

Denizli ili Serinhisar ilçe merkezinin taşkın yayılımının HEC-RAS yazılımı ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi

Determination of flood inundation of Serinhisar district center of Denizli province with HEC-RAS software and geographic information systems

Abdul Latif Rustam Oghly¹ , Mahmud Güngör^{1*} 

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye
abdullatif.rustamoghly@gmail.com, mgungor@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 01.08.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 10.03.2025

Düzeltilme Tarihi/Revision: 26.02.2025

doi: 10.5505/pajes.2025.44914
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Taşkınlar büyük can ve mal kaybına yol açan önemli doğal afetlerdir. Bu çalışmanın temel amacı, coğrafi bilgi sistemleri ve hidrolik modelleme kullanarak Serinhisar ilçe merkezinin taşkın riskini değerlendirmek ve bu riske karşı alınacak önlemleri belirlemektir. 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekrürlü taşkın debileri dikkate alınarak, hem Çay kesigi deresinin mansabında mevcut olan taşkın kanal boyutlarının tahkiki hem de Kavaklar ile Hamamcı Çeşmesi derelerinden gelen taşkınların şehir içindeki yayılımı, 2 boyutlu HEC-RAS programı yardımıyla belirlenmiştir. Bu kapsamda öncelikle Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nün desteğiyle, sahanın 50 cm çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. Yağış verileri Acipayam Meteoroloji İstasyonu'ndan elde edilmiştir. McMath ve Mockus sentetik birim hidrograf yöntemleri kullanılarak farklı tekrürr süreli maksimum taşkın debileri hesaplanarak her bir senaryo için taşkın yayılım alanları ve taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Yapılan taşkın analizi sonucunda, Serinhisar ilçe merkezinde taşkın yayılım yüksekliklerinin 0.24 m'den başlayarak 4.5 m'ye kadar ulaştığı belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, yüzlerce konut ve işyerinin su altında kalma riski ile karşı karşıya olduğu, Denizli-Antalya yolu ve tarım alanlarının da taşkınlardan önemli ölçüde etkilendiği belirlenmiştir. Mevcut kanal kesitlerinde iyileştirmelerin yapılması ve taşkın riski teşkil eden derelerin suyunu iletebilecek iletim kanallarının oluşturulması önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Denizli, Serinhisar, HEC-RAS, CBS, Taşkın Yayılımı, Taşkın risk haritası.

Abstract

Floods are important natural disasters that cause significant loss of life and property. The main purpose of this study is to assess the flood risk in the Serinhisar district center using geographic information systems and hydraulic modeling, and to determine the measures to be taken against this risk. Considering the flood discharges with return periods of 25, 50, 100, 200, and 500 years, the verification of the existing flood channel dimensions downstream of the Çaykesigi Stream and the spread of floods coming from the Kavaklar and Hamamcı Çeşmesi streams within the city were determined using the 2-dimensional HEC-RAS program. In this context, firstly, with the support of the Denizli Metropolitan Municipality Water and Sewerage Administration General Directorate, a 50 cm resolution digital elevation model of the site was produced. Precipitation data were obtained from the Acipayam Meteorology Station. Maximum flood discharges with different return periods were calculated using the McMath and Mockus synthetic unit hydrograph methods. Flood inundation areas and flood risk maps were created for each scenario. As a result of the flood analysis, it was determined that the flood spread heights in the Serinhisar district center range from 0.24 m to 4.5 m. According to these results, hundreds of residences and businesses are at risk of being submerged, and the Denizli-Antalya Road and agricultural areas are also significantly affected by the flood. Improvements to the existing channel sections and the creation of transmission channels that can convey the water of the streams that pose flood risk are recommended.

Keywords: Denizli, Serinhisar, HEC-RAS, GIS, Flood inundation, Flood risk map.

1 Giriş

Taşkın felaketlerinin boyutu, frekansı, oluşma biçimine göre oluşacak hayat ve mülk kaybı gibi sosyoekonomik yıkıcı etkilerinin, dünyanın karşı karşıya olduğu en büyük küresel tehditlerden biri olduğu dünya çapında kabul edilen bir gerçektir [1]. Günümüzde insanların farklı etkinlikleri, atmosfere yayılan sera gazlarının miktarındaki hızlı yükseliş ile ilişkilendirilerek iklim ve yağış düzeninde meydana gelen değişikliklere yol açmaktadır [2].

Küresel iklim değişikliklerinin etkisiyle dünyanın çeşitli bölgelerinde normal değerlerin üzerinde kuraklık yaşanırken diğer bölgelerde de beklenmedik yoğun kar ve yağmur yağışları gözlemlenmektedir. Bu durum, taşkın hadiselerinin hem sıklığının hem de etkilerinin artması şeklinde sonuçlanmaktadır. Taşkın felaketlerini yalnızca meteorolojik

sebeplere indirgemek yetersizdir. Nüfusun hızla çoğalması ile birlikte kentleşmenin hızlı artışı da taşkın olaylarının sıklığını artırıcı bir faktör olarak etkisini göstermektedir. Birleşmiş Milletlerin en son raporuna göre, şehirlerde yaşayan nüfus, kırsal bölgelerde yaşayan nüfusa kıyasla önemli ölçüde artmıştır. 2040 yılında 9.3 milyara yükselmesi tahmin edilen dünya nüfusu ile paralel olarak, şehir merkezlerinde yaşayan nüfusun da 2040 yılında 6.3 milyara çıkması beklenmektedir [3]. Bu verilere göre, günümüzde hızlı kentleşmenin kaçınılmaz olduğunu ve toplumun barınma ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla, şehir merkezindeki geçirgen toprak alanların plansız bir şekilde yapılaşmaya açıldığını veya ilerleyen dönemlerde açılacağını anlayabiliriz. Plansız yapılaşma sonucunda ise kuru ve yan dere yataklarının etrafında ve içinde farklı türde yapılar inşa edilmektedir. Artan yerleşim bölgeleri, yeni yolların açılması ve yeni tesislerin kurulmasıyla birlikte arazi yapısında değişiklikler yaşanmakta, bu da geçirgen alanların daha yoğun

*Yazışılan yazar/Corresponding author

bir şekilde kullanılmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda bu süreç, orman alanlarının ve meraların da ciddi şekilde tahrip edildiğini göstermektedir. Bu durum, havza içindeki bitki-toprak-su denge yapısını bozarak sonuç olarak büyük can ve mal kayıplarına neden olan taşkın felaketlerine yol açabilmektedir [4].

Dünya genelinde, Türkiye ve Afganistan gibi ülkelerin topoğrafik yapısı, jeolojik özellikleri, toprak yapısı ve yarı kurak iklim koşulları nedeniyle sel, çığ, heyelan ve taşkına karşı oldukça hassas bir yapıya sahiptir. Bu nedenle son yıllarda hem Türkiye’de hem de dünya genelinde erozyonla ilişkilendirilen sel, çığ, heyelan ve taşkın olaylarında belirgin bir artış gözlenmektedir. Özellikle Türkiye gibi ekonomik büyümenin yoğun olduğu ülkelerde, sanayileşme ve sektörel çeşitliliği, şehirleşme süreçlerini hızlandırarak akarsu havzalarının farklı bölgelerindeki insan faaliyetlerini arttırmaktadır. Bu faaliyetlerin etkisiyle, yüzeysel akışta bulunan geçirgen yüzeylerin geçirimsiz veya daha az geçirgen hale gelmesi sonucunda taşkınlar daha sık ve yoğun bir şekilde meydana gelmektedir [5]. Veriler, son 30-40 yılda doğal afetlerin ciddi bir artış gösterdiğini ve bu artışın özellikle son 20 yılda meteorolojik kaynaklı afetlerde belirginleştiğini göstermektedir. Bu dönemde, özellikle taşkın kaynaklı afetlerin neden olduğu durumlar hem insan kayıpları hem de zarar gören bölgeler açısından önemli bir artışı yansıtmaktadır. Dünya genelinde doğal afetlerin türlerine göre dağılımı incelendiğinde, en yaygın olanı sellerdir ve bunu fırtınalar takip etmektedir. 2000-2019 arası dönemde dünya çapında; %44’ü sel, %28’i fırtına, %8’i deprem, %6’sı ekstrem sıcaklık, %5’i heyelan ve %5’i kuraklık olmak üzere, toplamda 3,254 sel, 2,043 fırtına, 552 deprem, 432 ekstrem sıcaklık, 376 heyelan ve 338 kuraklık olayı kaydedilmiştir [6].

2000-2019 arasında dünya genelinde en çok doğal afetin yaşandığı ilk 10 ülke sıralaması incelendiğinde, Çin, ABD, Hindistan, Filipinler, Endonezya, Japonya, Vietnam, Meksika, Bangladeş ve Afganistan ilk sıralarda yer almıştır. Bu ülkelerin sekizi Asya kıtasında bulunmaktadır. Çin, çeşitli afet türlerini içeren olaylarla en üst sırada yer alırken, ABD 467 afetle en çok etkilenen ikinci ülke konumundadır [6]. Can kayıpları üzerinde en büyük etkiye sahip olan afet türünün, 721,318 kişiyle (%58) deprem, 199,718 can kaybı (%16) ile fırtına, 165,923 can kaybı (%13) ile ekstrem sıcaklık ve 104,614 can kaybı (%9) ile sel felaketi, diğer afetlerin neden olduğu can kayıplarının ise genellikle %3 civarında olduğu görülmektedir [6]. Gerek insan hayatı gerekse ekonomik açıdan bakıldığında, sel yönetimi büyük bir öneme sahiptir.

