

Karst ani taşkınları

Karst flash floods

Muhterem Demiroglu

Hakkari Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hakkari, muhteremdemiroglu@hakkari.edu.tr

MAKALE BİLGİLERİ

Makale geçmişi:

Geliş: 12 Aralık 2019
Revizyon: 16 Ocak 2020
Kabul: 27 Ocak 2020

Anahtar kelimeler:

Karst, Karst ani taşkını, Şiddetli yağış

ÖZET

Doğal olan sel ve taşkın olayları, iklim değişikliğine bağlı şiddetli yağışların artması, bitki örtüsünün yok edilmesi, plansız şehirleşme, dere yataklarındaki yapılaşmadan dolayı can ve mal kaybına yol açan afetlere dönüşmektedir. Karstik akiferlerin etkisinin önemli rol oynadığı şiddetli sağanak yağışlar sonucu oluşan taşkınlar, karst ani taşkınları olarak adlandırılmaktadır. Ani taşkınların, kısa süreli, küçük alansal dağılımı, azami akış değeri ve hızı ile ağır can ve mal kaybına sebep olmaları karakteristik özellikleridir. Yeraltı suyu akışı için düşük dirençli yollar sağlayan karstik akiferlerin iletim kanalları akışı genellikle yüzey suları ile yeraltı suyundan daha fazla örtüşmektedir. Karstik arazilerde ani taşkınlara yeraltı suyu etkisi, karstik olmayan bir araziden çok büyük olmaktadır. Şiddetli yağışlarla hızla beslenimi olan karstik akiferlerde ani yeraltı suyu seviyesi yükselimi, fosil karst iletim kanallarını faaliyete geçirecek çok sayıda karstik kaynak oluşturmaktadır. Bu şekilde hesaplanamayan miktarda yeraltı suyunun yüzey suyuna ilave olması, kontrol edilemeyen büyüklükte ani taşkınlara sebep olmaktadır. İnsanı doğrudan etkileyen ve yeraltı suyu etkisi yeterince anlaşılammış en tehlikeli afetlerden biri olan karst ani taşkınlarının kontrol edilmesi ve önlenmesi, karst akiferlerinin hidrodinamik özelliklerinin doğru anlaşılması ile mümkün olabilir. Bu çalışma ile dünyadan ve Türkiye'den örnekler verilerek karstik akiferlerin hidrodinamik özellikleri anlatılmıştır. Drenaj sistemleri, yeraltı sularının yüzey sularına olası ilave katkısı ya da şiddetli yağışlarda faaliyete geçecek çok sayıda kaynak debisi de hesaba katılarak tasarlanmalıdır.

Doi: 10.24012/dumf.658507

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 December 2019
Revised: 16 January 2020
Accepted: 27 January 2020

Keywords:

Karst, Karst flash flood,
Heavy rain,

ABSTRACT

Damages caused by flood and flash flood events increase due to the destruction of natural vegetation, unplanned urbanization, settlements in river beds, and disasters leading to loss of lives and property are becoming more common. Floods caused by heavy rainfalls where the effect of karstic aquifers plays an important role are called as karst flash floods, which are characterized by short-term, small spatial distribution, maximum flow rate and speed, and severe loss of life and property. The conduits of karstic aquifers provide low resistance paths for groundwater flow, which generally overlap surface water hydraulic properties more than groundwater. The groundwater effect on flash floods in karstic areas is much greater than non-karstic areas. Sudden rise in groundwater levels in karstic aquifers, which are recharged rapidly by heavy rainfall, creates a large number of karstic springs by operating fossil karst conduits. In this way, uncalculated amount of groundwater added to surface water, causes uncontrollable flash floods. Groundwater effect is not well understood on these most dangerous disasters which directly affects human. It can be controlled and prevented by the proper understanding of the hydrodynamic properties of karst aquifers. This study has been described by giving examples from the world and Turkey. Drainage systems should be designed taking into account the possible additional contribution of groundwater to surface water or the numerous flow rates that will be activated in case of heavy rainfall.

