



## SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL DRENAJ SİSTEMLERİNDE YAĞMUR HENDEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Uğur ÜNAL<sup>1</sup>, Dilek Eren AKYÜZ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Avcılar, İstanbul

\*[dilek.akyuz@istanbul.edu.tr](mailto:dilek.akyuz@istanbul.edu.tr)

### Makale Bilgisi

Geliş tarihi:22.08.2017  
Kabul Tarihi:17.12.2017  
Yayın tarihi:31.12.2017

Anahtar Kelimeler;  
Yağmur hendeki,  
sürdürülebilir kentsel  
drenaj sistemleri,  
geleneksel sistemler,  
sürdürülebilir tarım.

### ÖZET

Ülkemizde artan nüfus ve su talebi kullanılabilir su kaynaklarımızın kısıtlı olması sebebi ile kişi başına düşen su miktarını önemli derecede azaltmaktadır. Bu sebeple su kaynaklarımızı korumak ve onlardan optimum şekilde yararlanmak için suyun sürdürülebilirliği önemlidir. Genellikle geçirimsiz yüzeylerin fazla olduğu kentsel alanlarda yağıştan daha fazla yararlanmak ve geçirimsizliği arttırmak gerekir. Bunun çözümü sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerinin (SKDS) kullanılmasıdır. Yağmur hendekleri yağmur suyunu depolayarak yeraltına sızdıran böylece yeraltı su kaynaklarını besleyen çevre dostu bir SKDS uygulamasıdır. Aynı zamanda bu hendekler su kalitesinin ve bioçeşitliliğin artmasına da katkı sağlar. Yapılan literatür çalışması sonucunda; kuru yağmur hendeklerinin yerleşim yerlerinde, ıslak yağmur hendeklerinin ise kırsal bölgelerde kullanımı tercih edilmelidir. Yağmur hendekleri, trapez veya parabolik en kesitli ve %1 ile %4 arasındaki boyuna eğimlerde inşa edilmelidir. Bu çalışmada yağmur hendeklerinin tipleri, avantaj ve dezavantajları, performansları, dünyadaki ve ülkemizdeki uygulamaları açıklanarak bu hendeklerin ülkemizdeki kullanımlarının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Islak ve kuru yağmur hendekleri ile geleneksel yağmur suyu drenaj sistemleri karşılaştırılmış ve bu karşılaştırmada yağmur hendeklerinin geleneksel yağmur suyu drenaj sistemlerine kıyasla çok büyük faydalarının olduğu görülmüştür. Bu sebeple yağmur hendeklerinin geleneksel sistemlerle birlikte veya tek başına yaygın olarak kullanılması önerilmektedir.

## ASSESSMENT OF SWALES IN SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEMS

### Article Info

Received: 22.08.2017  
Accepted: 17.12.2017  
Published: 31.12.2017

Keywords; Swale,  
sustainable urban drainage  
systems, traditional  
systems, sustainable  
agriculture

### ABSTRACT

Increasing population and water demand in our country significantly reduces the amount of water per capita due to the limited availability of available water resources. For this reason, water sustainability is important to protect our water resources and to get optimum use of them. In urban areas, where there are more often impervious surfaces, it is necessary to make more use of rainfall and increase permeability. The solution is to use sustainable urban drainage systems (SKDS) Swales are an environmentally friendly SKDS application that infiltrate to groundwater by storing rainwater and thus feeds groundwater sources. At the same time, swales contribute to increasing water quality and biodiversity. As a result of literature study; dry swales should be used in settlements and wet swales in rural areas. In order to obtain maximum benefit from the swales, its longitudinal slopes should be between 1% and 4%. Also swales should be built as trapezoidal or parabolic cross-sections. In this study, the types, advantages and disadvantages of swales, their performances and applications in world and our country are explained and aimed to spread the usage of swales in our country. Wet and dry swales were compared to traditional rainwater drainage systems. In this comparison, it has been observed that the swales have very large advantages according to the traditional rainwater drainage systems. For this reason, it is proposed that the swales should be used widely spread together with or without traditional systems..

## 1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde meydana gelen nüfus artışının sonucu olarak şehirleşme oranı hızla artmakta bu da kentsel alanların geçirimsizlik yüzdelерinin artmasına neden olmaktadır. Artan bu geçirimsiz yüzeyler yağışın yeteri kadar sızamamasına ve daha fazla yüzeysel akışa geçmesine dolayısıyla taşkın olaylarının sıklığında ve suyun kirlilik derecesinde artışa sebep olmaktadır (Butler ve Davis, 2004). Bu sorunlara Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SKDS) yani yeşil altyapı sistemleri ile çözüm üretilebilir. SKDS yağışın daha fazla yeraltına sızmasına yardımcı olurken aynı zamanda yağışın geçirimsiz yüzeylerde daha az dolaşmasını sağlayarak kirlenmesini önlemekte ve üzerindeki bitki örtüsü gibi kaplama malzemeleri yardımıyla yüzeysel akış hızını yavaşlatmakta ve suyu arıtmaktadır (CASQA, 2003; Luell ve ark., 2011; Lucke ve ark., 2014; Xie ve ark., 2017).

Yağmur hendekleri yağmur suyundan daha fazla yararlanmayı amaçlayan SKDS'den biridir (Revitt ve ark., 2017). Bu hendekler daha fazla yağışın yeraltına sızarak yeraltı su seviyesinin artmasına, üzerindeki bitki örtüsü ile yağmur suyunun arıtılmasına, bioçeşitliliğin artmasına, sulama suyuna duyulan ihtiyacın azaltılmasına, yüzeysel akış hızının yavaşlatılmasıyla erozyonun önlenmesine, yol kaplamasındaki yağmur suyunu toplayarak yollarda sürüş güvenliğinin artırılmasına ve taşkın debisini azaltarak taşkın olaylarının daha az ve düşük şiddetli yaşanmasına katkı sağlamaktadır (ARC, 1992; BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b; CASQA, 2003; WSUD, 2006; WSUD, 2010; BMP Boston, 2013). Ayrıca yağmur hendeklerinin üst yüzeylerindeki bitki örtüsü ve doğal taşların kentsel alanların estetik değerini artırması, ekonomik (Xu ve ark., 2017) ve uygulamasının kolay bir yöntem olması sebebiyle bu hendeklerin yurtdışında yaygın şekilde kullanımı tavsiye edilmektedir (CWP, 1998). Tipik bir yağmur hendeğinin genel görünüşü Şekil 1'de verilmektedir.

Yağmur hendekleri ile günümüzde kentsel alanlarda yaygın şekilde kullanılan geleneksel yağmur suyu drenaj sistemlerinin taşkın kontrolü, su kalitesi ve yeraltı su kaynaklarını besleme gibi sürdürülebilirlik bakımından yetersiz olan özelliklerine katkı sağlanabilir. Bu sebeple yağmur hendeklerinin özellikle kentsel alanlarda tek başına veya diğer yeşil altyapı uygulamaları ile birlikte

kullanılması kentsel bölgelerin çevresel sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir.



Şekil 1. Yağmur hendeğinin genel görünüşü.

