

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SPOR SAHALARINDA KULLANILAN DRENAJ SİSTEMLERİNİN
İNCELENMESİ

Kadir GEZİCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik Programı

Danışman
Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU

Temmuz, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SPOR SAHALARINDA KULLANILAN DRENAJ SİSTEMLERİNİN
İNCELENMESİ

Kadir GEZİCİ tarafından hazırlanan tez çalışması 02.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Berna Ayat AYDOĞAN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet ÖZGER, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Spor Sahalarında Kullanılan Drenaj Sistemlerinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Kadir GEZİCİ

İmza



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 214M616 numaralı Tübitak projesi ile desteklenmiştir.

Değerli büyüklerim Selahaddin & Türkan GEZİCİ anısına...

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının tüm aşamalarında yanımda olan ve tecrübelerini her daim biz öğrencilerine aktaran, kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim ve kültürel hayatıma her daim öncelik veren ve bana her koşulda destek çıkan, Türkan Gezici, Hezar Çakmak, İclal Gezici başta olmak üzere değerli aileme ve dostlarıma teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmasında ve tezden üretilen yayınlarda bilgi, şevk ve sabrını her daim şahsım adına sarf eden; bir hoca, abi ve dost olan kıymetli Araştırma Görevlisi Erdal KESGİN' e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının deneysel tasarım ve kurulumunda büyük emek ve katkıları olan, Yıldız Teknik Üniversitesi akademisyenleri ve biz öğrencilerine sayısız eser bırakan Merhum Prof. Dr. Ahmet DOĞAN hocamızı saygı ve rahmetle anıyoruz.

Kadir GEZİCİ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
2 TARIMSAL ALANLARIN DRENAJİ	4
2.1 Genel Bilgiler	4
2.2 Tarımsal Alanlarda Yüzeysel Drenaj Sistemleri	7
2.2.1 Hendekler ve Açık Kanallar	7
2.2.2 Çimlendirilmiş Su Yolları	10
2.2.3 Arazi Düzenleme	10
2.3 Tarımsal Alanlarda Yüzeyaltı Drenaj Sistemleri	11
2.3.1 Boru Drenajı	12
2.3.2 Kuyu Drenajı	14
2.3.3 Köstebek (Mole) Drenajı	15
2.3.4 Yeraltı Açık Kanal Drenajı	16
3 KENTSEL ALANLARIN DRENAJİ	17
3.1 Genel Bilgiler	17
3.2 Kentsel Alan Drenaj Sistemlerinin Çeşitleri	18
3.2.1 Birleşik Sistemler	19
3.2.1 Ayrık Sistemler	20
3.3 Kentsel Alan Drenaj Sistemi Elemanları ve Uygulamaları	21
3.3.1 Temel Drenajı Uygulamaları	22

3.3.2 Yol Drenajı Uygulamaları	23
4 SPOR SAHALARI DRENAJİ	31
4.1 Genel Bilgiler	31
4.2 Spor Sahalarında Boru Drenajı	32
4.3 Askıda Su Tablası Drenajı (Üç Tabakalı Drenaj Sistemi)	33
4.4 Spor Sahalarında Kum Oluk Drenajı	35
4.5 Spor Sahalarında Yarık Drenajı	36
5 DENEY SİSTEMİ VE DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ	38
5.1 Yağış Simülatörü ve Tasarımı	38
5.2 Drenaj Tekniklerinin Deney Sistemine Uygulanması	39
5.3 DeneySEL Metodoloji ve Tasarım Hiyetografları	45
5.4 Deney Sonuçlarının Analizi	47
6 SONUÇ VE ÖNERİLER	56
KAYNAKÇA	58
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	62

SİMGE LİSTESİ

%	Yüzde
µm	Mikrometre
C _c	Derecelendirme katsayısı
cm	Santimetre
C _u	Üniformluluk katsayısı
dk	Dakika
L	Litre
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
Q	Debi
s	Saat
Y	Yağış
Y10	10 Dakika zaman aralıklı yağış
Y20	20 Dakika zaman aralıklı yağış
Y30	30 Dakika zaman aralıklı yağış
Y40	40 Dakika zaman aralıklı yağış

KISALTMA LİSTESİ

ASTD	Askıda Su Tablası Drenajı
BD	Boru Drenajı
DT	Drenaj Tankı
KOD	Kum Olukları Drenajı
ŞFS	Şiddet-Frekans-Süre
YD	Yarık Drenaj
YS	Yağış Simülatörü



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Yağış, sulama sonrası su tablasının yükselmesi ve kök bölgesine ulaşması [16]	5
Şekil 2.2	Drenaj sistemi elemanları plan görünüşü [21]	6
Şekil 2.3	Rastgele tahliye sistemi [26]	9
Şekil 2.4	Paralel drenaj sistemi [16]	9
Şekil 2.5	Yataklama sistemi [26]	11
Şekil 2.6	Yüzeyaltı drenaj tipleri. Kuyu drenajı(a), Köstebek drenajı(b), Açık drenajlar(c), Boru drenajı(d) [30]	12
Şekil 2.7	Tekil drenaj sistemi planı. (a) tek yönlü, (b) çift yönlü alan drenajları [30]	13
Şekil 2.8	Birleşik drenaj sistemleri planı. (a) bir yönlü, (b)İki yönlü sistemler [30]	14
Şekil 2.9	Kanal açma pulluğu ile toprağın işlenmesi [33]	16
Şekil 2.10	Su tablasını açık kanallar uygulaması ile düşürmek [22]	16
Şekil 3.1	Halk ve çevre ile drenaj sistemi ara yüzleri [34]	17
Şekil 3.2	Alıcı su kütlesine iletilen birleşik sistemlerin biçimi [36]	20
Şekil 3.3	Ayrık drenaj sistemlerinin görünüşü [38]	21
Şekil 3.4	Kaplamalı (sol) ve Kaplamasız(sağ) kanalar	22
Şekil 3.5	Temel drenaj uygulamaları [35]	23
Şekil 3.6	Yollarda kullanılan hendek ve menfez plan görünüşü [43]	24
Şekil 3.7	Yüzey drenajını kontrol etmek için kullanılan yol kesiti düzenleme modelleri [45]	25
Şekil 3.8	Döşeme kesiti içerisine sızan suyu uzaklaştırmak için kullanılan boyuna toplayıcı drenler [47]	26
Şekil 3.9	Yol yapılarında enine drenaj sistemi [35]	26
Şekil 3.10	Yol yapılarında temel drenaj sistemi [35]	27
Şekil 3.11	Yol drenajında menfez görünüşleri [48]	28
Şekil 3.12	Menfez yapısı elemanları [49]	29
Şekil 3.13	Kutu menfez [51]	30
Şekil 3.14	Kemer menfez örneği [52]	30
Şekil 4.1	Spor sahalarında boru drenajı kesiti [7]	33
Şekil 4.2	Spor sahalarında askıda su tablası drenajı (Üç tabakalı drenaj sistemi) [7]	35
Şekil 4.3	Kum oluklu boru drenaj sistemi [7]	36
Şekil 4.4	Yarıklı boru drenajı [7]	37
Şekil 5.1	Deney sistemi düzenegi a)ön görünüş, b) yan görünüş [8]	39
Şekil 5.2	Drenaj deneylerinde kullanılan farklı boyutlardaki kuvars malzemeler	40
Şekil 5.3	Boru drenajı katmanlarının deney düzeneginde oluşturulması	41
Şekil 5.4	Askıda su tablası drenajı katmanlarının deney düzeneginde oluşturulması	42
Şekil 5.5	Kum olukları drenajı katmanlarının deney düzeneginde oluşturulması	43
Şekil 5.6	Yarık drenajı katmanlarının deney düzeneginde oluşturulması	44

Şekil 5.7	Deneylerde kullanılan farklı zaman aralıklarına sahip farklı tasarım hiyetografları. (a)R10, (b) R20, (c)R30, (d)R40.....	46
Şekil 5.8	Drenaj metotlarına bağlı drenaj çıkış hidrografları. Y10(a), Y20(b), Y30(c), Y40(d).....	49
Şekil 5.9	Yağış hiyetografinin drenaj kesiti üzerindeki etkisi. ASTD(a), BD(b), KOD(c), YD(d).....	50
Şekil 5.10	Sabit yağış koşulları altında elde edilen S hidrografları. a) BD, b) ASTD,c) KOD, d) YD.....	52
Şekil 5.11	Yağış şiddeti-sızma hızı karşılaştırılması	54



TABLO LİSTESİ

Tablo 5.1	Farklı püskürtücüler için debi-yağış ilişkisi [8]	39
Tablo 5.2	Drenaj tabakalarının malzeme karakteristiği.....	41
Tablo 5.3	Drenaj tekniklerinin sabit şiddetli yağışlar altında sızma hızı değerleri	53
Tablo 5.4	Yağış şiddeti-sızma hızı ilişkisinin istatistiksel sonuçları.....	54
Tablo 5.5	Farklı drenaj teknikleri ve yağışlar için hidrograf parametreleri.....	55



Spor Sahalarında Kullanılan Drenaj Sistemlerinin İncelenmesi

Kadir GEZİCİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU

Spor sahaları, günümüzde sosyal ve ekonomik açıdan oldukça önemli alanlardır. Spor sahaları üzerinde çeşitli iklim koşullarının etkisi oyunun oynanabilirliği, oyuncunun sağlığı ve seyircinin memnuniyeti açısından oldukça kritiktir. Bu çalışma, spor sahaları drenaj tekniklerinin, drenaj davranışlarını hidrolojik açıdan değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda 40 laboratuvar deneyi yapılmıştır. Deneylerde Yağış Simülatörü (YS) kullanılarak, sabit şiddetli 6 yağış hiyetografi ve 10, 20, 30, 40 dakikalık zaman aralığına sahip olan (Y10, Y20, Y30, Y40) çeşitli şiddetlerde yağış hiyetografaları oluşturulmuştur. Literatürde en çok bilinen ve önerilen drenaj teknikleri olarak; Boru Drenaj (BD), Askıda Su Tablası Drenajı (ASTD), Kum Olukları Drenajı (KOD) ve Yarık Drenaj (YD) incelenmiştir. Zamana bağlı olarak değişen Y10, Y20, Y30 ve Y40 yağışları 120 dakika süre ile sırasıyla her bir drenaj tekniğine uygulanmış ve çıkış hidrografları çizilmiştir. Sabit şiddetli yağışların (40, 55, 70, 90, 110 ve 130 mms⁻¹) şiddeti kademeli olarak arttırılarak S hidrografi oluşturulmuştur. Drenaj başlama zamanı, maksimum çıkış, maksimum çıkışa ulaşma süresi ve sızma hızı gibi hidrograf parametreleri BD, ASTD, KOD ve YD için değerlendirilmiştir. YD' nin maksimum drenaj çıkışının diğer

sistemlere göre daha fazla olduğu açıkça gözlemlenmiştir. Hiyetograflar, BD ve ASTD için drenaj çıkış hidrograflarının şekli üzerinde daha belirgin etkilere sahiptir. Bu çalışmada her drenaj tekniğı için yağış şiddetleri ayrı ayrı yüzey göllenmesine neden olmamıştır. 90 mms⁻¹ ve daha düşük yağış şiddetleri için YD dışındaki üç drenaj yöntemi benzer davranışları göstermiştir. Sonraki daha büyük yağış şiddetleri, her drenaj tekniğı için farklı maksimum drenaj çıkışlarına neden olmuştur. Ayrıca, YD, her sabit yağış şiddetinde maksimum ortalama çıkışlara sahiptir. Sonuç olarak, aşınmamış yüzey, yüksek seviyeli kumlu kök bölgesi ve uygun inşaat gibi özel koşullar altında, dört drenaj tekniğinin hidrograf parametrelerinin belirgin farklılıklar göstermeyerek, benzer hidrolojik davranışlar sergilediğini öne sürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Spor sahaları, drenaj, askıda su tablası drenajı, kum oluk drenajı, yarık drenaj.

Assessment for Drainage Methods in Sports Fields

Kadir GEZİCİ

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU

Sports fields are highly functional places for economic and social purposes nowadays. Effects of various climate conditions on sports fields are very crucial in terms of playability, health of the players and pleasure of spectators. This study aims to evaluate drainage behaviors of different sports field drainage techniques considering hydrological aspects. For this purpose, 40 experiments were carried out. In the experiments, rainfall simulator (RS) was used to create different storms which included four different design hyetographs with various rainfall intensities and 6 different constant rainfall intensities. Pipe Drain (PD), Suspended Water Table (SWT), Sand Groove (SG) and Slit Drain (SD) were also investigated as drainage techniques that are the most commonly known and suggested in the literature. Drain outflows were obtained and drawn with respect to experiment time for each storm and constant rainfall condition. S hydrographs were consecutively created for increasing value of the constant rainfall intensities. The hydrograph parameters which are time to start to drain, maximum outflow, time to reach maximum outflow and infiltration rate were also evaluated for PD, SWT, SG and SD. It is clearly stated that maximum drainage outflow of the SD was greater. The hyetographs had more distinctive effects on the shape of the drainage outflow hydrographs for PD and SWT. The rainfall intensities were not separately caused

to surface ponding for each drainage method in this study. For 90 mmh^{-1} and lower rainfall intensities, three drainage methods demonstrated similar drainage behaviors except SD. The subsequent greater rainfall intensities were induced different maximum drain outflows for each drainage technique. Furthermore, SD had maximum average outflows in every constant rainfall intensity. As a result, under the specific conditions which are non-weary surface, high level sanded root zone and well construction, suggested four drainage systems demonstrated similar hydrologic behaviors even if some hydrograph parameters were slightly different.

Keywords: Sports field, drainage, suspended water table, sand slit, sand groove.



1.1 Literatür Özeti

Son yıllarda spor sahaları, hem sportif hem de sosyal faaliyetlere ev sahipliği yapması açısından hızla daha önemli bir konuma gelmiştir. Yetersiz drenaj nedeniyle, çok sayıda spor organizasyonu iptal edilmiş veya ertelenmiştir, bu da spor endüstri için büyük ekonomik kayıplara neden olmuştur. Futbol, dünyanın en yaygın oynanan ve takip edilen sporlarından biri olduğu için yüksek katılım oranı ile çok önemli bir ekonomik gelir ve prestij alanıdır. Dünya spor piyasası göz önüne alındığında, 2009 yılında bilet, medya ve pazarlama gelirleri 64 milyar dolar iken, futbol diğer sporları yılda 28 milyar dolar ile % 43 oranında kararlı bir şekilde geride bırakmıştır [1]. Katılımın, ilginin, ekonomik gelirin ve prestijin çok yüksek olduğu bu sporun, oyun alanını etkileyen en önemli parametrelerinden birinin drenaj sistemi olduğu aşikar olması nedeniyle mühendislik ve hidroloji açısından dikkatle incelenmesi gerekir. Futbol gibi birçok sporda, oyun yüzeyi açık hava ile temas halindedir ve özellikle yağışlı aylarda oyunun koşullarını ve hatta oynanabilirliğini etkileyen çevresel faktörlerden (sıcaklık, yağış vb.) oldukça etkilenir [2]. Tasarım aşamasında küresel ısınmaya bağlı yağış eğilimlerini incelemek ve bölgenin yağış özelliklerini bilmek, kurulacak drenaj sisteminin tasarımı ve tasarımda kullanılacak malzemelerin seçimi için belirleyici bir faktördür [3]. Spora katılımı artırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunluğu oyun yüzeyinin yaralanmalara karşı güvenliğini sağlama, oyuncunun işlevselliğini, yeteneğini gösterebileceği düzgün bir yüzey ve yeterince toprak mukavemeti sağlama, ayrıca top yuvarlanması ve sıçraması gibi oyun özelliklerini geliştirme ihtiyacı üzerine yürütülmüştür [4], [5]. Sosyal ve ekonomik açıdan önemi tartışılmaz olan spor sahalarının, en önemli şartlarından biri tatmin edici drenaj kapasitesine sahip olmak ve oyunun durmadan devam etmesini sağlayacak bir iç drenaj sistemi kurmaktır. Açık ve yeterli bir şartname bulunmaması nedeniyle genellikle spor sahalarının yapımında deneyime dayalı bir tasarım hazırlanır ve bunun sonucunda geri dönüşü olmayan veya çok maliyetli

sonuçlar ortaya çıkabilir [6]. Bu nedenle bu mühendislik yapısını tasarlarken en önemli konulardan biri yetenekli ve deneyimli bir danışman ile çalışmaktır [7]. Kesgin vd. (2020), kök bölgenin kalitesi ve akış yakalama sistemlerinin bulunmaması nedeniyle, spor sahalarının drenajının, tarım arazileri ve kentsel drenaj sistemlerine göre belirgin farklılıklar gösterdiğinden bahsetmiştir [8]. Chou ve Lan (2012) ve Liu vd. (2009) Küresel ısınmaya bağlı olarak yağış olaylarında ve şiddetlerinde artış olduğunu, ayrıca maksimum yağış değerlerinde de benzer bir durum olduğunu belirtmişlerdir [9], [10]. Aşırı yağış koşulları ve oyun sahası yüzeyindeki aşınmanın bir sonucu olarak, su sızma hızı önemli ölçüde azalacak ve bunun sonucu olarak, kaygan ve su birikintisi olan elverişsiz bir oyun yüzeyine neden olacaktır [11], [12]. Saha yüzeyinin elverişsiz olduğu durumlarda, oyuncuların yeteneklerini yeterince gösterememesi, yaralanma riski ve işlevsizliği oyunun sonuçlarını etkileyecektir. Etkili bir drenaj sisteminin kurulması sonucunda yüzey mukavemeti önemli ölçüde korunacak ve sonuç olarak sahadaki oyun ve oyuncu işlevselliği üzerindeki etkiler en aza indirilecektir. Bununla birlikte, hidrolojik olarak yararlı bir i drenaj sisteminin kurulması, yaz aylarında sulama ve gübreleme, kumla kaplama gibi saha iyileştirme ve geliştirme özellikleri nedeniyle ortaya çıkabilecek ek bakım maliyetlerinin tasarımın ilk aşamalarında dikkate alınması gerektiği belirtilmelidir [3]. Literatürde spor alanlarının drenaj sistemlerini incelemedeki genel vurgu, kullanılacak malzemenin türü, karışım yüzdesi ve malzeme miktarı ile ilgilidir [13], [14], [12]. Ayrıca yağış koşulları ile drenaj verimliliği arasındaki ilişkiyi ifade eden çalışmalar da bulunmaktadır [6], [8]. Genel kanı, yağış hiyetografının tahliye edilen su miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve yağışın çok küçük bir kısmının sahadan tahliye edildiği şeklinededir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, aşırı yağış koşullarında optimum saha koşullarına izin vermek için çoğu spor alanında yaygın olarak kullanılan BD, ASTD, KOD ve YD gibi farklı drenaj tekniklerini hidrolojik bir perspektiften deneysel olarak araştırmaktır. Sızma hızı, drenaj süresi, maksimum drenaj miktarına bağlı olarak farklılık ve benzerlikleri ortaya koymak ve böylelikle saha inşa edilmeden önce bölgedeki yağış koşulları, zemin cinsini ve iklim özellikleri dikkate alınarak

uygulanacak drenaj sistemi tipine karar vermede hidrolojik açıdan değerlendirme fırsatı sağlanması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

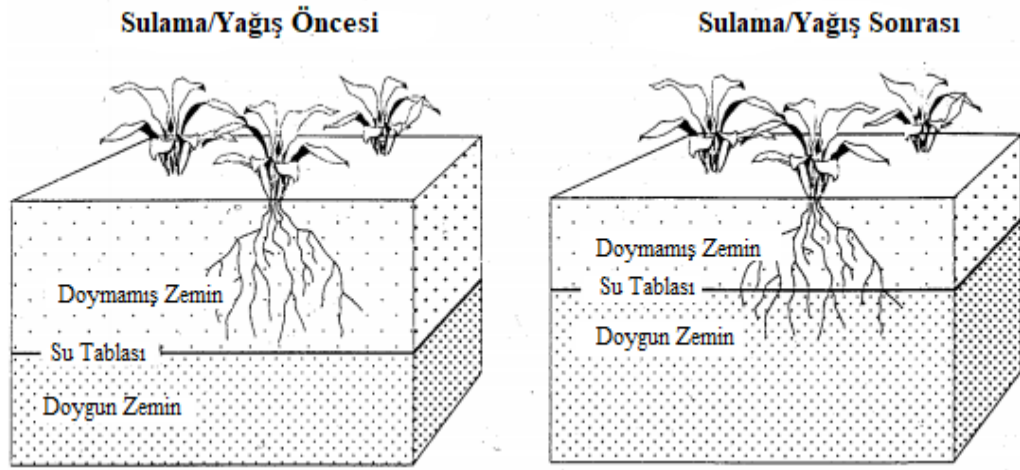
Futbol başta olmak üzere birçok spor sahası açık havayla temasta olması sebebiyle çevresel etmenlerden (sıcaklık, yağış vb.) oldukça etkilendiği açıktır. Oyunun sürekli devam edebilmesi açısından saha koşullarının yılın her döneminde elverişli olması, oyunun seyir zevkini, sporcunu sağlığını, kulüp ve kuruluşların ekonomik kazancını ve prestijini önemli derecede etkilemektedir. Spor sahalarının bu işlevi yerine getirmesi adına en önemli konulardan biri drenaj tasarımıdır. Açık ve net bir şartname olmaması nedeniyle genellikle ekonomik olmayan ya da yeterli kapasiteye sahip olmayan drenaj sistemleri tasarlanmaktadır. Spor sahalarının drenajı açısından bugüne dek yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunun zemin yapısı ve özellikleri ile ilgili olması nedeniyle hidrolojik bakış açısı ve yapılan çalışmaların eksik olduğu ifade edilebilir. Saha yüzeyinden drenaj katmanına kadar kısa bir yol olarak ifade edilebilecek olan iki drenaj (KOD, YD) sisteminin sızma hızını arttıracak ve ani, şiddetli yağışlarda elverişli olacağı öne sürülmüştür. Bu sebeple deney sisteminde tüm drenaj sistemleri aynı yağışlara maruz bırakılarak sızma hızları ölçülmüştür. ASTD, BD, YD ve KOD sistemlerinin benzer yağışlar karşısındaki tepkilerinin ve hidrolojik parametrelerinin araştırılması açısından yapılan bu deneysel çalışma dört farklı drenaj sisteminin yağış-drenaj ilişkisini ortaya koyması nedeniyle bu çalışmayı özgün kılmıştır.

2.1 Genel Bilgiler

Drenaj, temel olarak göz önünde bulundurulmuş herhangi bir alandan suyu çeşitli yöntemler ile uzaklaştırma işlemidir. Drenaj sistemleri ise fazla suyun alandan uzaklaştırıldığı yapay bir arazi düzenlemesi, yüzey ve/veya yeraltı yapı elemanları (giriş bölmesi, borular, gerekirse pompa) ile oluşan sistemlerdir. Bu sistemlerin temel amacı bölgedeki kanalizasyon, yağmursuyu veya diğer atık suları sistemli bir şekilde toplayarak uzaklaştırma ve böylece sağlıklı bir çevre ortamı oluşturmaktır. Bu sistemlerin tasarımı hem yerleşim bölgelerinde hem de tarım alanları ile kırsal bölgelerde oldukça kritiktir. Ritzema (2014) tarımsal alanlarda drenajın dört ana amacı olduğunu ifade etmiştir [15]. Bunlar;

1. Toprağın suya doygunluğunu ve su basmalarını önlemek veya azaltmak.
2. Tuzluluk kontrolü.
3. Yeni arazi için tarım için kullanılabilir hale getirmek.
4. Toprak ve su kaynaklarını korumak.

Yağış olayı ile birlikte yağmur sularının bir kısmı toprağa sızarak zemin içindeki boşluklarda tutularak depolanır ve özellikle tarım arazilerinin olduğu bölgelerde bitkiler bu suyu kullanır. Sızan suların bir kısmı perkolasyon ile daha derinlere doğru ilerler ve toprağın suya doymuş kısmına ulaştığında yeraltı su tablasının yükselmesine neden olur (Şekil 2.1). Eğer bu durum devam ederse su tablası yükselmesi ile baskınların meydana gelebilmesinin yanı sıra bitki kökleri bu bölgede hasara uğrar ve ekinler zarar görebilir. Bu sebeple verimli bir drenaj sisteminin kurulması tarım alanları için oldukça hayattır.



Şekil 2.1 Yağış, sulama sonrası su tablasının yükselmesi ve kök bölgesine ulaşması [16]

Toprak tuzluluğu, topraktaki çözünmüş halde bulunan tuz miktarının bir ölçüsü olarak ifade edilir. Tuzluluk miktarının fazla olması topraktaki besin dengesizliğine, bitkiler için topraktaki toksin maddelerin birikmesine, sodyum elementinin seviyesinin yüksek olduğu tuzlarda sızma hızının düşmesi gibi olumsuzluklara neden olabilir [17]. Tuzluluk, tüm dünya genelinde en önemli sorunların başında geldiği bilinmektedir. Birçok alanda, tuzluluk nedeniyle tarımsal üretim azalmakta ve tarımsal faaliyetlerin sonlanmasına neden olmaktadır. [18]. Bu nedenle drenaj sistemi ile toprakta, sulama suyunun neden olabileceği tuzluluk seviyesinin düşürülmesi gerekir.

Tarım arazilerine kurulacak drenaj sistemlerinin faydaları aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

- Ekinler daha derinlere kök salabilir.
- Daha geniş aralıklarda ekin seçimi yapılabilir.
- Gübreler daha verimli kullanılabilir.
- Arazilere erişim artırılabilir.
- Toprak daha verimli hale gelerek tarım yapılabilirlik artırılabilir.