Sel ve taşkın olayları, giderek artan zararlar meydana getirmektedir. Bu sebeple, Serinhisar merkezinde gelebilecek taşkınlarla mücadele etmek amacıyla taşkın haritaları oluşturulması ve erken uyarı sistemlerinin kurulması büyük önem arz etmektedir. Bu tür çalışmaların esas amacı, can kayıplarını, ekonomik kayıpları ve etkilenen insan sayısını azaltarak daha dirençli bir toplum oluşturmaktır.

Dünya genelinde birçok araştırmacı taşkın olaylarının yıkıcı sonuçlarının hem insan yaşamı hem de mal varlığı açısından büyük kayıplara neden olabilecek potansiyele sahip olduğunu vurgulamıştır. Taşkın zararlarının minimize edilmesi ve önlenmesi amacıyla, öncelikle bu olayların doğası detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bunun için, geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar incelenerek, yapılan araştırmaların bulguları ve sonuçları değerlendirilmiştir. Dünya genelinde taşkın konusunda gerçekleştirilen araştırmalar oldukça yaygındır ve

son yıllarda daha da büyük önem kazanmıştır. Türkiye’de bu alanda yapılan çalışmaların son zamanlarda daha fazla olduğu görülmektedir [7]. Özellikle son 5 yılda oldukça yaygınlaşan bu saha çalışmaları genel olarak taşkın yataklarının belirlenmesi, haritalandırılması, riskli bölgelerin belirlenmesi ve iyileştirme önerilerinin ifade edilmesi konsepti ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalar genellikle nüfusun yoğun olduğu dağlık ülkelerde ve sanayileşme ile birlikte plansız kentleşme gözlenen Hindistan, Çin, Vietnam, Malezya ve İran gibi Asya ülkelerinde oldukça önem arz etmektedir [8]-[12]. Ayrıca Avrupa ve Amerika’daki bölgelerde de çeşitli çalışmalar yapılmıştır [7],[13],[14]. Son 20 yıldaki çalışmalara dayanarak, en etkin yöntem olarak HEC-RAS yazılımı ve CBS uygulamalarının kullanılması önerilmiştir [15]. Türkiye’de de bu alanda kent içi veya dere bölgelerinde uygulanabilecek teknikleri anlatan çalışmalara ek olarak taşkın analizi ve taşkın modellemesi gibi çalışmalar yapılmıştır [16]-[21]. Birçok bölgenin taşkın risk ve taşkın yayılım haritaları çıkarılmıştır [22]-[28]. Ayrıca taşkın çalışmalarının iklim değişikliği altında incelenmesini içeren çalışmalar da giderek artmaktadır [29],[30].

Denizli ilinin Serinhisar ilçesinde, 3-5 yıl aralıklarla taşkın felaketi yaşanmaktadır. Her bir taşkın, can kaybına ve büyük ölçüde maddi zarara neden olmuştur. 2017 yılında da şehir merkezinin batısında bulunan dağlık bölgeden gelen selden dolayı, merkezde büyük ölçekli bir taşkın olayı meydana gelmiş, önemli ölçüde maddi ve manevi zararlar yaşanmıştır. Taşkın ötelenmesi çalışmaları kapsamında Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yukarı havzada var olan ama yetersiz olan tersip bentlerine ilave olarak tersip bentleri ve islah sekileri inşa edilmiştir. Ancak, Çaykesiği deresinin suyu, bulunduğu bölgedeki ana kanalla tarım arazilerine iletilmektedir ve diğer derelerin suları ise direkt Serinhisar ilçe merkezine akmaktadır.

Bu çalışmada, Denizli ili Serinhisar ilçe merkezinde, yukarı havzadan gelmesi muhtemel taşkın debisinin, taşkın kapasitesini aşması durumunda, farklı taşkın debilerine göre, ilçe merkezinde taşkın modellemesi yaparak, taşkından zarar görece alanların belirlenmesi ve taşkın yayılım haritalarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu haritalardan faydalanılarak kurulacak erken uyarı sistemi vasıtasıyla, Serinhisar ilçe merkezinin ve alt havzaların, büyük tekrür debisi ile oluşacak bir taşkın olayında taşkın sularına maruz kalmaktan korunması ile ilçe merkezinde meydana gelecek taşkın zararlarının önüne geçilmesi beklenmektedir.

Bu çalışmada taşkın riski analizi için öncelikle Mockus ve McMath yöntemleri ile 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl tekrürlü maksimum taşkın debileri hesaplanmıştır. Her bir tekrür debisi için HEC-RAS programı ile 2 boyutlu nümerik çözümleme yapılarak taşkın modellemesi gerçekleştirilmiştir. ArcGIS programı kullanılarak taşkın risk ve taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Serinhisar ilçe merkezindeki su altında kalan alanlar, uydu görüntüleri ve imar planı verileriyle karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu sayede, risk altındaki konutlar belirlenmiş ve gelecekte yapılacak planlamalar için öneriler geliştirilmiştir. Literatürde bu tür çalışmalar genel olarak dere üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada şehir merkezindeki binalar Google Earth yardımı ile sayısal yükseklik modeline (SYM) eklenerek tahkikler şehir merkezinde yapılmıştır. Bu sayede taşkın etki edeceği bina sayısı da tespit edilebilmektedir. Ayrıca literatürde taşkın derinlik ve taşkın risk haritaları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ek olarak taşkın hız haritası ve taşkın süprüntü haritası da sunulmaktadır.

2 Materyal ve metot

2.1 Çalışma alanı

Denizli'nin Serinhisar ilçesinde bulunan havza alanı, 37°30'0"-37°42'0" kuzey enlemleri ve 29°12'0"-29°21'0" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bu havza, Batı Akdeniz Akarsu Havzası'nın sınırları içerisindedir [31]. Taşkın bölgesi, Serinhisar İlçe Merkezi ve tarım arazilerini kapsamaktadır. Denizli il merkezine 37 km mesafededir. Yan derelerin yatakları, Serinhisar ilçe merkezi ve tarım arazileri içinde bulunmamaktadır. Taşkın alanları 08 no'lu Batı Akdeniz Akarsu Havzası'nda yer almaktadır. Taşkın alanı, 1/25.000 ölçekli haritada Denizli M22-c4 paftasında görülmektedir. Problemler derelerin uzun eksenleri, Batı-Doğu ve Doğu-Batı yönlerindedir. En yakın meteoroloji istasyonu, DMİ Acıpayam Meteoroloji İstasyonu'dur.

2.2 Çalışma alanının arazi verileri

Bu çalışma sırasında, Maksimum Debi hesaplamaları ve bu hesaplamalar için gerekli verilerin büyük bir kısmı CBS ortamında harita olarak modellenmiştir. Bu modelleme işlemi, ArcGIS coğrafi bilgi sistemleri yazılım ailesinin bir parçası olan ArcMap 10.8 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ulaşım yolu üzerindeki menfezi besleyen her bir havza için havza alanı, havza çevre uzunluğu, akarsu ana kol uzunluğu ve havza ağırlık merkezinin koordinatları gibi havza fizyografik özellikleri de program yardımıyla hesaplanmıştır [32].

2.3 Topoğrafik veri

Serinhisar ilçesinde bulunan havza bölgesi, ABD Jeoloji Araştırma Kurumu'nun (USGS) Earthexplorer internet platformundan temin edilen 1 saniye açısız çözünürlüğe sahip SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) topoğrafik paftalardan N37 E029 koordinatında elde edilmiştir. Söz konusu sayısal yükseklik modeli Türkiye için 30*24 m² çözünürlüğünde sunulmuştur [33].

2.4 Sayısal yükseklik modeli haritası

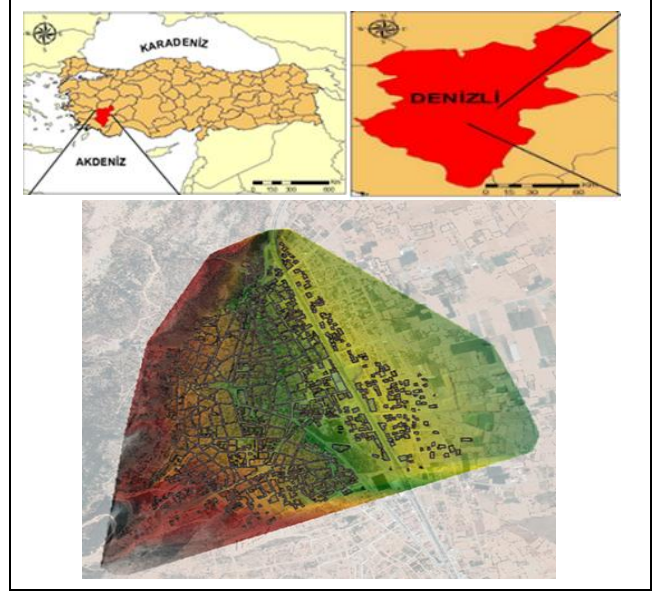
Çalışma alanının SYM'sini üretmek için gerekli olan konumsal veriler Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (DESKİ) yardımıyla harita mühendisleriyle birlikte çalışma alanında dron kullanılarak 50cm çözünürlükte üretilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. SYM üretmek için saha çalışması.

