

Öne Çıkan Sonuçlar:

- Yeşil altyapı uygulamaları hidrolojik döngünün kentleşme öncesindeki duruma yaklaşmasında etkili olan tekniklerdir.
- Yağmur hendekleri geleneksel sistemlere göre pek çok açıdan sürdürülebilirliğe daha fazla katkı sağlamaktadır.
- Altyapı sürdürülebilirlik indeksi yağmur hendekleri ve geleneksel sistemleri karşılaştırmanın bir yoludur.

Yazışma yazarı:

Dilek Eren AKYÜZ,
dilek.akyuz@istanbul.edu.tr

Referans:

Ünal, U., Akyüz, D. E., (2018), Yeşil Altyapı Uygulamaları Kapsamında Yağmur Hendeklerinin Önemi ve Sürdürülebilir Kent Anlayışı ile Değerlendirilmesi, İklim Değişikliği ve Çevre, 3, (2) 55–63

Makale Gönderimi : 25 TEMMUZ 2018
Online Kabul : 21 EYLÜL 2018
Online Basım : 10 EKİM 2018

Yeşil Altyapı Uygulamaları Kapsamında Yağmur Hendeklerinin Önemi ve Sürdürülebilir Kent Anlayışı ile Değerlendirilmesi

Uğur ÜNAL¹, Dilek Eren AKYÜZ²

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, Niğde, Türkiye.

²İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

Özet Yeşil altyapı uygulamaları kentleşmenin sebep olduğu olumsuzlukları çevreci bir anlayışla azaltan ve sürdürülebilir kent ortamı oluşmasını sağlayan tekniklerdir. Yağmur hendekleri bu tekniklerden biridir ve sürdürülebilir kent hayatına birçok katkısı bulunmaktadır. Bu çalışmayla yeşil altyapı uygulamaları kapsamında yağmur hendeklerinin öneminin anlaşılması ve ülkemizdeki kullanım alanlarının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Bu sebeple yağmur hendeklerinin sürdürülebilir kent anlayışı çerçevesinde geleneksel sistemlerle karşılaştırılarak değerlendirilmesi yapılmış ve bu değerlendirme için 23 adet sürdürülebilirlik göstergesi dikkate alınmıştır. Ele alınan her bir gösterge için sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları değerlendirilerek detaylı bir literatür araştırmasına dayanan ve 0 ile 5 arasında değişen puanlama sistemi oluşturulmuştur. Literatür araştırması sonucu yağmur hendeklerinin geleneksel sistemlere göre pek çok açıdan sürdürülebilirliğe pozitif katkılarının olduğu geleneksel sistemlerin ise bu konuda yetersiz kaldığı tespit edilmiş, bu durum altyapı sürdürülebilirlik indeksi ve radar grafikleri yardımıyla desteklenmiştir. Bu indeks ve grafiklere göre yağmur hendeklerinin kentsel bölgelerde uygulanmasıyla geleneksel sistemlerdeki hidrolik yük azalacak, bu sistemlerden alınan verim artacaktır.

Anahtar Kelimeler: Altyapı Sürdürülebilirlik İndeksi, Geleneksel Sistemler, Sürdürülebilir Kent, Yağmur Hendeği, Yeşil Altyapı

Importance of Swales in the Context of Green Infrastructure Applications and its Evaluation by Sustainable Urban Understanding

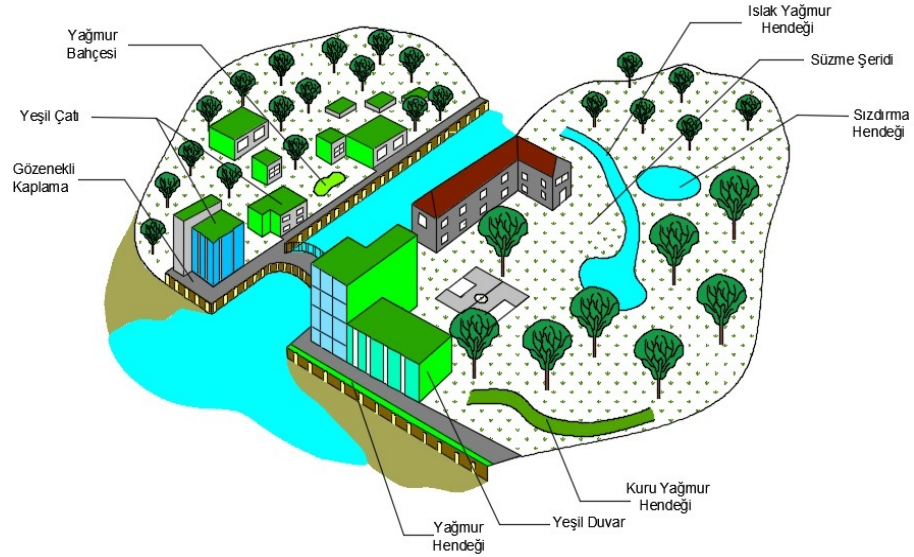
Abstract Green infrastructure applications are techniques that reduce the negative effects of urbanization with an environmentalist approach and enable a sustainable urban environment. Swales are also one of these techniques and their are many contributions to sustainable urban life. With this study it is aimed to understand the importance of swales in the context of green infrastructure applications and to spread the usage areas in our country. For this reason, swales were evaluated by comparing with traditional systems in the framework of sustainable urban understanding and 23 sustainability indicators were taken into account for this assessment. Scoring system ranging from 0 to 5 based on a detailed literature survey was established by evaluating the environmental, social and economic dimensions of sustainability for each indicator thought. As a result of the literature survey, it has been found that swales contribute positively to sustainability in many respect compared to traditional systems and traditional systems are inadequate in this subject and this case was supported by infrastructure sustainability index and radar charts. According to these index and charts, it is clear that the hydraulic load of traditional systems will decrease and the yield to be obtained from these systems will increase with application of swales in urban areas.