* Sorumlu yazar / Correspondence
Muhterem Demiroglu
muhteremdemiroglu@hakkari.edu.tr

Giriş

Son yıllarda ani taşkınlar dünyada, neredeyse her yerde meydana gelebilecek en ölümcül ve en pahalı doğal afetlerden biri olmuştur. Tüm dünyada yaşanan ani taşkınlar bu konuya özel önem verilmesini gerekli kılmıştır. Ülkemizde, doğal bitki örtüsünün yok edilmesi, plansız şehirleşme, dere yataklarına müdahale ve çarpık yapılaşmadan dolayı doğal olan sel ve taşkın olaylarının can ve mal kaybına yol açan afetlere dönüşmesi daha sık görülmektedir [1]. Batı Karadeniz’de Bolu, Zonguldak, Karabük, Kastamonu ve Bartın illerinde yaşanan sel felaketleri milyonlarca insani etkilemiş, 30 kişi hayatını kaybetmiştir. 1998 yılı Mayıs ayında meydana gelen sel olaylarında 151 dere ve ırmak taşmış, çok sayıda ev tamamen su altında kalmıştır. Geniş alanları kaplayan ve çok zarar veren bu sel olayları kadar dar alanda etkili olan ani taşkınlar da mal ve çok sayıda can kaybı olmaktadır. 3-4 Kasım 1995 tarihlerinde 61 kişinin yaşamını yitirdiği Ege kıyılarını kapsayan şiddetli yağışların sebep olduğu ani taşkınlar İzmir ve civarında ciddi bina ve yerleşim yeri tahribatına sebep olmuştur [2][3]. İstanbul’da 9 Eylül 2009 tarihinde İstanbul Ayamama Deresi’nde yaşanan ani taşkın, suyun 6-7 m yükselmesi sonucu 31 kişinin ölümüyle sonuçlanmış ve önemli mal kaybına yol açmıştır. Bölgede uzun yıllar ortalamasının (178 mm/gün) üzerinde sağanak yağış (200.5 mm/gün) ölçülmüştür [4]. İnsanı doğrudan etkileyen ani taşkınlar henüz dünyada ve ülkemizde yeterince anlaşılammış ve kontrol edilemeyen en tehlikeli afetlerden biridir. Ani taşkınları önlemenin birçok yolu vardır ancak ne kadar iyi bir metot olursa olsun, etkisi her zaman sınırlıdır [5] [6]. Bu çalışma ile ani taşkınların özel bir türü olan karst ani taşkınları özetlenmiştir. Isparta Sütçüler karst ani taşkınının ayrıntıları anlatılmıştır. Karst ani taşkınlarının kontrol edilmesi ve önlenmesinin yolu, karst akiferlerinin hidrodinamik özelliklerinin doğru anlaşılması ile mümkün olabilir.

Karst ani taşkınlarının karakteristik özellikleri

Ani taşkınların sebebi çoğu zaman yükselim (konveksiyonel) yağış fırtınaları ya da çok şiddetli cephe yağışlarıdır. Bu yağış fırtınalarında genellikle saatler yerine dakika olarak ölçülen, kısa bir süre içinde büyük miktarda yağmurun yağması ile olur . Ani kar erimesi sonucu oluşan kuvvetli akışlar bir diğer önemli sebeptir. Topografyanın çok dik olması ve akarsu yatağına ulaşmadan önceki yüzeysel akışın çıplak ve geçirimsiz arazilerde yüksek olması ani taşkınların oluşmasında önemli rol oynar. Taşkınların felaketlerle sonuçlanması ve beklenmedik olması ani taşkınlar olarak adlandırılmalarına yol açmıştır [5]. Değişen iklim koşullarına ve yağış tipine bağlı sel ve taşkınlar da artış olması beklenmektedir. Ani taşkınlardaki artışlar, iklim değişikliğine bağlı şiddetli sağanak yağışlı gün sayısının artmasından kaynaklanmaktadır [7]. Karst kelimesi, Adriyatik kıyısı boyunca uzanan eriyebilir kireçtaşlarıyla kaplı verimsiz ve kıraç platolar bölgesine verilen Carso adından gelmektedir [8]. Yağmur sularıyla gelen ya da hidrotermal kökenli karbondioksidin oluşturduğu zayıf asit olan karbonik asitin etkisiyle eriyebilir kayaçların aşınması olayına karstlaşma, bu eriyip aşınma sonucu oluşan yüzey ve yeraltı yapılarına (Düden, dolin, uvala, polye, mağara, yeraltı drenajı) ise karstik yapılar adı verilir [8]. Bu yapılarından dolayı suyu hızla depolayıp iletebilme özelliğine sahip bu kayaçlarda karstik akiferler olarak adlandırılır.

