



An overview of sports field drainage: Development of experimental investigation methodology

Erdal Kesgin¹ , Kadir Gezici^{2*} , Hayrullah Ağaçcıoğlu³

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Istanbul Technical University, 34469, Maslak, Istanbul, Türkiye

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

³Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yıldız Technical University, 34210, Esenler, Istanbul, Türkiye

Highlights:

- A rainfall simulator was designed for sports fields drainage
- A detailed experimental procedure was evaluated
- Determination of the effects of hyetograph on the drain outflow hydrographs

Keywords:

- Sports field
- Drainage
- Rainfall Simulator

Article Info:

Research Article

Received: 24.05.2022

Accepted: 15.12.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1120796

Acknowledgement:

This study was supported by the Turkish Scientific and Technical Research Council (TUBITAK) with Project No. 214M616.

Correspondence:

Author: Kadir Gezici

e-mail:

kadirgezici@atauni.edu.tr

phone: +90 545 223 0765

Graphical/Tabular Abstract

Within the scope of this study, the significance of the experimental studies for the design of sports fields drainage is emphasized. In addition, a standard technique was tried to be developed due to the lack of absence of certain specifications and inaccurate designs mostly based on the traditional experience regarding sports field drainage. The essential circumstances for the success of the experimental studies were presented and a sample of drainage layers was also compared. The drainage outlet hydrographs obtained by applying two different hyetographs to five different football field drainage (FFD) sections with three layers are given in Figure A. As a result of the experimental study, it was clearly understood that the pattern of the hyetograph applied to the system and the layer thicknesses of the drainage section were highly effective on the parameters of the output hydrograph.

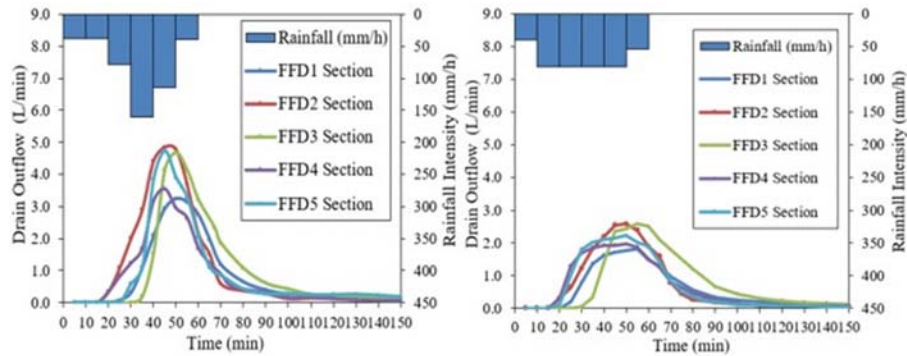


Figure A. Drain outflow hydrographs under different rainfall and drainage cross sections

Purpose: The aim of this study is to propose a method for determining the appropriate system under different rainfall conditions by conducting an experimental study for the evaluation of the drainage system of football fields.

Theory and Methods: A rainfall simulator consisting of two parts (Rainfall Simulator-Drainage Tank) is designed to mimic natural rainfall and to create different drainage sections. The design hyetographs were created with the Alternative Block (AB) method by using IDF curves. The hydrographs were also obtained for each experiment using manual flowrate measurements. As a result of the two design hyetographs created by rainfall simulator. The effects of the different rainfall characteristics and drainage layers on the sports fields drainage were evaluated.

Results: The parameters of suitability for natural rainfall such as raindrop diameter, rainfall intensity, raindrop velocities and spatial distribution of the designed rainfall simulator were determined. The results were demonstrated that the relevant parameters of natural rainfall were simulated successfully. While there are significant differences in the peak flow rates of the outlet hydrograph in different drainage sections in short-duration intense rainfall, the hydrographs showed the great similarity to each other when the rainfall pattern did not alter. Thus, it is possible to infer that the hyetograph has a significant effect on the outflow hydrograph in the drainage sections of sports fields.

Conclusion: Due to the fact that field studies produce region-specific outputs and are costly, a rainfall simulator that will appropriately mimic natural rainfall characteristics was designed, and sample experiments were carried out for different drainage sections and rainfall hydrograph. In the drainage design of sports fields, the effect of the rainfall hyetograph on the outflow hydrograph parameters (peak flow, rising limb, concentration time) is very decisive.



Spor sahaları drenajına genel bakış: Deneysel çalışma sistematığının oluşturulması

Erdal Kesgin¹, Kadir Gezici^{2*}, Hayrullah Ağaçcıoğlu³

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240, Yakutiye, Erzurum, Türkiye

³Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34210, Esenler, İstanbul, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- Spor sahalarının drenajı için bir yağmur simülatörü tasarlanmıştır
- Spor sahalarının sürdürülebilir drenaj tasarımı için deneysel bir prosedür geliştirilmiştir
- Farklı yağış ve drenaj kesitlerinin spor sahaları drenajı üzerine etkileri araştırılmıştır

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 24.05.2022

Kabul: 15.12.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1120796

Anahtar Kelimeler:

Spor sahası,
drenaj,
yağmur simülatörü

ÖZ

Sızma ve drenaj konularında toprak-su ilişkilerinin hidrolojik olarak değerlendirilmesi karmaşık bir süreçtir. Bu çalışmada, spor sahalarının drenaj açısından tasarım aşamasında gerçekleştirilmesi gereken yöntemlerin, özellikle deneysel çalışma sistematığının önemi üzerinde durulmuştur. Spor sahaları drenajının literatürde belirli bir standardının olmaması ve tasarımların çoğunlukla deneyime dayalı olarak gerçekleştirilmesi nedeniyle standart bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Deneysel çalışmaların başarısı için gerekli koşullar sunularak, hazırlanan örnek drenaj kesitleri karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, sisteme uygulanan hiyetograf deseninin ve drenaj kesiti tabaka kalınlıklarının, çıkış debisi hidrografının parametreleri üzerinde oldukça etkin olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışma, spor sahalarının drenajı hakkında literatürde yeterli sayıda çalışma olmaması ve araştırma tekniklerinin net olarak ortaya konulmaması dikkate alınarak yeni bir bakış açısı kazandırılması ve bir araştırma yöntemi önerilmesi sebebiyle önem arz etmektedir.

An overview of sports field drainage: Development of experimental investigation methodology

HIGHLIGHTS

- A rainfall simulator was designed for sports fields drainage
- An experimental procedure was developed for the sustainable drainage design of sports fields
- The effects of different rainfalls and drainage sections on sports fields drainage were investigated

Article Info

Research Article

Received: 24.05.2022

Accepted: 15.12.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1120796

Keywords:

Sports field,
drainage,
rainfall simulator

ABSTRACT

Hydrological evaluation of soil-water relationships for infiltration and drainage is a complex issue. Within the scope of this study, the significance of the experimental studies for the drainage design of sports fields is emphasized. In addition, a standard technique was tried to develop due to the lack of absence of certain specifications and inaccurate designs mostly based on the traditional experience regarding sports field drainage. The essential circumstances for the success of the experimental studies were presented and a sample drainage section was compared. As a result of the experimental studies, it was understood that the pattern of the hyetograph applied to the system and the layer thicknesses of the drainage section were highly effective on the parameters of the output flow hydrograph. Due to the lack of studies for sports field drainage that their mechanisms were not clearly revealed, the presented study is significant in term of developing a new perspective and procedure to the relevant field.

