

### Öne Çıkan Sonuçlar:

- DEK uygulamaları sel ve taşkınların azaltılmasında etkilidir.
- EPA SWMM programı DEK uygulamalarının modellenmesinde kullanılabilir.
- Farklı DEK türleri kullanılarak gerekli görülen alanlarda uygulamalar yapılabilir.

### Yazışma yazarı:

Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN,  
meleka@istanbul.edu.tr

### Referans:

Gülbağ, S., Kaya Y. E., Kazezyılmaz Alhan C. M., (2018), Düşük Etkili Kentleşme Uygulamalarının Yüzeysel Akışa Etkisi: İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü Örneği, İklim Değişikliği ve Çevre, 3, (7) 45-50,

Makale Gönderimi : 22 TEMMUZ 2018  
Online Kabul : 9 AĞUSTOS 2018  
Online Basım : 15 AĞUSTOS 2018

## Düşük Etkili Kentleşme Uygulamalarının Yüzeysel Akışa Etkisi: İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü Örneği

Sezar GÜLBAZ<sup>1</sup>, Yunus Emre KAYA<sup>1</sup>, Cevza Melek KAZEZYILMAZ ALHAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, Avcılar, İstanbul, Türkiye.

**Özet** Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, su kaynaklarının korunması ve kentleşmenin çevre ve su kaynakları üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılması için yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Meydana gelen bu olumsuz sonuçları azaltmak amacıyla doğal çözüm yöntemleri içeren Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamalarının kullanılması büyük öneme sahiptir. DEK, hidrolojik çevrimi korumak, selin ve yayılı kirlilik kaynaklarının olumsuz etkilerini azaltmak için tasarlanmış bir yağmur suyu yönetimi uygulamasıdır. Bu çalışma kapsamında, Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli (EPA SWMM) kullanılarak İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü'nün hidrolojik ve hidrolik modeli oluşturulmuştur. Daha sonra modele farklı DEK'ler entegre edilerek bu uygulamaların yüzeysel akışa olan etkisi incelenmiştir. Bunun için yeşil çatı, sızdırma hendeği, geçirgen kaldırım ve biyotutma tipi DEK uygulamaları kampüs üzerinde uygun yerlere yerleştirilerek modele dahil edilmiştir. Model sonuçları incelendiğinde DEK uygulamalarının pik debiyi ve yüzeysel akış miktarını büyük oranda azalttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük Etkili Kentleşme (DEK), EPA SWMM, Hidrolojik Model, Yüzeysel Akış, Taşkın

## The Impact of LID Implementation on Surface Runoff: Case Study of Istanbul University, Avcılar Campus

**Abstract** New techniques are needed to ensure environmental sustainability, to protect water resources, and to reduce the negative impact of urbanization on the environment and water resources. Low Impact Development (LID) implementation, which involves natural methods to reduce the negative impacts of urbanization, has great importance. LID is a storm water management practice to protect the hydrological cycle and mitigate the adverse effects of floods and nonpoint source pollution. Within the scope of this study, a hydrological and hydraulic model of Istanbul University, Avcılar Campus is developed by using Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM). Then, different types of LID are introduced into the model to investigate the effect of these applications on surface runoff. For this purpose, the green roof, vegetative swale, permeable pavement and bioretention types of LID implementation were placed into the proper locations on the campus and incorporated into the model. The model results show that LID implementations greatly reduce peak flow and volume of surface runoff.

**Keywords:** Low Impact Development (LID), EPA SWMM, Hydrologic Model, Runoff, Flood

### 1. Giriş

Yağmur suyu yönetiminin iyi yapılması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük öneme sahiptir. Özellikle yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgelerde geçirimsiz yüzeylerin artması, dere yataklarında oluşan yanlış yapılaşmalar ve alt yapıların yetersiz olmasından dolayı sel ve taşkın gibi mal ve can kaybına neden olan sorunlar yaşanmaktadır. Bu kapsamda su miktarının kontrol altına alınması ve düzenlenmesi için çeşitli mühendislik modellerinin ve uygulamalarının sistematik olarak yapılması zorunludur. Bahsedilen sorunların çözümü için Düşük Etkili Kentleşme (DEK) sistemleri başarılı uygulamalar arasında görülmektedir. Özellikle kentsel bölgelerde suların sızmasını kolaylaştıracak küçük ve büyük ölçekli yapıların yapılması, taşkın ve sel olaylarının engellenmesinde önem arz etmektedir. Bu kapsamda DEK, yüzeysel akışın su kalitesini doğal yöntemlerle iyileştirmede ve taşkınların önlenmesinde faydalı olmaktadır. Literatürde DEK'in debiyi azalttığını ve

