



Marmara Denizi havzasının hidroklimatolojik dinamiklerinin belirlenmesi

Identifying of hydroclimatological dynamics in Marmara Sea Basin

Abdullah Akbaş^{*a} Hasan Özdemir^b

^a Ardahan Üniversitesi, İnsani Bilimler ve Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ardahan.

^b İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul.

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 28.02.2018

Kabul/Accepted: 15.05.2018

Anahtar Kelimeler:

Marmara Denizi Havzası
 Hidroklimatoloji
 Yağış-akış ilişkileri
 Su dengesi
 Su yönetimi

Keywords:

Marmara Sea Basin
 Hydroclimatology
 Rainfall-runoff relations
 Water balance
 Water management

***Sorumlu yazar/Corresponding author:**

(A. Akbaş) abduallahakbas@ardahan.edu.tr

DOI: 19.17211/tcd.401265

Atf/Citation:

Akbaş, A. ve Özdemir, H. (2018). Marmara Denizi havzasının hidroklimatolojik dinamiklerinin belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (70), 123-131

DOI:19.17211/tcd.401265.

ÖZ / ABSTRACT

Bu çalışmada, Marmara Denizi havzasındaki yağış, akış, buharlaşma, akış katsayısı ve su dengesi arasındaki ilişkiler incelenmiş ve dağılımları ele alınmıştır. MGM'den 34 yağış ile 14 buharlaşma istasyonu ve DSİ'den 77 Akarsu Gözlem İstasyonunun (AGİ) kullanılmıştır. Öncelikle her bir AGİ'nin su toplama havzası çıkarılmıştır. Burada verinin homojenliğinin bozulmaması ve insan etkisini ortadan kaldırmak için baraj altında bulunan istasyonlar analizlere dahil edilmemiştir. Daha sonra yağış ve buharlaşma istasyonları Thiessen poligon yöntemi kullanılarak noktasal veriden alansal veriye dönüştürülmüştür. Buna göre 1982-2006 yılları arasında kapsayan zaman dilimi içerisinde her bir AGİ havzası için alansal olarak dağıtılmış yağış, akış ve buharlaşma değerleri elde edilmiş ve bunlardan akış katsayısı ve su dengesi hesaplamaları yapılmış ve haritaları üretilmiştir. Swath profilleri kullanılarak elde edilen veri seti ile topografya arasındaki ilişkilere bakılmış ve buharlaşma ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler görülmüştür. Marmara Denizi havzasındaki tüm istasyonlar incelendiğinde yağış ve akış arasında istatistiksel olarak anlamlı ve doğrusal ilişkiler elde edilmiştir. Bununla birlikte korelasyon matrisi ve saçılım diyagramı incelendiğinde akış, buharlaşma ve akış katsayısı ile su dengesi arasında istatistiksel açıdan anlamlı negatif doğrusal ilişkiler göze çarpmaktadır. Marmara Denizi havzasında su dengesi göreceli olarak Biga yarımadasında en fazla olmak üzere negatif değerler vermektedir. Bu bağlamda havzanın hidroklimatolojik dinamiklerinin oluşmasında en kuvvetli denetçinin buharlaşma olduğu görülmektedir.

In this study, the relationship among rainfall, runoff, evaporation, runoff coefficient and water balance were investigated and patterns of those were discussed. 14 evaporation stations and 34 precipitation from MGM and 77 stream gauging stations (AGI) from DSİ were used. First of all, the drainage basins of each AGI stations were extracted. The stations which are under the dam did not consider in the analyses so as not to break the homogeneity of the data and to avoid human influence. Afterwards, rainfall and evaporations stations were transformed into spatial data from points via Thiessen polygon method. Accordingly spatial distributed values of rainfall, runoff and evaporation were obtained and runoff coefficient and water balance were calculated and maps were drawn based on those values. The relationship was investigated based on topography and obtained dataset by using Swath profile and found significant relation between topography and evaporation. Statistically significant and linear relationships between rainfall and runoff were obtained when all the stations were examined in the Marmara Sea basin. Statistically significant negative linear relationships among runoff, evaporation and runoff coefficient and water balance attract the attention when the correlation matrix and scatter diagram are examined. However, water balance in the basin gives negative values, which is relatively high in the Biga peninsula. In this context, it seems that the most powerful controller in the formation of the hydroclimatological dynamics of the basin is evaporation.

1. Giriş

Havza içerisindeki yağış, akış, buharlaşma gibi hidroklimatolojik parametrelerin ve bunlardan türetilen göstergelerin karakteristiklerinin belirlenmesi hidrolojik sistemlerin anlaşılmasına dolayısıyla da risk yönetimi, taşkın erken uyarı sistemleri ve su yönetimi açısından katkı sağlayacaktır. Günümüzde özellikle de havzanın iklimsel ve hidrolojik koşullarını yansıtan gözlem ve-

risinin eksikliği veya verilerin bir bölgeyi tam temsil edememesi havza içi dinamiklerin anlaşılmasını zorunlu kılmıştır (Beven, 2011). Sanayi devrimi ile birlikte atmosfere salınan sera gazlarının artışı, iklim parametrelerinin uzun süreli istatistiksel ve iklimsel karakteristiklerini değiştirmiştir. İklim değişikliğinin artan etkisi ile birlikte hidroklimatolojik parametrelerin alansal ve za-

mansal özelliklerinde artış ve azalmalar görülmüştür (Compagnucci vd., 2001; Demircan vd., 2017; Öztürk vd., 2015; Stocker vd., 2013; Şen, 2013; Turp vd., 2014). Milly vd., (2005) yaptıkları çalışma ile iklim değişikliğinin oluşturacağı etki ile 2050 yılına kadar Orta Doğu ve Güney Avrupa'da dolayısıyla da Türkiye'de akışlarda %10 ile %30 arasında bir azalmanın olabileceğini belirtmişlerdir.

Hidrolojik döngü içerisinde yüzeysel akışları, nüfusun artması ve dolayısıyla da artan nüfusun etkisi ile var olan suyun enerji, tarım ve endüstride kullanılması ve arazi kullanımının değişimi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bakımdan birçok çalışma artan nüfus ile birlikte nüfusun arazi üzerinde oluşturduğu baskı ve arazi kullanımının değişiminin iklimsel parametrelere etkisinin yanı sıra yeryüzüne düşen yağışın yüzeysel akışa dönüşmesini etkilediğini belirtmişlerdir (Özdemir ve Elbaşı, 2015; Vörösmarty vd., 2000; Yang ve Tian 2009). Örneğin Schmied vd., (2016) yaptıkları çalışma ile tüm dünyanın model temelli su dengesinin bileşenlerini 1901-2010 yılları arasında alansal ve zamansal açıdan ele almışlar ve elde ettikleri sonuçlara göre özellikle 20. yüzyılda su kaynakları üzerinde baraj yapımı ve su kullanımından dolayı su dengesi üzerinde insan kaynaklı etkileri belirlemişlerdir.