Figure 1. Field work to produce DEM.

Sahadan elde edilen veriler kullanılarak, CBS programı ile sayısal yükseklik modeli (Digital Elevation Model-DEM) oluşturulmuştur (Şekil 2) ve topoğrafik veriler analiz edilmiştir.

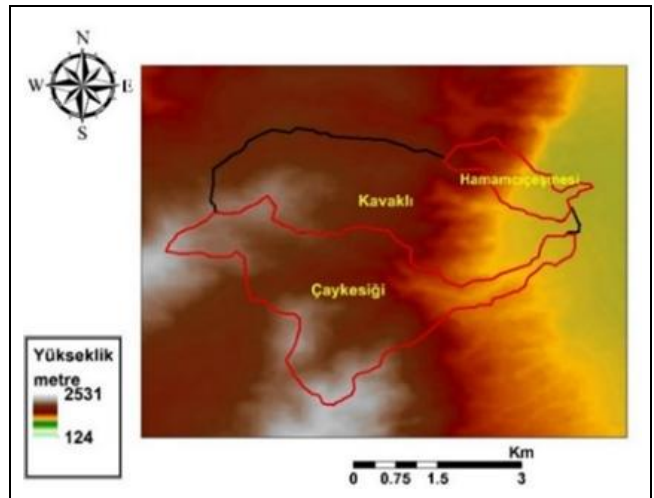


Şekil 2. Havzanın konumu ve Serinhisar ilçe merkezinin SYM haritası.

Figure 2. Location of the watershed and digital elevation Model (DEM) map of Serinhisar district center.

2.5 Havzaların geomorfolojik özellikleri

İlk olarak, havzanın belirlenmesi için seçilen çıkış noktası koordinatları ArcGIS yazılımına aktarılmıştır. Bu koordinatları kullanarak havzanın sınırları belirlenerek SYM elde edilmiştir. Havza SYM'si kullanılarak her üç havza için; harmonik eğim, toplam akarsu uzunlukları, en uzun akarsu kolları, havza ağırlık merkezinin koordinatı, havzanın bakışı, çevre uzunluğu ve havzanın alanı gibi birçok havza parametresi elde edilmiştir. Kavaklar, Çaykesiği ve Hamamcıçeşmesi derelerinin havza sınırları Şekil 3'te SYM üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3. Havza sayısal yükseklik modeli.

Figure 3. Digital elevation model of watersheds.

2.5.1 Kavaklar deresi

Kavaklar deresi yağış havzasının belli başlı yükseltileri: Kurtalan tepesi (1709 m), Yastıklıyatak tepesi (1523 m), Taşdeliğiçetir tepesi (1348 m). Arazi doğudan batıya doğru yükselmekte olup en düşük kot proje alanı mansabında 941 m, en yüksek nokta 1709 m'dir. Akarsu ana kol harmonik eğimi %37.22'dir. Kavaklar deresinde proje alanı bitişiğindeki tarım arazileri %1 civarında eğime sahiptir [34].

2.5.2 Çaykesiği deresi

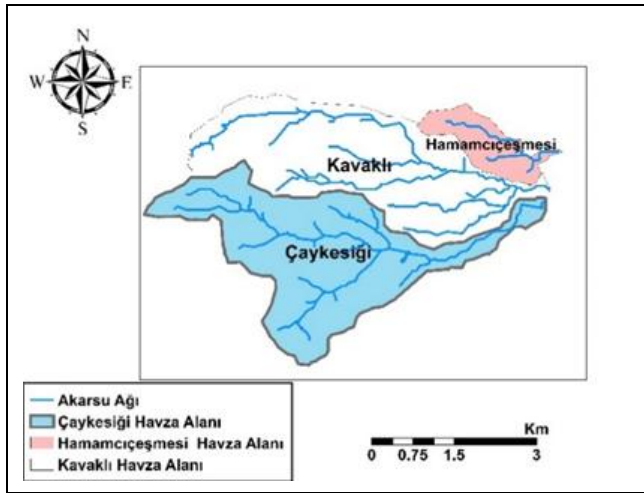
Çaykesiği deresi havzası doğudan batıya doğru yükselmekte olup en düşük kot proje alanı mansabında 945 m, en yüksek nokta 1849 m'dir. Akarsu ana kol harmonik eğimi %72.85'tir. Çaykesiği deresinde proje alanı bitişiğindeki tarım arazileri %1 civarında eğime sahiptir [34].

2.5.3 Hamamcıçşmesi deresi

Hamamcıçşmesi deresi havzasının belli başlı yükseltileri: 1311 rakımlı tepe, 1348 rakımlı tepe, Taşdeliğiçetir tepesi ve 1307 rakımlı tepedir. Arazi doğudan batıya doğru yükselmekte olup en düşük kot proje alanı mansabındaki çıkış noktasında 923 m, en yüksek nokta 1352 m'dir. Akarsu ana kol harmonik eğimi %52.8'dir. Hamamcıçşmesi deresinde proje alanı bitişiğindeki tarım arazileri %1 civarında eğime sahiptir [34].

2.6 Havzaların akarsu ağı

CBS programı ile sınırları belirlenen Kavaklı, Çaykesiği ve Hamamcıçşmesi havzalarının alanları sırası ile 7.46 km², 7.33 km² ve 1.23 km² olarak hesaplanmıştır. Akarsu anakol uzunlukları sırası ile 6900 m, 6821 m ve 2232 m bulunmuştur. McMath ve Mockus yöntemlerinde kullanılacak toplama süreleri ise sırasıyla 43.59, 41, 15.8 ve 120, 73.8, 106.2 dk olarak belirlenmiştir. Akarsu ağı haritası Şekil 4'te verilmiştir.



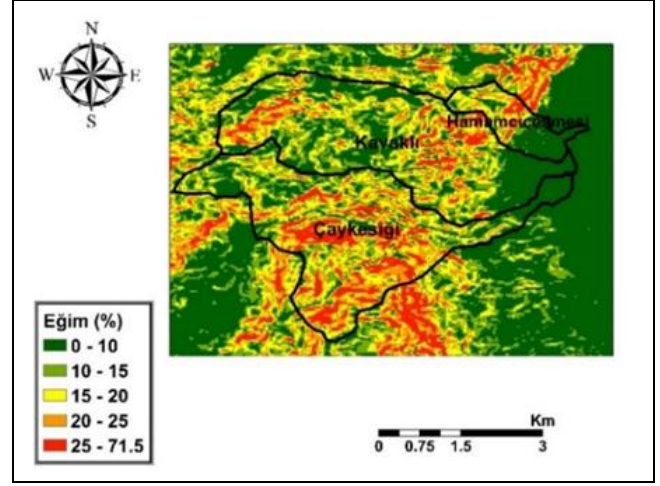
Şekil 4. Havzaların akım ağları.

Figure 4. Streamlines of watersheds.

2.7 Eğim

Yüzeyledeki değişimi ifade etmek için kullanılan eğim, genellikle derece veya yüzde cinsinden ölçülebilen bir uzaklık oranı olarak tanımlanabilir [35]. Topoğrafik bir ölçüt olarak, eğim, arazi üzerinde gerçekleştirilen birçok çalışmada önemli bir parametre olarak karşımıza çıkar. Hidrolojik bağlamda, eğim akışın temel unsurlarından biridir. Yüksek eğimli bölgelerde, yağış sularının toprağa sızması daha azdır, bu da düşük eğimli alanlara kıyasla yağmur sularının doğrudan akışa geçişini

hızlandırır. Bu durum, akış değerlerini artırır. Özellikle bitki örtüsünden yoksun bölgelerde, erozyonel etkileşimlere neden olarak akarsu tarafından taşınan sediment miktarını artırabilir [36]. Havzaların SYM vasıtasıyla elde edilen eğim haritası Şekil 5'te sunulmuştur.



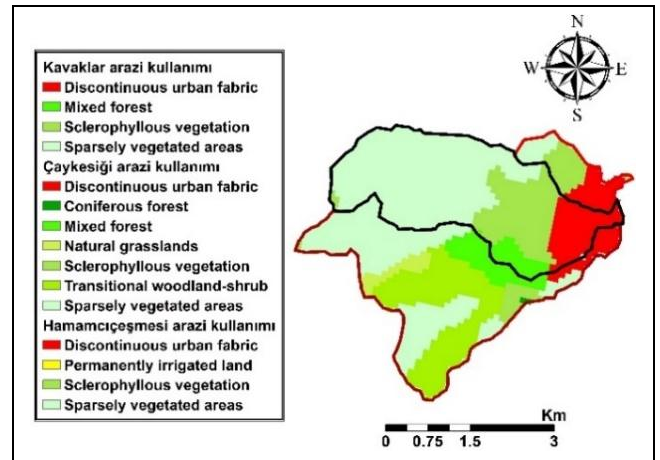
Şekil 5. Havzaların eğimleri.

Figure 5. Slope of watersheds.

2.8 Arazi kullanımı

Taşkın risk yönetimi için doğru arazi kullanımı haritalarını kullanmak sonuçların iyileştirilmesi bakımından oldukça önemlidir [37]. Arazi kullanımı, fiziksel ve beşerî etmenlerden etkilenen ve aynı zamanda bu etmenleri etkileyen, ortalama ve maksimum debiler üzerinde etkili bir parametredir [38]. Zeminin en üst yüzeyini karakterize ederek havza örtüsünü tanımlar. Sulak alanlar, dağlık çıplak araziler, şehirler, yollar vb. insan yapımı bölgeler gibi tarım dışı kullanımların yanı sıra her türlü bitki örtüsünü içerir [39].