yüzeysel akışın toplanma süresini arttırdığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Jia ve diğ., 2012; Tillinghast ve diğ., 2011; Davis, 2008; Haifeng ve diğ., 2012). Lee ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada kentleşme ile birlikte taşkın debisinin arttığı ve yapay sulak alanlar, bekletme, dinlendirme ve süzme havuzları, biyotutular, geçirgen kaldırımlar, yağmur suyu depolama hazneleri gibi DEK uygulamalarından sonra debinin azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla DEK uygulamaları ile taşkın ve sel riskinin önlenmesi ile ilgili model, deneysel ve arazi uygulamalarına ağırlık verilmelidir.

Yağmur suyu yönetimi için yerleşim bölgelerinin hidrolojik modellenmesi ve bu modele DEK uygulamalarının entegre edilmesi, EPA SWMM adlı bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. EPA SWMM yağmur suyunun modellenmesinde sıklıkla kullanılan US EPA tarafından geliştirilmiş bir programdır. Literatürde, yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın hidrolojik modellenmesi, EPA SWMM kullanılarak yapılmış örneklerle sıkça rastlanmaktadır (Gülbağ ve Kazezyılmaz-Alhan, 2013; Meierdiercks ve diğ., 2010; Chang ve diğ., 2008; Temprano ve diğ., 2006; Tsihrintzis ve Hamid, 1998). Ancak, DEK uygulamasının EPA SWMM programı kullanılarak yapılmış örnekleri oldukça yeni olup literatürde bu konudaki çalışmalar oldukça kısıtlıdır (Jia ve diğ., 2012; Lee ve diğ., 2012; Tillinghast ve diğ., 2011; Alfredo ve diğ., 2010; Lucas, W.C., 2010). Aad ve diğ. (2010) EPA SWMM programında yağmur tankı ve biyotutma DEK uygulamalarını kullanmışlardır. Yapılan çalışmada DEK uygulamasından önceki ve sonraki durum modellenerek sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamında İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüs Alanı EPA SWMM bilgisayar programı kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan hidrodinamik modele yeşil çatı, sızdırma hendeği, geçirgen kaldırım ve biyotutma tipi DEK uygulamaları tanıtılmıştır. Daha sonra kampüs içerisinde DEK için uygun yerler tespit edilmiş ve modele yansıtılmıştır. Modele yağış verileri girilerek çalıştırılmıştır. Elde edilen yüzeysel akış sonuçları DEK uygulamalarından önceki ve sonraki durum için incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Böylece DEK uygulamalarının yüzeysel üzerindeki etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 EPA SWMM Yağmur Suyu Yönetim Modeli

EPA Yağmur Suyu Yönetim Modeli genellikle anlık veya uzun süreli yağış sonucu yüzeysel oluşan suyun dinamik simülasyonunu yapmak amacıyla kullanılan bir bilgisayar programıdır (Rossmann, 2010; Huber ve Dickinson, 1988). EPA SWMM bilgisayar programı ilk olarak 1971 yılında geliştirilmeye başlanmış ve üretildiği tarihten günümüze kadar farklı dönemlerde güncellenmiştir. EPA SWMM bilgisayar programı havza üzerinde meydana gelen yüzeysel akışın miktarını, kalitesini, boru veya kanal içerisinden geçen akımın debisini, hızını ve derinliğini hesaplar. EPA SWMM programında alt havzalar, açık kanallar veya borular, birleşim noktaları, çıkış noktaları, yağışölçerler, pompalar, düzenleyiciler, depolama hazneleri gibi sistem elemanları tanımlanabilmektedir. EPA SWMM bilgisayar programına alt havzaların alanı, eğimi, genişliği; kanalların uzunlukları, en kesit alanları, giriş ve çıkış noktalarının kotları; uzun veya kısa süreli yağış değerleri girdi olarak girilerek akışın debisi, hızı, kanallardaki su yüksekliği gibi havzanın hidrodinamik değişkenleri çıktı olarak elde edilir. EPA SWMM içerisinde yapılan yüzeysel akış ve debi hesapları akışkan dinamiğinin temel prensipleri olan kütle, momentum ve enerji korunumu prensiplerine dayanır. Yüzeysel akış hesapları, yağış ve havza girişindeki su kaynakları havzanın su kazancını, sızma, buharlaşma ve yüzeysel akış ise havzadan çıkan toplam su miktarını oluşturmaktadır. Boru veya açık kanallarda meydana gelen akımı ötelemek amacıyla kinematik, difüzyon ve dinamik dalga öteleme seçenekleri mevcuttur. Sızma hesabı için Horton, Düzeltilmiş Horton, Green-Ampt, Düzeltilmiş Green-Ampt ve Eğri Numarası yöntemleri mevcuttur.

