

Dar Nehirlerin Sentinel2-A Uydu Görüntüleri ile Belirlenebilirliğinde Havza Hidrojeolojisinin Etkisi: Karamenderes (Çanakkale) Örneği

Muhittin Karaman^{1,*}, Emre Özelkan², Suat Taşdelen³

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 17100, Çanakkale.

³Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20160, Denizli

Özet

Çizgisel su bileşenlerinin akım yollarının genelde dar olmaları ve bitki barındırmaları, bu tip su bileşenlerinde meydana gelen değişimlerin takibinde uydu görüntülerinin kullanmasında bazı zorluklar oluşturmaktadır. Bu çalışmanın amacı Çanakkale-Karamenderes Nehri gibi dar akarsuların 10 metre mekânsal çözünürlüklü multispektral Sentinel2-A uydu görüntüleri kullanılarak belirlenebilirliği ve belirlenebilen nehir çizgisindeki mevsimsel değişimde havzanın hidrometeorolojik koşullarının etkisinin değerlendirilmesidir. Farklı hidrojeolojik dönemlere ait uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, su bileşenlerinin belirlenmesinde uydu görüntülerinden oluşturulan modifiye edilmiş normalize fark su indisinden (MNDWI) yararlanılmıştır. Uydu görüntüsü analizlerine göre Karamenderes Nehri'nin 102 km uzunluğundaki akım yolu üzerinde; Ocak ayı döneminde su belirlenen nehir çizgisi %59, Nisan ayında su belirlenen nehir çizgisi %26, Eylül ayı döneminde ise %18 seviyesinde belirlenmiştir. Thornthwaite su bütçesine göre havzada su fazlalığının olduğu hidrojeolojik dönemlerde dere yatağında su bulunan alanların 10m'den daha geniş olması nedeniyle, su noksanı olan dönemlere göre uydu görüntüleri ile belirlenebilen nehir yatağı alanı daha fazladır. Bunda havzadaki hidrometeorolojik döngü, tarımsal sulama ve günlük kullanım amaçlı insani etkiler etkindir. Hidrometeorolojik döngüde, yağışlar ve eriyen kar suları debiyi artırırken, artan sıcaklık, azalan yağış ve yüksek evapotranspirasyon debinin azalmasına neden olur. Kullanılacak uydu görüntülerinin tarihinin havzanın hidrometeorolojik özelliklerine (akım, yağış, sıcaklık, su bütçesi v.b.) göre seçilmesi, dar nehir yatağına sahip su bileşenlerinin belirlenmesindeki başarıyı arttırdığı ortaya konulmuştur.

Anahtar Sözcükler

Dar Nehirler, Uzaktan Algılama, Sentinel2-A, Thornthwaite, Normalize Edilmiş Fark Su İndisi, Havza Hidrojeolojisi

Influence of Basin Hydrogeology in the Detectability of Narrow Rivers by Sentinel2-A Satellite Images: A Case Study in Karamenderes (Çanakkale)

Abstract

Since the flow paths of linear water components are generally narrow and containing vegetation, there are some difficulties in the use of satellite images monitoring changes in the linear water components. The aim of this study was to evaluate the detectability of narrow rivers such as Karamenderes River of Çanakkale using 10 meters spatial resolution multispectral Sentinel2-A satellite images and to evaluate the effect of hydrometeorological conditions of the basin on the seasonal change in the detected river line. In this study, which was carried out using satellite images of different hydrogeological periods, the modified normalized difference water index (MNDWI) generated from the satellite images was used to determine the water components. According to the satellite image analysis, the existence of the stream was detected as 59% in January, 26% in April and 18% in September on the 102 km long stream line of the Karamenderes River. According to the Thornthwaite water budget, the river bed area which can be determined by satellite images was higher than the water deficient periods in the hydrogeological periods where there was a water surplus caused increase in the water areas in the creek wider than 10 meters. The hydrometeorological cycle, agricultural irrigation, daily water consumption and other human-induced factors were effective on the decreased water flow. In the hydrometeorological cycle, while precipitation and melting snow increase discharge, increased temperature, decreased precipitation and high evapotranspiration caused a decrease in flow rate. It was revealed that the selection of the date of satellite images to be used according to the hydro-meteorological characteristics (flow, precipitation, temperature, etc.) of the basin increased the success of determining water components with narrow river bed.

Keywords

Narrow Rivers, Remote Sensing, Sentinel2-A, Thornthwaite, Normalized Difference Water Index, Basin Hydrogeology

1. Giriş

Göl, akarsu vb. su bileşenleri, mevsimsel olarak değişim gösteren su kütleleridir. Meteorolojik koşullardaki uç durumlar, su kütlelerinin değişiminde önemli etkenlerdir (Bond vd. 2008). Su kütlelerinin kapladıkları alanlar ve hacimleri, mevsimsel değişim sürecinden mutlaka etkilenir (Karaman vd. 2015).

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (532) 6458167 Faks:

E-posta: mkaraman@itu.edu.tr (Karaman M), emreozelkan@comu.edu.tr (Özelkan E), stasdelen@pau.edu.tr (Taşdelen S)

Gönderim Tarihi / Received : 18/04/2018

Kabul Tarihi / Accepted : 03/06/2018

Su kütlelerinin bulundukları topografya, sahip oldukları içerik ve canlı hayat (bitki vb.) gibi coğrafi koşullar, mevsimsel değişimden doğrudan etkilerler (Bond vd. 2008; Anderson vd. 2006). Mevsimsel değişimden en çok etkilenenlerin başında birim kütlelerinin az olması nedeniyle nehirler gelir (Ye vd. 2004). Ayrıca nehirlerin beslenimi genel olarak yağışlardan, diğer akarsulardan, yer altı suyu kaynaklarından ya da büyük su kütlelerinden (Ye vd. 2004). Nehirlerde su beslenme kaynaklarındaki eksiklik, özellikle mevsimsel değişim dönemlerinde ve kuraklık yaşanan dönemlerde görülür (Ye vd. 2004). Nehirlerin içerisindeki bitki örtüsü, su ihtiyacını gidermek için nehirdeki suyu tüketir ve bu tüketim kurak dönemlerde ve yağışsız sıcak mevsimlerde daha fazladır (Yang vd. 2018; Wan vd. 2016). Bununla birlikte nehirlerdeki diğer bir azalma da tarımsal sulama amaçlı su tüketiminden kaynaklanır (Li vd. 2017). Tarımsal sulama kaynaklı su tüketimi en çok kurak dönemlerde ve yağışsız sıcak mevsimlerde gerçekleşir (Wang vd. 2016; Özelkan vd. 2016). İnsanların tarımı her zaman suya yakın arazilerde yapmayı tercih etmeleri nedeniyle nehirler, doğası gereği tarımsal sulamadan en çok etkilenen su kütleleridir (Karabulut 2015). Bununla beraber baraj ve gölet gibi yapılardan su kontrollü bir şekilde serbest bırakılırken, nehirlerden tüketilen suyun denetimi son derece zordur (Aydoğdu vd. 2015). Bu nedenle nehirler beşeri ve doğal sebeplerden dolayı oluşan mevsimsel değişimden en çok etkilenen su kütleleridir.

Su kütlelerindeki alan ve seviye değişimlerini çalışma alanında gerçekleştirilecek açık su yüzeyi rasatları ve buharlaşma havuzu ölçümleri ile belirlemek en doğru ve güvenilir metottur (Yıldız ve Deniz 2005). Bunun yanında hesaplamalı yöntemler de mevcuttur. Açık yüzey su alanlarındaki değişim; Bütçe hesabı gibi deterministik ve Meyer gibi ampirik metotlar ile tespit edilebilmektedir (Gorjizade vd. 2014). Ancak dar nehirlerde sadece açık su yüzeyinde oluşan buharlaşma olmaz aynı zamanda içerdikleri bitki örtüsü nedeniyle terlemede gerçekleşir (Lu vd. 2011). Thornthwaite evapotranspirasyon metodu (Thornthwaite 1948), sulak alanlardaki su ve bitkiden oluşan toplam su kaybını belirlemek için sıklıkla kullanılır (Liu vd. 2016; Karaman vd. 2015; Karaman vd. 2011a).

Uydu teknolojilerindeki ilerlemeler ile gelişen uzaktan algılama bilimi, su kaynaklarının yönetiminde büyük ölçekte ve güvenilir veri sağlar (Karaman vd. 2015; Gürsoy vd. 2015; Akar vd. 2012; Özelkan vd. 2011; Rango 1994). Baraj, göl ve gölet gibi su kütlelerinin kaplamış oldukları alanın büyük olması nedeniyle uydu görüntüsü ile belirlenmesi ve değişimlerinin izlenmesi nispeten kolaydır (Simon vd. 2018; Karaman 2017; Karaman vd. 2015; Uca Avcı vd. 2014; Karslı vd. 2011; Karaman vd. 2011c; Karaman vd. 2011a; Karaman vd. 2011b). Ancak akarsu, dere vb. çizgisel su bileşenlerinin, akım yolu üzerinde genelde dar olmaları ve bitki barındırmaları nedeniyle kuraklık gibi uç meteorolojik koşullara/afetlere bağlı meydana gelen değişimlerinin takibinde uydu görüntülerinin kullanmasında bazı zorluklar bulunmaktadır (McKean vd. 2009; Cowell vd. 2004). Bu zorlukların en başında suyun kapladığı alanın dar olması nedeniyle yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerine olan ihtiyaçtır (Verpoorter vd. 2012). Bir diğer zorluk ise, suyun spektral yansıtımını değiştirdiği ve buna bağlı olarak suyun ayırt edilmesini, sınıflandırılmasını zorlaştırdığı için, sudaki bitki varlığıdır (Verpoorter vd. 2012). Su seviyesi azaldığında bitki örtüsü daha belirgin hale geldiğinden, kurak ve su tüketiminin çok olduğu buna karşın su kütlesinin az olduğu dönemlerde uydudan uzaktan algılama ile suyun belirlenmesi zorlaşır (Klemas ve Pieterse 2015; Ritchie vd. 2003). Ayrıca su seviyesindeki azalma ile birlikte nehir tabanındaki yansıtmanın daha belirgin hale gelmesi ve bulanıklığın artması, suyun spektral özellikleri değiştirdiğinden ayırt edilmesi zorlaşır (Wu vd. 2014). Bu sorunlar dikkate alınarak uydu görüntülerinin tüm bantları ile gerçekleştirilen su belirleme çalışmaları yerine su indislerinin kullanımı tercih edilmektedir (Karaman vd. 2015; Xu 2006; McFeeters 1996). Sulak alanların anlık durumları ve mevsimsel değişimleri normalize edilmiş fark su indisi (NDWI) ve modifiye normalize edilmiş fark su indisi (MNDWI) gibi su indisleri ile izlenebilir ve su kaynakları yönetiminde etkin bir şekilde kullanılabilir (Karaman vd. 2015).