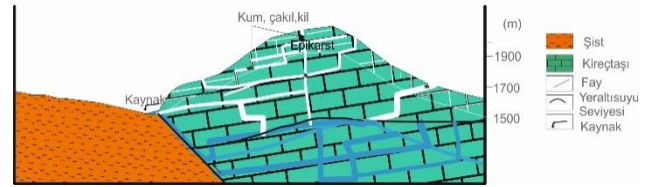
Karst, şiddetli yağış olaylarından kaynaklanan ani taşkınlar da önemli bir rol oynamaktadır. Karstik akiferlerin beslenmesi; yaygın (alansal) olarak taneler arası boşluklardan, kırık çatlaklardan süzülerek ve mağaralar, dolin, düden gibi karstik yapılardan büyük miktarlarda noktasal olarak süzülerek yeraltı suyu rezervini oluşturmak için derinlere boşalan su olarak tariflenmektedir. Beslenme işlemlerinde önemli faktörlerden olan yağış miktarı ve şiddetidir. Ani kuvvetli yağmurların değerleri oldukça değişkendir. Büyük miktardaki yağışın süresi çok kısa olur. Yağmur süresi şiddeti ile ters orantılıdır. Yavaş ve uzun süreli yağışlar yaygın beslenimde etkili olurken kısa süreli şiddetli yağışlar noktasal beslenimde etkilidir. Beslenimi etkileyen diğer faktörler morfoloji, litoloji, hızlı buharlaşma ve terlemedir. Karstik arazilerde ani

şiddetli yağışlarla noktasal boşluklardan yeraltısuyu beslenimi, buharlaşmanın çok düşük olması nedeniyle artmaktadır. Yağışlardan yeraltısuyu beslenimi %10 civarında olurken dünyanın değişik bölgelerindeki karstik akiferlerde yüksek süzülme oranları hesaplanmıştır. Milanoviç [9], Yugoslavya'da karstik kaynak boşalıklarından faydalanılarak yağışın %70-90 oranında buharlaşmadan yeraltına hızla süzüldüğünü, Suudi Arabistan'da ortalama yağışın %50 civarında karstik yapılar boyunca dolin ve mağaraların kesiştiği alanlarda yok olduğu belirtilmiştir. Sıcak ve kurak iklim koşullarına sahip Portekiz'de dolomit ve marnlı bölgelerde ortalama yağışın süzülme oranının %30-55 arasında değiştiği tespit edilmiştir [10]. Issar ve Passchier [11], İsrail'de Akdeniz iklim bölgesinde yer alan eriyebilir kayaç akiferlerinde benzer değerler belirlemiştir. Hırvatistan'daki Gradole havzasının sızma katsayıları 0.356-0.763 arasında verilmiştir [12]. İsviçre'deki dağlık karst bölgeleri için, toplam yağış miktarının %60-90'ı arasında sızma oranı verilmiştir [13]. Orta-güney İtalya'daki Majella akiferinin net beslenimi 900 mm ile 1450 mm/yl olan yağışın %62'sidir [14].

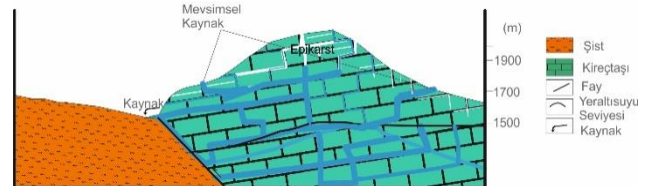
Türkiye'de ise Sivas-Ulaş bölgesinde yer alan Tecer kireçtaşlarında yağışın %55 oranında yeraltına süzüldüğü belirlenmiştir [15]. Karstik kireçtaşlarında süzülme oranı yağışların %80'ine varmaktadır. Bununla birlikte, düşük depolama kapasitesi türbülanslı akış koşulları ile birleştiğinde, beslenme karst sistemi tarafından depolanmayıp hızla (kaynaklar, nehirler, göller, deniz) dışarı akacağı anlamına gelmektedir.

Karstik akiferlerde akış oldukça anizotrop ve heterojendir. Su akışı boru benzeri iletim kanalları olarak adlandırılan akış kanallarının çapına göre laminer veya türbülanslı olur ve hidrolik özellikleri yüzey sularına benzerdir. Aynı zamanda taneli, çatlaklı akifer özelliklerini de kapsayan üçlü akış sistemi içerir [16]. Karst akiferlerinin en önemli özellikleri, yeraltı suyu akışı için düşük dirençli yollar sağlayan iletim kanallarıdır. Düşey gelişmiş iletim kanalları yağmur ve kar sularının buharlaşmadan yüzeyden yeraltı akarsu sistemine toplanmasını ve hızla taşınmasını sağlar. Türbülanslı akışın varolabileceği karst kanallarının minimum çapı