1. Giriş (Introduction)

Spor organizasyonları ve özellikle futbol, küresel ölçekte milyonlarca insanın ilgisini çekmekte ve bu tür organizasyonlara katılım oldukça yüksek olmaktadır. Ayrıca, bu tür organizasyonlar ev sahipliği yapan ülkeler adına da önemli bir gelir ve prestij kaynağı olarak göze çarpmaktadır [1]. Futbol sahalarının en üst tabakası olan çimin, hava ile temas halinde olması yağış-sıcaklık gibi çevresel etmenlerden olumsuz olarak etkilenmesine sebep olmaktadır. Yılın büyük bölümünde kullanılan bu sahaların, özellikle kış aylarında drenaj açısından, yaz aylarında ise saha yüzeylerinin kuruması ve aşınması açısından yarattığı olumsuz etkileri gidermek için hem etkili bir drenaj sistemine hem de verimli bir saha sulama sistemine sahip olması gerekmektedir [2]. Özellikle kirlilik, drenaj, temiz su ihtiyacı gibi konularda kentlerde yaşanan olumsuzlukların önüne geçebilmek ve yaşam kalitesini arttırmak, günümüzde hayati öneme sahiptir [3]. Şehir alanlarında büyük yer kaplayan futbol sahaları ayrıca sürdürülebilir drenaj anlayışıyla doğaya fayda sağlanabilecek inşaat alanlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

En uygun drenaj tasarımının belirlenmesi ve uygulanması açısından gerekli çalışmaların yapılması ve standart bir metodoloji ile bölgesel özelliklerin (yağış, sıcaklık, zemin türü, iklim koşulları vb.) dikkate alınarak bütüncül bir yaklaşımla optimum tasarımın yapılması gerekliliğini zorunlu kılmaktadır. Adams [4] spor sahaları drenajında yağışın tarımsal alanlara nazaran çok daha etkin ve hızlı bir biçimde alt drenaj sistemlerine iletilmesi gerektiğini vurgulamış ve spor sahaları için ana sorunun, saha yüzeyinde meydana gelen aşınmalardan ötürü suyun sızma/drenaj hızındaki azalmalar olduğunu ifade etmiştir. Genel anlamda spor sahalarının drenaj çalışmaları, kullanılacak malzemenin türü-miktarı ve karışım oranları ekseninde yürütülmüştür [5-7]. Son yıllarda yapılan çalışmalar ışığında yağış-akış ilişkilerinin ve hidrolojik parametrelerin de göz önünde bulundurulmasıyla konunun kapsamı oldukça gelişmiştir [8-11]. Özellikle kış aylarında hava şartları nedeniyle oyunun ertelenmesi, oyun gerekliliklerinin yerine getirilememesi (top sıçraması, yuvarlanması vb.) ve oyuncu sağlığının riske atılmasını önlemek amacıyla etkili bir drenaj sistemi kurma çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple uygulamada; boru drenajı (BD), askıda su tablası drenajı (ASTD), kum oluk drenajı (KOD) ve kum yarık drenajı (KYD) gibi çeşitli drenaj sistemleri geliştirilmiştir [12]. Burada amaç; saha yüzeyi ile drenaj tabakasının alt çıkışı arasında, suyun saha yüzeyinde birikmesine neden olmayacak hızda geçişini sağlayacak, geçirirli ve tabakalı sistemler oluşturmaktır [13]. Farklı drenaj kesitlerinin ortaya çıkmasının nedeni genel olarak bölgesel farklılıklar (yağış, sıcaklık, toprak türü vb.) ve ekonomik etkilere dayanmaktadır [14]. Bir iç drenaj sisteminin kalitesi, suyu uzaklaştırma verimliliği ve sistemin uzun ömrü ile ilişkilendirilerek, buna etki eden parametreler, sahada kullanılan toprağın cinsi, drenaj borularının sayısı ve karakteristiği ile suyun akışına olanak tanıyacak doğru bir eğimle yerleştirilmesi olarak ifade edilmiştir [15]. Fleming vd. [16] yaptıkları çalışma sonucunda toplam yağış miktarının küçük bir kısmının drene edildiğini ifade etmiş ve bunun nedeni olarak, suyun zemin boşluklarında tutulması ve drenaj borularında meydana gelen sürtünme kayıpları olduğunu ifade etmiştir. Bir spor sahasının

drenajı tasarım aşamasında, en uygun tekniğin ve fiziksel parametrelerin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar ve modeller ile desteklenmelidir. Kesgin vd. [17] spor sahalarının katmanlı bir yapıya sahip olması ve doymamış zeminde akışın doğru bir şekilde modellenmesi gerekliliğini ifade etmiştir. Küresel iklim değişimi ve buna bağlı olarak özellikle yağış şiddeti ve sürelerinde meydana gelen aşırı durumlar, çeşitli bölgelerdeki iklim ve zemin koşullarının birbirlerinden farklı olması, ekonomik kaygılar gibi birçok etmen, bu mühendislik yapısının tasarımı için tecrübeli uzmanlar ile çalışmak gerekliliğini ortaya çıkarmıştır [2]. Dolayısıyla, kurulacak modeller ve deneysel çalışmalar sonucunda ilgili parametrelerin belirlenmesi, elde edilecek tasarım ölçütlerinin endüstriyel tecrübe ile birleşmesi durumunda daha etkin bir tasarımın ortaya çıkmasına olanak sağlayacaktır. Bu çalışmada ele alınan ana nokta, özellikle deneysel çalışmaların geliştirilmesi ile yeni bir anlayışın ortaya koyulması sonucunda farklı iklim ve zemin koşullarında, oyunun sürekli ve uygun şartlar altında devam etmesini sağlayacak tasarımların gerçekleştirilmesi için bir deney sisteminin oluşturulmasıdır.

2. Spor Sahası Drenaj Tabakası Elemanları (Components of Sports Field Drainage Layers)

2.1. Çim Tabakası (Turf Layer)

Spor sahası çim tabakası oyun yüzeyini kaplayarak, sahanın en üst katmanda olması sebebiyle hem estetik hem de oyun özellikleri ile oyuncu kabiliyetlerinin sergilenmesi açısından en önemli bileşenlerden biridir [18]. Çim, saha yüzeyinde yumuşak bir zemin özelliği ile oyuncu yaralanmalarının azalmasını sağlayan, genellikle yapılan spor ve kalitesine bağlı olarak 18-50 mm uzunluğundan oluşan bir tabakadır [19]. Spor sahalarında kullanılan çim tabakasından beklenen performans ölçütleri; güvenlik, dayanıklılık, estetik ve oynanabilirlik olarak dört grupta toplanabilir [20]. Yüzeyin sertliği ve kaymaya karşı direnci; saha yüzeyinin düzgünlüğü, oyuncu hızı, topun sıçrama ve dönme kabiliyeti oynanabilirliği; saha yüzeyinin görünümü, çim rengi ve uzunluğu estetiği; uzun yıllar boyu gerekli bakımlar eşliğinde uygun koşullar altında oyunun oynanma süre ve sayısı uzun ömürlülüğü olarak ifade edilmektedir. Sahanın atmosferle temas halinde olan ilk drenaj katmanı olan çim tabakasının, yağış-sıcaklık gibi çevresel etmenlerden büyük ölçüde etkilenmesi doğaldır. Yaz aylarında yüksek sıcaklık nedeniyle oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçilmesi için belirli aralıklarla sulama, altına yatan toprak nemini artırma ve sıcağa karşı toleransı daha yüksek olan çim türlerinin geliştirilip kullanılması gerektiği ifade edilmektedir [2]. Kış aylarında ise çim bitkisinin en sık karşılaştığı problem, yüzeyde oluşacak su birikintileridir. Puhalla vd. [21] sahanın sıkça ve farklı amaçlar için kullanımı (konser, miting, gösteri vb.) ile düzenli bakım eksikliğinin önemli drenaj problemi oluşturacağını ifade edilmiştir. Sport England [2] drenaj karakteristiklerini ve oynanabilirliğini arttırmak amacıyla saha yüzeyine 2 cm yüksekliğinde kum tabakasının eklenebileceği önerilmiştir. Uygulamada sıkça karşılaşılan çim tipleri Tablo 1'de verilmiştir. Sahada kullanılacak çim türüne göre bakım ihtiyaçları, ekonomik koşullar ve kullanım sıklığı göz önüne alınmalıdır.