Bu çalışmanın amacı; multispektral Sentinel2-A uydu görüntüleri kullanılarak Çanakkale-Karamenderes gibi dar nehirlerin belirlenebilirliği ve bunda havzanın hidrojeolojik özelliklerinin etkisinin değerlendirilmesidir. Dar akarsuların belirlenmesinde kullanılacak en uygun görüntü seçimi, meteorolojik veriler kullanılarak oluşturulan su bilançosundaki su fazlası ve su noksanlığı olan dönemler gözetilerek gerçekleştirilmiştir. Karamenderes Nehri Havzası'nın yağışlı-kurak mevsim döngüsünden etkilenen bir havza olması nedeniyle farklı hidrolojik dönemlere ait uydu görüntüleri kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Yağışlı dönemi temsilen Ocak ve Nisan, kurak dönem için Eylül ayı görüntüleri seçilmiş, su bileşenlerinin belirlenmesinde uydu görüntülerinde oluşturulan MNDWI indisinden yararlanılmıştır. Yağış ve sıcaklıktaki mevsimsel değişimin akarsu debisi (akımı) üzerindeki etkisi, uydu görüntüsünden belirlenebilen su kaplı alandaki değişim ile ilişkilendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

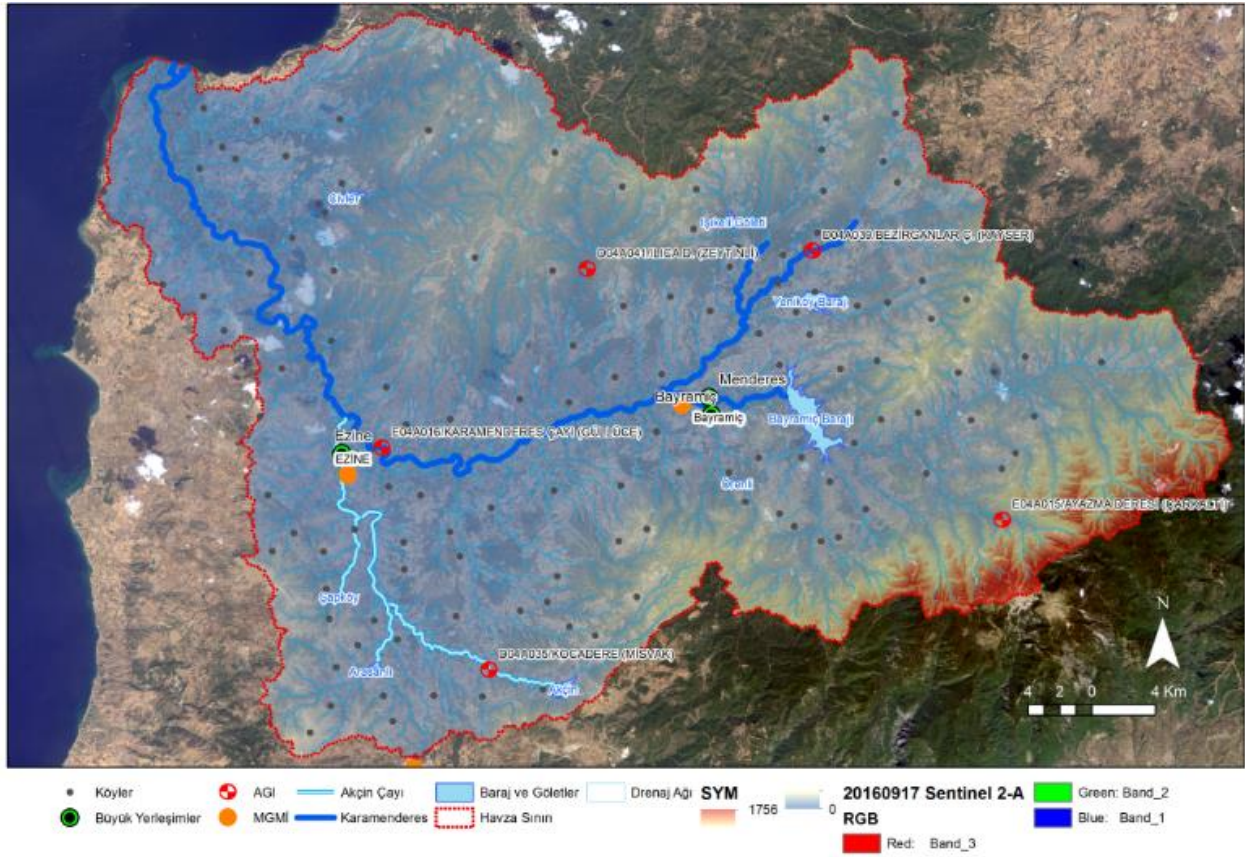
2.1. Veri

2.1.1. Çalışma Alanı: Karamenderes Nehri ve Havzası

Çalışma alanı 26°11'39.68" - 26°35'06.43" doğu meridyenleri ve 40°00'05.72" - 39°48'26.44" kuzey paralelleri arasında, Çanakkale İl sınırları içindeki Karamenderes nehridir (Şekil 1). Karamenderes genel olarak menderes yaparak ilerler. Sık menderes oluşumları, havzanın batısında drenaj ağındaki yan kolların birleştiği ve denize doğru yöneldiği alüvyon olmayan alanlardır. Karamenderes, havzada bulunan Troya antik kentinin de bulunduğu, düz ve eğimsiz tarım arazilerinin

çoğunlukta olduğu güzergâhından ilerleyerek Kumkale köyünden Çanakkale Boğazı'na birçok kola ayrılarak havzanın kuzeybatısında denize dökülmektedir.

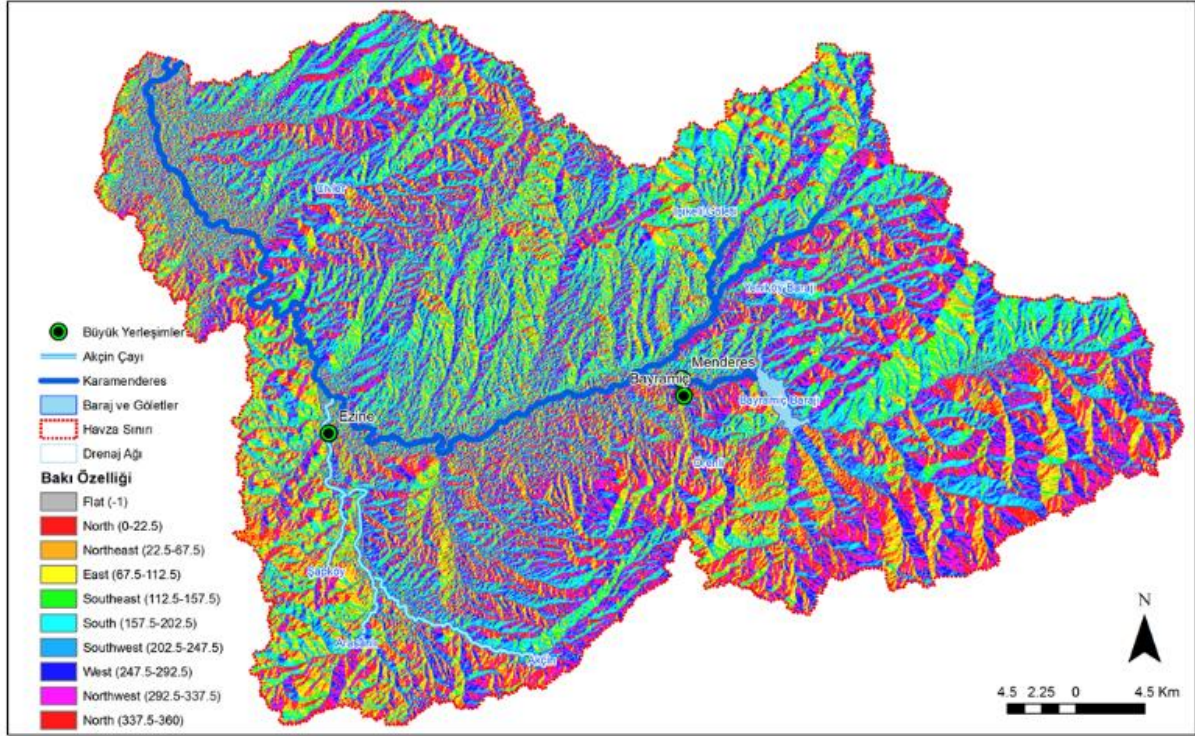
Kazdağları'ndan doğan, toplam uzunluğu 109km ve en yüksek debisi $1530\text{m}^3\text{s}^{-1}$ olan Karamenderes (ÇÇŞİM 2016), Bayramiç-Ezine ve Kumkale Ovaları sulamasında kullanılır (TBMM 1977). Karamenderes üzerindeki Bayramiç Barajı'ndan yapılan sulama miktarı 2016 yılı için 4254,2ha, $21,69\text{m}^3$, Kumkale Ovası sulaması ise 4541,4ha, $34,79\text{m}^3$ 'tür (ÇÇŞİM 2016). Bayramiç ilçe merkezinden geçen çay, aynı zamanda Bayramiç Barajı ana deşarj kanalıdır (DSİ 2016). Karamenderes, Kazdağları'ndan doğan derelerden beslenim ile Ezine-Bayramiç tektonik oluğu boyunca akarak, Kumkale Ovası üzerinden Karanlık Liman yakınlarında denize ulaşır (Akbulak 2017; Çetinkaya ve Sümer 2013). Karamenderes, Ezine'nin kuzeyinde Akçin Çayı ile birleşir (Çetinkaya ve Sümer 2013). Karamenderes, sürekli bir akarsu karakterinde olması nedeniyle havzadaki en önemli hidrografik unsurdur (Akbulak 2017). Akbulak (2017)'a göre Karamenderes Havzası'nın en önemli ticari faaliyeti tarımdır ve kış aylarındaki akışın yaz aylarına göre yüksek olduğu Karamenderes Nehri'nde (Akbulak 2017; Eİİİ 2007), yaz döneminde debideki önemli düşüş, tarımsal faaliyete bağlı artan sulama ihtiyacı ile ilişkidir. Bölge sahip olduğu verimli topraklar ve su kaynakları sayesinde zeytin, elma, üzüm, nektarin, domates, patlıcan ve biber gibi meyve ve sebze türlerinin yanı sıra buğday, arpa, mısır ve pirinç gibi tahılların üretimi için de son derece uygundur (Çetinkaya ve Sümer 2013; Akbulak 2010).