Yağmur hendekleri gibi yeşil altyapının kentsel bölgelere sağladığı faydaları değerlendirmek üzere Mao ve arkadaşlarının (2017) Çin Foshan'da yaptıkları çalışma örnek verilebilir. Bu çalışmada inşa edilen yeni şehrin altyapısı SUSTAIN modeli kullanılarak modellenmiş ve yeşil altyapının normal duruma göre yağmur suyundan oluşan yüzeysel akışı %40 ve tüm kirletici maddeleri de %60'ın üzerinde azalttığı görülmüştür (Mao ve ark., 2017).

Bu çalışma kapsamında yağmur hendeklerinin tipleri, avantajları ve dezavantajları, performansları, dünyadaki ve ülkemizdeki uygulamaları detaylı bir şekilde literatür araştırması yapılarak açıklanmıştır. Yağmur hendekleri; sulama suyuna olan katkısı ile sürdürülebilir tarıma, yağmur suyunu arıtma ve taşkın riskini azaltma özellikleri ile sürdürülebilir şehirleşmeye, ekonomik olmaları sebebiyle de sürdürülebilir kalkınmaya önemli şekilde katkı sağlamaktadır. Bu nedenle yağmur hendeklerinin ülkemizdeki kullanımlarının kentsel ve kırsal bölgelerde yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmayla yağmur hendeklerinin detaylı bir şekilde tanıtılması hedeflenmiştir.

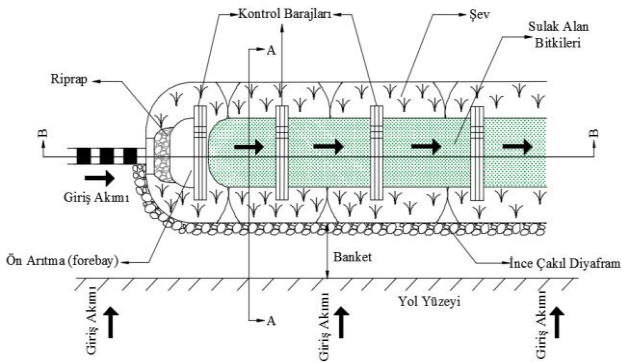
## 2. Yağmur hendeklerinin tipleri

Yağmur hendekleri yüzeylerinin ıslak veya kuru olması durumuna göre iki şekilde inşa edilmektedir.

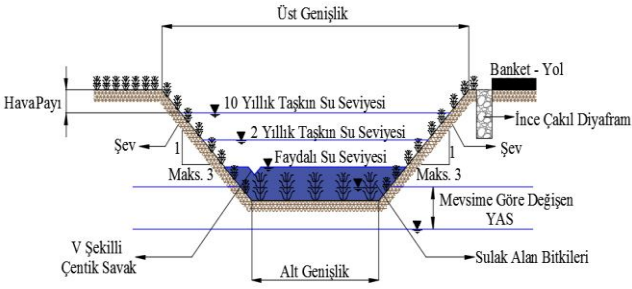
### 2.1. Islak yağmur hendekleri

Islak yağmur hendekleri yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu ve altında geçirimsiz veya bozulmamış zemin tabakasının bulunduğu bölgelere

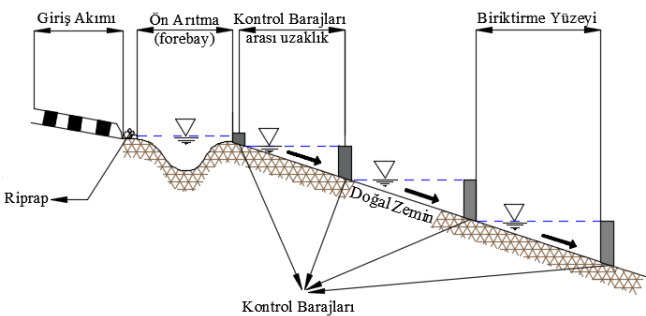
inşa edilir. (BMP Minnesota, 2001a; Revitt ve ark., 2017). Bu yağmur hendekleri genellikle üçgen trapez veya parabolik en kesitlerde inşa edilmekle beraber daha çok trapez veya parabolik en kesitli olanları tercih edilmektedir (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b). Bunun sebebi trapez ve parabolik en kesitli yağmur hendeklerinde suyla temas eden ıslak çevrenin artması sonucu arıtılan su miktarının artmasıdır. Yağmur hendeklerinde arıtılan su miktarı, bitki örtüsüyle temas eden su yüzeyine bağlı olarak değişmektedir. Trapez bir yağmur hendeğinin planı, en kesiti ve boy kesiti sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'te verilmektedir.



**Şekil 2.** Islak yağmur hendeği planı (CWP 1999'dan uyarlanmıştır).



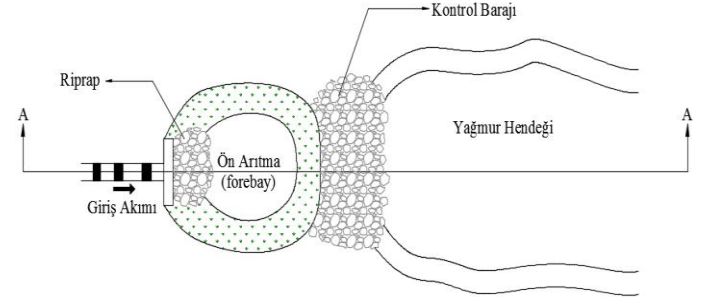
**Şekil 3.** Trapez en kesitli ıslak yağmur hendeği (A-A kesiti; CWP 1999'dan uyarlanmıştır).



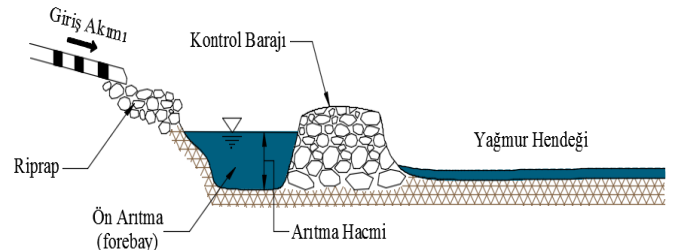
**Şekil 4.** Islak yağmur hendeği boykesiti (B-B kesiti; CWP 1999'dan uyarlanmıştır).

Yağmur hendekleri giriş akımlarının önüne yerleştirilen riprap ve ince çakıl diyaframlarla yüzeysel akışın yavaşlatılmasını sağlamaktadır. Bu sayede hendek tabanının ve hendek içinde biriktirilen sedimentin oyulması önlenir. Riprap

yapısı ile kontrol barajı arasında ön arıtma işlevini gerçekleştirmek için forebay yapısı inşa edilir (BMP Boston, 2013). Bu yapı yağmur suyu ile taşınan iri taneli sedimentin arıtılmasını sağlar. Buradan kontrol barajını aşarak yağmur hendeğine giren yağmur suyundaki ince taneli sedimentin uzaklaştırılması sağlanır. Riprap ve forebay yapılarının planı ve en kesiti sırasıyla Şekil 5 ve 6'da verilmektedir.