Bu çalışmada akış katsayısını hesaplamak için derelerin su alanı, sulanabilen tarlalar, orman, yerleşim yeri, toprak, kaya vb. alanların yüzdesini belirlemek için arazi kullanımı harita verisi, 2018 CORINE Land Cover verilerinden elde edilmiştir [40]. Alınan arazi kullanımı görüntüleri paftası, havza alanına uyarlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Havza arazi kullanımı haritası.

Figure 6. The watershed land cover map.

2.9 Taşkın Hidrolojisi

Dünya çapında, taşkın risklerini azaltmak için çeşitli bölgelerde çeşitli stratejiler ve tedbirler uygulanmaktadır. Son yıllarda, yapısal mühendislik çözümleri, taşkın risk yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Taşkın zararlarını minimize etmek için uygulanan tedbirler arasında taşkın koruma tesisleri de bulunmaktadır. Ancak, taşkın koruma önlemlerinin sürdürülebilirliği ve planlaması coğrafi ve çevresel farklılıklar nedeniyle büyük çeşitlilik göstermektedir. Taşkın koruma tesisleri tasarımında hidrolik hesaplar önemlidir. Taşkın debisinin hesaplanmasında yağış miktarları, akış ölçüleri ve havza özellikleri iyi bilinmelidir.

Çalışma kapsamında Serinhisar'da DSİ'nin akım gözlem istasyonu (AGİ) olmadığı için Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (DMGM) alınan yağış verileri kullanılmıştır. Proje alanına en yakın meteoroloji istasyonu olan Acıpayam Meteoroloji İstasyonu'nun 1970 ve 2020 yılları arasındaki gözlemlerinden elde edilen standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri proje yağışını belirlemek için kullanılmıştır [41].

2.10 McMath yöntemi

McMath yöntemi genellikle her büyüklükteki düz arazide, özellikle yüzey drenaj kanallarının kapasitelerinin bulunmasında iyi sonuç vermektedir [42]. McMath yönteminin formülasyonu Denklem (1)'de sunulmuştur.

$$Q = 0.0023 \times C \times i \times S^{0.2} \times A^{0.8} \quad (1)$$

Burada; Q : En yüksek akış debisini, C : Bitki örtüsü, toprak ve topoğrafyaya bağlı olarak havza özelliklerini veren bir katsayıyı, i : Yağışların seçilen tekerrür aralığı için toplanma süresine eşit yağış şiddetini (mm/saat), S : Havza eğiminin 1000 katını, A : Havza alanını (ha) ifade eder.

Yağışların toplanma süresinin bulunmasında ise Denklem (2) kullanılır.

$$T_c = 0.0195 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (2)$$

Burada; T_c : Toplanma süresini (dakika), L : Akarsu kolunun uzunluğunu (m), H : Akarsu kolunun başı ile sonu arasındaki kot farkını (m) ifade eder.

2.11 Mockus yöntemi

Mockus yöntemi, genellikle 1 ile 10 km² arasındaki drenaj alanları için daha uygun bir seçenektir. Bu yöntem, Victor Mockus tarafından geliştirilmiştir ve özellikle üçgen hidrograf çizimi ve uygulanması kolaydır. Özellikle $T_c < 30$ sa. kadar olan havzalar için pratiktir ve üçgen hidrografın çizilmesi kolaylığı sebebiyle sıkça tercih edilir. Ancak bazı kısıtlayıcı durumlar mevcuttur. 30 sa. uzun toplanma süresine sahip havzalarda ise bu yöntem havzayı daha küçük parçalara bölmek suretiyle uygulanabilir [42],[43]. Bu yöntemde toplanma süresi Denklem (3)'te verilmiştir.

$$T_c = 0.00032 \times \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad (3)$$

Burada; T_c : Toplanma süresini, L : Akarsu kolunun uzunluğunu (m), S : Harmonik eğimi ifade eder.

Taşkın meydana getiren D yağış süresi Denklem (4) ile hesaplanır. D (saat) hesaplanırken D 'den büyük en yakın tam sayı alınır [44].

$$D = 2\sqrt{T_c} \quad (4)$$

D yardımıyla hidrografın yükselme süresi T_p , T_p yardımıyla hidrografın alçalma süresi olan T_r , alçalma ve yükselme süreleri yardımıyla ise hidrografın taban süresi T_b Denklem (5),(6),(7) ile sırasıyla hesaplanabilir.

$$T_p = 0.5 \times D + 0.6 \times T_c \quad (5)$$

$$T_r = 1.67 \times T_p \quad (6)$$

$$T_b = T_p + T_r \quad (7)$$

Havzanın hidrografının pik debisi ise Denklem (8) yardımı ile bulunur.

$$Q_p = \frac{K \times A \times h_a}{T_p} \quad (8)$$

Burada; K : İklim parametresini (0.208 kabul edilir), A : Havza alanını (ha), h_a : Akış yüksekliğini (mm) ifade eder (1mm kabul edildiğinde birim hidrograf pik değeri bulunur).

2.12 HEC-RAS

Hidrodinamik modelleme çalışmalarında, taşkın su derinliklerini ve tehlike haritalarını belirleme amacıyla kullanılan yöntemler genellikle 1 boyutlu ve 2 boyutlu modellerin ayrı ayrı veya birleştirilmiş şekilde uygulanmasını içermektedir.

2.12.1 İki boyutlu HEC-RAS modeli

Tipik olarak, 1 boyutlu modeller, akış yönünün belirli olduğu kanallar veya basit bağlantılı kanal sistemleri için uygundur. Ancak bu modeller, yerleşim yerlerindeki taşkınları tam olarak modelleme konusunda sınırlı olabilir. 2 boyutlu modelleme ise genellikle üçgen, dörtgen veya beşgen gibi geometrik şekillerde tanımlanan grid elemanları üzerinde, 2 boyutlu nümerik çözümleme kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem, yerleşim yerlerindeki taşkınları daha detaylı bir şekilde modelleyebilir [45].

1 boyutlu modelleme yaklaşımı Coriolis kuvvetini içermezken, 2 boyutlu modelleme yaklaşımındaki denklemlerde Coriolis etkisini hesaba katmak için ek bir terim bulunmaktadır. Genel olarak, akım yönüne dik olan 2 boyutlu denklemlerde Coriolis etkileri, özellikle kuzey ve güney kutuplarına daha yakın bölgelerde yapılan modellemelerde daha belirgin hale gelebilir ve bu durumda Coriolis etkisi önemli bir rol oynar. 2 boyutlu modeller, hidrolik parametreleri konuma bağlı olarak hesaplayabilen bir hesaplama ağı üzerinde, ana kanal ve taşkın yatağının tüm geometrik özelliklerini içerecek şekilde tasarlanmıştır [45].

Saint-Venant sıç su denklemleri olarak bilinen ve genellikle en yaygın olarak kullanılan 2B modellerde, ortalama su derinliğine odaklanan Navier-Stokes denklemlerinden; dikey ortalamalı süreklilik denklemi Denklem (9)'da dikey ortalamalı momentum denklemleri sırasıyla Denklem (10) ve Denklem (11)'de verilmiştir.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial x} - q = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f_v \quad (10)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u \quad (11)$$

Bu denklemlerde; u ve v : x ve y yönünde hızları (m/s), H : su yüzeyi yüksekliğini (m), v_t : yatay Eddy viskozite katsayısını, c_f : taban sürtünme katsayısını, f : x ve y yönünde Coriolis parametrelerini ifade eder.

Havzanın Pürüzlülük katsayısı, köprü, menfez, eğim, geometrik parametreleri dikkate alınarak RAS mapper modülü ile 2D alan oluşturulmuştur. Hesaplanan maksimum taşkın debileri dikkate alınarak, Hidrolojik Engineering Center River Analysis Sistem (HEC-RAS) programı ile taşkın analizleri yapılmıştır.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Yağış verileri ile hesaplamalar

Acıpayam meteoroloji istasyonundan elde edilen yağış verileri Easyfit yazılımı yardımıyla istatistiksel analizlere tabi tutularak 64 çeşit dağılım sonucu belirlenmiştir. Daha sonra bu istatistiksel testler sonucunda, her bir dere için yağış verilerine en uygun dağılım belirlenmiştir. Belirlenen en uygun dağılımdaki maksimum yağış yükseklikleri kullanılarak McMath ve Mockus yöntemi ile Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} yıllık tekerrür maksimum akış debileri hesaplanmıştır.

Standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri kullanılarak, Gamma 3P dağılımıyla Tablo 1'de verilen farklı tekerrür sürelerindeki yağış yükseklikleri tespit edilmiştir.

Tablo 1'den Lineer Enterpolasyon yöntemi ile toplanma zamanı ve yağış süresi için Tablo 2'de verilen en büyük yağış değerleri elde edilmiştir.

3.2 McMath ve Mockus yöntemleri ile taşkın hesabı

McMath yöntemi ve Mockus yöntemine göre önce taşkın debisi hesaplanmıştır. McMath ve Mockus metodları ile Taşkın Debisi Hesabı için gerekli parametreler olan havza alanı, çevre uzunluğu, ortalama eğimi, akarsu uzunlukları, havza ağırlık merkezinin koordinatı vb. geomorfolojik parametreler CBS programından faydalanarak bulunmuştur. McMath yöntemi ile taşkın debileri hesaplanırken, akış kat sayısı, toprak cinsi, toplanma zamanı, havza drenaj alanı, mecra uzunluğu, kot farkı ve akarsu ana kolunun eğimi gibi elemanlar hesaplanmıştır.