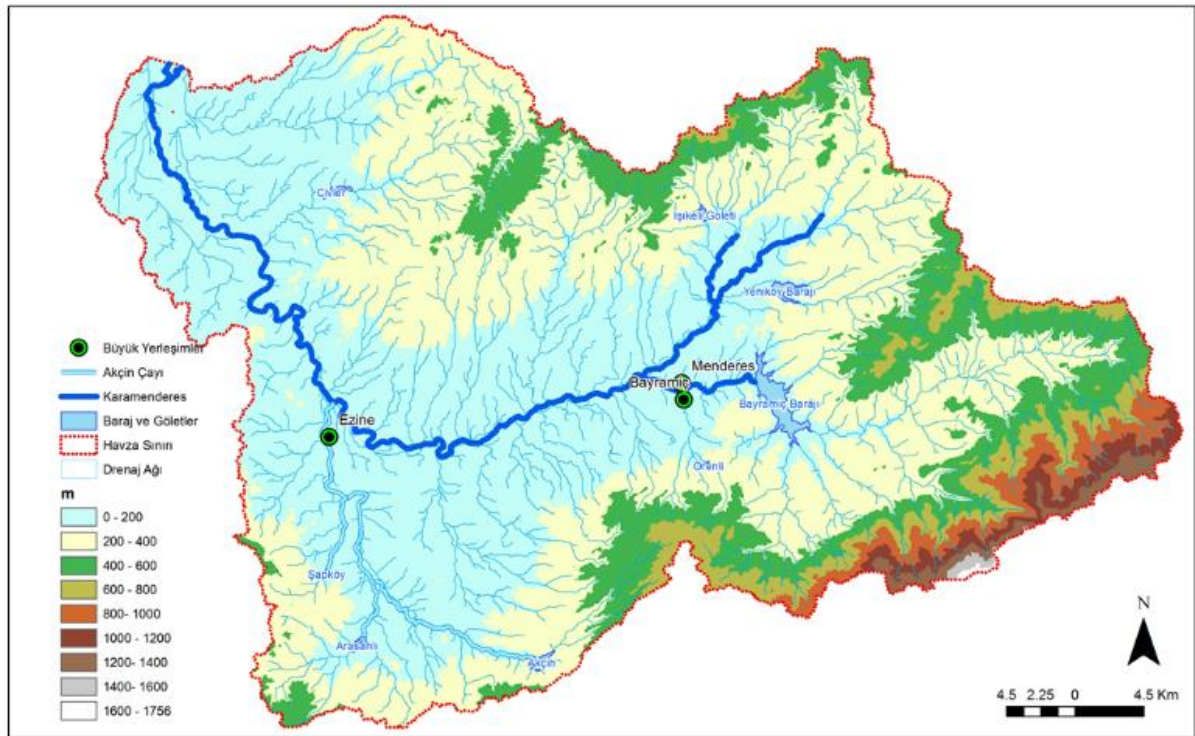
Şekil 1: Çalışma alanı

Hidrolojik olarak Kuzey Ege Havzası içinde yer alan Karamenderes Havzası'nın sayısal yükseklik modelinden belirlenen alanı 1991km^2 'dir. Biga Yarımadası'nda Çanakkale sınırları içinde yer alan havza, Bayramiç ve Ezine ilçesi ile birlikte Ayvacık'ın kuzeyini, merkez ilçenin ise güney kısımlarını içine alır (Akbulak 2017; Akbulak 2010). Havza içerisinde ikisi ilçe merkezi olmak üzere toplamda 161 yerleşim bulunur (Akbulak 2010). Havza içindeki baraj ve göletler, gölalanı ve depolama hacmi sırasıyla; Akçin Göleti ($0,99\text{km}^2$, $10,3\text{hm}^3$), Bayramiç Barajı ($6,6\text{km}^2$, $77,5\text{hm}^3$), Örenli Göleti ($1,08\text{km}^2$, $1,17\text{hm}^3$), Işıkeli Göleti, Dümrek Göleti (Civler), Bayramiç Yeniceköy Köylüçay Göleti, Bayramiç Çırpılar Göleti, Işıkeli Göleti, Bahçeli (Arasanlı) Göleti, Yeniköy Baraj Göleti, Şapköy ve Yassıbağ göletleridir (DSİ 2018a). Bayramiç-Ezine Ovası sağ ve sol sahil (10833ha) sulaması, Ezine Akçin Ovası sulaması (771ha), Kumkale Ovası sol ve sağ sahil sulaması (9450ha) ve Kumkale Halileli sulaması (818ha), Karamenderes Havzası'nda işletme halindeki sulama tesisleridir (DSİ 2018a). Havzanın %39,8'lik kısmı tarımsal faaliyet için kullanılmakta (Güre 2009) ve ekili alan yaklaşık olarak 58104ha 'dır (Çetinkaya ve Sümer 2013; Akbulak vd. 2011). Kuzey Ege olarak tanımlanan bölgede Marmara iklimi hakimdir ve Karadeniz ikliminden Akdeniz iklimine bir geçiş iklimi olarak ifade edilir (Sensoy vd. 2008; Koçman 1993).

Tüm arazinin eğim ortalaması 9° 'dir. 0-200 ile 200-400 metre yükseklik sınıfları sınırının, ortalamanın üstünde dik/eğimli olduğu görülmektedir. Bu sayede suyun toplanması için uygun koşulların oluşturulduğu görülmektedir. Eğimin 0° olduğu düz alanlar su yüzeyleridir. Karamenderes ana hattı üzerinde eğim 3 dereceyi geçmezken yan kolları daha yüksekten geldiği için 10 dereceye kadar eğim yapabilmektedir. Havza suyollarının çok eğimli olmamasına rağmen yan kollarının eğimli olması, normal yağış durumlarında suyun ana hatta hızlı akışa geçmesini sağlayacağından, dar nehir yatağında taşkın riskini artıran bir özellik olarak yorumlanabilir.



Şekil 3: Karamenderes Havzası bakı haritası



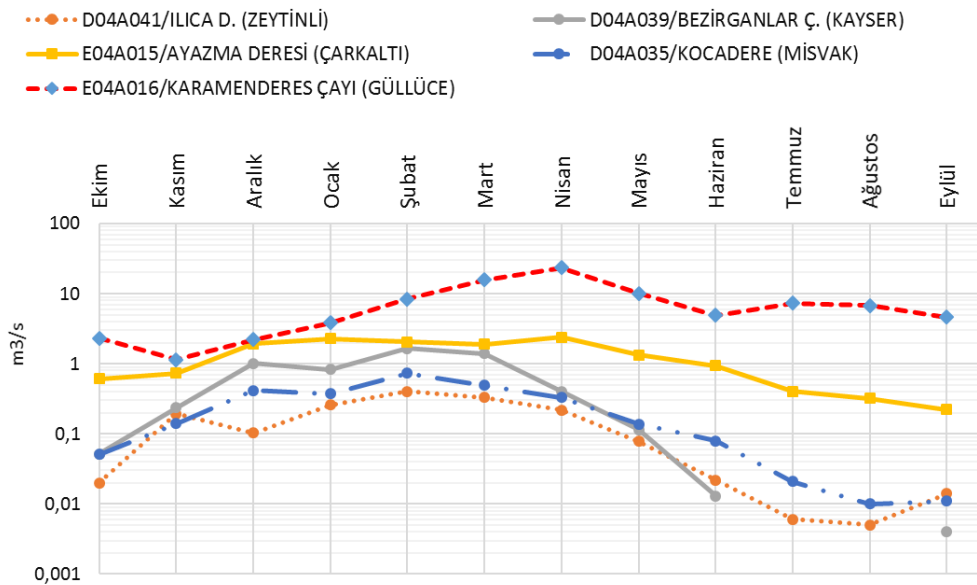
Şekil 4: Karamenderes Havzası yükseklik haritası

2.1.3. Meteorolojik Veriler

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) Ezine meteoroloji istasyonuna ait veriler temin edilmiştir. Havza içerisindeki iklim verileri incelendiğinde, 2007-2017 yılları arasında uzun yıllar ortalama sıcaklık yaklaşık 15°C dolaylarında ve en sıcak ay ortalamasının Temmuz (26,3°C), en soğuk ay ortalamasının ise Ocak (6°C) ayında olduğu belirlenmiştir. Uzun yıllar ortalamalarına göre yıllık toplam yağışın 548mm olduğu bölgede en yağışlı ay Ocak (87,7mm), en kurak ay ise Ağustos'tur (8,1mm). Havza içinde bulunan Bayramiç MGM istasyonu, akım verilerine ait ölçüm yılındaki veri eksikliği nedeni ile kullanılmamıştır. Thornthwaite yöntemi ile evapotranspirasyon hesabı için aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri birlikte kullanılmıştır.

2.1.4. Karamenderes Havzası Akım (Debi) Verileri

Havza içerisinde, Karamenderes Nehri üzerinde Güllüce (E04A016), Kocadere (Akçin Çayı) üzerinde Misvak (D04A035), Ayazma Deresi üzerinde Çarkaltı (E04A015), Ilıca Deresi üzerinde Zeytinli (D04A041), Bezirganlar Çayı üzerinde Kayser (D04A039), akım gözlem istasyonları (AGİ) yer alır (DSİ 2018b). Ezine'nin doğusundaki Güllüce (E04A016) AGİ'den elde edilen 2012 yılı akım verilerine göre; yıllık ortalama debinin 7,6m³s⁻¹ olduğu Karamenderes Nehri'nde en yüksek debi Nisan (23,6 m³s⁻¹), en düşük debi Kasım ayındadır (1,2 m³s⁻¹). Karamenderes Nehri'ni besleyen bazı derelerin yıllık ortalama debileri sırasıyla Ayazma Deresi: 1,26 m³s⁻¹, Bezirganlar Çayı: 0,48m³s⁻¹, Kocadere: 0,23 m³s⁻¹ ve Ilıca Dere: 0,14m³s⁻¹'dir (Şekil 5).