**Şekil 5.** Riprap ve forebay planı (VANR 2002'den uyarlanmıştır).



**Şekil 6.** Riprap ve forebay en kesiti (A-A kesiti; VANR 2002'den uyarlanmıştır).

### 2.1.1. Islak yağmur hendeklerinin avantajları ve dezavantajları

Islak yağmur hendekleri içinde bulunan kalıcı su kütlelerinden dolayı sulak alan olarak işlev görmektedir (Tang ve ark., 2016). Hendek içindeki bitki örtüsü ve sulak alan ekolojik bir ortam oluşmasını sağlayarak bioçeşitliliğin artmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca hendek içindeki doğal taşlar ve bitkilerle de peyzajı desteklemektedir (BMP Minnesota, 2001a; CASQA, 2003; WSUD, 2010; BMP Boston, 2013).

Yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olması ve yeraltına sızma miktarının tabanında bulunan geçirimsiz, bozulmamış zemin tabakasından dolayı az olması sebebiyle daima ıslak olan bu yağmur hendeği; bataklık, koku, güvenlik problemleri ve sivrisinek üremesi gibi nedenlerle yerleşim bölgelerinde tercih edilmemektedir. Islak yağmur hendekleri daha çok yerleşim yerlerinin uzağına bioçeşitliliğin ve su kalitesinin artırılması amacıyla inşa edilir (BMP Minnesota, 2001a). Bu yağmur hendeğinin bir başka dezavantajı ise; şiddetli taşkın

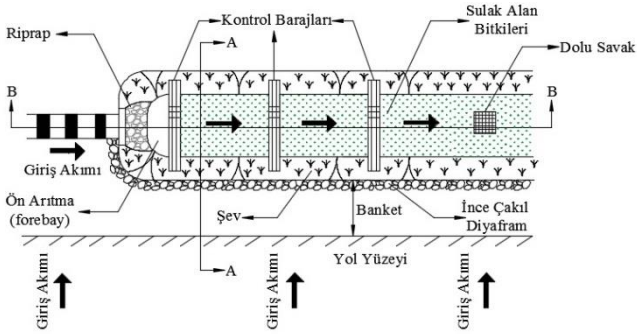
olayları sırasında hendek tabanının yüksek hızdaki akım sebebi ile aşınmasıdır. Hendek tabanının aşınması arıtma performansını düşürmektedir. Ayrıca bu yağmur hendeklerinin yüzeylerinin her zaman ıslak olması sebebiyle bakımları (biçme faaliyeti) kuru yağmur hendeklerine göre daha zordur (BMP Minnesota, 2001a).

## 2.2. Kuru yağmur hendekleri

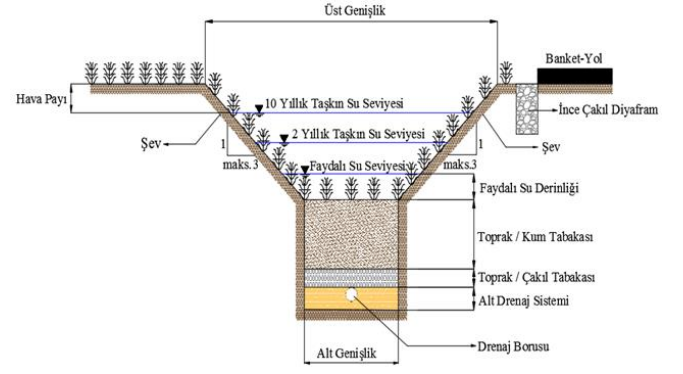
Kuru yağmur hendekleri yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olmadığı, suya doymun olmayan zeminlerde inşa edilmektedir. Bu yağmur hendeklerinin altında ıslak yağmur hendeklerinden farklı olarak geçirimli bir zemin tabakası, çakıl ve delikli drenaj borusundan oluşan alt drenaj sistemi bulunmaktadır (CWP, 1999; Revitt ve ark., 2017).

Alt drenaj sistemi sayesinde, kuru yağmur hendekleri daha fazla yağışın yeraltına sızmasına yardımcı olur ve hendek tabanının sürekli ıslak kalması engellenir. Yüzeyleri daima kuru olduğundan dolayı bu tür yağmur hendekleri; yerleşim bölgelerinde, parklarda, otoparklarda, yol kenarlarında, orta refüjde, konutların çevresinde, alışveriş merkezleri ve okul bahçelerinde, sanayi ve ticaret bölgelerinde sıklıkla kullanılmaktadır (WSUD, 2010; BMP Boston, 2013).

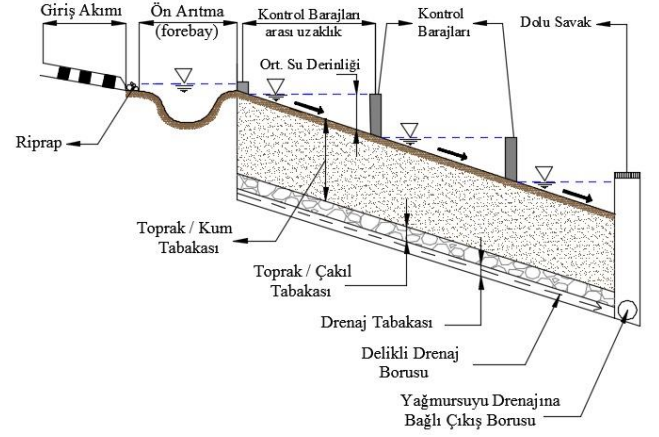
Trapez en kesitli kuru bir yağmur hendeğinin planı, en kesiti ve boykesiti sırasıyla Şekil 7, 8 ve 9'da verilmiştir. Ayrıca kuru yağmur hendekleri parabolik ve üçgen en kesitlerde de inşa edilebilmektedir. Bu en kesitler Şekil 10 ve 11'de verilmektedir.



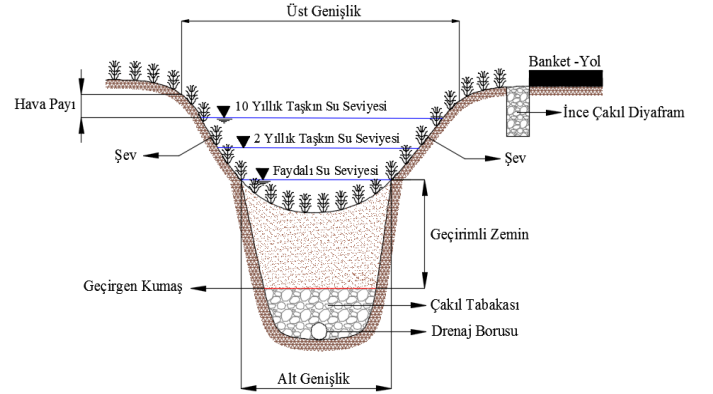
Şekil 7. Kuru yağmur hendeği planı (CWP 1999'dan uyarlanmıştır).



