



Ege Coğrafya Dergisi, 26/1 (2017), 35-46, İzmir
Aegean Geographical Journal, 26/1 (2017), 35-46, İzmir - TURKEY

EKSTREM YAĞIŞ OLAYLARININ FIRAT HAVZASI'NDAKİ HİDROLOJİK BİLEŞENLERİN YILLAR ARASI DEĞİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

*The Influence of Extreme Precipitation Events on Interannual Variation of the
Hydrologic Components in The Euphrates Basin*

Orkan ÖZCAN

*İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü
ozcanork@itu.edu.tr*

Bodo BOOKHAGEN

*University of Potsdam Institute of Earth and Environment Science
Bodo.Bookhagen@uni-potsdam.de*

Nebiye MUSAOĞLU

*İstanbul Teknik Üniversitesi
musaoglune@itu.edu.tr*

Abstract

In the study, daily gauge measurements of river discharge (Q) and suspended sediment concentrations (SSC) from seven sites along Euphrates River have been used for 30 years in average. As a remote sensing dataset, within the period of 1997-2011, the Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) product 3B42 has been achieved in order to characterize rainfall variability in the region. In conjunction with satellite data depicting rainfall, climatic evaluation of extreme precipitation events, where the SSC events reached the highest value, have been carried out. According to the preliminary results, in all stations of the study area, the SSC at the 90th percentile accounts for more than 55% of the total suspended sediment flux. In a similar manner, the discharge at the 90th percentile accounts for maximum 50% of the total discharge flux. Besides, extreme precipitation events which rainfall exceeds the 99th percentile of rainfall data set within each station and peak SSC days as days in which the SSC exceeds the 99th percentile of the entire SSC data set from each station have been defined.

Keywords: Extreme precipitation, TRMM, sediment deposition, erosion, discharge

Öz

Çalışmada, Fırat Nehri boyunca 7 adet sediment ve akım gözlem istasyonundan alınan ortalama 30 yıllık günlük nehir debileri (Q) ve askıda katı madde (AKM) konsantrasyonları kullanılmıştır. Uzaktan algılama veri seti olarak, 1997-2011 dönemi içerisinde, Tropik Yağmur Ölçüm Misyonu (TRMM) 3B42 ürünü bölgedeki yağış değişkenliğini karakterize etmek amacıyla temin edilmiştir. Uydu verileri ile elde edilen yağış verilerinin kullanılmasıyla AKM konsantrasyonunun en yüksek değere ulaştığı ekstrem yağış olayların iklimsel değerlendirmesi yapılmıştır. Ön sonuçlara göre, çalışma alanındaki tüm gözlem istasyonlarında, askıda katı madde konsantrasyonunun 90. yüzdendirlik değerleri toplam AKM akısının %55'ine tekabül etmektedir. Benzer şekilde, nehir debilerinin 90. yüzdendirlik değerleri de toplam debi akısının maksimum %50'sine tekabül etmektedir. Bunun yanı sıra; her istasyondaki günlük yağış verilerinin 99. yüzdendirlik değerleri ile her bir istasyondaki askıda katı madde konsantrasyonunun en yüksek değere ulaştığı tüm AKM konsantrasyonu veri setinin 99. yüzdendirlik değerlerini aşan günler tayin edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Ekstrem yağış, TRMM, sediment birikimi, erozyon, debi

1. GİRİŞ

Son yıllarda dünyanın çeşitli yerlerinde yapılan araştırmalar su havzalarındaki hidrolojik bileşenlerde önemli değişimler olduğunu göstermiştir. Değişen iklime karşı başa çıkma toplumda da en ciddi zorluklar arasındadır. İklim değişiminin, çeşitli bölgelere düşen yağışı, ekstrem olayların zamanını ve büyüklüğünü ne şekilde etkileyeceği belirsizliğini korurken bu olaylara karşı alınacak önlemler açısından çalışmalar devam etmektedir. Özellikle ekstrem yağış olaylarında, akarsularda çok kısa zaman aralıklarında çok büyük miktarlarda sediment taşındığından, taşınan madde miktarının yüksek doğrulukta bilinmesi gerekmektedir. Akarsu morfolojisinin anlaşılmasında, barajların projelendirilmesinde ve havza yönetimi çalışmalarında nehir sediment yükünün doğru tahmini önem taşımaktadır. Barajlardaki sediment birikimi, kapasiteyi düşürerek, tarım, evsel ve endüstriyel kullanım ve elektrik üretimi için gereken su teminini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, nehir havzalarındaki erozyon ve sediment konsantrasyonu ile ilgili çalışmalar önem taşımaktadır.

Erozyon, katı madde taneciklerinin rüzgâr, yağış ve akış gibi etmenlerin etkisi ile yerinden ayrılarak taşınması olarak tanımlanır (Foster ve Meyer, 1972). Erozyonu etkileyen faktörlerden en önemlisi yağış olup, yağışın da şekli, şiddeti, süresi ve rejimi erozyona farklı etkiler yapmaktadır. Ülkemizde erozyon, % 14'ü hafif, % 20'si orta ve % 63'ü ise şiddetli ve çok şiddetli derecede olmak üzere %99'u su erozyonu olarak görülmektedir

(Doğan, 2011). Toprak parçacıklarının yağış ve yüzey akış tarafından parçalanarak taşınması olarak tanımlanan su erozyonu; toprak, yağış, topografya ve tarım şekline bağlıdır (Meyer and McCune, 1958; Meyer, 1971; Wischmeier ve Smith, 1965). Türkiye'de toplam taşınan sediment/toprak miktarı yaklaşık 346 milyon ton/yıldır olmak üzere en fazla Fırat - Dicle ve Yeşilirmak Havzalarında görülmektedir. Ancak, ölçümlerde yer almayan ve yatak yükü olarak ifade edilen kum ve çakıl gibi materyaller ile yamaçlardan akararak inen ve akarsulara ulaşmayan topraklar da dikkate alındığında Türkiye'deki erozyonun 500 milyon tona hatta bazı yazarların değerlendirmelerine göre de 1 milyar tona ulaştığı ifade edilmektedir. Bununla birlikte tarımsal alanlar, tarım yapılan arazinin eğimi ve uzunluğundaki artış oranında erozyona maruz kalabilmekte yani normal erozyon hızlandırılmış erozyona dönüşebilmektedir (Lal, 1995). Türkiye'de bu değerlendirmelere göre yapılmış olan hesaplarda arazi kullanımından kaynaklanan hızlandırılmış erozyonun doğal erozyondan 18-20 kat fazla olduğu belirtilmektedir (AGM, 2001).