Şekil 5: Karamenderes Havzası içindeki AGİ verileri (DSİ 2018b)

2.1.5. Uzaktan Algılama Verisi ve Ön İşlemesi

Dar nehir yataklarının belirlenmesinde; Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından sağlanan ve mekânsal çözünürlüğü bantlarına göre 10m ile 60m arasında değişen Sentinel2-A multispektral uydu görüntüsü kullanılmıştır. Atmosfer altı yansıtım değerlerini içeren 2-A seviye görüntüleri, bulutluluk tespiti ve atmosferik düzeltmesi ile birlikte eğim vb. etkilerin giderildiği görüntülerdir (Drusch vd. 2012). 20m çözünürlüklü Red-Edge ve Shortwave-infrared (SWIR) bantları ile 60m çözünürlüklü atmosferik düzeltme bantları, 10m çözünürlüklü B02 VNIR (visible and near-infrared) bandı kullanılarak yeniden örnekleme (Resampling) ile 10 m çözünürlüklü hale getirilmiştir. MNDWI için ise üçüncü (B03: 560nm) ve on birinci (B11:1610nm) bantlar kullanılmıştır. Dar nehir yataklarının belirlenebilirliği, 2016 yılı yağışlı ve kurak dönem için incelenmiştir. İncelemede yağışlı dönem için 09.01.2016 tarihli Ocak ve 28.04.2016 tarihli Nisan, debinin azaldığı kurak dönem için ise 17.09.2016 tarihli Eylül ayı görüntülerinden yararlanılmıştır (Tablo 2).

2.1.6. Yöntem

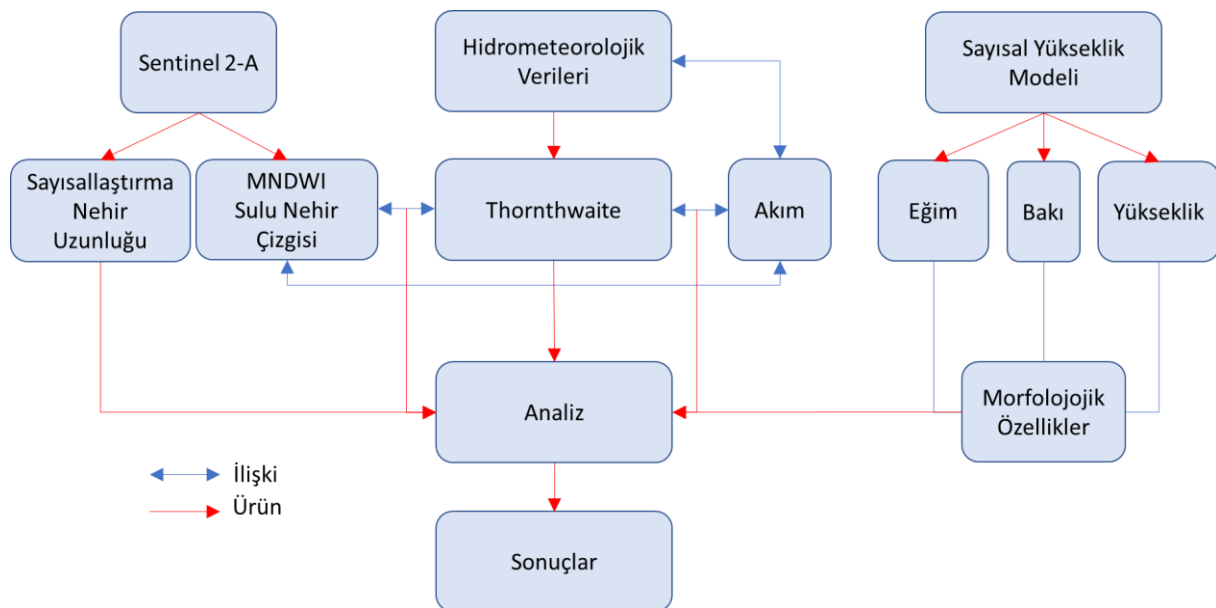
Mevsimsel hidrojeolojik özelliklerin, dar nehir yataklarının uydu görüntülerinden belirlenebilirliğine etkilerinin değerlendirildiği bu çalışmada; 10m mekânsal çözünürlüklü multispektral Sentinel2-A uydu görüntüleri kullanılarak dar akarsu yataklarındaki su kaplı alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Uydu görüntülerinde nehir yataklarındaki su kaplı alanlar, Sentinel2-A uydu görüntüleri kullanılarak oluşturulan normalize edilmiş fark su indisinden (MNDWI) belirlenmiştir.

Tablo 2: Sentinel2-A uydu görüntüsü özellikleri (URL-2 2018; URL-1 2018)

Bantlar	Konumsal Çözünürlük (m)	Merkez Dalgaboyu (nm)	Bant Genişliği (nm)
Bant 1 - Mavi - Aerosol Tespiti	60	443	20
Bant 2 - Mavi	10	490	65
Bant 3 - Yeşil	10	560	35
Bant 4 - Kırmızı	10	665	30
Bant 5 - NIR - Bitki Örtüsü Sınıflandırması	20	705	15
Bant 6 - NIR - Bitki Örtüsü Sınıflandırması	20	740	15
Bant 7 - NIR - Bitki Örtüsü Sınıflandırması	20	783	20
Bant 8 - NIR	10	842	115
Bant 8A - NIR - Bitki Örtüsü Sınıflandırması	20	865	20
Bant 9 - NIR - SWIR - Su Buharı	60	945	20
Bant 10 - SWIR - Sirüs	60	1375	30
Bant 11 - SWIR - Kar/Buz/Bulut Ayrımı	20	1610	90
Bant 12 - SWIR - Kar/Buz/Bulut Ayrımı	20	2190	180

Havza drenaj alanı, drenaj ağı, alt havzalar, eğim, baki ve yükseklik verileri, ücretsiz olarak temin edilebilen, açık erişimli ve uydu tabanlı en yüksek çözünürlüğüne sahip (30m) ASTER GDEM (Global Digital Elevation Map) SYM kullanılarak ArcGIS ortamında oluşturulmuştur. Uzaktan algılama verisi olarak Sentinel2-A uydu görüntülerinin işlenmesi ve MNDWI indisi ile su alanlarının belirlenmesinde SNAP (Sentinel Application Platform) Sentinel-2 Toolbox yazılımı kullanılmıştır. Raster verilerden vektör veri üretimi ve su bulunan nehir yatağı uzunluğunun belirlenmesi ArcGIS ortamında gerçekleştirilmiştir.

Yağışlı ve kurak dönem arasında nehir yatağındaki belirlenebilen su kaplı alanlardaki farka, havzanın hidrojeolojik özelliklerinin etkisinin belirlenmesi amacıyla su bilançosu ve akım verilerinden yararlanılmıştır. Havzayı temsilen seçilen Ezine MGM istasyonu uzun yıllar aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri ile Thornthwaite yöntemi su bilançosu belirlenmiştir. Akım verileri ile sıcaklık ve yağış arasındaki ilişki, uzun yıllar ve sadece akım verilerinin ölçüldüğü yıllar olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilerek, yağışlı ve kurak dönemde uydu görüntülerinde belirlenebilen alanlardaki farklılığın hidrojeolojik etkisi tanımlanmıştır. Çalışmada izlenen yöntemler sırasıyla bölümler halinde değerlendirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Çalışmada kullanılan veri, yöntemler ve işlem adımları

2.1.7. Thornthwaite (1948) Yöntemi

Öncelikli hedefin iklim sınıflaması olduğu Thornthwaite yöntemi (Thornthwaite 1948), özellikle tarım, hidrojeoloji, su kaynaklarının yönetimi gibi çalışmalarda evapotranspirasyonun doğrudan belirlenemediği durumlarda sıklıkla kullanılmaktadır (Demir vd. 2015). Kurak ve aşırı nemli koşullarda istenilen sonuçları vermediği (Pereira ve Pruitt 2004) belirtilen Thornthwaite yöntemi, Çanakkale'nin ılıman iklime sahip olması nedeniyle kullanılması tercih edilmiştir. Thornthwaite yöntemi (1) ile potansiyel ve gerçek evapotranspirasyon aşağıdaki işlem sırasıyla belirlenir (Bölük 2016; Karaman vd. 2015; Demir vd. 2015).

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \rightarrow I = \sum_{k=1}^{12} i \rightarrow ET_p = 16 \times \left(\frac{10 \times I}{I}\right)^a \rightarrow ET_r = ET_p \times G$$

$$a = (0,000000675 \times I^3) - (0,000077 \times I^2) + (0,01792 \times I) + 0,49239$$
(1)

Denklemlerdeki terimler; i = aylık sıcaklık indisi, t = aylık ortalama sıcaklık (°C), I= yıllık sıcaklık indisi, ET_p = potansiyel evapotranspirasyon (mm/ay), a=katsayı (aylık endeks), ET_r =gerçek evapotranspirasyon, G = enlem düzeltme katsayısı (Thornthwaite çizelgesinden okunur) şeklindedir.

Eğer ilgili ayın yağış miktarı ET_p'den fazlaysa: ET_p= ET_r, olur. Yağış ile ET_p arasındaki fark arttıkça zemin rezervi (ZR) artar. ZR dolunca artan su akışa geçer. Eğer ilgili ayın yağış miktarı ET_p'den azsa: ET_r, için gereken su zemin rezervinden sağlanır. ZR=0 olduğunda ET_r=yağış miktarı olur. ET_p, ET_r den fazla olduğunda aradaki fark, su noksanı (SN) olarak tanımlanır. ZR başlangıçta 100 kabul edilir ve üstündeki miktar su fazlası (SF) olarak tanımlanır (Bölük 2016; Karaman vd. 2015; Demir vd. 2015; Karaman vd. 2011a; Thornthwaite 1948).

