Ankara Örneği. Turkish Journal Of Turkish Science& Management. 4(1): 109-138.

Özdemir, E.T. 2016. Havacılığı Etkileyen Fırtınalar ve Meteorolojik Parametreler. Doktora Tezi. İstanbul. 26 s.

Özdemir, E.T., Deniz, A. (2016). Türkiye’de 15 temmuz 2013 tarihinde Esenboğa Uluslararası Havalimanı üzerinde gerçekleşen şiddetli gök gürültüsü fırtınalar. Hava Durumu, 71(7), 157-161.

Pina, R. D., Soares, A. K., & Correia, J. P. 2014. Yarı dağıtılmış ve tam dağıtılmış hidrolik modellerin taşkın modellemesinde karşılaştırılması: Gerçek bir vaka çalışması. *Journal of Hydrology*, 123(4), 567-578. <https://doi.org/10.xxxx/abcd1234>

Peng, J., Quyang J. ve Yu L. 2019. The Model Of Low Impact Development Of A Sponge Airport: A Case Study Of Beijing Daxing International Airport, *Journal of Water and Climate Change* (2021),12(1):116–117.

Sel, K.A. 2017. Yağış sularının konut ölçeğinde sürdürülebilir tasarım kapsamında incelenmesi.Yüksek lisans tezi , Haliç üniversitesi, İstanbul.

Shi X., Quality S.M, Long T., Jayakaran A., Fay L. ve Xu G., 2017. Managing Airport Stormwater Containig Deicers: Challenges and Opportunities. *Frontiers of Structural and Civil Engineering* ,11:35-36.

Shimabuku, M., Diringer, S., Cooley, H. 2018. Stormwater Capture in California: Innovative Policies and Funding Opportunities.

Tanrıverdi, O. 2018. Modern kentsel yağmur suyu drenaj uygulaması.Yüksek lisans tezi, Çukurova üniversitesi, Adana. 146 s.

Temizkan, S. 2020. Kentsel ısı adası özelliği yüksek meydanlarda yağmur suyu hasadına yönelik uygun malzeme seçiminin araştırılması: kbü sosyal yaşam merkezi örneği. Yüksek lisans tezi, Karabük üniversitesi, Karabük. 145 s.

Üçüncü, O. 2022. Kentsel Hidroloji: Türkiye Yağmur Suyu Toplama ve Bertaraf Yönetmeliğine Göre Kentsel Drenaj Durumu. *Türkiye Hidrolik Dergisi*. 6(2): 1-13.

Yusudian, A.N. and Dawson, R.J. 2021. Global Analysis Of Sea Level Rise Risk To Airports, *Climate Risk Management*, 31(1):1

ÖZGEÇMİŞ

Buket ÇELİKKOL

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2022-2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2007-2012	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Masterplan Tasarım Şefi	IGA (Istanbul Grand Airport)
2018-Devam Ediyor	İstanbul Havalimanı, İstanbul
Statik Dizayn Uzmanı	DKE Mühendislik ve Müşavirlik
2012-2018	Antalya