Günümüzde, akarsularda sediment ve su kalitesi ölçümleri hidrometrik ölçüm ağı ile periyodik olarak DSİ tarafından yapılmaktadır. Ancak, pek çok yazıcı ölçekli istasyonlarda kaydedilen yağışların güvenilirliğinden şüphe edilmekte ve önemli ekstrem veriler kaydedilememektedir (Özcan vd., 2013). Son 15 yılda daha geniş alanların kapsanması ve daha doğru yağış tahminlerinin sağlanması için çeşitli mekansal ölçek ve çözünürlüğe sahip uydu bazlı yağmur sensörleri kullanılmaktadır. NASA ve

Çalışmada kullanılan istasyonların yağış rejim bölgelerindeki alansal dağılışıa göre; Karasal Akdeniz (KAKD) ve Karasal Doğu Anadolu (KDAN) yağış rejimi bölgelerinde bulunmaktadır (Türkeş, 1996, 1998). KAKD yağış rejimi bölgesi; orta yağışlı bir kış/ilkbahar ve çok sıcak kurak bir yaz mevsimi ile birlikte oldukça mevsimsel yarı kurak ve kurak-yarı nemli subtropikal özelliklerine sahiptir. KDAN yağış rejimi bölgesi ise; orta yağışlı bir ilkbahar/ilk yaz ve kar yağışlı çok soğuk bir kış mevsimi ile birlikte kurak-yarı nemli ve yarı nemli bozkır ve yüksek arazi özelliklerine sahiptir. Çalışma bölgesindeki 2115 numaralı Göksu Nehri – Malpınar istasyonu, KAKD yağış rejimi bölgesinde diğer istasyonlardan (2174, 2177, 2176 ve 2119 numaralı istasyonlar) KDAN yağış rejimi bölgesinde, 2102 ve 2164 numaralı istasyonlar ise bu iki yağış rejimi arasındaki geçiş bölgesinde bulunmaktadır. Yağışın en çok ilkbaharda düştüğü KDAN bölgesinde Haziran ve Ekim ayları arasında yağış miktarı ortalama 20 mm'nin altındadır (Türkeş ve Tatlı, 2008). KDAN yağış rejimi bölgelerinde ilkbahar ve yaz yağışları ile yıllık kuraklık indislerinde artış görülmüştür (Türkeş, 1998; 1999). Benzer şekilde, Güneydoğu Anadolu'daki yaz ve kısmen sonbahar yağışlarında da bir artış eğilimi ile daha nemli koşullara geçiş olduğu belirlenmiştir (Türkeş ve Erlat, 2005). Ancak; KDAN yağış rejimi bölgesi dışında Türkiye'de kış yağışlarının toplam yağışlar içerisindeki miktarı artmıştır. Bu durum, Türkiye'de yıllık toplam yağışların önemli bir bölümünü oluşturan kış yağışlarındaki azalmanın daha büyük ve hızlı olması da dikkate alındığında, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde kaydedilen yağışların toplam yağış içindeki paylarının da artması anlamına gelmektedir (Türkeş vd., 2007).

Türkiye yağışlarındaki uzun süreli eğilimler ve değişimlerin incelendiği bir çalışmada (Türkeş, 2012), son 40 yılda genel olarak kış ve ilkbahar yağış toplamlarında Güneydoğu Anadolu bölgesi ile Doğu Anadolu bölgelerinin iç ve güney bölümlerinde belirgin bir azalma eğiliminin (kuraklaşma) olduğu ifade edilmektedir. Özellikle Türkiye'nin güney ve karasal iç-güney bölgelerinde gözlenen kuraklaşma eğiliminin, bu bölgelerde 2008 - 2009 ile 2009 – 2010 dönemlerinde egemen olan ortalamadan daha yağışlı (nemli) koşulların varlığına karşın sürdüğü belirtilmektedir. Yaz mevsimi için ise, birkaçı

istatistiksel olarak önemli olmak üzere, hem artış hem de azalış eğilimlerinin egemen olduğu ifade edilmektedir. Bununla birlikte, Fırat Havzası'nın kuzeyinde kalan istasyonlarda yaz yağışlarında % 5 anlamlılık düzeyinde azalma, güneyinde ise artış eğilimi olduğu belirtilmiştir. Yarı kurak ve seyrek bitki örtüsüne sahip bu bölgede yağış miktarının artmasıyla gelen ani taşkınlar, daha yıkıcı toprak erozyonun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

Fırat Nehri'nin ortalama yıllık akımı yaklaşık olarak 32 milyar metreküp civarında olup bu miktarın %80'i Keban Barajı'nın kuzeyindeki yukarı havzada yer almaktadır. Nisan ve Mayıs aylarındaki maksimum akımı toplam yıllık akımının %42'sine denk gelmektedir. Fırat Nehri havzasında akım değerleri değişkenlik göstermektedir. Kış aylarında yağışın kar şeklinde olmasından dolayı akım 200 m³/s iken, bu rakam ilkbaharda yağmur ve kar erimeleri ile 2000 m³/s'ye kadar çıkmaktadır. Temmuz ayında hızla azalan akım, Eylül-Ekim aylarında en az seviyeye inmektedir (Yıldırım, 2006). Ayrıca; Yukarı Fırat havzasında, 1937-1964 yılları arasında tutulan akım kayıtlarında 1961 yılında akım değeri 16.871 milyar m³'e düşerken, 1963 yılında ise 43,457 milyar m³'e yükseldiği kaydedilmiştir. 1969 yılı kayıtları suyun en fazla olduğu dönemi göstermektedir (Maden ve Kılıç, 2012). Ülkemizde erozyon sonucu akarsu yataklarında taşınan katı madde miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. En fazla sediment yılda 39,9 milyon ton ile Fırat Nehri tarafından taşınmaktadır. Akarsuların taşıdığı katı malzeme barajlar için bir tehdit oluşturmaktadır. Erozyon, özellikle Keban, Karakaya ve Atatürk gibi çevresi eğimli ve bitki örtüsü zayıf arazilerle kaplı barajlar için tehlike arz etmektedir (Burak vd., 1997). Örneğin, Fırat Nehri üzerinde tesis edilen Keban Barajı'na her yıl en az 32 milyon ton toprak taşınmış ve tesis tarihi olan 1974 yılından bugüne kadar toplam bir milyar ton toprak baraj tabanında yığılmıştır (Doğan, 2011). Çalışmada da kullanılan Murat Nehri üzerindeki Akkonak ve Palu istasyonlarından 1990 – 2011 yılları arasındaki taşınan sediment miktarının zaman serisi analizi ile yapılan bir çalışmada; toplam taşınan sediment miktarının Türkiye ortalamasının yaklaşık 1.6 katı daha fazla olduğu (yaklaşık 27 000 ton/gün), bunun da özellikle Bingöl ve Muş ovalarında verimsiz toprak tabakasının oluşumuna sebep olacağı ve yılda yaklaşık 10 milyon ton toprağın Keban Barajı'na

taşınmasının da barajın ekonomik ömrünü kısaltacağı belirtilmiştir (Doğan ve Demir, 2016).