Keywords: Infrastructure Sustainability Index, Traditional Systems, Sustainable Urban, Swale, Green Infrastructure

1. Giriş

Su insan hayatının her döneminde önemli olan vazgeçilmez bir doğal kaynak olması ile birlikte tarımdan sanayiye, içme ve kullanma suyundan enerji üretimine kadar pek çok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kullanım alanının genişliğine ve insan hayatı için önemine rağmen su kaynakları yeterince korunmamakta, nüfus artışı ve kentleşmenin sonucu olarak bilinçsiz ve aşırı su kullanımı ile de gelecek nesillerin hayatı tehlikeye atılmaktadır. Bu durumun üstesinden gelebilmek ve gelecek nesillere su konusunda sürdürülebilir bir hayat bırakabilmek için su kaynakları daha akıllıca kullanılmalı ve sudan daha fazla yararlanmak için yeni yöntemler/teknikler geliştirilmelidir. Bu tekniklerden biri de son yıllarda önemi anlaşılan ve yurt dışında yaygın şekilde kullanılan yeşil altyapı uygulamalarıdır.

Yeşil altyapı uygulamaları, nüfus artışının sebep olduğu yoğun kentleşme ve iklim değişikliğinin etkisini azaltma gibi önemli faydalarından dolayı dünyada yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu uygulamalar kentleşme ile birlikte artan geçirimsiz yüzeylerin neden olduğu sel ve taşkın olaylarının etkisini hafifletir, yüzeysel akışa geçen yağmur sularının yeraltına sızmasını kolaylaştırır, kentsel bölgelerde parçalanmış halde bulunan yeşil alanları birbirine bağlayarak yeşil ağlar oluşturur ve bu ağların yüzeyinde bulunan bitki örtüsü yardımıyla su ve hava kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olur (CNT, 2010). Ayrıca bu uygulamalar bölge yöneticilerine doğal kaynakları bir bütün olarak yönetebilme ve kullanabilme yolunu gösterirken bunu gri altyapı olarak da isimlendirilen geleneksel sistemlerden (beton yağmur olukları, beton kanallar ve borulu altyapı sistemleri gibi) daha ekonomik bir şekilde gerçekleştirme imkânı sağlar.



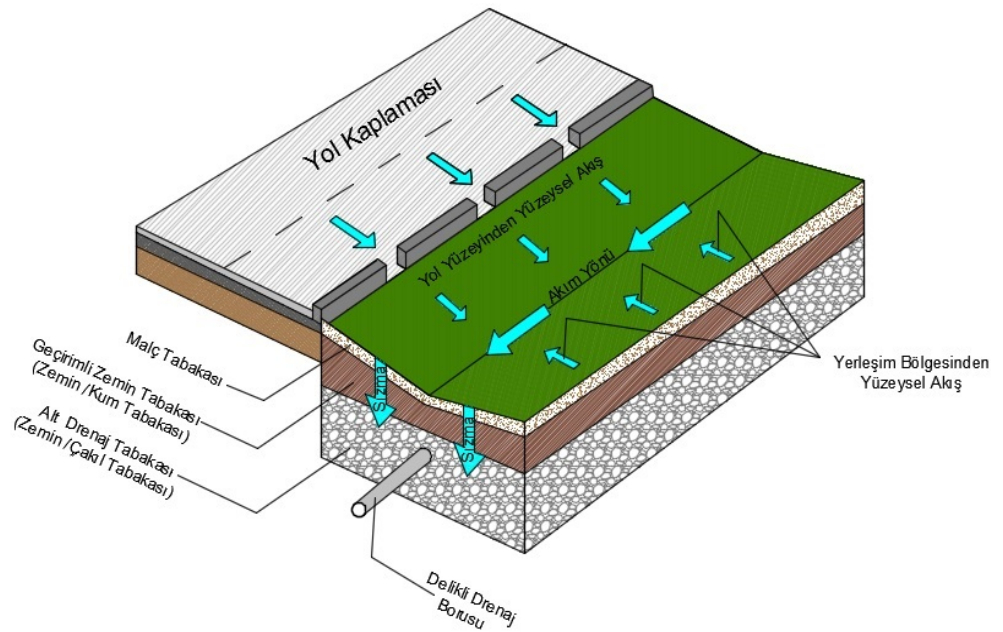
Şekil 1. Yeşil altyapı uygulamaları (Graham vd., 2012'den uyarlanmıştır).

Yeşil altyapı bu faydalarının yanı sıra iklim değişikliği ve kentleşmeden kaynaklanan pik sıcakların azaltılmasında dolayısıyla kentsel ısı-ada etkisinin kabul edilebilir seviyelere indirgenmesinde de önemli bir etkiye sahiptir (Yiğit Avdan vd., 2015). Yeşil altyapı uygulamalarına yağmur hendekleri, yağmur bahçeleri, yeşil çatılar, yeşil duvarlar, sızdırma hendekleri, gözenekli kaplamalar ve süzme (filtre) şeritleri örnek olarak verilebilir. Bu uygulamalar Şekil 1'de gösterildiği gibidir. Sürdürülebilirlik açısından yeşil altyapı uygulamalarının diğer faydaları ise aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir (CNT, 2010; Yiğit Avdan vd., 2015).