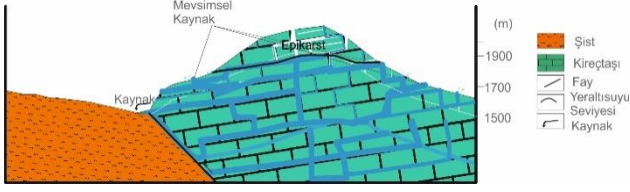
5- 15 mm'den daha büyük olmalıdır [5]. White [17], çapı 1 cm'den büyük olan iletim kanallarıyla gerçekleşen yeraltısuyu dolaşımının hidrolik eğimin yüksek olduğu koşullarda türbülanslı akımı karakterize ettiğini ve kanal akışının genellikle yüzey suları ile yeraltı suyundan daha fazla örtüştüğünü ifade etmiştir. Karst hidrolojisi, yüzey suyu ile yeraltı suyu hidrolojisinin bir karışımını gerektirir. Yeraltı suları ile yüzey suyu arasındaki etkileşimi anlamak karst ani taşkınlarının analizinde özel önem taşımaktadır. Geçirgenliği ve hidrolik iletkenliği yüksek, yatay ve düşey karstik iletim kanalları gelişmiş kireçtaşlarının bulunduğu bölgelerde yeraltı suyunun noktasal besleniminin fazla olması, yüzeysel akışın azalması anlamına gelir. Buna bağlı olarak sel şiddetinin ve riskinin de azalması beklenir ancak beslenme boşalım dinamiklerine bağlı olarak aksine ani taşkınlara sebep olmaktadır (Şekil 1-3). Aralık 2004'te, Marina Körfezi'nde, Hırvatistan'ın Adriyatik Denizi kıyılarında çıplak arazilerde yüzeylenen ve derin yayılımı olan Dinarik karstının etkili olduğu karst ani taşkınında yeraltı suyu seviyesi yükselimi saatte 30 m'ye ulaşmıştır [18] [19].



Şekil 1. Ani taşkın öncesi ve uzun süren kurak dönemden sonra karst akiferinin şematik gösterimi Bonacci vd., 2006'dan değiştirilmiştir [5].



Şekil 2. Yeraltısuyu seviyesinin düşük olduğu ani taşkın anında iletim kanallarının şematik gösterimi.



Şekil 3. Yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu ani taşkın anında iletim kanallarının şematik gösterimi.

Karst ani taşkını gelişiminin üç aşamasının şematik olarak gösterimi verilmiştir. Şekil 1, uzun bir kurak dönemden sonra yoğun yağmurun başlamasından kısa bir süre önceki karst sisteminin durumunu göstermektedir. Yeraltı suyu seviyesi düşüktür, su tablası topografyayı kesemeyecek kadar düşüktür. Karstik kanallarının bir kısmı kil veya taşlarla tıkanmıştır. Şekil 2, şiddetli yağış sonrası durumu göstermektedir. Yeraltı suyu seviyesi halen aynı konumdadır, ancak mevcut karst kanalları su ile dolmuştur ve akış basınç altındadır. Yeraltı suyu basıncı nedeniyle, borulardaki tıkanıklıklar açılmış ve kaynak boşalımları başlamıştır. Basınç altındaki akış sadece karst kanallarındadır, matris ve taneler arası geçirgenliği oluşturan küçük kırık ve fissürler henüz yeraltı suları ile doldurulmamıştır. Şekil 3, yeraltı suyu seviyesinin yükseldiği durumu göstermektedir. Küçük kırık ve çatlaklar yavaş laminer veya türbülanslı akış rejimi ile dolmaya başlamıştır. Epikarst bölgesi su ile dolmuştur. Örneğin, Dinarik karstının etkili olduğu karst ani taşkınında yeraltı suyu seviyesi 120 m yükselmiştir [5] [18].

Karst ani taşkınlarının temel nedenleri 1) Yüksek sızma oranı, 2) Nadir ya da olmayan yüzeysel akış varlığı, 3) Yüzey ve yeraltı suyunun güçlü etkileşimi, 4) Karst akiferin düşük depolama kapasitesi, 5) Hidrolik eğimin yüksek olması ve karstik kanallar sayesinde hızlı yeraltı suyu akışı, 6) Bilinmeyen karstik yapıların varlığı, düdenler, kanallar, mağaralar, 7) Ani yükselen yeraltı suyu seviyesi ile havzalararası etkileşimlerin değişmesi, 8) Ani yükselen yeraltı suyu seviyesi

nedeniyle ani kaynak boşalımları olarak özetlenebilir [5] [12].

