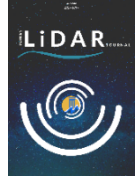




Türkiye LiDAR Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/melid>

e-ISSN 2717-6797



Hidrolojik ve Mekânsal Analizlerle Taşkın Risk Yönetiminde Yenilikçi Çözümler

Halil İbrahim Şenol ^{1*}

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, 63000, Şanlıurfa, Türkiye; (halilisenola@gmail.com)



*Sorumlu Yazar:
halilisenola@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Şenol, H. İ. (2024). Hidrolojik ve Mekânsal Analizlerle Taşkın Risk Yönetiminde Yenilikçi Çözümler. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 6(2), 60-65.

Geliş : 28.11.2024
Revize : 14.12.2024
Kabul : 19.12.2024
Yayınlama : 31.12.2024

Özet

Bu çalışma, kentsel ortamlarda üç boyutlu (3B) taşkın simülasyonu için coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve LiDAR (Light Detection and Ranging) teknolojilerinin uygulanmasını ve buna ilişkin risklerin belirlenmesini incelemektedir. Bu çalışmada, akış yönlerini, havza bölgelerini ve olası taşkın bölgelerini belirlemek için LiDAR verilerinden elde edilen bir sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılmıştır. Akış yönlerini belirlemek için D8 algoritması kullanılmış ve şiddetli yağış (200 mm) koşulları altında taşkın simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Modeller, taşkınların bölgesel sonuçlarını ve kentsel altyapı üzerindeki zararlı etkilerini ortaya koymuştur. Çalışmanın bulguları ani taşkın durumlarında kentsel ölçekte 10 dakika gibi kısa bir sürede bile oluşan hasar miktarını ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın bulguları, gelişmiş CBS ve simülasyon araçlarının etkin taşkın riski yönetimi ve önleme yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasında etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, LiDAR SYM, CBS, hidrolojik analiz, Taşkın simülasyonu.

Flood Prediction through Hydrological Analysis and Simulation Techniques

*Corresponding Author:
halilisenola@gmail.com

Research Article

Citation: Şenol, H. İ. (2024). Flood Prediction through Hydrological Analysis and Simulation Techniques. *Turkish Journal of LiDAR*, 6(2), 60-65 (in Turkish).

Received : 28.11.2024
Revised : 14.12.2024
Accepted : 19.12.2024
Published : 31.12.2024

Abstract

This study examines the application of geographic information systems (GIS) and LiDAR (Light Detection and Ranging) technologies for three-dimensional (3D) flood simulation in urban environments, with a particular focus on the identification of associated risks. In this study, a digital elevation model (DEM) derived from LiDAR data was used to identify flow directions, catchment areas and potential flood zones. The D8 algorithm was employed to ascertain the direction of flow, and flood simulations were conducted under conditions of heavy rainfall (200 mm). The models demonstrated the regional consequences of flooding and its deleterious impact on urban infrastructure. The results of the study demonstrate the extent of damage that can occur in as little as 10 minutes at the urban scale in flash flood situations. The findings of this study illustrate the efficacy of advanced GIS and simulation tools in the development and implementation of effective flood risk management and prevention methods.

Keywords: Remote sensing, LiDAR DEM, GIS, Hydrological analysis, Flood simulation,

1. Giriş

Kentsel taşkınlar, ekonomik, sosyal ve ekolojik sistemler üzerinde derin bir etki yaratan yaygın ve yıkıcı bir doğa olayıdır (Heymans vd., 2019). Son yıllarda iklim değişikliğinin hidrolojik döngü ve yağış modelleri üzerinde belirgin bir etkisi olmuş, bu da yüzey akışının ve kentsel taşkın vakalarının artmasına yol açmıştır. (Xiong & Yang, 2024) Buna karşılık, hızlı kentleşme su geçirmeyen yüzeylerde artışa neden olmakta, bu da nüfus, refah ve altyapıdaki değişikliklere bağlı olarak taşkın risklerini etkilemektedir. Birçok yerde taşkınların görülme sıklığı artmakta ve önemli hasarlara yol açmaktadır (Koç, 2022). Taşkın analizleri, karar vericilerin taşkın riskini anlamaları ve kayıplarını azaltmak için etkili stratejiler geliştirmeleri için önemli bilgiler sağlayabilir (Sibandze vd., 2024).