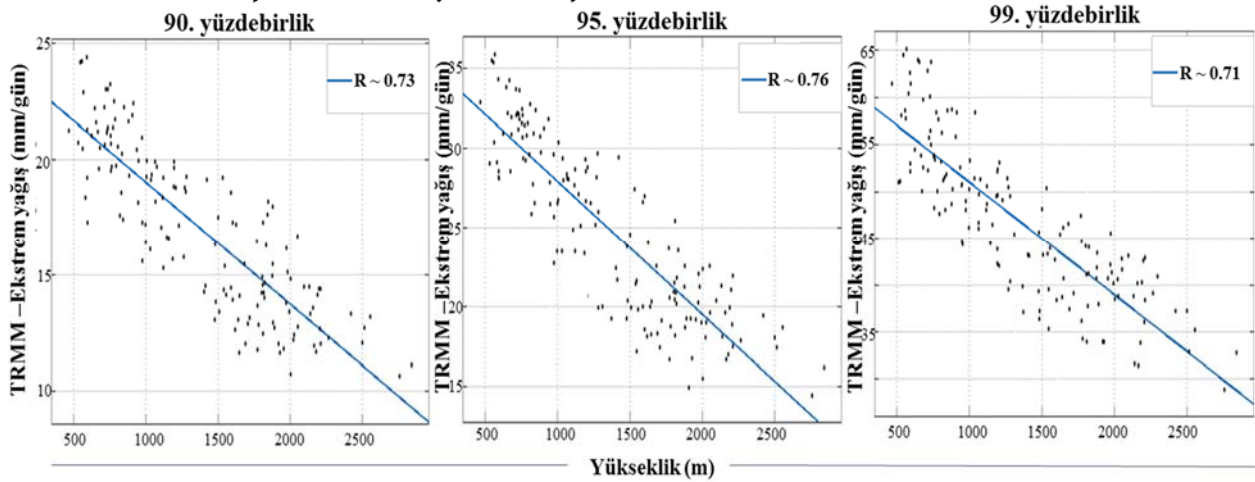
Bu çalışmanın amacı, Fırat Nehri üzerinde ve önemli kollarında bulunan 7 adet hidrometrik gözlem istasyonundan elde edilen taşınan sediment miktarlarının ve akım değerlerinin, uzaktan algılama veri seti olan Tropik Yağmur Ölçüm Misyonu (TRMM) 3B42 ürünü ile sağlanan yağış değerleri ile birlikte değerlendirilmesi ve farklı yağış havzalarındaki ekstrem yağış olaylarının etkilerinin belirlenmesidir. Çalışmada; 1967 – 2011 yılları arasında Fırat Nehri boyunca sediment/akım gözlem istasyonlarından elde edilen veriler doğrultusunda, bölgede taşınan sediment miktarının kapsamlı analizi ile ekstrem yağış olaylarının hidrolojik bileşenlere etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, sediment ve akım gözlemleri uzaktan algılama veri seti ile birleştirilerek, havzada taşınan sediment miktarının ekstrem değerlere ulaştığı günler (>99. yüzdendirlik) ile günlük ekstrem yağış arasındaki ilişkisi ve bunun taşınan sediment bütçesine etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1 Ekstrem Değerlerin Analizi

Bir yüzdendirlik, sıralanmış bir veri serisini yüz eşit parçaya bölen ve böylece her bir bölünen parçanın ana kütle veya örneklem verilerinin 1/100'ini kapsadığı, 99 tane özetleme değerini belirtmektedir. Çalışmada, ekstrem değerlerin belirlenmesinde bir yöntem olarak yersel istasyon

ve uzaktan algılama uzun yıllar zaman serilerine ait günlük yağış, sediment ve akım verilerinin 90, 95 ve 99. yüzdendirlik değerleri belirlenmiştir. TRMM ve yersel istasyon verileri ile önceden yapılan doğrulama çalışmalarında ekstrem değerler arasında bölgesel olarak yüksek farklar olduğu belirtilmiştir (Özcan, 2014). Bölgesel olarak 500 m yüksekliğe kadar yağış-yükseklik ilişkisi pozitif yönde eğilim gösterirken, bu yükseklikten sonra negatif eğilim göstermektedir. Bu farkın, TRMM 3B42 verisinin temsil ettiği yaklaşık 30km x 30km'lik piksel alanının yükseklik ortalaması ile meteorolojik istasyonlarının bulunduğu yükseklik arasındaki farktan kaynaklandığının belirlenmesi, çalışılan bölge için ekstrem değerler ile yükseklik arasındaki ilişkiyi tanımlamayı gerekli kılmıştır. Şekil 4'de tüm istasyon konumlarını kapsayan alan için TRMM uydu verisinden elde edilen yağış verilerine ait sırasıyla 90., 95. ve 99. yüzdendirlik değerleri ile her bir TRMM pikselinin temsil ettiği yaklaşık 30km x 30km'lik alanların yükseklik ortalamaları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Günlük yağış verilerinin 90, 95 ve 99. yüzdendirlik değerleri hesaplanarak bölgesel olarak TRMM-3B42 verisinden bölgenin daha yüksek kesimlerini de kapsayacak şekilde alınan yağış verilerinin ekstrem değer analizleri yapılmış ve bölgedeki ekstrem değer – yükseklik ilişkisi tanımlanmıştır (Şekil 2). Buna göre; yağış verilerinin 90., 95. ve 99. yüzdendirlik değerleri ile yükseklik arasındaki doğrusal ilişki görülmektedir.