Marmara Denizi havzası, Susurluk, Gönen, Biga ve Karamenderes gibi büyük ve irili ufaklı birçok alt havzayı barındıran 41.532 km² alana sahip olan Türkiye'nin açık havzalarından birisidir. Havza içerisinde oldukça farklı morfometrik özelliklere sahip birçok alt havza bulunmaktadır (Elbaşı, 2015). Havzaya bakıldığında Türkiye'nin en yoğun nüfusunu barındıran İstanbul ili dâhil olmak üzere Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Tekirdağ gibi büyük illeri kapsamaktadır. Marmara Denizi havzasında Köppen iklim sınıflandırmasına göre kışları ılıman nemli orta enlem iklimin alt tipi olan ve klasik Akdeniz iklimini yansıtan "Csa" alt iklim tipi neredeyse havzanın tümünde egemen iklim tipidir. Bunun dışında havzanın güneydoğusunda ve kuzeyinin bir kısmında kışları ılık ve yazları serin olan "Csb" iklimi egemen iken, Uludağ ve çevresi mikro iklim oluşturmakta (Öztürk, 2010) ve burada kışları soğuk ve nemli orta enlem iklim tipi olan "D" iklimini yazları serin "Dsb" alt iklimi egemen olmaktadır. Ancak havza genel olarak Akdeniz iklim karakteristiğini yansıtmaktadır (Türkeş, 1996; Peel vd., 2007; Öztürk vd., 2017).

Bu çalışmanın amacı, Marmara Denizi drenaj havzasındaki yağış-akış ilişkilerini ortaya koymak, havzanın su dengesi ve yağış, akış ve buharlaşma gibi hidroklimatolojik parametrelerin karakteristiklerini, birbirleriyle olan ilişkilerini belirlemek ve bunların alansal dağılımlarını incelemektedir.

2. Veri ve Yöntem

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) ve Devlet Su İşleri'nden (DSİ) elde edilen 3 farklı veri seti kullanılmıştır. 34 meteoroloji istasyonuna ait olan günlük toplam yağış değerleri (mm) ile 14 meteoroloji istasyonuna ait günlük toplam buharlaşma (mm - Class A Pan buharlaşma havuzu) değerleri MGM'den alınmıştır ve daha sonra bunlar aylık toplam değerlere dönüştürülmüştür. Ancak bu değerler normal referans buharlaşması değerlerine göre oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu bakımdan su dengesinin hazırlanmasında da kullanılacak olan bu veriler FAO'nun (Allen vd., 1998; Ertek, 2011) önerdiği yöntemle göre pan katsayısı kullanılarak referans buharlaşma değerlerine aşağıdaki eşitlik ile çevrilmiştir:

$$ET_o = K_p E_{pan} \quad (1)$$

Burada, ET_o referans buharlaşma (mm/ay), K_p pan katsayısı ve E_{pan} (mm/ay) ise pan buharlaşmasıdır. McMahon vd., (2015) birçok farklı buharlaşma yönteminin hidrolojik çalışmalarda kullanımı ile yaptıkları çalışmada, katsayı ile düzeltilmiş pan buharlaşmasının su bütçesi gibi hidrolojik çalışmalarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Öte yandan elde edilen referans buharlaşma değerleri MGM'nin FAO Penman-Monteith yöntemine göre hazırlanmış olduğu referans buharlaşma normal haritaları bu çalışmadaki buharlaşma değerlerini ve bunların alansal dağılımını oldukça iyi yansıtmaktadır (Şimşek vd., 2013).

DSİ'den 77 akarsu gözlem istasyonundan (AGİ) aylık toplam akış (hm³) değerleri elde edilmiştir. Akış verileri diğer parametreler ile karşılaştırma ve ilişkilendirme yapabilmek için milimetreye çevrilmiştir (Şekil 1). Takvim yılının yerine su yılının kullanımı tercih edilmiş ve meteorolojik veriler su yılına çevrilmiştir.

AGİ istasyonu, üzerinde bulunduğu akarsuyun tüm kollarını temsil edemeyeceği için istasyonun su toplama havzası yani istasyon temelli havzalar üzerinden yola çıkmış ve AGİ istasyonlarının su toplama havzaları belirlenmiştir (Şekil 1). Havzaların su toplama alanları belirlenirken akım değerlerinde üzerindeki insan etkisi gibi yapay etkiyi engellemek için baraj altında bulunan istasyonlar elenmiş, buna göre doğal akış olan istasyonlar seçilmiştir. Bunun yanında bazı istasyonlarda ise 1982-2006 dönemleri arasında barajların inşa edilmesinden önceki yılları kapsayan veri seti kullanılmıştır. Buna göre çıkarılan tüm istasyon havzaları Marmara Denizi havzasının ≈%68.8 lik kısmına karşılık gelmektedir ve homojen bir şekilde havzanın tüm alanlarını temsil etmektedir (Şekil 1).

Diğer önemli bir konu ise noktasal bir veri olan akarsu ve buharlaşma verisinin AGİ istasyon havzalarının kapsayacak şekilde alansal olarak temsil edilmesi gereğidir. Bunun için hem yağış hem de buharlaşma istasyon değerleri Thiessen poligon (Voronoi diyagramı) ile alansal olarak dağıtılmıştır (Şekil 2).

