

Sürdürülebilirlik Açısından Yağmur Hendekleri

Uğur ÜNAL, Dilek Eren AKYÜZ*

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Avcılar İstanbul, Türkiye
ugur_unal1990@hotmail.com
dilek.akyuz@istanbul.edu.tr
*Dilek Eren AKYÜZ

ÖZET

Sürdürülebilirlik; sahip olunan kaynakların sonuna kadar tüketilmeden, gelecek nesillere aktarılabilmesi için çevre dostu metot ve uygulamalarla bu kaynakların devamlılığının sağlanmasıdır. Sürdürülebilir uygulamalardan biri olan yağmur hendekleri; taşkın pik debisini, erozyon riskini ve sulama suyuna olan ihtiyacı azaltır, taşkın zamanını geciktirir, hendeğe ulaşan yağmur suyunu arıtarak su kalitesini, yeraltı su seviyesini ve bioçeşitliliği artırır. Bu faydalarından dolayı yağmur hendeklerinin, şehirlerde ve tarımda kullanılması sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Daha fazla uygulama alanı bulunan gelişmiş ülkelerde yaygınlaştırılması tavsiye edildiği için ülkemizde de bu hendeklerin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada; yağmur hendeklerinin kullanım yerleri ve sürdürülebilirliğe sağladığı katkılar incelenmiştir. Geleneksel drenaj sistemlerine kıyasla yağmur hendeklerinin sürdürülebilirliğe, tarıma, çevreye, sosyal hayata, ekonomiye ve bioçeşitliğe önemli katkıları bulunmaktadır. Bu sebeple yağmur hendekleri, ülkemizde sadece tarımsal bölgede değil aynı zamanda yeşil altyapı sistemlerinin bir parçası olarak kentsel bölgelerde de kullanımları yaygınlaştırılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yağmur Hendeği, Sürdürülebilirlik, Yeşil Altyapı.

Swales in terms of Sustainability

ABSTRACT

Sustainability is to ensure the continuity of these resources with environmentally friendly methods and practices so that they can be transferred to future generations without being consumed until the end of the owned resources. One of the sustainable practices is swales. Swales; reduces flood peak discharge, erosion risk and the need for irrigation water, delays flood time, increases water quality by treating rainwater reaching the swale, groundwater level and biodiversity. Due to these benefits, the usage of swales in cities and agriculture is important in terms of sustainability. Swales need to be widespread in our country since it is recommended to be widespread in developed countries that be more application areas. In this study, their usage places and contributions to sustainability of swales were examined. Swales have significant contributions to sustainability, agriculture, environment, social life, economy and biodiversity compared to traditional drainage systems. For this reason, swales should be widespread not only in agricultural areas but also in urban areas as part of green infrastructure systems in our country.

Keywords: Swale, Sustainability, Green Infrastructure.

GİRİŞ

Yaşamın devamlılığı dünya üzerindeki doğal kaynakların sürekliliğine bağlıdır. Fakat bu doğal kaynakların sürekliliği; bilinçsiz ve aşırı kullanım, iklim değişikliği ve şehirleşme gibi nedenlerle zarar görmektedir. Doğal kaynakların sürekliliğinin sağlanabilmesi için sürdürülebilir uygulamaların geliştirilmesi gerekir. Sürdürülebilirlik; kısıtlı kaynakların yeni yöntem ve teknolojilerle korunarak devamlılığının sağlanmasını, böylece hem günümüz insanının hem de gelecek kuşakların bu kısıtlı kaynaklardan yararlanabilmesini ifade eder. (UN, 1987). Aynı zamanda sürdürülebilirlik, yenilenebilir bir kullanım gerektirmektedir ki bu da yeşil altyapı uygulamaları ile sağlanabilir.

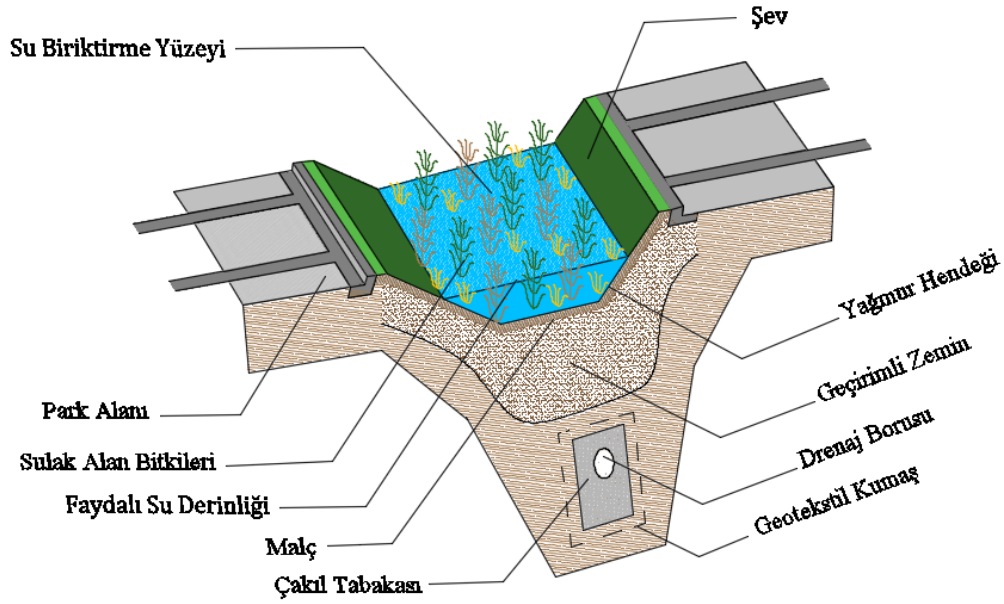
En önemli doğal kaynağımız olan su; canlıların biyolojik aktivitelerinde, sanayide, sulamada, içme ve kullanma suyunda, enerji üretiminde ve daha pek çok alanda kullanılan stratejik bir öneme de sahip temel bir maddedir. Kullanım alanının bu kadar geniş olması sebebiyle suyun korunarak gelecek nesillere aktarılması gerekir. Su kaynaklarımızın bir bütün olarak planlanması, pratik, akılcı ve sürdürülebilir sistemlerle birlikte kullanılması ile suyun gelecek nesillere aktarılması mümkündür. Dünya’da ve ülkemizde suyun sektörel dağılımının zamansal değişimine (Tablo 1) göre; 2023 yılında 2012 yılına kıyasla ülkemizde her alanda (sulama, içme suyu ve sanayi) daha fazla suya ihtiyaç olacaktır. Bu sebeple su kaynaklarımızın şimdiden koruma altına alınması ve bu kaynaklarımızın tamamen tüketilmeden sürdürülebilir sistemlerle birlikte devamlılığının garanti altına alınması gerekmektedir.