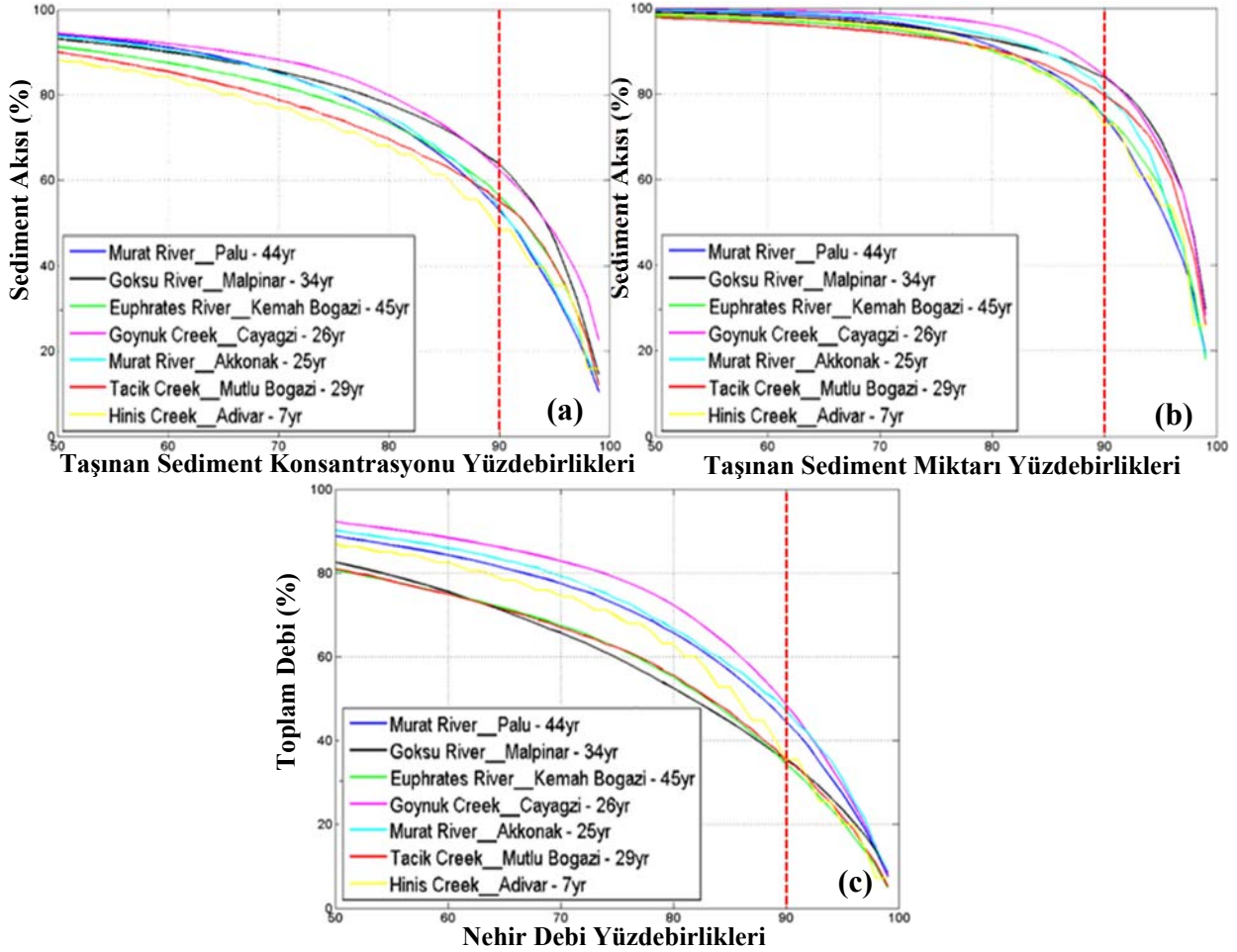
Şekil 2. Çalışma alanına ait TRMM -3B42 verisinden elde edilen ekstrem yağış değerleri ile yükseklik arasındaki ilişki.

Figure 2. Relationship between elevation and TRMM-3B42 derived extreme precipitation values of the study area.

Her bir istasyon için uzun yıllar taşınan sediment ve akım verilerine ait toplam yüzdendiklere karşılık gelen iklimik ekstrem olayların yüzdendirlik değerleri Şekil 3'de gösterilmiştir.

Farklı veri aralıklarına sahip istasyonlardaki hem taşınan sediment konsantrasyonu ve miktarı hem de debilerinin ekstrem değerlere sahip olduğu 90. yüzdendirlik değerleri belirlenerek, bu değerlerin uzun yıllar toplam veri yüzdesinin ne kadarına denk düştüğü incelenmiştir. Buna göre, toplam taşınan sediment ile toplam debi akıları karşılaştırıldığında benzer sonuçlarla

karşılaşılmıştır. Şekil 3a'da, tüm istasyonlardaki taşınan sediment konsantrasyonlarının ekstrem değerleri olan 90. yüzdendirlik değerleri, toplam sediment akısı yüzdesinin %55 - 60'ına denk geldiği görülmektedir. Bununla birlikte taşınan sediment miktarlarının ekstrem değerleri de toplam sediment akısı yüzdesinin %70 - 85 aralığında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3b).



Şekil 3. Uzun yıllar sediment ve akım verilerine ait ekstrem değerlerin yüzdesi. (Lejant, istasyon isimleri ile kullanılan veri aralıklarını belirtmektedir).

Figure 3. Long-term percentage of extremes of sediment and discharge data. (Legend specifies the station names with data ranges).

Bunun yanı sıra; nehir debileri ekstrem değerleri ile toplam debi yüzdesi arasındaki ilişki de %35 - 50 arasında bir değişim görülmektedir (Şekil 3c). Bu değerler, özellikle