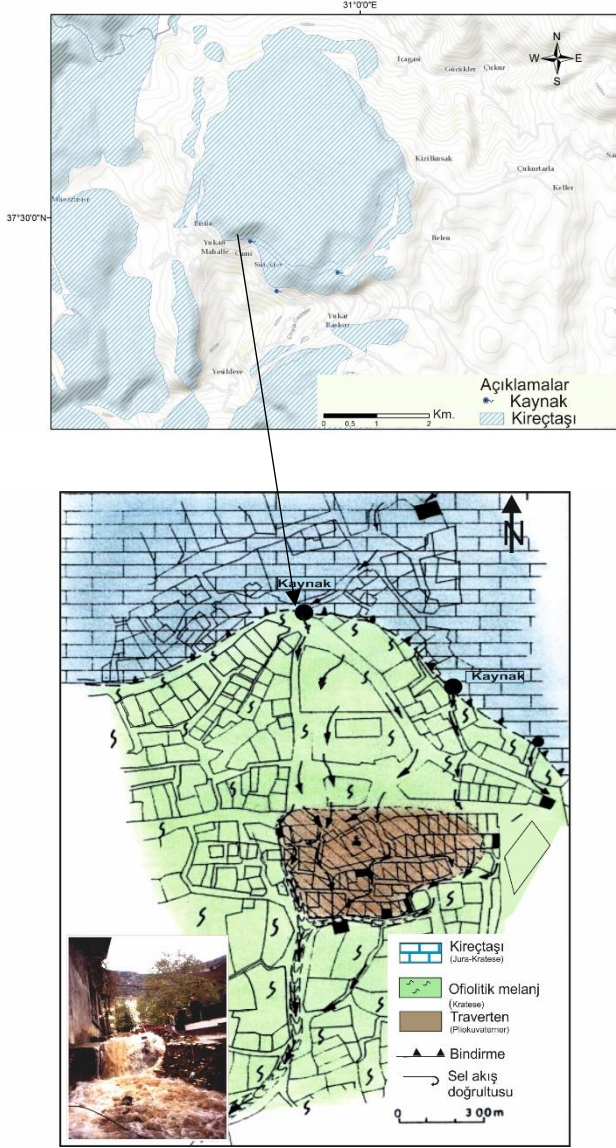
Isparta-Sütçüler Ani Taşkını

1995 yılında Isparta-Sütçüler ilçe merkezinde yaşanan sel felaketi sonucu 6 kişi ölmüş, 23 ev yıkılmış, 76 ev hasar görmüş, 4370 m kanalizasyon, 3700 m su şebekesi tamamen tahrip olmuştur (Şekil 4).

Isparta ili ve ilçelerinde genel olarak karasal iklim özellikleri gözlenirken bölgenin güneyinde yer alan Sütçülerde Akdeniz iklim özellikleri gözlenir. Devlet Meteoroloji İstasyonları uzun yıllar (1975-2009) verilerine göre ortalama sıcaklık 12°C, yıllık ortalama yağış 518-670 mm civarında iken Sütçülerde (2007-2010) ortalama sıcaklık 14 °C, yıllık ortalama yağış 900 mm civarındadır.

Sütçüler ilçe merkezinin kuzeyinde Erenler dağı tabanda bazik, ultrabazik ve çökel kayaların tektonizma etkisiyle karışmasından oluşan Isparta ofiyolit karmaşıkla tektonik dokanıklı kırıklı, çatlaklı, erime boşluklu, dolin ve düdenlere sahip kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4). Sütçüler ilçe merkezi Erenler dağı güneyinde yerleşmiştir. Şehir merkezi ağırlıklı olarak ofiyolitik karmaşık ve pliyokuvaterner yaşlı travertenler üzerine kurulmuştur.

Tabanda yer alan bazik, ultrabazik ve çökel kayalardan oluşan Isparta ofiyolit karmaşığı üzerine gelişmiş karstik yapılara sahip taşınmış (allakton) kireçtaşları uyumsuz olarak gelmiştir. Sütçülerin güney kesiminde ise bölgesel tektoniğe uyumlu olarak Miyosen denizel çökellerine ait kayalar ve Pliyokuvaterner yaşlı travertenler yüzeylenmektedir. Temel kayalar üzerinde kireçtaşı ve ofiyolitik karmaşık kökenli kum, çakıl, blok boyutunda yamaç molozları yer almaktadır.



Şekil 4. Sütçüler dolayının jeoloji ve sel akış yolu haritası [20].

Bölgede akan sürekli yüzey suyu bulunmamaktadır. Kireçtaşı ofiyolitik dokanağında kaynak boşalımları olmaktadır. Düşük debili bu kaynaklara ait düzenli ölçümler bulunmamaktadır. Ancak yerleşim yerindeki travertenlerin sözkonusu kaynaklarla ilişkili olarak çökeldiği göz önüne alınarak geçmişte büyük debili boşalımlardan bahsedilmektedir [20]. Bölge, karst ani taşkın özelliklerinin tümünü barındırmaktadır.

Hidrolik iletkenliği yüksek, depolama kapasitesi düşük karstik sistemlerin hızla suyu kaynaklara ve derelere taşıma yeteneğinin hızla akışa geçen şiddetli yağışlar ile birleşmesi Sütçüler

örneğinde olduğu gibi sel felaketlerinin boyutunu artırmaktadır.