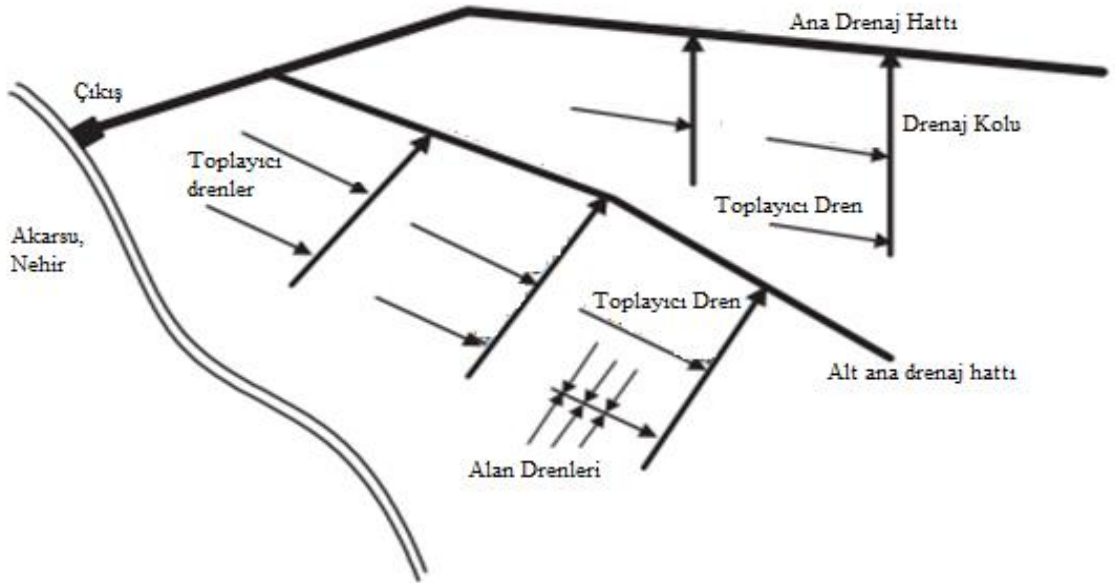
Drenaj sistemleri ayrıca şehir bölgelerinde özellikle cadde ve sokaklarda önemli bir yer tutmaktadır. Aşırı yağış durumları ve drenaj sistemi eksikliğinden dolayı şehir, cadde ve sokaklar da önemli hasarlar meydana gelebilir. Bunlar;

- Erozyon ve oyulmalar
- Araç yollarının trafiğe karşı direncini azaltmak yani yük taşıma kapasitesini azaltmak.

- Suyun geçişini engelleyebilecek alüvyonları biriktirmek

Yollarda kurulacak drenaj sistemleri yolun önemi ve yaşı, maruz kaldığı araç yükleri, kırsal ya da şehir alanlarında olması ve çevresindeki alıcı su kütlelerinin hassasiyeti gibi farklı parametrelere bağlıdır [19]. Drenaj sistemlerinin tasarımında yollardan suyu toplayan, ileten ve bölgeden çeşitli alanlara taşıyan bileşenlerden meydana gelen bir hat zinciri kurulmaktadır. Bölgedeki drenaj sorunlarının varlığını gösteren bazı durumlar vardır; Yüzey alanındaki su birikintileri, kötü yüzey akışı, hendeklerdeki tıkanıklık ve yüzey oturmaları bunlara örnek olarak verilebilir [20]. Tarım arazilerinde drenaj sistemleri üç ana bileşene sahiptir (Şekil 2.2). Bunlar;

- Alan Drenaj Sistemi: Havzadaki yağışı toplayıcı olan ve topladığı bu suyu toplayıcı drenler vasıtasıyla ana drenaj hatlarına ileten bileşendir.
- Ana Drenaj Sistemi: Alan drenaj sistemi ve yüzey akışlarını yakalayarak çıkışa götüren bileşendir. Özellikle alan drenaj sisteminden toplanan suyu, toplayıcı hatlar vasıtasıyla ana drenaj sistemine getiren taşıyıcı hatlara da sahiptir.
- Çıkış: Drenaj sisteminin son bileşeni olan bu kısım drene edilen suyu nehir, göl ve denizlere ulaştırır.



Şekil 2.2 Drenaj sistemi elemanları plan görünüşü [21]

Kurulacak drenaj sistemleri genel olarak; Yüzey ve Yüzey altı drenaj metotları olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.2 Tarımsal Alanlarda Yüzeysel Drenaj Sistemleri

Yüzey drenajı, fazla suyu yapay bir drenaj sistemine veya iç su kütlelerine yönlendiren ve bu işlevi olabildiğince hızlı, doğaya zarar vereden gerçekleştiren sistemlerdir. Genel olarak uygulama alanı olarak yağış miktarının, sızma kapasitesini aştığı bölgelerde doğal drenaj durumu kötü olan düz arazili alanlarda fazla suyu uzaklaştırmak amacıyla kullanılır [22]. (Pavelis, 1987) Özellikle düz ve düşük geçirgenliğe sahip topraklara sahip alanlarda yüzey altı drenaj tekniklerinin uygulandığı durumlarda dahi yüzeysel drenaj sistemlerinin de uygulanması gerektiğini ifade etmiştir [23]. Yüzey drenajlarının mevcudiyeti aşağıda belirtilen faydaları barındırır. Bunlar;

- Alandan büyük miktarlarda suyun hızla uzaklaştırılması.
- Üst yamaçlardan daha alt konumda bulunan bölgelere akma eğiliminde olan akışın engellenmesi.
- Sadece yağış ve sulama suyunun yönetilmesi değil, aynı zamanda barajlar ve bölgedeki yerleşimlerden taşmaları da düzenlemesi.
- Alt yüzey drenaj sistemleri için bir toplayıcı görevi görmesi.

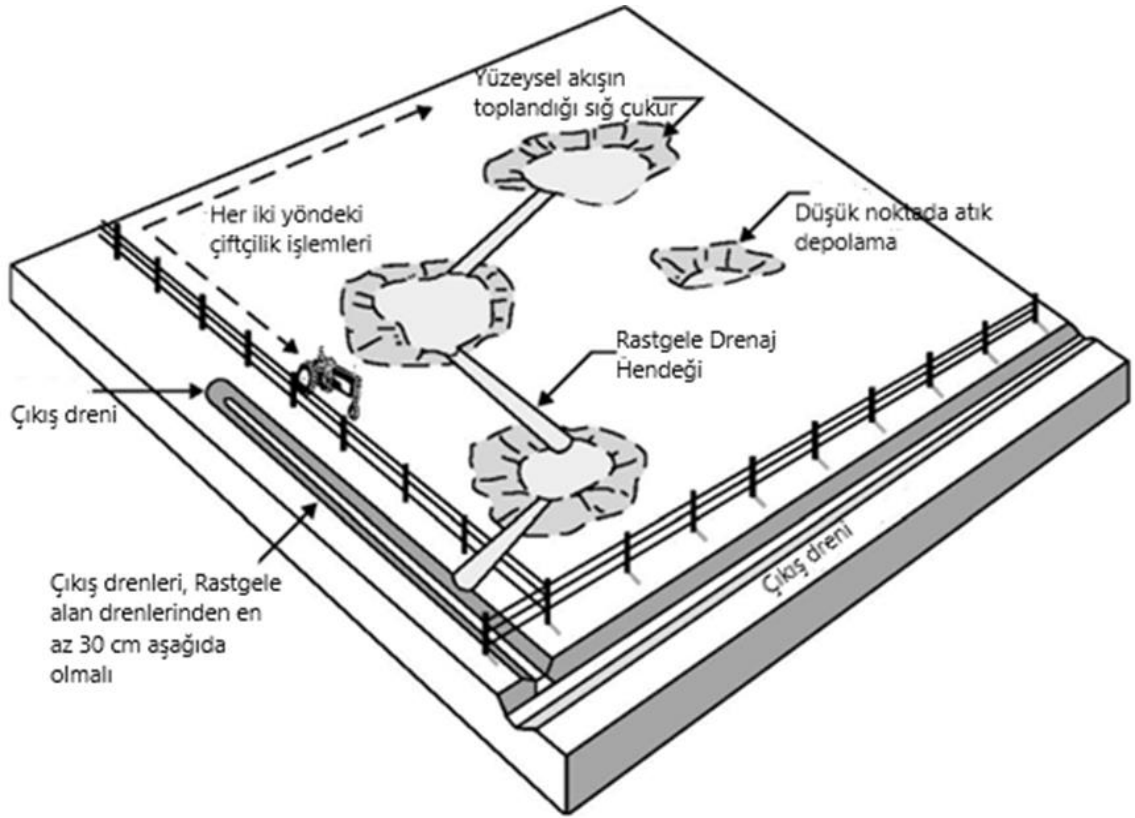
Yüzeysel drenaj sistemleri sadece sel risklerini ortadan kaldırmak veya etkisini azaltmak adına değil aynı zamanda alt drenaj sistemlerine verilecek hasarı engelleme, kuyular gibi su kaynaklarını muhafaza etmek ve yolun kenarlarında bulunan hassas alanları korumak için de gereklidir. (Schultz vd., 2007) Yüzey drenaj sisteminin kullanım amacının, bölgenin topografyasına göre değişiklik gösterdiğini ifade etmiştir ve yeterince düz (<%2) alanlarda yüzeysel drenajın ana amacının yüzeysel birikintileri engellemek olduğunu ifade ederken, daha büyük eğimli alanlarda ana hususun erozyon risklerini ele almak olduğunu ifade etmişlerdir [21]. Yüzey drenaj sistemleri; Hendekler ve Açık Kanallar, Çimlendirilmiş su yolları, Arazi biçimlendirme olmak üzere farklı biçimlerde uygulamada sıkça kullanılır.

2.2.1 Hendekler ve Açık Kanallar

En yaygın olarak kullanılan ve basit bir yöntem olan bu sistemler uygun kesit alanları sağlandığı takdirde yoğun yağışlarda, çok düşük eğimli alanlarda dahi işlevseldir. Hem yüzeysel akışı hem de yeraltı akışını düzenlemesinden ötürü drenaj açısından en etkili sistemlerden biridir ancak ekin alanlarında

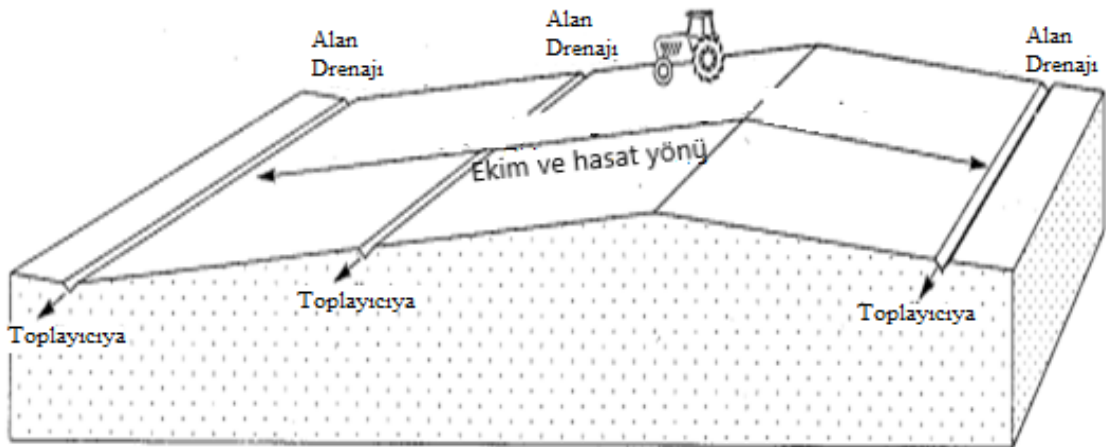
kullanımındaki kapladığı büyük alanlar açısından bir dezavantajı olduğu unutulmamalıdır [24]. Bölgedeki yağış ve sulama durumu, arazi eğimi, havza büyüklüğü gibi parametreler ışığında gereken drenaj miktarı için çok sayıda kanalların açılması gerekiyorsa, hem arazide kapladığı alan hem de havzanın kullanım alanını kısıtlaması nedeniyle yerine yüzey altı drenaj sistemleri uygulanabilir. 0,3 m derinliğe kadar oluşturulan sığ açık kanal drenajları düşük yoğunluklu yağışların olduğu, sığ bölgelerde biriken suları alıcı kütlelerine taşımak adına kullanışlı sistemlerdir [25]. Ancak bu tarz sığ kanallar ve hendeklerde, hızla silt ve toprak malzemesiyle dolma, istenmeyen bitki türlerinin büyümesi gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Trapez kesitlere sahip daha derin kanallar, suyun drenaj kanalının tabanına ve duvarlarına zarar vermeyecek durumda hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasına olanak tanımak için uygun eğimli olmalıdır. Drenajlar kanalları, arazinin kullanım durumu ve erozyon riskleri göz önünde bulundurularak ayrıca yeterli yüzey akışını yönetecek şekilde yerleştirilmelidir. Uygulama birkaç yüzeysel drenaj tasarımı mevcuttur. Bunlar; Rastgele drenaj sistemi ve Paralel drenaj sistemleridir.

Rastgele Drenaj Sistemi: Dalgalı, yeterince düz olmayan dağınık halde su birikintilerinin mevcut olduğu alanlarda kullanımına rastlanılır (Şekil 2.3). Bu sistem su birikintilerinin bulunduğu çukurları birbirine bağlayarak ve en son suyu bir toplayıcıya ileterek bölgeden tahliye eder. Hendekler sığ olmalı ve arazi ekipmanlarının yan eğimlerden geçebileceği eğim ölçüleri ile oluşturulmalıdır. Genellikle yoğun tarım uygulamalarının olmadığı mera alanlarında kullanılır [16].



Şekil 2.3 Rastgele tahliye sistemi [26]

Paralel Drenaj Sistemi: Bu tip sistemler arazinin düz olduğu alanlarda kullanılmaktadır. İsminden anlaşılacağı üzere hendekler birbirlerine paralel olarak kurulmalıdır ancak mesafelerinin eşit uzaklıkta olması gibi bir mecburiyet söz konusu değildir (Şekil 2.4). Hendeklerin aralıkları, araziye ekilen mahsullerin suya karşı olan toleransına, toprağın hidrolik iletkenliğine ve topografyanın üniformluluğuna bağlıdır.



Şekil 2.4 Paralel drenaj sistemi [16]

2.2.2 Çimlendirilmiş Su Yolları

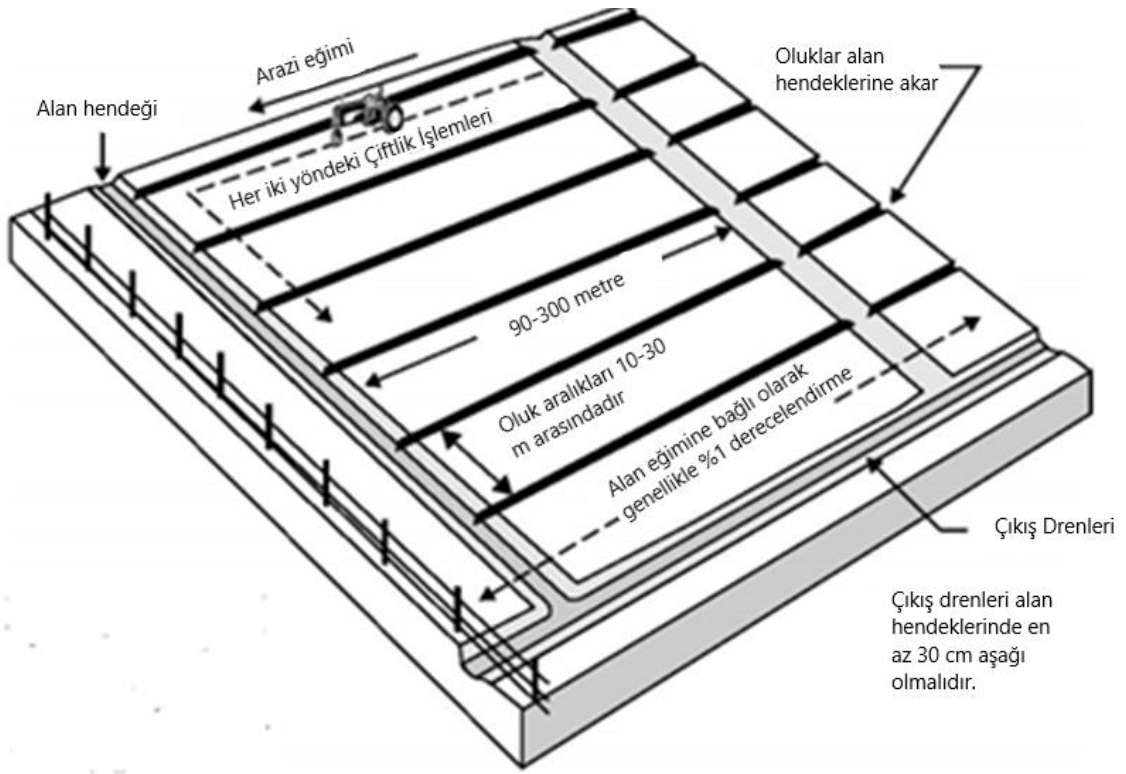
Çimlendirilmiş su yolları, yüzey suyu akışını aşındırıcı olmayan hızlarda sabit çıkışlara iletmek için tasarlanmış, bitki örtüsü ile düzenlenmiş kanallar olarak ifade edilebilir. Özellikle çimlendirildiği için toprak korunur ve kanaldaki akış hızı yavaşlatılır. Nispeten büyük havzalarda üretilen yüzeysel akışta daha fazla olacak ve suyun kanala iletiminin noktasal olduğu bölgelerde bu fazla miktarda akış erozyon için bir risk oluşturacaktır ve bu bölgelerde çimlendirilmiş su yolu en uygun çözüm olarak görülmektedir [27]. Bu sistemler gerek kırsal gerekse şehir alanlarında uygulama örnekleriyle sıkça karşılaşılır.

2.2.3 Arazi Düzenleme

Arazi biçimlendirilmesi yüzey drenajı ve sulama suyu ihtiyaçlarını karşılaması için arazi yüzeyine uygun şeklin verilmesi esasına dayanan bir yüzeysel drenaj sistemidir. Arazi yüzeyini mekanik olarak değiştirerek drenajı sağlayan yöntem olarak ifade edilebilir ve yüzeyi düzleştirme, eğimlendirme, yataklama (bedding) gibi farklı uygulamaları vardır.

Araziyi düzleştirmede, mevcut topografyayı değiştirmeden sığ çukurlaşmaları doldurarak eşit bir seviye yüzeyi yaratılır. Böylece yüzeysel akış, alan drenajlarına çok daha hızlı ulaşır. Arazide toprak düşük geçirgenliğe sahipse ve yüzde 0,5 ten daha düşük eğimliyse, düzleştirme öncesinde eğimlendirilmesi gerekmektedir [28]. Arazinin eğimlendirilmesi, yüzeyin gerekli yerlerinde dolgular, yarmalar ile planlanması ve kesintisiz bir yüzey oluşturulmasını amaçlanmaktadır. Yataklama işleminde toprak insan gücü, hayvanlar veya makina yardımıyla bir eğimli yatak haline getirilir ve yataklardan su yüksek eğimli yerden alçak eğimli yerdeki hendeklere aktarılır (Şekil 2.5). Bu hendekler de suyu kendilerine paralel olarak tasarlanmış bir ana drenaj sistemine aktarır. Tasarım aşamasında dikkat edilecek en önemli husus arazi kazım işlemi sırasında üniform genişlikte yatakların kazılmasına, hendeklerin en büyük arazi eğimi yönünde olmasına dikkat edilir ve yatak genişliği 10 m yi geçmemelidir [29]. Yataklama sisteminin en önemli faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bunlar;

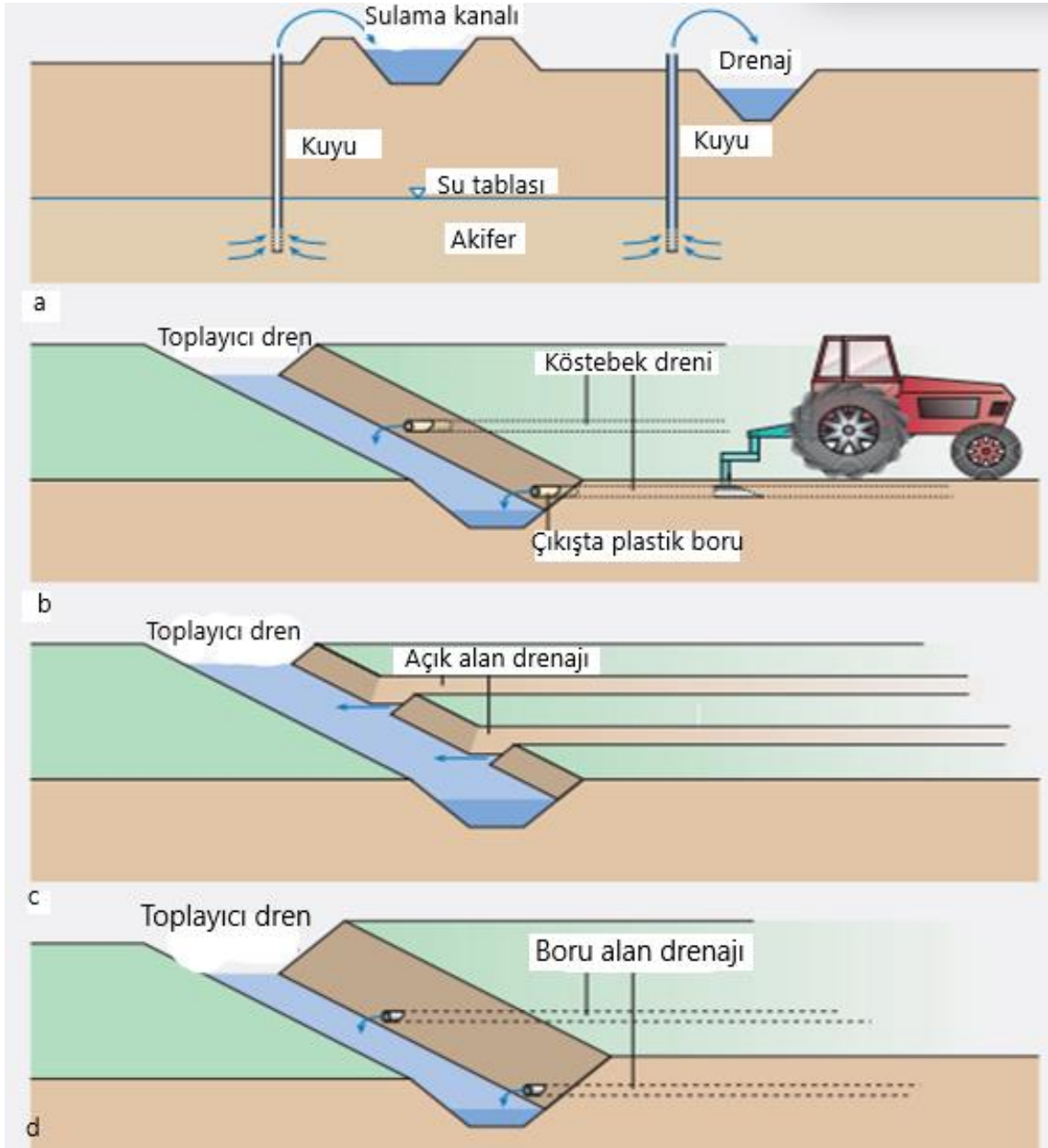
- Suyun birikme durumunu en aza indirir.
- Yüzey akışını arazide uzaklaştırmak için eğimler sağlar.
- Toprak işleme ve hasat elemanlarının verimli çalışmasına olanak sağlar.



Şekil 2.5 Yataklama sistemi [26]

2.3 Tarımsal Alanlarda Yüzeyaltı Drenaj Sistemleri

Yüzey altı drenaj sistemi, arazideki aşırı suyun ve çözünmüş tuzların uzaklaştırılması için yapay olarak inşa edilmiş sistemlerdir. Yüzey altı drenaj sistemlerinin temel amacı yeraltı su seviyesini kontrol etmektedir ve bunun için kuyu drenajı, açık drenajlar, boru drenajları veya köstebek drenajı olarak farklı tasarımlar mevcuttur (Şekil 2.6). Eğer açık drenler uygulanırsa yüzeysel akışı da toplayabilme özelliği nedeniyle aynı zaman da yüzeysel drenaja da fayda sağlayabilir ancak arazileri bölmek gereklidir ve bu nedenle arazi kaybına neden olabilmektedir. Ayrıca kuyu drenajı ve köstebek drenajları daha spesifik ve özel alanlarda uygulanmaktadır.