- Yüzeysel akış miktarını azaltır,
- Yüzeysel akış hızını yavaşlatır,
- Yeraltı su seviyesini (YAS) artırır,
- Yeraltı su kaynaklarını besler,
- Kullanılabilir su miktarını artırır,
- İklim değişikliğine uyum sağlar ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltır,
- Bitkilerden terleme yoluyla buharlaşma miktarını artırır,
- Erozyonu önler,
- Yağmur suyunun yeniden kullanımına destek olur,
- Enerji kullanımını azaltır,
- Hava kalitesinin artırır,
- Atmosferik CO₂ miktarını azaltır,
- Geleneksel sistemlerin verimliliğini artırır,
- Arıtılacak su miktarını azaltır,

- Bölgeye estetik değer katar,
- Dinlenme alanları sağlar,
- Yaban hayatı için yaşam alanı oluşturur,
- Biyolojik çeşitliliği artırır,
- Gürültü kirliliğini azaltır.

Bu çalışmada incelenen yağmur hendekleri de yeşil altyapı uygulamaları kapsamındadır. Yağmur hendekleri; yağmur suyunu taşıma, arıtma, yüzeysel akışa geçen yağış miktarını azaltma ve yeraltı su kaynaklarını besleme amaçları ile inşa edilen kuru ve ıslak olmak üzere iki tipte uygulanan yüzeyi bitki örtüsüyle kaplanmış açık ve sığ kanallar olarak tanımlanabilir (Revitt vd., 2017). Bu hendekler kentsel bölgelerde yol kenarlarına, orta refüje, parklara, otoparklara, okul ve alışveriş merkezi bahçelerine, sanayi ve ticaret alanlarına inşa edilirken; kırsal bölgelerde arazinin topoğrafyasına göre şekillenen eş yükselti eğrilerine paralel olarak inşa edilir (Pitt ve Clark, 2008; WSUD, 2010). Yol kenarına inşa edilmiş yağmur hendeğine bir örnek Şekil 2'de verilmektedir. Yağmur hendeklerinin kentsel bölgelerdeki kullanım amacı çoğunlukla su kalitesinin artırılması, taşkın olaylarının azaltılması ve sızma yoluyla yeraltı su seviyesinin artırılması iken, kırsal bölgelerdeki kullanım amacı ise genellikle tarımsal sulama suyu ihtiyacının azaltılması ve biyolojik çeşitliliğin artırılmasıdır.



Şekil 2. Yol Kenarına inşa edilmiş yağmur hendeği örneği (WSUD, 2011'den uyarlanmıştır).

Yağmur hendeklerinin yeraltı suyunun yüzeye yakın olması durumunda ıslak, uzak olması durumunda ise kuru olarak inşa edilebilmesi bu hendeklerin neredeyse her bölgeye inşa edilebilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu durum yağmur hendeklerinin hem kentsel hem de kırsal bölgelerde daha fazla uygulama alanı bulmasını ve dolayısıyla diğer yeşil altyapı uygulamaları arasında önemli bir yere sahip olmasını sağlamaktadır. Yağmur hendekleri kolay tasarımı, uygulama kolaylığı ve özellikle çevresel sürdürülebilirliğe sağladığı katkılardan dolayı yeşil altyapı uygulaması olarak kentsel bölgelerde yeşil koridorlar oluşturmak amacıyla yurtdışında sıklıkla uygulanmaktadır. Ülkemizde ise bu hendeklerin uygulama alanları kısıtlı da olsa daha çok kırsal bölgelerde kurulan permakültür çiftliklerinde bulunmaktadır. Bu çiftliklerde inşa edilen yağmur hendekleri sızma ile yeraltı su kaynaklarını besleyerek veya hendekler arasında iletilen suyu bir gölette depolayarak kurak dönemlerde sulama ihtiyacını karşılama amacıyla inşa edilmektedir (URL1). Böylece hendeklerin eğim doğrultusundaki tümsek kısımlarında oluşturulan gıda ormanlarında ürün çeşitliliği ve veriminin artmasına da yardımcı olmaktadır (URL1).