Tablo 1. Dünya ve Ülkemizde Suyun Sektörel Kullanım Durumu (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2014).

Sektör Adı	Dünya 2006 Yılı (%)	Türkiye 2012 Yılı Başı (Milyar m ³ /yıl)	Türkiye 2012 Yılı (%)	Türkiye 2023 Yılı (Milyar m ³ /yıl)	Türkiye 2023 Yılı (%)
Sulama	69	32	73	72	64
İçme Suyu	12	7	16	18	16
Sanayi	19	5	11	22	20
Toplam	100	44	100	112	100

Sürdürülebilir sistemlerden biri olan yağmur hendekleri, yağmur suyundan maksimum fayda elde edilmesi için kullanılan ve dolayısıyla yağmur suyunu taşıma, arıtma ve yüzeysel akış miktarını azaltma amacıyla inşa edilen bitki örtülü açık kanallardır. (Revitt ve ark., 2017). Bu hendekler; yüzeysel akış hızını yavaşlatarak erozyonu önler, taşkın pik debisinin oluşma zamanı geciktirir, yüzeysel akışa geçen yağmur suyu miktarını ve taşkın pik debisini azaltır, yeraltı seviyesini artırır, yağmur suyundaki kirletici maddelerin uzaklaştırılmasını sağlar (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b; WSUD, 2006; WSUD, 2010; NWRM, 2013; Xie ve ark., 2017). Yağmur hendekleri ayrıca; bioçeşitliliğin artmasına, kentsel bölgelerin estetik bir değer kazanmasına ve kentsel bölgelerde pik sıcaklıkların azalmasına yardımcı olur (WSUD, 2010; NWRM, 2013). Bu faydaları ve geleneksel sistemlere göre daha ekonomik uygulamalar olmasından dolayı sürdürülebilirlik açısından yağmur hendeklerinin kullanımlarının yaygınlaştırılması tavsiye edilmektedir (CWP, 1998; Hengen ve ark., 2016).

Yağmur hendeklerinde kaplama malzemesi olarak genellikle bitki örtüsü tercih edilir ve sızma miktarını artırmak için hendek tabanına geçirimsiz bir zemin tabakası inşa edilir. Bu hendeklerin kuru ve ıslak olmak üzere iki tipte uygulaması mevcuttur. Örnek bir kuru yağmur hendeğinin görünümü Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Kuru Yağmur Hendeği.

MATERYAL VE YÖNTEM

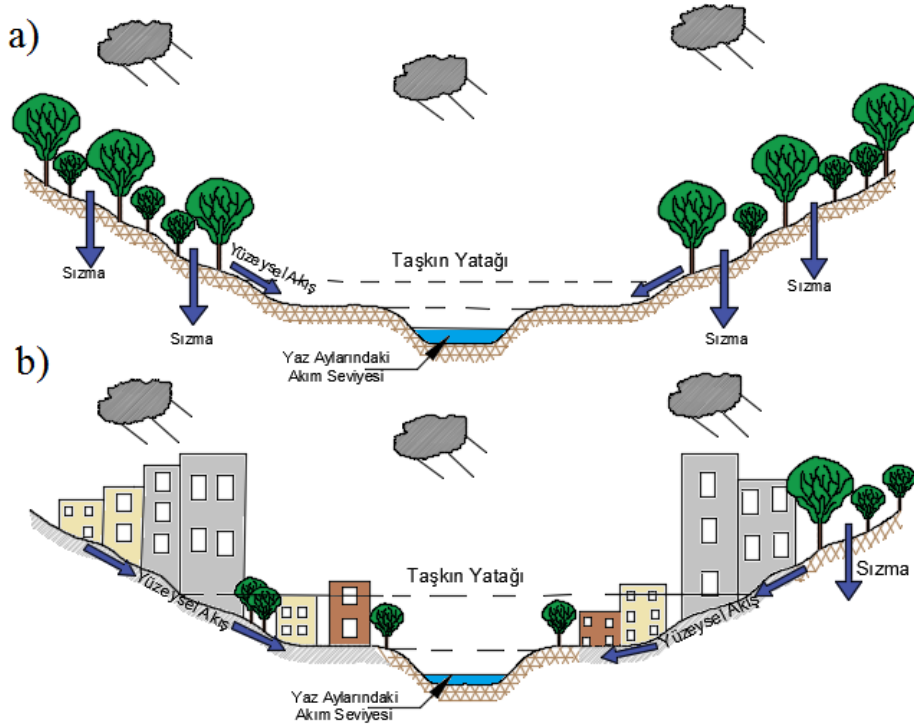
Bu makalede; literatür araştırması yapılarak yağmur hendeklerinin çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan sürdürülebilirliğe sağladığı katkılar değerlendirilmektedir. Ayrıca yağmur hendeklerinin kullanım yerleri de açıklanarak bu hendeklerin uygulama alanlarının yaygınlaştırılmasına katkı sağlanmaktadır.