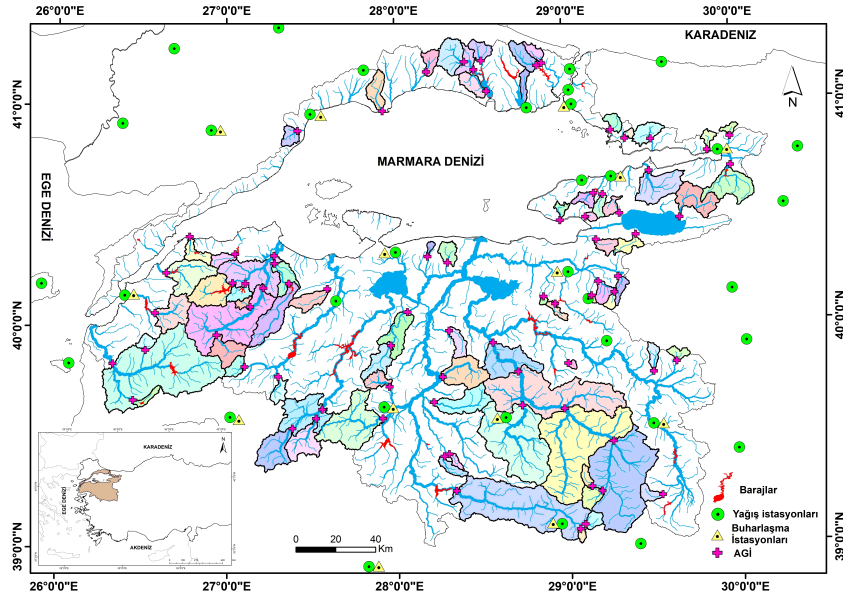
Buna göre her bir AGİ istasyon havzası için 1982-2006 yılları arasındaki ortak dönem içerisinde bulunan akış istasyonunun veri uzunluğuna bağlı olarak (her bir AGİ havzasında akış istasyonunun verisinin dönemine göre yağış ve buharlaşma da aynı dönem içinde kullanılmıştır) akış katsayıları ve su dengesi hesaplanmıştır. Burada su dengesi havza için hesaplanırken ideal denklemdeki şekliyle ve iki varsayımla hesaplanmıştır. Buna göre su dengesi;

$$X - Y = \Delta S \quad (2)$$

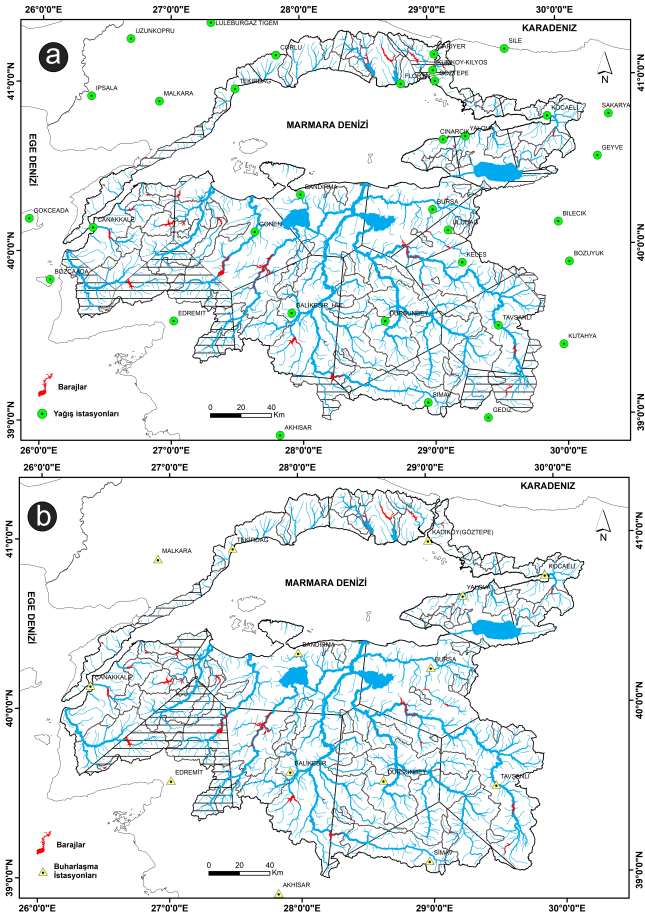
şeklinde düşünüldüğüne ΔS uzun dönem olduğu için 0 olarak (Wilson, 1990) varsayılmıştır:

$$P - (E + Q) = \Delta S \quad (3)$$

böylelikle su dengesi yukarıdaki şekliyle hesaplanmıştır. Burada P: Yağış (mm), E: Buharlaşma (mm), Q: Akış (mm) ve ΔS : Depolanan su miktarı (mm) şeklinde ifade edilebilir. Burada bir diğer varsayım ise yeraltı suyunun tekrardan yüzeyleyip akarsuya kavuşmasıyla istasyon tarafından ölçülmesidir. Böylelikle de yeraltı suyu bilgisi akış verisi tarafından karşılanmaktadır. Yağış ve akış arasındaki ilişkinin anlaşılması ve diğer parametrelerle ilişkisinin kurulması için basit bir eşitlik olan akış katsayısı hesaplanmıştır. Havza içerisinde dağıtılan yağışa göre



Şekil 1. Marmara Denizi havzası lokasyonu ve çalışmada kullanılan istasyonlar.
Figure 1. Location of Marmara Sea Basin and used stations.



Şekil 2. a) Yağış ve b) buharlaşma verilerinin Thiessen poligon ile alansal olarak dağıtılması (Çizgili bölgeler havza dışındaki istasyonların kapsadığı alanlarını göstermektedir).

Figure 2. Spatial distribution of a) precipitation and b) evaporation data via Thiessen polygon (Dash regions indicate the areas covered by stations from outside of the basin).

havzaların akış katsayıları (Critchley vd., 1991) aşağıdaki eşitlik ile elde edilmiştir:

$$\text{Akış katsayısı} = \frac{\text{Akış (mm)}}{\text{Yağış (mm)}} \quad (4)$$

Bu eşitliğe göre alansal olarak hesaplanan uzun yıllık ortalama

akış değerleri yağış değerlerine bölünmüş ve akış katsayısı elde edilmiştir. Bir yerdeki akış katsayısının belirlenmesi için en az iki yıl bulunması şarttır. 0 ile 1 arasında değişen ve boyutsuz olan bu katsayı bir havzada yağışın akışa geçişini gösterir. Örneğin, herhangi bir havzada katsayının 1 bulunması, yağışın tamamının yüzeysel akışa geçtiğini gösterir. Tüm istasyonların 1982-2006 yılları arasında kapsayan zaman dilimleri içinde 2 yıldan 25 yıllara kadar değişen yağış, akış ve buharlaşma verileri yukarıda anlatılan yöntemlerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Ayrıca bu analizlerin yanında yükseltinin değişimi ile birlikte havzalarındaki hidroklimatolojik parametrelerinin değişimini anlamak için Swath analizi yapılmıştır (Blomqvist ve Whipp, 2016). Daha sonra bu değişkenler korelasyon ve saçılım grafiği matrisi ile ilişkilendirilmiştir.