Şekil 2.6 Yüzeyaltı drenaj tipleri. Kuyu drenajı(a), Köstebek drenajı(b), Açık drenajlar(c), Boru drenajı(d) [30]

2.3.1 Boru Drenajı

Boru drenajları toprak altına gömülen, yeraltı suyunu alarak istenilen bir düzeye getirmek için çıkış kesitlerine ileten sistemlerdir. Boru drenajının bazı önemli avantajları vardır. Bunlar;

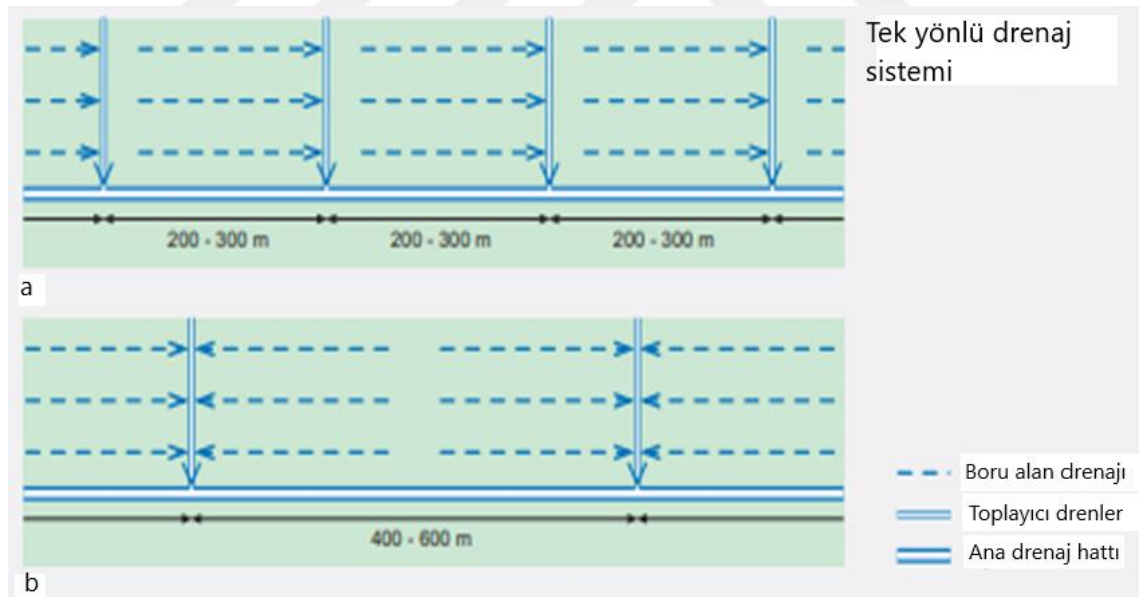
- Arazinin boyutlarında bir kayıp olmadan yeterli drenaj kapasitesi sağlanır.
- Sistemin tasarım ve inşası uygun olduğu takdirde oldukça az bakım ihtiyaçları gerektirir.
- Aşırı nemli ve eğimli toprakları stabilize etmeyi sağlar.

Boru drenajı sistemi; Tekil sistemler ve Bileşik sistemler olmak üzere iki kısma ayrılır.

Tekil sistemler : Bu sistemde yer altına gömülü delikli alan drenaj boruları, yerçekimi etkisi ile araziden aldığı suyu açık bir toplayıcı drene ileten sistemlerdir (Şekil 2.7). Bu sistemlerin tercih edilme nedeni olarak aşağıda sıralanan birkaç husus vardır [31]. Bunlar;

- Sadece yeraltı akışına bağlı olmayıp az miktarda da olsa yüzeysel sığ akışın drene edilmesinin uygun olduğu arazilerde kullanılır.
- Çıkış sistemindeki pik akış değerinin azaltılması gerektiği zaman açık kanallarda bir miktar suyu depolama yoluyla tutarak uygulanması gerektiği zamanlarda kullanılır.
- Drenaj akışının yüksek ve sahanın eğiminin çok düşük olduğu bölgelerde kullanılır.

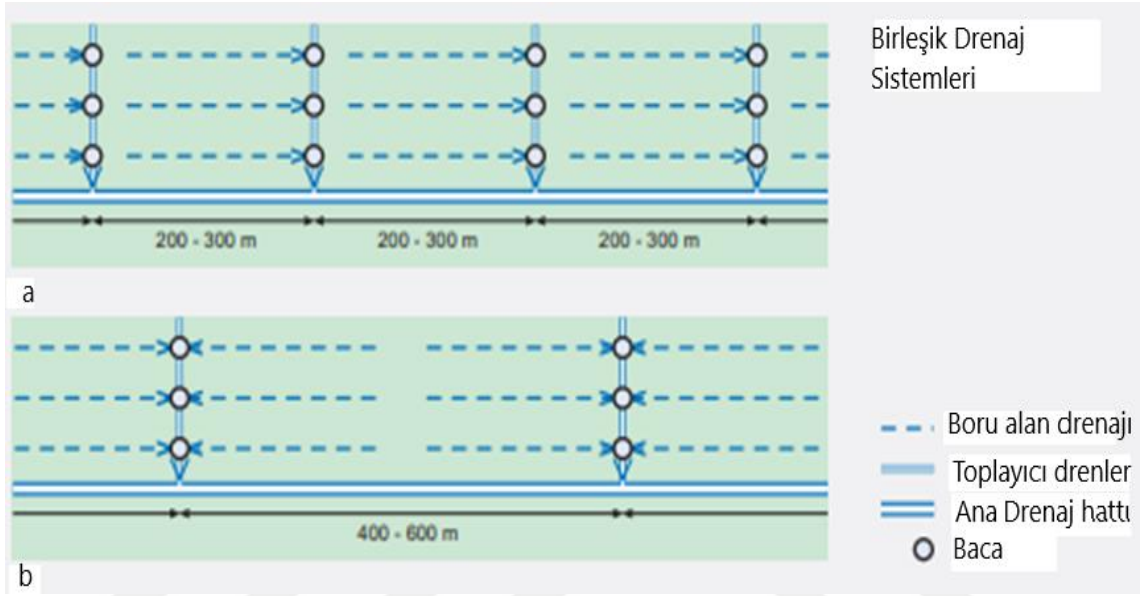
Tekil drenaj sistemlerinin tasarımının basit ve inşasının kolay olması, çıkış yapısında inceleme açısından rahat olması en önemli avantajlarındanıdır.



Şekil 2.7 Tekil drenaj sistemi planı. (a) tek yönlü, (b) çift yönlü alan drenajları [30]

Birleşik sistemler : Tekil sistemler gibi gömülü alan drenaj boruları mevcuttur ancak araziden topladığı suyu borulu bir toplayıcı drenaja aktaran sistemlerdir (Şekil 2.8). Genellikle kurak bölgelerdeki arazilerde kullanımında tercih edilmektedir [31]. Bunun nedeni;

- Bu bölgelerde alan drenajı derinliği ılıman bölgelere nazaran daha derindir ve eğer tekil sistemlerdeki gibi açık hendekler kullanırsak daha derin kazılar ve maliyet gerektirir.
- Çok sayıda paralel boru drenajı tahliyesi ile yer altından toplayıcı ana borular ile aşırı yağışlarda verimli şekilde toplanabilir.
- Yabani otlar, tekil sistemlerin açık kanalında sorunlar yaratırken benzer durum bileşik sistemlerde gözlenmemektedir.



Şekil 2.8 Birleşik drenaj sistemleri planı. (a) bir yönlü, (b) İki yönlü sistemler [30]

2.3.2 Kuyu Drenajı

Kuyu drenajı, yeraltı su tablasının düşük olduğu, yüksek geçirgenlikteki toprak alanlarında kullanılır. Bu sistem dikey bir drenaj sistemidir ve kuyu drenajı olarak ta ifade edilebilir. Boru kuyularından yeraltı suyunun pompalanması, su basma durumunu ve tuzluluk kontrolünü yönetmesi adına ve ayrıca tatlı su bölgelerinde pompalanarak çıkarılan bu suların sulama sistemlerinde tekrardan kullanılmasında yaygındır. Ancak drenaj durumu, uygulanacak bölgenin hidrojeolojik koşullarına, pompalanacak akiferin fiziksel özelliklerine ve üst katmanlardaki toprak yapı ve dokusuna bağlıdır [32]. Bir dizi kuyu, akiferlerden suyu pompalayarak uzaklaştırır ve pompalanan su bir açık yüzey drenajına tahliye edilir. Bu sistemin diğer yüzey altı drenajlarına karşı olan avantajları;

- Diğer yüzey altı drenaj sistemlerine nazaran açık yüzey drenaj uzunluğu oldukça azdır.

- Büyük kanal ve hendeklerin açılmaması arazinin kullanılabilir alanını arttıracaktır ve özellikle stabil olmayan dalgalı yüzeylerde toprak işlerini uygulamaktan ziyade kuyuların borulara bağlanarak uzaklaştırılması daha akılcı bir çözümdür.
- Kuyu drenajı sayesinde yeraltı su tablası diğer sistemlere nazaran daha derinlere indirilebilir ve bu durum toprağın tuzlanmasını önemli ölçüde azaltır.

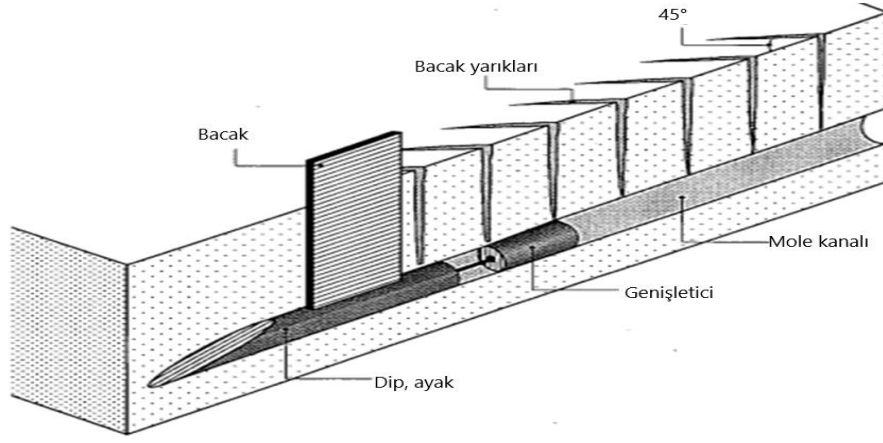
Bu sistemin diğer yüzey altı drenajlarına karşı olan dezavantajları;

- Pompalanan kuyu bakımının ve işletimi hem daha zorlu hem de daha maliyetlidir.
- Bazı bölgelerde yasal düzenlemeler bu sistemin kurulumunu yasaklayabilmektedir. Bunun nedeni kuyulardan pompalama akiferdeki basıncı azaltacak böylece evsel kullanım için kuyuların kullanımı devre dışı kalacaktır.
- Diğer alt yüzey drenaj sistemlerine kıyasla daha küçük alanlarda yüksek miktarda su tahliyesinden ötürü ekonomik değildir.

2.3.3 Köstebek (Mole) Drenajı

Köstebek drenajı, uç noktası kama şeklinde olan katı bir silindir nesnenin hendek kazılmasına gerek kalmaksızın yeraltında uygun eğim ve derinlikte ittirilmesi sonucu açılan bir yeraltı drenaj kanalı olarak ifade edilir. Bu drenaj sistemin ancak killi topraklar gibi spesifik durumlar altında kullanımı mevcuttur [31]. Düşük hidrolik iletkenliğe sahip bu topraklarda verimli su kontrolünün sağlanması için drenaj sistemlerinin aralıkları birbirine yakın olmak zorundadır. Boru sistemleri ile bu durum yüksek maliyet durumu oluşturacağından alternatif olarak köstebek drenajı uygulanabilir. Asıl amaç yeraltı su tablasını kontrol etmekten ziyade yüzeyden suyu olabildiğince hızlı uzaklaştırmaktır ve en önemli dezavantajı kısa ömürlü olması ve birkaç yılda bir yenilenmesi gerekliliğidir.

Bu drenler kanal açma pulluğu (mole plough) kullanılarak oluşturulur (Şekil 2.9). Bu alet dar bir bacağa birleştirilmiş silindirik bir ayak ve biraz daha büyük silindirik bir genişletici içeren yapıya sahiptir. Ayak ve genişletici drenaj kanalını oluşturur ve bacak, yüzeyden kanala doğru uzanan ilişkili toprak çatlaklarına sahip bir yuva oluşturur.

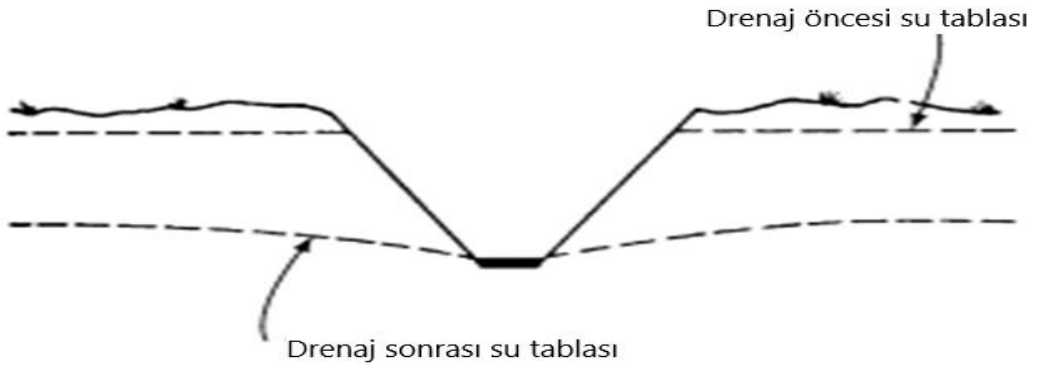


Şekil 2.9 Kanal açma pulluğu ile toprağın işlenmesi [33]

2.3.4 Yeraltı Açık Kanal Drenajı

Açık drenajlar, su yüzeyi sınırlandırılmamış açık havayla temasta olan alt yüzey akışının yanında yüzeysel akışı da yöneten bir drenaj kanalıdır (Şekil 2.10). Gerekli derinliklerinden dolayı hendekler genellikle hem yüzey hem de yer altı suyunu taşımak için yeterli kapasiteye sahiptir. Bu sistemlerin arazi kaybına neden olma, tarım faaliyetlerinde makinaların kullanımını sınırlandırma, arazinin parçalara ayrılması ve nispeten daha yüksek bakım gereksinimleri ihtiyaçları, istenmeyen ot büyümesi gibi dezavantajları mevcuttur. Açık kanal sisteminin avantajları;

- Diğer sistemlere nazaran daha düşük başlangıç maliyetleri gerektirirler.
- İnceleme ve gözlemlenebilmeleri yeraltı drenaj borularından çok daha kolaydır.
- Çökme ve oturmaların etkisi nedeniyle drenaj borularının uygun olmadığı yerlerde uygulanabilir.
- Düz arazilerde ve çok küçük eğimli arazilerde dahi kullanılabilir.



Şekil 2.10 Su tablasını açık kanallar uygulaması ile düşürmek [22]

3.1 Genel Bilgiler

Şehirlerde nüfus yoğunluğunun fazlalığı, doğal olarak su tüketimini de arttıracaktır. Bu durum şehirlerde kırsal alanlara nazaran daha fazla miktarda suyun tahliye edilmesini gerektirmektedir. Ayrıca şehir alanlarının önemli bir kısmı sokaklar, caddeler, binalar vb. geçirimsiz yüzeylerle kaplanmıştır. Yağmur sularının bu alanlardan yönlendirilmesi de uygun kapasiteli drenaj sistemlerini gerekli kılmıştır. Yukarıda bahsedilen insan aktiviteleri ve doğal hidrolojik döngü arasında etkileşim nedeniyle iki tip suyun drene edilmesi gerekliliği açıktır (Şekil 3.1). Bunlar; Atık sular ve Yağış suları.

Atık sular, kaynak olarak insanların yaşamlarını devam ettirebilmek adına çeşitli sebeplerle (içme, yıkanma, tuvalet, temizlik, bulaşık ve çamaşır makinaları vb.) kullandıkları ve/veya endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamak ve üretimi devam ettirebilmek adına kullanmış olan sulardır. Evsel ve endüstriyel kullanımı nedeniyle çeşitli kirleticileri (klorürler, sülfat, yağ-gres, katılar, fenoller vb.) bünyesinde bulunduran atık sular mevcut bölgeden uygun şekilde tahliye edilmez ise hem doğaya hem de insan sağlığına olumsuz etkileri olabilir.

Drenaj gerektiren ikinci su türü olan yağmur suyu, bir yerleşim alanına düşen yağış (yağmur, kar erimesi vb.) suyudur. Bu tip sular da havadan ve havza alanından kaynaklanan kirliliklere sahiptir. Ancak atık sulara nazaran çok daha temiz sulardır. Eğer bu sular uygun yollar ile drene edilmezse sel, taşkın gibi can ve mal kayıplarında ciddi hasarlara neden olabilirler.



Şekil 3.1 Halk ve çevre ile drenaj sistemi ara yüzleri [34]

Pek çok şehir alanlarında drenaj, suyu toplayan, ileten ve uzaklaştıran borulardan meydana gelen yapay bir sistem ile sağlanır ancak düşük gelir gruplarının yaşadığı, gelişmemiş bölgelerde bir drenaj sistemi kurulmasına ihtiyaç yoktur. Bu bölgelerde genellikle kullanılan sular ve yağış suları zemin içine doğal yollarla sızarak yeraltı akımına karışır ve toprak yüksek geçirgen alan fazlalığı sayesinde yeterli kapasiteye sahiptir.

Yeraltı drenaj sistemleri tasarlanırken birçok disiplinden temel bilgilerin bilinmesine ihtiyaç vardır. Özellikle bunlardan bazıları topografya, jeoloji, yeraltı su tablası, coğrafya, su kaynakları, toprak özellikleri ve çevresel faktörlerdir [35]. Topografya bilgisi sayesinde, yağışların ardından oluşabilecek yüzeysel akışların yönü belirlenir ve akış yönü doğrultusundaki daha düşük seviyeli alanlarda drenaj ihtiyacının daha fazla olduğu belirlenir. Bu bilgiler drenaj hatlarının ve çıkış elemanlarının konumunu belirlemek için kullanılır. Drenaj sistemi kurulacak bölgedeki yeraltı suyu tabakasının belirli özellikleri bilinmelidir. Bunlar;

- Su tablası türünü (Serbest ve Basınçlı Akifer)
- Su tablası derinliğini
- Yeraltı suyu akışının yönü ve zamansal değişimlerini

Diğer önemli bir parametre olan jeoloji özellikle eğimli alanlarda kurulacak drenaj hatlarındaki stabilizasyonun sağlanması açısından incelemelerde katkı sağlamaktadır. Ayrıca kaya katmanları, sızıntı yolları, hendek stabilizasyonu ve göçme açısından detaylı incelemeye açısından dikkate alınır. Toprak yapısı açısından bazı zeminlerin nispeten daha geçirimli olduğu veya geçirimsiz tabakaların belirlenmesi gerekir. Çünkü bu durum yeraltı suyu hareketini doğrudan etkileyen bir faktördür.

3.2 Kentsel Alan Drenaj Sistemlerinin Çeşitleri

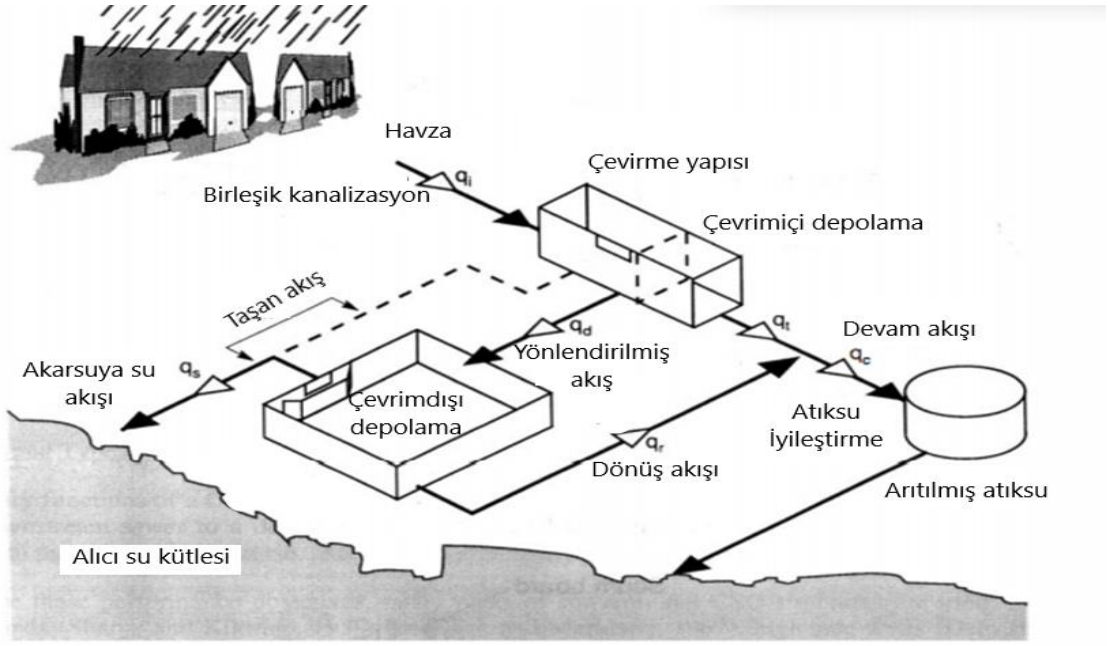
Borulu sistemler; şahsi mülklerden, bir grup konut yapısından ve daha büyük alanlardan suyu taşıyan kanalizasyonlardan oluşur. Genel olarak iki tipte karşımıza çıkmaktadır. Bunlar; atık su ve yağmur suyunun birlikte aktığı birleşik sistemler ve ve bu iki suyun ayrı borularda tutularak taşındığı ayrık sistemlerdir.

Borusuz sistemler ise dünya genelinde farklı isimlerle anılmaktadır. Birleşik Krallıkta, Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (Sustainable Urban Drainage System) olarak ifade edilen bu anlayış suyu kaynağına yakın olarak yöneten ve

toprağın sızma ve depolama özelliklerini kullanarak daha yaşanabilir ve faydalı bir çevre sağlama çabasıdır. Borusuz drenaj sistemleri, sürdürülebilir kentsel drenaj anlayışı çerçevesinde değerlendirilmektedir.

3.2.1 Birleşik Sistemler

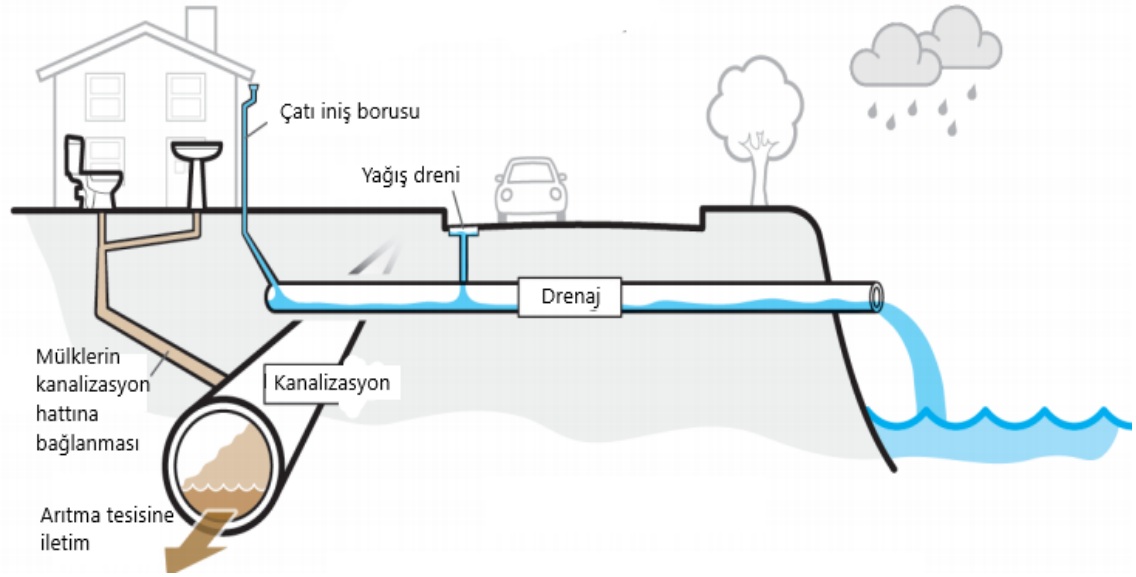
Drenaj şebekeleri karmaşık, geniş alanlara yayılmış, birbiriyle bağlantılı dallar ve kollardan oluşan bir sistemdir. Birleşik sistemler; hem evsel, endüstriyel vb. birçok alanda kullanılmış atık suları hem de yağış sularını aynı iletim hattı boyunca taşır ve bu suların iletim noktası atık su arıtma tesisleridir (Şekil 3.2). Özellikle yaz aylarında yağış miktarının fazla olmadığı durumlarda sistem sadece atık suyu taşır iken yağışla beraber taşınan suyun kapasitesi önemli ölçüde artar. Hafif yağışlarda dahi yağmursuyu, tahliye edilen su miktarına önemli ölçüde etki ederken, şiddetli yağışlarda yağmursuyu atık suyun 50-100 katına kadar daha baskın olmaktadır [34]. Şehrin tüm drenaj hatlarını bu şekilde tasarlamak yeterli kapasiteye ulaşmak için gerekli boru çapları adına ekonomik olarak olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu sebeple genellikle şehrin bazı bölgelerinde tüm hattın küçük bir kısmını oluşturacak şekilde karşımıza çıkmaktadır. (Marsalek vd., 1993) Birleşik drenaj sistemlerinde özellikle yağışsız dönemlerde katı maddelerin birikiminin meydana gelebileceğini ifade etmiştir [36]. bu durumda işletim sürecinde aksaklıkların meydana gelebileceğini, taşma olasılığının artacağını ve sistemin hidrolik kapasitesini düşüreceğini ifade ederek, genellikle yağışsız dönemlerde günde en az bir sefer boruların kendisini temizleyecek hıza ulaşması gerektiğini ifade etmiştir.