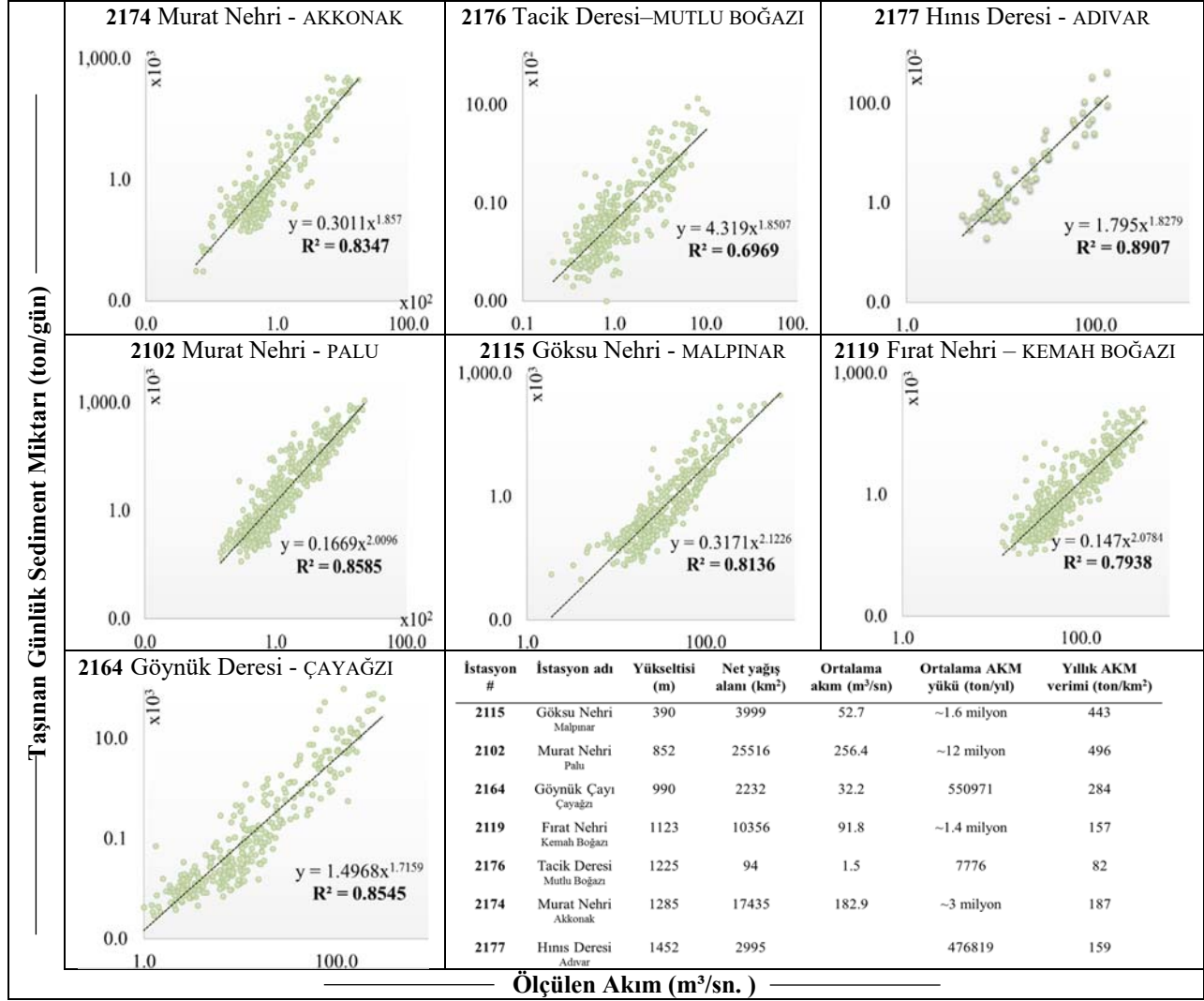
Göynük Deresi ile Göksu Deresi'nde ekstrem olarak taşınan sediment miktarının toplam sediment akısının yaklaşık %85'ine tekabül etmesi ile Fırat Nehri üzerinde ve diğer kolları arasında en

büyük değere sahip olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Fırat Nehri ve kollarındaki ekstrem nehir debileri ile toplam debi yüzdebirlik değerlerine göre, bu iki derenin ekstrem debileri, toplam debinin %50'sine denk gelmekte olup diğer verilere göre en yüksek değere sahiptir.

3. BULGULAR

Sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümler askıda katı madde miktarının

belirlenmesinde en güvenilir yol olmasına rağmen oldukça zaman alan ve maliyetli bir yöntemdir. Bu nedenle, askıda katı madde yükünün tahmininde kullanılan diğer bir yöntem sediment anahtar eğrisidir. Çalışmada kullanılan ortalama 30 yıllık veri aralığına sahip istasyonlara ait sediment anahtar eğrileri ile bu istasyonlara ait genel bilgiler Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan istasyonlara ait taşınan sediment miktarları ile akım verileri arasındaki korelasyon ve hidrometrik bilgileri içeren sediment anahtar eğrileri.

Figure 4. Correlation between suspended sediment amount and discharge, and sediment rating curves with hydrometric information of the stations used in the study.

Debi arttıkça sediment konsantrasyonu da artması beklenmektedir. Akım-sediment yükü arasındaki bu pozitif ilişki önceden yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Çelebi vd., 1997;

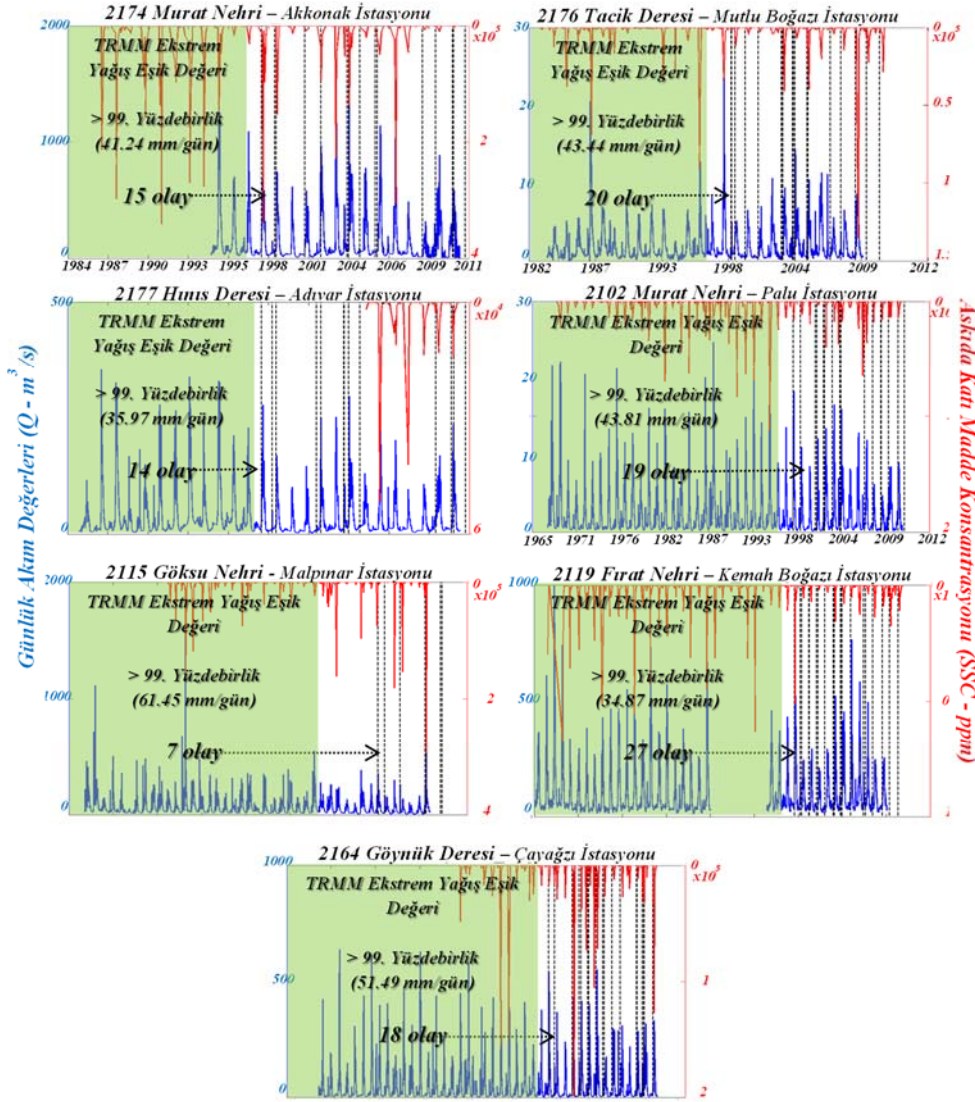
Shugar vd., 2010; Koralay vd., 2014; Doğan ve Demir, 2016). Ancak, akarsu debisinin fazla olduğu durumlarda, yöntemin askıda katı madde miktarını tahmin etmekte çok başarılı olmadığı

bilinmektedir (Walling ve Webb, 1998; Ülke vd., 2008). Tüm istasyonlara ait veriler, günlük akım verileri ile günlük taşınan sediment miktarları arasında pozitif bir korelasyon vermektedir. Bu korelasyon; debinin artması ile nehir boyunca geçici olarak depolanan sedimentin artan taşınımını göstermektedir.