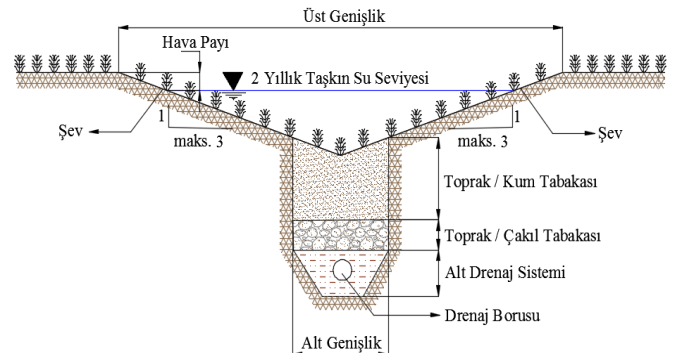
Şekil 8. Trapez en kesitli kuru yağmur hendeği (A-A kesiti; MDE ve CWP 2000'den uyarlanmıştır).



Şekil 9. Kuru yağmur hendeği boykesiti (B-B kesiti; MDE ve CWP 2000'den uyarlanmıştır).



Şekil 10. Parabolik en kesitli kuru yağmur hendeği (CWP 1999'dan uyarlanmıştır).



**Şekil 11.** Üçgen en kesitli kuru yağmur hendeği (UDFCD 2010'dan uyarlanmıştır).

Üçgen en kesitli kuru yağmur hendekleri 2 yıllık taşkın debisini taşımak için kullanılırken trapez ve parabolik en kesitli kuru yağmur hendekleri 10 yıllık taşkın debisini taşımak için kullanılmaktadır (BMP Minnesota, 2001b). Bunun yanında, yağmur hendekleri 50 ve 100 yıllık taşkın debisini de gerektiğinde güvenli şekilde aktarabilme özelliğine sahip olmalıdır. Islak yağmur hendeklerinde olduğu gibi kuru yağmur hendeklerinde de bitki örtüsüyle daha fazla temas eden yüzeye sahip olduklarından trapez ve parabolik en kesitler daha fazla tercih edilmektedir.

### 2.2.1. Kuru yağmur hendeklerinin avantajları ve dezavantajları

Geniş bir kullanım alanına sahip olan kuru yağmur hendeklerinin avantajları aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır (BMP Minnesota, 2001b; CASQA, 2003; WSUD, 2010; BMP Boston, 2013).

- Hendek tabanında oluşturulan drenaj sistemi (geçirimli zemin, çakıl tabakası ve delikli drenaj borusu) ile daha fazla suyun yeraltına sızmasına ve böylece yeraltı suyunun beslenmesine yardımcı olur,
- Üzerinde bulunan yoğun bitki örtüsü ile ıslak yağmur hendeklerine göre daha fazla suyunu arıtır,
- Yerleşim bölgelerine kolaylıkla uygulanabilir,
- Yol yüzeyindeki yağmur suyunu toplayarak sürüş güvenliğinin artmasına katkıda bulunur,
- Hendek içinde kalıcı bir su kütlesi bulunmadığından biçme ve diğer bakım faaliyetleri daha kolay yapılır, dolayısıyla bakımları daha ekonomiktir.

Kuru yağmur hendeklerinin dezavantajları ise;

- Topografyanın çok düz veya çok dik olduğu ve bitki örtüsünün seyrek olduğu bölgelerde yapılan kuru yağmur hendeklerinin arıtma performansı düşüktür,
- Yol kenarlarına ve otoparklara yapılan hendekler arabaların hareketleri veya park etmeleri sırasında zarar görebilir,
- Bağlantı yollarının birbirleriyle kesişmesinin fazla olduğu yerlerde yağmur hendeklerini birbirine bağlayan menfezlerde tıkanmalar olabilmektedir (BMP Minnesota, 2001b;

CASQA, 2003; WSUD, 2010; BMP Boston, 2013).

### 3. Yağmur hendeklerinin performansı

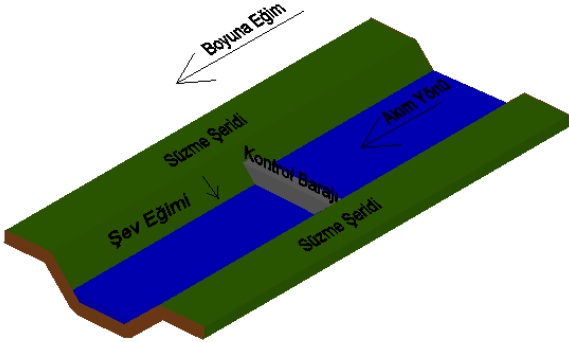
Yağmur hendeklerinin performansı; hendeğin yağmur suyunda bulunan kirletici maddeleri uzaklaştırma verimliliğine ve yeraltı suyunu besleme miktarına göre belirlenmektedir. Sürdürülebilirlik açısından yağmur hendeklerinin performansı maksimum seviyede olmalıdır. Genel olarak; yağmur hendeğinin şekli, hendeğin boyuna ve enine (şev) eğimi, bitki örtüsünün yoğunluğu ve yüksekliği, hendeğin uzunluğu, hendek altında bulunan zeminin geçirimsizlik durumu, hendek içinde depolanan su derinliği, kontrol barajlarının sayısı ve büyüklüğü, hendek içindeki suyun kalış süresi ve hendeğin maruz kaldığı taşkınların özellikleri yağmur hendeğinin performansını etkilemektedir (ARC, 1992; CASQA, 2003).

Genellikle düşük boyuna eğime sahip, trapez veya parabolik en kesitli, kontrol barajlarının fazla olduğu, yoğun ve yüksek bitki örtüsüne sahip, altında geçirgen bir zemin tabakası bulunan, akım hızları düşük ve hendek uzunluğu fazla olan yağmur hendekleri yüksek performansa sahiptir. Tam tersi; dik boyuna eğime sahip, üçgen en kesitli, kontrol barajlarının hiç olmadığı ya da sayıca az olduğu, su derinliğinden daha düşük boylu ve seyrek bitki örtüsünün bulunduğu, altında sıkıştırılmış veya donmuş zemin tabakası bulunan, yüksek hızlı akımlara sahip, çok sık taşkın olaylarının yaşandığı bölgelere inşa edilen yağmur hendekleri düşük performansa sahiptir (ARC, 1992).

Performansı belirleyen en önemli faktör eğimdir. Eğim, boyuna ve şev eğimi olmak üzere iki şekilde hendeğin performansını etkilemektedir. Boyuna eğim, hendeğin başı ve sonu arasındaki kot farkının hendeğin uzunluğuna bölünmesiyle bulunan değerdir. Boyuna eğimin; %1 ile %4 arasında en iyi performansı gösterdiği yapılan araştırmalar sonucunda tespit edilmiştir (WSUD, 2006). %4'ün üzerinde boyuna eğime sahip yağmur hendeklerinde, hendeğin boyuna eğiminin etkisini azaltmak için hendek içine kontrol barajları inşa edilmelidir (BMP Minnesota, 2001b). Kontrol barajları hendek içindeki yağmur suyunun akış hızını yavaşlatarak yağmur suyunda bulunan kirletici maddelerin uzaklaştırılmasına yardımcı olur. Ayrıca bu barajlar yüksek hızdaki akımlardan dolayı hendek tabanının oyulmasını da engeller (WSUD, 2006). Yağmur hendeğinde bulunan kontrol barajlarının sayısı da performans üzerinde

etkilidir. Kontrol barajlarının sayıca fazla olduğu hendeklerde yağmur suyu iki baraj arasında biriktirilerek daha fazla yağmur suyunun sızdırılması ve arıtılması sağlanır. Kontrol barajları su tutma kapasiteleri dikkate alınarak 0.1m (4 inç) ile 0.3 m (12 inç) arasındaki yüksekliklerde inşa edilmelidir (TDEC, 2014). %1'in altında boyuna eğime yağmur hendeklerinde ise hendek yüzeyindeki göllenmeleri engellemek ve sızma miktarını arttırmak için hendek tabanına alt drenaj sistemi yerleştirilmelidir.