Proje yağışı olarak Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} yıl tekerrür süresine sahip yağış yüksekliği (Tablo 2) göz önüne alınarak, Kavaklar, Çaykesiği ve Hamamcıçeşmesi derelerinin için havzaları çıkış noktasına kadar üretebileceği taşkın debisi McMath (Tablo 3) ve Mockus (Tablo 4) metodları ile hesaplanmıştır.

Her iki yöntem de gerekli şartları sağladığından, bu bölgelerde kullanılabilirliklerine karar verilmiştir. Ancak, bir yöntemin tercih edilmesi gerektiğinde, akım gözlem istasyonunun olmadığı durumlarda havzanın fiziksel özelliklerinin hesaplamalarda kullanılması, havzanın daha iyi anlaşılmasını sağlar. Mockus metodu havza parametrelerini daha fazla kullanır. Mockus metoduyla hesaplanan debilerin yüksek olması, taşkın hadisesine karşı daha güvenilir bir yaklaşım sunabilir ve bu debilerin kullanılması, ekstrem durumlara karşı daha güvenilir sonuçlar elde etmeyi sağlayabilir [42], [43]. Tüm bu sebeplerden dolayı Mockus metodu tercih edilmiştir.

Tablo 1. Standart sürelerdeki maksimum yağış yükseklikleri.

Table 1. Maximum rainfall heights in standard periods.

Gözlem süresi (yıl)	DAKİKA				S A A T	
	5	10	15	30	1	2
Ortalama (mm)	5.52	8.39	10.33	13.80	16.76	19.63
Maksimum (mm)	11.10	20.70	28.90	46.20	56.20	62.50
Standart Sapma (mm)	2.39	4.44	5.62	8.08	9.54	10.64
Carpıklık Katsayısı	0.47	1.14	1.29	1.60	1.60	1.55
Tekerrür (yıl)	Gamma 3P					
25			22.1	30.9	36.8	41.2
50			25.2	35.6	42.2	46.8
100			28.3	40.1	47.5	52.4
200			31.2	44.7	52.7	57.7
500			35.1	50.5	59.4	64.7

Tablo 2. Lineer Enterpolasyon yöntemi ile toplanma zamanı ve yağış süresi için En büyük yağış değerleri (mm).

Table 2. The maximum rainfall values for the time of concentration and rainfall duration using the Linear Interpolation method (mm).

Tekerrür (yıl)	15 dk.	15.8 dk.	30 dk.	41.0 dk.	43.6 dk.	60 dk.	73.8 dk.	106.2 dk.	120 dk.
2	9.2	9.2	12	13	13.2	14.7	15.3	16.9	17.5
5	14.4	14.4	19.4	20.9	21.3	23.5	24.3	26.2	27.1
10	17.8	17.9	24.5	26.3	26.7	29.4	30.3	32.5	33.4
25	22.1	22.2	30.9	33.1	33.6	36.8	37.8	40.2	41.2
50	25.2	25.3	35.6	38	38.6	42.2	43.3	45.8	46.8
100	28.3	28.3	40.1	42.8	43.5	47.5	48.6	51.2	52.4
200	31.2	31.3	44.7	47.6	48.3	52.7	53.8	56.6	57.7
500	35.1	35.2	50.5	53.8	54.6	59.4	60.6	63.5	64.7

Tablo 3. Kavaklı, Çaykesiği ve Hamamcıeşmesi dereleri için McMath yöntemi ile hesaplanan debiler.

Table 3. The discharges calculated using the McMath method for the Kavaklı, Çaykesiği, and Hamamcıeşmesi streams.

Tekerrür (yıl)	Kavaklar	Çaykesiği Debiler (m ³ /s)	Hamamcıeşmesi
Q ₂₅	16.78	15.127	3.33
Q ₅₀	19.28	17.37	3.80
Q ₁₀₀	21.73	19.56	4.24
Q ₂₀₀	24.12	21.75	4.70
Q ₅₀₀	27.27	24.59	5.28

Tablo 4. Kavaklı, Çaykesiği ve Hamamcıeşmesi dereleri için Mockus yöntemi ile hesaplanan debiler.

Table 4. The discharges calculated using the Mockus method for the Kavaklı, Çaykesiği, and Hamamcıeşmesi streams.

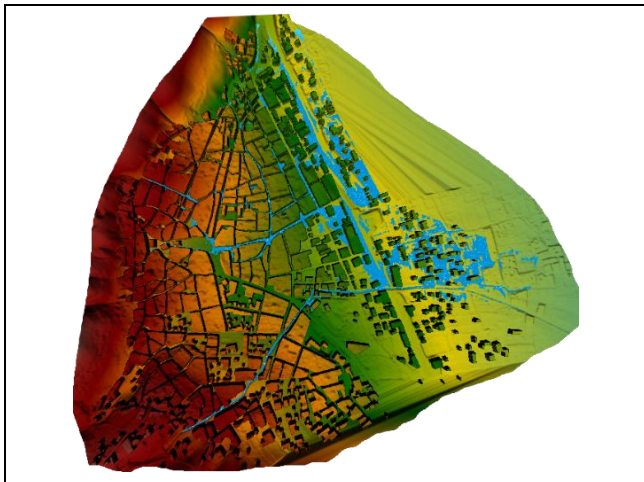
Tekerrür (yıl)	Kavaklar	Çaykesiği Debiler (m ³ /s)	Hamamcı eşmesi
Q ₂₅	29.42	34.07	7.83
Q ₅₀	33.42	38.82	8.96
Q ₁₀₀	37.41	43.39	10.06
Q ₂₀₀	41.20	47.97	11.14
Q ₅₀₀	46.20	53.82	12.54

3.3 Sayısal model

HEC-RAS yazılımı ile her bir tekerrür yılı için taşkın derinlikleri, taşkın hız değerleri ve süprüntü faktörü dikkate alınarak taşkın risk haritaları elde edilmiştir ve ArcGIS ile taşkın tehlike dereceleri oluşturulmuştur.

3.3.1 Çalışma alanının binaları

Bu araştırma, taşkın yayılım alanlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, çalışma alanına ait 2023 tarihine kadar yapılmış binaların yerleşim haritası elde edilmiştir. Google Earth uygulaması kullanılarak çalışma alanındaki binalar belirlenmiş ve bu süreç manuel bir şekilde, binalar tek tek el ile çizilerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler *.kml dosya formatında kaydedilmiştir. 2023 yılına kadar yapılan binalar SYM üzerine entegre edilip elde edilen yeni SYM haritası HEC-RAS model kurulumunda kullanılmıştır. Şekil 7'de binaların SYM dosyası üzerine eklenmiş hali verilmiştir.

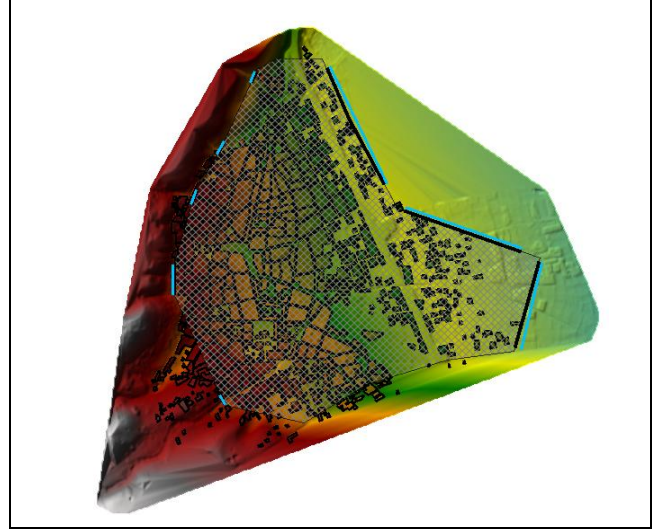


Şekil 7. 2023 yılına ait binaların SYM üzerine eklenmiş hali.

Figure 7. 2023 buildings added on the DEM.

3.4 HEC-RAS'ta sayısal modelin hazırlanma aşaması

Bu araştırmada, Serinhisar ilçe merkezinde yer alan Kavaklar, Çaykesiği, Hamamcıeşmesi ve alt dereler için Mockus yöntemiyle belirlediğimiz tekerrür eden debi değerleri kullanılarak taşkın debi hesapları gerçekleştirilmiştir. Bu hedefe ulaşmak adına, daha önce bahsedilen 2 boyutlu HEC-RAS yazılımı kullanılarak taşkın yayılım haritası oluşturulmuştur. Taşkın yayılım haritasını oluşturmak amacıyla, Şekil 8'de gösterilen 10×10 m çözünürlüğe sahip dikdörtgen sayısal hesaplama ağı kullanılmıştır. Bu modelde, mamba tarafında Kavaklar, Çaykesiği, Hamamcıeşmesi ve alt dereler için Q₂₅, Q₅₀, Q₁₀₀, Q₂₀₀ ve Q₅₀₀ yıllık tekerrür eden debilerin, yağıştan kaynaklanan akıma geçen kısımlarını belirlemek için Mockus yöntemiyle elde ettiğimiz debi değerleri, sınır şartı olarak kullanıldı. Elde edilen değerler, Tablo 4'ten alınmıştır. Ek olarak, şehrin alt kesimindeki noktalardan normal derinlik olarak belirlenmiş ve su yüzey eğimini programın otomatik hesaplamasından yararlanılmıştır.