2.1.8. MNDWI

Dar nehir yatağındaki su varlığı McFeeters (1996) ve Xu (2006) tarafından geliştirilen MNDWI su indisi ile belirlenmiştir. Işığın, elektromanyetik spektrumun yeşil bölgesinde yansıtma (R) ve yakın kızıl ötesi (NIR) bölgesinde emme özelliği uzaktan algılama ile su ve sulak alan çalışmalarında önemlidir (Xu 2006; Verdin 1996; McFeeters 1996). Spektrumun orta kızıl ötesi bölgesinde (SWIR: Sentinel2-A B11:1610nm), NIR bölgesine kıyasla ışığın suda daha fazla emilmesi ve bununla birlikte, diğer doğal arazi örtüsü sınıflarının (toprak ve bitki) daha fazla yansıma yapması sebebiyle MNDWI indisi (2) su kaplı alan tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Karaman 2017; Karaman vd. 2015; Xu 2006).

$$MNDWI = (R_{Yeşil} - R_{MIR}) / (R_{Yeşil} + R_{MIR})$$
(2)

Su indisi görüntüsü, Karaman vd. (2011a) ve Xu (2006)'da olduğu gibi maskeleme uygulanarak MNDWI Piksel Değeri>0 su ve MNDWI Piksel Değeri ≤0 için bitki, toprak gibi su olmayan arazi örtüsü tanımını yapan kurallar uygulanmıştır (Karabulut 2015; Karaman vd. 2011a; Xu 2006).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Karamenderes Nehri su varlığının yağışlı ve kurak dönemlerde uydu görüntüleri ile incelenmesi

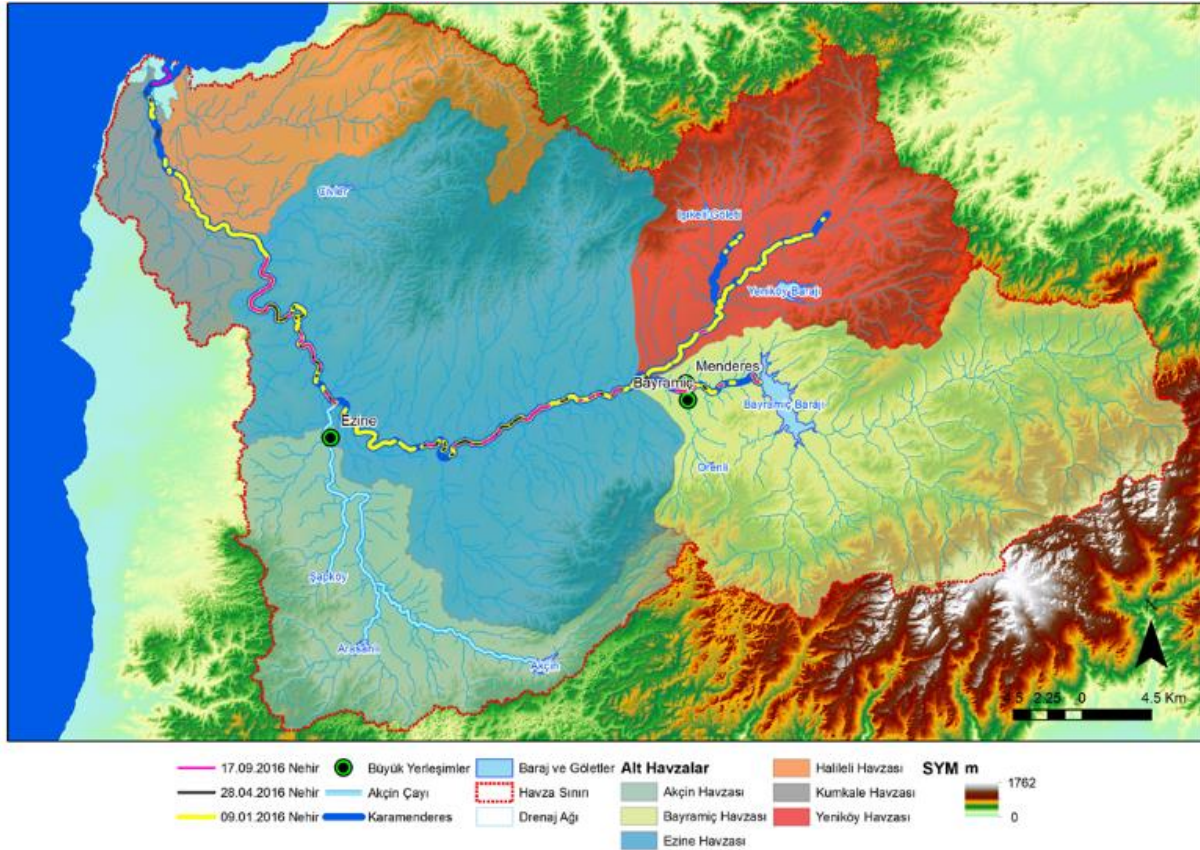
Karamenderes Nehri'nin uydu görüntüleri üzerinden CBS ortamında elle sayısallaştırma yoluyla belirlenen uzunluğu 102km'dir (bkz. Şekil 1). Nehir atağının iyice daraldığı havzanın güney sınırındaki kısımlar da dahil edildiğinde uzunluğu 109km'ye kadar çıkar. Karamenderes Nehri'nde debinin en yüksek olduğu yağışlı ve düşmeye başladığı kurak döneme ait üç farklı uydu görüntüsünden elde edilen MNDWI su indisi görüntüleri ile nehir yatağındaki su varlığı değerlendirilmiştir. Sentinel2-A uydu görüntüleri ile debinin 23,6m³s⁻¹'lere çıktığı yağışlı dönemde dar nehir yatağının Ocak ayı başında 60km'lik ve Nisan ayı sonunda ise 26,5km'lik, debinin düşmeye başladığı kurak dönemde 17,9km'lik kesitinde su varlığı belirlenmiştir (Tablo 3, Şekil 7). Diğer bir deyişle Karamenderes Nehri'nin 102 km uzunluğundaki akım yolu üzerinde; su belirlenen nehir çizgisi Ocak ayı döneminde %59, Nisan ayında %26, Eylül ayında ise %18 seviyesinde belirlenmiştir.

Tablo 3: Yağışlı ve kurak dönemde Karamenderes Nehri'nin Sentinel2-A uydu görüntüsü ile belirlenen uzunlukları

Tarih	Hidrojeolojik Dönem	Uzunluk	Su varlığı
09.01.2016	Yağışlı	60km	%59
28.04.2016	Yağışlı	26,5km	%26
17.09.2016	Kurak	17,9km	%18

Yağışlı dönemin başında 60km’lik bir kesit belirlenebilirken, yağışlı dönemin sonunda (Nisan sonu) su varlığının azalmasının sebebi tarımsal sulamadır. Nisan ayı, buğday ve arpa gibi tahılların en çok su ihtiyacının olduğu dönemdir ve bu ihtiyacı karşılamak için en çok tarımsal sulama bu dönemde yapılır (Özelkan vd. 2016; Wang vd. 2016). Yağış değerleri incelendiğinde 2016 Nisan ayında şiddetli kuraklık yaşandığı görülür. Bu şiddetli kuraklık durumu, Nisan ayı sonunda yani yağışlı dönemin sonunda belirlenebilen su kesitinin az olduğunu açıklamaktadır.

Havza’nın güneyindeki Akçin Çayı’nda her üç dönemde de uydu görüntüleri ile su varlığı tespit edilememiştir. Su belirlenen nehir bölütleri, her üç dönemde de Ezine alt havzası içinde yoğunlaşır. Ezine alt havzasındaki yoğunlaşma, doğu ve batı ana gruplarına ayrılır. Doğru kısmında su tespit edilen kesimler eğimin 10 dereceden düşük olduğu alanlardaki nehir yatağıdır. Ezine’nin batısında su tespit edilen nehir yatakları Ezine-Bayramiç Ovası ile Kumkale Ovası arasında kalan alanlardır. Pınarbaşı civarında Kumkale Ovası’nın başladığı bölgede Karamenderes üzerine inşa edilen regülatör nedeniyle bu bölgede yağışlı ve kurak dönemde su bulunur (Tablo 3).



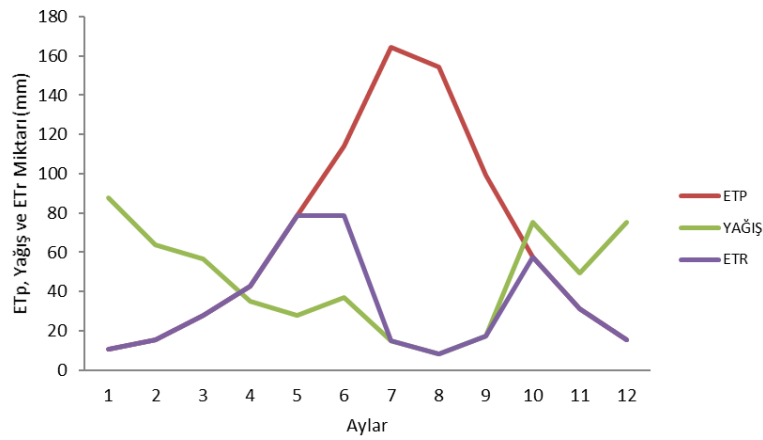
Şekil 7: Karamenderes Havzası'nın alt havzaları ile birlikte, nehir yatağında yağışlı ve kurak dönemde uydu görüntüleri ile belirlenen su kaplı alanlar

3.2. Thorthwaite Su Bütçesi

Çanakkale-Ezine İlçesi potansiyel (ET_p) ve gerçek (ET_r) evapotranspirasyon değerleri, Ezine MGMİ'nin 2007-2017 yılları arasındaki aylık verileri esas alınarak Thornthwaite yöntemi ile hesaplanmıştır. ET_p 'nin yıllık toplamı 811,7mm, yıllık ET_r 399,2mm'dir. Nisan ayının sonuna kadar yağış ET_p 'den fazladır. Haziran ayı ortalarına kadar 100mm olarak kabul edilen zemin rezervi harcanır. Haziran ayı ortalarından Eylül ayı sonuna kadar su noksanlığı söz konusudur. ET_p 'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde ET_p 652,6mm; yağış ise 140mm'dir. Bu durumda su noksanı 412,6 mm'dir (652,6-(140+100)). Ekim ayı ortalarından itibaren yağış tekrar ET_p 'den fazladır. 100mm'lik zemin nem rezervi ise bir sonraki yılın Ocak ayının ilk günlerinde tamamlanır. 548,3mm'lik toplam yağışın, 399,2mm'si buharlaşma-terleme yolu ile tekrar atmosfere döner. Ocak-Şubat-Mart aylarında gerçekleşen ve yıllık toplamı 149,2mm olan su fazlası ise yıllık yağışın %27,2'si kadardır (Tablo 4, Şekil 8).