Şekil 3.2 Alıcı su kütlesine iletilen birleşik sistemlerin biçimi [36]

3.2.1 Ayrık Sistemler

Bu sistemler isminden de anlaşılacağı üzere atık su ve yağmursularını birleşik sistemlerin aksine yan yana döşenen ayrı borularda taşımaktadırlar (Şekil 3.3). Atık su akışları için tasarlanan borular bölgenin maksimum atık suyunu taşıyabilecek şekilde tasarlanmıştır. Çünkü atık su miktarı bölgedeki faaliyetlere, gelişmişlik düzeyine, nüfus ve kalkınma planlarına bağlı olarak zamanla değişmektedir [37]. Yağmursularının, atık sular ile karıştırılmadan taşınması ve daha önceden planlanan bir iç su yoluna iletiminin sağlanması, birleşik sistemlerde meydana gelebilecek çevresel kirliliğin ve taşmaların önemli ölçüde azaltılmasını sağlamaktadır. Burada en belirgin dezavantaj iki farklı boru sistemi kurulacağı için maliyetin yüksek olması olarak ifade edilebilir. Ancak boruların aynı kazı işlemi ile yerleştirilmesi sayesinde ve atık su borusunun nispeten küçük olması ile birlikte iki boru yerleştirilmesi maliyeti iki katına çıkarmayacaktır.



Şekil 3.3 Ayırık drenaj sistemlerinin görünüşü [38]

3.3 Kentsel Alan Drenaj Sistemi Elemanları ve Uygulamaları

Şehir altyapı drenaj sistemlerinin bileşenlerini genel olarak toplama ve iletim hatları, çıkışlar ve donanımlar olarak ifade edilebilir. Toplayıcı ve taşıyıcı sistemler olarak en sık karşılan tip boru hatlarıdır. Genellikle beton, çelik, plastik ve kil gibi çeşitli malzemelerden delikli ve deliksiz olmak üzere üretilirler. Dairesel kesit olarak üretimi yaygın olmasına karşın dikdörtgen veya kutu kesit olarak da üretimi mevcuttur. (ASCE, 2013) toplayıcı sistemler için jeokompozitler, geomembranlar, jeotekstiller, agregalar ve fitil drenleri olduğunu ifade etmiştir [35]. Bölgedeki su kullanımı belirleyen; nüfus, bölgenin sanayi, iklim ve bitki örtüsü gibi koşulları dikkate alarak tahliyesi gereken su miktarı ve bölgenin özellikle topografyasıyla ve yerleşim planına bağlı olarak oluşacak yüzeysel akış değerleri tahmin edildikten sonra drenaj hatları için bir taslak seçilerek, elemanların tasarımı yoluna gidilir. Uygulamada her bir boru, tasarım akış değeri olarak çapının 0,85 i değerinde bir dolulukla akması için tasarlanır [36]. Boru çapı ve eğimin seçimi arasında ekonomik bir karşılaştırma yapmak gerekir. Tahmin edildiği üzere boru çaplarındaki artış maliyeti arttıracaktır, eğimin artmasıyla beraber gerekli olan boru çapında küçülmeler meydana gelecektir ancak bu durumda da kazı maliyetleri artacaktır, bu nedenle en düşük maliyetli ve gerekli kapasiteli sistem kurulumu için fayda-maliyet analizleri yapılması gereklidir [39]. Önemli bir not olarak ifade etmek gerekir ki büyük tahliye miktarları söz konusu olduğu zaman özellikle ekonomik açıdan daha uygun olması sebebiyle borular yerine açık

kanallar uygulanabilir. Kanallar; Astarlı(Kaplamalı) ve Astarsız(Kaplamasız) olmak üzere uygulanabilirler.

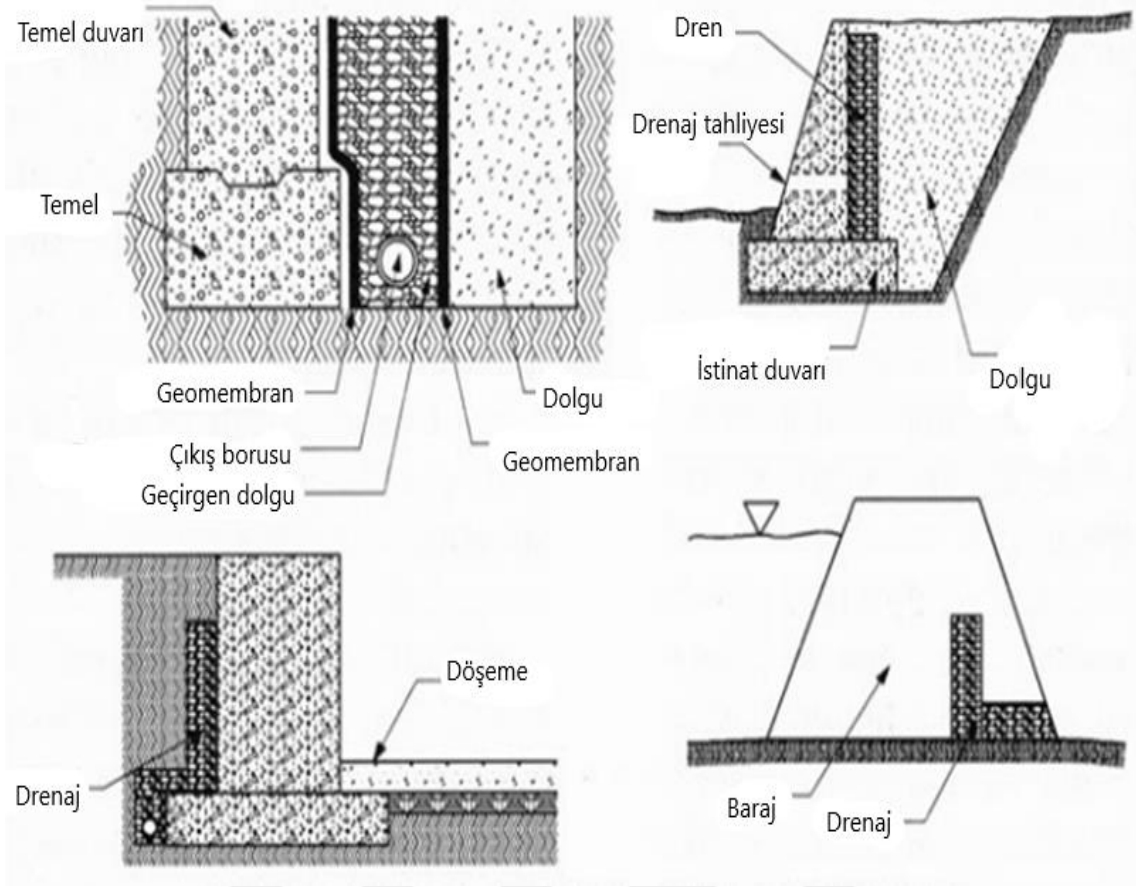
- Kaplamalı Kanallar : Sızma nedeniyle oluşacak su kayıplarını önleme amacıyla kanalın taban ve yan eğimlerini çimento sıva, beton, taş gibi çeşitli malzemeler ile kaplayarak oluşturulan kanallardır (Şekil 3.4). Kazının zor olduğu derin alanlarda yüksek hızlardaki suyun geçişine izin vermek amacıyla, inşaat maliyetlerini azaltarak suyun geçişini sağlamasıyla, kanaldaki sızma miktarını, bakım ve işletim maliyetlerini azaltmasıyla ve kanal kesitinin stabilizasyonunu sağlamasıyla önemli avantajlara sahiptir.
- Kaplamasız Kanallar : Taban ve yan eğimleri doğal olarak bırakılmış, örtülmemiş kanal sistemleridir(Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Kaplamalı (sol) ve Kaplamasız(sağ) kanallar

3.3.1 Temel Drenajı Uygulamaları

Temel drenajları binalar, köprüler, barajlar ve istinat duvarları dahil birçok yapıda uygulanmaktadır (Şekil 3.5). Temel drenajları, bodrumların ya da yapıların temelinde su birikmemesi ve yapısal sorunların meydana gelmemesi için tasarlanmış, suyu toplayarak mevcut alan dışına taşımak için tasarlanmış boru hatlarıdır. Ana bileşen olan boru hatları temelin dış kısmında bulunur ve suyu alarak yağmursuyu kanallarına aktarır. Boru çevresi, toprağın ve ince parçacıkların girişini engellemek adına geçirgen bir ağ ile kaplanır ve iyi derecelendirilmiş çakıl ile ve son olarak toprak katmanıyla örtülür.



Şekil 3.5 Temel drenaj uygulamaları [35]

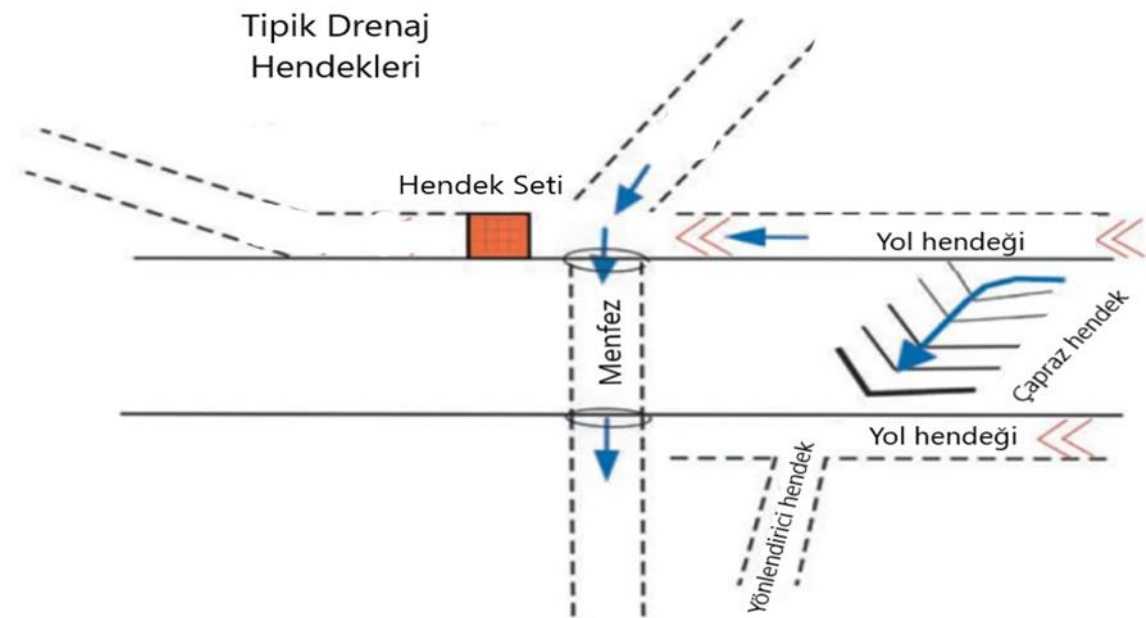
3.3.2 Yol Drenajı Uygulamaları

Su, yolun gövdesinden ve üst yapısından uzaklaştırılmazsa gövdede ve üst yapıda hasarlara yol açabilir. Kent içi yollarda; yolun hizmet ömrünün uzatılması, bakım maliyetlerinin azaltılması ve trafik güvenliğinin güvenli sınırlar içerisinde kalması, suyun düzgün bir yüzeysel drenajla yoldan uzaklaştırılmasına bağlıdır [40]. Bir bölgedeki drenaj tasarımının ve beklenen yüzeysel akış durumlarını incelemede dikkat edilmesi gereken önemli çevresel faktörlerden bir kaç aşağıda ifade edilmiştir [41];

- Toplam yıllık yağış (yağmur ve kar)
- Maksimum yağış olayı
- Yüzeyin ve mevcut bölgenin bitki durumu
- Zemin profili
- Eğim

Silt, kil gibi düşük sızma hızlarına sahip olan toprak alanlarda inşa edilen yollarda suyun yol yüzeyinde kalma durumu daha fazla olduğu için daha kapsamlı drenaj

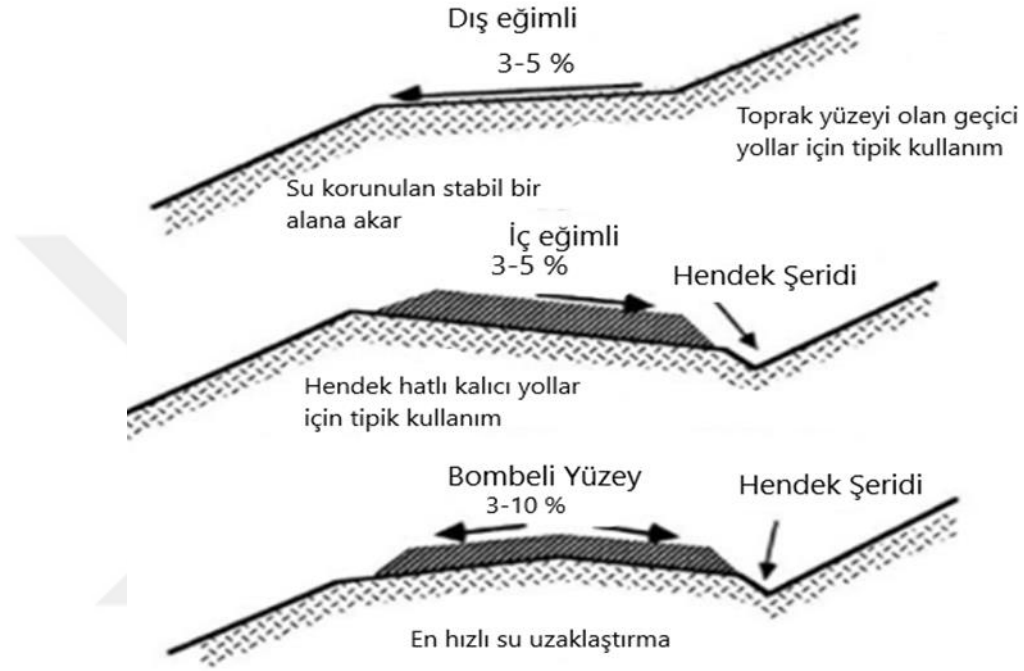
önlemleri gerekecektir. Yağmur suları yol yüzeylerine düştükten sonra en düşük kotlu noktaya hareket etme eğilimindedirler ve böylece yolun yüzey ve trafiğin maruz kaldığı kısımda kalınlığı yağışın şiddetine bağlı olarak değişebilen bir su tabakası akışı mevcut olacaktır. Özellikle motor kullanıcıları için bu su tabakası tehlikeli olmasının dışında araç hareketleri, yolun görüş mesafesini ve lastik ile yol yüzeyinin sürtünmesini azaltarak çeşitli tehlikelere sebep olabilir [42]. Çok şiddetli yağış olayları ise yüzey tabakasını aşındırıcı olma ve dik yamaçlardan büyük hızlarda suyun akışına sebep olduğu için endişe kaynağıdır. Paralel drenaj hendekleri (yol hendeği), suyu yola ulaşmadan önce yakalayarak tüm yol boyunca uzatılmış olan drenaj çukurlarıdır. Bu hendekler genellikle dik eğimli yollar için uygundur ve erozyon risklerini azaltmak adına iri taneli malzemeler ile yapılmalıdır. Hendeklerde toplanan ve iletilen suyun, yol üzerinden ve yamaçlardan gelen katı maddeden arındırılması için buradaki su, bitkilendirilmiş bir alana yönlendirilmelidir. Çapraz Hendekler, biriken suyu tahliye etmek için yolun içinden uzanan sığ hendeklerdir. Toprak erozyonu ve aşındırma problemlerini önlemek amacıyla çapraz hendeklerin yolun ötesinde bulunun bitki örtülü bir alana kadar götürülmelidir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Yollarda kullanılan hendek ve menfez plan görünüşü [43]

Yol yüzeyi drenajı, suyun erozyona neden olabilecek hızlara ulaşmadan ve yol yüzeyinden sızarak boşluk suyu basıncını arttırarak toprak mukavemeti azaltmak durumundan sakınmak için uygulanır. Yol yüzeyine eğim verilmesi, yolun iki kenarına doğru yağış sularının akmasını sağlayan düşük seviyeli bir yol yüzeyi

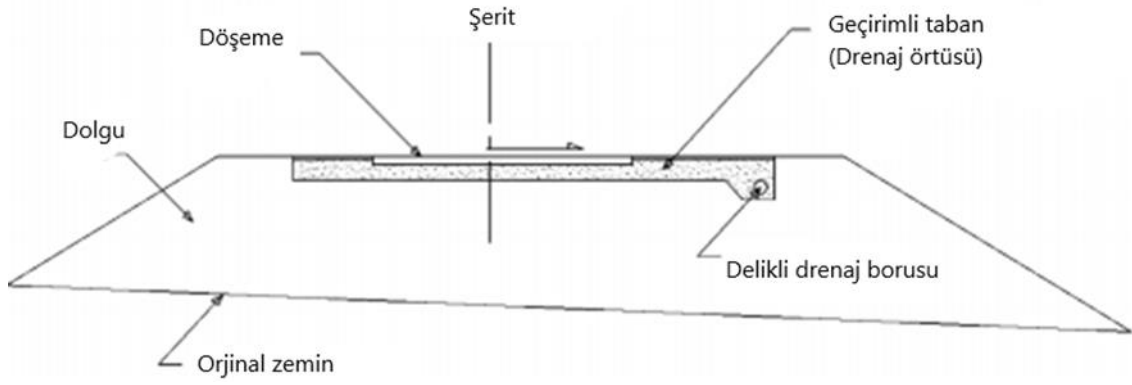
düzenleme işlemidir (Şekil 3.7). Bu uygulama ayrıca yol yüzeyindeki sediment dağılımını da azaltır. (Reid, 1981) yaptığı çalışmada %5-12 ile %0-2 eğimli yol yüzeyini karşılaştırmıştır. Bu çalışma sonucunda enine yol yüzeyinin eğiminin arttırılması sediment dağılımda azalmaya neden olmuştur [44]. Bombeli yüzeyler, suyun gitmesi gereken mesafeyi yarıya indirildiği için en hızlı su tahliyesini sağlar. Bu yüzeyler, yol merkez hattının her iki tarafından yüzde 3 ila 10 arasında eğimlidir [45].



Şekil 3.7 Yüzey drenajını kontrol etmek için kullanılan yol kesiti düzenleme modelleri [45]

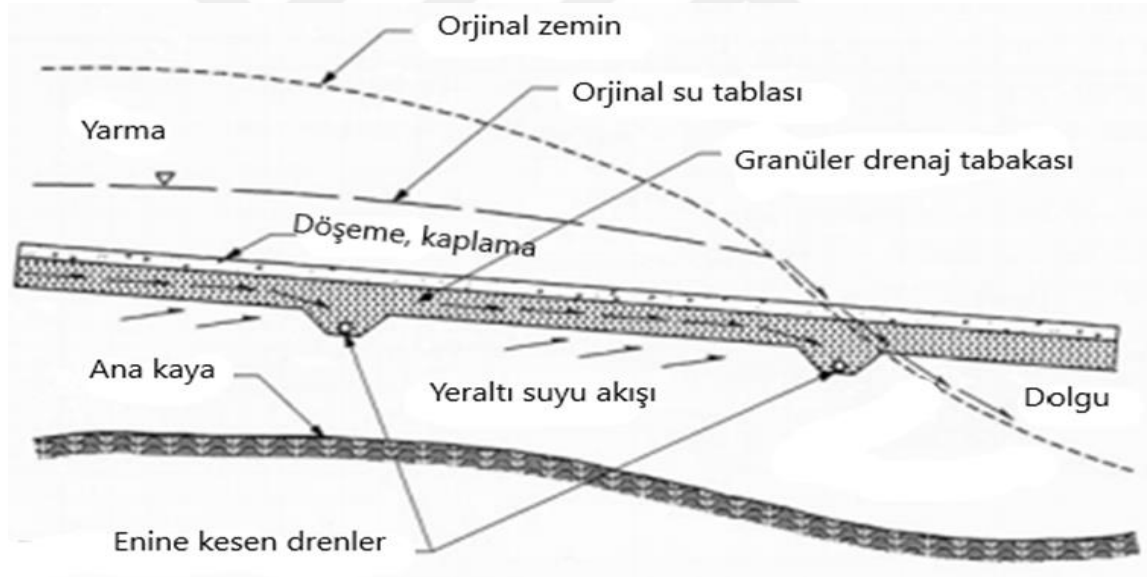
(ASCE, 2013) Yol drenajını uzunlamasına, enlemesine ve temel-taban drenajı olmak üzere üçe ayırmıştır [35]. Bunlar; Boyuna sistemler, enine sistemler ve temel drenaj sistemidir.

Boyuna Sistemler : Yol kaplama sistemine paraleldir ve yağışın yer çekimi etkisiyle doğal olarak tahliye edilmesine izin veren bir derinlik ve konuma yerleştirilir (Şekil 3.8). Bu tür drenaj genellikle önemli derinlikte bir hendek, bir kolektör borusu ve bir tür koruyucu filtre içerir [46].



Şekil 3.8 Döşeme kesiti içerisinde sızan suyu uzaklaştırmak için kullanılan boyuna toplayıcı drenler [47]

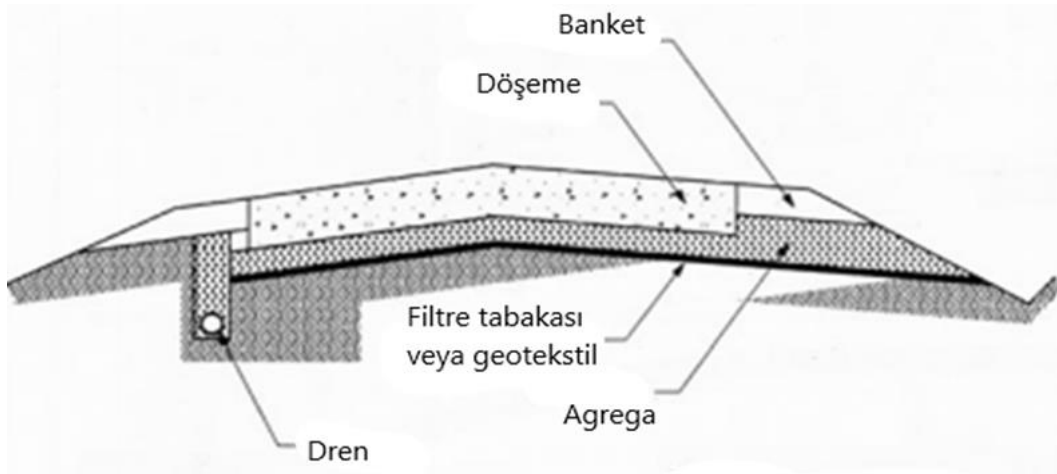
Enine sistemler: Yol kaplamasına ve kaldırım sistemine dik olarak yolun enine kesiti boyunca uzanan ve özellikle yeraltı akışı ile ilgili problemlerin mevcut olabileceği alanlarda uygulanan bir drenaj sistemidir. Şekil 3.9 da gösterilen bu drenaj sistemleri bir uzunlamasına drenaj hattı ve/veya yüzeysel bir drenaj sistemine bağlanmalıdır.



Şekil 3.9 Yol yapılarında enine drenaj sistemi [35]

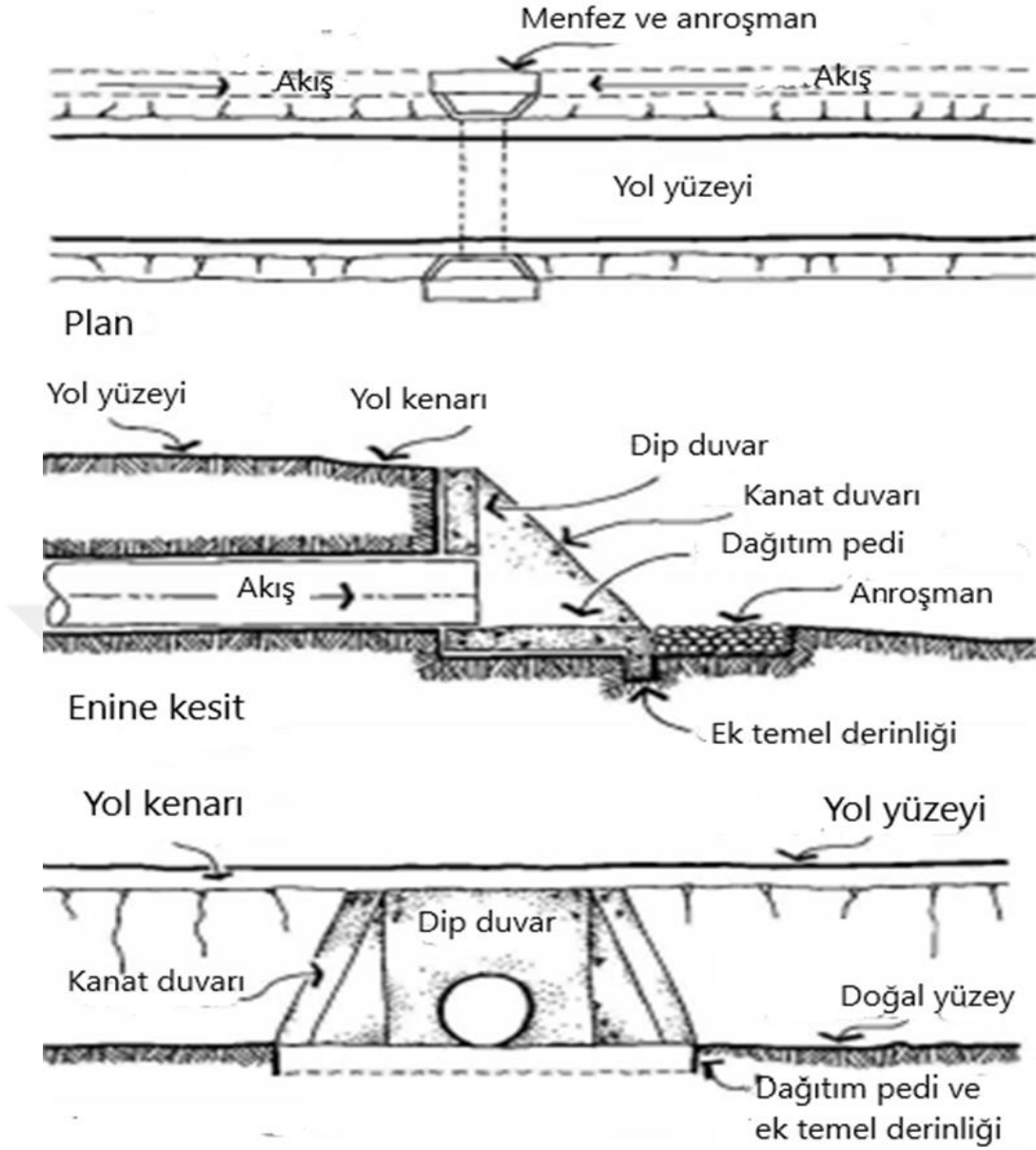
Temel Drenaj Sistemi : Temel sistem, genellikle tüm kaplama sisteminin altında geçirgen bir drenaj örtüsünden oluşan sistemdir. Bu drenaj sistemleri, uygun şekilde tasarlanırsa, hem yeraltı suyunun hem de sızmanın etkili kontrolü için kullanılabilir [47]. Drenaj örtüleri olarak işlev görmek için, sistemler özel olarak tasarlanmalı ve bu amaçla inşa edilmelidir. Çok yüksek geçirgenlik katsayısına sahip yeterli kalınlıkta malzeme, toplanan su için pozitif çıkış ve bazı durumlarda

bir veya daha fazla koruyucu filtre tabakası kullanılarak tasarlanmalıdırlar (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Yol yapılarında temel drenaj sistemi [35]

Yol drenajı açısından uygulamada çok sık karşılaşılan tahliye sistemlerinden birisi de menfezlerdir. Menfez; sahadaki suyu yolun, demiryolunun, patikanın veya benzeri bir engelin altından, bir taraftan diğerine aktarmasına izin veren bir yapıdır. Tipik olarak toprakla çevrili olacak şekilde gömülü bir menfez, bir borudan, güçlendirilmiş betondan veya başka bir malzemedan yapılabilir. Hendeğin çıkış bölgesinin alt kısmındaki alanın erozyondan korunması adına bir kaya tabakasıyla kaplanması, suyu dağıtacak bir sistemin tasarlanması gibi önlemler alınmalıdır (Şekil 3.11).