### 2.2 Avcılar Kampüs Alanı

İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü, Avcılar ilçesine bağlı olup Üniversite Mahallesi içinde bulunmaktadır (Şekil 1). Kampüsün GPS koordinatları, Google Earth programından 40° 59' 13.2936" ve 28° 43' 34.4856" olarak görülmektedir. Kampüs yerleşim alanı yaklaşık 43.5 hektar olup, sayısal modellenmesi yapılan alan kuzeydoğusundaki ormanlık arazi ile birlikte yaklaşık 133 hektardır. İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi, İstanbul Üniversitesi'nin en büyük yerleşkesi olarak 1978 yılında kurulmuştur. Merkez yerleşke olmamakla birlikte İstanbul'da bulunan üniversiteler içerisinde büyük araziye sahip yerleşkeler arasındadır. Kampüs içerisinde Mühendislik, Veterinerlik, İşletme, Ulaştırma ve Lojistik Fakülteleri, Meslek Yüksek Okulları ile sosyal tesis ve kreş yer almaktadır.



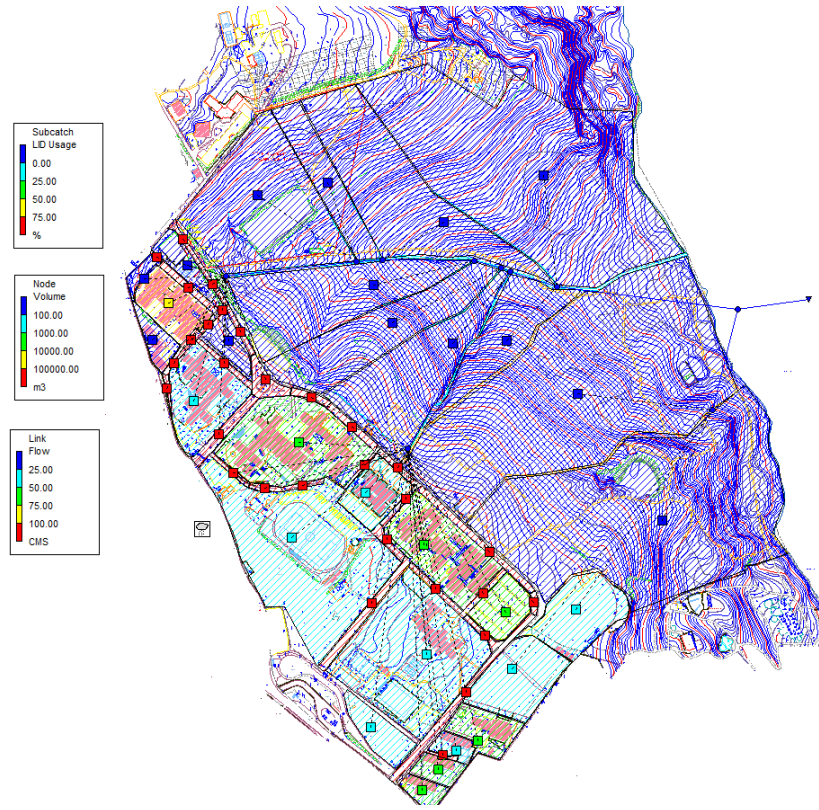
Şekil 1. İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüs Konumu (Google Earth).