Şekil 8. İki-boyutlu sayısal hesap için oluşturulan sayısal hesap ağı.

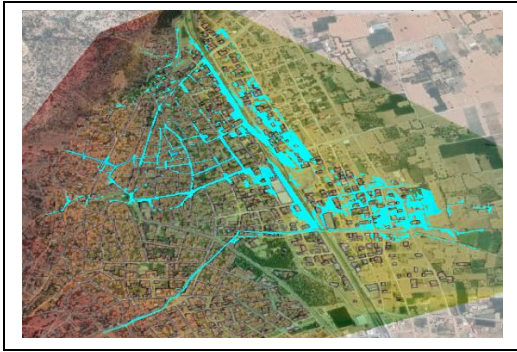
Figure 8. The digital computation grid created for two-dimensional numerical computation.

3.5 Senaryolar

Daha önce bahsedildiği gibi, sayısal model için sınır şartları, bu bölgede farklı bir amaç için oluşturulan çalışmanın hesapladığı akış değerlerini içermektedir. Bu akış değerleri, çeşitli tekerrürler için hazırlanan 2B sayısal modellerde kullanılarak halihazır durumda 5 farklı senaryo oluşturulmuştur. Mockus yöntemiyle Kavaklar, Çaykesiği ve Hamamcıeşmesi debileri bulunmuş ve alt dereler için Hamamcıeşmesi deresinden 4 Nolu ve Kavaklar deresinden 5 Nolu debiler DSİ raporu dikkate alınarak alana göre ayrılmıştır. Saha çalışmasının ardından Manning Pürüzlülük Katsayıları Chow'un (1959) Manning pürüzlülük tablosu dikkate alınarak 0.030 olarak kabul edilmiştir. Zaman aralıkları ise computation için arazi eğimi ve iki boyutlu dikdörtgen ağı dikkate alınarak, hesap zaman aralığı (computation interval) için iki saniye ve çıktı zaman aralığı (computation output interval) için iki dakika olarak sisteme tanımlanmıştır.

Şekil 9 incelendiğinde, Serinhisar üst derelerindeki taşkın senaryoları 2D modellemede daha net bir şekilde gösterilmektedir. HEC-RAS'ın Q_{25} taşkın debisini dayalı 2D modelleme sonuçlarına göre, Serinhisar dere yatağı Q_{25} taşkın debisini bile taşıyamamaktadır. Özellikle Kavaklar, Hamamcı çeşmesi ve alt derelerin, kanal olmadığı için doğrudan suyun sokaklarda aktığı gözlemlenmektedir.

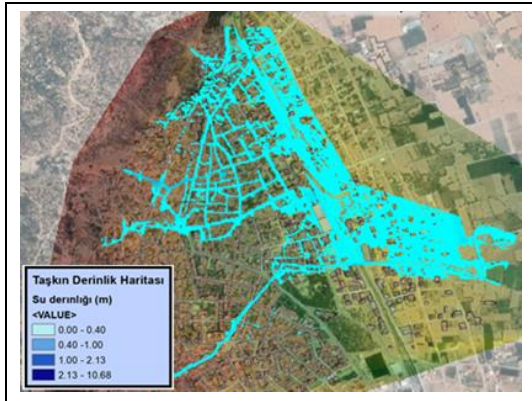
Çaykesiği ise, kanal yatağının ortasından sol ve sağ kıyılardan taşmakta olup, daha sonra Denizli-Antalya ana yol bölgesinden sol taraftan taşarak mansaba, Denizli-Antalya ana yol başta olmak üzere 254,228 m²'lik bir alanda onlarca yerleşim yerini ve tarım arazisini taşkına maruz bıraktığı belirlenmiştir. Derinlik bazı arazi çukurlarında 9.45 m'ye kadar çıkmasına rağmen şehir içinde su derinliğinin 0.8 m'ye kanal yatağındaki derinliğin ortalama 1.4 m'ye kadar çıktığı, Kavaklar deresi üzerindeki sokaklarda ise su derinliğinin 2 m'ye kadar ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 9. HEC-RAS 2D modeli Q_{25} taşkın derinlik haritası.

Figure 9. The HEC-RAS 2D model Q_{25} flood depth map.

Senaryo Q_{500} 'de (Şekil 10), taşkın yayılım haritası 301,815 m² elde edilmiştir ve 100'den fazla yerleşim yeri ve tarım arazisi taşkından etkilenmiştir. Ayrıca Q_{500} 'ün bölgeyi, Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} ve Q_{200} 'den daha fazla etkilediği görülmekle birlikte derinliğin arazinin bazı çukurlarında 10.68 m'ye kadar çıkmasına rağmen şehir içinde su derinliğinin 1.8 m, kanal yatağındaki derinliğin 2.5 m'ye kadar çıktığı ve Kavaklar Deresi üzerindeki sokaklarda ise su derinliğinin 4.50 m'ye kadar ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 10. HEC-RAS 2D modeli Q_{500} taşkın derinlik haritası.

Figure 10. The HEC-RAS 2D model Q_{500} flood depth map.

Analizlerin ardından, taşkın derinlik (Şekil 10) ve taşkın V (hız) (Şekil 11) haritaları değerleri temel alınarak ArcGIS platformunda taşkın süprüntü haritaları oluşturulmuştur. Sonuç olarak, derinlik, hız ve süprüntü parametreleri titizlikle incelenerek 0- 0.75 düşük, 0.75 – 1.25 orta, 1.25- 2.5 yüksek ve

2.5 m. büyük değerler çok yüksek olarak kabul edilerek [46] Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Süprüntü faktörü bilgileri.

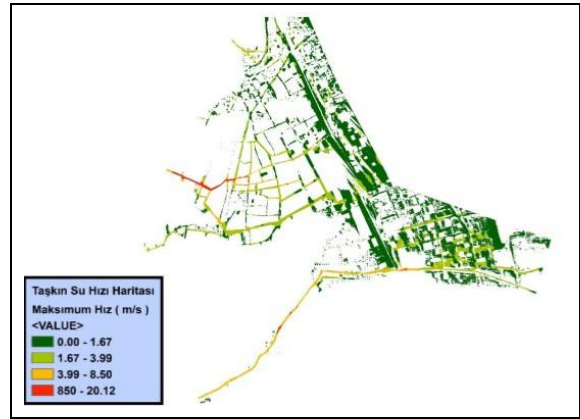
Table 5. The information on the debris factor.

Derinlik & Hız	Süprüntü Faktörü		
	Otlak / tarım arazisi	Orman	Şehir
0m<Derinlik<0.25m	0	0	0
0.25m<Derinlik<0.75m	0	0.5	1
Derinlik 0.75>m veya Hız <2.00m/s	0.5	1	1

Taşkın tehlike derecesini belirleme sürecinde, hız ve süprüntü faktörü büyük önem arz eder. Taşkın tehlikesinin hesaplanması için kullanılan bağıntı Denklem (12)'de ifade edilmiştir.

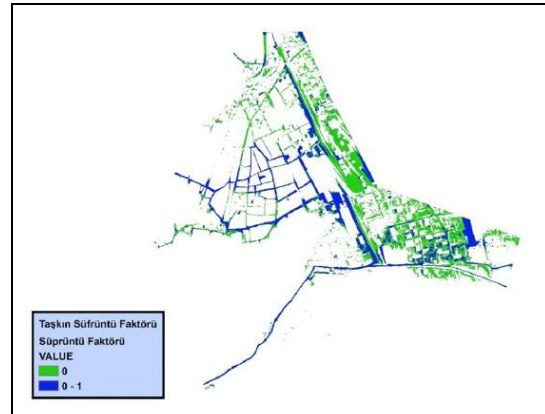
$$\text{Taşkın Tahlikesi} = \text{Derinlik} \times (\text{Hız} + 0.5) + S.F. \quad (12)$$

Hız ve süprüntü faktörü haritalarının elde edilmesi için ArcGIS programından, Arctoolbox, Map Algebra, Raster Calculator ve Con komutlarıyla Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} tekrerrüleri için haritalar oluşturulmuştur. Hız ve süprüntü faktörü haritaları Q_{500} için örnek olarak Şekil 11 ve Şekil 12'de sunulmuştur.



Şekil 11. HEC-RAS 2D modeli Q_{500} taşkın hız haritası.

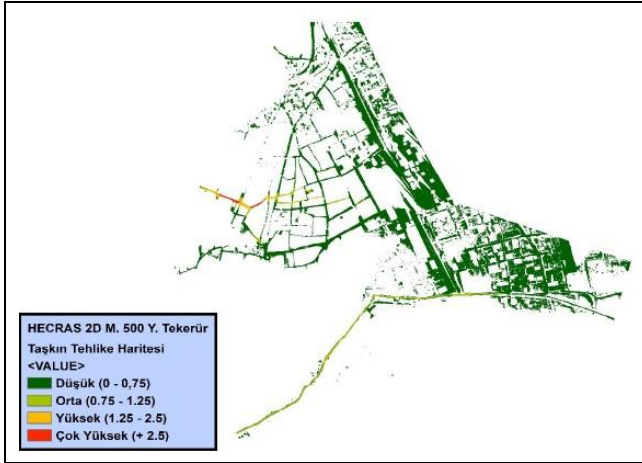
Figure 11. The HEC-RAS 2D model Q_{500} flood velocity map.