Sürdürülebilirlik Açısından Yağmur Hendeklerinin Değerlendirilmesi

Günümüzde işsizlik, tarım alanlarının parçalanması, altyapı sorunları, ve eğitim gibi sebeplerle kırsal bölgelerden kentsel bölgelere göçler yaşanmaktadır. Bunun sonucunda oluşan plansız şehirleşmeler geçirimsiz yüzey oranını arttırmaktadır. Bu değişimin etkisiyle; akışa geçen su miktarı artmakta, su daha fazla kirlenmekte ve kullanılabilir temiz su miktarı azalmaktadır. Yağmur hendekleri hem akışa geçen su miktarını azaltır, hem de su kalitesini artırır. Bunu bitki örtüsü ve geçirimli zemin tabakası yardımıyla kirletici maddeleri uzaklaştırarak gerçekleştirir (BMP Minnesota, 2001b; WSUD, 2006; WSUD, 2010; Luell ve ark., 2011; Lucke ve ark., 2014). Böylece arıtma tesislerine gidecek olan yağmur suyu miktarını azaltarak arıtma maliyetinin düşmesine yardımcı olur (Demir, 2012). Bu özelliğiyle yağmur hendekleri hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

Ülkemizde yıllık yağış miktarı 501 milyar m³'tür; bu yağışın yeraltına sızan miktarı 41 milyar m³ (%8.2), buharlaşan miktarı 274 milyar m³ ve yüzeysel akışa geçen miktarı ise 186 milyar m³'tür (URL-1). Bu oranlar yağışın çok az bir kısmının yeraltına sızdığını, şehirleşmenin de etkisi ile yağışın büyük bir kısmının buharlaştığı ya da yüzeysel akışa geçtiğini göstermektedir. Yağmur hendekleri bu soruna çevre dostu bir çözüm olarak sunulabilir. Yağmur hendekleri; üzerindeki kaplama malzemeleri yardımıyla (taş, malç, talaş, kurumuş yapraklar, ağaç dalları, saman, kağıt parçaları vb.) hendek içindeki suyun buharlaşmasını önler ve yağışın hendek içinde depolanmasını sağlayarak toplam yüzeysel akış hacmini azaltır (Luell ve ark., 2011; Xie ve ark., 2017). Böylece depolanan bu suların yeraltına sızmasını kolaylaştırır (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b). Sızan su yeraltı seviyesini artırır ve bu sayede tarımda sulama suyuna duyulan ihtiyaç azalır. Bu özelliğiyle yağmur hendekleri sürdürülebilir bir tarım uygulaması olarak kullanılabilir ve hem çevresel hem sosyal hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

Şehirleşme sonrası artan geçirimsiz yüzeyler, azalan yeşil alanlar ve diğer sebeplerle yağmur suları yeraltına yeterince sızamamakta dolayısıyla bu sular yüzeysel akışa geçmektedir (Oyelola, 2013) Yeraltına yeterince sızamayan yağmur suları şehirleşme oranı yüksek bölgelerde daha sık aralıklı ve daha yüksek pik debiye sahip sel ve taşkın olaylarına neden olmaktadır (EPA, 1999a). Şehirleşme öncesi ve sonrası taşkın yatağının değişimi Şekil 2’de verilmektedir. Yağmur hendekleri geçirimsiz yüzeylerde biriken yağmur sularını toplayarak yeraltısuyuna sızmayı artırır ve taşkın pik debisinin azalmasına katkıda bulunur (Lashford ve ark., 2014; Xie ve ark., 2017). Bu sayede sel ve taşkın olaylarının daha az yaşanması ve olası zararlarının azaltılması ile çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar.



Şekil 2. Bir Nehir Havzası için a) Şehirleşme Öncesi b) Şehirleşme Sonrası Taşkın Yatağının Durumu (Schueler, 1987’den uyarlanmıştır).

Ülkemizde doğal kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit eden olaylardan biri de erozyondur. Her yıl ülkemizde 500 milyon ton verimli toprağımız erozyon sebebiyle yok olmaktadır. Bunun sebebi; %90 su, %1 rüzgar kaynaklı aşınmadır (URL-2). Erozyon tarım alanlarını verimsizleştirir, su ve yetiştirilen ürünlerin kalitesini düşürür, taşınan sedimentten dolayı barajların ömrünü kısaltır, kuraklık ve çölleşme gibi sorunları artırır. Yağmur hendekleri; yüzeyinde bulunan bitki örtüsü, kontrol barajları ve giriş akımlarının önüne yerleştirilen ince çakıl diyafram ve riprap ile yağmur suyunun yüzeysel akış hızını yavaşlatır. Böylece yağmur suyunun erozyon oluşturacak hızlara ulaşmasını engeller. Bu özelliğiyle yağmur hendekleri buldukları bölge toprakları için erozyon meydana gelme riskini ve şiddetini azaltan bir uygulamadır.

Kentsel bölgelerde ısı-ada etkisinin ortaya çıkması da sürdürülebilirliği olumsuz etkiler. Yağmur hendekleri üzerindeki bitki örtüsü sayesinde yeşil alanlar oluşturarak pik sıcaklıkların düşmesine ve ısı-ada etkisinin azaltılmasına yardımcı olur. Yağmur hendekleri bu özellikleri ile çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

Yağmur hendekleri iç yüzeylerinde bulunan kaplama malzemeleri (bitki örtüsü, taş, malç vb.) ve yüzeysel akışla taşınan sedimentin hendek içinde depolanmasıyla oluşan verimli toprak katmanları ile ekosistem için büyük bir öneme sahip olan bioçeşitliliğin artmasına ve