Çalışmada, her bir istasyonun bulunduğu konumu temsil eden 14 yıllık TRMM yağış verisinden elde edilen yağışlı günlerin (günlük 0.1mm'den fazla yağış) 99. yüzdendirlik değerleri kapsayan ekstrem günlük yağış değerleri ve TRMM - 3B42 ekstrem yağış eşik değerleri belirlenerek her bir istasyon için taşınan sediment konsantrasyonunun ekstrem değere ulaştığı (99. yüzdendirlik değerlerini aştığı) günler tanımlanmıştır (**Şekil 5**). İstasyonlarda ölçülen askıda katı madde konsantrasyonu ve akım miktarlarının, TRMM yağış veri aralığı başlangıcı olan 1997 senesinden itibaren yıllık değişiminin gösterildiği değerler incelenerek; yağış havzalarından nehirlere taşınan askıda katı madde konsantrasyonunun ve akımların maksimum düzeye ulaştığı yıllar ile TRMM ekstrem yağış eşik değerini aşan (>99.yüzdendirlik) yıllar belirlenmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde; Murat Nehri üzerindeki Akkonak ve Palu istasyon verilerine göre, taşınan sediment miktarları 2003 ve 2006 yıllarında sırasıyla yaklaşık 200,000 – 300,000 ppm ile maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Doğan ve Demir; 2000 – 2011 yılları arasındaki yağış ortalaması ile gözlem istasyonlarında ölçülen ortalama sediment miktarlarını incelemiş ve yıllık maksimum yağışın Mart- Nisan aylarında meydana gelmesine bağlı olarak taşınan sediment miktarının da bu aylarda arttığını belirtmişlerdir (Doğan ve Demir, 2016). Şekil 5'de bu istasyonlardaki taşınan sediment ve akım miktarı ile istasyonların bulunduğu bölgeyi temsil eden (TRMM'den elde edilen) yağış verisi arasında pozitif bir ilişkinin olduğu; ancak ekstrem yağış verileri analizinde yağış süresi ve şiddetinin de çok önemli unsurlar olduğu belirlenmiştir. Tacik Deresi üzerindeki Mutlu Boğazı istasyonu verileri, özellikle 2009 yılında taşınan sedimentin uzun yıllar verilerine göre yaklaşık 150,000 ppm ile maksimum düzeye ulaştığını göstermektedir. Akım verisinin yaklaşık olarak 10 m³/s ile ortalama değerde olduğu 2009 yılında TRMM yağış eşik değeri olan 43.44 mm/gün değerinin üzerinde bir yağış gerçekleşmesi, bu ekstrem günlük yağış olayının sediment taşınımını tetiklediği düşüncesini kuvvetlendirmektedir.

Hınıs Deresi Adıvar istasyonu veri aralığı diğer istasyonlara göre çok kısadır. 7 senelik bir dönem için bu bölgede genel bir değerlendirme yapmayı zorlaştırmaktadır. Ancak 2010 yılında art arda gelen ekstrem günlük yağış olaylarının bu bölgedeki akım miktarını ve sediment taşınımını arttırdığını göstermektedir. Çalışmada kullanılan istasyon bölgelerini içeren TRMM yağış verilerine göre Göksu Nehri Malpınar istasyonunun bulunduğu bölgede en az ekstrem yağış olayının gerçekleştiği (7 olay) belirlenmiştir. Buna karşın bu istasyonun temsil edildiği bölge 61.45 mm/gün ile en büyük ekstrem yağış eşik değerine sahiptir. Göksu Nehri Malpınar istasyonu için yapılan analizlere göre uzun yıllar ortalaması yaklaşık 150,000 ppm olan sediment konsantrasyonu 2009 yılında yaklaşık 2 kat artarak 300,000 ppm seviyesine ulaşmıştır. Bununla birlikte bu bölgeyi temsil eden TRMM ekstrem yağış eşik değeri olan 61.45 mm/gün değerinin üzerinde gerçekleşen ekstrem yağışların da ortalaması yaklaşık 100m³/s olan akım miktarını 5 kat arttırdığı ve sediment taşınımını uzun yıllar verisine göre maksimum seviyeye çıkarttığı belirlenmiştir.

İnceleme yapılan yıllar arasında havzalardan taşınan sediment miktarına bakıldığında, özellikle Kemah Boğazı istasyonu verilerine göre Fırat Nehri'ne taşınan sediment miktarının 1998 yılı itibarıyla bir azalma gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte; TRMM ekstrem yağış eşik değeri üzerinde en fazla ekstrem yağış olayı tespit edilen Kemah Boğazı istasyonunun bulunduğu bu bölge neredeyse her yıl 2 defa ekstrem yağışa maruz kalması akım miktarlarında özellikle 2003 yılı sonrasındaki 5 senelik dönemde ortalama akımın üzerinde bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Taşınan sediment miktarının en fazla değişim gösterdiği Göynük Deresi Çayağzı istasyonu verilerinde yapılan analizler sonucu, 1993 yılından sonra özellikle 2001 - 2010 yılları arasında sediment taşınımında artış meydana gelmiş ve 2001, 2004 ve 2010 yıllarında sediment konsantrasyonlarının sırasıyla 200,000, 100,000 ve 120,000 ppm seviyelerine ulaştığı belirlenmiştir. Sediment taşınımında artan eğilimin görüldüğü bu dönemde akım miktarının uzun yıllar periyodunu koruduğu ancak 18 olay olarak belirtilen TRMM ekstrem yağış eşik değeri olan 51.49 mm/gün değerinden büyük değerlerin elde edilmesi, ekstrem yağışların neredeyse her yıl meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 5. İstasyon bazında ekstrem yağış olayları ile uzun yıllar sediment ve akım verileri analizi.
(TRMM yağış veri aralığı başlangıcı olan 1997 yılı ve sonrası dikkate alınmıştır).