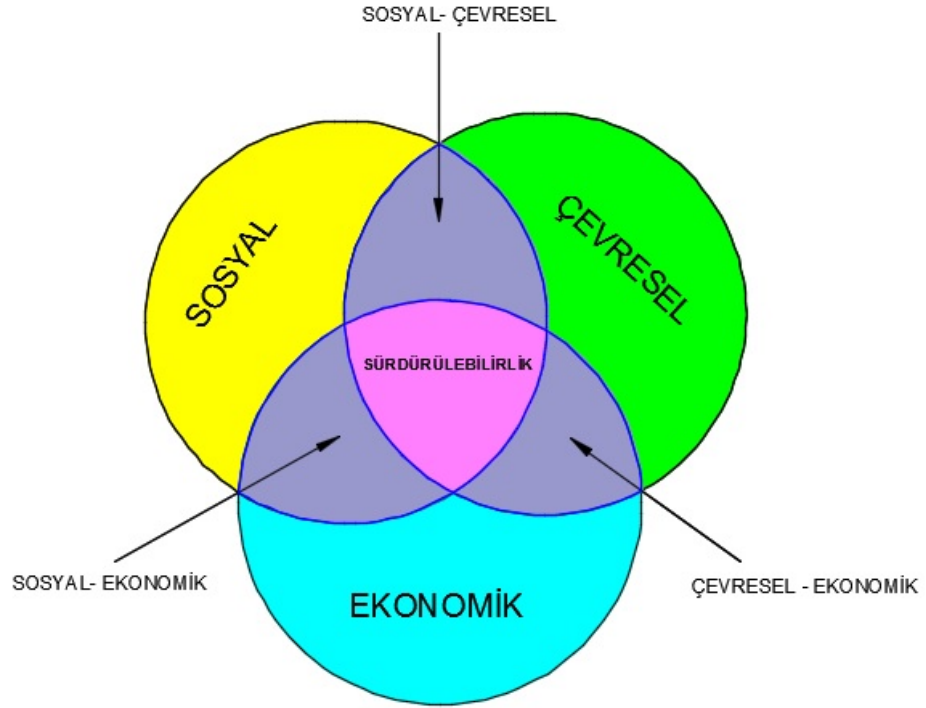
Yağmur hendekleri sürdürülebilirliğe sağladığı faydalardan, tasarım ve inşasının kolay olmasından ve hemen hemen her bölgeye uygulanabilme özelliklerinden dolayı yağmur suyunun sürdürülebilir şekilde yönetilmesinde geleneksel sistemlere göre önemli üstünlüklere sahiptir. Bu sebeple yağmur hendeklerinin ve diğer yeşil alt yapı uygulamalarının ülkemizdeki kullanım alanları genişletilmeli (CWP, 1998) ve bu sistemler geleneksel sistemlerin hidrolik yükünü azaltmak ve daha cazip, güzel mekanlar oluşturmak amacıyla kentleşme seviyesinin yoğun olduğu bölgelerde daha yaygın şekilde inşa edilmelidir. Böylece kentleşmeden kaynaklı çevresel sorunların önüne geçilerek sosyal ve ekonomik açıdan da ülkemiz kentlerinin sürdürülebilirliği sağlanabilir ve dolayısıyla yaşam kalitesi artırılabilir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde yağmur hendeklerinin sürdürülebilir kent anlayışı ile çevresel, sosyal ve ekonomik yönlerden değerlendirilmesi yapılmış ve bu değerlendirme için radar grafiklerinden ve altyapı sürdürülebilirlik indeksinden faydalanılmıştır.

2.1. Sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi

Kentleşmenin ve dolayısıyla iklim değişikliğinin sebep olduğu olumsuzlukları azaltmak ve daha sağlıklı bir dünyada yaşayabilmek için başta kentsel bölgeler olmak üzere gelişmekte olan yeni alanlarda ve tarımsal bölgelerde sürdürülebilir çalışmalara ağırlık verilmelidir. Bu durum çevresel, sosyal ve ekonomik unsurların bir arada ele alınması ile mümkün olmaktadır (Harris, 2000). Sürdürülebilirliğe ait bu unsurlar Şekil 3'te verilmektedir. Yağmur hendekleri de sürdürülebilirliğin farklı boyutlarını içinde barındıran ve sürdürülebilir kent hayatına önemli katkıları bulunan, doğaya dayalı çözümler üreten yeşil alt yapı uygulamalarındandır (Saygın ve Ulusoy, 2011).



Şekil 3. Sürdürülebilirlik bileşenleri (EC, 2015'ten uyarlanmıştır).

Çevresel sürdürülebilirlik; sahip olduğumuz doğal kaynakları korumamızı ve bu kaynakları en verimli şekilde kullanmamızı gerektirir (Kaypak, 2011). Bir sisteme çevresel olarak sürdürülebilir sistem diyebilmemiz için o sistemin mevcut kaynakların dengesini ve devamlılığını koruması ve yenilenebilir kaynakların aşırı kullanımını önlemesi gerekir (Harris, 2000). Bu kapsamda çevresel sürdürülebilirliğin temel amacı doğal hayatın, yeşil alanların ve bioçeşitliliğin korunmasına katkı sağlamaktır. Bunların dışında çevresel sürdürülebilirlik çevreyle ilgili tüm yönetmeliklere/şartnamelere uyulmasını, atık yönetimi ile çevreyi kirletmemeyi, iklim değişikliğine sebep olan sera gazı kullanımını azaltmayı, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımını arttırmayı, yenilenemeyen kaynakların ise dengeli bir şekilde kullanılmasını amaçlamaktadır. Yağmur hendekleri; su kalitesi ve bioçeşitliliği artırma, sel ve taşkın olayları ile iklim değişikliğini azaltma, erozyonu önleme ve doğal gübre oluşumunu destekleme gibi sürdürülebilirliğe sağladığı pek çok katkıdan dolayı çevresel sürdürülebilirlik anlayışı ile uyum içerisindedir (CASQA, 2003; WSUD, 2006; WSUD, 2010; BMP Boston, 2013).

Sürdürülebilirlik için önemli olan bir başka faktör sosyalliktir. Sosyal sürdürülebilirlik; toplumda cinsiyet ayrımı yapılmaksızın herkesin yaşama, sağlık, eğitim ve diğer konularda eşit haklara sahip olması (Harris, 2000) olarak değerlendirilmesinin yanında yaşam standardının yüksek olduğu daha refah bir yerde yaşama çabası olarak da değerlendirilebilir. Bu ise kentsel bölgelerin daha planlı ve kullanışlı olması ile mümkündür (Köken, 2017). Yağmur hendekleri kentsel bölgelerde doğal ve estetik mekânlar oluşturarak bu bölgeleri insanlar için daha cazip hale getirir ve kentsel bölgelerde sosyal alanlar oluşturarak bu bölgelerin işlevselliğini artırır. Yağmur hendeklerinin kentsel bölgelerde dinlenme alanları oluşturması, bölgeye estetik değer katması, yol yüzeyindeki yağmur suyunu toplayarak sürüş güvenliğini sağlaması ve böylece trafik kazalarının oluşmasını engellemesi bu hendeklerin sosyal sürdürülebilirliğe katkı sağladığının göstergesidir.