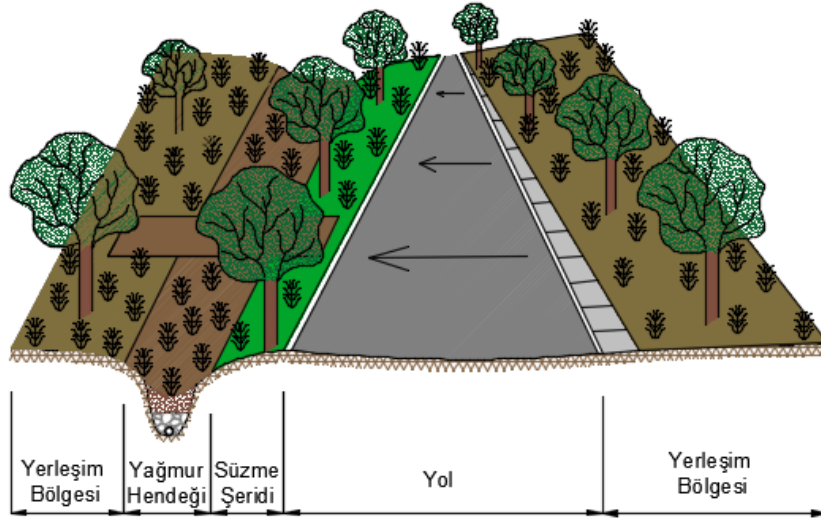
korunmasına katkıda bulunur (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b; WSUD, 2010; NWRM, 2013). Bu özelliği ile yağmur hendekleri tarım uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca yağmur hendekleri bu faydasının yanında inşa edildikleri bölgelere estetik bir değer katarak buldukları bölgenin sosyal olarak kalkınmasına dolayısıyla sosyal sürdürülebilirliğe de katkı sağlar (EPA, 1999b; WSUD, 2010; NWRM, 2013).

Kullanım Yerleri

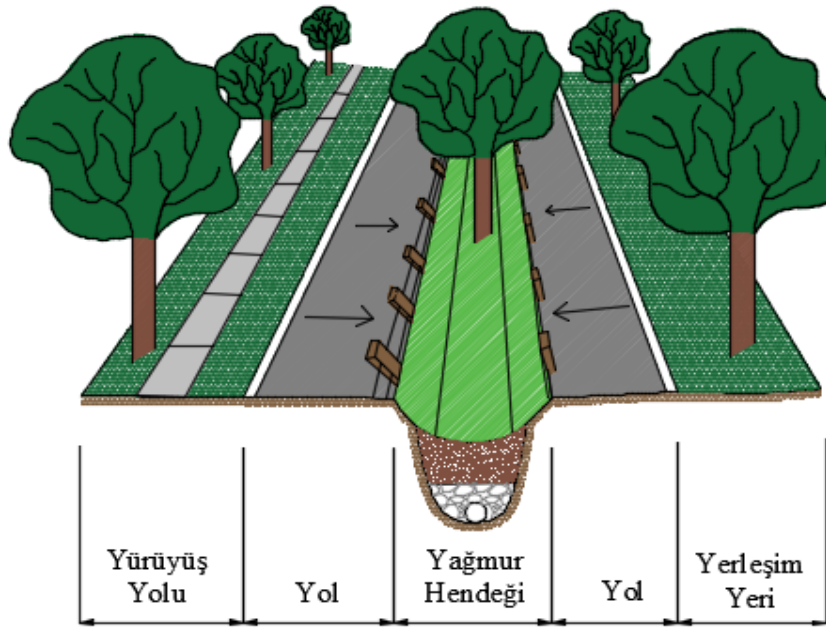
Yeraltısı seviyesinin yüzeye yakın olduğu ve bozulmamış zemin tabakasının bulunduğu yerlere ıslak yağmur hendekleri inşa edilirken, yeraltısı seviyesinin yüzeye yakın olmadığı ve geçirimli bir zemin tabakasının bulunduğu mesken bölgelere kuru yağmur hendekleri inşa edilir. Islak yağmur hendeklerinin iç yüzeyleri yeraltısı seviyesinin yüzeye yakın olmasından dolayı daima bir miktar ıslaktır. Bu tür yağmur hendeklerinin tabanında geçirimli bir zemin tabakası ve altdrenaj sistemi bulunmadığından yağmur suyu yeraltına kuru yağmur hendeklerine nazaran daha az sızar. Bu da hendek içinde kalıcı ve durgun bir su kütlesi oluşmasına sebep olur. Bu durum güvenlik, koku, sivrisinek üremesi ve bataklık gibi problemlere yol açar (EPA, 1999b). Bu yüzden ıslak yağmur hendekleri daha çok yerleşim bölgelerinin uzağına; su kalitesini artırma, bioçeşitliliğe katkı sağlama ve su iletimi amacıyla inşa edilir (BMP Minnesota, 2001a). Kuru yağmur hendeklerinin ise altında geçirimli bir zemin tabakası ve alt drenaj sistemi bulunur (BMP Minnesota, 2001b; Revitt ve ark., 2017). Bu sistem sayesinde yağmur suyu kolayca yeraltına sızar ve böylece hendek içinde su birikmesi olmaz. Bu yüzden kuru yağmur hendeklerinde güvenlik problemi ve koku gibi olumsuzluklarla daha az karşılaşılır. Islak yağmur hendeklerine göre kuru yağmur hendeklerinin daha geniş bir kullanım alanı vardır. Bu hendekler çoğunlukla yerleşim bölgelerine, yol kenarlarına, orta refüje, otoparklara, parklara, konut ve alışveriş merkezi bahçelerine, sanayi ve ticaret alanlarına inşa edilir (Pitt ve Clark, 2008; WSUD, 2010).