3. Bulgular

Elde edilen analizlerin sonuçlarına göre yağış, akış, buharlaşma ve akış katsayısı ve su dengesi arasında ilişkiler kurulmuş ve çeşitli haritalar ve grafikler oluşturularak parametrelerin dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, Marmara Denizi havzasında yağış, akış ve buharlaşma değerleri her bir alt havza içerisinde farklılıklar göstermektedir (Şekil 3). Yağışın alansal dağılımına bakıldığında özellikle Uludağ'ın çevresindeki havzalar 950-1463 mm ile en yüksek yağış değerleri olarak Marmara Denizi havzasında yer almaktadır. Bunu İznik Gölü ve çevresindeki havzalar 750-950 mm civarındaki değerler ile takip etmektedir. Küçükçekmece havzası ve batısından irili ufaklı havzalar ile Gönen (E02A015 istasyonunun bulunduğu akarsuların tamamı-Şekil 4), Biga (E02A014 istasyonunun üzerinde bulunduğu akarsuyun gerisindeki tüm su toplama havzası-Şekil 4) ve Karamenderes Çayı (E04A007 istasyonunun üzerinde bulunduğu akarsuyun gerisindeki tüm su toplama havzası-Şekil 4) üzerindeki havzalar ise 550-700 mm civarında yağış değerleri gösterir. Susurluk havzasına bakıldığında Uludağ ve çevresi ile Simav Çayı havzası (D03A034-Şekil 4) ve etrafındaki irili ufaklı havzalar (650-750mm) dışında yağış değerleri 500-700 mm civarında değişmektedir (Şekil 3a). Akış değerlerinin alansal dağılımı yağış değerlerine göre daha az farklılaşmaktadır. Yağışa benzer şekilde Uludağ ve çevresindeki havzalar ve Mo-

lova Deresi havzası (D02A047-Şekil 4) 750-1152 mm akış değeri ile Marmara havzasındaki en yüksek akış değerini gösterir. Bunu İznik Gölü havzasındaki ve Kocaeli civarındaki havzalar ve Gönen Çayı üzerindeki havzalar 300-600mm arasındaki değerler ile takip eder. Susurluk, Biga, Karamenderes ve kuzeyindeki havzalar ise 100-300 mm akış yüksekliği değeri gösterir. Burada en düşük değerler Büyükçekmece Gölü ve çevresindeki havzalar ile Susurluk havzasındaki birkaç havzada görülür (Şekil 3b). Buharlaşma değerleri incelendiğinde havza içerisinde kabaca doğu-batı şeklinde ayırmak mümkündür. Özellikle Biga yarımadası ve çevresi 700-1000mm civarındaki değer aralıklarıyla en yüksek buharlaşmanın olduğu alanları gösterirken, Marmara havzasının kuzeyine ve doğusuna doğru kademeli olarak azal-

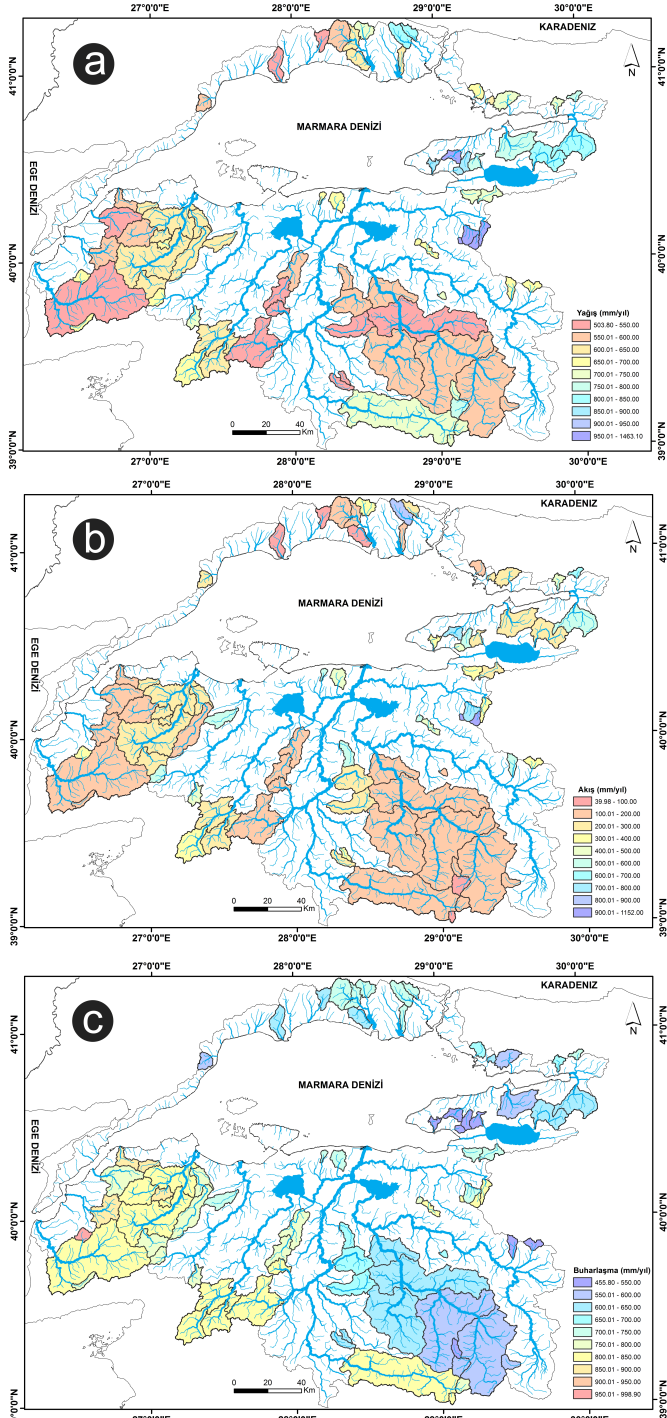
maktadır (Şekil 3c). Doğu ve kuzey bölgelerinde bu değerler 450-700 mm arasında değişmektedir.

Elde edilen bu dağılım desenlerinin daha sonra topografik açıdan nasıl bir farklılaşmaya uğradığını belirlemek için Swath profili üzerinde yağış, akış ve buharlaşma değerleri ile topografyanın minimum, maksimum ve ortalama değerleri arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Buna göre birincisi Büyükçekmece Gölü havzasından İznik Gölü havzasına olmak üzere, diğeri ise Biga yarımadasından Susurluk havzasına doğru olmak üzere neredeyse tüm havzaları yansıtacak şekilde 8 km'lik iki profil alınmıştır. Bunlardan birinci profile bakıldığında minimum, maksimum ve ortalama yükselti değerleri doğudan batıya doğru artarken buharlaşma değerleri bu değişkenlerin zıttı bir şekilde kademeli olarak azalma gösterir. Yağış ve akış değerlerinde topografyanın artışı ile birlikte hafif bir artışın olduğu görülmektedir (Şekil 4a). Diğer profile ise önceki elde edilen profile benzer şekilde buharlaşma değerlerinin topografyayı düzgün bir şekilde izlediği ve topografyanın yükselmesiyle kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Akış verileri de buharlaşmaya benzer şekilde göreceli olarak azalmaya uğrar. Bunun yanı sıra yağış değerlerinde ise artış azalıs olsa da genel olarak düz bir ilerleyiş söz konusudur (Şekil 4b). Ancak genel olarak bakıldığında bu profillerde buharlaşma değerlerinin diğer değişkenlere oranla daha çok etkilendiği net bir şekilde görülmektedir.