Sürdürülebilirliğin diğer bir ölçütü ise ekonomik olmaktır. Ekonomiklik uygulanacak yöntemler ve yeni teknolojiler ile enerji, inşaa, bakım ve işletme maliyeti gibi durumlardan tasarruf etme anlamına gelir.

Ekonomik sürdürülebilirlik modelinde üretim-tüketim dengesi sağlanırken çevresel etkilerinde dikkate alınması gerekir (Köken, 2017). Bu nedenle sistem, hem çevresel hem de ekonomik boyutları ile ele alınmalıdır. Yağmur hendekleri geleneksel yağmur suyu yönetim sistemlerine göre %33 daha ekonomik uygulamalar (Demir, 2012) olmasının yanında aynı zamanda çevreye zarar vermeyen aksine doğa dostu olan yeşil altyapı uygulamalarıdır. Yağmur hendekleri özellikle tarımsal bölgelerde sulama suyu ihtiyacını azalttığı için bu bölgelerin sulama maliyetini düşürür. Ayrıca bu hendekler kentsel bölgelerde sızma yoluyla yüzeysel akış miktarını azaltarak yağmur suyu drenaj şebekelerinde kullanılan boru çaplarının azalmasını sağlar (Demir, 2012). Bu da ürün, inşaat ve işçilik maliyetini azaltmaktadır. Bu hendekler aynı zamanda kentsel bölgelerdeki yeşil alanlar arasında bağlantı kurarak bu bölgelerde yeşil bir ağ oluşmasını sağlar. Oluşturulan bu yeşil ağ kentsel ısı-ada etkisini hafifleterek serinleme için ayrılan enerji maliyetinin azalmasına da yardımcı olur (Yiğit Avdan vd., 2015). Yağmur hendeklerinin ekonomik sürdürülebilirliğe diğer bir katkısı ise, yağmur suyunu üzerindeki bitki örtüsü ile arıtarak atık su arıtma tesisine gidecek olan yağmur suyu miktarını azaltması ve dolayısıyla arıtma maliyetini de düşürmesidir (Demir, 2012). Yağmur hendekleri anlatılan bu özellikleri ile kentsel ve kırsal alanlarda ekonomik sürdürülebilirliğin gelişmesine hem direkt hem de dolaylı olarak önemli derecede katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada yağmur hendeklerinin sürdürülebilir kent hayatına olan katkılarını değerlendirmek için radar grafiklerinden ve altyapı sürdürülebilirlik indeksinden yararlanıldı. Radar grafikleri, çoklu kantitatif değişkenleri karşılaştırmanın bir şeklidir ve hangi değişkenlerin benzer veya farklı değerlere sahip olduklarını göstermek için kullanılır. Radar grafiklerini oluşturmak için her değişkene merkezden başlayan bir eksen verilir. Tüm eksenler aynı ölçekte ve birbirine eşit uzaklıkta olacak şekilde radyal olarak düzenlenir. Daha sonra bir eksenden diğer eksene kılavuz çizgileri oluşturulur. Elde edilen radar grafiğinde değişkene ait değer işaretlenerek bir sonraki değişkene ait değerle birleştirilir ve bu sayede bir çokgen elde edilir. Elde edilen bu çokgen radar grafiği olarak adlandırılmaktadır.

Bu makalede yağmur hendeklerinin geleneksel sistemlere kıyasla kentsel bölgelerdeki sürdürülebilirliğini değerlendirmek üzere 23 adet sürdürülebilirlik göstergesi dikkate alındı. Bu göstergelerin sürdürülebilirliğe olan etkileri çevresel, sosyal ve ekonomik alt başlıkları ile gruplandırıldı. Daha sonra her bir gösterge için 0 ile 5 arasında değişen ve detaylı bir literatür araştırmasına dayanan puanlama yapıldı. Elde edilen sonuçlar yağmur hendekleri ve geleneksel sistemler için radar grafikleri yardımıyla sunuldu. Ayrıca bu puanlama ile yağmur hendeklerinin ve geleneksel sistemlerin çevresel, sosyal ve ekonomik alanların her birindeki etki oranları (0 ile 1 arasında) belirlenerek bu değerlerin ortalaması olarak tanımlanan altyapı sürdürülebilirlik indeksi (ASİ) hesaplandı (Denklem 1). Bu indeks yardımıyla yağmur hendeklerinin geleneksel sistemlerle nicel şekilde karşılaştırılması yapıldı.

$$ASİ = \frac{Ç+S+E}{3} \quad (1)$$

Burada; ASİ: altyapı sürdürülebilirlik indeksini, Ç: çevresel etki oranını, S: sosyal etki oranını ve E: ekonomik etki oranını (0 ile 1 arasında) ifade etmektedir. Altyapı sürdürülebilirlik indeksi ilk defa bu çalışma ile tanımlanmıştır.