Taşkın tehlikesi değerlendirme çalışmaları için temel olarak coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı hidrolojik analiz modelleri kullanılmaktadır (Karakuş & Ceylan, 2022; Karakoca & Ünver, 2024). CBS tabanlı modeller çöküntüleri, su akış yönlerini ve su birikim noktalarını etkin bir şekilde belirleyebilmektedir. Ancak, temel CBS teknolojilerinin hassasiyeti genellikle yetersizdir ve kanalizasyon sistemleri ile yüzey akışı arasındaki bağlantıları kuramamaktadır (Sibandze vd., 2024). Bununla birlikte günümüzde CBS teknolojilerinde gerçekleşen gelişmeler doğrultusunda var olan hidrolojik analizlere 3B simülasyon analizi desteği de getirilmiştir (Güven vd., 2024). CBS, bu sayede taşkınların sadece arazi yapısı kaynaklı oluşumunu baz alarak değil, diğer su yönetim unsurlarını da dahil edilerek çok kapsamlı bir taşkın analizi yapmaya imkân tanımaktadır (Wu vd., 2019).

Taşkın tehlikesi haritalarının üretim teknikleri ve hesaplama kaynaklarındaki gelişmelere rağmen, yüksek kaliteli taşkın haritalarının üretimi zorlu bir mücadele olmaya devam etmektedir. Giderek artan sayıda araştırmacı, hızlandırılmış tehlike harita üretim yöntemlerini araştırmıştır. Elkhrachy (2015), uydu görüntüleri ve CBS araçlarını kullanarak, Suudi Arabistan'ın Najran şehri için ani taşkın risk haritası oluşturup, taşkın riski faktörlerini analiz ederek, nüfus ve altyapının potansiyel risklerini belirlemiştir. Curebal vd. (2016), CBS ve hidrolojik modelleme yöntemlerini kullanarak, Türkiye'deki Keçidere Havzası'nda 2009 yılında meydana gelen taşkın büyüklüğünü ve oluşum özelliklerini inceleyip taşkın riskini değerlendirmiştir. Pham vd. (2020), CBS tabanlı hibrit makine öğrenimi yaklaşımlarını kullanarak, İran'ın Markazi eyaletindeki bir havza için ani taşkın risk haritaları oluşturmayı ve bu modellerin doğruluğunu değerlendirmeyi amaçlamıştır. Popescu ve Bărbulescu (2023), HEC-RAS hidrolik modelleme ve CBS yazılımlarını kullanarak Romanya'daki Vedea

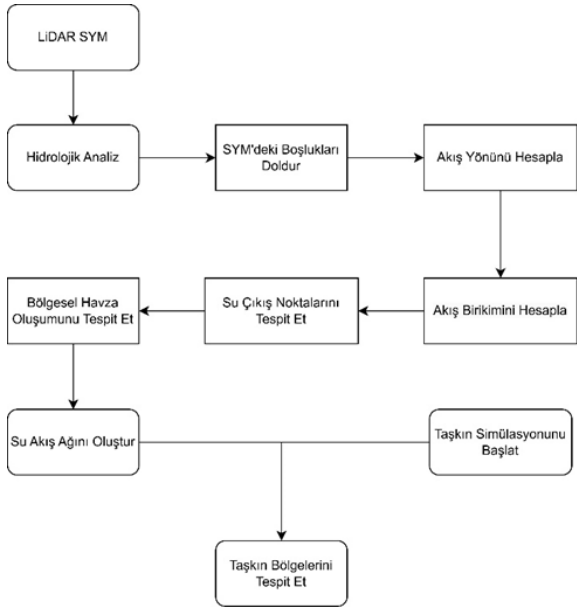
Nehri'nde 2005 yılı temmuz ayında meydana gelen taşkın etkilerini simüle edip, yerleşim yerlerini taşkınlardan koruma önlemlerini değerlendirmiştir.

LiDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisi, SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) üretimi için dönüştürücü bir araç olarak ortaya çıkmış ve arazi temsiline benzersiz bir doğruluk ve ayrıntı sunmuştur (Kabadayı, 2023a). Yüzeyle lazer noktaları gönderen ve bu noktaların geri dönme süresini ölçen LiDAR, geleneksel ölçme yöntemlerinin genellikle yetersiz kaldığı karmaşık (Kabadayı, 2023n) ve bitki örtülü arazilerde bile yüksek çözünürlüklü yükseklik verilerini yakalayabilmektedir. Çeşitli çalışmalar, LiDAR'ın hidrolojik analizler, taşkın riski değerlendirmesi ve şehir planlaması için vazgeçilmez olan kapsamlı üç boyutlu modeller oluşturma yeteneğini ortaya koymuştur (Trepekli vd., 2022; Bolick vd., 2023). Ayrıca, LiDAR'dan türetilen SYM'ler, kentsel taşkın simülasyonlarında çok önemli bir rol oynamış ve aşırı yağış olayları sırasında su hareketinin ve potansiyel risk bölgelerinin hassas tahminlerini kolaylaştırmıştır (Muhadi vd., 2020).

Bu çalışma, temel CBS işlevlerinin kullanılması ve gelişmiş taşkın simülasyonunun uygulanması yoluyla kentsel taşkına eğilimli bölgelerin hızlı bir şekilde belirlenmesi için bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntem yeterli veri ve yazılım ihtiyacının sağlanması doğrultusunda kullanıcılara hızlı ve pratik bir simülasyon yöntemi sunmaktadır. Dolayısıyla bir dizi CBS tabanlı hidrolojik değerlendirme yoluyla yüzey su taşkını karakterizasyonunun doğruluğunu ve verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, verilerin ve zamanın sınırlı olduğu durumlarda taşkın tehlikesi koşullarının tanımlanmasını gerektiren etkili erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Bu çalışmanın amacı, geliştirilen taşkın simülasyonlarıyla karar vericilere taşkın önleme konusunda yenilikçi bir çözüm sunmaktır.

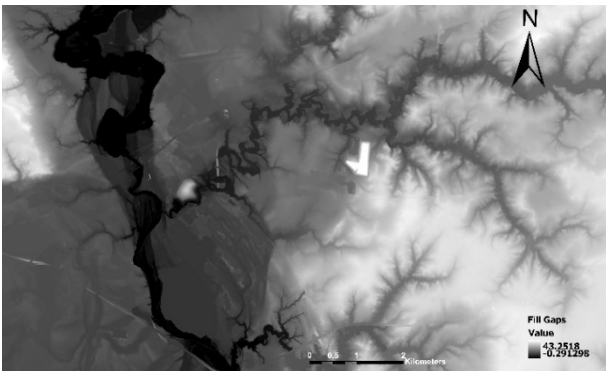
2. Yöntem

Şekil 1, LiDAR ile üretilen SYM'den elde edilen girdileri kullanan CBS tabanlı hidrolojik modelleme metodolojisinin akış şemasını göstermektedir. Taşkına eğilimli bölgeleri belirlemek için dağılımları, kapsamları ve akış yönleri hakkındaki verileri kapsayan iki analitik adım uygulanmıştır. Yerel çöküntüler ArcGIS Pro yazılımındaki "Fill" fonksiyonu kullanılarak tanımlanmış ve ardından hidrolojik analiz "Flow Direction", "Flow Accumulation", "Watershed Delineation" ve "Raster Calculator" fonksiyonlarını entegre ederek akış yollarını eş zamanlı olarak belirlemiştir.