Elde edilen Swath profilleri üzerindeki havzaların yağış, akış ve buharlaşma değerleri ile minimum, maksimum ve ortalama yükselti değerleri arasında hem tüm verilerin (Cor) ve profillerin (Profil a,b) korelasyonları elde edilmiş ve saçılım diyagramları üretilmiştir (Şekil 5).

Bu grafiğe göre yükselti ve diğer diğer hidroklimatolojik parametreler arasında anlamlı ilişki olmasada burada buharlaşma Swath profilinde de görüldüğü üzere negatif ve istatistiksel olarak anlamlı lineer bir korelasyon ile öne çıkmaktadır. Bu bakımdan her ne kadar birçok denetçisi olsa da buharlaşmanın havza içerisinde topografyadan önemli ölçüde etkilendiği görülmekte ve bu durum Şimşek vd., 2013 tarafından da ayrıca dile getirilmiştir (Şekil 5). Fakat burada topografya ile kastedilen topografya ile birlikte etkilenen rüzgâr, nem ve birçok parametrenin etkilenmesi ve buharlaşma miktarına etki etmesidir. Örneğin Wang vd., (2015) Çin'de Three-River Source Region bölgesinde yaptıkları çalışma ile bölgede alçak ve yüksek topografya farklılığının buharlaşmayı etkilediğini belirtmişlerdir. Buharlaşmayı alçak yükseltilerde net radyasyon ve rüzgârın etkilemiş olabileceğini belirtirken yüksek alanlarda ise sıcaklıktan ve aktüel buhar basıncından etkilenmiş olabileceğinden bahsetmişlerdir. Bu bakımdan Marmara havzasında bu durum sıcaklığın düşmesi ile ilişki olabilir. Çünkü Clausius-Clapeyron eşitliği buharlaşmanın (buhar basıncı) sıcaklığın bir fonksiyonu olduğunu söylemektedir. Bu bakımdan topografyanın kademeli geçişi ile birlikte sıcaklığın düşüşü buharlaşmanın da (her ne kadar rüzgâr, radyasyon, buhar basıncı ve nemlilik etkili olsa da buharlaşmanın alansal dağılışı pan buharlaşma üzerinden elde edilip referans buharlaşmaya çevrildiği için bu değişkenler ayrıca göz önünde bulundurulmuş sayılmaktadır) azalmasına katkı sağladığı söylenebilir. Ancak bu durum akış ve yağış için söylenemez. Zira, akış değerleri yağışın bir fonksiyonudur ve yağış her ne kadar topografik bariyerden etkilense de oldukça kompleks ve kaotik bir yapıya sahiptir (Tatlı, 2014)

Marmara havzası için akış katsayısı ve su dengesi hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre akış katsayısının dağılışı incelendiğinde

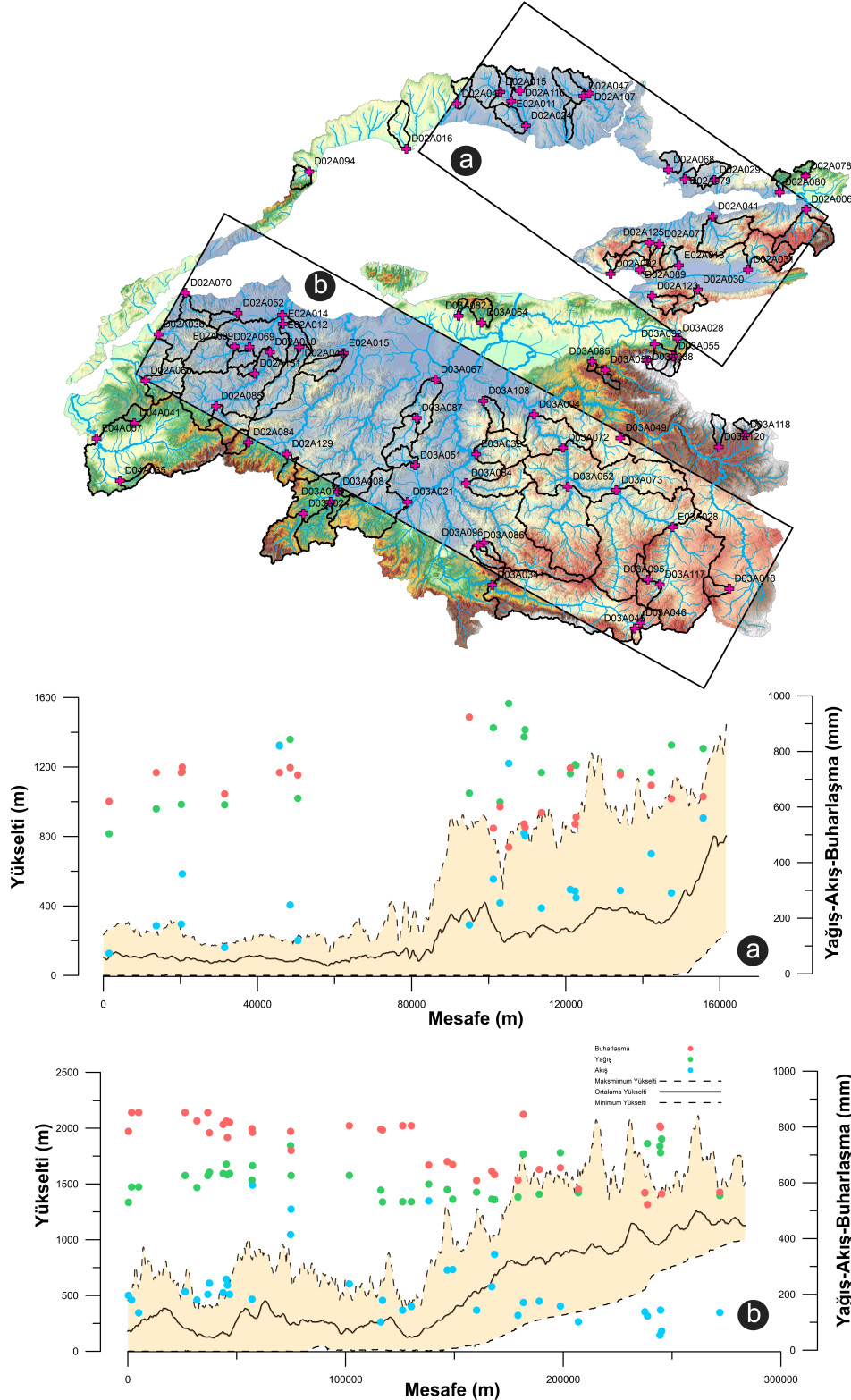


Şekil 3. Marmara Denizi havzasında yağış (a), akış (b) ve buharlaşma (c) değerlerinin dağılışı.