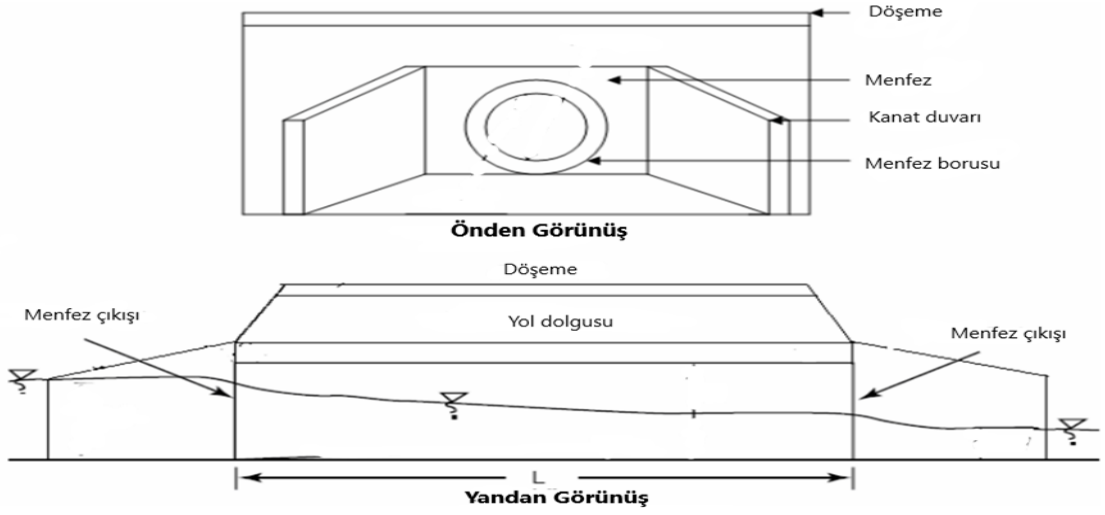
Şekil 3.11 Yol drenajında menfez görüşleri [48]

Genel olarak boru menfezler, kutu menfezler, kemerli menfezler uygulamada sıkça karşılaşılan türlerdir. (Schiess vd., 1986) Yapılacak menfezin türüne bakılmaksızın yerine getirmesi gereken işlevleri aşağıdaki sıralamıştır [45]. Bunlar;

- Uygun giriş ve çıkış yapılarına sahip menfez, akışın tüm aşamalarında suyu, yatak yükünü ve yüzen atıkları verimli bir şekilde tahliye etmelidir.
- Doğrudan veya dolaylı mülkiyet hasarına neden olmamalıdır.
- Gelecekteki kanal ve otoyol iyileştirmeleri için zorluk çekmeden yapılabilecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Sivrisineklerin üreyebileceği sakıncalı durgun su birikintilerine neden olmamalıdır.

- Beklenen arazi gelişiminin neden olduğu artan yüzey akışını karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Yapılması ekonomik, tasarım tahliyesini idare etmek için hidrolik olarak yeterli, yapısal olarak dayanıklı ve bakımı kolay olmalıdır.

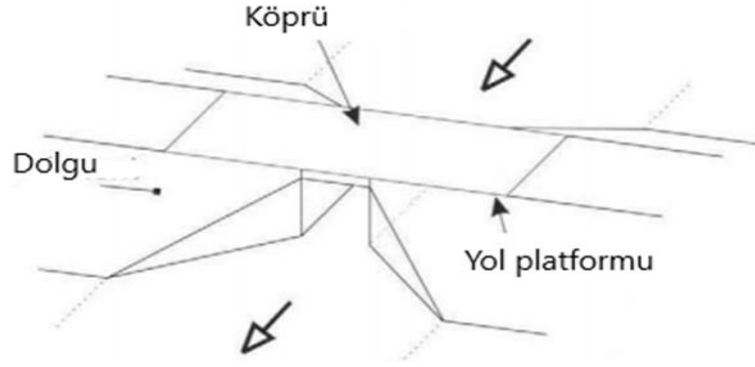
Boru menfezler, kesitleri alanın koşullarına bağlı olarak dairesel, eliptik ya da kemer şeklinde olan, beton, betonarme, çelik gibi malzemelerden uygun fiyat ve kolay kurulum ile uygulama da en sık kullanılan menfez türlerinden biridir (Şekil 3.12). Menfez borusunun çapı, borulardan geçirilecek tahliye miktarına göre seçilir. Deşarjların fazla olduğu durumlarda boru sayısı artırılabilir. Bununla birlikte, boru menfezleri sınırlı akışın taşınmasına izin verebileceğinden, bu tür inşaatlarda sınırlamalar vardır. Deşarj yüksekse bu yapılar uygun olmayabilir.



Şekil 3.12 Menfez yapısı elemanları [49]

Kutu menfezler, memba ve mansap kısmında yolun iki tarafında genellikle kare ya da dikdörtgen prizması şeklinde bir kutu kesite sahip olmaları nedeniyle bu isim ile adlandırılmıştır (Şekil 3.13). Prekast boruların yeterince büyük bir boyutta elde edilemediği veya bir kutu menfez konfigürasyonunun diğer yapılar veya tesisler arasındaki veya bitişindeki mevcut alana daha iyi uyacağı durumlarda kutu menfezleri gereklidir [50].

Kutu menfez, sağlam bir çerçeve yapısıdır ve yapımı çok basittir, kutu menfezin alt plakası toprak üzerindeki baskıyı azaltır, rijitlikleri ve monolitik hareketleri nedeniyle ekonomiktir ve ayrı temellere gerek yoktur ayrıca düşük seviyede su yüksekliği ile boru menfezlere nazaran daha büyük su kütlelerini iletebilirler [42].



Şekil 3.13 Kutu menfez [51]

Kemer menfezler, isminden de anlaşılacağı üzere kemer profiline sahip olan üzerine uygulanan yükleri kemer prensibiyle aktaran sistemlerdir (Şekil 3.14). Tek bir kemer yapısı uygulanabilirken genellikle menfezini oluşturmak için bir veya daha fazla kemer birleştirilir. Metal, taş, beton ve betonarme gibi malzemeler kullanılarak oluşturulan bu menfez türü kutu menfez türünün aksine su akışını bozmadan oluşturulabilmesi nedeniyle su yönlendirilmesi gerekli değildir. Böylece inşaat süresi daha kısa ve pratiktir. Geleneksel kutu menfezlere ve boru menfezlere göre kemerli menfez kullanmanın avantajları aşağıdaki gibidir:

- Tasarruf
- Hızlandırılmış inşaat programı
- Daha fazla hidrolik verimlilik
- Hoş bir estetik



Şekil 3.14 Kemer menfez örneği [52]

4.1 Genel Bilgiler

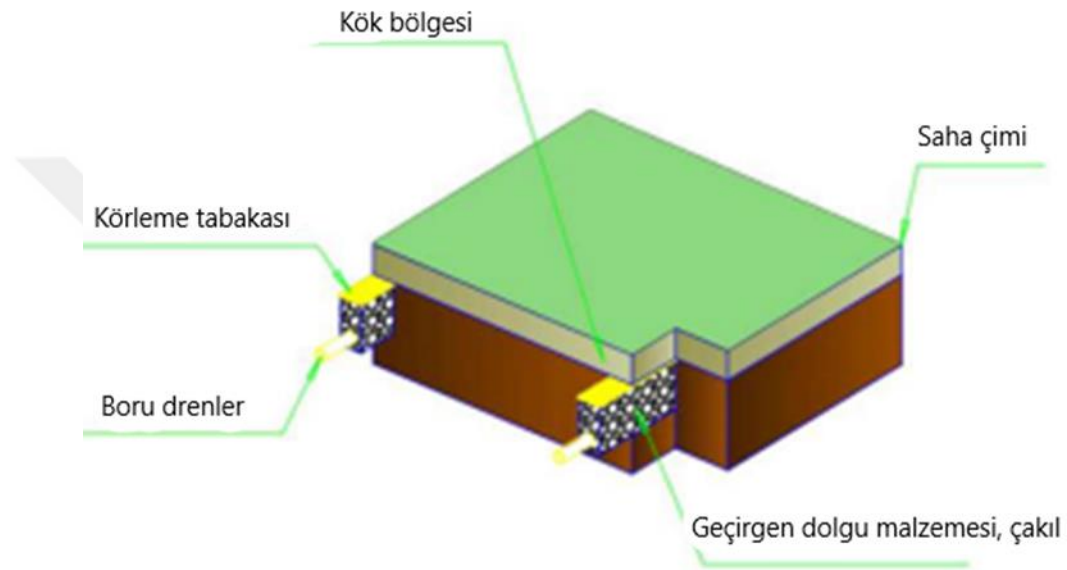
Son yıllarda artan nüfus oranlarıyla beraber kronik hastalıklar ve obezite konusunda sorun yaşayan insan sayısı da giderek artmaktadır. Spora katılım bu tip hastalıkların önüne geçmek adına özellikle gençler ve çocuklar için oldukça önemlidir. Ancak yeterli sayıda spor sahasının mevcut olması ve bu sahaların elverişli koşullarda olması kritiktir. Özellikle futbol gibi katılımın çok yüksek olduğu spor sahaları yüzeyleri havayla temas halindedir ve yağış, sıcaklık gibi çevresel koşullardan özellikle kış aylarında etkilenmektedir. Katılımın her yaş kategorisinde çok yoğun olduğu ve ekonomik, sosyal, prestij anlamında çok kritik olan bu sporda, sahanın tasarım aşaması detaylı bir şekilde irdelenmelidir. Katılımı arttırmak için oyun yüzeyinin yaralanmalara karşı güvenliğinin sağlanması, sporcunun yeteneklerini gösterebileceği düzgün bir yüzey, yeterli toprak mukavemeti ve top yuvarlanması, zıplaması olarak oyun özelliklerinin iyileştirilmesi ihtiyacı üzerine birçok çalışma yapılmıştır [4], [5]. Genel inanç, yağış hietografinin tahliye edilen su miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve yağışların çok küçük bir kısmının drene edildiğidir. Olumsuzlukları (drenaj sorunları, çim aşınması, yüzey dengesizliği vb.) yeniden iyileştirmek genellikle zordur ve spor sahalarının inşasından önce dikkatli ve ayrıntılı bir çalışmanın yokluğunda ortaya çıkabilir. Oyun yüzeyini olumsuz etkileyecek ve oyunun oynanmasını engelleyecek en önemli sorun, yüzeyden yağışların yeterince hızlı bir şekilde uzaklaştırılamaması sonucu oluşacak, çimlerin aşınması ve yüzeyin su biriktirmesidir. 1960' lar da, spor sahasının bir kesiti Amerika Birleşik Devletleri Golf Birliği (United States Golf Association, USGA) tarafından önerilmiştir. Kesitte altta, geçirgenliği yüksek, gözenekli ve iri bir malzeme olan çakıl, üzerine sırasıyla kum ve kök bölgesi (kum + toprak) yerleştirilmiştir. Esas olarak, yağış sularını alan yüzeyinden çıkarmak için yüksek hidrolik iletkenlik ve gözenekli malzemeler kullanılarak yüzey ve alt drenaj çıkışları arasında bir bağlantı yolu oluşturulması amaçlanmıştır [53]. Doğal toprağın yüksek drenaj kapasitesi yoksa, genel olarak yerli topraklar yüksek kil içeriği nedeniyle yeterli drenaj özelliklerini sağlamaz, bu

toprak kazılır ve yüksek kum içerikli bir toprak karışımı ile değiştirilir. Taylor ve Blake (1979) Kök bölgesi (kum + toprak + turba) karışımının, tatmin edici bir sızma hızı elde etmek için ağırlıkta %90'dan fazla kum içermesi gerektiğini belirtmiştir [13]. Baker (1989), Magni vd. (2014) Yüksek kum içeriğine sahip spor alanları inşa etme ihtiyacını desteklemiştir [14], [54]. Kum miktarındaki artış sadece sızma hızını değil, aynı zamanda yüzey havalandırmasını ve çim bitkisinin gelişimini de olumlu yönde etkiler. Özellikle yerel alanlarda oynanan veya düşük yaş grupları tarafından kullanılan sahalarda, sahayı yüksek kum içeriğine sahip malzeme ile doldurmak genellikle ekonomik değildir. Ek olarak, fazla kum içeren sistemlerin yüksek drenajı nedeniyle, çim kökleri için gerekli olan nem miktarı toprakta tutulmaz [7]. Yüzeydeki suyu yüksek miktarda tahliye etmek ve kök bölgesindeki nem miktarını çok fazla azaltmamak için birbirine göre avantaj ve dezavantajları olan farklı sistemler geliştirilmiştir. Bu drenaj tasarımlarının hidrolojik açıdan incelemesinde literatür eksikliği olduğu açıktır. Sahanın inşa edileceği alanın iklim koşulları, yağış miktarı ve sıklığı ile belirli dönemlerde oluşabilecek maksimum yağış miktarı gibi verileri değerlendirmeden bir spor sahası drenajı inşa etmek, aşırı veya eksik tasarımlarla sonuçlanacaktır. Yüzeyden toprağa sızan ve alt katmanlara doğru hareket eden suyu çıkarmak için bir iç drenaj sistemi kurmak gerekir. İki ana unsur iç drenaj sisteminin kalitesinin göstergeleridir. Bunlar; suyun uzaklaştırılması verimliliği ve sistemin uzun ömürlülüğüdür ve bu etkiler, drenaj borularının sayısı, suyun hareketine izin vermek için doğru eğim, kullanılan drenaj borularının özellikleri ve sahada kullanılan toprak tipi ile ilişkilidir [2].

4.2 Spor Sahalarında Boru Drenajı

Boru drenajı, geçmişte yaygın olarak kullanılan bir iç drenaj sistemidir, ancak yavaş drenaj özelliği ve yüksek kum içeriğine sahip alanlarda etkili çalışması nedeniyle yüksek kaliteli futbol sahaları için tercih edilmez. Etkili bir drenaj sistemi oluşturmak için, büyük boşluk oranlarına sahip olan çakıl malzemesi ile yüzeyin 20 cm altına kadar doldurulur (Şekil 4.1). Üst tabaka kumun hakim olduğu bir kök bölgesine sahiptir, ancak üst toprağın çakıl tabakasına ve drenaj borularına sızmasını önlemek için çakılla dolu tabakanın üzerine 5 cm yüksekliğinde bir körleme tabakası yerleştirilmelidir. Genel olarak, bu sistemin avantajı daha az maliyetli olmasıdır. Kurulumdan sonra drenaj kapasitesini arttırmaya izin verir ve

diğer sistemlerin temelini oluşturur. Bununla birlikte, aşırı yağış durumlarında düşük sızma hızları nedeniyle kil ve silt gibi düşük geçirgenliğe sahip yüksek miktarda malzemeye sahip sahalarda yetersizdir. Canaway (1994) Çim sahasının performans kalitesini etkileyen faktörleri değerlendirmek için drenaj sistemlerinin karşılaştırılmasını içeren saha deneysel çalışması yürütmüş ve drenaj tiplerinin, çim yüzeyinin aşınmasından önceki süreçlerde benzer sonuçlar verdiğini, ancak saha yüzeyinde ki çim aşınması ile boru drenajında çok sayıda su birikintilerinin oluştuğunu ifade etmiştir [55].

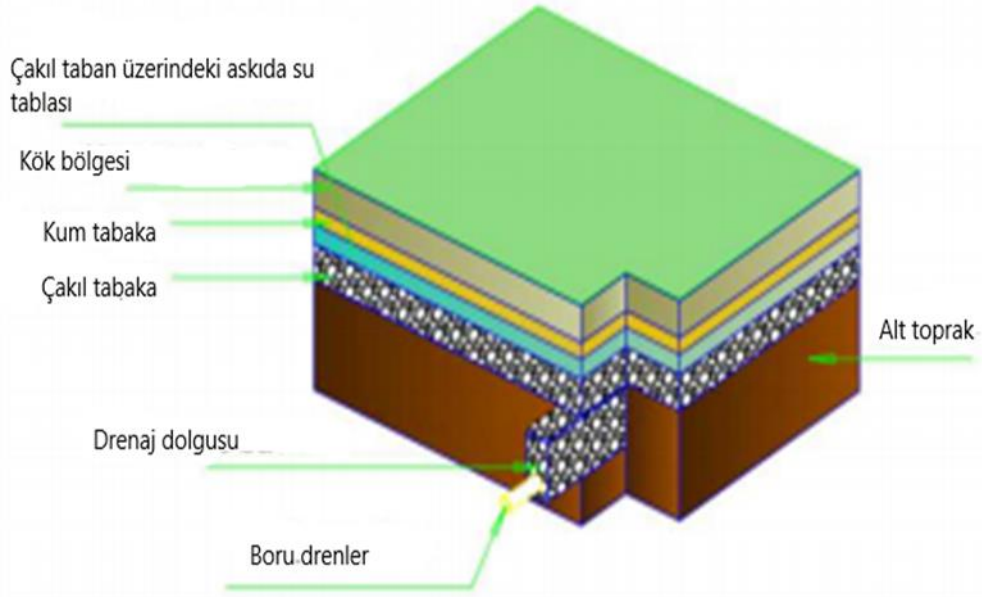


Şekil 4.1 Spor sahalarında boru drenajı kesiti [7]

4.3 Askıda Su Tablası Drenajı (Üç Tabakalı Drenaj Sistemi)

Spor sahalarına bir drenaj sistemi kurarken en önemli nokta, yağış şiddetinden ve süresinden bağımsız olarak yüzeyden suyu hızlı bir şekilde uzaklaştırmaktır. Bu nedenle, yüksek sızma hızlarına sahip bir üst toprağa sahip olmak ve boru vasıtasıyla alandan suyu çıkarmak için bir iç drenaj sistemi kurmak gereklidir. ASTD, bu görevleri yerine getirmek için en uygun sistemlerden biridir ve bu nedenle en önemli spor sahalarının drenaj sistemi olarak tercih edilmektedir [7]. Drenaj açısından oldukça verimli olmasının nedeni, bir kum tabakasına ve yüksek miktarda kum içeren bir kök bölgesi tabakasına sahip olmasıdır. Bununla birlikte, yüksek verimli drenaj sistemlerinde, çimlerin büyümesi ve korunması için gerekli olan kök bölgesindeki nemin, büyük miktarda suyu uzaklaştırdığı için azaltılacağına dikkat edilmelidir. Bu nedenle, ASTD ile birlikte gelişmiş bir sulama

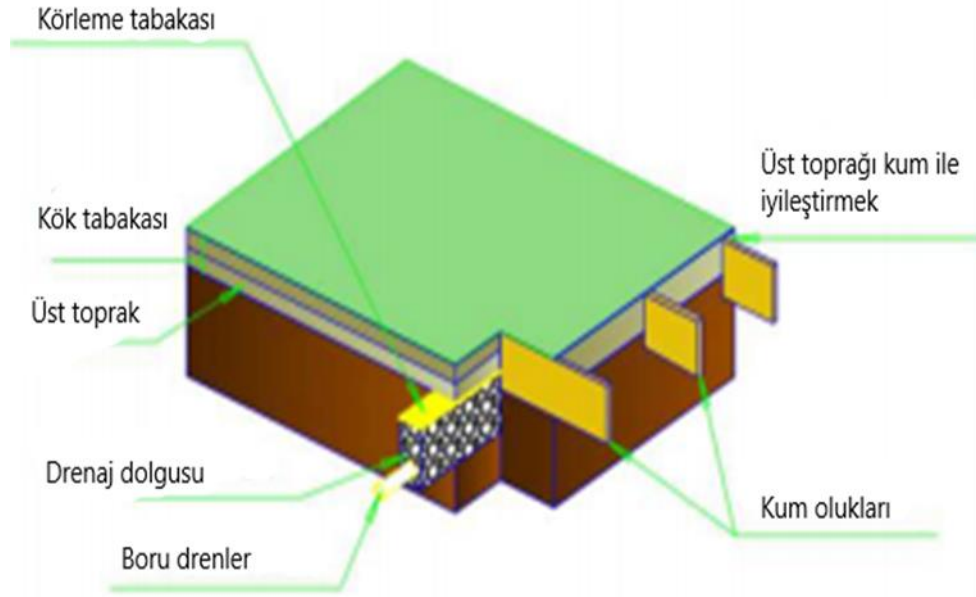
sistemi kurmak çok önemlidir. Sistem kurulumu genellikle altta 15 cm yüksekliğinde çakıl tabakası, daha sonra çakıl tabakasının üzerine 5-15 cm' lik bir kum tabakası ve üst kısımda yüksek kum içeriğine sahip kök tabakasının alanı olarak tanımlanabilir (Şekil 4.2). Kesgin vd. (2020) yaptığı deneysel çalışmasında körleme tabaka kalınlığının ve kök bölgesi tabakasının drenaj çıkışı üzerindeki etkisini incelemiş, yağış şiddeti düşük olduğunda farklı derinlik kombinasyonlarının etkisinin olmadığını ancak yüksek yağış şiddetlerinde, daha büyük miktarlarda tahliyenin körleme tabakasının olmadığı drenaj kesitinde meydana geldiğini ifade etmişlerdir [8]. Baker (1989), ASTD sistemleri için 16 farklı kum - toprak oranını karşılaştırmıştır. Sonuçlar, kaba kumun yüzey stabilizesi açısından sorunlara yol açabileceğini ve kök bölgesindeki kum içeriğinin, saha yüzeyinde aşınmayı ve birikmesini önlemek için %90'dan fazla olması gerektiğini göstermiştir [14]. Always ve Mcdole (1917) Tabakasız bir toprak ve kaba malzeme üzerine yerleştirilmiş toprağı sulama sonrası su içeriği açısından incelemiş ve tabakalı sistemlerde daha fazla su tutulduğunu ifade etmişlerdir [56]. Miller (1973) Tabakalı sistemlerde su tutulmasını etkileyen faktörlerin altta yatan kaba tabakanın derinliği ve özellikleri olduğunu belirtmiş ayrıca alt tabakada kullanılan malzemenin çapı arttıkça üzerinde tutulan su miktarının da arttığını ifade etmiştir [57]. Taylor vd. (1993) ayrıca 4 farklı deneysel mekanizma oluşturmuşlardır: çakıl + kum + kök bölgesi, çakıl + kök bölgesi, kum + kök bölgesi, alt toprak + kök bölgesi ve alt tabakaların kök bölgesindeki su tutma üzerindeki etkisini incelemişlerdir [12]. Sonuçlar Miller (1973) çalışmasını doğrulamış ve en yüksek kök tabaka su miktarının çakıl + kök bölgesi sisteminde tutulduğunu belirtmiştir. Kök bölgesinde tutulan su, eşit olarak yayılmak yerine altta bir su tablası oluşturur [12]. Aynı yağış hiyetografı altında, sadece kör tabakadaki kumun çapını arttırarak ve çıkış hidrograflarını karşılaştırarak, tepe akışının malzeme çapındaki artışla birlikte arttığı, ancak tepe akış çıkış süresinde anlamlı bir fark olmadığı gözlenmiştir [8]. Olumlu yönler, maksimum su çıkışı sağlayan ve haftada 4-6 saat oyun yüzeyi sağlayan drenaj sistemi olsa da, gelişmiş bir sulama sistemine, yüksek kum içeriğine sahip malzemeye ve yoğun bakım gereksinimlerine duyulan ihtiyaç olumsuz yönler olarak düşünülebilir.