Tablo 4: Çanakkale-Ezine MGMİ 2007-2017 yılları arasındaki uzun dönem meteorolojik verilerine göre Thornthwaite Su Bütçesi Bileşenleri (Yıllık veriler sıcaklıklar için ortalama °C ve diğerleri için toplam mm şeklinde hesaplanmıştır)

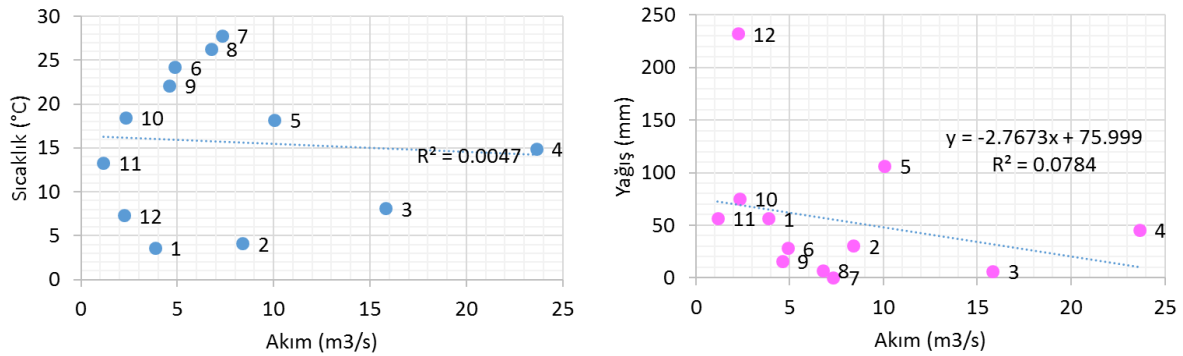
Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6,0	7,7	9,8	12,2	16,8	21,2	26,3	26,3	21,5	15,9	11,7	7,6	15,25
Aylık Endeks Katsayısı	1,3	1,9	2,7	3,9	6,3	8,9	12,4	12,3	9,1	5,8	3,6	1,9	
Enlem Katsayısı	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	
ET _p (mm)	10,8	15,7	28,0	42,6	78,8	113,9	164,1	154,2	99,0	57,8	31,3	15,5	811,7
Yağış (mm)	87,7	63,7	56,8	35,0	27,8	37,1	14,8	8,1	17,2	75,3	49,3	75,5	548,3
Zemin Rezerv Değişimi (mm)	0,0	0,0	0,0	-7,6	-51,0	-41,4	0,0	0,0	0,0	17,5	18,0	60,0	
Zemin Rezervi (mm)	100,0	100,0	100,0	92,4	41,4	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5	35,5	95,5	
ET _r (mm)	10,8	15,7	28,0	42,6	78,8	78,5	14,8	8,1	17,2	57,8	31,3	15,5	399,2
Su Fazlası (mm)	72,4	48,0	28,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	149,2
Su Noksanı (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,4	149,3	146,1	81,8	0,0	0,0	0,0	412,6



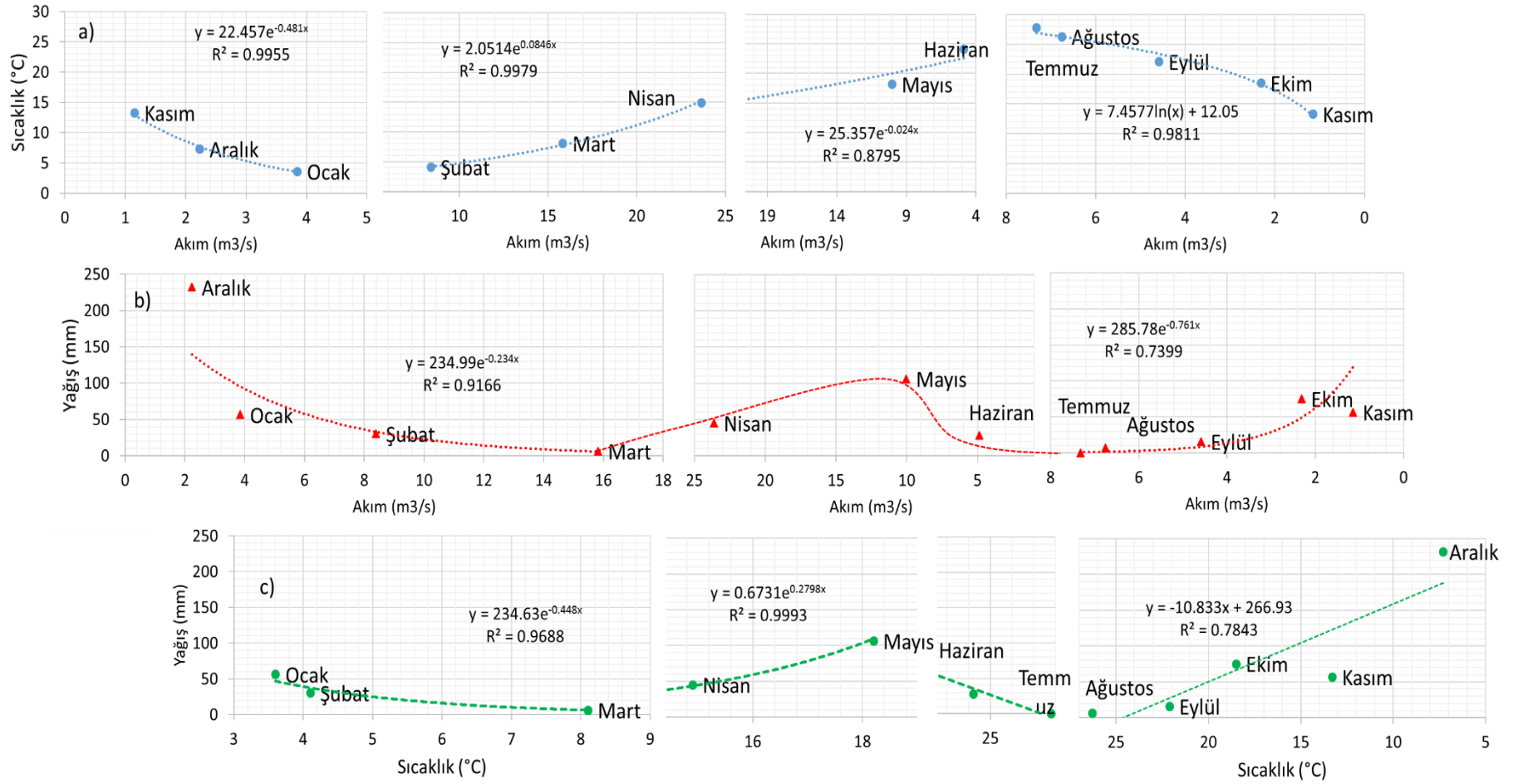
Şekil 8: Çanakkale-Ezine MGMİ 2007-2017 yılları arasındaki uzun dönem meteorolojik verilerine göre yağış ile birlikte Thornthwaite yöntemi ile belirlenmiş ET_p, ET_r değerleri

3.3. Karamenderes Nehri Akım Verileri ile Yağış ve Sıcaklık Arasındaki İlişki

Karamenderes Nehri'nin DSI'den elde edilen 2012 yılı E04A016/Karamenderes Nehri (Güllüce) AGİ akım verilerinin, aynı yıla ait Ezine (Çanakkale) MGMİ yağış ve sıcaklık verileri ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Tüm sezon boyunca meteorolojik verilerin debi-akım üzerindeki etkisi bir bütün olarak değerlendirildiğinde, yağış veya sıcaklığın tek başına debi-akım üzerinde bir etkisinin söz konusu olmadığı belirlenmiştir ($R^2=0,047$, $R^2=0,0784$) (Şekil 9). Bir sezona ait bulgular bir arada değerlendirildiğinde akım-sıcaklık ve akım-yağış arasında belirli bir ilişkinin ortaya çıkmaması, akım-sıcaklık ve akım-yağış ilişkisinin mevsimsel değişiminden ve havzadaki hidrometeorolojik döngüden kaynaklanır (Şekil 10).



Şekil 9: Karamenderes nehri akım verileri ile aynı gözlem yılına ait yağış ve sıcaklık verileri arasındaki ilişki (Rakamlar ayları gösterir).



Şekil 10: Yağış ve sıcaklığın akım verileri üzerindeki etkiye göre havzadaki hidrometeorolojik döngü (akım verileri ile aynı gözlem yılına ait yağış ve sıcaklık verilerine göre)

Yağışların düşük, sıcaklıkların yüksek olduğu kurak dönemden sonra, Ekim ayından itibaren yağışlar artmaya ve sıcaklıklar azalmaya başlar ve bu dönemde yağış ile sıcaklık arasında $R^2=0,7843$ değerinde negatif bir korelasyon gelişir (Şekil 10-c). Kurak dönem süresince oldukça düşük seviyelerde gerçekleşen yağışlar, nehrin debisinin giderek azalmasına neden olur ($R^2=0,7399$) (Şekil 10-b). Kurak dönem sonunda yağışların artmaya başladığı Ekim-Kasım ayları, debinin hala yıl içinde en düşük olduğu dönemlerdir (Şekil 10-b).

Ekim ayından itibaren başlayan ve Aralık ayında en yüksek seviyelerine ulaşan yağışlar debiyi arttırırken, yağışların debi üzerindeki belirgin etkisi Şubat ayından itibaren gerçekleşir ve debi Nisan ayında en yüksek seviyelerine ulaşır (Şekil 10-b). Artan debide, Ocak ayından itibaren Nisan aya kadar yükselen sıcaklıklar da etkilidir ($R^2=0,9979$) (Şekil 10-a). Bu dönemdeki sıcaklık-debi ilişkisi, eriyen kar sularının debiye olan katkısını gösterir. Ocak-Nisan döneminde artan sıcaklıklarla yüksek kesimlerdeki karların erimesi, dolaylı olarak Karamenderes Nehri'nin debisinin artmasına neden olur ($R^2=0,9979$) (Şekil 10-a). Yağışlı dönemden sonra (Nisan sonu) sıcaklıkların, buna bağlı evapotranspirasyonun artması ve yağışların azalması, debinin azalmasındaki etkisini Kasım ayına kadar devam ettirir.

Yıl içerisinde yağışlı dönem içinde olmasına rağmen Mart ayında yağış oldukça düşüktür (Şekil 10-b). Aralık ayında en yüksek seviyelerine ulaşan yağışın Mart sonuna kadar eksponansiyel düşüşünün, akım üzerindeki zamanla katkısının korelasyon katsayısı $R^2=0,9166$ 'dır (Şekil 10-b). Aralık ayından Mart ayına doğru yağışlar kademeli olarak azalırken, debi artmaya devam eder ve bu artış Nisan ayına kadar sürer. Yıl içinde yağışların en yüksek olduğu Mayıs ayında (106,4mm) debi düşmeye başlar ($10m^3s^{-1}$) ve debideki düşüş sıcaklığın yükseldiği kurak dönem boyunca devam eder. Mayıs ayından itibaren görülen debideki düşüş, yağışların azalmasıyla birlikte bölgedeki tarımsal sulama ve buharlaşmanın etkisinde gerçekleşir.