3. Bulgular

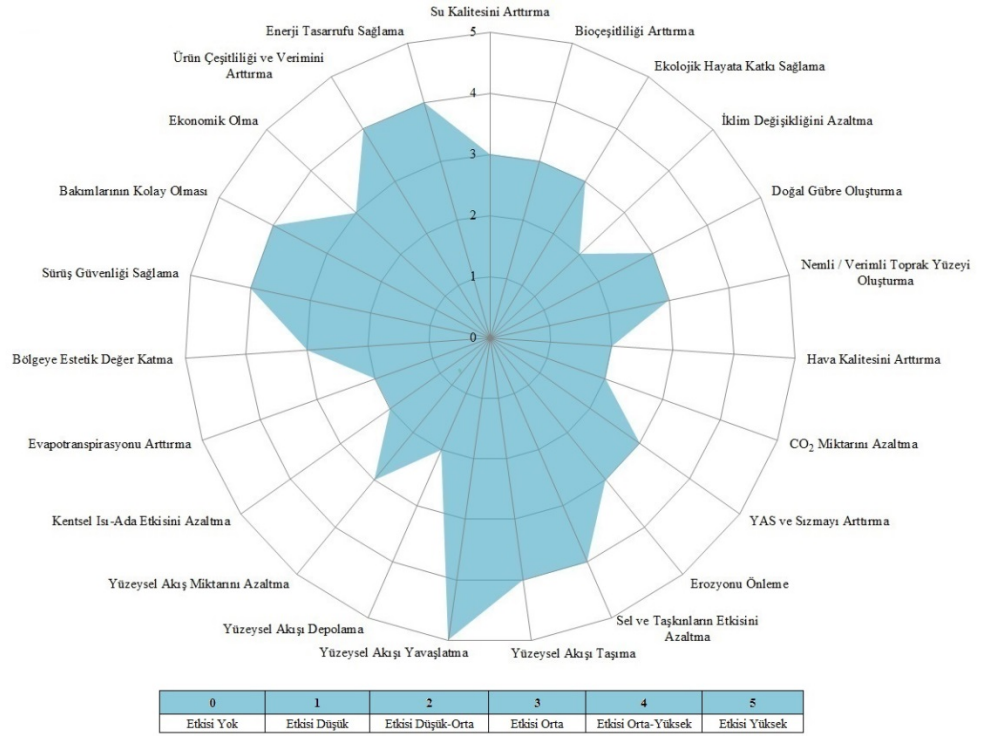
Yağmur hendekleri ile geleneksel yağmur suyu yönetim sistemlerinin sürdürülebilirlik açısından kıyaslanmasının dayandığı literatür araştırması Tablo 1'de ve bu kıyaslamayı gösteren radar grafikleri ise sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde yeşil altyapı uygulamalarından biri olan yağmur hendeklerinin geleneksel yağmur suyu yönetim sistemlerine göre verilen puanlar açısından; % 50 çevresel, %40 sosyal ve %66 ekonomik puan oranları ile sürdürülebilirliğe daha fazla faydasının olduğu tespit edilmiştir. Bu durum radar grafikleri yardımıyla da görsel olarak desteklenmiştir. Ayrıca ASİ tanımlanmış ve bu değer yağmur hendekleri için %68, geleneksel sistemler için ise %16 olarak belirlenmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere yağmur hendeklerinin kentsel ve kırsal bölgelerde çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğe önemli katkıları bulunmaktadır. Bu sebeple özellikle kentsel bölgelerdeki (yerleşim yerleri, yol kenarları, otoparklar ve orta refüj vs.) yağmur hendeklerinin kullanım alanları yaygınlaştırılmalı ve bu hendeklerden daha fazla yararlanılmalıdır. Bu sayede hem doğada kısıtlı halde bulunan kullanılabilir temiz su ihtiyacı karşılanabilir hem de hidrolojik döngüdeki olumsuz değişiklikler (yüzeysel akış hacminin artması, sızma ve buharlaşma miktarının azalması) azaltılabilir.

Tablo 1. Yağmur hendekleri ve geleneksel sistemlere ait literatür araştırması.