Şekil 12. ArcGIS Q_{500} taşkın Süprüntü haritası.

Figure 12. ArcGIS Q_{500} flood debris flow map.

Taşkın riski için ise Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} tekrerrüleri taşkın tehlike haritaları ArcGIS ortamında oluşturulmuş ve Q_{500} için örnek olarak (Şekil 13) sunulmuştur. Süprüntü faktörü, taşkın potansiyel tehlikesini değerlendirmede kritik bir rol oynamıştır.



Şekil 13. ArcGIS modeli Q_{500} taşkın tehlike haritası.

Figure 13. The Q_{500} flood Risk map using the ArcGIS model.

Bu aşamada elde edilen haritalar, taşkın derinliği, hızı ve süprüntüsü gibi kritik parametreleri bir araya getirerek taşkın tehlikesini detaylı bir şekilde değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Oluşturulan taşkın tehlike haritaları, alınacak önlemlerin planlanması ve taşkın potansiyel etkilerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Tablo 6'da tekerrür artınca incelenen Senaryolar taşkından etkilenen bina sayısı, su yayılım alanı ve su derinliği (m) verilmiştir.

Tablo 6. Senaryolar sonucu.

Table 6. As a result of scenarios.

Tekerrür	Bina Sayısı	Yayılım Alanı m ²	Su Derinliği(m)
Q_{25}	49	254,228.00	0.8-2
Q_{50}	87	267,368.00	1-2.2
Q_{100}	112	278,191.00	1.1-2.5
Q_{200}	132	281,043.00	1.5-3.2
Q_{500}	154	301,815.00	1.8-4.5

Senaryolar sonucunda hesaplanan yayılım alanları ve taşkından etkilenecek bina sayıları göz önünde bulundurulduğunda herhangi bir tekerrür debisinde oluşacak taşkın ilçe merkezinde ciddi kayıplara neden olabileceği sonucu açık bir şekilde görülmektedir. Özellikle Q_{25} debisinden sonraki debilerin etkilerinde ciddi artışlar gözlenmektedir. Q_{500} debisinin geldiği durumda hemen bütün şehrin su altında kalacağı tahmin edilmektedir. Bu tekerrür debilerinin etkilerini azaltmak adına mevcut kanal kesitinde gerekli iyileştirmelerin yapılması ve taşkın riski teşkil eden derelerin suyunu daha etkili bir şekilde iletebilecek iletim kanallarının oluşturulması bölgedeki güvenliğin sağlanması açısından birçok avantaj sağlayacaktır.

Çalışma bulguları literatürdeki benzer çalışmaların analiz sonuçları ile karşılaştırılacak olursa, Güney Sapanca Havzası'nda yapılan bir çalışmada [26] Q_{25} - Q_{500} tekerrür debileri arasında su altında kalan caddelerde taşkın su derinlikleri 0.1-0.25m aralığında değişirken taşkın yayılım alanları ise 4.4-15.4 hektar aralığında değişmiştir. Bingöl il merkezinde yapılan bir diğer çalışmada [25] maksimum taşkın su derinlikleri 8.88-9.46m arasında değişirken, taşkın yayılım alanları 100-142 hektar arasında değişmektedir. Gevye Karaçay Deresi'nde yapılan bir başka çalışmada [28] taşkın su derinlikleri 3.41-8.93m arasında değişirken, taşkın yayılım alanları 336-489 hektar arasında değişmektedir. Tüm bu

değerlere dayanarak havzanın topoğrafik özelliklerinin ve bölgenin aldığı yağışın, taşkın su derinliklerinin ve yayılım alanlarının önemli bir oranda etkilendiği söylenebilir. Her çalışmanın sonunda elde edilen analiz sonuçlarının çalışılan havzaya özgü olduğu sonucuna varılabilir.

4 Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmanın ana amacı taşkın haritaları oluşturarak, erken uyarı sistemi vasıtasıyla, Serinhisar merkezinde meydana gelecek taşkın zararlarının önüne geçmektir. Bu çalışmada, maksimum debi hesabı ardından Serinhisar ilçe merkezinde yer alan Kavaklar, Çay keşiği, Hamamcı Çeşmesi ve alt derelerden kaynaklanan, muhtemel taşkınlarla ilgili detaylı bir inceleme yapılmıştır. Bu incelemede, sırasıyla Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} tekerrür debileri için normal halde derinliklerin 0.24-4.5 m'ye kadar ulaşacağı, su yayılım alanlarının ise sırasıyla 254,228 m², 267,368 m², 278,191 m², 281,043 m² ve 301,815 m² olacağı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre bu alanlardaki yüzlerce evin su altında kalacağı öngörülmüş ve bu bölgenin risk haritaları elde edilmiştir. Özellikle mansap bölgelerindeki yerleşim yerleri, tarım arazileri ve diğer alanlardaki etkiler titizlikle analiz edilmiştir. Analiz, CBS ve (HEC-RAS) kullanılarak gerçekleştirilmiş ve topoğrafik unsurlar, akarsu sistemleri ve diğer çeşitli coğrafi faktörler dikkate alınarak detaylı bir harita oluşturulmuştur. Bu haritalar, potansiyel taşkın alanlarını ve bu taşkınların derinlikleri ile su yayılım alanlarını belirlemeye yönelik önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, risk haritaları, taşkınların olası etkilerini ve bu etkilerin yoğunlaştığı alanları vurgulamak için kullanılmıştır. Bu haritalar yerleşim yerlerinin, tarım arazilerinin ve diğer kritik bölgelerin taşkın riskine karşı hassasiyetini belirlemede rehberlik eder.

Mansap bölgelerindeki yerleşim yerlerinde ve tarım arazilerinde yaşanabilecek olası etkileri öngörmek amacıyla yapılan bu kapsamlı inceleme, taşkın yönetimi planlarının oluşturulmasına ve alınacak önlemlerin belirlenmesine önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu çerçevede, yerel halkın bilgilendirilmesi ve bu sürece katılımı da büyük bir önem arz etmektedir. Çay keşiği Deresi'nin kanal kesitinin yetersizliği ve potansiyel taşkın durumunda Denizli ve Antalya kara yolu ile çevredeki yerleşim yerlerinin zarar göreceği tespit edilmiştir. Derinlik ve risk haritalarının incelenmesi sonucunda, özellikle Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} pik debilerinin olası etkilerine karşı alınacak önlemler arasında, Çay keşiği Deresi'nin kanal kesitinin yeterli ölçülerde artırılması önerilmiştir. Bu önlemin uygulanması durumunda, ana yol ve alt arazilerde oluşabilecek taşkın zararlarından korunmanın mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Bu çerçevede, özellikle Q_{100} , Q_{200} ve Q_{500} debilerinin etkilerini azaltmak adına kanal kesitinde gerekli iyileştirmelerin yapılması, bölgeye güvenliği artırıcı bir çözüm sunacaktır. Ayrıca, Serinhisar ilçe merkezinde bulunan Kavaklar ve Hamamcı Çeşmesi derelerinin suyunun doğrudan şehir içinden geçtiği ve mansap kısmında 100-200 ve 500 yıl tekrarlanabilir debilere karşı büyük ölçüde risk teşkil ettiği belirlenmiştir. Bu durumu çözmek için, bu derelerin suyunu daha etkili bir şekilde iletebilecek iletim kanallarının oluşturulması önerilmektedir. Bu öneriler, bölgedeki taşkın risklerini azaltmak ve altyapıyı güçlendirmek amacıyla yapılmış olup, yerel yönetim ve ilgili kuruluşlar tarafından detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

5 Conclusions and Recommendations

The main purpose of this research was to create flood maps and, through an early warning system, prevent flood damage that may occur in the center of Serinhisar. After calculating the peak discharge, a detailed examination was made of the possible floods originating from Kavaklar, Caykesiği, Hamamcıesmesi and the lower streams in the Serinhisar district center. This examination revealed that for each flood scenario, the depth reaches up to 0.24-4.5 meters, and the flooded area ranges from 254,228.00 m², 267,368.00 m², 278,191.00 m², 281,043.00 m², 301,815.00 m², for the return periods of Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} , Q_{200} and Q_{500} . It was determined that hundreds of houses were submerged and the impacts on the downstream settlements, agricultural lands and other areas were thoroughly analyzed. The analysis was carried out using geographic information systems (GIS) and HEC-RAS, considering topographic features, river systems and various other geographical factors, and detailed maps were created. These maps provide important information to identify potential flood areas and their depths and inundation areas. Risk maps were also used to highlight the potential impacts of floods and the areas where these impacts are concentrated. These maps guide in determining the vulnerability of settlements, agricultural lands and other critical areas to flood risk.