## 2.3 Hidrolojik ve Hidrolik Modelin Oluşturulması

EPA SWMM bilgisayar programında Avcılar Kampüs alanının hidrolojik ve hidrolik modeli İstanbul Üniversitesi Yapı İşleri Daire Başkanlığı'ndan temin edilen topoğrafik harita ve yerleşim planı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada Avcılar Kampüs alanına ait eş yükselti haritası üzerinde toplam alan 59 adet alt havzaya bölünerek modellenmiştir. Her alt havzaya ait eğim, alan ve genişlik değerleri girilmiştir. Daha sonra tüm alt havzalar için yerleşim planı haritası kullanılarak yerleşim alanlarının yüzdeleri belirlenmiş ve programa girilmiştir. Yağış sırasında havzada meydana gelen sızma miktarı ise Horton Metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Sızma miktarını bulmak için zemin cinsine bağlı olarak değişen porozite, hidrolik iletkenlik ve kapiler basınç parametrelerinin değerleri, EPA SWMM kullanma kılavuzundan ve literatürdeki kaynaklardan yararlanılarak belirlenmiştir. Daha sonra alt havzalar üzerinde yağış sonrası oluşan yüzeysel akış sularının toplandığı 10 adet birleşim noktası, topoğrafik harita kullanılarak tespit edilmiş ve yükseltileri eşyükselti haritaları kullanılarak belirlenip programa girilmiştir. Yağış sonucu oluşan yüzeysel akış, birleşim noktalarında toplanarak açık kanallar ve dereler vasıtasıyla Küçükçekmece Gölü'ne doğru akmaktadır. Modellemenin bu aşamasında 10 adet açık kanal oluşturulmuştur. Daha sonra yüzeysel akışın açık kanalları izleyerek göle ulaştığı çıkış noktası belirlenmiştir. Yüzeysel akış ve kanallardaki debi hesaplamaları için sürtünme, yerçekimi ve basınç kuvvetini esas alan difüzyon dalga öteleme metodu kullanılmıştır. Şekil 2'de Avcılar Kampüs alanının EPA SWMM ile oluşturulmuş modeli görülmektedir.

Oluşturulan nümerik modele, uygun alanlarda yeşil çatı, sızma hendeği, biyotutma ve geçirgen kaldırım gibi DEK uygulamaları tanıtılmıştır. Yeşil çatı uygulaması, bina yapısı itibarıyla uygun olan İşletme Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, Veteriner Fakültesi başta olmak üzere 11 adet betonarme yapı üzerinde toplam 45.780 m<sup>2</sup> alana uygulanmıştır. Mevcut yapıya makul seviyenin üzerinde yük getirmemesi amacıyla toprak kalınlığı 25 cm olarak belirlenmiştir. Bir diğer DEK uygulaması olan sızma hendeği, Stadyum ve Ulaştırma ve Lojistik Yüksekokulu arazisindeki uygun alanlara 6250m<sup>2</sup> olarak uygulanmıştır. Uygulama kolaylığı ve çevre bitki örtüsünün incelenmesi sonucunda, bu yapının hem derinliği 50cm hem de üzerindeki bitki örtüsü yüksekliği 50 cm olacak şekilde nümerik modele girişi yapılmıştır. Kampüs alanında karayolu olarak kullanılan alanlarda ülkemizde de oldukça sık uygulaması olan geçirgen kaldırım olarak yenilenmesi planlanarak modele girdisi sağlanmıştır. Geçirgen kaldırım saatte 100 mm su geçirimsizliği sağlayacak ve alt katmanında 10 cm kalınlığında geçirimli olmasını sağlayacak zemin özelliklerine sahiptir. Dördüncü ve son olarak nümerik modelde kullanılan biyotutma uygulaması kampüs içinde bulunan İETT park sahası üzerinde 3760 m<sup>2</sup>lik