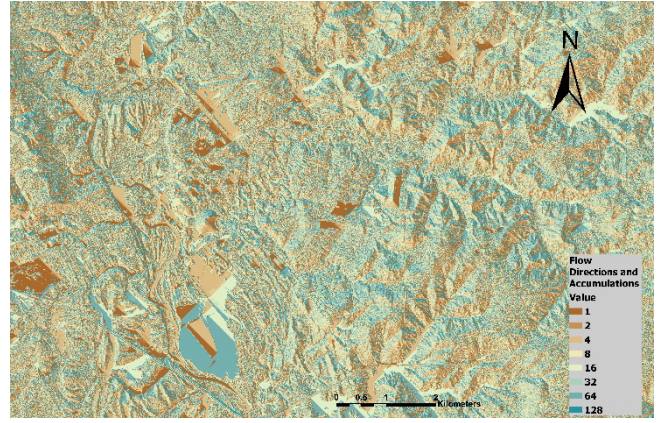
Şekil 1. Hidrolojik analizler ve taşkın simülasyonu için izlenecek iş akış şeması.

Bir LiDAR verisi olan CoNED TBDEM, arazi modeli ve batimetri modeli üretimini sağlayan ve Earth Explorer üzerinden bu verileri paylaşan bir platformdur (USGS, 2024). Bu veriden elde edilen SYM, veri sağlayıcısının paylaştığı konumlardan biri olan Amerika Birleşik Devletleri Virginia Eyaletinde bulunan ve içerisinden Blackwater nehrinin geçtiği Franklin şehrinin hidrolojik incelemesi için kullanılmıştır. Bu araştırmanın amacı, bölgenin hidrodinamiğini ve akış yönlerini ölçmenin yanı sıra şehre doğru su akışının yönlerini tespit etmektir. SYM verileri ilk olarak ArcGIS yazılımına aktarılmış ve arazi yapısından kaynaklanan boşluklar, kesintisiz hidrolojik akışı sağlamak için doldurulmuştur (Şekil 2).



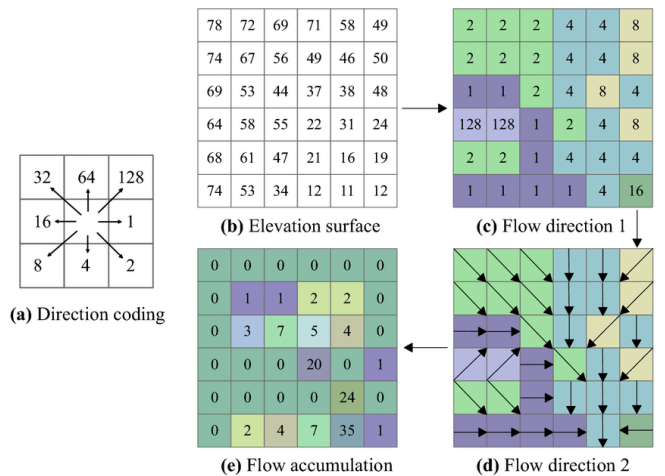
Şekil 2. Arazi akışının bozulmaması ve hidrolojik analiz için sağlıklı yapılabilmesi için SYM'deki boşlukların doldurulması.

ArcGIS'te bulunan hidrolojik analiz araçları bu araştırmayı kolaylaştırmada etkili olmuştur. Daha sonra, su akışının yönünü belirlemek için D8 yöntemi kullanılmış ve elde edilen veriler akış yönlerini ve akış birikim alanlarını hesaplamak için kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Hidrolojik analizde akış yönlerinin ve birikim alanlarının belirlenmesi.