Karagüzel ve Akıncı [20], tarafından karstik kaynakların Sütçüler sel felaketinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Ancak Sel Önleme ve Erozyon Kontrolü Projesinde karstik sistem ve yeraltı suyu etkisi gözardı edilmiştir. Dünya Bankası tarafından finanse edilen ve Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) tarafından yürütülen Senirkent ve Sütçüler Sel Önleme ve Erozyon Kontrolü Projesi kapsamında 2602 ha alanda erozyon kontrolü, 490 ha alanda da mera iyileştirme çalışmaları 1999 yılında tamamlanmıştır. Nitekim 2011 yılında bölgede sel felaketi tekrar yaşanmıştır (<https://www.youtube.com/watch?v=EsnuuTJ-g64.>)

Genel olarak, sağanak yağış olaylarının sıklığı ya da şiddeti, Kuzey Yarıküre'nin orta-enlem kara bölgelerine kıyasla, 1901'den bu yana artmıştır (1951'den sonra yüksek güvenilirlik). Türkiye ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) tarafından hazırlanan rapora göre, yağışlar Karadeniz bölgesinde artarken, Akdeniz ve Ege bölgelerinde azalmaktadır [21].

İç Anadolu'da yağış azalma ya da değişmeme eğilimindedir. İklim değişikliği verilerinin en belirgin sonucu, kuvvetli yağışlı gün sayısının Türkiye'de arttığına ve bu durumun sel felaketlerinde artışa neden olduğudur. Toplam yıllık yağış miktarının azaldığı bölgelerde bile, kuvvetli sağanak yağışlarda bugüne kadar ölçülmemiş yüksek yağış eğilimi vardır [22] [23]. Toplamda yağışların arttığı bir yıl olmasına rağmen, yaygın beslenimin hakim olduğu akiferlerde yeraltı suyu beslenimi azalmaktadır [24]. Fiorillo vd [14], akiferlerin besleniminin yeni yağış tipine bağlı olarak azaldığını göstermiştir. Başka bir deyişle, aynı miktarda yağış, geçmişte olduğu gibi akiferleri aynı miktarda beslememektedir. Karstik taşkınlar, iletim kanalları ile kontrol edilen akiferlerde, yaygın beslenimin egemen olduğu akiferlerden farklı olarak, daha yüksek beslenme olacağı hipotezini desteklemektedir. Pratik olarak yüzeye düşen şiddetli yağışlar çok yüksek iletkenliği ve noktasal beslenimi olan alanlarda doğrudan süzülürken diğerlerinde yüzeysel akışa

geçmektedir. Farklı boyutlardaki karstik boşlukları dolduran su ve aynı zamanda yer çekiminin etkisi altında, aktığı karst yeraltı sistemine çabucak nüfuz eder [5].

Tartışma

Kireçtaşlarında yüksek beslenme, iyi gelişmiş karstik yapılardan gelen noktasal süzölmeye bağlıdır. Bununla birlikte, karst akiferlerine beslenimin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi, heterojen yapılarından dolayı çok zordur [12] [14] [25]. Yaygın beslenme ve laminer akışla kontrol edilen diğer karst akiferler, vadoz zonunda fosil ve aktif olmayan karstik yapılar bulundurmaktadır ve vadoz zonun aktivasyonu nedeniyle, yeraltı su seviyesinde ani değişimler, havza taşmaları ve komşu havzaları etkilemelerine neden olabilir [5]. Bu nedenle karst arazilerinde akiferlerin yapısına ve hidrolik özelliklerine doğrudan bağlı ani taşkınlar başlıca tehlikelerden biri olarak tespit edilmiştir [5]. Komşu havzalardan gelen hesaplanmamış suların kaçınılması için havzanın hidrolojik bütçesinin bir bileşeni olarak dikkate alınmalıdır [26]. Eris ve Wittenberg [27], komşu karstik havzalar arasındaki su transferinin büyüklüğünü göstermiştir. Çoğunlukla yüksek topoğrafyada yer alan taşınmış, derin yayılımı olan, şiddetli yağışlarda hızlı beslenme sağlayan karstik yapıları gelişmiş ve geçirimsiz kayaçlarla sınırlanmış akiferler, önemli miktarlardaki suyu hidrolojik drenaj havzalarına ya da komşu havzalara aktarabilirler. Göller bölgesinde yer alan tarihi bir kaynağın yer aldığı Sagalassos antik kenti, iletim kanalları yani kırık çatlak sistemi gelişmiş Kretase yaşlı allokon kireçtaşları önünde kurulmuştur. Bu, akifer yüksek taşkın kapasiteli akiferlere iyi bir örnektir. Şaşırtıcı bir şekilde, Sagalassos antik kentinde drenaj sistemi doğal taşkın riskleri göz önüne alınarak inşa edilmiştir. Kazılar, binalar zarar görmeden taşkınları toplamak ve tahliye etmek için drenaj kanallarının geniş açık alanların ve kentsel dokunun içine dikkatle yerleştirildiğini göstermektedir [28]. Kentsel drenaj sistemleri, antik çağda Sagalassos kentine benzer şekilde şiddetli yağışlarda faaliyete geçecek çok sayıda kaynak debisini de hesaba katarak tasarlanmalıdır.