Tablo 1. Spor sahalarında sıkça kullanılan çim tiplerinin özellikleri (Characteristics of different turfs frequently used in sports fields) [22]

Tür	Yaprak Yapısı	Oluşum Hızı	Gübre Gerekisini	Çimlenme süresi(gün)
Lolium Perenne	Orta	Hızlı	Orta	4 - 10
Festuca Rubra	İnce	Orta	Az	7 - 15
Festuca Arundinaceae	Kalın	Orta	Orta	7-15
Poa Pratensis	İnce-orta	Yavaş	Yüksek	12 - 21
Agrostis Tenius	İnce	Orta	Yüksek	12 - 18

2.2. Kök Tabakası (Rootzone Layer)

Kök tabakası, çim yüzeyinin hemen altında bulunan yüksek kum içeriğine sahip, kum-toprak karışımı ile sızma ve havalandırma açısından oldukça önemli olan bir drenaj katmanıdır [23]. Kullanılacak kumun cinsi ve karışım yüzdesini belirlemede hem hızlı ve etkin drenajı, hem de çim bitkisinin sağlıklı kalması açısından havalandırma ve toprak nemi tutma özelliklerini beraber düşünmek gereklidir [7]. Kum miktarının fazlalığı drenaj ve havalandırma açısından faydalı iken kurak mevsimlerde kök bölgesinde su tutma özelliğini minimum koşullara indirmesi ile çim bitkisinin büyümesi açısından olumsuz sonuçlanabilmektedir [23]. Amerika Birleşik Devletleri Golf Birliği (USGA) [24] kök bölgesi tabaka kalınlığının 15-30 cm arasında değişebileceğini ifade etmiştir. Taylor ve Blake [6] etkili bir drenaj sistemi açısından kök tabakasında %90 kum içeriğinin olması gerektiğini vurgulamıştır. Henderson vd. [25] ile Magni vd. [26] yaptıkları çalışmalar sonucunda ağırlıkça %90 kum oranının varlığının drenaj üzerindeki gerekliliğini desteklemişlerdir. Yüzey çiminin sağlıklı kalmasında gerekli olan kök tabakasındaki nem miktarının sağlanması açısından verimli ve etkili bir sulama sistemine ihtiyaç duyulur [2]. Miller [27] kök tabakada su tutma miktarını etkileyen en önemli parametrelerden birinin, kök tabakanın altında bulunan çakıl tabakası olduğunu ve tutulan suyun çakıl çapıyla doğru orantılı olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca Taylor vd. [5] yaptığı deneysel çalışmada farklı çakıl-kum-kök tabaka kombinasyonları denemiş ve en yüksek kök tabaka su içeriğinin çakıl+kök tabaka varlığında meydana geldiğini belirterek, Miller'ın [27] çalışmasını doğrulamıştır. Kök tabakası kalınlığının belirlenmesi, hem çim için gerekli su muhtevasına sahip olması hem de etkili bir drenaj açısından kritiktir [28]. Ancak kesin ve açık bir spesifikasyonun olmaması, genellikle tecrübeye dayalı olarak tasarlanan sahalarda net bir tabaka kalınlığının belirlenmesini güçleştirmektedir.

2.3. Orta/Kör Tabaka (Blinding Layer)

Orta tabaka, üst tarafta kök tabakası alt tarafta ise çakıl tabakasının arasında uzanan genellikle 5 cm yüksekliğinde oluşturulan, kum içerikli bir tampon bölge olarak ifade edilir [2]. Bu bölge özellikle kök tabakadaki ince danelerin alt kısmında yatan büyük boşluk oranlarına sahip çakıl tabakaya geçişini önlemek için koruyucu bir işlev görmektedir [29]. Bu tabaka genel olarak sandviç ya da orta tabaka olarak isimlendirilmekte olup, literatürde tabaka kalınlığı ve gradasyonu ile ilgili yeterli bir çalışma bulunmamaktadır. Orta tabakanın asıl işlevi, kök ve çakıl tabakası arasındaki gradasyon farklılığının olumsuz etkileri sonucunda oluşan su seviyesini ve kapiler saçağı en aza indirmek veya oluşmasını engellemektir. Ayrıca bu durum McCarty vd. [30] tarafından, kök tabakası tam olarak doygun hale gelmeden suyun çakıl tabakasına hareketinin söz konusu olmayacağı anlamına gelen sünger etkisi (sponge effect) olarak belirtilmiştir. Kesgin vd. [17] orta (kör) tabakanın drenaj üzerindeki etkisini incelemiş ve düşük şiddetli yağışlar için orta tabaka kalınlığının önemli bir etkiye sahip olmadığını, ancak şiddetli yağışlarda tabaka kalınlığının belirleyici olduğunu ve en büyük çıkış debilerinin orta tabakanın olmadığı durumlarda gözlemlendiğini ifade etmiştir.

2.3. Çakıl Tabaka (Gravel Layer)

Çakıl tabakası, drenaj borularının üstündeki katmanlı tabakanın son kısmını oluşturan, büyük boşluk oranlı, yüksek geçirimsizliğe sahip olan bölümdür [31]. Sport England [2] dolgu malzemesi olarak 6-10 mm aralığında tek boyutlu, köşeli çakıl taşlarının 15-20 cm derinliğinde serilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Özellikle büyük boşluk oranı sayesinde ani ve şiddetli yağışlarda büyük depolama kapasitesi oluşturması, drenaj verimliliği ve yüzeyde su birikmesini önleme açısından oldukça önemlidir [16]. Ayrıca suyu tahliye eden

uygun eğimle (1:200) yerleştirilmiş olan drenaj borularını yapısal hasara karşı korumak ve bir elek görevi yaparak delikli drenaj borularına malzeme geçişini engellemekte çakıl tabakasının görevleri arasındadır [32]. Taylor vd. [5] çakıl tabakası üzerine yerleştirilmiş kök tabakasının yüksek miktarda su tuttuğunu belirterek drenaj problemlerinin oluşabileceği aşırı yağış alan bölgeler için çakıl ve kök bölgesi arasına kum tabakasının serilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Kesgin vd. [8] çakıl tabakasının sistemin en belirsiz elemanı olduğunu ifade ederek deneyimlere dayalı olarak 15 cm uygulanması gerektiğini ifade etmiştir.