Figure 5. Analysis of station-based long-term sediment and discharge data with extreme precipitation events.
(After 1997 was taken into account which is the beginning of TRMM data range).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekstrem günlük yağış değerleri ile yükseklik arasındaki doğrusal ilişki her ne kadar istasyonlardaki veri aralıkları farklılık gösterse de uyumluluk göstermektedir. İstasyonların bulunduğu noktaların temsil ettiği yağış alanındaki yüksekliğin artmasıyla günlük ekstrem yağış değerleri düşmektedir. Elde edilen ekstrem yağış

değerleri ile zaman serisi boyunca 99. yüzdebirlik TRMM ekstrem yağış eşik değerini aşan olaylar ile sediment taşınımı ve nehir akımları ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Akım ve sediment gözlem istasyonlarından, her bir istasyon veri aralığı doğrultusunda yıllar arası ölçüm değerleri incelenmiş ve yıllara göre zamansal değişimi belirlenmiştir. Taşınan günlük sediment miktarı ile

akım değerleri arasındaki ilişkide bazı günler olağandışı yüksek taşınan sediment değerler ile karakterize edilmesi bu değerlerin mevsimsel ortalamasının üzerinde zaman zaman 1-2 kat değişen büyüklüklerde olup akım-taşınım ilişkisine uyumlu olmayan sapmaları göstermektedir. İstasyonların bulunduğu bölgeyi temsil eden günlük yağış verilerinin 99. yüzdebirlik değerleri ile her bir istasyondaki askıda katı madde konsantrasyonunun en yüksek değere ulaştığı tüm AKM konsantrasyonu veri setinin 99. yüzdebirlik değerlerini aşan günler ile zaman serisi boyunca iklimik ekstrem olaylar tayin edilmiştir. Çalışmada yapılan ön analiz sonuçlarına göre, tüm gözlem istasyonlarındaki askıda katı madde konsantrasyonunun 90. yüzdebirlik değerleri toplam AKM akısının %55'ine tekabül etmektedir. Benzer şekilde, nehir debilerinin 90. yüzdebirlik değerleri de toplam debi akısının maksimum %50'sine tekabül etmektedir.

Çalışmada kullanılan istasyonlar bazında yapılan değerlendirmeler neticesinde; 1997 – 2011 yılları arası TRMM ekstrem yağış eşik değerlerinin, KAKD yağış rejimi tipinin hakim olduğu en güneydeki Göksu Nehri Malpınar istasyonundan KDAN yağış rejimi tipine sahip bölgede bulunan kuzeydeki Fırat Nehri Kemah Boğazı ile Tacik Deresi Mutlu Boğazı istasyonları doğrultusunda azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, geçiş bölgesinde bulunan Murat Nehri Palu ile Göynük Deresi Çayağzı istasyonlarından, KDAN yağış rejimi tipine sahip bölgedeki Murat Nehri Akkonak ve Hınıs Deresi Adıvar istasyonlarına doğru da batıdan doğuya doğru ekstrem yağış eşik değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, güneyden kuzeye ve doğudan batıya doğru ise TRMM ekstrem yağış eşik değerlerini aşan ekstrem yağış olayları sayıları artmıştır. Tüm istasyonlara ait taşınan sediment miktarı, akım ve TRMM yağış verileri bütünlük analiz sonuçlarına göre; taşınan sediment konsantrasyonunun ekstrem değere ulaştığı günler tüm veri setinin en üstündeki %1 büyüklüğüne

karşılık gelmektedir. İstasyonlara ait uzun yıllar akım verilerinden elde edilen sonuçlara göre, doğu-batı doğrultusundaki istasyonlardaki akım verilerinin genel olarak 2003-2006 yılları arasında maksimum seviyeye ulaştığı, yıllar arası taşınan sediment miktarlarındaki en fazla değişimin ise Göynük Deresi Çayağzı istasyonunda olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, taşınan sediment konsantrasyonunun birbirini izleyen günlerde ekstrem değerlere ulaşmasını bir tetik mekanizmasının sonucu olduğunu öngörebiliriz.

Sonuç olarak, Fırat Havzası'nda geçmiş yıllara ait sediment ve akım değerleri ile ekstrem günlük yağış değerlerinin yanı sıra yağış süresi ve şiddetindeki değişimlerin belirlenmesi ile bu konuda daha kapsamlı değerlendirmeler yapılarak erozyona sebep olan etkenler etki derecesine göre incelenmeli ve bu doğrultuda eylem planları hazırlanmalıdır. Özellikle art arda gelen ekstrem günlük yağış olayları ile yüzeyden taşınan sediment miktarları ile sebep olduğu morfolojik değişim de dikkate alınmalıdır. Tarımsal üretim açısından çok önemli olan üst katmanın ekstrem yağışlar ile erozyona maruz kalması ve topraktaki besin elementlerini topraktan uzaklaştırması, taşınan sediment miktarının artmasına ve bu artışın da özellikle barajların ekonomik ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Uzaktan algılama veri setleri kullanılarak özellikle geniş alanlarda elde edilecek yağış verileri ile noktasal verilere alternatif olarak alansal ortalamaların kullanılması, bölgedeki yağış karakteristiğinin ortaya konmasında önemli bir rol oynamaktadır. Uzaktan algılama teknikleri ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla bölgedeki sediment yükünün zamansal ve mekânsal dağılımı belirlenebilmektedir. Uydu veri setleri ve coğrafi bilgi sistemi çıktıları, oluşturulacak olan risk analizleri ile nehirlere taşınan sediment modelleri için girdi parametresi olarak kullanılabilir. Bu modeller yardımıyla da bölge için potansiyel erozyon haritaları oluşturulabilecek ve yıllık toprak kaybı ile ekstrem yağış olaylarının etkileri belirlenebilecektir.