Hem ıslak yağmur hendekleri hem de kuru yağmur hendekleri üçgen, trapez veya parabolik en kesitlerde inşa edilebilir. Hendek en kesit tipinin seçiminde önemli olan faktör suyla temas eden ıslak çevrenin artırılması ile daha fazla suyun arıtılmasını sağlamaktır. Bu sebeple trapez ve parabolik en kesitli yağmur hendekleri üçgen en kesitlere göre daha çok tercih edilir (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b). Ayrıca bu en kesitlerin taşıma kapasitesi üçgen en kesitlere göre daha fazladır. Trapez en kesitli yağmur hendeklerinin şev eğimlerini inşa etmek parabolik en kesitlere göre daha kolay olduğundan uygulamada genellikle trapez en kesitler yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Yol kenarlarına ve orta refüje yapılan yağmur hendekleri, yol kaplamasındaki yağmur suyunu toplayarak yol kaplamasının bozulmasını önler ve kaplama ile lastik arasında yağmur suyundan dolayı oluşacak kayma gerilmelerini azaltarak sürücüler için daha güvenli bir sürüş ortamı sağlar (BMP Boston, 2013). Ayrıca yoldan geçen araçlardan yayılan ağır metaller, kirletici gazlar ve askıda katı maddeler suya karışıp yüzeysel akışla yağmur hendeğine ulaştığında; hendek tarafından bu kirleticiler arıtılır (Flanagan ve ark., 2017). Yol kenarına ve orta refüje inşa edilmiş yağmur hendeği örnekleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmektedir.

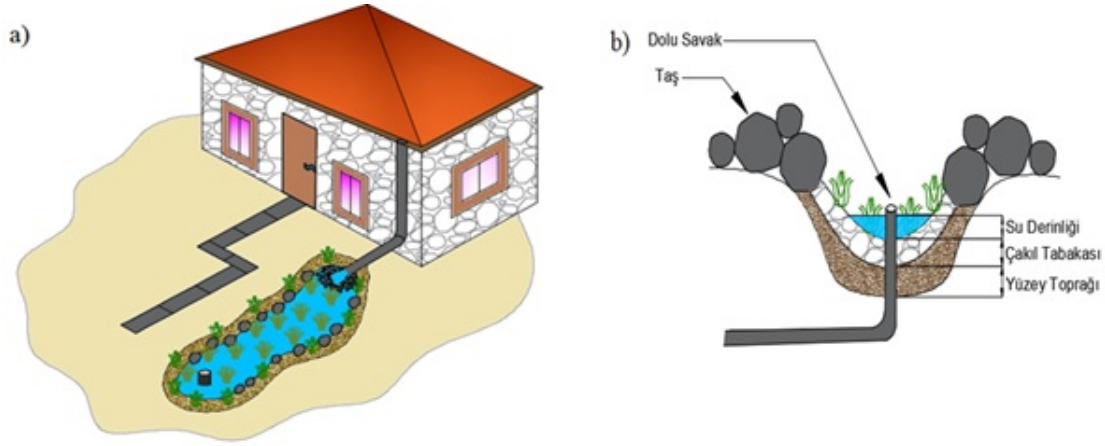


Şekil 3. Yol Kenarına İnşa Edilmiş Yağmur Hendeği (WSUD, 2006'dan uyarlanmıştır).



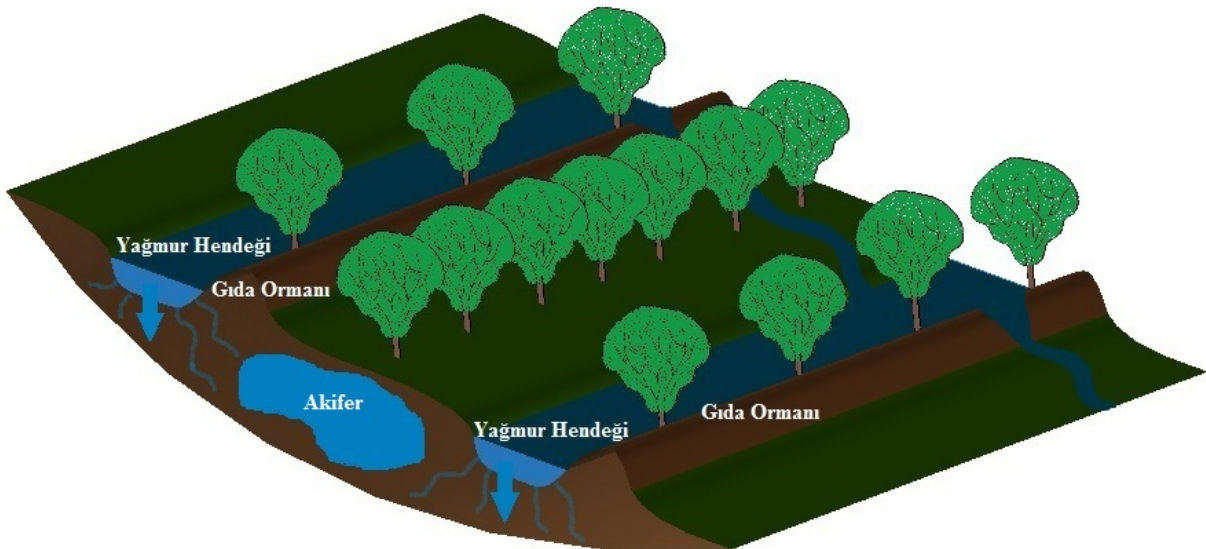
Şekil 4. Orta Refüje İnşa Edilmiş Yağmur Hendeği (WSUD, 2006'dan uyarlanmıştır).

Yağmur hendekleri yerleşim bölgelerinde konutların çevresine ve bahçelere de inşa edilebilir. Bu alanlara inşa edilen yağmur hendekleri çatılardaki yağmur suyunun hasat edilmesini sağlar. Böylece çatılarımızdan toplanan yağmur suyunun hendek içinde arıtılarak yeraltısuyuna karışması ve yeraltı seviyesinin artırılması sağlanır. Konut etrafına inşa edilmiş yağmur hendeği örneğinin planı Şekil 5a'da ve taşkın oluşmasını engelleyen dolu savağın en kesiti Şekil 5b'de verilmektedir. Bu sistemde yağmur suyu hendek içinde belli bir seviyenin üzerinde biriktiğinde en uç kısımda bulunan dolu savak sayesinde fazla sular deşarj edilebilir. Bu seviyeye ulaşana kadar yağmur suyu hendek içinde depolanır ve depolanan bu su yeraltısuyuna sızarak yeraltı kaynaklarını besler.