Şekil 4.2 Spor sahalarında askıda su tablası drenajı (Üç tabakalı drenaj sistemi) [7]

4.4 Spor Sahalarında Kum Oluk Drenajı

Üst toprağın geçirgenliğinin düşük olduğu spor sahalarında BD sisteminin yoğun yağışlar için yeterli olmadığı bilinmektedir. Ekonomik kısıtlamalar nedeniyle, çoğu durumda sahayı bozulmamış toprak yerine kum malzeme ile doldurmak mümkün değildir. Bu nedenle toprak yüzeyinden kanallar kazılır ve bu alan yüksek geçirgen kum ile doldurularak yüzey ile drenaj tabakası arasında bağlantı kurulur [11]. Net kanal ölçüleri olmamakla birlikte genel olarak 260 mm aralıklarla, 20-50 mm genişliğinde, 150-200 mm derinliğinde kanallar yüzeyden oluşturulur (Şekil 4.3). Bu sistemin faydaları arasında yüksek hidrolik iletkenliğe sahip drenaj yolu, malzemeden ekonomik kazanç, haftada 3-6 saat kullanım süresi ve hızlı kurulum yer alır [7]. Saha yüzeyinde hidrolik iletkenliği arttırmak ve yarıkların kapanmasını önlemek için saha yüzeyi 2-3 cm yüksekliğinde kum tabakasıyla kaplanır. Bu tip yarık sisteminin en önemli dezavantajı, killi topraklara kurulduğunda yaz aylarında toprağın büzülmesinden dolayı oturmanın meydana gelmesi ve bu nedenle eşit olmayan bir oyun yüzeyinin oluşmasıdır. Oluk sistemlerinin genişliğini azaltmak ve üst kum tabakası uygulamak tatmin edici sonuçlar verir [4].

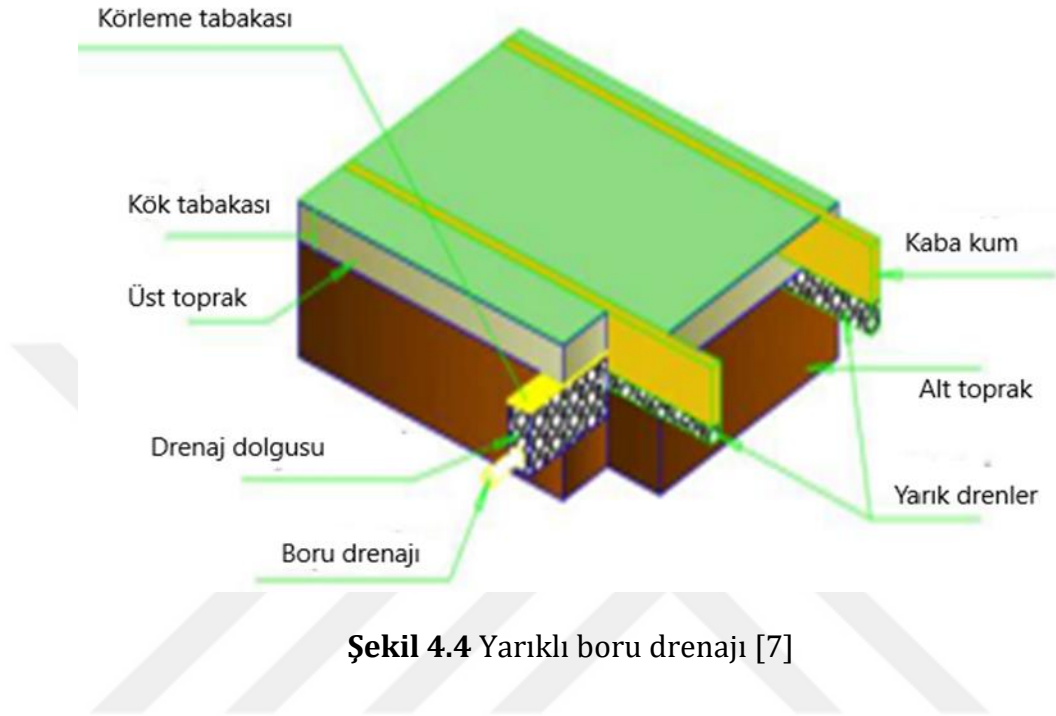


Şekil 4.3 Kum oluklu boru drenaj sistemi [7]

4.5 Spor Sahalarında Yarık Drenajı

Yarık drenajı, tıpkı Kum oluk drenajı gibi, çakıl ve kumla doldurulmuş bir dizi dar, aralıklı yarıktan oluşur ve bu, suyun saha yüzeyi ile alttaki drenaj tabakası arasında hızlı bir şekilde geçmesine izin verir. Genellikle 5 cm genişliğinde ve 25-30 cm yüksekliğinde hazırlanan yarıklar Şekil 4.4' te gösterildiği gibi yüzeye kadar sırasıyla çakıl ve kum ile doldurulur [7]. SAPCA (2010) Kurulum sırasında yarık ile yüzey arasında en az 7,5 cm boşluk kalana kadar 5-8 mm çakıl ile doldurulması ve bu boşluğun yüzey ile kesiti birleştirmek için kum ile kapatılması gerektiğini belirtmiştir [3]. Öte yandan James vd., (2007) yarıkların 5 cm' lik çakıl üzerinde 35 cm kalınlığında kaba kum ile doldurulması gerektiğini ifade etmişlerdir [4]. Sistemin tıkanmasını önlemek ve hidrolik iletkenliği arttırmak için orta-ince kum ve saha yüzeyinde 2-3 cm kum tabakası ile iyileştirme yapılır. Ayrıca çok uzun yağışsız dönemlerinde sahanın büzülmeye eğilimi sonucu kazılan yarıklar genişleyebilir ve dolgular çökebilir ve bu da eşit olmayan bir oyun yüzeyi oluşturabilir. Bu durumdan kaçınmak için saha yüzeyi yılda en az bir kez kumla kaplanmalı veya düzenli bir sulama sistemi kurularak zeminin uzun süre sudan mahrum bırakılmaması sağlanır [3]. Canaway (1994) yaptığı çalışmada, YD' nin boru drenaj sisteminden daha etkili olduğunu ancak yüzey aşındığında ve yarıklar kapandığında etkinliğini kaybedeceğini belirtmiştir [55]. Bu sorunların giderilmesi için saha yüzeyinin 2,5 cm kum tabakası ile kaplanması gerekmektedir. Ayrıca kum tabakasıyla kaplamanın iyi bir oyun yüzeyi sağlayabileceği belirtilir. Saha yüzey

koşulları; sızma hızı, drenaj miktarı açısından yerel toprakların (yüksek düzeyde kil ve organik madde içeren) varlığında verimsizdir. Bununla birlikte, tüm yerel toprağı çıkarmak ve yerine yüksek miktarda kum içeren bir kök tabakası karışımı koymak maliyetlidir. Bu nedenle, YD ile yağmur suyuna hızlı bir yol oluşturmak akıllı ve ekonomik bir çözümdür [4].



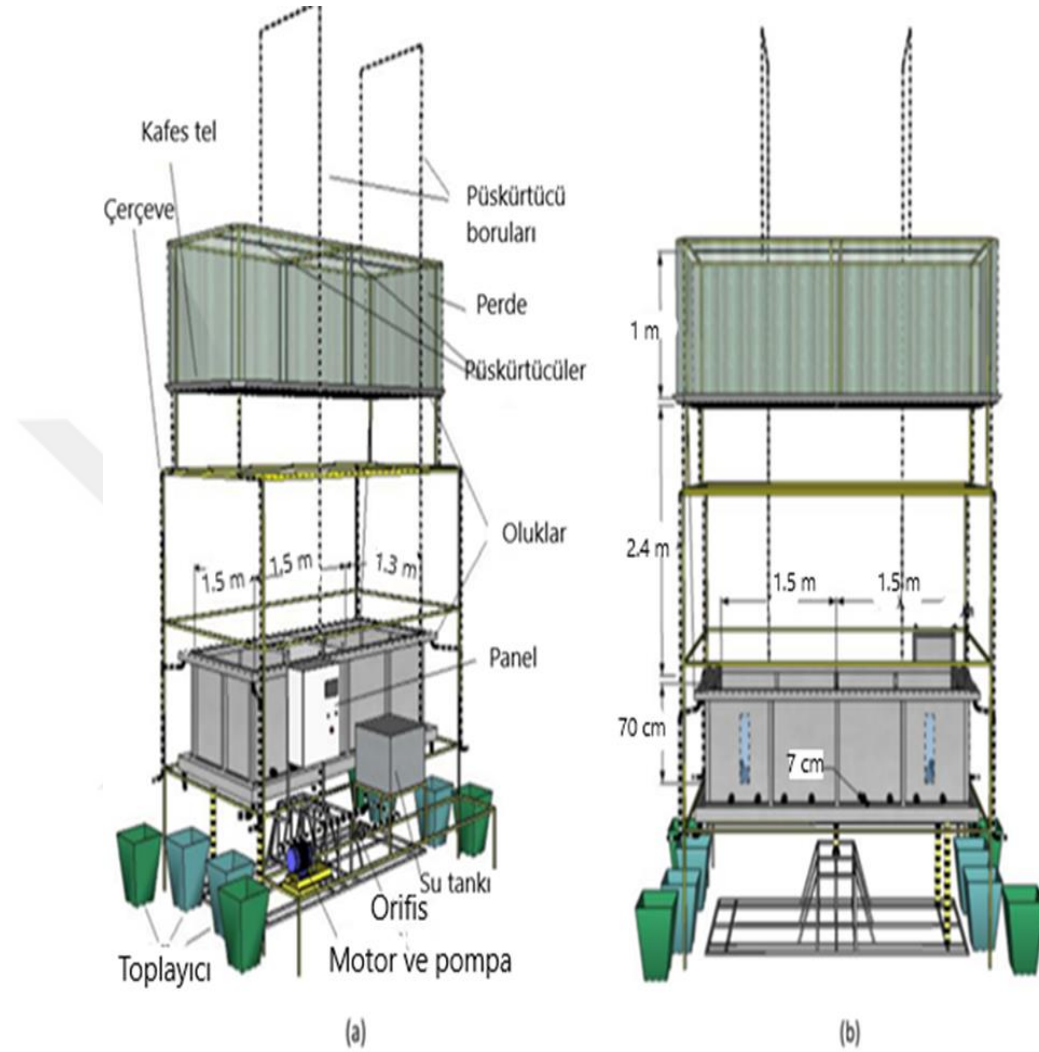
Şekil 4.4 Yarıklı boru drenajı [7]

DENEY SİSTEMİ VE DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

5.1 Yağış Simülatörü ve Tasarımı

Yapılan çalışmanın bir parçası olarak çeşitli yağış şiddetleri ve düzenleri altında spor sahalarının drenaj verimliliğini incelemek adına (Kesgin vd., 2018) tarafından geliştirilen bir yağış simülatörü kullanılmıştır [58], (Şekil 5.1). Bu simülatörü iki ana kısım ile tarif etmek mümkündür. Bunlardan birincisi 5,5m*3,5m lik ana çerçeveye sabitlenmiş yağışın başlangıç noktası olan aşağı yönlü püskürtücülerden meydana gelen yağış simülatörü (YS) ve püskürtücülerin 1 m altında bulunan yağışın üniformaluluğunu sağlayan tel kafes ile ikinci kısım olarak 1,5m*1,3m boyutlarında iki özdeş drenaj tankıdır (DT). Drenaj tankları 70 cm yüksekliğine sahiptir ve bu kısım spor sahalarının drenaj durumunu incelemek için uygun granüller malzeme ile doldurularak hazırlanır. Deney düzeneği, yağış üretimi için 2 cm çapında galvaniz borularla sisteme su tedarik eden depolayan ve tedarik eden 100 L hacimli su tankına sahiptir. Sistem, ön kısmında programlanabilir akıllı panele sahiptir. Bu panel 65 bar a kadar değişen basınç uygulamasıyla geniş aralıklarda yağış üretebilen motor ve pompa sistemlerini kontrol eder. Pompa ve su tankı arasında bir orifisetre yerleştirilmiştir. Pompalanan akış hızları, orifismetrenin giriş ve çıkışında yerleştirilmiş olan basınç vericileri ile farklar belirlenir. Ayrıca istenilen yağış şiddetlerinin sağlanması adına iki farklı yağış aralığına sahip püskürtücüler geliştirilmiştir. Bunlardan ilki daha yüksek şiddetli yağış aralığına sahip olan GG-W ($266,6 \text{ mmh}^{-1} > Y > 26 \text{ mmh}^{-1}$) diğeri ise nispeten daha düşük yağış şiddetlerine sahip olan LNN ($Y < 26 \text{ mmh}^{-1}$). Tablo 5.1 de farklı püskürtücülerin çalışma aralıkları ve maksimum debi değerleri verilmiştir. Tel kafesler, ağa çarptıktan sonra sıfır başlangıç hızına sahip yağış damlalarının son hızına ulaşmak için drenaj tankının zemin yüzeyinin 2,4 m yukarısına ve püskürtücülerin 1 m altına yerleştirilmiştir. Ayrıca sistemin alt ve üst kısmında 2 oluk sistemi mevcuttur. Bu oluklar açılı püskürtücülerin yaymış olduğu yağmur damlalarını perdelerden oluklara toplayarak sistemden uzaklaştırılır. 1,5mx1,3mx0,7m ölçülerindeki her bir DT, tankın alt kısmında 30 cm aralıklarla yerleştirilmiş dört adet delikli drenaj borusuna sahiptir. 7 cm çapındaki drenaj

boruları, drenaj suyunu deney düzeneğinin önündeki ve arkasındaki oluklara taşır. Oluklarla iletilen drenaj suyu daha sonra kolektörlerde ölçülür. Deney düzeneği yardımıyla istenilen yağış tasarım hyetografları farklı drenaj tekniklerine uygulanmıştır.



Şekil 5.1 Deney sistemi düzeneği a)ön görünüş, b) yan görünüş [8]

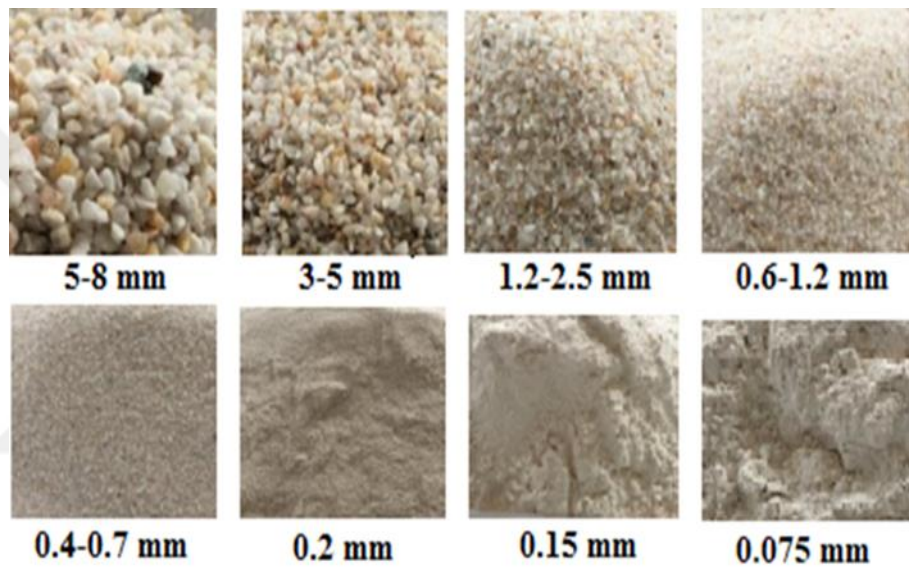
Tablo 5.1 Farklı püskürtücüler için debi-yağış ilişkisi [8]

Püskürtücü	Minumum Debi (L/dk)	Maksimum Debi (L/dk)	Yağış-Debi İlişkisi	R ²
LNN	0,29	1,81	$Y=13,931Q$	0,98
GG-W	1,98	13,48	$Y=19,554e^{0,1975Q}$	0,99

5.2 Drenaj Tekniklerinin Deney Sistemine Uygulanması

Spor sahalarında uygulanan drenaj metotlarının hidrolojik açıdan incelenmesi adına kurulmuş olan yağış simülatörüne; Boru drenajı, Askıda su tablası , Kum

olukları drenajı ve Yarık drenajı sistemleri uygulanmıştır (Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6). Drenaj ve yağmurlama sistemi deneyleri için kullanılacak malzemeler kuvars madeninden üretilen malzemelerden seçilmiştir. Temel olarak, deneylerde farklı boyutlarda 7 çeşit kuvars malzeme ile birlikte, 1 adet 0,5-0,8 mm aralığında dere kumu malzemesi kullanılmıştır. Şekil 6.2 de 5-8 mm, 3-5 mm, 1,2-2,5 mm, 0,6-1,2 mm, 0,4-0,7 mm, 0,2 mm (200µm), 0,15 mm (150µm), 0,075 mm (75µm) boyutlardaki kuvars malzemeler gösterilmektedir. Dere kumu, Türkiye'deki stadyumların drenaj tabakalarının yapımında sık tercih edildiğinden dolayı kullanılmıştır. Deneyler için hazırlanmış malzemelerin zemin özellikleri Tablo 5.2 de verilmiştir.



Şekil 5.2 Drenaj deneylerinde kullanılan farklı boyutlardaki kuvars malzemeler

Çakıl tabakalar, sistemin en alt kısmında bulunan büyük boşluk oranlarına sahip ve yüksek drenaj kapasiteli bir bölgedir, kum tabakası diğer adıyla körleme tabakası çakıl tabaka ile en üst kısımda bulunan kök tabakanın arasında bulunan tampon bir bölgedir. En üst kısımda ise kök tabaka denilen ve yaklaşık %90 kum ve %10 silt, kil, organik madde karışımından oluşan bölgedir. Bu kısım üst yüzeydeki çim tabakasının sağlıklı kalması ise gerekli su muhtevasını sağlaması konusunda oldukça önemlidir. Bu nedenle büyük miktarda suyun çok hızlı bir şekilde drene edilmesi saha yüzeyinin kalitesi açısından çok verimli değildir. En uygun sistem sahanın oynanabilirliğini devam ettirecek su tahliyesini sağlamanın yanında çim bölgesi için gerekli su muhtevasını koruyacak olmasıdır.

Tablo 5.2 Drenaj tabakalarının malzeme karakteristiği

Malzeme Karakteristiği	Kök Tabaka	Körleme Tabakası	Çakıl Taban
Ortalama çap, D_{50} (mm)	0,48	1,00	6,00
C_u	1,47	1,57	1,40
C_c	1,03	1,13	0,96
Özgöl ağırlık (g/cm^3)	2,65	2,72	2,65
Birim hacim ağırlık (g/cm^3)	1,45	1,46	1,62
Porozite %	0,42	0,40	0,39
Tarla kapasitesi %	27,95	25,78	4,20
Hidrolik iletkenlik (cm/mm)	1,74	15,60	64,20



Şekil 5.3 Boru drenajı katmanlarının deney düzeneğinde oluşturulması

BD, altta 6 cm çapında ve 15 cm ykseklisinde bir çakıl yatağı, 1 cm çapında kumdan oluşan 5 cm ykseklisinde bir kr tabakası ve üstte 25 cm kalınlısında bir kök bölgesi tabakası serilerek hazırlanmıştır. (şekil 5.3). Alan yüzeyinde göllenmeyi önlemek, sızma hızını arttırmak, hava-su dengesini sağlamak ve yüzey stabilizesini sağlamak amacıyla kök bölgesi tabakası % 90 kum ve % 10 silt, kil ve organik materyalden oluşturulmuştur [14], [13]. Kök bölgesinin özellikleri her drenaj sistemi için aynıdır.



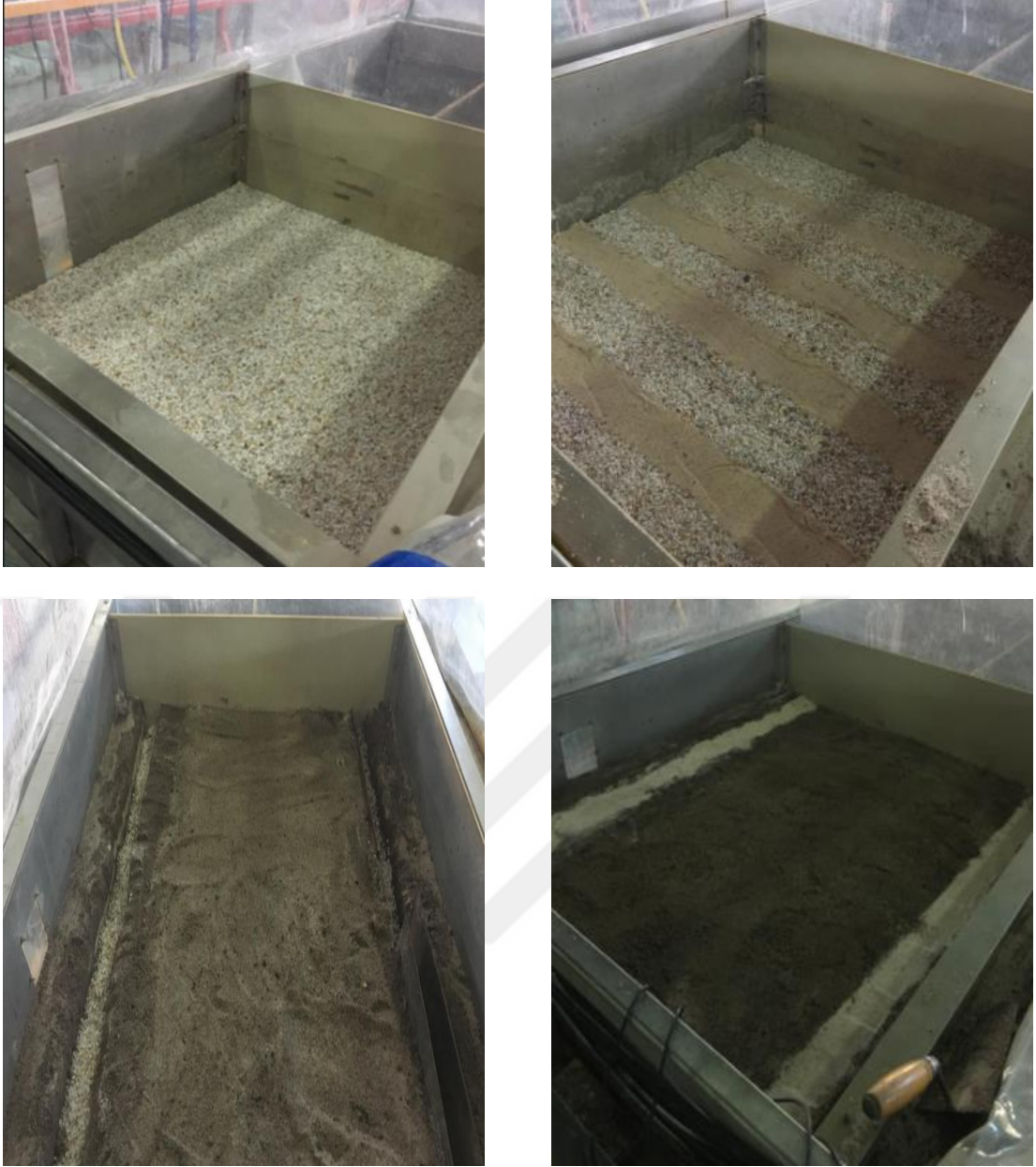
şekil 5.4 Askıda su tablası drenajı katmanlarının deney düzeneğinde oluşturulması

ASTD, sırasıyla aynı yükseklikte olmak üzere 15 cm derinliğe sahip çakıl yatağından, kum tabakasından ve alttan üste doğru kök bölgesinden meydana gelmektedir (Şekil 5.4).



Şekil 5.5 Kum olukları drenajı katmanlarının deney düzeneğinde oluşturulması

KOD sistemi altta 15 cm' lik bir çakıl tabakası, 5 cm' lik bir körleme tabakası ve 25 cm yüksekliğinde 4 adet kum oluğu oluşturulmuş ve bu oluklar drenaj borularına dikey olarak uzanan 3 cm genişliğinde ve 25 cm'lik aralıklarla yerleştirilmiştir (Şekil 5.5). Bilindiği üzere drenaj tabakasının üzerinde yer alan 5 cm' lik körleme tabakası, küçük çaplı malzemenin üst kattaki tabakadan drenaj tabakasına geçişini engellemektedir [55].