REFERANSLAR

- AGM, 2001. (Ağaçlandırma Genel Müdürlüğü) <http://www.agm.gov.tr/erozyon/boyutu.htm>
- Boers, N., Bookhagen, B., Marwan, N., Kurths, J., Marengo, J. 2013. 'Complex networks identify spatial patterns of extreme rainfall events of the South American Monsoon System'. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 10.1002/grl.50681.
- Bookhagen, B., Thiede, R.C., Strecker, M.R. 2005. 'Abnormal Monsoon years and their control on erosion and sediment flux in the high, arid northwest Himalaya'. *Earth and Planetary Science Letters*, **231**, 131-146.
- Bookhagen, B., Strecker, M.R. 2008. 'Orographic barriers, high-resolution TRMM rainfall and relief variations along the eastern Andes'. *Geophysical Research Letters*, **35**, L06403.
- Burak, S., Duranyıldız, İ., Yetiş, Ü. 1997. *Ulusal Çevre Eylem Planı: Su kaynaklarının Yönetimi*. Devlet Planlama Teşkilatı Yayınları, Ankara.
- Çelebi, H., Utlı, F., Peker, İ. 1997. 'Murat Nehrinin Hidrojeokimyasal Özellikleri'. *Çevre Dergisi*, **22**: 14-20.
- Doğan, A., Demir, Y. 2016. 'Murat Nehri Palu yağış havzasından taşınan süspansediment miktarının zamansal değişiminin değerlendirilmesi'. *İğdır Uni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, **6(2)**: 71-78.
- Doğan, O. 2011. *Türkiye'de Erozyon Sorunu Nedenleri ve Çözüm Önerileri*, Bilim ve Aklın Aydınlığında Eğitim, 134:62-69.
- Foster, G.R., Meyer, L.D. 1972. 'A closed-form soil erosion equation for upland areas'. *Sedimentation Symposium in honor Prof. H.A. Einstein*, Fort Collins, CO, Colorado State University, Fort Collins, CO, USA, June 17-19.
- Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1993. 'Some statistics useful in regional frequency analysis'. *Water Resources Research*, **29**, 271-81.
- Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. 1997. *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 224p.
- IPCC, 2007. Fourth Assessment Report, Climate Change the Physical Science Basis, Cambridge University Press, New York-USA.
- Koralay, N., Kara, Ö., Kezik, U. 2014. 'Solaklı deresinde askıda katı madde düzeyinin zamansal değişimi'. *1. Ulusal Havza Yönetimi Sempozyumu*, 10-12 Eylül 2014, Çankırı.
- Lal, R. 1995. 'Biophysical factors in the choice of tillage systems for sloping lands'. In: *El Uso Sostenible del Suelo en Zonas de Ladera: El Papel Esencial de los Sistemas de Labranza Conservacionista*. RELACO, III Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista, Diciembre 4-8, 1995, San Jose, Costa Rica, 52-58.
- Maden, T.E., Kılıç, S. 2012. 'Irak'ta su kaynakları sorunu ve yönetimi'. *Ortadoğu Analiz*, **4(43)**, 84-97.
- Meyer, L.D. 1971. 'Soil erosion by water on upland areas'. *River Mechanics*, **2**, ed. H. W. Shen, pp. 27.1-27.5. Privately published, Fort Collins, Colorado.
- Meyer, L.D., McCune D.L. 1958. 'Rainfall simulator for runoff plots'. *Agr. Er.gr.*, **39**: 644-648.
- Okamoto, K. 2003. 'A short history of the TRMM precipitation radar, in Cloud Systems, Hurricanes, and the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)'. *Meteorol. Soc. Monogr.*, **29**, pp. 187-195, Am. Meteorol. Soc., Boston, Mass.
- OSİB, 2013. *Yukarı Havza Sel Kontrolü Eylem Planı (2013-2017)*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Özcan, O. 2014. 'Başlıca iklim parametrelerinin bitki su tüketimine etkilerinin uzaktan algılama yöntemleri ile araştırılması'. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 156 sayfa.

- Özcan, O. 2017. 'Taşkın tespitinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi; Ayamama Deresi örneği'. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, **3** (1), 9-27. DOI: 10.21324/dacd.267200.
- Özcan, O., Musaoğlu, N., Bookhagen, B., Örmeci, C. 2013. 'Uydu ve yersel yağış verilerinin noktasal frekans analizi ile mekânsal değerlendirmesi'. *TMMOB - Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 11- 13 Kasım 2013, Ankara.
- Shugar, D.H., Kostaschuk, R., Best, J.L., Parsons, D.R., Lane, S.N., Orfeo, O., Hardy, R.J. 2010. 'On the relationship between flow and suspended sediment transport over the crest of a sand dune, Río Paraná'. *Argentina.Sedimentology*, **57**(1): 252-272.
- Türkeş, M. 1996. 'Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey'. *International Journal of Climatology*, **16**, 1057-1076.
- Türkeş, M. 1998. 'Influence of geopotential heights, cyclone frequency and Southern Oscillation on rainfall variations in Turkey'. *International Journal of Climatology*, **18**, 649-680.
- Türkeş, M. 1999. 'Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions'. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, **23**, 363-380.
- Türkeş, M.; Erlat, E. 2005. 'Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2001', *Theoretical and Applied Climatology*, **81**, 45-69.
- Türkeş, M., Koç, T., Sarış, F. 2007. 'Türkiye'nin yağış toplamı ve yoğunluğu dizilerindeki değişikliklerin ve eğilimlerin zamansal ve alansal çözümlemesi'. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, **5**, 57-74.
- Türkeş, M., Tatlı, H. 2008. 'Türkiye'de kuraklık olasılıklarının standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) açısından değerlendirilmesi'. *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (Ed., Ünal Akkemik), 55-62. İÜ Orman Fak, 13-14 Aralık 2007, Bahçeköy – İstanbul.
- Türkeş, M. 2012. 'Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme'. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, **4** (2):1-32.
- Türkeş, M., Sümer, U.M., Yıldırım, Y.E. 2005. 'GAP Bölgesi'nde gözlenen uzun süreli iklimsel değişimlerin ve eğilimlerin zaman dizisi çözümlemeleri'. *Ulusal Coğrafya Kongresi 2005*, (Prof. Dr. İsmail Yalçınlar Anısına), 29-30 Eylül 2005, Bildiriler Kitabı, 373-384. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Beyazıt, İstanbul.
- Ülke, A., Özkul., S., Doğan, E., Tayfur., G. 2008. 'Soft computational methods to estimate suspended sediment load in the Gediz River'. *River Flow, International Conference on Fluvial Hydraulics*, Çeşme, İzmir, Turkey, 1039-1047.
- Walling, D.E., Webb, B.W. 1998. 'The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments'. *Sediment Budgets (Proceedings of the Porto alegre Symposium, December 1988)*. IAHS Publ. No. 174, 337-350, 1988.
- Wilheit, T., 2003. 'The TRMM measuring concept, in Cloud Systems, Hurricanes, and the TRMM'. *Meteorol. Soc. Monogr.*, **29**, pp. 197-200, Am. Meteorol. Soc., Boston, Mass.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1965. *Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Handbook 282, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 47 pp.
- Wulf, H., Bookhagen, B., Scherler, D. 2010. 'Seasonal precipitation gradients and their impacts on fluvial sediment flux in the Northwest Himalaya'. *Geomorphology*, **118**, 13-21.
- Wulf, H., Bookhagen, B., Scherler, D. 2012. 'Climatic and geologic controls on suspended sediment flux in the Sutlej River Valley, Western Himalaya'. *HESS*, **16**, 2193 - 2217.
- Yıldırım, A. 2006. 'Karakaya Barajı ve doğal çevre etkileri'. *D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, **6**: 32-39.