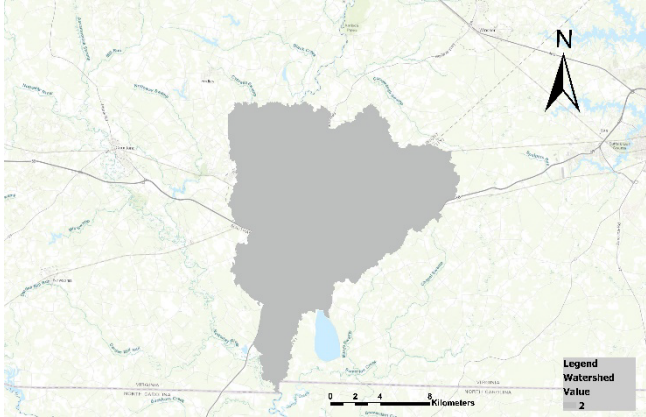
D8 algoritması, basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılan hücre tabanlı bir yöntemdir (Şekil 4). D8 algoritması, hidrolojik modelleme ve coğrafi bilgi sistemleri alanlarında SYM akış yönünü belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Algoritma, bir hücrenin sekiz komşu hücresi arasındaki en dik eğim eğimini hesaplayarak akış yönünü belirler ve suyu etkili bir şekilde en düşük bitişik hücreye yönlendirir. D8 algoritması, akış yönlerinin sayısını tek bir yöne indirgeyerek havza tanımlama, akış biriktirme ve akış ağı çıkarma gibi işlemlerde hesaplama verimliliğini artırır. Bununla birlikte, bu basitleştirme, farklı akışların modellenememesi ve akış yönünün belirsizleştiği düz veya neredeyse düz arazilerde potansiyel yanlışlıklar da dahil olmak üzere sınırlamalar getirmektedir. Bu zorluklara rağmen, D8 algoritması arazi analizinde temel bir araç olmaya devam etmekte ve sıklıkla D^∞ ve çoklu akış yönü algoritmaları gibi daha sofistike akış yönü modelleri için bir temel teşkil etmektedir.



Şekil 4. D8 algoritmasının çalışma prensibi (ESRI, 2024a).

Amaç, topografik verileri kullanarak suyun geçebileceği potansiyel yolları göstermektir. Daha sonra, arazi üzerindeki birikim bölgeleri belirlenmiş ve arazinin haritalanması yoluyla potansiyel olarak su

kaynağı olabilecek hücreler tanımlanmıştır. Söz konusu hücreler, arazideki bölgesel havzaların görselleştirilmesinde kullanılmıştır. Havza modellemesi belirlenen konumda başlatılmış ve suyun biriktiği havzanın tanımlanmasıyla sonuçlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Hidrolojik analiz sonucu ortaya çıkan bölgesel havzanın haritası.

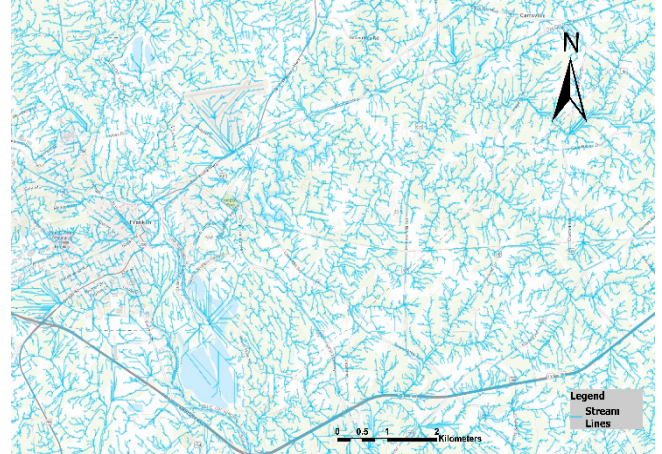
Sonuç olarak, akış modeli belirlenmiş ve akış çizgileri çizilmiştir. Bu yaklaşımın temel amacı, arazinin doğal akış yönünü belirlemek ve şehre potansiyel su akışının olası kaynağını tespit etmektir. Bu metodoloji, suyun şehre giriş yönünün hesaplanmasının yanı sıra su taşınımını düzenleyen kriter ve mekanizmaların netleştirilmesine de olanak tanımaktadır. Daha sonra, su akış ağları vektör veri olarak dışa aktarılmıştır.