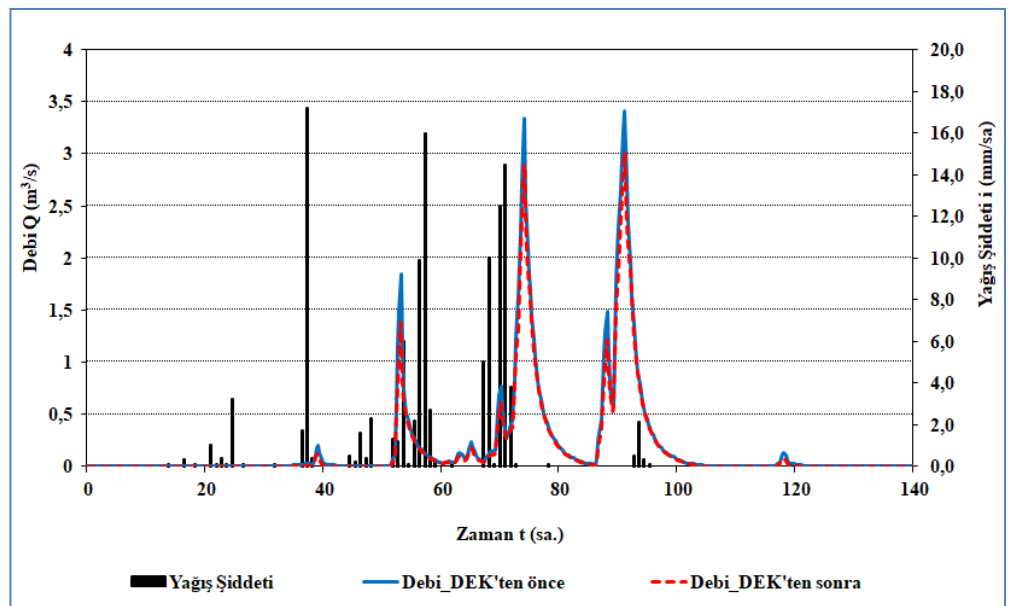
alanda uygulanmıştır. Biyotutma teknik özellikleri başlıca 25cm toprak derinliği, 30cm bitki örtüsü yüksekliği olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2. Avcılar Kampüsüne ait EPA SWMM ile oluşturulmuş hidrolojik-hidrolik model.

### 3. Bulgular

Avcılar Kampüsü hidrolojik-hidrolik modeli, DEK uygulamaları dahil edilerek ve dahil edilmeden çalıştırılmış olup sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Simülasyonlar için 07-09 Eylül 2009 tarihleri arasında oluşan yağış verisi kullanılmıştır. Model sonuçları, tüm kampüs alanında ve her DEK uygulamasının yapıldığı alt havza alanında incelenmiştir. Tüm kampüs alanı üzerinde oluşan yüzeyel akışın çıkış noktasındaki değeri DEK uygulamaları olmadan  $3.41 \text{ m}^3/\text{s}$  iken DEK uygulamaları ile birlikte bu değer  $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$  ye düşmüş ve yüzeyel akış debisinde %12 azalma gözlemlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. 07-09 Eylül 2009 tarihleri arasında oluşan yağış hiyetografı ve DEK uygulaması olmadan önceki ve sonraki yüzeyel akış hidrografı.

Simülasyon sonuçları ayrıca her DEK tipinin uygulandığı alan için ayrı olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda,  $4060 \text{ m}^2$  olan alanın %27.1'ine denk gelen yapı üzerine Yeşil Çatı uygulaması yapılmış ve maksimum akışın %26 oranında düşerek  $0.019 \text{ m}^3/\text{s}$  den  $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$  seviyelerine indiği

gözlemlenmiştir. 9260 m<sup>2</sup> olan alanın %7 sine denk gelen arazi üzerine Sızma Hendeği uygulaması yapılmış ve maksimum akışın %7.2 oranında düşerek 0.037m<sup>3</sup>/s den 0.034 m<sup>3</sup>/s seviyelerine indiği tespit edilmiştir. 5650 m<sup>2</sup> olan alanın tamamına denk gelen ve taşıt geçişi için kullanılan caddenin üzerine Geçirgen Kaldırım uygulaması yapılmış ve 0.027 m<sup>3</sup>/s olan yüzeysel akışın tamamen sızmaya dönüştüğü görülmüştür. Son olarak 20830 m<sup>2</sup> olan alanın %18.1 ine denk gelen arazi üzerine biyotutma uygulaması yapılmış ve maksimum akışın %19 oranında düşerek 0.10m<sup>3</sup>/s den 0.081 m<sup>3</sup>/s seviyelerine indiği tespit edilmiştir