Şekil 5. a) Konut Etrafına İnşa Edilmiş Yağmur Hendeği Planı b) Dolu Savak En Kesiti (Melbourne Water, 2013'ten uyarlanmıştır).

Yağmur hendeklerinin tarımsal su hasadı amacıyla kırsal bölgelerdeki kullanımları da yaygındır. Bu hendekler arazinin topografyasına göre eş yükselti eğrilerine paralel olarak kazılır ve yağmur suyunu depolayarak bu suyu yeraltına sızdırır. Böylece üzerinde bulunan gıda ormanının su ihtiyacını karşılar ve bu sayede tarımdan elde edilecek verimin artmasına yardımcı olur. Bu hendeklerde şiddetli yağışlar sırasında oluşacak fazla su, hendek uç kısmında bulunan savak yardımıyla daha aşağıda bulunan hendeğe iletilir. Bu su en son gölete ulaşır ve burada depolanır. Gölette biriktirilen su kurak dönemlerde sulama suyu ihtiyacını karşılama amacıyla kullanılır. Aynı zamanda gölet, bölgedeki yaban hayatı için yaşam alanı oluşturur ve bioçeşitliliğe katkı sağlar. Kırsal bölgelere inşa edilmiş yağmur hendeği örneği Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Kırsal Bölgelere İnşa Edilmiş Yağmur Hendeği.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda yağmur hendeklerinin çevresel (Ç), sosyal (S) ve ekonomik (E) açıdan sürdürülebilirliğe olan etkileri Tablo 2’de özetlenmektedir.

Tablo 2. Yağmur Hendeklerinin Sürdürülebilirliğe Olan Etkileri (NWRM, 2013’ten uyarlanmıştır).

Özellik	Kısaltma	Oran	Sürdürülebilirliğe Etkisi
Yüzeysel Akışı Biriktirme	Ç	Orta	Yağmur hendekleri yağışı hendek içinde tutarak yağışın daha fazla sızmasını ve geri kalanını da kanal ağları yardımı ile gölet’e ulaşmasını sağlar. Böylece yeraltısu kaynaklarımız beslenir ve günümüz sorunu olan yeraltısu seviyesinin düşmesinin önüne geçilebilir. (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b).
Yüzeysel Akışı Yavaşlatma	Ç	Yüksek	Yağmur hendekleri; girişindeki riprap ve ince çakıl diyafram, içindeki kontrol barajları, bitki örtüsü ve diğer kaplama malzemeleri (taş, talaş vb.) ile birlikte yüzeysel akış hızını azaltır (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b; WSUD, 2010). Akış hızının yavaşlaması hendek tabanındaki oyulmaların ve erozyonun önüne geçer.
Yüzeysel Akış Miktarını Azaltma	Ç/E	Orta	Yağmur hendekleri özellikle yol kenarlarında oluşan yüzeysel akışı hendek içinde biriktirerek bu suların yeraltına sızmasına yardımcı olur (Oyelola, 2013). Böylece geçirimsiz yüzeylerden dolayı artan yüzeysel akış miktarının azalmasında önemli bir etkiye sahiptir (Luell ve ark., 2011; Lashford ve ark., 2014; Xie ve ark., 2017). Bu özellikleri ile yağmur hendekleri altyapıda kullanılacak boru çaplarını azaltır. Geleneksel sistemlerle birlikte kullanıldığında inşaat, bakım ve işçilik maliyetlerini düşürür.
Tarıma Etkisi	Ç/S/E	Orta	Yeraltısuyunun beslenmesi ile sulama suyuna olan ihtiyacı azaltır. Sudaki sedimentin tutulmasını sağladığı ve toprağın en üstündeki verimli tabakayı koruduğu için tarımsal ürün çeşitliliği ve verimliliğini artırır.
Taşkın Riskini Azaltma	Ç	Orta	Yol kenarları, orta refüj, otoparklar, parklar, yerleşim yerleri gibi bölgelere inşa edilen yağmur hendekleri geçirimsiz yüzeylerdeki yağmur suyunu toplayarak bu suyun yeraltına sızmasını sağlayarak kentleşmiş alanlarda sel ve taşkın olaylarının şiddetini ve sıklığını azaltırlar (WSUD, 2010). Kırsal alanlarda ise; sızma miktarını artırdığı için taşkın daha olmadan küçük çaplı önlemler alır ve kümülatif olarak da taşkın pik debisini azaltır ve geciktirir.
Bitkilerden Terleme Yoluyla Buharlaşmayı Arttırma	Ç	Düşük/ Orta	Bitkilerden terleme yoluyla buharlaşma; bitki örtüsünün tipine, yoğunluğuna, su içindeki kalış süresine ve yağmur hendeğinin boyutlarına bağlı olarak değişmektedir. Yağmur hendekleri terleme yoluyla buharlaşmayı arttırarak atmosferde nemliliğin artmasına katkıda bulunur (NWRM, 2013).
Sızma ve Yeraltısuyunu Besleme	Ç	Orta	Yağışın sızması; zeminin geçirimliliğine ve yüzey genişliğine, suyun kalış süresine, arazinin eğimine ve bitki örtüsü yoğunluğuna göre değişmektedir. Yağmur hendekleri; altında bulunan geçirimli zemin tabakası, yüzeyindeki bitki örtüsü ve suyu hendek içinde tutma özelliğiyle yağışın yeraltına sızmasını kolaylaştırır ve böylece yeraltı sularının beslenmesine yardımcı olur (WSUD, 2010).
Erozyonu Azaltma	Ç	Orta	Yağmur hendekleri sayesinde yüzeysel akış hızı yavaşladığı için suyun toprağı aşındırması zorlaşır ve sudaki sediment konsantrasyonu azalır. Azalan bu sediment hendek içinde birikerek yeni toprak oluşumuna katkı sağlar. Böylece yağmur hendekleri erozyonun azalmasına yardımcı olur (NWRM, 2013).