Figure 3. Distribution of precipitation (a), runoff (b) and evaporation (c) values in Marmara Sea basin.

Biga havzası ile Karamenderes havzalarında 0.20 ile 0.4'lük akış katsayısının dağılışı gözükmetedir. Buna benzer dağılış Susurluk havzasının Emet kolu üzerindeki alt havzalarda da görülmektedir. Ancak Susurluk'un Madra Çayı (D03A008 istasyonunun gerisindeki havzalar- Şekil 4) üzerindeki alt havzalar ile Simav Çayının belli başlı havzalarında ve Gönen Çayı havzası üzerindeki havzalarda 0.3 ile 0.8 arasında değişen bir dağılış görülmektedir. Uludağ ve İznik Gölü havzası civarındaki irili ufaklı havzalar, akış katsayısının yüksek olduğu alanları temsil ederken, Molova Deresi haricinde Marmara Denizi havzasının kuzeyinde

düşük akış katsayıları görülmektedir. Marmara Denizi havzasının üzerindeki tüm havzaların akış katsayılarının ortalaması yaklaşık olarak 0.42'dir (Şekil 6a). Bu durum her ne kadar farklı alansal dağılış olsa da havza üzerine düşen 1 birim yağışın neredeyse yarısının akışa dönüştüğünü göstermektedir. Diğer yandan havzaların su dengesi hesaplamalarından sonra elde edilen dağılışına bakıldığında ise Biga yarımadası ve çevresi en yüksek su açığının olduğu alanlara denk gelmektedir. Ayrıca Susurluk havzasının batısındaki alanlarda ise benzer şekilde su dengesinin açık verdiği, ancak doğusuna doğru ilerledikçe bunun azal-



Şekil 4. a) Küçükçekmece-İznik Gölü havzası b) Biga-Susurluk havzası arasında Swath profili çıkarımı ve yağış, akış ve buharlaşma ile ilişkileri.

Figure 4. Swath profile extraction between a) Küçükçekmece-İznik Gölü basin b) Biga-Susurluk basin and its relations with rainfall, runoff and evaporation.



Şekil 5. Küçükçekmece-Iznik Gölü havzası (Profil a) ve Biga-Susurluk havzası (Profil b) arasında Swath profillerinin minimum, maksimum ve ortalama yükselti değerlerinin profil üzerindeki yağış, akış ve buharlaşma verileri ile saçılım diyagramları ve korelasyon katsayıları (Polinom eğrisi uydurulan verilerin etrafındaki alanlar güven aralıklarını göstermektedir).

Figure 5. Scatterplot diagrams and correlation coefficients of precipitation, flow and evaporation and minimum, maximum and average altitude values of Swath profiles between Kucukcekmece-Iznik Lake basin (Profile a) and Biga-Susurluk basin (Profile b) (The areas around the data where the polynomial curve is fitted show confidence intervals).

dığı görülür. Diğer yandan Marmara havzasının kuzeyinden Molova Deresi havzası haricinde su dengesi görece olarak daha az açık verdiği alanlara karşılık gelmektedir. Su bütçesinin dağılışı bir bakımdan buharlaşma verisinin dağılışını yansıtmaktadır (Şekil 3c ve 6b).

Yapılan bu analizler sonucu Marmara Denizi havzasındaki tüm AGİ temelli su toplama havzalarının hidroklimatolojik değişkenlerinin alansal dağılışlarının yanı sıra birbiriyle olan ilişkilerine bakmak için korelasyon ve saçılma diyagramı matrisi oluşturulmuştur (Şekil 7). Ölçülmüş ve türetilmiş veriler arasında saçılma diyagramlarının kullanılmasının sebebi, hem bu veriler arasında ilişkiyi görebilmek hem de bu gösterge verilerde yağış, akış ve buharlaşma gibi hangi bileşenin etkisinin ne kadar olduğunu görebilme. Buna göre yağış ve akış değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı ($p<0.05$) kuvvetli doğrusal bir ilişki olduğu görülür. Ancak yağış ve akış arasındaki saçılım diyagramındaki ekstrem veriler ise Uludağ ve civarındaki ve Molova Deresindeki yüksek akımlardan kaynaklanır. Bunun yanı sıra yağış ve akış katsayısı arasındaki çok kuvvetli bir doğrusal ilişki olmasa da istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmasına karşın akış ile akış katsayısının arasındaki ilişki oldukça kuvvetlidir. Diğer yandan akış, buharlaşma ve akış katsayısı ile su dengesi arasında istatistiksel açıdan anlamlı negatif doğrusal ilişkiler göze çarpmaktadır (Şekil 7).

4. Sonuçlar

Çalışmada, Marmara Denizi havzasındaki yağış, akış, buharlaşma, akış katsayısı ve su dengesi gibi değişkenlerin birbiriyle ilişkileri ele alınmış ve alansal dağılışları incelenmiştir. Thiessen poligonları kullanılarak yağış ve buharlaşma alansal veriye dönüştürülmüştür. Bu yöntem aniden yükselen topografyada eğri iyi bir gözlem verisi yoksa bazen dağılışı göz ardı etmektedir ancak havza içerisinde ani olarak topografya yükselmesi sadece Uludağ civarında görülmektedir. Fakat bu alan Uludağ istasyonu ile temsil edilir ve diğer alanlar kademeli olarak yükselir. Ayrıca, topografya ile yağış, akış ve buharlaşma arasındaki ilişkilere bakıldığında yüksek topografyaya doğru geçişle buharlaşmanın azalması dikkat çekicidir ki, su dengesinin görece olarak düşük olduğu yerler bu alanlara denk gelmektedir. Ayrıca, Marmara Denizi havzasının batısında özellikle Biga yarımadası ve çevresindeki tüm havzalar su dengesinin görece olarak düşük ve su noksanlığının en yüksek yaşandığı alanların başında gelmekle birlikte, havzanın tamamında bir negatif su dengesi göze çarpmaktadır. Saçılım diyagramları da incelendiğinde su dengesi buharlaşma, akış ve akış katsayısı arasında negatif ilişki gösterir. Bu durum Marmara Denizi havzasında temel denetçinin buharlaşma olduğu ve havzaların su dengelerinin oluşmasında buharlaşmanın egemen olduğunu göstermekle birlikte, topografyanın net radyasyon, rüzgâr, su buharı ve sı-