İklim değişikliğine bağlı yağış tipinin değişmesi sonucu sel felaketlerinde artış devam etmektedir. Buna bağlı sel kontrolü çalışmalarına duyulan ihtiyacın artması üzerine Orman ve Su İşleri Bakanlığı (yeni adıyla Tarım ve Orman Bakanlığı) tarafından yukarı havza sel kontrol eylem planı hazırlanmıştır. Yukarı havza sel kontrol eylem planında jeoloji başlığı altında yalnızca “Geçirgenliği ve gözenekleri yüksek olan kayaçların bulunduğu yerlerde sızma oranının fazla olması, yüzeysel akışın azalmasına ve buna bağlı olarak sel ve taşkın olaylarının şiddetinin ve riskinin de azalmasına sebep olur. Geçirgenliği ve gözenekleri çok düşük ya da geçirimsiz kayaçların olduğu alanlarda ise, yağışların ve eriyen kar sularının büyük bir kısmı yüzeysel akışa geçeceği için sel vakası daha sık ve şiddetli görülür” açıklaması yer almıştır. Sel ve taşkın olaylarına ilave yeraltı suyu katkısı dolayısıyla hidrojeolojinin önemine bu eylem planında değinilmemiştir. Ani ve şiddetli yağışlarla hızla beslenime bağlı seviye yükselimi olan düşük depolamalı karst akiferlerinin ani taşkın olaylarına büyük etkisi ülkemizde henüz yeterince bilinmemektedir.

Sonuçlar

Ani taşkın örnekleri (Dinaric, Sütçüler) iklim değişikliğiyle artış gösteren kısa süreli sağanak yağışların, vadoz zonda gelişmiş iletim kanallarına sahip karstik akiferlerde diğer akiferlerin aksine hızlı beslenime sebep olduğunu göstermiştir.

Çoğunlukla yüksek topoğrafyada yer alan taşınmış, derin yayılımı olan, şiddetli yağışlarda hızlı beslenme sağlayan karstik yapıları gelişmiş ve geçirimsiz kayaçlarla sınırlanmış akiferler, önemli miktardaki suyu hidrolojik havzalarına ya da komşu havzalara aktarabilirler.

Büyük miktarlarda buharlaşmadan alıkonarak yeraltına süzölen suyun gelişmiş iletim kanallarıyla hızla yüzey sularına ilave su taşınması ani taşkınların önemli nedenlerindedir.

Ani ve şiddetli yağışlarla hızla beslenimi olan karstik sistemden gelebilecek su miktarı hidrolojik bütçelerde yerini almalı, drenaj sistemleri yeraltı suyu ilaveleri hesaplanarak tasarlanmalıdır.