Tablo 2 (Devam). Yağmur Hendeklerinin Sürdürülebilirliğe Olan Etkileri (NWRM, 2013’ten uyarlanmıştır).

Özellik	Kısaltma	Oran	Sürdürülebilirliğe Etkisi
Kirletici Maddeleri Tutma	Ç	Orta	Yağmur hendekleri, üzerindeki bitki örtüsü ve altındaki geçirimli zemin tabakası yardımıyla sudaki kirletici maddelerin tutulmasını sağlar (WSUD, 2010). Ayrıca kontrol barajları da suyun akım hızını yavaşlatarak sudaki kirletici maddelerin birikmesine ve artmasına yardımcı olur. Yağmur hendeklerinin kirletici maddeleri uzaklaştırma verimliliği; doğru tasarım, yeterli bakım ve sınırlı gübre kullanımı ile artırılabilir. Ayrıca yağmur hendeği uzunluğunun artırılması da kirletici maddeleri uzaklaştırma verimliliği üzerinde olumlu etkiye sahiptir (Lucke ve ark., 2014; Zhao ve ark., 2016). Yağmur hendeklerinin kirletici maddeleri uzaklaştırma verimlilikleri şöyledir: Askıda katı madde: ort: %38 (DTI, 2006), %31-%81 (EA, 2012). Toplam fosfor: ort: %14 (DTI, 2006), %7 - %100 (EA, 2012). Toplam nitrojen: ort: %14 (DTI, 2006), %25 - %90 (EA, 2012). Ağır metaller: %9 - %62 (DTI, 2006).
Karasal Yaşam Alanı oluşturma ve Bioçeşitliliği Arttırma	Ç	Orta	Yağmur hendekleri üzerinde oluşturulan yeşil alanlar ve taşınan sedimentin meydana getirdiği toprak katmanları ile karasal yaşam alanı oluşturur ve böylece bioçeşitliliğin artmasına katkı sağlar (BMP Minnesota, 2001a; BMP Minnesota, 2001b).
Sulak Alan Oluşturma	Ç	Orta	Islak yağmur hendeklerinin iç yüzeylerinde her zaman kalıcı bir su kütlesi bulunduğundan bu yağmur hendekleri sulak alan oluşturur ve bioçeşitliliğe katkı sağlar.
Doğal Biokütle Üretimi	Ç	Düşük	Yoğun bitki örtüsüne sahip yağmur hendekleri biokütle üretimine katkıda bulunabilir (NWRM, 2013).
Pik Sıcaklığı Azaltma	Ç/E	Düşük	Yağmur hendekleri üzerindeki bitki örtüsü sayesinde yeşil alanların artmasına katkıda bulunur (NWRM, 2013). Bu hendekler üzerindeki bitki örtüsünün yoğunluğuna bağlı olarak kentsel alanlarda serin bölgelerin oluşmasına yardımcı olur. Böylece serinleme için ayrılan maliyetin azaltılmasına düşük oranda bile olsa katkı sağlar.
İklim Değişikliğine Uyum Sağlama ve İklim Değişikliğini Azaltma	Ç	Düşük/Orta	Yağmur hendekleri özellikle odunsu bitki örtüsü sayesinde artan karbonu tutmada katkıda bulunmakta ve kentsel bölgelerde sıcaklıkların düzenlenmesine yardımcı olmaktadır (NWRM, 2013).
CO ₂ Tutma	Ç	Düşük	Üzerindeki bitki örtüsü ile CO ₂ tutar. Özellikle odunsu bitkilerin bulunduğu, bitki örtüsünün olmadığı bir bölgeye uygulanan yağmur hendekleri bölgesel olarak CO ₂ alımını artırır (NWRM, 2013).
Estetik / Kültürel Değerleri Arttırma	S	Düşük/Orta	Yağmur hendekleri kentsel bölgelerde yeşil alanların artmasına katkı sağladığı için bu bölgelerin estetik görünümünü artırır (WSUD, 2010). Yağmur hendekleri ile yerleşim yerleri, yol kenarları, parklar, bahçeler, sanayi ve ticaret bölgeleri daha estetik bir görünüme sahip olmaktadır.
Sürüş Güvenliği Sağlama	S	Orta	Yağmur hendekleri yol yüzeyindeki yağmur sularını toplayarak tekerlekle kaplama arasındaki kaymayı azaltır. Böylece sürücüler için güvenli bir sürüş ortamı sağlar (BMP Boston, 2013).

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Dünyada her geçen gün suya olan ihtiyaç artmakta fakat su kaynakları bu talebi nüfus artışı, iklim değişikliği, su havzalarına yapılan yerleşimler gibi pek çok sebepten dolayı giderek karşılayamamaktadır. Bu durumun çözümü; su kaynaklarının doğru ve etkin bir şekilde kullanımını amaçlayan “optimum bütünleşik su yönetimi” ile mümkündür. Bu yönetim sistemi; su kaynaklarının çevresel, sosyal ve ekonomik unsurlar göz önüne alınarak sürdürülebilir uygulamalarla optimum şekilde korunmasını içerir. Yağmur hendekleri bu üç

unsuru (çevresel, sosyal, ekonomik) içinde barındıran ve yeşil altyapı olarak da isimlendirilen sürdürülebilir uygulamalardan biridir. Yeşil altyapı uygulamaları (yağmur hendekleri, yağmur bahçeleri, yeşil çatılar vb.) ile özellikle kentsel bölgelerde; su kalitesinin artırılması, yüzeysel akış miktarının azaltılması ve yeraltısu kaynaklarının beslenmesi amaçlanmaktadır. Böylece şehirleşmenin sebep olduğu olumsuzluklar yeşil altyapı uygulamalarıyla bertaraf edilebilir.