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü'nün EPA SWMM bilgisayar programı kullanılarak hidrolojik-hidrolik modeli oluşturulmuş ve kampüste yağış sonucu oluşan yüzeysel akış miktarları hesaplanmıştır. Daha sonra kampüsün çeşitli yerlerine yerleşmeye ve arazi kullanımına uyumlu olacak nitelikte farklı DEK tipleri yerleştirilmiş ve elde edilen yüzeysel akış miktarları, DEK uygulamaları olmadan önce elde edilen yüzeysel akış miktarları ile karşılaştırılarak DEK uygulamalarının yüzeysel akışın kontrolü üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Geçirimsiz alanların çok fazla olduğu İstanbul gibi mega-şehirlerde yüzeysel akış sıklıkla problemlere sebep olmaktadır. DEK uygulamalarının, İstanbul ve diğer büyük şehirlerde oluşan su baskını ve taşkınların çözümüne katkı sağlayacağı bu çalışmada yapılmış olan Avcılar Kampüsü örneği ile ortaya konmuştur.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma kapsamında, İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü'ne ait topoğrafik ve yerleşim planı haritaları İstanbul Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı tarafından temin edilmiştir. Katkılarından dolayı İstanbul Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

#### 6. Kaynaklar

- Aad, M.P.A., Suidan, M.T. and Shuster, W.D. (2010), "Modeling Techniques of Best Management Practices: Rain Barrels and Rain Gardens Using EPA SWMM-5", *Journal of Hydrologic Engineering*, 15 (6), 434-443.
- Alfredo, K., Montalto, F. and Goldstein, A. (2010), "Observed and Modeled Performances of Prototype Green Roof Test Plots Subjected to Simulated Low- and High-Intensity Precipitations in a Laboratory Experiment", *Journal of Hydrologic Engineering*, 15 (6), 444-457.
- Chang, C.H., Wen, C.G. and Lee, C.S. (2008), "Use of Intercepted Runoff Depth for Stormwater Runoff Management in Industrial Parks in Taiwan", *Water Resources Management*, 22 (11), 1609–1623.
- Davis, A.P. (2008), "Field Performance of Bioretention: Hydrology Impacts", *Journal of Hydrologic Engineering*, 13( 2), 90-95.
- Gülbaz, S., and Kazezyılmaz-Alhan, C.M. (2013), "Calibrated Hydrodynamic Model for Sazlıdere Watershed in Istanbul and Investigation of Urbanization Effects", *Journal of Hydrologic Engineering*, 18 (1), 75–84.
- Huber, W.C., ve Dickinson, R.E. (1988), "Storm Water Management Model, Version 4", User's Manual, Athens, GA.: Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency (EPA).
- Haifeng, J., Yuwen, L., Shaw, L. Y., and Yurong, C. (2012), "Planning of LID–BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village", *Separation and Purification Technology*, 84 (SI), 112–119.
- Jia, H., Lu, Y., Yu, S.L., Chen, Y. (2012), "Planning of LID–BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village", *Separation and Purification Technology*, 84 (SI), 112–119.
- Lee, J., Hyun, K., Choi, J., Yoon, Y. ve Geronimo, F.K.F. (2012), "Flood reduction analysis on watershed of LID design demonstration district using SWMM5", *Desalination and Water Treatment*, 38, 326–332.
- Lucas W. C. and Sample, D. J. (2015), "Reducing combined sewer overflows by using outlet controls for Green Stormwater Infrastructure: Case study in Richmond, Virginia", *Journal of Hydrology*, 520, 473-488.
- Meierdiercks, K. L., Smith, J. A., Baeck, M. L. and Miller, A.J. (2010), "Analyses of Urban Drainage Network Structure and Its Impact on Hydrologic Response", *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 46 (5), 932-943.
- Rossmann, L.A. (2010), "Storm Water Management Model, User's Manual, Version 5", Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-05/040.
- Temprano, J., Arango, O., Cagiao, J., Suarez, J. and Tejero, I. (2006), "Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain", *Water SA*, 32 (1), 55-63.

- Tillinghast, E.D., Hunt, W.F. ve Jennings, G.D. (2011), "Stormwater control measure (SCM) design standards to limit stream erosion for Piedmont North Carolina", Journal of Hydrology, 411, 185–196.
- Tsihrintzis, V. A. and Hamid, R. (1998), "Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM", Hydrological Processes, 12, 311–329.