The comprehensive study conducted to predict the potential impacts on the downstream settlements and agricultural lands makes an important contribution to the development of flood management plans and the determination of the measures to be taken. In this context, informing the local people and their participation in this process is of great importance. It was determined that the inadequacy of the channel cross-section of the Caykesiği Stream and the potential flood would damage the Denizli and Antalya roads and the surrounding settlements. As a result of examining the depth and risk maps, it was suggested to increase the channel cross-section of the Caykesiği stream to a sufficient size, especially against the possible effects of Q_{100} , Q_{200} and Q_{500} peak discharges. If this measure is implemented, it is observed that it is possible to protect against flood damages that may occur on the main road and the lowlands. Additionally, it was determined that the waters of the Kavaklar and Hamamcıesmesi streams in the Serinhisar district center flow directly through the city and pose a significant risk against 100-200 and 500 year recurrence discharges in the downstream part. To solve this situation, it is recommended to create conveyance channels that can transmit the water of these streams more effectively. These recommendations are made to reduce flood risks in the region and strengthen the infrastructure, and they should be evaluated in detail by the local administration and relevant organizations.

6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Abdul Latif Rustam Oghly fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi başlıklarında; Mahmud Güngör, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, kullanılan Haritanın temin edilmesi, veri toplama ve sonuçların incelenmesi yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".
"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

8 Kaynaklar

- [1] Jeb D, Aggarwal S. "Flood inundation hazard modelling of the river Kaduna using remote sensing and geographic information systems". *Journal of Applied Sciences Research*, 68(1), 1822-1833, 2008.
- [2] Doğan S. "Türkiye'nin küresel iklim değişikliğinde rolü ve önleyici küresel çabaya katılım girişimleri". *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(2), 57-73, 2005.
- [3] Çalapkulu S. Sektörüm Akıllı İşler Dergisi. "BM'nin (Birleşmiş Milletler) Dünya Nüfus Tahminleri Raporu". <https://www.sektorumdergisi.com/dunyayi-ve-turkiyeyi-2040-yilinda-neler-bekliyor/> (18.01.2024).
- [4] Öztürk M. Independent Türkçe. "Dereli, Dere Yatağı İçinde". <https://www.indyturk.com/node/242611/turkiyeden-sesler/dereli-dere-yatagi-icinde> (10.06.2023).
- [5] Bayazit M, Önöz B. *Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi*. 1. Baskı. İstanbul, Türkiye, Nobel Akademik Yayıncılık, 2008.
- [6] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "2021 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi". <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/afetleraporu2021.pdf> (21.02.2023).
- [7] Sönmez O. Nehirlerde 2 Boyutlu Taşkın Modellemesi ve Taşkın Haritalarının Oluşturulması. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2013.
- [8] Amini J. "Method for Generating Floodplain Maps Using IKONOS Images and DEMs". *International Journal of Remote Sensing*, 31(9), 2441- 2456, 2010.
- [9] Aggett G, Wilson J. "Creating and coupling a high-resolution DTM with a 1-D hydraulic model in a GIS for scenario-based assessment of avulsion hazard in a gravel-bed river". *Geomorphology*, 113(1-2), 21-34, 2009.
- [10] Chuan T, Jing Z. "Torrent risk zonation in the Upstream Red River Basin based on GIS". *Journal of Geographical Sciences*, 16(4), 479-486, 2006.
- [11] McLin SG, Springer EP, Lane LJ. "Predicting floodplain boundary changes following the Cerro Grande wildfire". *Journal of Hydrological Processes*, 15(15), 2967-2980, 2001.
- [12] Hung N, Delgado J, Merz B, Bárdossy A. "Floodplain hydrology of the Mekong delta, Vietnam". *Journal of Hydrological Processes*, 26(5), 674-686, 2012.
- [13] Sole A, Giosa L, Copertino V. "Risk flood areas, a study case Basilicata Region". *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 104(4), 213-228, 2007.
- [14] Sönmez O, Doğan E. "Determination of flood inundation area in Cedar River using calibrated and validated 1D and 1D/2D model". *Sakarya University Journal of Science*, 20(2), 337-347, 2016.
- [15] Kadioğlu M, Özdamar E. "Sel ve heyelan risk yönetimi". *5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Konferanslar*, Samsun, Türkiye, 22-24 Eylül 2008.

- [16] Küçükoğlu M. HEC-RAS ile bir ve İki Boyutlu Taşkın Analizi Oltu çayı örneği. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2023.
- [17] Utkan K. Kırıkkale Yaşihan İlçesi Karadere'nin (Bağdat deresi) Taşkın Pik Debilerinin Hesaplanması ve HEC-RAS ile Bir Boyutlu Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2021.
- [18] Çakan S. Bozkır-Çarşamba Çayı Islah Çalışmalarının HEC-RAS Programında İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2021.
- [19] Tektaş Y. Diyarbakır İli Çınar İlçesi Çakmak Deresinin HEC-RAS ile taşkın modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye, 2021.
- [20] Oğraş S. "Dicle Nehri'nin taşkın analizinin HEC-RAS programı ile yapılması". *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1087-1098, 2019.
- [21] Hadi AMWM. Akarsu Üzerindeki Köprülerin Neden Olduğu Kabarmasının Deneysel ve HEC-RAS ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2017.
- [22] Büyükdiñç M. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve HEC-RAS yazılımı ile Borkça ilçesindeki derelerde taşkın modellenmesinin yapılması ve taşkın yayılım haritalarının üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, 2023.
- [23] Kızmaz Y. Sakarya Kaynarca Havzası Taşkın Yayılım-Tehlike-Risk Haritalarının Modellenmesi Seyren Deresi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2020.
- [24] Ertürk E, Kaya N. "Taşkın Tehlike Alanlarının Oluşturulması Trabzon ili Vakfıkebir ilçesi Kirazlı deresi örneği". *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 337-344, 2019.
- [25] Çeliker M, Koçer NN, Yıldız O. "Bingöl il merkezinde taşkın yayılım alanlarının coğrafi bilgi sistemleri ve HEC-RAS ile belirlenmesi". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 354-365, 2020.
- [26] Yurdakul ME. Güney Sapanca Havzası Taşkın Yayılım Haritalarının Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2019.
- [27] Ceribasi G, Ceyhunlu AI. "Generation of 1D and 2D flood maps of Sakarya river passing through Geyve district of Sakarya city in Turkey". *Natural Hazards*, 105(1), 631-642, 2021.
- [28] Yıldırım İ. Geyve Karaçay Deresi Taşkın Yayılım Haritalarının Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2020.
- [29] Ceribasi G, Ceyhunlu AI. "Investigation of Climate Change Impact on Meteorological Data and Floods: A Case of Karacam, Turkey". *Journal of Water Resources and Ocean Science*, 9(6), 123-128, 2020.
- [30] Madhuri R, Raja YS, Raju KS, Punith BS, Manoj K. "Urban flood risk analysis of buildings using HEC-RAS 2D in climate change framework". *H2Open Journal*, 4(1), 262-275, 2021.
- [31] Özben OM, Güngör M. "Denizli Serinhisar ilçesi havzasında yağmur suyu hasadına uygun bölgelerin belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(5), 668-678, 2024.
- [32] Töreyan G, Özdemir İ, Kurt T. *ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dokümanı*. 1. Baskı. Ankara, Türkiye, İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti., 2010.
- [33] United States Geological Survey. "USGS EarthExplorer". <https://earthexplorer.usgs.gov/> (10.01.2023).
- [34] DSİ Genel Müdürlüğü. "T.C. DSİ. 21 Bölge Müdürlüğü Denizli-Serinhisar İlçe Merkezi Çaykesiği, Kavaklar, Sarp, Hamamcıçesmesi, Domuzdere, Kapuz ve Değirmendere dereleri TK İstikşaf Raporu". Denizli, Türkiye, 181215, 2013.
- [35] Rahimi R. Helmand Bölgesi Akarsularının Akım Karakteristiklerinin Havza Fizyografik Parametreleri İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2021.
- [36] Altıparmak S, Türkoğlu N. "Yakacık çayı havzasının (Hatay) morfometrik analizi". *The Journal of the Faculty of Languages and History-Geography*, 58(1), 353-374, 2018.
- [37] Mousavi SM, Rostamzadeh H. "Estimation of flood land use/land cover mapping by regional modelling of flood hazard at sub-basin level case study: Marand basin". *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 1155-1175, 2019.
- [38] Doğmaz M. Batı Akdeniz Bölgesi Akarsularının Akım Karakteristiklerinin Havza Fizyografik Parametreleri ile Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2018.
- [39] Mishra SK, Singh VP. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. 2nd ed. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [40] Copernicus Land Monitoring Service. "CORINE Land Cover". <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> (11.01.2023).
- [41] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "Meteorolojik Parametreler". <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Worospace> (05.02.2023).
- [42] Aydın MC, Ulu AE. "A case study on the estimation of flood flows in rivers with different methods". *Turkish Journal of Water Science & Management*, 7(1), 46-70, 2023.
- [43] Tülüçü K. *Su Kaynaklarının Planlaması*. 1. Baskı. Adana, Türkiye, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 2012.
- [44] Sönmez O, Hırca T, Demir F. "Akım Ölçümü Olmayan Nehirlerde Farklı Yağış Akış Modelleri ile Tekerrürlü Taşkın Debisi Hesabı: Mudurnu Çayı Örneği". *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, Baku, Azerbaijan, 29-30 September 2017.
- [45] Paşa Y, Hacı A. *Su Kaynakları Mühendisliğinde Bilgisayar Uygulamaları (HEC-RAS)*. 1. Baskı. İstanbul, Türkiye, İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınevi, 2023.
- [46] Turan B. "Doğu Karadeniz Sahil Kesiminde Taşkın Etkisinin Taşkın Tehlike Haritaları ile Analizi". *4. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, Rize, Türkiye, 23-25 Kasım 2016.