Ekim ayından itibaren havzada başlayan yüksek miktarlı yağışlar, havzanın merkezindeki Ezine civarında debiyi henüz yükseltmemiş olsa da Ocak dönemindeki görüntülerde Karamenderes Nehri'nin büyük kısmında (60km) su varlığına neden olur. Bunda yüksek miktarlı yağışlar nedeniyle akışa geçen yağmur suları etkilidir. Ekim ayından itibaren havzaya düşen yüksek miktardaki yağış, drenaj sistemi ile Karamenderes Nehri'nde toplandığında Ezine'de Nisan ayındaki debiyi en yüksek seviyelerine ulaştırır. Ancak debinin en yüksek olduğu Nisan dönemindeki 24 Nisan tarihli uydu görüntüsünde su varlığı 26,5 km'ye düşer. Mayıs ayındaki yağışın Nisan ayına göre iki kat artmasına rağmen debinin yarı yarıya azalmasına göre havzadaki Bayramiç-Ezine Ovası'ndaki sulama gibi kullanım, debideki önemli düşüş ve uydu görüntüsünden belirlenen nehir çizgisinin azalmasına neden olur.

3.4. Karamenderes Nehri Akım Verilerinin Uzun Yıllara ait Yağış ve Sıcaklık Verileri Arasındaki İlişkisi

DSİ'den elde edilen 2012 yılı E04A016/Kara Menderes Nehri (Güllüce) AĞİ akım verilerinin, Ezine (Çanakkale) MGMİ uzun yıllara ait yağış ve sıcaklık verileri ile elde edilen Thornthwaite Su Bütçesi bileşenleri ile olan ilişkisi değerlendirilmiştir (Şekil 11, Şekil 12).

Ezine bölgesinde yağışla sıcaklık birbirinin zıddı bir harekete ve $R^2=0,7778$ ile negatif bir korelasyona sahiptir (Şekil 11-e). Sıcaklıkla doğrudan ilişkiye sahip olan ETp'nin ($R^2=0,9545$) debi üzerinde etkisi, sıcaklıkla benzerdir (Şekil 11-a, c). Bölgede sıcaklıkların artması, akarsu debisinin artmasına dolaylı katkı sağlar. Bu katkı, Ocak-Nisan döneminde artan sıcaklıkla (Şekil 12) birlikte Kazdağları'nda karların erimesi ve Karamenderes Nehri'ni beslemesidir. Nisan ayından sonra, sıcaklıkların artmasıyla birlikte debi azalmaya başlar. Debideki azalma kurak dönemle birlikte kurak dönemden sonra Kasım ayına kadar devam eder (Şekil 12). Artan sıcaklığa karşın debideki azalma, sıcaklığın yüksek olduğu dönemde yağışın azalması ve evapotranspirasyonun etkisini gösterir. Kasım'dan itibaren sıcaklığın düşüşüne devam ettiği Ocak ayına kadar debi yavaş yavaş artar.

Yıl içerisindeki sıcaklık ve akım arasındaki ilişkide her dönemde $R^2>0,92$ şeklinde yüksek korelasyonlu ilişkiler belirlenmiştir. En yüksek ilişki yağışlı dönemde Ocak ile kurak Nisan ayı arasında $0,9833 R^2$ ile tespit edilmiştir. Sıcaklıkların artması buharlaşmayı arttırırken su kütlesinde oluşan kayıp da akışa geçen su miktarını azaltmaktadır ($R^2=0,977$).

12 aylık süreç birlikte değerlendirildiğinde yağış akım ilişkisi ters gözüktü de (Şekil 11-d) yağışların artan debiye etkileri yıl içerisinde değişir ve yüksek korelasyonlu hale gelir ($R^2=0,9464$, $R^2=0,977$). Kurak dönemden sonra Ekim'den itibaren başlayan yüksek yağış (75,3mm), Ocak ayında en yüksek seviyelerine ulaşarak (87,7mm) Mart (56,8mm) sonuna kadar devam eder ve Nisan'dan sonra azalmaya başlar. Haziran aylarında gerçekleşen yağışlar, Nisan ayından yüksektir.

Yağışların iyice azaldığı kurak dönemde en düşük yağış Ağustos ayında 8mm olarak gerçekleşir. Yağışların oldukça düşük ve sıcaklıkların yüksek olduğu kurak dönem aynı zamanda nehrin debisinin düşük olduğu dönemlerdir. Kurak dönem sonunda yağışların artmaya başladığı Ekim-Kasım aylarında debi hala en düşük seviyelerindedir. Kurak dönemin etkisinden dolayı nehir yatağındaki su miktarı oldukça azalır. Ekim'den itibaren başlayan yüksek yağışlar, Aralık'tan itibaren debiyi yavaş yavaş arttırır ($R^2=0,977$).

Kış dönemindeki yağışların bir kısmı kar şeklindedir. Yağışların akım üzerindeki belirgin etkisi Şubat ayından itibaren gerçekleşir ve bu etki Nisan sonuna kadar devam eder. Nisan sonuna kadar yükselen debide, Ekim'den itibaren başlayan yüksek yağışlar etkili olmakla birlikte, Ocak-Nisan döneminde artan sıcaklıkta kar sularının erimesi ve nehrin beslemesi de etkilidir. Ocak-Nisan dönemindeki sıcaklık ile debi arasındaki yüksek ilişki ($R^2=0,9833$), eriyen kar suyunun debi üzerindeki etkisini gösterir. Nisan'dan sonra azalmaya başlayan yağış, Haziran ayında ani şekilde artar ve bu artış Temmuz debisinin kısmi artışına neden olur.

Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarındaki oldukça düşük seviyelerde gerçekleşen yağışlar, nehir üzerindeki etkisini Kasım sonuna kadar gösterir (Şekil 12) ve bu süreçte debi $1,2\text{m}^3\text{s}^{-1}$ 'ye kadar düşer (bkz. Şekil 5). Ekim'den itibaren artmaya başlayan yağışlar, yeraltına süzülme ve tekrar yeryüzüne çıkarak yüzeyel akışa geçme süreci kadar bir gecikme ile nehrin debisini tekrar arttırmaya başlarlar ($R^2=0,977$).

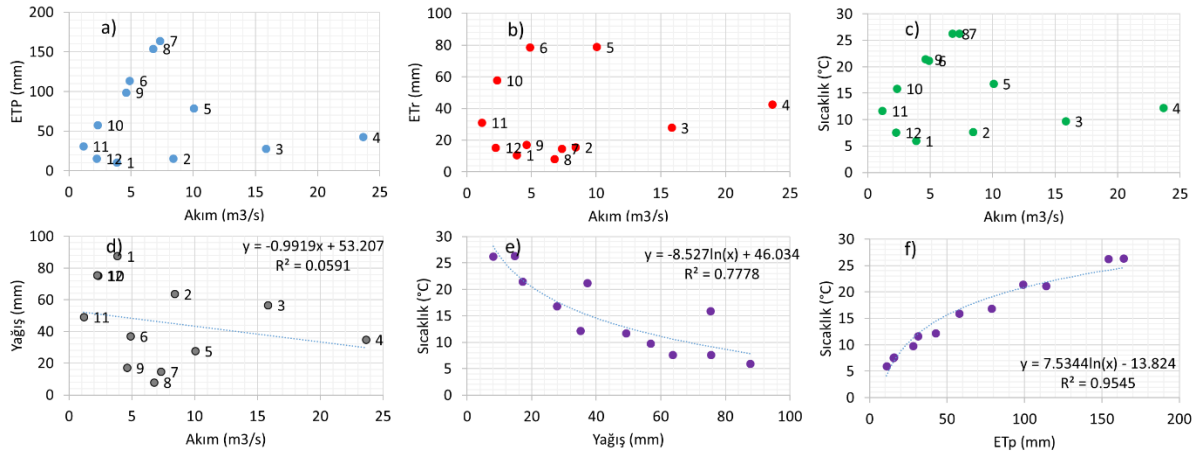
Kurak dönem ve sonrasında debinin sürekli düşük olmasında yağışların giderek azalması, öncesinde karların tamamen erimiş olması, yüksek evapotranspirasyon ve tarımsal sulama faaliyetleri etkilidir.

Havzada uzun yıllara ait verilere göre bir yıl içerisinde;

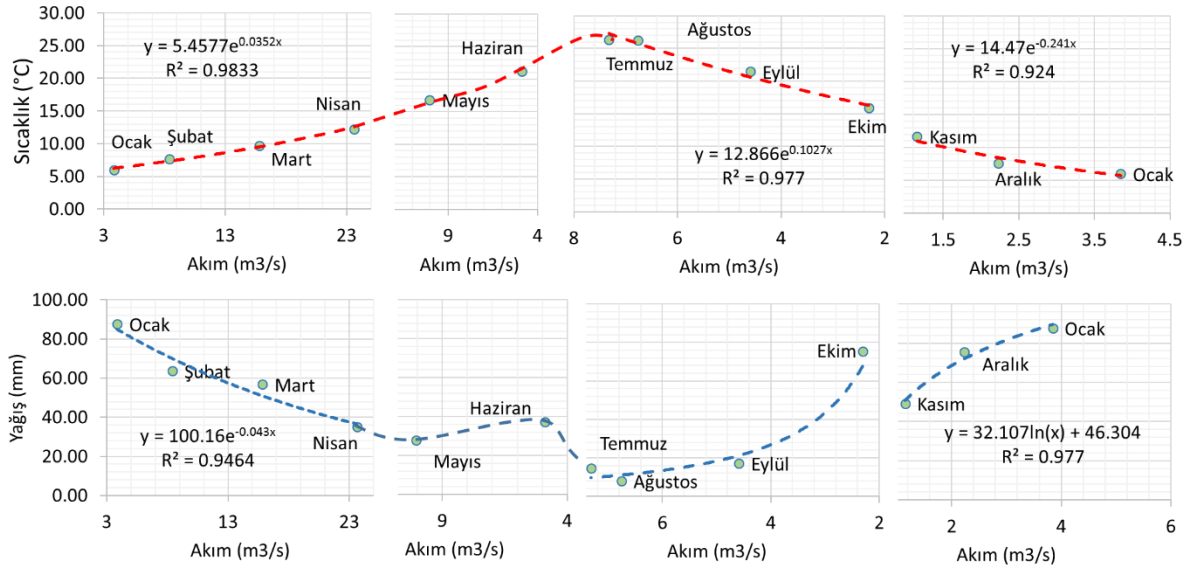
- Kurak dönemden sonra yüksek miktartlı yağışların başlaması ile birlikte kar yağışı, karların erimesi, eriyen kar suyunun ve yüksek yağışın yeraltına süzülmesi ve tekrar yeryüzüne çıkması ile debinin artması,
- Yağışlı dönemden sonra sıcaklıkların yükselmesi ile birlikte yüksek evapotranspirasyon, yağışların azalması ve sulama kaynaklı tüketimin etkisi ile debide önemli düşüşün gerçekleştiği,

bir döngü söz konusudur.