Yağmur hendeğinin şev eğimi ise hendeğin yamaç kısımlarının eğimidir. Şev eğimi belirlenirken hendeğin arıtma performansı ve yağmur suyunu taşıma kapasitesi dikkate alınır. Yağmur hendeklerinde şev eğiminin az seçilmesi, bitki örtüsüyle daha fazla temas eden yüzey anlamına geldiğinden hendeğin arıtma performansını artırırken toplam derinliği azalttığı için hendeğin taşıma kapasitesini düşürmektedir. Şev eğiminin çok fazla seçilmesi ise hendeğin daha az bitki örtüsüyle temas eden yüzeye sahip olacağı anlamına geldiğinden hendeğin arıtma performansı azalır, toplam derinlik artacağından dolayı da taşıma kapasitesi artar. Yağmur hendeklerinden tam olarak yararlanmak için bu iki parametrenin optimum seviyelerde tutulması gerekmektedir. Şev eğiminin 1:3 (dikey: yatay) ile 1:10 arasında olduğu durumlarda yağmur hendekleri en iyi performansı göstermektedir (WSUD, 2006). Tipik bir yağmur hendeği için boyuna eğim, şev eğimi ve kontrol barajının durumu Şekil 12'de verilmektedir.



**Şekil 12.** Trapez en kesitli yağmur hendeğinde boyuna eğim ve şev eğimi.

Yağmur hendeklerinin en kesit tipi de hendeğin performansını etkilemektedir. Bitki örtüsüyle temas eden daha fazla yüzeye sahip oldukları için trapez ve parabolik en kesitli yağmur hendeklerinin performansı, üçgen en kesitli yağmur hendeklerine göre daha yüksektir (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b).

Hendeğin performansını etkileyen önemli faktörlerden bir diğeri ise hendek içinde bulunan bitki örtüsünün yoğunluğu ve yüksekliğidir. Bitki örtüsünün yoğunluğu ve yüksekliğinin hendek içinde bulunan su derinliğinden fazla olması ile yağmur suyunda bulunan kirletici maddelerin bitkiler tarafından tutulması ve uzaklaştırılması kolaylaşır, böylece hendeğin arıtma performansı artar (ARC, 1992). Seyrek ve su derinliğinden daha az yüksekliğe sahip bitki örtüsü ise hendek içindeki akımdan dolayı düzleşir ve yağmur suyundaki kirletici maddeleri yeterince tutadığından hendeğin arıtma performansı azalır. Hendek içinde bulunan bitki örtüsü yüksekliğinin 15 cm (6 inç) civarında olması iyi bir arıtma performansı açısından gereklidir (CASQA, 2003). Ayrıca hendek içindeki bitki örtüsünün su akımlarına karşı dayanıklı olması ve uzun süre su içinde çürümeden kalabilmesi tavsiye edilmektedir (BMP Minnesota, 2001a).

Yağmur hendeklerinin altında bulunan zemin tabakasının geçirimsizliği de yağmur hendeklerinin performansını etkilemektedir. Yüksek geçirimsizlik özelliğine sahip zeminler yağmur hendeğinin performansını artırırken düşük geçirimsizlik özelliğine sahip donmuş veya sıkıştırılmış zeminler performansı azaltmaktadır (ARC, 1992). Kuru yağmur hendeklerinin altında bulunan geçirimli zemin tabakası bu yağmur hendeğinin ıslak yağmur hendeğine göre daha iyi bir sızma ve arıtma performansına sahip olduğunu göstermektedir.

Yağmur hendeğindeki akım hızının hendeğin performansı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Akım hızı yüksek olan hendeklerde yağmursuyu hendek içinde yeterli süre kalamadığından sızma ve arıtma performansı düşmektedir. Ayrıca hendek tabanında yüksek akım hızından dolayı oyulmalar meydana gelmektedir (ARC, 1992; WSUD, 2006; BMP Boston, 2013).

Yağmur hendeklerinin uzunluğu da performansı etkileyen faktörlerdendir. Hendek uzunluğu arttıkça yağmursuyu hendek içinde daha fazla dolaşacak ve bitki örtüsüyle daha fazla temas halinde olacaktır. Bitki örtüsüyle temasın artması yağmur suyundaki kirleticilerin uzaklaştırılmasını kolaylaştırdığından hendeğin arıtma performansını arttırmaktadır (Zhao ve ark., 2016).

Yağmur hendeklerinin devamlılığını sağlamak ve performanslarını arttırmak için bakımlarının periyodik olarak yapılması gerekir. Bir yağmur

hedeğinin bakımı; bitki örtüsünü biçme, hendek içindeki çöp ve döküntü malzemelerini temizleme, sulama, hendek şeklini ve eğimini kontrol etme, biriken sedimenti uzaklaştırma, tohum ekme ve bitkilendirme işlemlerinden oluşur (CASQA, 2003). Yağmur hendeği bakımının rahat bir şekilde yapılabilmesi için hendek eğimi çok dik olmamalıdır. Dik eğimli yağmur hendeklerinde biçme faaliyeti için yeterli alan bulunmadığından bu tür yağmur hendeklerini uygulamak pratik değildir. Bakım faaliyetleri açısından trapez ve parabolik en kesitli yağmur hendeklerinin tercih edilmesi önerilmektedir.

Kuru ve ıslak yağmur hendeklerinin kirletici maddeleri uzaklaştırma performansı üzerine yapılan literatür araştırmasının bir özeti Tablo 1’de verilmektedir.

**Tablo 1.** Yağmur hendeği tipine göre kirletici maddelerin arıtılma oranları (%).

Çalışma	TSS	TP	TN	NO <sub>3</sub>	Metaller	Tipi
Caltrans, 2004	76	-	67	65	82 - 89	Kuru
Wang ve ark., 1981	80	-	-	-	70 - 80	Kuru
Dorman ve ark., 1989	98	18	-	45	37 - 81	Kuru
Harper, 1988	87	83	84	80	88 - 90	Kuru
Kercher ve ark., 1983	99	99	99	99	99	Kuru
Harper, 1988	81	17	40	52	37 - 69	Islak
Koon, 1995	67	39	-	9	(-35) - 6	Islak

TSS: Toplam askıda katı madde, TP: Toplam fosfor, TN: Toplam azot, NO<sub>3</sub>: Nitrat

#### 4. Yağmur hendeklerinin geleneksel yağmur suyu drenaj sistemleri ile karşılaştırılması

Kuru ve ıslak yağmur hendeklerinin geleneksel yağmur suyu drenaj sistemleriyle kıyaslanması ve bu hendeklerin avantajları Tablo 2’de özetlenmektedir.