Son olarak kullanılan bölgenin akış çizgileri ve birikim noktalarından da yararlanarak bölgeye ait bir taşkın simülasyonu yapılmıştır. Bölgede oluşabilecek ekstrem taşkın durumlarının ortaya çıkarılması için ArcGIS Pro'da bulunan simülasyon aracı kullanılmıştır (ESRI, 2024b). Bu araç kullanılarak yapılan simülasyonun ekstrem durumları ortaya koyabilmesi için yağış miktarı 200mm olarak belirlenmiş ve 10 dakikalık bir taşkın simülasyonu elde edilmiştir. Bu simülasyon aracılığıyla özellikle kentsel alanda su geçirmez kısımların ortaya çıkması ve ani taşkınlarda ortaya çıkarabileceği sonuçlar ortaya koyulmuştur. Örnek çalışma alanı gibi içinden nehir geçen kentsel alanlarda önlem alınmadığında ani taşkın durumlarının yıkıcı etkisinin görülebilmesi için kentsel taşkın simülasyonları önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

3. Bulgular

Bu çalışmada hidrolojik analiz ve taşkın simülasyonu kullanılarak ani taşkın durumlarının hızlıca simüle edilmesi ve karar vericilerin kritik müdahale bölgelerinin belirlenmesine yardımcı olunması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yöntemde

bahsedilen ArcGIS Pro kullanılarak yapılan hidrolojik analiz sonucunda arazinin bölgesel havzası oluşturulmuş ve son olarak da bölgeye ait su akış ağı vektör veri olarak kaydedilmiştir (Şekil 6). Bu veri suyun tahmini akış yönlerinin anlaşılmasına ve müdahale alanlarının belirlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca bölgenin taşkın gibi önemli afetlerden önce su akışını kusursuz bir biçimde sağlamaya yönelik yöntemler geliştirmek konusunda karar vericilere destek olacaktır.



Şekil 6. Hidrolojik analiz sonucu ortaya çıkan bölgesel su akış ağları.

Bununla birlikte ArcGIS Pro'nun bir 3B analizi olan taşkın simülasyonu analizi kullanılmış ve kentsel ölçekte taşkın oluşabileceği sonuçlar ortaya koyulmuştur. Görüldüğü üzere su akış ağlarına benzer bir yol izleyen taşkın süreci doğrultusunda kentsel ölçekte oluşabilecek hasar Şekil 7'de görselleştirilmiştir. Burada her ne kadar ekstrem bir yağış olan 200mm yağış kullanılmış olsa da günümüz küresel ısınma koşullarında böyle bir yağış durumu oldukça olasıdır.



Şekil 7. Taşkın simülasyonu sonucunda oluşan kentsel su baskını.

Bölge için elde edilen akış yönleri ve taşkın simülasyonu arasındaki uyum, buradaki kentsel ölçekte oluşabilecek taşkın durumlarında kritik risk alanlarını öne çıkarmaktadır. Yapılan taşkın simülasyonları, bölgedeki yüzey akış yollarını ve olası taşkın alanlarını hassasiyetle belirlemiştir. Özellikle, suyun yoğun birikim gösterdiği bölgelerdeki riskli alanlar detaylı olarak haritalandırılmış ve bu alanların gelecekteki taşkın olayları karşısında kritik müdahale noktaları olduğu vurgulanmıştır. Ek olarak, 3B taşkın simülasyonları, taşkın etkilerinin yerel altyapı üzerindeki olası etkilerini tahmin etmede önemli bir araç olarak öne çıkmıştır. Bu bulgular, yalnızca taşkın risk yönetimini geliştirmekle kalmayıp, aynı zamanda afet müdahale planlamasında karar vericilere stratejik bir rehberlik sunmaktadır.

4. Sonuçlar

Toplanan veri, nokta bulutu olarak elde edilip analiz sürecine hazırlanmıştır. Bu çalışma, hidrolojik analiz ve LiDAR tabanlı taşkın simülasyonu kullanarak ani taşkınların etkilerinin anlaşılmasında etkili bir yaklaşım sunmuştur. Elde edilen sonuçlar, özellikle riskli bölgelerin hızlı ve hassas bir şekilde tespit edilmesini sağlamış, bu bölgelerdeki potansiyel taşkın etkilerini önceden değerlendirmek için önemli bir veri kaynağı oluşturmuştur. Çalışmada kullanılan D8 algoritması, su akış yönlerinin belirlenmesinde güvenilir bir yöntem olarak öne çıkmış ve bölgesel havza modellemesiyle entegre edildiğinde taşkın tehlikesi haritalarının doğruluğunu artırmıştır.