3. Spor Sahalarında Kullanılan Drenaj Teknikleri (Sports Fields Drainage Techniques)

Spor sahalarında bölgenin yağış özellikleri, sıcaklık durumu, sahanın kullanım sıklığı, müsabaka kalitesi ve ekonomik durumlar göz önüne alınarak çeşitli drenaj sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar; boru drenajı (BD), askıda su tablası drenajı (ASTD), kum oluk drenajı (KOD) ve kum yarık drenajı (KYD) olarak ifade edilir (Şekil 1). Bu sistemler içinde en eski ve geleneksel kullanıma sahip olan boru drenaj sistemidir. Tabandan itibaren sırasıyla 20-25 cm çakıl, 5 cm orta (kör) tabakası ve 15-20 cm yüksekliğinde kök tabakası yerleştirilir (Şekil 1a). Sistemin en önemli avantajı düşük maliyetli olmasıdır. Canaway [29] yaptığı deneysel çalışma sonucunda boru drenaj sisteminin başarılı olduğunu ancak saha yüzeyinde meydana gelen aşınmalardan dolayı düşük sızma hızları gösterdiğini ve en verimsiz drenaj sistemi olduğunu vurgulamıştır. Gezici vd. [14] gerçekleştirdiği deneysel çalışmalarda 90 mm⁻¹ ve daha az şiddetli yağışlarda yüksek kum içeriği ile hazırlanmış BD sisteminin başarılı olduğunu, ancak daha yüksek şiddetli yağışlar için uzun sürede drenaj pik çıkış debilerinin diğer sistemlere nazaran daha düşük olduğunu ifade etmiştir. Askıda su tablası drenajı (ASTD) günümüzde elit spor sahalarında kullanılan, yüksek sızma hızları ile karakterize edilen, yüksek kum içerikli bir drenaj sistemidir [2]. Tabandan yüzeye kadar sırasıyla 15 cm yüksekliğinde çakıl-kum-kök tabaka ile kurulan bu sistemin en önemli dezavantajı yüksek kum içeriği nedeniyle ekonomiklik ve çok yüksek sızma hızları nedeniyle kök tabakada çim kökleri için gereken su miktarının büyük ölçüde azalmasıdır (Şekil 1c). Sport England [2] bu sorunun önüne geçebilmek için etkili ve verimli bir sulama sistemi kurulması gerektiğini vurgulamıştır. Alway ve Medole [33] tabakasız tek kesit bir toprak ile gözenekli bir taban üzerine yerleştirilmiş toprağın sulama sonrası durumunu inceleyerek, altında kaba malzeme bulunan toprağın daha yüksek su içeriğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Kaba malzeme üzerinde suyun askıda kalma durumu nedeniyle bu tip drenaj kesitine askıda su tablası drenajı adı verilmiştir. ASTD, yüksek kum içeriği gerekliliğinden dolayı çoğu zaman ekonomik değildir. Özellikle elit olmayan sahalarda, alt yaş kategorileri, amatör ve yerel olarak eğlence amacıyla kurulmuş sahalarda için bu durum büyük sorun teşkil etmektedir. Bu sebeple, saha yüzeyinden drenaj tabanına kadar dikey olarak belirli aralıklarla oluşturulmuş yüksek geçirgen malzeme (kum-çakıl) ile doldurulmuş drenaj sistemleri geliştirilmiştir [34]. Yüzeyden çakıl tabakaya kadar yaklaşık 26 cm aralıklarla açılmış 2-5 cm genişliğinde 20 cm derinliğindeki kanalların kumla doldurulması sonucu oluşan sisteme kum oluk drenajı ismi verilmektedir (Şekil 1b). Kum yarık drenaj sistemi ise, 0,5-2 m aralıklarla 25-35 cm derinliğinde ve 5 cm genişliğindeki kanalların yüzeye 7,5 cm kalına kadar çakıl ve devamında yüzeye kadar kum ile doldurularak oluşturulan drenaj sistemidir [31] (Şekil 1d). Bu iki sistem saha yüzeyinde oluşturulan dar aralıklı, hızlı iletkenliğe sahip bir geçit olarak ifade edilir ve ayrıca büyük ölçüde kullanılan kumdan tasarruf sağlayarak ekonomik bir tasarıma izin verir. Ancak özellikle yaz aylarında zeminde büzülme meydana gelebileceği için açılan kanalların genişlemesi ve buna bağlı olarak oluklardaki malzemelerin çökmesi gibi sorunların meydana gelmesi muhtemeldir [35]. Bunun sonucu olarak eşit olmayan bir oyun yüzeyi oluşarak hem oyun özellikleri (top sıçraması ve

yuvatlanması vb.) hem de oyuncunun kabiliyetini sergileyememesi ile sakatlık risklerinin oluşması gibi olumsuz durumlar meydana gelebilir. Bu sebeple özellikle uzun süre yağışın görülmediği dönemlerde sahanın sulanması ve/veya saha yüzeyini 1-2 cm lik kum tabakasıyla örtmek alınan önlemlerdir [31].

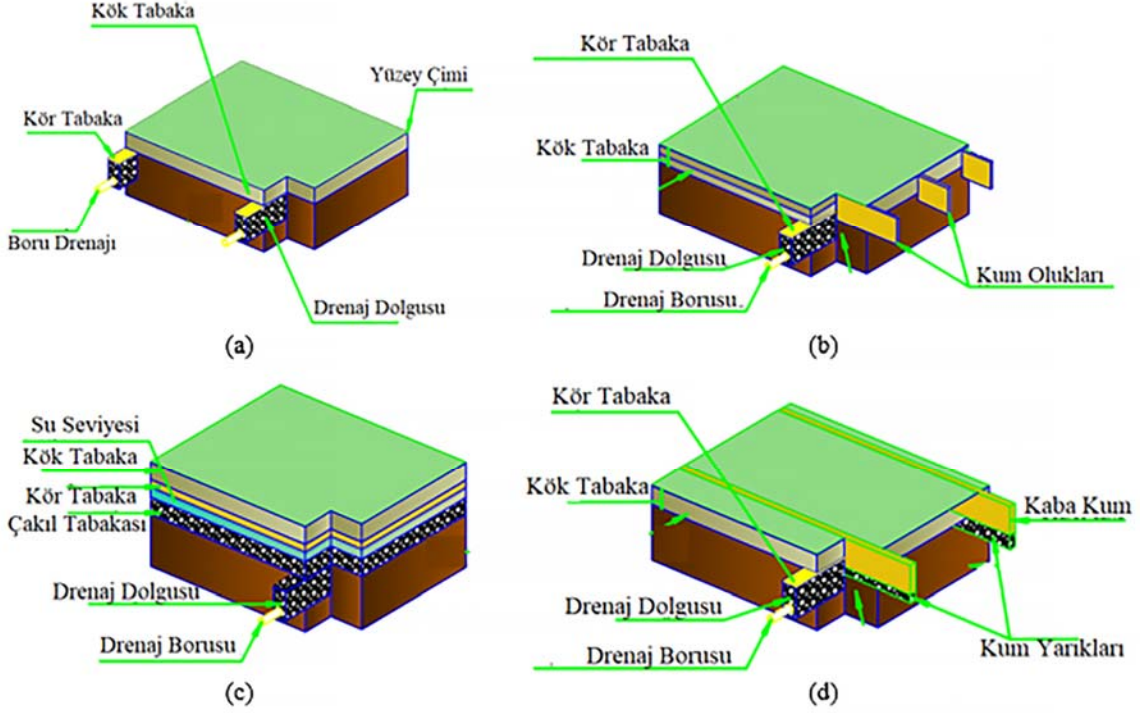
4. Materyal ve Metot (Material and Method)

4.1. Deneysel Model/Yağmur Simülatörü (Experimental Model/Rainfall Simulator)

Spor sahalarının drenajının hidrolojik bakış ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirildiği çalışmalarda literatür eksikliği olduğu aşikardır. Yağış-drenaj ilişkisini inceleyen çalışmaların gerçekleştirilmesi için saha, deney ve modelleme çalışma metotlarından yararlanması gereklidir. Bu amaçla gerçekleştirilen kısıtlı çalışmaların büyük çoğunluğu, deneysel incelemelerde bulunmuştur [14-16]. Deneysel metotla yağış-drenaj, yağış-akış gibi hidrolojik çalışmaları gerçekleştirmek için doğal yağışın karakteristik özelliklerini taşıyan bir yağmur simülatörü (YS) kullanmak gereklidir.

Yağmur simülatörünün tasarım aşamasında, deney sisteminin etkin ve başarılı sonuçlar vermesi için yağış şiddeti ve süresi, yağış damlası çapı ve düşme hızı, alansal üniformluğu gibi parametrelerin, doğal yağış ile yakın değerlere sahip olması gerektiği vurgulanmıştır [36-38]. Sızma, sediment taşınımı, erozyon, yüzeysel akış ve spor sahaları için tasarlanan çeşitli yağmur simülatörleri Tablo 2’de verilmiştir.