Kaynaklar

- [1] SYGM, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (2017). Taşkın Yönetimi www.taskinyonetimi.ormansu.gov.tr _engine > file > Taskın_Yonetimi (Son erişim 4/12/2019)
- [2] Kömüşçü, A.Ü., Çelik, S., Ceylan, A. (2011). 8-12 Eylül 2009 Tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde Meydana Gelen Sel Olayının Yağış Analizi, Coğrafi Bilimler Dergisi, CBD 9(2), 209-220.
- [3] Kirmencioğlu, B. (2015). Türkiye'de dere yataklarına müdahalelerin taşkınlar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi, 146 s.
- [4] Bacanlı H., Çelik S., Görgeç H., Deniz A. (2011). Meteorological analysis of the flood disaster that occurred in the western Marmara region at 7 - 9 September 2009. 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings, İstanbul, p.451-460
- [5] Bonacci, O., Ljubenkov, I., Roje-Bonacci, T. (2006). Karst flash floods: an example from Dinaric karst (Croatia). Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 195–203
- [6] Fleury, P., Maréchal, J.C., Ladouche, B. (2013). Karst flash-flood forecasting in the city of Nîmes (southern France), Engineering Geology, 164, 26-35.
- [7] Hüyüktepe, P.B. (2015). Taşkın riski ön değerlendirilmesinde yerbilimsel veri/bilgilerin kullanımı, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 118 s.
- [8] MTA, Kars ve Mağara araştırmaları (Son erişim 3/12/2019). <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/karst-magara-nedir>
- [9] Milanoviç, P.T. (1981). Karst Hydrogeology, Water Resources Publication, Littleton, Colorado, USA, 434 p.
- [10] De Vries, J.J. ve Simmers, I. (2002). Grounwater recharge: an overview of processes and challenges, Hydrogeology Journal, Vol. 10, p. 5-17
- [11] Issar, A. S. ve Passhier, (1990) R.: Regional hydrogeological concepts, in: Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge, IAH Int. Contrib. Hydrogeol. 8, edited by: Lerner, D. N., Issar, A. S., and Simmers, I., Heinz Heise, Hannover, 21–98.
- [12] Bonacci, O. (2001). Analyses of the maximum discharge of karst springs, Hydrogeol. J., 9, 4, 328–338.
- [13] Malard, A., Sinreich, M., Jeannin, P.Y. (2016). A novel approach for estimating karst groundwater recharge in mountainous regions and its application in Switzerland, Hydrol. Process, 30(13):2153–2166
- [14] Fiorillo, F., Petitta, M., Preziosi, E., Rusi, S., Esposito, L., Tallin, M. (2015b). Long-term trend and fluctuations of karst spring discharge in a Mediterranean area (central-southern Italy), Environ Earth Sci., 74:153-172.
- [15] Ekemen, T., Kaçaroglu, F. (2001). Tacer Dağı (Sivas-Ulaş) kaynaklarının hidrojeolojisi, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A, .2, p. 87-102.
- [16] Lambrakis, N., Katsanou, Tayfur, G., Baba, A., 2015 Describing the karst evolution by the exploitation of hydrologic time-series data, Water Resources Management, July 2015, Volume 29; 9, pp 3131-3147
- [17] White, W. B., 2002, Karst hydrology: recent developments and open questions, Eng. Geol., 65, 85–105, doi:10.1016/S0013-7952(01)00116-8.
- [18] Bonacci, O. (1987). Karst hydrology with special reference to Dinaric karst, Springer Verlag, Berlin.
- [19] Bonacci, O. (1995). Ground water behaviour in karst: example of the Ombla Spring (Croatia), J. Hydrol., 165, 113–134.
- [20] Karagüzel, R., ve Akıncı, Ö.T. (1998). Influence between geological environment and the settlement area; Isparta case,

- Kentleşme ve Jeoloji Sempozyumu, p. 61-75, 19-20 November, Istanbul
- [21] SPM, Summary for Policymakers (2013). <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5SPMFINAL.pdf>,
- [22] CCSP (2008). The Effects of Climate Change on Agriculture, Land Resources, Water Resources, and Biodiversity in the United States. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Backlund, P., A. Janetos, D. Schimel, J. Hatfield, K. Boote, P. Fay, L. Hahn, C. Izaurralde, B.A. Kimball, T. Mader, J. Morgan, D. Ort, W. Polley, A. Thomson, D. Wolfe, M. Ryan, S. Archer, R. Birdsey, C. Dahm, L. Heath, J. Hicke, D. Hollinger, T. Huxman, G. Okin, R. Oren, J. Randerson, W. Schlesinger, D. Lettenmaier, D. Major, L. Poff, S. Running, L. Hansen, D. Inouye, B.P. Kelly, L. Meyerson, B. Peterson, and R. Shaw. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- [23] USGCRP (2009) Global Climate Change Impacts in the United States . Karl, T.R. J.M. Melillo, and T.C. Peterson (eds.). United States Global Change Research Program. Cambridge University Press, New York, NY, USA.
- [24] Williams, N.H. ve Lee, M. (2007). Ireland at risk – Possible implications for groundwater resources of climate change, Groundwater Section, Geological Survey of Ireland <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.583.61&rep=rep1&type=pdf> (Son erişim 4/12/2019)
- [25] Bakalowicz, M. (2015). Karst and karst groundwater resources in the Mediterranean, Environ Earth Sci., 74:5-14.
- [26] Aksoy H. (2016). Interactive comment on “Classification of Karst Springs for Flash Flood-Prone Areas in Western Turkey” by M. Demiroglu, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., doi:10.5194/nhess-2016-6-SC1, 2016
- [27] Eris, E., Wittenberg, H. (2015). Estimation of baseflow and water transfer in karst catchments in Mediterranean Turkey by nonlinear recession analysis, Journal of Hydrology, 530, 500-507.
- [28] UNESCO (2009). Climate change impacts on water systems in Turkey, www.oecd.org/env/resources/waterandclimatechange.htm.