Şekil 5.6 Yarık drenajı katmanlarının deney düzeneğinde oluşturulması

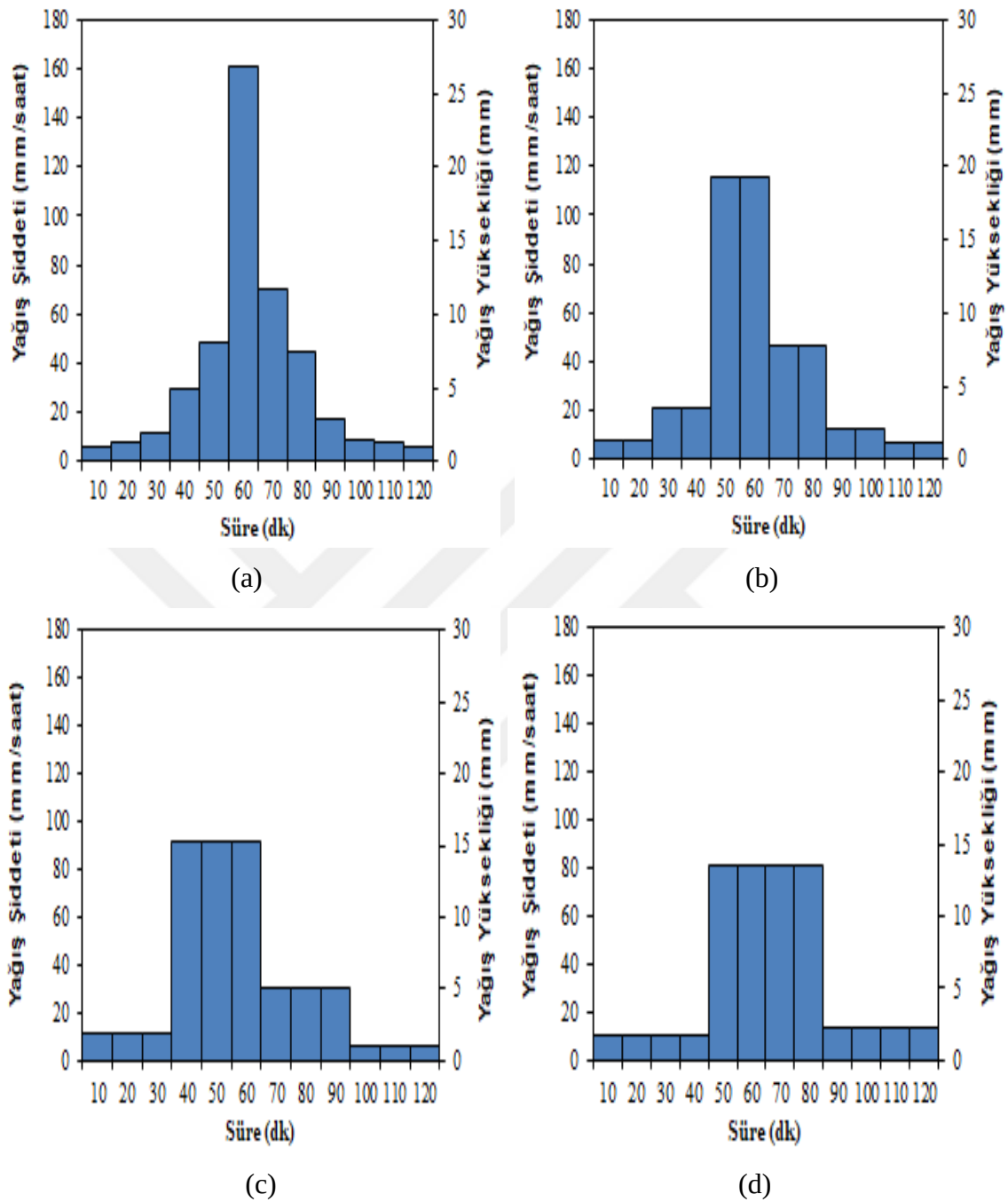
YD sistemi benzer şekilde en altta 15 cm' lik bir çakıl tabakası, 5 cm' lik bir körleme tabakası ve 5 cm genişliğinde 25 cm yüksekliğinde bir yarık sistemi ile yerleştirilmiştir (Şekil 5.6). Deney sistemi üzerinde açılan 5 cm genişliğindeki yarıkların ilk 15 cm'si çakıl, son 10 cm'si kum ile doldurulmuştur. Yarıklar, KOD ve YD da verimliliği artırmak için açılmış, alt tabakadaki yüksek geçirgenliğe sahip çakıllara bağlanacak şekilde yerleştirilmiştir [11]. Böylece saha yüzeyinden saha tabanındaki drenaj borusuna kadar suyun hızla geçişini sağlayacak bir iletim hattı oluşturulmuştur.

Deney sistemine sırasıyla Boru drenajı, Askıda Su tablası, Kum olukları ve Yarık drenaj sistemleri oluşturulmuştur. Bu çalışmanın amacı, spor alanlarında kullanılan farklı drenaj tekniklerinin, çeşitli yağış hiyetograflarına maruz bırakılarak sızma hızları, drenaj kapasitesi, maksimum drenaj debisi, drenaj başlama süresi vb. birçok açıdan hidrolik olarak değerlendirilmesidir. Sistemin ana bileşenlerinden biri, BD, ASTD, KOD ve YD gibi drenaj teknikleri olmak üzere dört farklı iç drenaj sisteminin kurulu olduğu 1,3 m genişliğinde, 1,5 m uzunluğunda ve 70 cm derinliğinde drenaj tankıdır.

5.3 DeneySEL Metodoloji ve Tasarım Hiyetografları

Drenaj sistemlerinin hidrolojik tasarımında, zamana bağlı akış hızları genellikle mevcut değildir. Bu nedenle, akış hızlarının veya yağış yoğunluklarının yalnızca pik değerleri dikkate alınır [8]. Bu çalışmada, İstanbul'daki spor sahalarına yakın bir meteoroloji istasyonunun kayıtları kullanılarak tasarım hiyetografları belirlenmiştir. Şiddet-Süre-Frekans (SSF) eğrilerinden tasarım hiyetograflarını elde etmenin iki yolu vardır: Alternatif blok (AB) yöntemi ve Anlık Yoğunluk (II) yöntemi [59]. Bu çalışmada, hiyetograflar, uygulanması daha basit ve kolay olduğu için AB yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. 10 (Y10), 20 (Y20), 30 (Y30) ve 40 (Y40) dakikalık zaman aralığı ile 100 yıllık dönüş periyodu ile dört farklı tasarım hiyetografı elde edilmiştir (Şekil 5.7). Her deney için yağış süresi 120 dakika olarak seçilmiş ve 5 dakikalık ölçüm aralığı dikkate alınarak drenaj çıkışları $0,1 \text{ Ldk}^{-1}$ 'in altına ulaşana kadar devam edilmiştir. Ayrıca 100 dakikalık sabit şiddetli yağışlar ($40-55-70-90-110-130 \text{ mms}^{-1}$) üretilerek sonsuz süreli S hidrografları elde edilerek sızma hızlarına dönüştürülerek yorumlanmıştır (Şekil 5.10). Deneylerde her bir tasarım hiyetografı, 4 farklı drenaj tekniğine uygulanmıştır. Yağışın başlamasıyla beraber drenaj borularından su çıkışının gözlemlendiği süre, maksimum drenaj miktarı, drenaj süresi, gecikme süresi gibi parametreler ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Her 5 dakika da bir drenaj borularından oluklara akan ve oradan da toplama haznelere iletilen su ölçülerek çıkış debisi Ldk^{-1} cinsinden bulunarak zamana karşı grafiği (hidrograf) çizilmiştir.. Sonuç olarak, 4 farklı yağış hiyetografı ve 6 farklı sabit yağış şiddeti altında, her bir drenaj tekniği için drenaj çıkış hidrografları elde edilmiştir. Böylelikle farklı spor sahalarının drenaj tekniklerinin hidrolojik açıdan değerlendirmesi adına Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda toplam 40 deney gerçekleştirilmiştir. Bu

sayede yüzeyde su birikintilerinin oluşmadığı ve maksimum sızma hızlarının karşılaştırıldığı kapsamlı bir deneysel çalışma hazırlanmıştır.



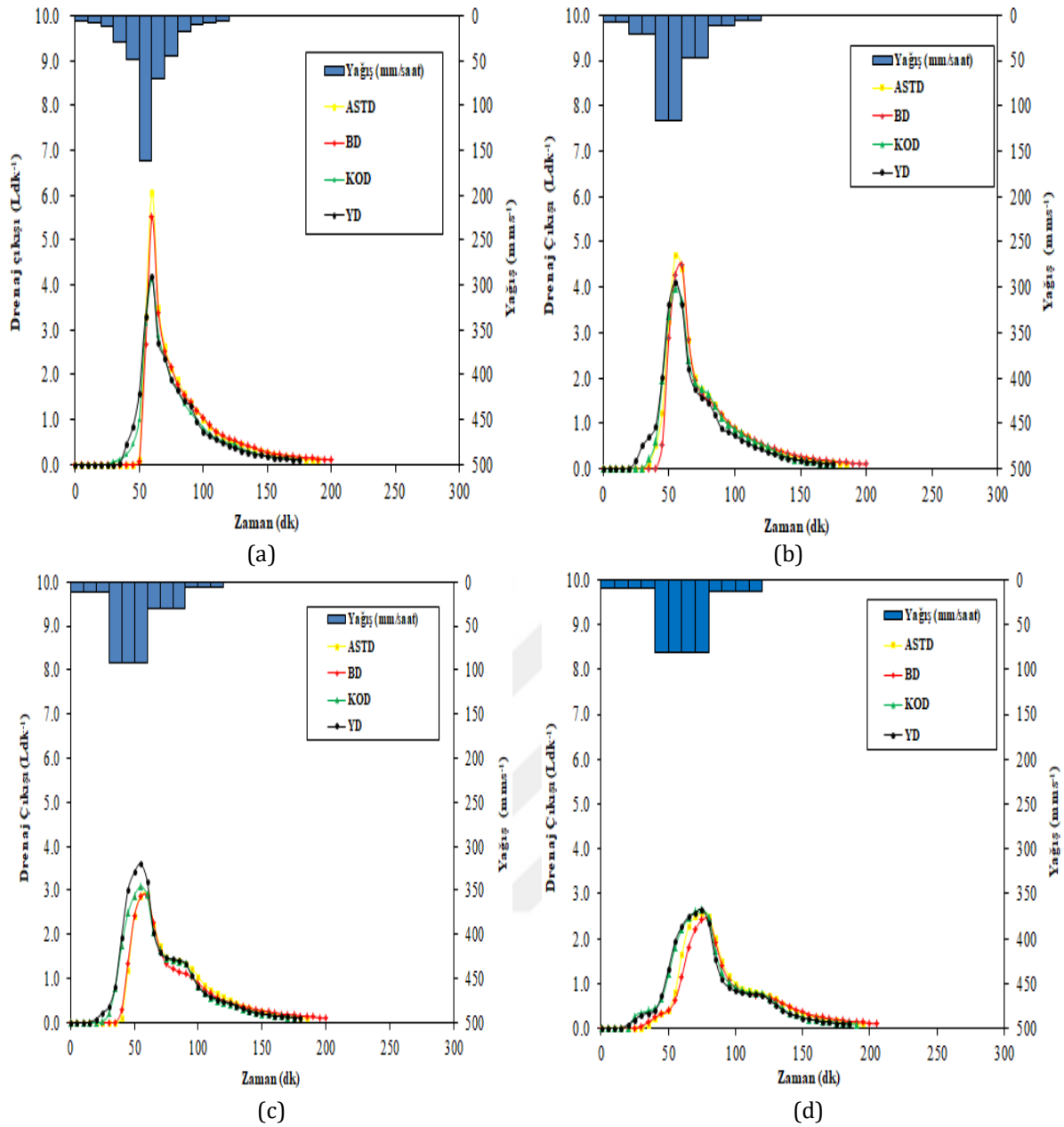
Şekil 5.7 Deneylerde kullanılan farklı zaman aralıklarına sahip farklı tasarım hiyetografları. (a)R10, (b) R20, (c)R30, (d)R40

Hiyetograflara uygun yağış şiddetlerinin elde edilmesi için Tablo 5.1 de verilen Yağış-Debi ilişkisi dikkate alınarak, istenilen süre boyunca deney cihazının ön kısımda bulunan panel sistemine gerekli debi değerleri girilerek uygun yağışlar üretilmiştir.

5.4 Deney Sonuçlarının Analizi

Deneyssel çalışma kapsamında 4 farklı drenaj kesitinde her biri için 10 deney olmak üzere toplam 40 deney yapılmıştır. Her bir drenaj tekniği 10 (Y10), 20 (Y20), 30 (Y30) ve 40 (Y40) dakika aralıklarla 4 farklı tasarım hiyetografına ve 40, 55, 70, 90, 110 ve 130 mms^{-1} lik 6 farklı sabit şiddetli yağışa tabi tutulmuştur. 120 dakikalık hiyetograflara sahip yağışlar, hidrografın drenaj çıkışı sonunda 0,1 Ldk^{-1} in altına ulaşana kadar gerçekleştirilmiştir. Deneyssel sonuçların daha iyi değerlendirilebilmesi adına sonuçlar iki grup halinde sınıflandırılmıştır. Şekil 5.8 drenaj çıkış hidrograflarını, farklı drenaj tekniğine aynı yağış durumunda etkilerini gözlemlememiz adına hazırlanırken, Şekil 5.9 ise aynı drenaj tekniğe uygulanan farklı yağışların etkilerini gözlemleyebilmek adına hazırlanmıştır. Şekil 5.8 için aynı yağışlarda drenaj tekniklerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymasını, Şekil 5.9 ise bölgedeki yağış düzenlerinin spor sahalarında drenajı ne ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Deneyssel sonuçlara göre, Y10'da maksimum drenaj çıkışları arasında önemli farklılıklar varken; Y40 için sonuçlar birbirine yaklaşmış ve neredeyse aynı değeri almıştır (Şekil 5.8). Böylelikle drenaj çıkış hidrograflarında yağış düzeninin büyük etkisi olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Y10 beklendiği gibi daha kısa zaman aralığı nedeniyle daha keskin bir hidrografa neden olmuştur. Yağış modeli Y10'dan Y40'a tekdüze hale geldikçe, drenaj çıkış hidrografının şekli daha yuvarlak hale gelmiştir. (Kesgin vd., 2020) Benzer şekilde spor sahalarının drenaj sistemi tasarımlarında yağış düzeninin drenaj kesitine göre daha etkili bir parametre olduğu belirtmiştir [8]. ASTD ve BD, nispeten daha kısa zaman aralıklarına sahip olan Y10 ve Y20 için diğer iki drenaj yöntemine kıyasla daha yüksek drenaj çıkışlarına sahiptir. Bununla birlikte, Y30 ve Y40 sırasında, KOD ve YD için daha yüksek drenaj çıkış değerleri gözlemlenmiştir. Şekil 5.8 için dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli nokta, YD ve KOD' nın, Y30 yağışı hariç, maksimum drenaj çıkışı, hidrografa yükselme ve alçalma eğrileri dikkate alındığında önemli benzerlikler göstermesidir. Y30 için, YD maksimum drenaj çıkışları KOD' den daha yüksek değere sahiptir. Şekil 5.8 de elde edilen deneyin sonuçlarına göre, bu iki drenaj tekniği (KOD, YD) için drenaj başlama zamanı, yağış sırasına bakılmaksızın, fark edilir ölçüde daha erken gerçekleşmiştir. Dixon vd., (2015) ve Simpson (2016) Bu iki tekniğin ortak noktası olarak, saha yüzeyi ile drenaj yatağı arasında suyun hızlı geçişini sağlayacak yüksek

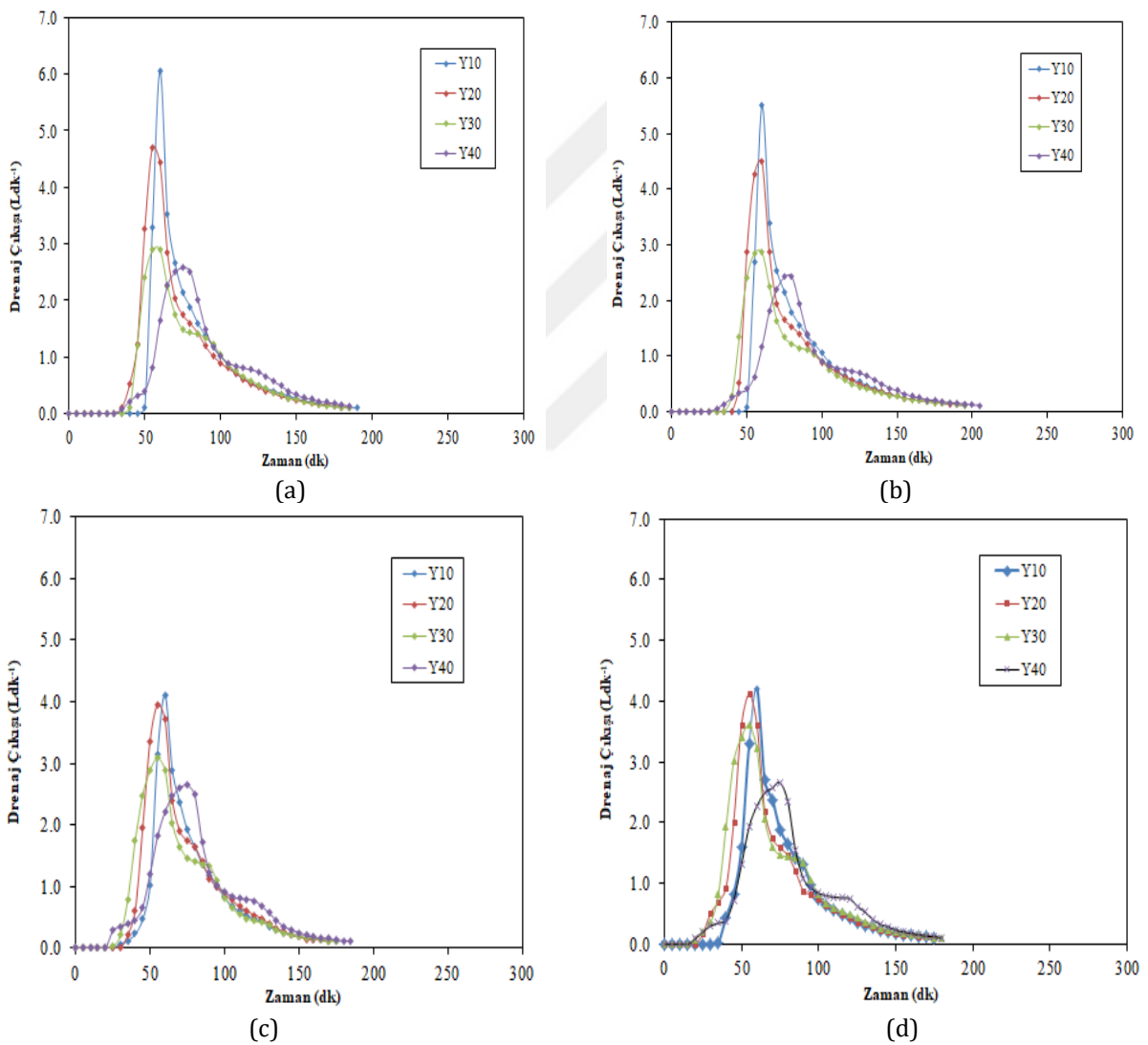
geçirgenliğe sahip bir yol oluşturma'nın amaçlandığını belirtmiştir [2], [60]. Bu nedenle yağış, drenaj yatağına ne kadar çabuk iletilirse, drenaj başlangıç zamanı o kadar erken gerçekleşecektir ve bu Şekil 5.8 de deneysel sonuçlarda gözlemlenmiştir. Ancak KOD ve YD diğer iki drenaj tekniği olan ASTD ve BD dan farklı davranışlara sahiptir. Bu farklılığa örnek olarak yağış düzeninden bağımsız olarak, drenaj çıkışları birbirine yakındır ve yağışın drenaj üzerindeki etkisi diğer sistemlere nazaran çok daha azdır. Farklı yağış hiyetografları için elde edilen drenaj çıkışları da KOD ve YD için birbirine yakındır. YD için Y10 ve Y20 yağış koşulları göz önüne alındığında, drenaj çıkışlarının sırasıyla 4,20 Ldk⁻¹ ve 4,12 Ldk⁻¹ olduğu ve neredeyse hiç fark olmadığı açıkça görülmektedir. Tüm yağış durumları ve drenaj teknikleri göz önünde bulundurulduğu zaman en yüksek değere ulaşan drenaj çıkışının Askıda Su Tablası sisteminde Y10 yağışında olduğu gözlemlenmiştir. (Sport England, 2011) Askıda Su Tablası Sisteminin kullanıldığı sahalarda kapsamlı bir sulama sisteminin kurulması gerektiğini ifade etmişlerdir [7]. Bunun nedeni fazla miktardaki su kaybının kök tabakasında su muhtevasının düşmesine ve çim gelişimini olumsuz etkileyeceğini ifade etmişlerdir. Büyük miktarda su akışı sağlayan bu sistem için ek ve kapsamlı bir sulama sistemi, zeminde gerekli su içeriğinin korunmasını sağlayacaktır. Deney sonuçları bu fikri desteklemektedir. Buradaki dikkat edilmesi gereken önemli bir husus en iyi drenaj tekniği en büyük miktarda su çıkışı sağlayan sistem değil hem saha yüzeyinde göllenme olmasına izin vermeyecek drenaj kapasitesine hem de kök bölgesinde çim gelişimi için gerekli su muhtevasını koruyacak olan sistemdir. Bizler çalışma kapsamında en başarılı sistemin, sahada oyunun oynanabilirliğine zarar vermeyecek, her türlü koşulda yüzey birikintilerinin oluşmamasını sağlayacak ve kök bölgesi için gerekli su muhtevasını sağlayacak olan teknik olarak ifade etmekteyiz. Ayrıca, drenaj borusunun tasarım çapı doğrudan maksimum drenaj çıkışı ile ilgilidir. Bu nedenle büyük miktarda su tahliyesi ekonomik olarak ta başarısızdır.



Şekil 5.8 Drenaj metotlarına bağlı drenaj çıkış hidrografı. Y10(a), Y20(b), Y30(c), Y40(d)

Deney sonuçlarına göre, drenaj çıkışı istenen $0,1 \text{ Ldk}^{-1}$ 'e ulaştığında, tüm yağışlar için benzer durgunluk eğrileri gözlemlenmiştir (Şekil 5.8). Durgunluk eğrileri için en uzun süre BD nda olduğu açıkça görülmektedir (Tablo 5.5). Kısaca, Şekil 5.8 ve Tablo 5.5 görülebileceği gibi BD, yağış düzenine bakılmaksızın en uzun drenaj çıkış süresine sahiptir. Adams (1986) Spor sahalarının büyük ölçekli geçirgen dolgu malzemesinden yapılması nedeniyle drenaj sorunlarının oluşmadığını belirtmiştir [11]. Ancak saha yüzeyinin aşınması ve bozulması sonucu sızma hızının düşmesi, yüzeyin yumuşaması ve mukavemet kaybı gibi sorunlar ortaya çıkarabilir. Drenaj sorununun ana nedeni bu yüzey aşınmalarıdır. Dolayısıyla kum yüzdesi yüksek (%)

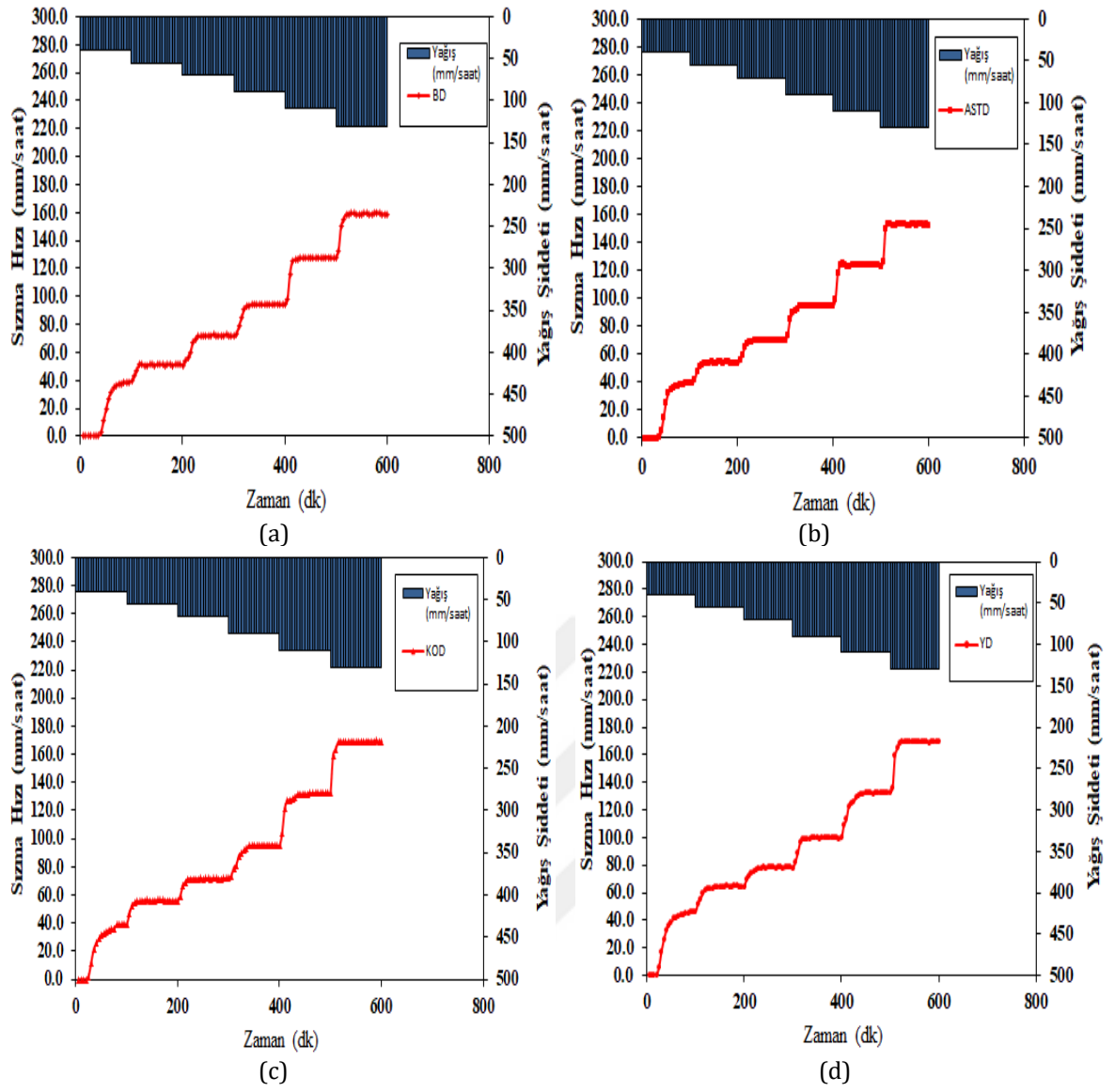
90) bir kök bölgesinden oluşan BD' nin de başarılı bir sistem olduğu ve deneylerin de bu sonucu desteklediği söylenebilir. Deneylerden elde edilen diğer bir önemli nokta, sabit yağış şiddetlerinin farklı drenaj tekniklerine uygulanmasından elde edilen S hidrografıdır (Şekil 5.10). Şekilden de açıkça görüldüğü üzere ilk tahliye YD drenaj sisteminde meydana gelmiştir ve çok kısa bir süre sonra KOD da gözlemlenmiştir. Diğer sistemlerde drenajın başlaması neredeyse 15 dakika kadar gecikmektedir. Ek olarak, drenaj tekniklerine maruz kalan yağışlardan sonra ilk drenaj çıkışının boşalmaya başladığı zamanı ifade eden konsantrasyon süresi, YD ve KOD için daha küçük değerler almıştır (Tablo 5.5).