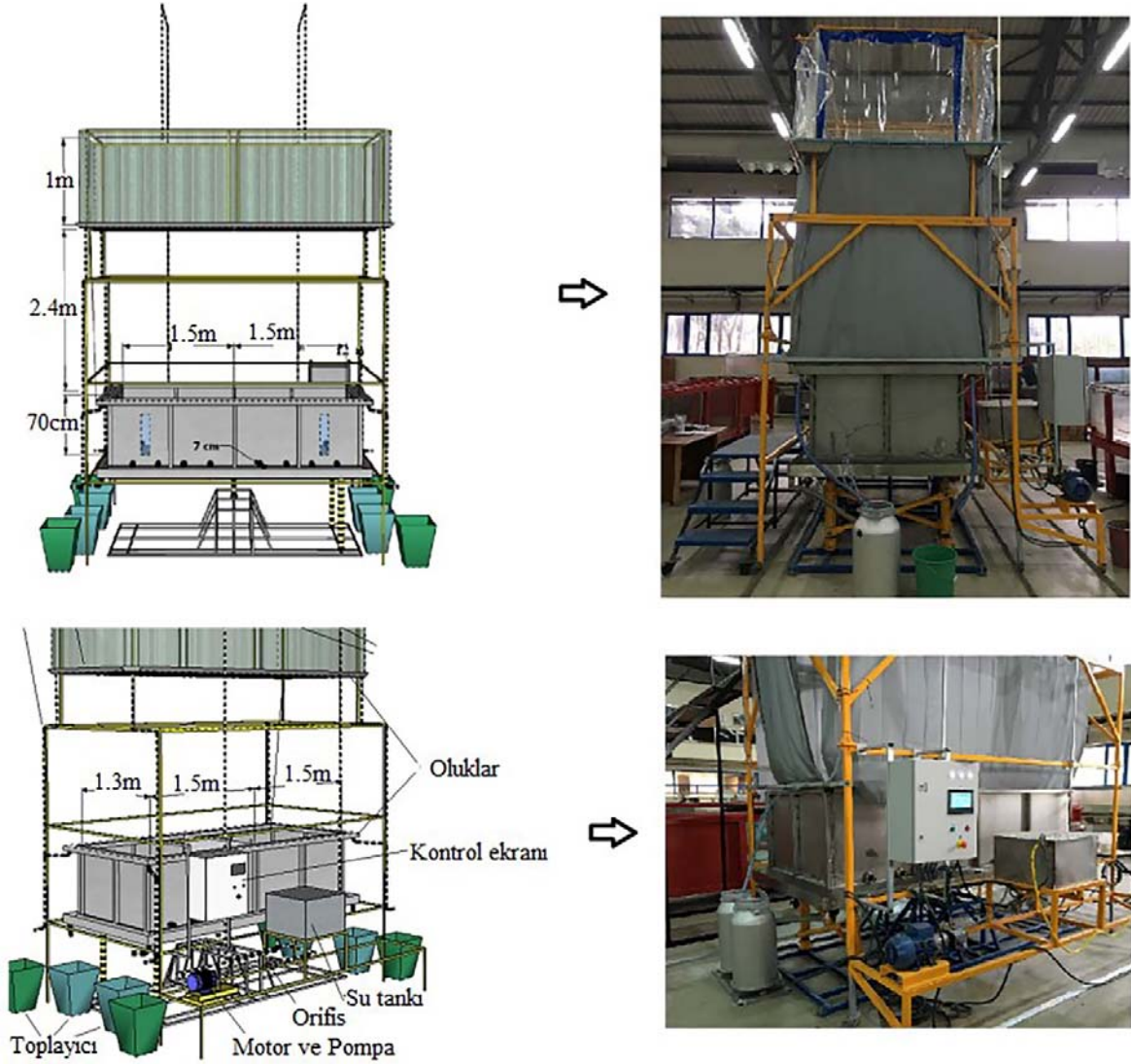
Bu çalışmada Kesgin vd. [28] tarafından tasarlanan, yağmurlama ve drenaj tankı olmak üzere iki ana elemandan oluşan yağmur simülatörü ve teknik özellikleri sunulmuştur (Şekil 2). Sistemin ana elemanlarından biri olan yağmurlama sistemi, su tankından aldığı suyu pompa vasıtasıyla drenaj tankının üzerindeki nozullara ileterek, istenilen şiddet ve süreli yağışların oluşturulmasını sağlamaktadır, ikinci ana eleman olan drenaj tankı ise tabanında bulunan delikli drenaj borularının üzerine çakıl, kum, kil ve silt gibi çeşitli malzemelerle oluşturulmuş drenaj kesitinin kurulduğu kısımdır. Deney sisteminin amacı, sahanın kurulacağı bölgede yağış süre ve şiddetinin meteorolojik ölçümler ile belirlenerek, tasarım hiyetografları oluşturmaktır. Çeşitli drenaj kesitlerini de farklı kombinasyonlarda karşılaştırmalı olarak yağış-drenaj ilişkisini



Şekil 1. Doğal yüzeyli spor sahalarında drenaj teknikleri: a) Boru drenajı, b) Kum oluk drenajı, c) Askıda su tablası drenajı, d) Kum yarık drenajı (Drainage techniques in sports fields with natural surfaces: a) Pipe drainage, b) Sand grooves drainage, (c) Suspended water table drainage, (d) Sand Slit drainage) [14]

Tablo 2. Farklı yağmur simülatörleri ve özellikleri (Rainfall parameters for various rainfall simulations) [28]

Çalışma	YS Tipi	Alan (m ²)	Yağış Şiddeti (mmh ⁻¹)	Düşüm Çapı (mm)	Kinetik Enerji (J mm ⁻¹ m ⁻²)	Üniformluk (%)	Çalışma Kapsamı
[39]	Tek nozul	1,75	29-142	1,5-2,25	16-22	80-90	YS tasarım ve işletilmesi
[40]	Üç nozul	3	43-116	2,25-2,5	23,1	83	YS tasarım ve işletilmesi
[41]	Tek nozul	0,24	10-60	2,53	7,1	93	YS tasarım ve işletilmesi
[42]	Tek nozul	9	130	1,5	9,89	98	Yüzeysel akış
[43]	4-5 jet nozul	8,84	45-105	2,19-3,13	21,1-32,6	82-89	Yüzeysel akış-sediment taşınımı
[26]	Tek ful konik nozul	1,95	26-266,6	1,68-2,52	10-50	90,24-92,74	Spor sahası drenajı



Şekil 2. Deneysel sistemin genel görünüşü (General view of the experimental system) [14]

değerlendirmektedir. Saha çalışmalarının güvenli ve tutarlı sonuçlarının sürekli elde edilmesinin oldukça zor olması, yerel sonuçlar üretmesi ve analiz için yüksek teknolojlili kontrol edilebilir hassas cihazların kullanılması sebebiyle deneysel çalışmalar büyük önem arz etmektedir [16].

5. Yağmur Simülasyonu Performansı (Performance of the Rainfall Simulator)

Genel olarak bir yağmur simülasyonu, yağışın şiddeti, yağmur damlası çapı ve terminal (düşme) hızı gibi özellikleri göz önünde bulundurularak doğal yağışı simüle etmeyi amaçlar. Deney sistemi kurulumundan sonra doğal yağışı simüle etme kapasitesi için uygun testlerin yapılması gerekmektedir. Deney sistemi LNN ($R < 26$ mm/saat) ve GG-W ($26 < R < 266,6$ mm/saat) olmak üzere iki farklı püskürtücüden (nozül) oluşmaktadır [14]. Bu yağış şiddeti aralığı doğal yağış şiddetiyle beraber, laboratuvar ölçekli diğer YS'ler arasında daha geniş bir yağış şiddeti üretim aralığına sahip olma özelliği göstermektedir. Yağmur damlası çapını hesaplayabilmek için un-topak deneyi (flour pellet) yapılmış ve damla çapı 1,68-2,52 mm aralığında bulunmuştur [28]. Yağmurun ortalama damla çapı, yağış şiddetine bağlı olarak 0,25-2,69 mm aralığında değişmektedir [43].