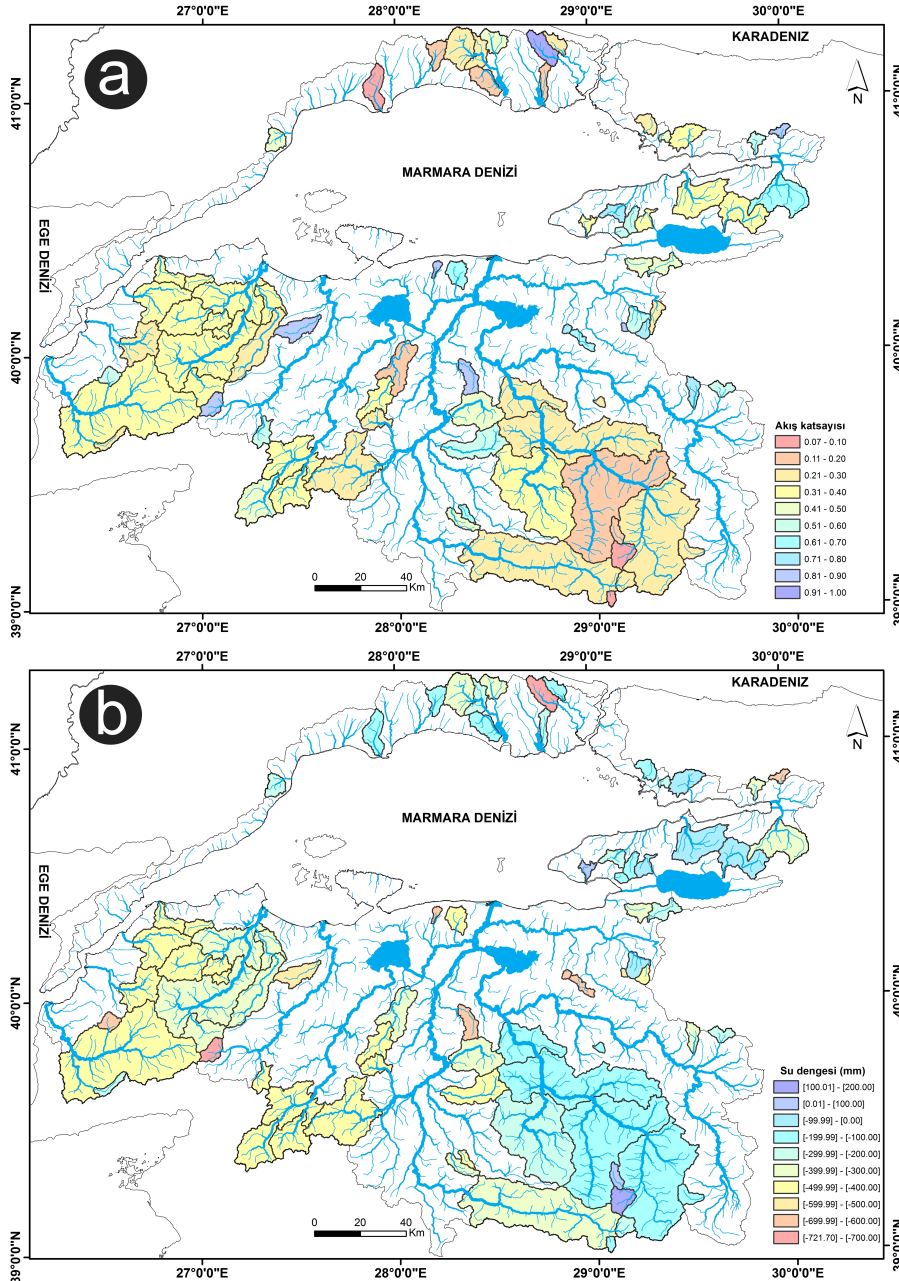
caklık gibi buharlaşmanın önemli denetçilerini etkileyerek alansal olarak farklılaşmasını sağladığı söylenebilir. Diğer yandan su dengesi ve akış katsayısı arasındaki ilişki net bir şekilde göstermektedir ki su dengesinde açık veren alanlarda akış değerleri yüksek olsa da yüksek buharlaşmadan kaynaklı su bütçesi negatif vermektedir.

Havza içerisindeki yağış ve akış arasında yüksek korelasyon varlığı ile birlikte havzanın bütünündeki tüm alt havzaların akış katsayısının 0.42 olması, yağış ve akış arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğunu göstermekle birlikte, bunun alansal olarak dağılışına bakıldığında farklılıklar gözükmemektedir. Özellikle Türkiye'nin en önemli ve en yoğun nüfuslu olduğu İstanbul ve civarındaki havzalar incelendiğinde Molova (Alibey Barajının olduğu havza) haricinde akış katsayıları oldukça düşük çıkmaktadır. Bu durum özellikle İstanbul ve çevresi için önemli bir su kaynağı olan bu havzasının önemini ortaya koymaktadır. Su kaynakları Uludağ ve çevresindeki havzalar ile İznik Gölü havzası ve civarındaki yoğun nüfuslanmış havzalarda hem yağış hem de akış değer-

lerinin yüksek olmasının yanı sıra akış katsayılarının yüksek çıkması, buralarda hem tarımsal açıdan var olan su, hem de sanayi ve kentsel kullanım açısından büyük önem taşımaktadır. Diğer yandan iklim değişikliğiyle birlikte Marmara havzasının su bütçesinin buharlaşma gibi denetçiler karşısında hassas olmasından dolayı, artan sıcaklık ve yağış noksanlığı su dengesinin açık vermesi ve akışın azalması ile su yönetimi açısından tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik riskler taşımaktadır.