Günümüzde özellikle kentsel bölgelerde yağmur sularının uzaklaştırılması için ayrık ve birleşik sistemlerden oluşan geleneksel yağmur suyu deşarj sistemleri kullanılmaktadır (Oyelola, 2013). Bu sistemler sürdürülebilir sistemlerin aksine yağmur suyunun bir an önce ortamdan uzaklaştırılmasını sağlamak için tasarlanır (Demir, 2012; Oyelola, 2013) iken sürdürülebilir sistemler sızma yoluyla yağmur suyundan maksimum şekilde yararlanmak için bu suyu mümkün mertebe bulunduğu yerde (alt havza alanının içinde) tutma amacıyla inşa edilir. Böylece yağışı iletmek yerine yağdığı yerde sızma/biriktirme/bitkinin kullanması gibi yollar ile bu yağışın kullanılmasını sağlar. Böylece sürdürülebilir sistemler sadece yağmur suyunun sızmasını kolaylaştırdıkları için bile yüzeysel akış miktarını azaltarak bu akımı taşımak için gerekli olan boru çaplarının küçülmesini sağlar. Bu özellikleri ile sürdürülebilir sistemler ile kullanılan geleneksel sistemlerin inşaat, bakım ve işçilik maliyetleri azalır. Tek başına kullanılan bir geleneksel sisteme göre %33 daha ekonomik uygulamalardır (Demir, 2012).

Yağmur hendekleri su kalitesini de arttırmaktadır. Bunu kirletici maddeleri uzaklaştırma ve yüzeyini kaplayan bitki örtüsünün gelişimi için suda bulunan besi maddelerini kullanması ile yapar. Ayrıca yağmur hendeği uzunluğu arttıkça su hendek ile daha fazla temas etmekte ve kirletici maddeleri uzaklaştırma verimliliği artmaktadır (Lucke ve ark., 2014; Zhao ve ark., 2016). Kirletici maddeleri uzaklaştırma verimliliğini arttırabilmek için doğru tasarım ve düzenli bakımın yapılması gerekmektedir. Belli aralıklarla yapılacak olan bakım ile hendeğin tuttuğu kirletici maddeler temizlenir, bitki örtüsü sulanır, biçilerek sağlıklı hale getirilir ve güzel bir görünüm elde edilir.

Sonuç olarak yağmur hendekleri yağışı havza içerisinde biriktirerek hem yeraltısu kaynaklarını besler, hem de su kalitesini artırır. Bunu yaparken suyun yaşam alanı oluşturma özelliği sayesinde bioçeşitliliğe de katkı sağlar. Üzerine yapılan kontrol barajlar ile suyun hızını azaltarak erozyonu önler, sudaki sedimentin çökmesi ile de doğal toprak oluşumunu destekler. Bütün bu avantajlarından dolayı yağmur hendekleri çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan sürdürülebilirliğe katkı sağlar. Bu nedenle; ülkemizde, yağmur hendeklerinin kentsel ve kırsal alanlarda kullanımları yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Boston Water and Sewer Commission. (2013). Stormwater Best Management Practices (BMP): Guidance Document. Boston, USA.
- Center for Watershed Protection (CWP). (1998). Better Site Design: A Handbook for Changing Development Rules in Your Community. Ellicott City, Maryland.
- Demir, D. (2012). Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İTÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Department of Planning and Local Government. (2010). Water Sensitive Urban Design (WSUD) Technical Manual for the Greater Adelaide Region. Adelaide, South Australia.
- DTI. (2006). Sustainable Drainage Systems: A Mission to the USA, Report of a DTI Global Watch Mission.
- Environment Agency (EA). (2012). Rural Sustainable Drainage Systems.
- European Commission Natural Water Retention Measures (NWRM). (2013). Individual NWRM: Swales. <http://www.nwrm.eu>.
- Flanagan, K., Branchu, P., Ramier, D. and Gromaire, M. C. (2017). Evaluation of The Relative Roles of a Vegetative Filter Strip and a Biofiltration Swale in a Treatment Train for Road Runoff. *Water Science and Technology*, 75, 987-997.
- Healty 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.
- Lashford, C., Charlesworth, S., Warwick, F. and Blackett, M. (2014). Deconstructing the Sustainable Drainage Management Train in terms of Water Quantity-Preliminary Results for Coventry, UK. *Clean Journal*, 42(2), 187-192, DOI: 10.1002/clen.201300161.
- 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.
- Melbourne Water Corporation. (2013). Healty Waterways Raingardens: Instruction Sheet Building a Swale.
- Metropolitan Council & 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 & 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.
- Oyelola, O.O. (2013). The Use of Compost and Recycled Aggregates in the Treatment of Runoff Pollutants in Vegetated Sustainable Drainage Devices such as Swale. Coventry: Coventry University, Unpublished PhD Thesis.
- Pitt, R. and Clark, S.E. (2008). Integrated Storm-Water Management for Watershed Sustainability. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 134(5), 548-555.
- Revitt, D.M., Ellis, J.B. and Lundy, L. (2017). Assessing the Impact of Swales on Receiving Water Quality. *Urban Water Journal*. 14(8), 839-845, DOI: 10.1080/1573062X.2017.1279187.

- Schueler, T. (1987). Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs. Metropolitan Washington Council of Governments. Washington, DC, USA.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2014). Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018. Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, Türkiye.
- United Nations (UN). (1987). Report of the World Commission on Environment and Development, Our Common Future.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (1999a). Preliminary Data Summary of Urban Stormwater Best Management Practices. EPA 821-R-99-012, Washington, USA.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (1999b). Stormwater Technology Fact Sheet: Vegetated Swales. EPA 832-F-99-006, Washington, USA.
- URL-1: Devlet Su İşleri. Toprak ve Su Kaynakları. Erişim Tarihi: 04.08.2017. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>.
- URL-2: Türkiye Erozyonla Mücadele Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı (TEMA). Çölleşmeyle Mücadele. Erişim Tarihi: 10.08.2017. http://www.tema.org.tr/web_14966-2_1/neuralnetwork.aspx?type=97.
- 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.
- 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.