YS'nin yağmur damlası çapı literatür değerleri ile oldukça uyumaktadır. Yağışın alansal dağılımı da YS'nin performansını belirlemede önemli kriterlerden biridir. Yağışın alansal dağılımını belirlemede üniformluk katsayısı (CU, %) kullanılır. Moazed vd. [44] bu değer %80'den fazla olması durumunda uygun olduğunu ancak Luk vd. [45] arazi alanının büyük olması durumunda bu değer %70'ler olarak kabul edilebileceğini ifade etmiştir. YS için bu değer Christiansen [46] tarafından önerilen Eş. 1 ile hesaplanarak %90,24-92,74 aralığında bulunmuştur.

$$CU = \left(1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|\right) 100 \quad (1)$$

Burada X_i , i noktasındaki yağış miktarı, \bar{x} ortalama yağış miktarı, N ölçülen yağış sayısıdır. Doğal yağışın kinetik enerjisi, YS'nin etkinliğinin ölçülmesinde önemli olan bir diğer parametredir. Aksoy vd. [43] doğrudan ölçüm yapılmaması nedeniyle kinetik enerjinin; damla boyutu dağılımı, düşme yüksekliği, çarpma ve son hızlar kullanılarak hesaplanabileceğini belirtmiştir. Gilley ve Finkner [47] kinetik enerjinin Eş. 2'nin kullanılarak elde edilebileceğini ifade etmiştir.

$$KE(Jm^{-2}mm^{-1}) = \frac{1}{2}mv^2(kgm^2s^{-2}) \quad (2)$$

Burada: m bir yağmur damlasının kütlesi, v ise çarpma hızıdır. Van Dijk vd. [48] bu değerini 11-35 $Jm^{-2}mm^{-1}$ arasında değiştiğini ifade etmiştir. Deney sisteminde farklı yağış koşulları altında elde edilen sonuçlara göre KE'nin 10-50 $Jm^{-2}mm^{-1}$ olduğu bulunmuş ve literatürdeki değerler ile büyük ölçüde eşleştiği görülmüştür [28]. Çalışma kapsamında üretilen yağmur simülatörünün doğal yağış parametreleri için literatürdeki değerlere uygunluğu Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan yağmur simülatörünün parametre değerleri ve literatür karşılaştırılması
(Parameter values and literature comparison of the rainfall simulator used in the study)

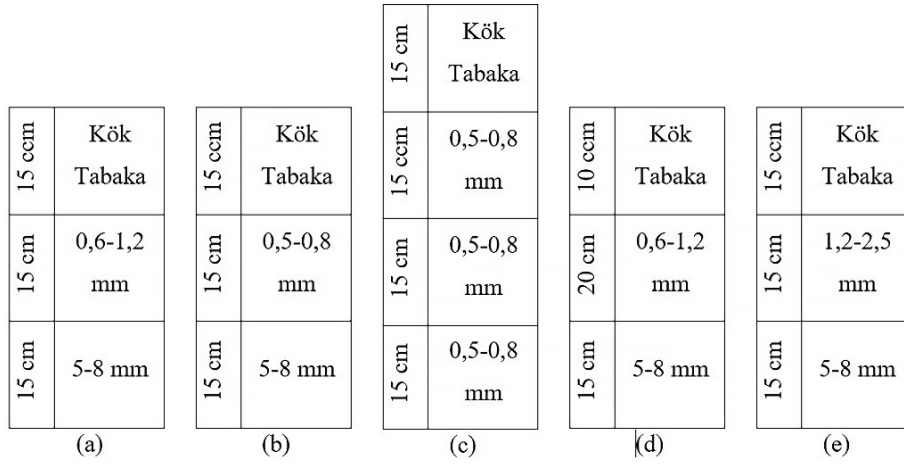
Parametre	Değer Aralıkları	Çalışma
Düşüm Çapı (mm)	1,68-2,52*	[28]
	0,25-2,69	[41]
Üniformluk (CU, %)	%90,24-%92,74*	[28]
	Cu> %80	[45]
Kinetik Enerji ($J mm^{-1}m^{-2}$)	10-50*	[28]
	11-35	[48]

*Çalışmada kullanılan yağmur simülatörünün değer aralıkları

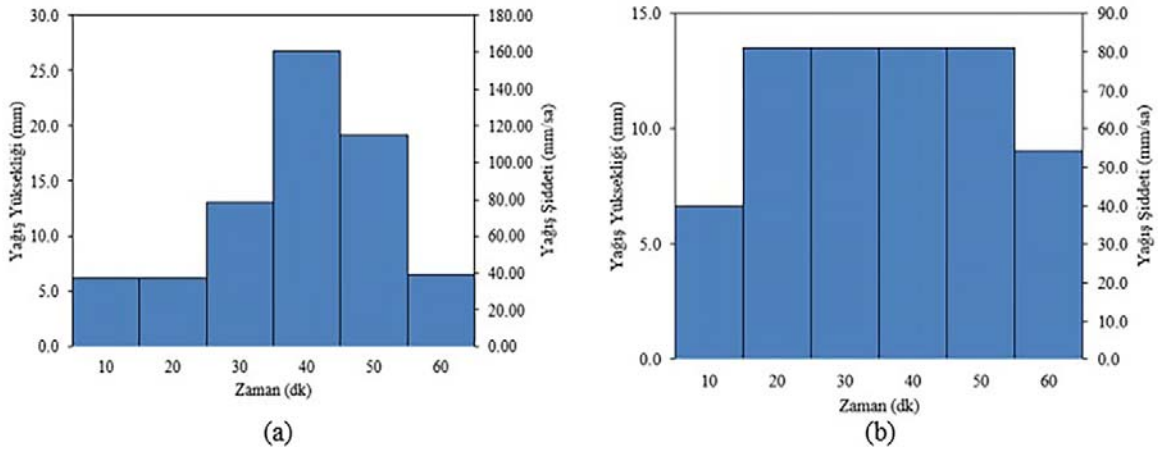
6. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Deney sisteminin, doğal yağış parametrelerini yansıtmaya başarısı açısından uygunluğu tespit edildikten sonra drenaj sisteminin uygulaması yapılmıştır. Uygulamada sıkça kullanılan ASTD sistemi kullanılmıştır. Farklı kombinasyonlardan oluşan beş adet futbol sahası drenaj (FSD) kesiti oluşturulmuştur (Şekil 3). FSD1, FSD2 ve FSD5 numaralı drenaj kesitleri benzer özelliklere sahip olup, sadece orta tabakada kullanılan kumun çapı değiştirilerek oluşturulmuştur. FSD3 kesiti, 45 cm kum tabaka üzerine 15 cm kök tabakası ile toplam 60 cm olarak en büyük drenaj kalınlığına sahip kesittir. FSD4 kesiti sırasıyla 15-20-10 cm yüksekliğinde çakıl-kum ve kök tabakadan meydana gelmektedir.

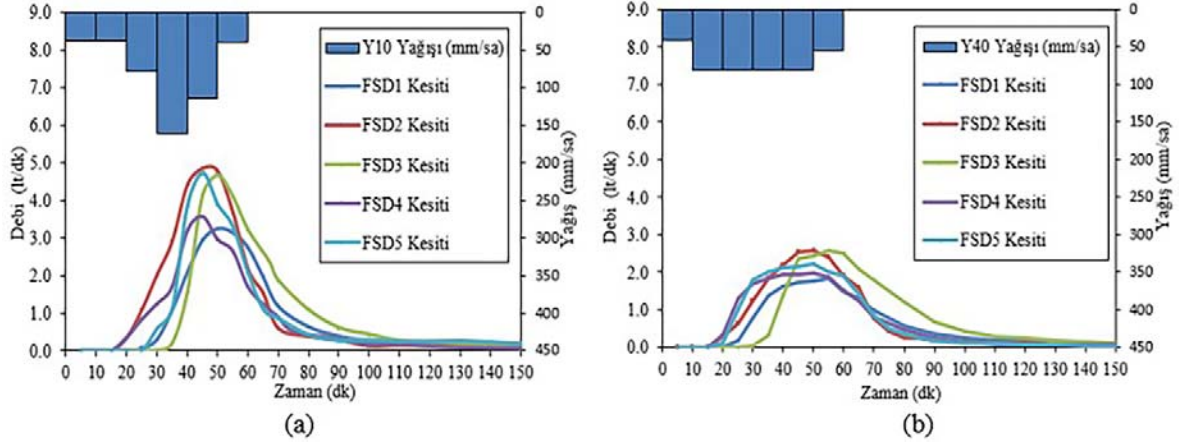
Sarıyer meteoroloji istasyonundan elde edilen 1, 5, 10, 25, 50,100 yıl tekrerr aralıklı yağışların süre-şiddet-tekrerr eğrileri yardımıyla, alternatif blok (AB) yöntemi kullanılarak tasarım hiyetografları oluşturulmuştur [20]. Deney hiyetografları 100 yıllık dönüş periyotları (T) dikkate alınarak; 10 (Y10) ve 40 (Y40) dakika zaman aralıkları için tasarlanmıştır (Şekil 4). Y10 ve Y40 sırasıyla 10 ve 40 dakikaya tekabül eden maksimum yağış şiddetinin süresini göstermektedir. Bu tasarım hiyetografları beş farklı drenaj kesitine uygulanarak her biri için çıkış debileri ölçülmüş, debi-zaman (hidrograf) eğrileri çizilmiş ve hidrograf parametreleri karşılaştırılmıştır (Tablo 4).