Tablo 2 incelendiğinde; yağmur hendeklerinin (kuru ve ıslak yağmur hendekleri) faydaları ve geleneksel yağmur suyu drenaj sistemlerine göre üstünlükleri açık şekilde görülmektedir. Bu yüzden şimdilik ülkemizde sadece permakültür uygulaması olarak tarımsal bölgelerde inşa edilen yağmur hendeklerinin şehirlerimizde de yeşil altyapı çalışmaları kapsamında yaygınlaştırılmasının sürdürülebilirliğe önemli katkıları olacaktır. Bu sebeple özellikle yerleşim yerlerinde ve yol kenarlarında geleneksel sistemlerin hidrolik yükünü azaltma amacıyla yağmur hendeği gibi sürdürülebilir sistemler, geleneksel sistemlere dahil edilmeli (Hengen ve ark., 2016) veya mümkün olan yerlerde geleneksel sistemler yerine sürdürülebilir

sistemler tek başına kullanılmalıdır. Ayrıca bu hendeklerin diğer yeşil altyapı uygulamaları (yeşil çatı, geçirimsiz kaldırım, yağmur bahçeleri, sızdırma hendekleri) ile birlikte kullanılması hendek performansının artması açısından da önemlidir.

**Tablo 2.** Yağmur hendeklerinin geleneksel yağmur suyu drenaj sistemleri ile karşılaştırılması.

Özellikleri	A	B	C
Yüzeysel akışı toplama	✓	✓	✓
Yüzeysel akışı taşıma	✓	✓	✓
Yüzeysel akışı depolama	✓	✓	-
Toplam yüzeysel akış miktarını azaltma	✓	✓	-
Yüzeysel akışı yavaşlatma	✓	✓	-
Yerleşim bölgelerinde kullanım	✓	-	✓
Yerleşim bölgelerinin dışında kullanım	✓	✓	✓
Sızma ve yeraltı su kaynaklarını besleme	✓	+	-
Su kalitesini arıtma	✓	✓	-
Taşkın pik debisini geciktirme ve azaltma	✓	✓	-
Erozyonu önleme	✓	✓	-
Bioçeşitliliği artırma ve koruma	✓	✓	-
Tarımsal sulama suyu ihtiyacını azaltma	✓	+	-
Ekonomik olma	✓	✓	-
Yollarda sürüş güvenliğini artırma	✓	✓	✓
Bakımlarının kolay olması	✓	-	✓
İklim değişikliğine uyum sağlama ve azaltma	✓	✓	-
Bulunduğu yere estetik değer katma	✓	✓	-
Yeşil altyapı oluşturma	✓	✓	-
Sürdürülebilirliğe katkı sağlama	✓	✓	-
Pik sıcaklıkları azaltma	✓	✓	-
Ekolojik hayata katkı sağlama	✓	✓	-
Doğal gübre oluşumunu destekleme	✓	✓	-
Güvenlik ve koku problemi ile sivrisinek üremesi için ortam oluşturma	-	✓	-

A: Kuru Yağmur Hendeği, B: Islak Yağmur Hendeği, C: Geleneksel Yağmur Suyu Drenaj Sistemleri (Borulu Altyapı Sistemleri ve Beton Kanallar)

✓ : Etkisi Var; + : Etkisi Kısmen Var; - : Etkisi Yok.

#### 5. Dünyada ve ülkemizde yağmur hendeği uygulamaları

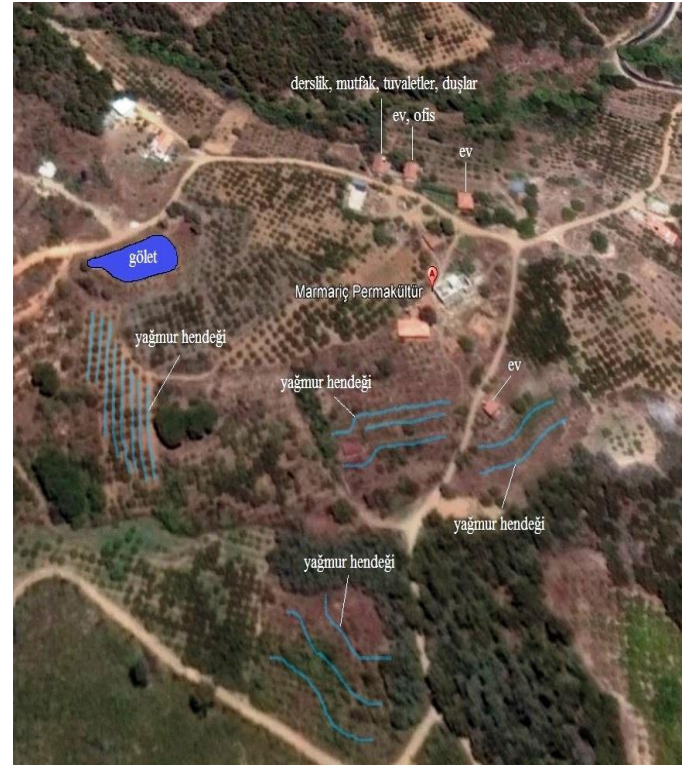
Yağmur hendekleri ilk olarak permakültür kavramıyla birlikte yağmur suyundan daha fazla yararlanma amacıyla ortaya çıkmıştır. Permakültür kavramı ise 1974’te Tazmanya ve Avustralya’da Bill Mollison ve öğrencisi David Holmgren tarafından başlatılmış bir olgudur (Mollison, 1988). Permakültür; yeni bir çiftçilik anlayışıdır, temelinde sürdürülebilirlik ve çevreyi minimum olumsuz etkileme yatmaktadır. Bunun için yapılacak işlerde hayvanların kendileri ve mümkün mertebe doğada bulunan maddelerden yararlanılmaya çalışılmaktadır. Bu kurallar altında, hem tarımsal hem de hayvansal üretimde organik üretim yapılırken verimliliğin de maksimum olması hedeflenir.

Yağmur hendekleri; İngiltere’de Sürdürülebilir Kentsel Drenaj Sistemleri (SKDS), Avustralya’da Suya Duyarlı Kent Tasarımı (SDKT), Amerika’da ise En İyi Yönetim Uygulamaları (EİYU) ve Düşük Etkili Gelişim (DEG) isimleri altında yeşil altyapının bir parçası olarak dünyada hem kentsel hem de tarımsal bölgelerde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Müftüoğlu ve Perçin, 2015). Farklı şekillerde isimlendirilseler de bu sistemlerin hepsi aynı amaca hizmet etmektedir. Uygulamaların temelinde artan geçirimsiz yüzeylerin olumsuz etkisini azaltmak ve yağmur suyundan daha fazla yararlanmak bulunmaktadır. Yağmur hendekleri yurtdışında daha çok yol kenarlarında ve yerleşim bölgelerinde kullanılmaktadır. Hendekler; bu bölgelerin su kalitesi, sızma, sel ve taşkın olayları üzerindeki negatif etkisini azaltma ve bölgeye estetik değer katma amacıyla inşa edilmektedir.