Ayrıca, 3B taşkın simülasyonları sayesinde, ekstrem yağış senaryolarının kentsel altyapı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu analizler, taşkınların hem ekonomik hem de çevresel etkilerini azaltacak stratejik müdahale noktalarının belirlenmesini mümkün kılmıştır. Çalışmanın sonuçları, mevcut hidrolojik analiz yöntemlerinin kapsamını genişleterek, taşkın riski yönetiminde teknolojik yeniliklerin kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, benzer taşkın analiz çalışmalarından elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Örneğin, Elkhachy (2015) tarafından Suudi Arabistan'ın Najran şehrinde yapılan çalışmada, CBS tabanlı taşkın risk haritalarının, afet risk bölgelerinin hızlı tespitinde etkili olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde, Pham vd. (2020) tarafından İran'ın Markazi Eyaletinde gerçekleştirilen hibrit makine öğrenimi yaklaşımlarına dayalı taşkın duyarlılığı haritaları, taşkınların neden olabileceği etkilerin önceden belirlenmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmıştır. Türkiye'de Keçidere Havzası'nda yapılan bir diğer çalışma, CBS ve hidrolojik modelleme

tekniklerinin birleştirilmesiyle, geçmişte yaşanmış taşkın olaylarının analiz edilmesine olanak tanımıştır (Curebal vd., 2016). Bu çalışmaların tamamı, bu araştırmanın bulgularıyla örtüşerek, CBS ve taşkın simülasyonlarının risk yönetimi ve karar destek süreçlerindeki vazgeçilmez rolünü vurgulamaktadır. Ancak, bu çalışma 3B taşkın simülasyonlarının kentsel altyapı üzerindeki etkilerini tahmin etmesi bakımından diğer çalışmalardan farklı bir yaklaşım sunmakta ve taşkın risk haritalarının doğruluğunu artırmaktadır.