Şekil 5.9 Yağış hyetografinin drenaj kesiti üzerindeki etkisi. ASTD(a), BD(b), KOD(c), YD(d)

Ayrıca bu çalışma, sürekli yağış altında (40, 55, 70, 90, 100 ve 130 mms⁻¹) drenaj yöntemlerinin davranışını incelemeyi amaçlamıştır. Böylelikle, sabit şiddetlerde

sürekli yağışlardan oluşan S hidrografi Şekil 5.10 da çizilmiştir. Beklendiği gibi bir süre sonra sabit yağışın devam etmesi ile her yağış ve drenaj yöntemi için drenaj çıkışı sabit bir değere ulaşmıştır. Ayrıca, her bir drenaj yöntemi için sabit drenaj çıkışları/sızma hızları ile sabit yağış şiddetleri arasındaki ilişkinin incelenmesi, spor sahası drenaj tasarımının hidrolojik değerlendirmesine önemli katkı sağlamıştır. Şekil 5.10 da görüldüğü gibi, 4 drenaj yönteminde drenaj çıkışları sürekli bir değere ulaşınca kadar sabit şiddette yağışlara maruz bırakılmıştır. İlk göze çarpan sonuç, KOD ve YD için drenaj başlama süresinin önemli ölçüde daha erken olmasıdır. Ek olarak, YD, tüm sabit yağışlarda en yüksek maksimum drenaj çıkışına sahip drenaj tekniği olarak belirlenmiştir. Özellikle, 90 mms^{-1} 'e kadar sabit yağış için, BD, ASTD ve KOD için önemli benzerlikler gözlenmiştir. 90 mms^{-1} yağış durumunda drenaj yöntemlerinin birbirinden farklı davranmaya başladığı ifade edilebilir. 90 mms^{-1} 'i aşan sabit şiddetli ve sürekli yağışlardan türetilen S hidrograflarına göre, maksimum drenaj çıkışlarının ortalaması da YD, KOD, BD ve ASTD için ayrı ayrı ölçülmüştür.

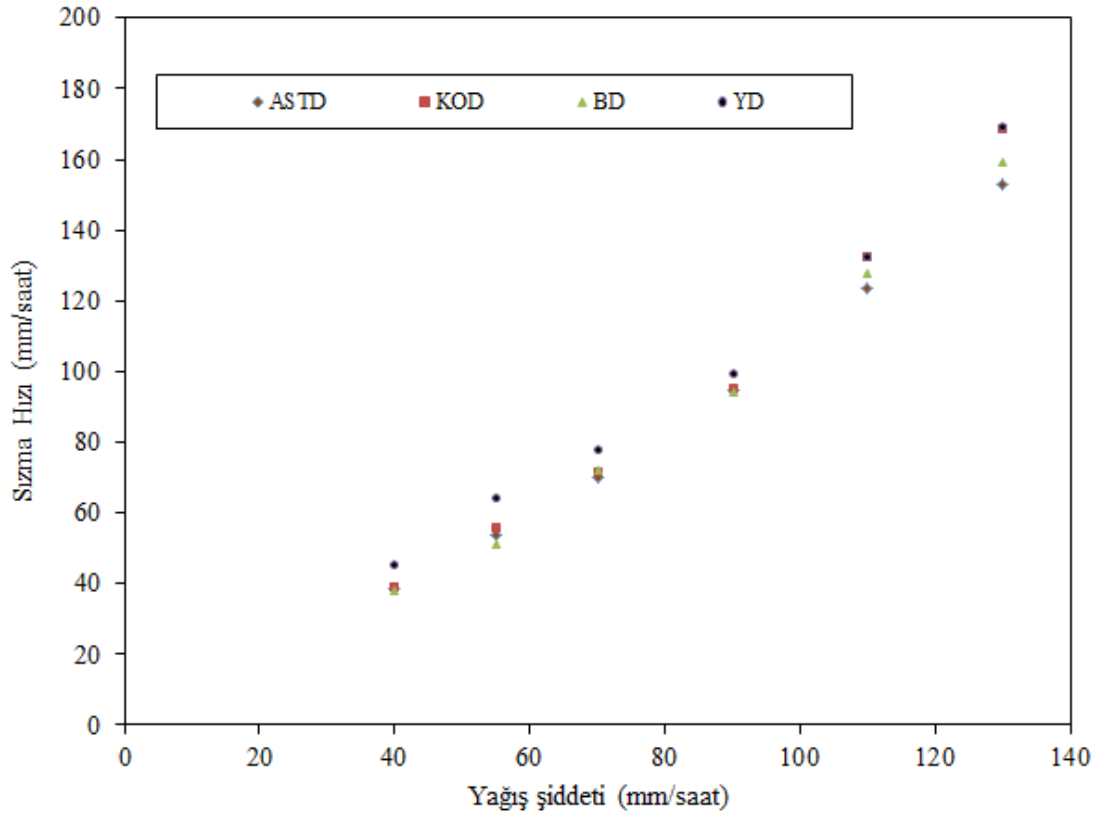


Şekil 5.10 Sabit yağış koşulları altında elde edilen S hidrografları. a) BD, b) ASTD, c) KOD, d) YD

Şekil 5.10 da verilen farklı drenaj tekniklerinin S hidrografları Tablo 5.3 te özetlenmiştir. Her bir drenaj tekniğinin drenaj çıkışı, sabit değere ulaşınca kadar süren yağışlar sonucunda ölçülerek maksimum ortalama drenaj çıkış değerleri ölçülmüştür. Sızma hızları, sabit yağış şiddetleri deneyleri altında elde edilen drenaj çıkışlarının, deney sisteminin $1,5 \times 1,3$ m yüzey alanına bölünmesiyle elde edilmiştir. Böylece yağış şiddetinin etkisinin drenaj teknikleri üzerindeki etkisi daha net anlaşılmıştır.

Tablo 5.3 Drenaj tekniklerinin sabit şiddetli yağışlar altında sızma hızı değerleri

Sabit yağış şiddeti (mm/saat)	Drenaj tekniği	Maksimum sızma hızı ortalaması (mm/saat)
40	BD	38,29
	ASTD	38,78
	KOD	39,06
	YD	45,52
55	BD	51,20
	ASTD	54
	KOD	56,09
	YD	64,47
70	BD	71,99
	ASTD	69,97
	KOD	71,65
	YD	78,04
90	BD	94,31
	ASTD	94,46
	KOD	95,29
	YD	99,62
110	BD	127,60
	ASTD	123,77
	KOD	132,39
	YD	132,27
130	BD	159,10
	ASTD	152,70
	KOD	168,90
	YD	169,24



Şekil 5.11 Yağış şiddeti-sızma hızı karşılaştırılması

Tablo 5.4 Yağış şiddeti-sızma hızı ilişkisinin istatistiksel sonuçları

Drenaj Tekniği	Yağış şiddeti-Sızma Hızı	Belirleme katsayısı(R ²)
YD	$y = 1,2062x$	0,97
KOD	$y = 1,1713x$	0,94
ASTD	$y = 1,0997x$	0,97
BD	$y = 1,1253x$	0,95

Bununla birlikte, Şekil 5.11 de gösterildiği gibi, sabit ve 100 dakika süreli yağışlar, aynı koşullarda farklı drenaj tekniklerine uygulandığında, ortalama sızma hızlarının yüksek olması nedeniyle hidrolojik açıdan önemli bir fark olmadığı açıkça ifade edilebilir. Bu sonuç, YD' nin, düşük geçirgenliğe sahip topraklar nedeniyle saha koşullarının sorunlu olduğu alanlarda kullanım için uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca kolektör boru sistemi tasarımında drenaj boru çapı üzerinde önemli etkiye sahip olan drenaj çıkışları BD, ASTD ve KOD ile karşılaştırıldığında daha yüksek çıkmıştır. Diğer bir deyişle YD için BD, ASTD ve KOD ile aynı koşullar için maksimum ortalama drenaj çıkışlarına sahiptir. Bu nedenle, bu sonucun ekonomik etkisi, alan yüzeyindeki mevcut yerel zeminin

kaldırılmasının ve onu kum ağırlıklı bir içerikle değiştirmenin ekonomik değeri karşılaştırılarak incelenmelidir. Sızma hızları, sabit yağış şiddeti deneyleri altında, elde edilen drenaj çıkışlarının deney sisteminin 1,5m x 1,3m yüzey alanına bölünmesi ile elde edilmiştir. En şiddetli yağış olan 130 mms⁻¹ yağış için sızma hızı YD için 169,2 mms⁻¹ gözlenirken, KOD, BD ve ASTD için sırasıyla 168,9, 159,1 ve 152,7 mms⁻¹ olarak ölçülmüştür (Tablo 5.3). Düşük şiddetli yağış sırasında sızma hızlarının neredeyse benzer değerler aldığı ifade edilebilir. Ancak yağışların şiddetleri artmasıyla sızma hızlarında farklılıklar görülmeye başlanmıştır. Tablo 5.4 , tüm drenaj teknikleri için yağış şiddetleri ile sızma hızı arasındaki ilişkiyi özetlemiştir. Belirleme katsayısı (R^2) 0,94-0,97 arasında doğrusal ilişkilerle değiştiği gösterilmiştir.

Tablo 5.5 Farklı drenaj teknikleri ve yağışlar için hidrograf parametreleri

Yağış	Drenaj Tekniği	Konsantrasyon Süresi (dk)	Gecikme Süresi (dk)	Toplam Süre (dk)	Baz akışına kadar süre (dk)
Y10	BD	50	5	150	140
	ASTD	50	5	140	130
	YD	35	5	140	115
	KOD	30	5	145	115
Y20	BD	45	10	155	140
	ASTD	35	5	150	130
	YD	25	5	150	120
	KOD	35	5	140	120
Y30	BD	40	15	160	140
	ASTD	40	15	145	125
	YD	20	10	160	125
	KOD	25	10	150	120
Y40	BD	30	15	175	125
	ASTD	35	15	160	120
	YD	20	15	165	110
	KOD	25	15	165	115

Spor sahalarında drenaj uygulamasında yaygın olarak kullanılan Boru Drenajı (BD), Askıda Su Tablası Drenajı (ASTD), Kum Oluğu Drenajı (KOD) ve Yarık Drenajı (YD) teknikleri, spor sahalarında drenaj mekanizmasının hidrolojik açıdan değerlendirilmesi için deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar çeşitli zaman aralıklarında 4 farklı tasarım hiyetografından elde edilen drenaj çıkış hidrografına ve 6 farklı sabit şiddetli, sonsuz süreli yağıştan elde edilen S hidrografına göre sınıflandırılmıştır. Kısaca özetlemek gerekirse, spor sahalarının drenajı ile ilgili yeni bakış açılarına son derece açık gelecek çalışmalar için özellikle aşağıdaki kavrayışlı bulgular belirlenmiştir.

- Tasarım hiyetografının şekli, drenaj hidrografının şekli üzerinde çok etkili bir parametredir.
- Beklendiği gibi Y10 için daha yüksek drenaj çıkışları elde edilmiştir. Bu nedenle, yağışların daha uzun zaman aralıklarında drenaj çıkışının azaldığı ve hidrografın şeklinin daha yuvarlak hale geldiği görülmüştür.
- Tüm yağış koşullarında, YD ve KOD da ki konsantrasyon zamanı (yağışlardan sonra ilk drenaj çıkışının boşalmaya başladığı zaman) önemli ölçüde daha erkendir. Bu nedenle ani ve yoğun yağışlarda spor sahası yüzeyinde göllenmeyi önlemede bunların daha avantajlı sistemler olduğu düşünülebilir.
- Tüm farklı drenaj teknikleri için uygun miktarda malzeme ve granülometri ile saha yüzeyinin altındaki ilk katman olan kök bölgesi, kum ağırlıklı içerik (% 90) olarak seçildiğinde yüzeyde göllenme durumu oluşmadığı söylenebilir.
- Sürekli sabit şiddetli yağışların bir sonucu olarak elde edilen S hidrograflarını karşılaştırırken (40, 55, 70, 90, 110 ve 130 mms⁻¹) yağış, 90 mms⁻¹ veya daha az olması durumunda maksimum çıkışların ortalaması ile sızma hızlarının arasında anlamlı bir fark gözlenmedi.

- Düşük yağış koşullarında ($<90 \text{ mmh}^{-1}$) kum ağırlıklı kök bölgesi ve uygun drenaj tesisatı dikkate alındığında, spor sahalarının drenajının hidrolojik açıdan belirgin farklılıklar göstermediği açıkça görülmüştür.
- Yerel zemin koşullarının yüksek kil içerikli ve sızma hızlarının düşük olduğu alanlarda, zeminin kaldırılıp yerine kum ağırlıklı malzemenin serilmesinin ekonomik kısıtlamaları nedeniyle, YD ve KOD gibi saha yüzeyinden drenaj katmanına kadar açılan küçük kanalların suyun tahliye edilme süresini ve miktarını önemli derecede arttırdığı ifade edilebilir.
- Uygulamada en başarısız drenaj sistemi olarak bilinen ve özellikle elit futbol sahalarında kullanılmayan PD drenaj sistemi de yüksek kum içerikli bir kök bölgesine sahip olması durumunda oldukça kullanışlı bir sistem olduğu ifade edilebilir.
- Drenaj bitiş süresi olarak ele aldığımız $0,1 \text{ Ldk}^{-1}$ süresine tüm deneylerde BD en uzun sürede ulaşmıştır. Bu durumda uzun süreli ve şiddetli yağış koşullarında drenaj süresinin uzun olması bir olumsuzluk olarak ele alınabilirken, kısa süreli yağışlarda bu durum çim için gerekli nemin sağlanması ve suyun nispeten daha uzun süre toprakta tutulması bir avantaj olabilir.

- [1] Zygband, P. Collignon, H. Sultan, N. Santander, C ve Valensi, U. (2011), «The Sports Market : Major Trends and Challenges in an Industry Full of Passion,» 2011.
- [2] Dixon, S. Fleming, P. James, I. ve Carre, M. (2015), The science and engineering of sport surfaces, London and New York: Routledge, 2015.
- [3] SAPCA (2010), The SAPCA Code of Practice for the Design, Construction and Improvement of Natural Sports Turf, UK: SAPCA, June, 2010.
- [4] James, I. T. Blackburn, D. W. K. and Godwin, R. J. (2007), «Mole drainage as an alternative to sand slitting in natural turf sports surfaces on clays,» *Soil Use and Management*, cilt 23, no. 1, pp. 28-35, 2007.
- [5] James, I. T. Hann, M. J. ve Godwin, R. J. (2007), «Design and operational considerations for the use of mole ploughing in the drainage of sports pitches,» *Biosystems engineering*, cilt 97, no. 1, pp. 99-107, 2007.
- [6] Fleming, P., Frost, M. ve Simpson M.R. (2016), «Drainage behaviour of sport pitches - findings from a research study,» Loughborough University, 2016.
- [7] Sport England (2011), «Natural Turf for Sport: Design Guidance Note,» England, 2011.
- [8] Kesgin, E. Agaccioglu, H. ve Dogan, A. (2020), «Experimental and numerical investigation of drainage mechanisms at sports fields under simulated rainfall,» *Journal of Hydrology*, cilt 580, no. 124251, 2020.
- [9] CHOU, C., LAN, C.W. (2012), «Changes in the annual range of precipitation under global warming,» *Journal of Climate*, cilt 25, no. 1, pp. 222-235, 2012.
- [10] Liu, S. C. Fu, C. Shiu, C. J. Chen, J. P. ve Wu, F. (2009), «Temperature dependence of global precipitation extremes,» *Geophysical Research Letters*, cilt 36, no. 17, 2009.
- [11] Adams, W. A (1986), «Practical aspects of sportsfield drainage,» *Soil Use and Management*, cilt 2, no. 2, pp. 51-54, 1986.
- [12] Taylor, D. H. Nelson, S. D. ve Williams, C. F. (1993), «Sub-Root Zone Layering Effects on Water Retention in Sports Turf Soil Profiles,» *Agronomy Journal*, cilt 85, no. 3, pp. 626-630, 1993.
- [13] Taylor, D. H. ve Blake, G. R. (1979), «Sand content of sand-soil-peat mixtures for turfgrass,» *Soil Science Society of America Journal*, cilt 43, no. 2, pp. 394-398, 1979.
- [14] Baker, S. W. (1989), «Soil physical conditions of the root zone layer and the performance of winter games' pitches,» *Soil use and management*, cilt 5, no. 3, pp. 116-122, 1989.
- [15] Ritzema, H. (2014), «Main drainage systems,» MSc programme land and water development for food security, UNESCO-IHE, 2014.

- [16] Ritzema, H. P. Kselik, R. A. L. ve Chanduvi, F. (1996), Drainage of irrigated lands: a manual., Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1996.
- [17] Amacher, J. K. Koenig, R ve Kitchen, B. (2000), «Salinity and Plant Tolerance,» Utah State University, 2000.
- [18] Aslan H., Güler M., Cemek B. ve Demir Y. (2007), «Bafra Ovası Yeraltı Suyu Kalitesinin Sulama Açısından,» *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, cilt 4, no. 2, pp. 219-226, 2007.
- [19] Kalantari, Z. ve Folkesson, L. (2013), «Road drainage in Sweden: current practice and suggestions for adaptation to climate change,» *Journal of Infrastructure Systems*, cilt 19, no. 2, pp. 147-156, 2013.
- [20] Nyuyo, L. M. (1993), «Maintenance of drainage systems in nairobi's Bahati estate,» BA Land Ecomics, University of Nairobi, 1993.
- [21] Schultz, B. Zimmer, D. ve Vlotman, W.F. (2007), «Drainage under increasing and changing requirements.,» *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, pp. 3-22, 2007.
- [22] Fausey, N. (2004), «Drainage, Surface and Subsurface.,» *Encyclopedia of Soils in the Environment*, pp. 409-413., 2004.
- [23] Pavelis, G. A. (Ed.). (1987), «Farm drainage in the United States: History, status, and prospects (No. 1455),» US Department of Agriculture, Economic Research Service., 1987.
- [24] Leblond, B. ve Guérin, L. (1983), «Soil conservation; project design and implementation using labour intensive techniques.,» International Labour Organisation | United Nations Development Programme., Geneva (Switzerland), 1983.
- [25] Agriculture Victoria (2021), «<https://agriculture.vic.gov.au/>,» 14 Ocak 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://agriculture.vic.gov.au/livestock-and-animals/dairy/managing-wet-soils/surface-drainage-systems>.
- [26] Natural Resources Conservation Service (2007), «New Jersey Water Management Guide,» United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 2007.
- [27] Stone, R. ve McKague, K. (2009), «Grassed waterways: Ontario Ministry of Agriculture,» *Food and Rural Affairs Factsheet*, pp. 9-21, 2009.
- [28] SCS (1964), «National engineering handbook. Section 16. Drainage of Agricultural Land,» Washington DC, United States Department of Agriculture, 1964.
- [29] Sevenhuijsen, R. J. (1994), «Surface drainage systems,» *Drainage principles and applications*, pp. 799--826, 1994.
- [30] Nijland, H. Croon, F. W. ve Ritzema, H. P. (2005), Subsurface drainage practices: guidelines for the implementation, operation and maintenance of subsurface pipe drainage systems, ILRI, 2005.
- [31] Van der Molen, W. H., Beltrán, J. M., ve Ochs, W. J. (2007), Guidelines and

- computer programs for the planning and design of land drainage systems, Food & Agriculture Org., 2007.
- [32] Boehmer, W.K. ve Boonstra, J. (1994), «Tubewell drainage systems,» *Drainage principles and applications*, pp. 931--964, 1994.
- [33] Cavelaars, J. C., Vlotman, W. F. ve Spoor, G. (1994), «Subsurface drainage systems,» *Drainage principles and applications*, pp. 827--929, 1994.
- [34] Butler, D., Digman, C. J., Makropoulos, C. ve Davies, J. W. (2018), *Urban drainage*, Crc Press, 2018.
- [35] ASCE (2013), *Standard guidelines for the design, installation, and operation and maintenance of urban subsurface drainage*, American Society of Civil Engineers, 2013.
- [36] Marsalek, J. Barnwell, T.O. Geige, W., Grottker, M. Huber, W.C. Saul, A.J. Schilling, W. ve Torno, H.C. (1993), «Urban drainage systems: design and operation,» *Water Science and Technology*, cilt 27, no. 12, pp. 31--70, 1993.
- [37] Metcalf, L. Eddy, H.P. ve Tchobanoglous, G. (1991), *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*, New York: McGraw-Hill, 1991.
- [38] Goddard, M. ve Marre, B.(2016), «Drainage & Wastewater,» Seattle Public Utilities, 2016.
- [39] Stephenson, D.J. (1981), *Stormwater hydrology and drainage*, Elsevier, 1981.
- [40] Gezder, V. Gökdağ, M. (2014), «Kentiçi Yolların Yüzeysel Drenajı ve Erzurum Örneği,» *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, cilt 4, no. 3, pp. 41-51, 2014.
- [41] Government of the Northwest Territories (2015), *Northern Land Use Guidelines. Access: Roads and and Trails*, ISBN: 978-0-7708-0233-2, 2015.
- [42] The State of Queensland (Department of Transport and Main), «Road Drainage Manual, Transport and Main Roads,» The State of Queensland, 2019.
- [43] Zeedyk, B. (2006), «A good road lies easy on the land: Water harvesting from low-standard rural roads,» Sandia Park, NM: Zeedyk Ecological Consulting, LLC., 2006.
- [44] Reid, L. M. ve Dunne, T. (1984), «Sediment production from forest road surfaces,» *Water Resources Research*, cilt 20, no. 11, pp. 1753--1761, 1984.
- [45] Schiess, P. Whitaker, C.A. ve Zellerbach, C. (1986), «Road design and construction in sensitive watersheds,» *Forest Engineering University of Washington Seattle, WA*, pp. 98-115, 1986.
- [46] Arika, C.N. Canelon, D.J. ve Nieber, J.L. (2009), «Subsurface Drainage Manual for Pavements in Minnesota,» Minnesota Department of Transportation, 2009.
- [47] Moulton, L. K. (1980), *Highway subdrainage design*, The Administration, 1980.
- [48] Northern Territory Government Department of Land Resource Management, «Road Drainage Fact Sheet,» [Çevrimiçi]. Available: https://nt.gov.au/__data/assets/pdf_file/0004/212269/road-drainage.pdf.

- [49] Najafi, M. (2008), An asset management approach for drainage infrastructure and culverts, Midwest Regional University Transportation Center, University of Wisconsin, Madison, 2008.
- [50] Drainage Services Department Government of the Hong Kong Special Administrative Region.(2018), Stormwater Drainage Manual Planning, Design and Management, Fifth Edition., Drainage Services Department Government of the Hong Kong Special Administrative Region., 2018.
- [51] Chanson, H. (2004), Hydraulics of open channel flow., Elsevier, 2004.
- [52] Rossow, M. (2009), «Culvert Characteristics (BIRM),» *PhD, PE, Retired, Continuing Education and Development, Inc*, cilt 9, no. 3, 2009.
- [53] Ward, C.J. (1983), «Sports turf drainage: a review,» *Journal-Sports Turf Research Institute*, 1983.
- [54] Magni, S., Volterrani, M., ve Miele, S. (2003), «Soccer pitches performances as affected by construction method, sand type and turfgrass mixture.,» *I International Conference on Turfgrass Management and Science for Sports Fields* 661, 2003.
- [55] Canaway, P. M. (1994)., «Maximising the performance of sports turf,» Doctoral dissertation, University of Liverpool, Liverpool, 1994.
- [56] Alway, F. J. ve McDole, G. R. (1917), «Relation of movement of water in a soil to its hygroscopicity and initial moistness.,» 1917.
- [57] Miller, D. E. (1973), «Water retention and flow in layered soil profiles,» *Field soil water regime*, cilt 5, pp. 107-117, 1973.
- [58] Kesgin, E., Dogan, A. ve Agaccioglu, H. (2018), «Rainfall simulator for investigating sports field drainage processes,» *Measurement*, cilt 125, pp. 360-370, 2018.
- [59] Chow, V. T. Maidment, D. R. Mays, L. W. (1988), Applied Hydrology, United States: McGraw – Hill, 1988.
- [60] Simpson, M. R. (2016), «Sustainable drainage of sports pitches,» PhD Thesis. Loughborough University., Leicestershire, 2016.
- [61] Hoyer, J. ve Dickhaut, W. (2010), «Water sensitive urban design for a sustainable stormwater management in the city of the future,» *5th SWITCH Scientific Conference Sustainable Water Management in the City of the Future.*, Lodz, Poland, 2010.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Kesgin, E., Gezici, K., & Ağaçcıoğlu, H., (2020). Hydrological Evaluation of Sports Fields Drainage. International Conference on Engineering & Natural Sciences-9 (pp.182-191). Ankara, Turkey.