Ülkemizde ise yağmur hendeklerinin önemi yeni yeni anlaşılmaya başlandığı için uygulama alanları daha kısıtlıdır. Bu hendekler ülkemizde genellikle su hasadı amacıyla tarımsal bölgelerde kullanılmaktadır. Yağmur hendeklerinin ülkemizdeki kısıtlı uygulama alanları; Marmariç, Belentepe, Kızıltepe permakültür çiftlikleri; Bostancık ve Tahtacıörencik köyleridir (URL-1; URL-2). Yağmur hendeklerinin ülkemizdeki kullanımlarını yaygınlaştırmak ve bu hendeklerden sürdürülebilirlik amacıyla daha fazla yararlanmak için bu hendeklerin kentsel bölgelerdeki kullanımları yaygınlaştırılmalıdır. Böylece şehirleşmenin sebep olduğu olumsuzların etkisi azaltılabilecektir.

Permakültür uygulamaları kapsamında; Marmariç Ekolojik Yaşam Derneği tarafından İzmir’in Bayındır ilçesine bağlı Dernekli köyü Marmariç bölgesinde yapılmış olan yağmur hendekleri, sürdürülebilir bir yerleşim alanı oluşturmak amacıyla inşa edilmiştir (URL-3). Google Earth üzerine planın işlenmesi ile elde edilen Marmariç köyünün durum planı Şekil 13’te verilmektedir.

Bu projeye yağış rejimini düzenleme, yeraltı su seviyesini arttırma, sulama için kullanılan enerjiden tasarruf etme, erozyonu önleme, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini bertaraf etme, ürün çeşitliliğini arttırma, gübre ve zirai ilaç kullanımını azaltma, bioçeşitliliği ve sürdürülebilir tarım için toprak nemliliğini arttırma gibi amaçlara yönelik olarak yağmur hendeği ve diğer permakültür uygulamalarıyla çözüm aranmaktadır (URL-3).



Şekil 13. Marmariç köyü durum planı (URL-3 ve Google Earth).

Marmariç projesinde; arazi üzerinde akıp giden yüzey sularını tutularak bu suların yeraltına sızmasını sağlayan eş yükselti eğrilerine paralel olarak kazılmış toplam 900 m uzunluğunda yağmur hendeği, yüzey sularının biriktirilmesini ve daha sonra kurak dönemlerde kullanılmasını sağlayan 4.5 m yüksekliğe, 75 m uzunluğa ve 900 bin litre su tutma kapasitesine sahip gölet ve gıda ormanları yer almaktadır (URL-3). Gıda ormanları; yağmur hendekleri ile göletlerin kazılması sonucu ortaya çıkan topraklar ile oluşturulmaktadır. Projedeki yağmur hendeklerinin yeraltı su seviyesini arttıracağı, kurak dönemlerde sulama suyuna olan ihtiyacı azaltacağı, yüzey toprağının kaybını önleyeceği ve ürün çeşitliliği ile bioçeşitliliğin artmasına katkı sağlayacağı için sürdürülebilirlik açısından önemlidir (URL-3). Ayrıca bu katkılar gıda ormanlarından elde edilen verimi arttıracaktır.

## 6. Tartışma ve Sonuç

Sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri geleneksel yağmur suyu drenaj sistemlerinin aksine yağmur suyundan mümkün olduğu kadar fazla yararlanmayı hedefler. Bu sistemler geleneksel sistemlerde olduğu gibi suyun bir an önce iletilmesinden ziyade, yeraltına sızarak yeraltı su kaynaklarının beslenmesine ve su kalitesinin arttırılmasına yardımcı olur. Yağmur hendekleri kentsel bölgelerde sıkça kullanılan SKDS’den biridir ve su kaynaklarımızın sürdürülebilir bir şekilde



kullanılmasına imkân tanır. Bu hendekler ve diğer SKDS uygulamaları ile şehirleşmeden kaynaklanan olumsuzluklar azaltılarak suya duyarlı yeşil kentler tasarlanabilir.

Şehirleşmenin sebep olduğu başlıca olumsuzluklar su kalitesinin azalması, taşkın olaylarının artması ve yeraltı su kaynaklarının yeterince beslenememesi olarak sıralanabilir. Yağmur hendekleri yağışı hendek içine toplayarak bu suyun yeraltına sızmasını sağlar böylece hem yeraltı su kaynaklarını besler hem de yüzeysel akış hacmini azaltarak şehirleşmeden dolayı artan geçirimsiz yüzeylerin sebep olduğu taşkın olaylarının şiddet ve sıklığının azalmasına yardımcı olur. Aynı zamanda bu hendekler sahip oldukları yoğun bitki örtüsü ve geçirimli zemin tabakası (kuru yağmur hendekleri) yardımıyla yağmur suyunda bulunan kirletici maddelerin tutulmasını sağlar, bu özelliğiyle kentsel alanların su kalitesinin artırılmasında önemli bir rol oynar. Yağmur hendeklerinin sürdürülebilirliğe sağladığı bu katkılardan dolayı özellikle kentsel alanlarda geleneksel sistemlerin yerine kullanılması tavsiye edilmektedir.

Yağmur hendeklerinin bir başka avantajı ise küçük yerlere ekonomik bir şekilde uygulanabilmesidir. Bu hendekler bahçeye, site alanına veya bölgeye büyük yatırımlar gerektirmeden rahatça uygulanabilir. Üstelik ekonomik çözümler olduğu ve güzel bir görüntü oluşturduğu için uygulama alanları arttırılabilir ve böylece yağmur suyundan maksimum şekilde faydalanılabilir.

Kuraklık ülkemizde önemli bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Üstelik suyun en fazla kullanıldığı alan tarımdır ve ülkemizde tarımsal amaçlı kullanılan su miktarı dünya ortalamasının üzerindedir. Bu yüzden sulama suyu ihtiyacını azaltıcı tedbirler geliştirmemiz gerekmektedir. Yağmur hendekleri yeraltı su kaynaklarını beslediği için sulama suyu ihtiyacını azaltan sürdürülebilir bir tarım uygulamasıdır.

Bu çalışmada yağmur hendeklerinin inşası ve kullanımları sırasında dikkat edilecek hususlar özetlenmiştir. Bu hususlardan en önemlisi; hendek tipinin seçimidir. Yağmur hendekleri yerleşim bölgelerinin dışına, kırsal alanlara yapılacaksa ıslak; yerleşim bölgelerine, kentsel alanlara yapılacaksa kuru tip seçilmelidir. Yağmur hendeklerinden alınacak verimi arttırmak için bu hendekler %1 ile %4 arasındaki boyuna eğimlerde inşa edilmeli,

yoğun bir bitki örtüsüne sahip olmalı ve bakımları periyodik olarak yapılmalıdır.

Hendek en kesit şeklinin seçimi de başka bir önemli husustur. Arıtma performansı, taşıma kapasitesi ve bakım kolaylığı açısından trapez ve parabolik en kesitli yağmur hendeklerinin kullanımı tavsiye edilmektedir.