Bu araştırma, gelişmiş CBS ve simülasyon araçlarının taşkın risk analizinde nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak, çalışmanın bazı sınırlamaları olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, kullanılan yağış senaryosu ekstrem bir durum üzerine kurgulanmış olup, farklı meteorolojik koşullar altında daha fazla simülasyon yapılması gereklidir. Ayrıca, altyapı verilerinin ve kanalizasyon sistemlerinin modele entegrasyonu, simülasyonların doğruluğunu artırabilir. Çalışmada kullanılan yağış senaryosu ekstrem bir durum olan 200 mm yağışa dayanmaktadır; bu senaryonun farklı meteorolojik koşullar ve uzun dönemli yağış modelleri altında doğruluğu artırmak için genişletilmesi gereklidir. Özellikle hızlı kentleşmenin su geçirmez yüzeylerde yarattığı etkiler ile taşkın süreçleri arasındaki bağlantılar detaylandırılmamıştır. Ek olarak, kullanılan veri kaynaklarının coğrafi kapsamı ve detay seviyesi, simülasyon sonuçlarının genellenebilirliği üzerinde sınırlayıcı bir etkiye sahip olabilir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalar, bu eksikliklerin giderilmesine ve daha kapsamlı bir taşkın riski değerlendirmesine odaklanabilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Çalışmada kullanılan 3B SYM verisi için NASA'ya teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Halil İbrahim Şenol makalenin tüm aşamalarında yer almıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Bolick, M. M., Post, C. J., Naser, M. Z., Forghanparast, F., & Mikhailova, E. A. (2023). Evaluating urban stream flooding with machine learning, LiDAR, and 3D modeling. *Water*, 15(14), 2581.
- Curebal, I., Efe, R., Ozdemir, H., Soykan, A., & Sönmez, S. (2016). GIS-based approach for flood analysis: case study of Keçidere flash flood event (Turkey). *Geocarto International*, 31(4), 355-366.
- Elkhrachy, I. (2015). Flash flood hazard mapping using satellite images and GIS tools: a case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 261-278.
- ESRI, (2024a). Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/hydrologic-analysis-sample-applications.htm> Access date: 28/11/2024.
- ESRI, (2024b). Available online: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/mapping/simulation/simulation-in-arcgis-pro.htm> Access date: 28/11/2024.
- Güven, D. S., Yenigün, K., Isinkaralar, O., & Isinkaralar, K. (2024). Modeling flood hazard impacts using GIS-based HEC-RAS technique towards climate risk in Şanlıurfa, Türkiye. *Natural Hazards*, 1-19.
- Heymans, A., Breadsell, J., Morrison, G. M., Byrne, J. J., & Eon, C. (2019). Ecological Urban Planning and Design: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 11(13), 3723. <https://doi.org/10.3390/su11133723>
- Kabadayı, A. (2023). Yersel lazer tarama yöntemi ile röle ve restitasyon projelerinin hazırlanması; Akşehir Kale Kalıntısı Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(1), 17-25.
- Kabadayı, A. (2023). Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Köprülerin Modellenmesinde Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(2), 68-75.
- Karakoca, E., & Ünver, A. (2024). Analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri kullanarak Eşen Çayı Havzası'nda taşkın riski değerlendirmesi ve haritalandırılması. *Geomatik*, 10(1), 124-139.
- Karakuş, C. B., & Ceylan, Ş. (2022). Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Taşkın Tehlike Haritalaması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(4), 1155-1173.
- Koç, C. (2022). Bodrum Yarımadası Kent Taşkınlarının Nedenleri ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 207-216.
- Muhadi, N. A., Abdullah, A. F., Bejo, S. K., Mahadi, M. R., & Mijic, A. (2020). The use of LiDAR-derived DEM in flood applications: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2308.
- Pham, B. T., Avand, M., Janizadeh, S., Phong, T. V., Al-Ansari, N., Ho, L. S., Das, S., Le, H. V., Amini, A., Bozchaloei, S. K., Jafari, F., & Prakash, I. (2020). GIS Based Hybrid Computational Approaches for Flash Flood Susceptibility Assessment. *Water*, 12(3), 683. <https://doi.org/10.3390/w12030683>
- Popescu, C., & Bărbulescu, A. (2023). Floods simulation on the vedea river (Romania) using hydraulic modeling and gis software: a case study. *Water*, 15(3), 483.
- Sibandze, P., Kalumba, A. M., H Aljaddani, A., Zhou, L., & Afuye, G. A. (2024). Geospatial Mapping and Meteorological Flood Risk Assessment: A Global Research Trend Analysis. *Environmental Management*, 1-18.
- Sibandze, P., Kalumba, A. M., H Aljaddani, A., Zhou, L., & Afuye, G. A. (2024). Geospatial Mapping and Meteorological Flood Risk Assessment: A Global Research Trend Analysis. *Environmental Management*, 1-18.
- Trepekli, K., Balström, T., Friborg, T., Fog, B., Allotey, A. N., Kofie, R. Y., & Møller-Jensen, L. (2022). UAV-borne, LiDAR-based elevation modelling: A method for improving local-scale urban flood risk assessment. *Natural Hazards*, 113(1), 423-451.
- USGS. (2024). Available at: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-coastal-national-elevation-database-coned> Access date: 28/11/2024.
- Wu, Y., Peng, F., Peng, Y., Kong, X., Liang, H., & Li, Q. (2019). Dynamic 3D Simulation of Flood Risk Based on the Integration of Spatio-Temporal GIS and Hydrodynamic Models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(11), 520. <https://doi.org/10.3390/ijgi8110520>
- Xiong, J., & Yang, Y. (2024). Climate Change and Hydrological Extremes. *Current Climate Change Reports*, 11(1), 1.



© Author(s) 2024.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>