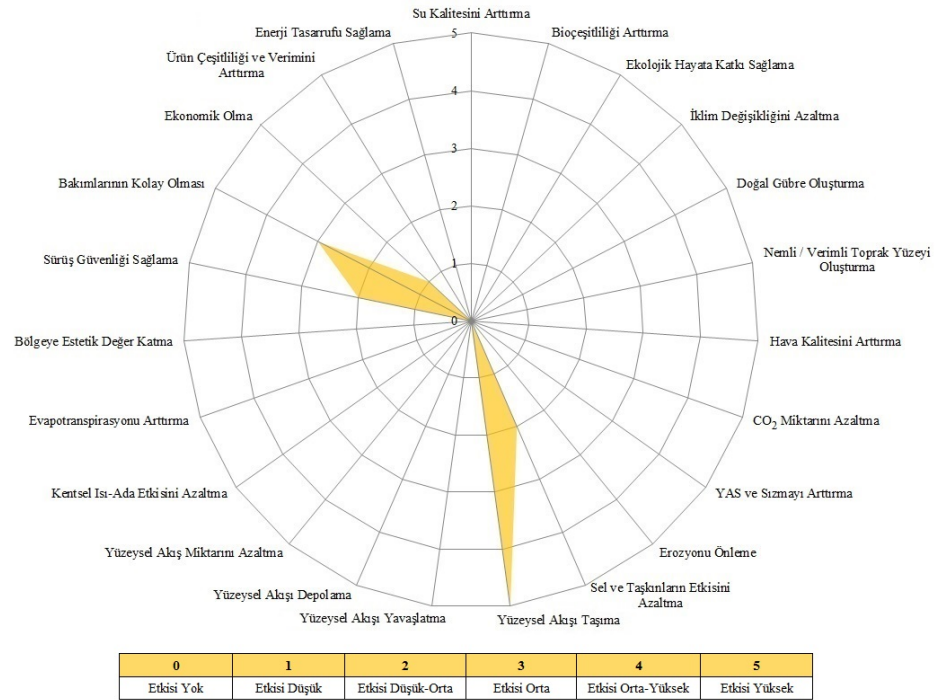
Sürdürülebilirliğe Etkisi	Yağmur Hendekleri		Geleneksel Sistemler	
	Sürdürülebilirliğe Katkısı	Puan	Kaynak	Puan
Çevresel	Su Kalitesini Arttırma	3	(EA, 2012; NWRM, 2013)	0
	Bioçeşitliliği Arttırma	3	(EA, 2012; NWRM, 2013)	0
	Ekolojik Hayata Katkı Sağlama	3	(NWRM, 2013)	0
	İklim Değişikliğini Azaltma	2	(URL1 ³ ; URL2)	0
	Doğal Gübre Oluşturma	3	(URL1) ³	0
	Nemli/Verimli Toprak Yüzeyi Oluşturma	3	(URL1) ³	0
	Hava Kalitesini Arttırma	2	(CNT, 2010) ³	0
	CO ₂ Miktarını Azaltma	2	(CNT, 2010 ³ ; NWRM, 2013)	0
	YAS ve Sızmayı Arttırma	3	(URL3; NWRM, 2013)	0
	Erozyonu Önleme	3	(URL2; URL3)	0
	Sel ve Taşkınların Etkisini Azaltma	4	(Lashford vd., 2014; Xie vd., 2017 ³)	2
	Yüzeysel Akışı Taşıma	4	(CNT, 2010) ³	5
	Yüzeysel Akışı Yavaşlatma	5	(DCC, 2005; EA, 2012; NWRM, 2013)	0
	Yüzeysel Akışı Depolama	2	(NWRM, 2013)	0
Yüzeysel Akış Miktarını Azaltma	3	(DCC, 2005; Lashford vd., 2014)	0	
Kentsel Isı-Ada Etkisini Azaltma	2	(CNT, 2010 ³ ; NWRM, 2013)	0	
Evapotranspirasyonu Arttırma	2	(NWRM, 2013)	0	
Çevresel Etki Oranı		%58		%8
Sosyal	Bölgeye Estetik Değer Katma	3	(CNT, 2010 ³ ; NWRM, 2013)	0
	Sürüş Güvenliği Sağlama	4	(BMP Boston, 2013) ³	2
	Bakımların Kolay Olması	4	(NWRM, 2013)	3
Sosyal Etki Oranı		%73		%33
Ekonomik	Ekonomik Olma	3	(EA, 2012; NWRM, 2013)	1
	Ürün Çeşitliliği ve Verimini Arttırma	4	(URL1) ³	0
	Enerji Tasarrufu Sağlama	4	(URL1) ³	0
Ekonomik Etki Oranı (ASI)		%73		%7
		%68		%16

³Puanlama ilgili makale/tez/rapor/internet adresi dikkate alınarak yazarlar tarafından yapılmıştır.

+Yazarların fikir, deneyim ve görüşleri doğrultusunda puanlama yapılmıştır.



Şekil 4. Yağmur hendekleri için radar grafiği.



Şekil 5. Geleneksel Sistemler için Radar Grafiği.

4. Tartışma ve Sonuç

Yeşil altyapı uygulamaları; kentleşme ve iklim değişikliğinden kaynaklanan ve hidrolojik döngünün elemanlarında değişime neden olan sızma, buharlaşma ve yüzeysel akış miktarlarının kentleşme öncesindeki duruma yaklaşmasına yardımcı olur. Hidrolojik döngünün doğal durumuna yaklaşması kentsel bölgelerin sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır. Yeşil altyapı uygulaması olarak inşa edilen yağmur hendekleri yüzeysel akışı hendek içinde depolayarak yeraltına sızdırır bu sayede hem yüzeysel akış miktarını azaltır hem de sızma yoluyla yeraltı su kaynaklarının beslenmesine katkı sağlar. Böylece iklim değişikliğinin etkisiyle ortaya çıkan aşırı ve şiddetli yağışlar ile kuraklık gibi insan hayatını doğrudan etkileyen durumların önüne geçilebilir. Bu hendekler ayrıca yüzeydeki bitki örtüsü yardımıyla buharlaşma miktarının artmasına da yardımcı olur. Dolayısıyla yağmur hendekleri ve diğer

yeşil altyapı uygulamaları hidrolojik döngünün kentleşme öncesindeki duruma yaklaşmasında etkili olan tekniklerdir.

Bu çalışmada ele alınan 23 adet (17 çevresel, 3 sosyal, 3 ekonomik) sürdürülebilirlik göstergesi yağmur hendekleri ve geleneksel sistemleri karşılaştırmak için kullanılmış ve yağmur hendeklerinin özellikle %58 çevresel puan, %73 sosyal puan ve %73 ekonomik puan oranları ile kentsel sürdürülebilirliğe önemli katkılarından olduğu, ayrıca bu hendeklerin geleneksel sistemlerden de %50 çevresel puan, %40 sosyal puan ve %66 ekonomik puan oranı bakımından daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Yağmur hendekleri özellikle çevresel sürdürülebilirliğe sağladığı katkılarla ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada ele alınan çevresel sürdürülebilirlik göstergeleri, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik göstergelerinden daha fazla olduğu için yağmur hendeklerinin çevresel etkisi sosyal ve ekonomik etkilerinden daha düşük bir orana sahip olarak görülmektedir.