Şekil 3. Örnek deneyler için hazırlanmış üç tabakalı drenaj kesitleri: a) FSD1, b) FSD2, c) FSD3, d) FSD4, e) FSD5
(Drainage sections consisting of three layers prepared for sample experiments: a) FSD1, b) FSD2, c) FSD3, d) FSD4, e) FSD5) [22]



Şekil 4. Örnek deneylerde kullanılacak yağış hiyetografları: a) Y10, b) Y40 (The hyetographs for the sample experiment: a) Y10, b) Y40) [22]



Şekil 5. Farklı yağış ve kesitler altında drenaj çıkış hidrografları: a)Y10, b)Y40
(Drain outlet hydrographs under different rainfall and drainage cross sections: a)Y10, b)Y40) [22]

Tablo 4. Farklı drenaj kesit ve yağışları için hidrograf parametreleri
(Drain outlet hydrograph parameters for different drainage sections and rainfall)

Yağış	Kesit	Drenaj başlama süresi (dk)	Maksimum drenaj debisi (lt/dk)	Toplam drenaj süresi (dk)	Baz akış süresi(dk)
Y10	FSD1	30	3,25	120	100
	FSD2	20	4,85	130	105
	FSD3	35	4,67	115	100
	FSD4	20	3,56	130	105
	FSD5	30	4,72	120	105
Y40	FSD1	25	1,82	125	95
	FSD2	20	2,59	130	95
	FSD5	35	2,58	115	95
	FSD3	20	1,96	130	100
	FSD4	20	2,23	130	100

Örnek deneylerde oluşturulan 5 farklı ve üç tabakalı kesitlere, Şekil 4'te verilen iki farklı yağış hiyetografı uygulanmıştır. Elde edilen drenaj çıkış hidrografları Şekil 5'te verilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında, tüm yağış koşulları için drenajın başlama zamanının en geç gözlemlendiği kesit, tabaka kalınlığının daha yüksek olmasından ötürü, FSD3 olarak göze çarpmaktadır. Dolayısıyla, drenaj tabakasının derinliği arttıkça hidrograf yükselme eğrisinin geciktiği ifade edilebilir. Yağış deseninin de çıkış debileri üzerinde etkili olduğu, yağış şiddetinin artması durumunda hidrografın dikleştiği ve yağış deseninin daha tekdüze hale geldiği durumlarda ise çıkış hidrograflarının birbirine yaklaştığı ve benzerliklerin arttığı görülmektedir. Maksimum pik debilerinin görülme zamanı, maksimum yağış şiddetinin görülme zamanından hemen sonra meydana gelmektedir. FSD2 ve FSD3 kesitlerinde pik debiler birbirine oldukça benzerlik göstermektedir. Y10 yağışından Y40 yağışına doğru hiyetograf tekdüze hale geldikçe, çıkış debilerinin hem azaldığı hem de bir müddet sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Hidrografın alçalma eğrileri her kesit ve iki yağış deseni için benzer sonuçlar göstermektedir (Tablo 4). FSD2 kesitinin maksimum çıkış debisinin diğer sistemlere nazaran daha yüksek olduğu FSD1 kesitinin ise en düşük olduğu görülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda yağış deseninin, pik debi ve çıkış hidrografının şekli üzerinde oldukça etkin olduğu görülmüştür.

7. Simgeler (Symbols)

CU	: Ünitormluluk katsayısı (%)
m	: Yağmur damlası kütlesi (M)
N	: Ölçülen yağış sayısı

v	: Yağmur damlası çarpma hızı (LT^{-1})
\bar{x}	: Ortalama yağış miktarı
X_i	: i noktasındaki yağış miktarı

7.1. Kısaltmalar (Abbreviations)

ASTD	: Askıda su tablası drenajı
BD	: Boru drenajı
FSD	: Futbol sahası drenaj kesiti
KOD	: Kum oluk drenajı
KYD	: Kum yarık drenajı
Y10	: 10 dakika zaman aralıklı yağış hiyetografı
Y40	: 40 dakika zaman aralıklı yağış hiyetografı

8. Sonuçlar (Conclusions)

Futbol organizasyonları günümüzde ekonomik, sosyal ve prestij açısından oldukça önemi olan bir spor dalıdır. Bir mühendislik yapısı olarak drenaj sistemlerinin tasarlanması, oyun ve oyuncu kabiliyetini büyük ölçüde etkilemektedir. Ancak literatürde bu alanda eksiklik olduğu ve standart bir tasarım süreci oluşmadığı görülmektedir. Yağış-sıcaklık-zemin ve çeşitli iklim parametreleri göz önünde bulundurularak bir tasarım sistematığının belirlenmesi için yapılan bu çalışma; deneysel çalışmanın önemini ve yöntemini ortaya koymaktadır. Saha çalışmalarının bölgeye özgü çıktıları, yüksek maliyetli cihaz kullanımı ve gözlem yetersizliği nedeniyle mutlaka deneysel çalışmalara öncelik verilmesi gerekliliği vurgulanmaktadır. Deneysel çalışmaların kapsamı içerisinde ilk ve en önemli nokta, doğal yağışı yeterince uygun şekilde simüle edecek bir yağmur

simülâtörünün varlığıdır. Bu özellikler yağış şiddeti-süresi, damla çapı-hızı ve üniformluğu olarak ifade edilmektedir. Literatürde farklı amaçlar için geliştirilen yağmur simülâtörlerinin aksine Kesgin vd. [28] tarafından geliştirilen YS'nin bu konuda yapılacak çalışmalar için başarılı olduğu ifade edilebilir. Yapılan örnek deneylerde drenaj kesitinin tabaka kalınlığının artmasıyla beraber drenaj borularından suyun çıkışa başlama sürelerinin önemli ölçüde geciktiği, maksimum yağış şiddetinin azalmasıyla drenaj çıkış debilerinin farklı kesitler için hem azaldığı hem de birbirine yaklaştığı ifade edilebilir. Yağış hiyetrografının, çıkış hidrografi parametreleri (pik debi, yükselme-alçalma eğrileri, konsantrasyon süresi) üzerindeki etkisi oldukça büyüktür. Kısa zaman aralıklarıyla değişen hidrograflarda, yüksek pik debilere sahip büyük eğimli yükselme ve alçalma eğrileri gözlemlenirken, uzun zaman aralıklı yağışlarda pik çıkış debilerinin azaldığı ve bir müddet sabit kaldığı gözlemlenmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma TÜBİTAK 1001 projeleri kapsamında 214M616 no'lu proje olarak 2015-2018 yılları arasında desteklenmiştir.