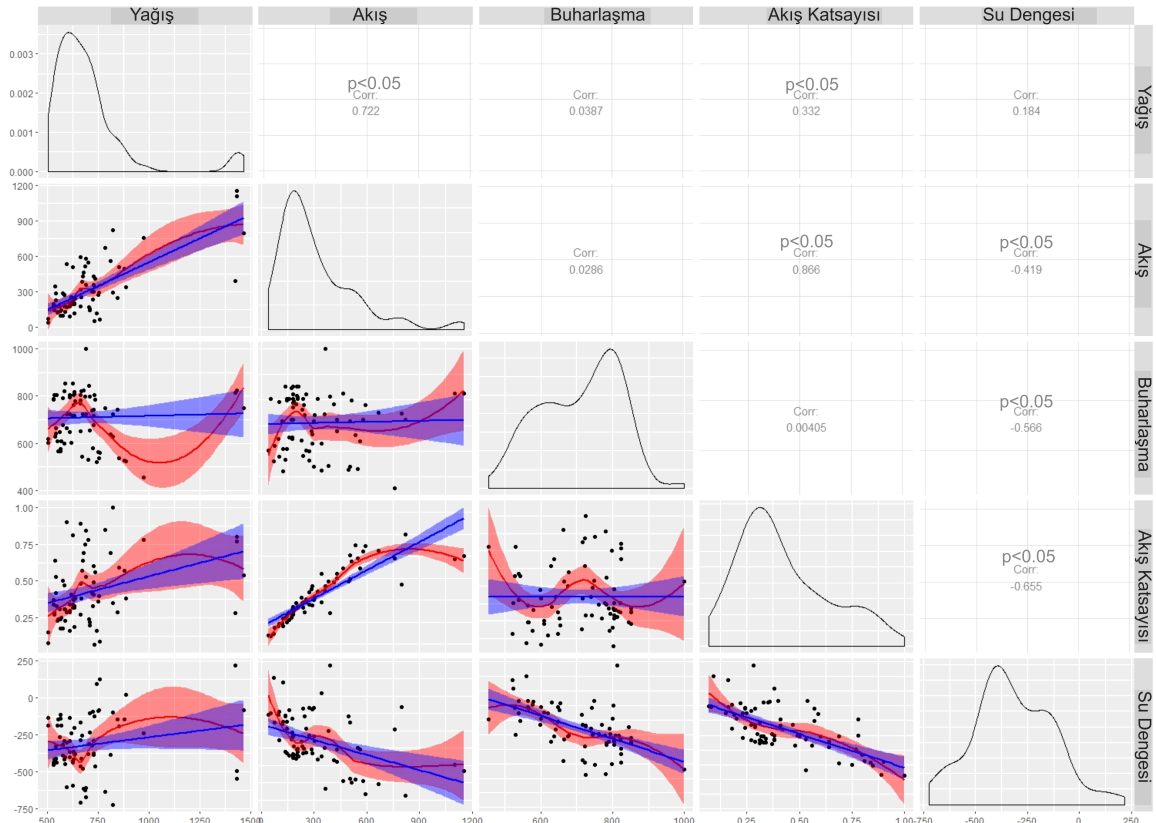
Katkı Belirtme

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Proje No: 57515, 39111 ve 38985 tarafından ve TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) 2214-A bursu ile desteklenmektedir.



Şekil 6. Marmara Denizi havzasında akış katsayılarının (a) ve su dengesi (b) detaylandırılmış dağılış haritası.

Figure 6. Detailed distribution map of runoff coefficients (a) and water balance (b) in the Marmara Sea Basin.



Şekil 7. Yağış, akış, buharlaşma, akış katsayısı ve su dengesi değişkenlerinin saçılım diyagramları ve korelasyon katsayıları (Polinom ve doğrusal eğri uydurulan verilerin etrafındaki alanlar güven aralıklarını göstermektedir).

Figure 7. Scatter plots and correlation coefficients of variables of rainfall, runoff, evaporation, flow coefficient and water balance (The areas around the data where the polynomial and linear curve are fitted show confidence intervals).

Kaynakça

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, 300(9), D05109.
- Beven, K. J. (2011). *Rainfall-runoff modelling: the primer*. John Wiley & Sons.
- Blomqvist, N. and Whipp, D. (2016). Comparing global-scale topographic and climatic metrics to long-term erosion rates using ArcSwath, an efficient new ArcGIS tool for swath profile analysis. *In EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 18, p. 6447).
- Compagnucci R, Da Cunha L, Hanaki K, Howe C, Mailu G, Shiklomanov I, Stakhiv E, (2001). *Hydrology and water resources*. In *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Becker A, Zhang J (eds). Cambridge University Press: Cambridge; 191–233.
- Critchley, W., Siegert, K. and Chapman, C. (1991). *Water Harvesting: A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome* AGL. MISC/17/91.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskiöğlü, O., Arabacı, H., and Coşkun, M. (2017). Climate Change Projections for Turkey: Three Models and Two Scenarios. *Turkish Journal Of Water Science & Management*, 1 (1), 22-43.
- Elbaşı, E. (2015). Marmara Denizi Akarsu Havzalarının Morfometrik Analizi. *İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*. İstanbul.
- Ertek, A. (2011). Importance of pan evaporation for irrigation scheduling and proper use of crop-pan coefficient (Kcp), crop coefficient (Kc) and pan coefficient (Kp). *African Journal of Agricultural Research*, 6(32), 6706-6718.
- McMahon, T. A., Peel, M. C., Lowe, L., Srikanthan, R., and McVicar, T. R. (2013). Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(4), 1331.
- Müller Schmied, H., Adam, L., Eisner, S., Fink, G., Flörke, M., Kim, H., and Song, Q. (2016). Variations of global and continental water balance components as impacted by climate forcing uncertainty and human water use. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7), 2877-2898.
- Ozdemir H. and Elbaşı, E. (2015). Benchmarking Land Use Change Impacts on Direct Runoff in Ungauged Urban Watersheds. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol.79, pp.100-107.
- Öztürk, M. Z. (2010). Uludağ (Zirve) ve Bursa Meteoroloji İstasyonlarının Karşılaştırmalı İklimi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (55), 13-24.
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G., ve Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27.
- Ozturk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M., and Kurnaz, M. L. (2015). Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using down-scaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35(14), 4276-4292.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions*, 4(2), 439-473.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J. and Midgley, B. M. (2013). *IPCC, (2013): climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*.
- Şimşek, O., Mermer, A., Yıldız, H., Özaydın, K. A. ve Peşkirioğlu, M. (2013). Referans Toplam Buharlaşma (ET_o) Normal Haritaları. *6th Atmospheric Science Symposium*, 24-26 April 2013, İstanbul Technical University, Turkey.
- Şen, Ö. L. (2013). *A holistic view of climate change and its impacts in Turkey*. Report. 5 İstanbul Policy Centre, Sabancı University, İstanbul.
- Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M. ve Kurnaz, M. L. (2014). RegCM4. 3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerinin

- yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri iin ngrlen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1).
- Tatli, H. (2014). Statistical complexity in daily precipitation of NCEP/NCAR reanalysis over the Mediterranean Basin. *International Journal of Climatology*, 34(1), 155-161.
- Trkeř, Murat. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16(9), 1057-1076.
- Vrsmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., and Lammers, R. B. (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289 (5477), 284-288.
- Wilson, E. M. (1990). *Engineering Hydrology*. Fourth Edition, Macmillan, London.
- Yang, Y. and Tian, F. (2009). Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe River Catchment, China. *Journal of Hydrology*, 374(3-4), 373-383.