Radar grafikleri ve altyapı sürdürülebilirlik indeksleri (yağmur hendekleri için %68 ve geleneksel sistemler için %16) incelendiğinde yağmur hendeklerinin sürdürülebilirliğe sağladığı katkılardan dolayı canlı hayatını, sürdürülebilir kent yaşamını ve ekolojik dengeyi korumada son derece önemli olduğu görülmektedir. Bu sebeple kentsel bölgelerde geleneksel sistemlerin kullanımları azaltılmalı ve bu sistemler yerine yağmur hendekleri gibi yeşil altyapı uygulamalarının kullanımları yaygınlaştırılmalı bunun mümkün olmadığı bölgelerde ise yeşil altyapı uygulamaları geleneksel sistemlerle birlikte kullanılmalıdır. Böylece geleneksel sistemlerin hidrolik yükü azaltılarak kentleşmeden kaynaklı sel/taşkın, su kirliliği, erozyon ve kuraklık gibi sorunların önüne geçilebilir, gelecek nesiller için su merkezli, daha sağlıklı ve daha yaşanabilir bir kent ortamı sağlanabilir. Yapılan bu çalışma bundan sonraki yağmur hendeği veya yeşil altyapı uygulamaları ile ilgili yapılacak çalışmalara ışık tutacak ve bu konudaki bilinci arttıracaktır.

5. Kaynaklar

- Boston Water and Sewer Commission. (2013), Stormwater best management practices (BMP): Guidance document, Boston, USA.
- California Stormwater Quality Association (CASQA). (2003), Stormwater best management practice (BMP) handbook: New development and redevelopment, Section: Vegetated swale.
- Center for Neighborhood Technology (CNT). (2010), The value of green infrastructure: A guide to recognizing its economic, environmental and social benefit. section: bioretention and infiltration practices, W. North Avenue, Chicago.
- 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, Çevre mühendisliği anabilim dalı, 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.
- Dublin City Council (DCC). (2005), Greater Dublin strategic drainage study, regional drainage policies, 3, Environmental Management.
- Ekşi, M. (2016), Yağmur bahçelerinin nicel değerlendirilmesi: İstanbul Üniversitesi orman fakültesi örneği, Gazi Üniversitesi mühendislik ve mimarlık fakültesi dergisi, 31(4), 1113-1123.
- Environment Agency (EA). (2012), Rural Sustainable Drainage Systems, https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291508/scho0612buwh-e-e.pdf.
- European Commission (EC). (2015), Science for environment policy in depth report: Indicators for sustainable cities, 12, DOI: 10.2779/61700. http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/indicators_for_sustainable_cities_IR12_en.pdf.
- European Commission Natural Water Retention Measures (NWRM). (2013), Individual NWRM: Swales.
- Government of Western Australia Department of Water. (2011), Water sensitive urban design (WSUD) swales and buffer strips, Western Australia.
- Graham, A., Day, J., Bray B. and Mackenzie, S. (2012), Sustainable drainage systems: A guide for local authorities and developers.
- Harris, J.M. (2000), Basic principles of sustainable development, global development and environment institute, Working Paper 00-04, Tufts University.
- Healty Waterways Partnership. (2006), Water sensitive urban design (WSUD) technical design guidelines for South East Queensland.
- Kaypak, Ş. (2011), Küreselleşme sürecinde sürdürülebilir bir kalkınma için sürdürülebilir bir çevre, KMÜ sosyal ve ekonomik araştırmalar dergisi, 13(20), 19-33.
- Köken, K. (2017), Sürdürülebilir kentsel tasarım kriterleri açısından kentsel dönüşüm projelerinin incelenmesi, Uzmanlık tezi, İller Bankası A.Ş.
- 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, Journal of clean, 42(2), 187-192, DOI: 10.1002/clen.201300161.
- Müftüoğlu, V. ve Perçin, H. (2015), Sürdürülebilir kentsel yağmur suyu yönetimi kapsamında yağmur

- bahçesi, İnönü Üniversitesi sanat ve tasarım dergisi, 5(11), 27-37.
- 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.
- Saygın, N. and Ulusoy, P. (2011), Stormwater management and green infrastructure techniques for sustainable campus design, Journal of polytechnic, 14(3), 223-231.
- Sert, E. (2013), Enerji etkin kentsel peyzaj tasarımında yağmur suyu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Programı, Yüksek lisans tezi, İstanbul.
- T.C. Kalkınma Bakanlığı (TCKB). (2014), Onuncu kalkınma planı 2014-2018, Su kaynakları yönetimi ve güvenliği özel ihtisas komisyonu raporu, Ankara, Türkiye.
- URL1: Marmariç Ekolojik Yaşam Derneği (2018), Permakültür el kitabı ve marmariç örneği, http://marmaric.org/permakultur_el_kitabi.pdf, Erişim Tarihi: 21.02.2018.
- URL2: West Sussex County Council (2018), SUDS design guidance, https://www.westsussex.gov.uk/media/2270/suds_design_guidance.pdf, Erişim Tarihi: 21.02.2018.
- URL3: The City of Lancaster a City Authentic (2018), Fact sheet: Vegetated swale, <http://www.saveitlancaster.org>, Erişim Tarihi: 21.02.2018.
- URL4: Waterloc (2018), Yağmursuyu yönetim sistemi, <http://www.degora.com/pdf/gpwat09tr.pdf>, Erişim Tarihi: 21.02.2018.
- 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.
- Yiğit Avdan, Z., Yıldız, D. ve Çabuk, A. (2015), Yağmur suyu yönetimi açısından yeşil altyapı sistemlerinin değerlendirilmesi, 2nd international sustainable buildings symposium, Ankara, Türkiye.