Kaynaklar (References)

- Collignon H., Sultan N., Santander C., The sports market: In Major trends and challenges in an industry full of passion, Chicago, AT Kearney, 2011.
- Sport England., Natural turf for sport: Design guidance note, London: English Sports Council, 2011.
- Atabeyoğlu Ö., Bilge G., Natural approach to urban construct: From leaf to urban, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 38 (1), 127-142, 2022.
- Adams W.A., Practical aspects of sports field drainage, Soil Use Manage, 2 (2), 51-54, 1986.
- Taylor D.H., Nelson S.D., Williams C.F., Sub-root zone layering effects on water retention in sports turf soil profiles, Agronomy Journal, 85 (3), 626-630, 1993.
- Taylor D.H., Blake G.R., Sand content of sand-soil-peat mixtures for turfgrass, Soil Science Society of America Journal, 43 (2), 394-398, 1979.
- Baker S.W., Soil physical conditions of the root zone layer and the performance of winter games' pitches, Soil Use Manage, 5 (3), 116-122, 1989.
- Kesgin E., Investigation of Effective Drainage Methods in Sports Field Under Various Rainfall Conditions, Doctoral dissertation, Yıldız Technical University, Graduate School of Science and Engineering, İstanbul, 2021.
- Gezici K., Spor Sahalarında Kullanılan Drenaj Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2021.
- Simpson M.R., Fleming P.R., Frost M.W., Briefing: Sustainable drainage for sports pitch developments, In Proceedings of the Institution of Civil Engineers Municipal Engineer, 166 (4), 211-215, 2013.
- Kowalik T., Rajda W., Physical properties, permeability and retentiveness of silt loam and its composites with sand for constructing carrying layer of a football field, Journal of Ecological Engineering, 15 (4), 37-45, 2014.
- Gezici K., Ağaçcioğlu H., Kesgin, E., Doğal Ve Sentetik Çim Zeminli Futbol Sahalarının Drenaj Tasarımları Açısından Karşılaştırılması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 27 (1), 487-502, 2022.
- Ward C.J., Sports turf drainage: A review, Journal of the Sports Turf Research Institute, 59, 9-28, 1983.
- Gezici K., Kesgin E., Ağaçcioğlu H., Hydrological Assessment of Experimental Behaviors for Different Drainage Methods in Sports Fields, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 147 (9), 04021034, 2021.
- Dixon S., Fleming P., James I., Carre M., The science and engineering of sport surfaces, Routledge, London, U.K., 2015.
- Fleming P.R., Frost M.W., Simpson M.R., Drainage Behavior of Sports Pitches- Findings from a Research Study, Loughborough, Loughborough University, 25. 2016.
- Kesgin E., Ağaçcioğlu H., Dogan A., Experimental and numerical investigation of drainage mechanisms at sports fields under simulated rainfall. Journal of Hydrology, 580, 124251, 2020.
- Young C., Fleming P.R., A review of mechanical impact testing devices for sport surfaces, In Proceedings of the 1st International Conference of Science, Technology and Research into Sports Surfaces (STARSS), Loughborough University, UK, 2007.
- Mooney S.J., Baker S.W., The effects of grass cutting height and pre-match rolling and watering on football pitch ground cover and playing quality, Journal of Turfgrass Science, 76, 70-77, 2000.
- Pessaraki M., Handbook of turfgrass management and physiology, CRC press, Florida, USA., 2007.
- Puhalla J., Krans J., Goatley M., Sports fields: A manual for design, construction and maintenance, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 1999.
- Dogan A., Ağaçcioğlu H., Basayigit L., Investigation of techniques to provide rapid and effective drainage of sports fields under various hydrologic conditions. (Report Number: 214M616), TUBITAK, Ankara, 2018.
- Kesgin E., Gezici K., Ağaçcioğlu H., Hydrological evaluation of sports field drainage, ISPEP 9th International Conference on Engineering & Natural Sciences, Ankara-Turkey, 182-191, 13 - 15 November, 2020.
- USGA Green Section Staff., USGA Recommendations for a Method of Putting Green Construction, 1993.
- Henderson J.J., Crum J.R., Wolff T.F., Rogers III, J.N., Athletic field root zone mixes: what is the best mix for your field?, In Proceedings of the 71th Annual Michigan Turfgrass Conference, Michigan-USA, 2001.
- Magni S., Volterrani M., Miele S., Soccer pitches performances as affected by construction method, sand type and turfgrass mixture, 1th International Conference on Turfgrass Management and Science for Sports Fields, Leuven-Belgium, 281-285, 2004.
- Miller D.E., Water retention and flow in layered soil profiles, Field Soil Water Regime, 5, 107-117, 1973.
- Kesgin E., Dogan A., Ağaçcioğlu H., Rainfall simulator for investigating sports field drainage processes, Measurement, 125, 360-370, 2018.
- Canaway P.M., Maximising the performance of sports turf. Doctoral dissertation, Univ. of Liverpool, Department of Environmental and Evolutionary Biology, Liverpool, 1994.
- McCarty L.B., Hubbard L.R., Quisenberry V.L., Applied soil physical properties, drainage, and irrigation strategies, Springer International Publishing, New York, USA, 2016.
- SAPCA (Sports and Play Construction Association)., The SAPCA code of practice for the design, construction and improvement of natural sports turf, Kenilworth, UK, 2010.
- Simpson M.R., Sustainable drainage of sports pitches. Doctoral dissertation, Loughborough University, Architecture, Building and Civil Engineering, Leicestershire, 2016.
- Alway F.J., McDole G.R., Relation of the water-retaining capacity of a soil to its hygroscopic coefficient, Journal of Agricultural Research, 9 (2), 27-71, 1917.
- Shelton D., Advances in Sportsturf Drainage, In 9th International Drainage Symposium held jointly with CIGR and CSBE/SCGAB Proceedings, Quebec City-Canada, 13-16 June, 2010.
- James I.T., Blackburn D.W.K., Godwin R.J., Mole drainage as an alternative to sand slitting in natural turf sports surfaces on clays, Soil Use and Management, 23 (1), 28-35, 2007.
- Moore I.D., Hirschi M.C., Barfield B.J., Kentucky rainfall simulator, Transactions of ASAE, 26 (4), 1085-1089, 1983.
- Bubbenzer G.D., Inventory of rainfall simulators, Proc. rainfall Simulator Workshop, Tucson, Az. USDA-SEA ARM-W-10, 120-131, 1979.
- Laws J.O., Parson D.A., The relationship of raindrop size to intensity, Eos, Transactions American Geophysical Union, 24 (2), 452-460, 1943.
- Morin J., Goldberg D., Seginer I., A rainfall simulator with a rotating disk, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 10(1), 74-79, 1967.
- Miller W.P., A solenoid-operated, variable intensity rainfall simulator, Soil Science Society of America Journal, 51(3), 832-834, 1987.
- Cerdà A., Rainfall drop size distribution in the Western Mediterranean basin, València Spain, Catena, 30 (2-3), 169-182, 1997.
- Abudi I., Carmi G., Berliner P., Rainfall simulator for field runoff studies, Journal of Hydrology, 454, 76-81, 2012.
- Aksoy H., Unal N.E., Cokgor S., Gedikli A., Yoon J., Koca K., Boran S.I., Eris E., Pak G., A rainfall simulator for laboratory scale assessment

- of rainfall-sediment transport processes over a two dimensional flume, *Catena*, 98, 63-72, 2012.
44. Moazed H., Bavi A., Boroomand-Nasab S., Naseri A., Albaji M., Effects of climatic and hydraulic parameters on water uniformity coefficient in solid set systems, *Journal of Applied Sciences(Faisalabad)*, 10 (16), 1792-1796, 2010.
 45. Luk S.H., Abrahams A.D., Parsons A.J., Sediment sources and sediment transport by rill flow and interrill flow on a semi-arid piedmont slope, southern Arizona, *Catena*, 20 (1-2), 93-111, 1993.
 46. Christiansen J.E., The uniformity of application of water by sprinkler systems, *Agricultural Engineering*, 22 (3), 89-92, 1941.
 47. Gilley J.E., Finkner S.C., Estimating Soil Detachment Caused by Raindrop Impact, *Trans. ASAE*, 28 (1), 140-146, 1985.
 48. Van Dijk, A I.J.M., Bruijnzeel, L.A., Rosewell, C.J., Rainfall intensity-kinetic energy relationships: A critical literature appraisal, *Journal of Hydrology*, 261 (1), 1-23, 2002.