Yağmur hendekleri hem tarımsal hem de kentsel alanlarda drenaj sistemi olarak birçok fayda sağlar. Bu yüzden yağmur hendeklerinin ülkemizdeki kullanımlarının yaygınlaştırılması ve bu konuda farkındalık oluşturulması ülkemizin sürdürülebilirliği ve ekonomik gelişimi açısından önemlidir.

## 7. Kaynaklar

- Auckland Regional Council (ARC), 1992. Stormwater Treatment Devices Design Guideline Manual. Technical Publication 10, Auckland, New Zealand.
- Boston Water and Sewer Commission, 2013. Stormwater Best Management Practices (BMP): Guidance Document. Boston, USA.
- Butler, D. and Davies, J. W., 2004. Urban Drainage, 2nd Edition, Spon Press Taylor & Francis Group London and Newyork.
- California Stormwater Quality Association (CASQA), 2003. Stormwater Best Management Practice (BMP) Handbook: New Development and Redevelopment, Section Vegetated Swale.
- Caltrans, 2004. Best Management Practice Retrofit Pilot Program Final Report. California Department of Transportation, Report ID CTSW-RT-01-050, California, USA.
- Center for Watershed Protection (CWP), 1998. Better Site Design: A Handbook for Changing Development Rules in Your Community. Ellicott City, Maryland.
- Center for Watershed Protection, 1999. Design For Stormwater Filtering Systems. Ellicott, USA.
- Department of Planning and Local Government, 2010. Water Sensitive Urban Design (WSUD) Technical Manual for the Greater Adelaide Region. Adelaide, South Australia.
- Dorman, M.E., Hartigan, J., Steg, R.F. and Quasebarth, T., 1989. Retention, Detention and Overland Flow for Pollutant Removal From Highway Stormwater Runoff. Vol(1), FHWA/RD (89/202), Washington, USA.
- Harper, H., 1988. Effects of Stormwater Management Systems on Groundwater Quality. Orlando, USA.

- Healy Waterways Partnership, 2006. Water Sensitive Urban Design (WSUD) Technical Design Guidelines for South East Queensland.
- Hengen, T. J., Sieverding, H. L. and Stone, J.J., 2016. Life cycle Assessment Analysis of Engineered Stormwater Control Methods Common to Urban Watersheds. *Journal of Water Resources Planning and Management* 142(7).
- Kercher, W.C., Landon, J.C. and Massarelli, R., 1983. Grassy Swales Prove Cost-Effective for Water Pollution Control. *Public Works*, 16, 53-55.
- Koon, J., 1995. Evaluation of Water Quality Ponds and Swales in the Issaquah/East Lake Sammamish Basins. Washington Department of Ecology, Washington, USA.
- Lucke, T., Mohamed, M.A.K. and Tindale, N., 2014. Pollutant Removal and Hydraulic Reduction Performance of Field Grassed Swales during Runoff Simulation Experiments. *Water Journal*, 6, 1887-1904, DOI:10.3390/w6071887.
- Luell, S. K., Hunt, W. F. and Winston, R. J., 2011. Treating Highway Bridge Deck Runoff Using Bioretention And A Swale. World Environmental And Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability.
- Mao, X., Jia, H. and Yu, S.L., 2017. Assessing the Ecological Benefits of Aggregate LID-BMPs through Modelling. *Ecological Modelling* 353: 139-149.
- Maryland Department of the Environment (MDE) Water Management Administration and Center for Watershed Protection (CWP), 2000. Maryland Stormwater Design Manual Chapter 4: Guide to BMP Selection and Location in Maryland. Volumes I & II. Baltimore.
- Metropolitan Council and Barr Engineering Company, 2001a. Minnesota Urban Small Sites Best Management Practice (BMP) Manual: Stormwater Best Management Practices for Cold Climates. Section Constructed Wetlands: Wet Swales. Minneapolis, St. Paul, USA.
- Metropolitan Council and Barr Engineering Company, 2001b. Minnesota Urban Small Sites Best Management Practice (BMP) Manual: Stormwater Best Management Practices for Cold Climates. Section Detention Systems: Dry Swales. Minneapolis, St. Paul, USA.
- Mollison, B., 1988. *Permaculture: A Designers Manual*. Tagari Publications. Australia.
- Müftüoğlu, V. ve Perçin, H., 2015. Sürdürülebilir Kentsel Yağmur Suyu Yönetimi Kapsamında Yağmur Bahçesi. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 5, 27-37.
- Revitt, D.M., Ellis, J.B. and Lundy, L., 2017. Assessing The Impact Of Swales On Receiving Water Quality. *Urban Water Journal*, 14, 839-845.
- Tang, N. Y., Li, T. & Ge, J., 2016. Assessing Ability of A Wet Swale to Manage Road Runoff: A Case Study in Hefei, China. *Journal of Central South University*, 23, 1353-1362.
- Tennessee Department of Environment and Conservation (TDEC), 2014, Tennessee Permanent Stormwater Management and Design Guidance Manual 11, Chapter: 5.4.3-Vegetated Swale.
- Urban Drainage and Flood Control District (UDFCD), 2010. Urban Storm Drainage Criteria Manual Volume 3: Stormwater Best Management Practices. Denver, Colorado, USA.
- URL-1: Marmariç Ekolojik Yaşam Derneği. Yağmur Hendeği ve Gölet. Erişim Tarihi: 14.08.2017. [Marmaric.org/marmarictepermakultur-uygulamaları/yağmur-hendeği-ve-gölet/](http://Marmaric.org/marmarictepermakultur-uygulamaları/yağmur-hendeği-ve-gölet/).
- URL-2: Belentepe Permakültür Çiftliği. Su Tutma/Toplama. Erişim Tarihi: 04.12.2017. [belentepe.org/su.asp](http://belentepe.org/su.asp).
- URL-3: Marmariç Ekolojik Yaşam Derneği. Permakültür El Kitabı ve Marmariç Örneği. Erişim Tarihi: 14.08.2017. [http://marmaric.org/permakultur\\_el\\_kitabi.pdf](http://marmaric.org/permakultur_el_kitabi.pdf).
- Vermont Agency of Natural Resources (VANR), 2002. Vermont Stormwater Management Handbook: Stormwater Treatment Standards.
- Wang, T., Spyridakis, D., Mar, B. and Horner, R., 1981. Transport, Deposition and Control of Heavy Metals in Highway Runoff. University of Washington, Department of Civil Engineering, FHWA-WA-RD (39-10).
- Xie, J., Wu, C., Li, H. and Chen, G., 2017. Study on Storm-Water Management of Grassed Swales and Permeable Pavement Based on SWMM. *Water Journal*. 9(840), DOI: 10.3390/w9110840.
- Xu, C., Hong, J., Jia, H., Liang, S. and Xu, T., 2017. Life Cycle Environmental and Economic Assessment of a LID-BMP Treatment Train System: A Case Study in China. *Journal of Cleaner Production* 149: 227-237.
- Zhao, J., Zhao, Y., Zhao, X. and Jiang C., 2016. Agricultural Runoff Pollution Control by A Grassed Swales coupled with Wetland Detention Ponds System: A Case Study in Taihu Basin, China. *Environ Sci Pollut Res.*, (2016) 23, 9093–9104, DOI: 10.1007/s11356-016-6150-2.