Akım-yağış ve akım-sıcaklık arasındaki korelasyon katsayıları, debinin artış ve azalışında sadece yağmur, sıcaklık ya da sadece eriyen kar sularının tek başına etkin olmadığını, debi üzerinde birden fazla meteorolojik olayın etkin olduğunu gösterir.



Şekil 11: Karamenderes nehri akım verileri ile Thornthwaite Su Bütçesi Bileşenleri ile uzun yıllar aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri arasındaki ilişki



Şekil 12: Yağış ve sıcaklığın uzun yıllar aylık verilerinin akım verileri üzerindeki etkisine göre havzadaki hidro-meteorolojik döngü (akım verileri ile aynı gözlem yılına ait yağış ve sıcaklık verilerine göre)

4. Sonuçlar

Yağışlı ve kurak dönem uydu görüntüsü analizlerinde nehir yatağında belirlenen su varlığı, Karamenderes nehrinin sürekli olduğunu gösterir. Yağışlı dönemden kurak döneme geçişte uydu görüntüsünden belirlenebilen nehir bölütleri azalır. Su belirlenebilen nehir çizgisi 60km'den 17,9km'ye düşer. Uydu görüntüleri ile incelenen iki hidrojeolojik dönemde debinin yaklaşık 3 katı oranında azalması ($23,6\text{m}^3\text{s}^{-1}/7,2\text{m}^3\text{s}^{-1}$), nehir yatağındaki suyun yanal alanını da azaltmakta ve belirlenebilir mekânsal çözünürlüğün altına düşürmektedir.

Göllere kıyasla kapladıkları alanlarının dar olmaları nedeniyle değişim ve kuraklık analizi gibi çalışmalarda uydu görüntüleri ile nehirlerde su varlığının tespiti tüm akım yolunun tamamı için mümkün olmayabilir. Hidrometeorolojik çalışmalarda dar nehir yataklarındaki su varlığının tespitinde kullanılan uydu görüntülerinin mekânsal, spektral ve zamansal çözünürlüğü önemli hale gelir. Dar nehir yatağına sahip Karamenderes'te aynı algılayıcıdan algılanmış uydu görüntüsü ile belirlenebilen nehir çizgisinin uzunluğunun mevsimsel olarak değişmesinde havzanın hidro meteorolojik koşulları etkindir. Diğer taraftan kuraklık olan dönemlerde tarımsal sulama amaçlı suyun nehirlerden fazlaca çekilmesi debinin düşmesine neden olmakta ve su varlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Uydu görüntüleri ile yağışlı-kurak dönemde belirlenen nehir çizgisi değişimleri de belirlenebilmektedir. Literatürde nehir yataklarının belirlenmesinde, SWIR bant içermeleri ve geniş alanları kapsamaları nedeniyle MODIS (Yang vd. 2018), ASTER (Zhou vd. 2015), Landsat (Simon vd. 2018) ve Chris/Proba (Önder 2016) gibi daha pek çok uydudan uzaktan algılama verisinin kullanımı, uzun yıllardır süregelen bir uygulamadır. Sentinel2-A uydu görüntüsü yeni bir veri olması nedeniyle su çalışmalarında yeni denenilen bir uzaktan algılama verisidir (Du vd. 2016). Bu çalışma Sentinel2-A ile gerçekleştirilen ilk nehir-su çalışmalarından biridir. Uzaktan algılama yöntemi ile elde edilen nehir yatağı mekânsal verilerindeki mevsimsel farklılık, Thornthwaite sonuçları ile uyumludur ve Sentinel2-A uydu görüntüsünün dar akarsuların belirlenmesinde başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Yağışlı-kurak dönem geçişinde sıcaklıkların arttığı nehir havzasında, yağışlar azalır. Kazdağları, Kayalı Dağı ve Ağrı Dağı'ndan gelen sularla beslenen Karamenderes'in besleniminde havzaya düşen yağmur suları etkili olmakla birlikte, akışa geçen kar suyu büyük öneme sahiptir. Azalan yağışlar, artan sulama ve evapotranspirasyon debinin düşmesine neden olur.

Karamenderes Havzası'nda bir hidro meteorolojik döngü;

- Yüksek miktarda yağışlar ile birlikte kar yağışı, eriyen kar suyu ve yüksek yağışın yeraltına süzülmesi ve tekrar yeryüzüne çıkmasına bağlı olarak nehrin debisinin artmasını,
- Sıcaklıkların yükselmesi ile birlikte yağışların azalması, yüksek evapotranspirasyon ve tarımsal sulama vb. kullanım ile debinin düşmesini

kapsayan ve birbirini tamamlayan iki farklı dönemden meydana gelir.

Denizden gelen nemli havanın havzaya girmesi ve sonrasında yamaçlarda yükselerek orografik yağışa dönüşmesi en beklenen meteorolojik olaydır. Bu olay Karamenderes Nehri'nin yüksek kesimlerden gelen sular ile asıl besleniminin oluşmasına katkı sağlar.

Teşekkür

Yazarlar meteorolojik verilerin paylaşımından dolayı Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, Karamenderes Havza'sındaki akarsuların akım verilerinin paylaşımından dolayı Türkiye Cumhuriyeti Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne, Sentinel2-A uydu görüntülerinin paylaşımından dolayı Avrupa Uzay Ajansı Kurumu'na (ESA), makalenin değerlendirilmesi sürecindeki katkılarından dolayı dergi editör ve hakemlerine teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akar R., Maktav D., Günel N., (2012), *Göl Yüzeyi Değişimlerinin Belirlenmesinde Farklı Dijital Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanılması*, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 5(4), 35-51.
- Akbulak C., (2010), *Kara Menderes Havzası'nın (Çanakkale) nüfus özellikleri*, Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, 7(2), 577-610.
- Akbulak C., Tatlı H., Cengiz T., (2011), *Analitik Hiyerarşi Süreci ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Kara Menderes Havzası'nda Arazi Uygunluk Analizinin Yapılması*, TÜBİTAK 108K550 Proje Raporu, Ankara, Türkiye.
- Akbulak C., (2017), *Kırsal Kalkınma Potansiyeli Bakımından Kara Menderes Havzası'nın (Çanakkale) Coğrafi Özellikleri*, Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5(40), 14-38.
- Anderson D.P., Nordheim E.V., Boesch C., (2006), *Environmental factors influencing the seasonality of estrus in chimpanzees*, Primates, 47(1), 43-50.
- Aydoğdu M., Mancı A., Aydoğdu M., (2015), *Tarımsal Su Yönetiminde Değişimler; Sulama Birlikleri, Fiyatlandırma ve Özelleştirme Süreci*, Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 14(52), 146-160.
- Bond N.R., Lake P.S., Arthington A.H., (2008), *The impacts of drought on freshwater ecosystems: an Australian perspective*, Hydrobiologia, 600, 3-16.
- Cowell B.C., Remley A.H., Lynch D.M., (2004), *Seasonal changes in the distribution and abundance of benthic invertebrates in six headwater streams in central Florida*, Hydrobiologia, 522(1-3), 99-115.
- ÇÇŞİM, (2016), Çanakkale İli 2016 Yılı İl Çevre Durum Raporu, http://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Canakkale_icdr_2016.pdf, [Erişim 18 Şubat 2018].

- Çetinkaya O., Sümer A., (2013), *Karamenderes Havzası Topraklarının Yarıyıllık Mikro Besin Elementlerinin (Fe, Cu, Zn ve Mn) Durumu*, ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 2013:1(1), 57-65.
- Demir Y., Doğan Demir A., Meral R., Alaaddin Y., (2015), *Bingöl Ovası İklim Tipinin Thornthwaite ve Erinc İndisine Göre Belirlenmesi*, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 2(4): 332-337.
- Drusch M., Del Bello U., Carlier S., Colim O., Fernandez V., Gascon F., Hoersch B., Isola C., Laberinti P., Martimort P., Meygret A., Spoto F., Sy O., Marchese F., Bargellini P., (2012), *Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services*, Remote sensing of Environment, 120, 25-36.
- DSİ, (2016), Karamenderes Çayı 1. Kısım Taşkın Koruma Çalışmaları Hızla Devam Ediyor, <http://www.dsi.gov.tr/haberler/2016/06/03/karamenderes-%C3%A7ay%C4%B1-1.-k%C4%B1s%C4%B1mta%C5%9Fk%C4%B1n-koruma-%C3%A7al%C4%B1C5%9Fmalar%C4%B1-h%C4%B1zla-devam-ediyor>, [Erişim 18 Şubat 2018].
- DSİ, (2018a), İşletmedeki Tesisler, <http://bolge25.dsi.gov.tr/isletmedekitesisler/>, [Erişim 18 Şubat 2018].
- DSİ, (2018b), Gözlem İstasyonları Yönetim Sistemi, <http://rasatlar.dsi.gov.tr>, [Erişim 18 Şubat 2018].
- Du Y., Zhang Y., Ling F., Wang Q., Li W., Li X., (2016), *Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band*, Remote Sensing, 8(4), 354.
- Eİİİ, (2007), *Kara Menderes Çayı Aylık Akım Ortalamaları*, Gözlem Raporları, E.İ.E. İdaresi, Ankara.
- Gorjizade A., Akhondali A. M., Zarei H., Seyyed Kaboli H., (2014), *Evaluation of Eight Evaporation Estimation Methods in a Semi-arid Region (Dez reservoir, Iran)*, International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 2(5), 1823-1836.
- Güre, M., (2009), *Avrupa Birliği CORINE arazi kullanımı sınıflandırma sistemi ve çanakkale ili uygulaması*, Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, Çanakkale.
- Gürsoy Ö., Birdal A., Özyonar F., Kasaka E., (2015), *Determining and monitoring the water quality of Kizilirmak River of Turkey: First results*, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(7), 1469.
- Karabulut M., (2015), *Farklı Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Göksu Deltası Göllerinde Zamansal Değişimlerin İncelenmesi*, Journal of International Social Research, 8(37), 347-363.
- Karaman M., Uça Avcı Z.D., Budakoğlu M., Taşdelen S., Özelkan E., Papila İ., (2011a), *Flamingoların Beslenim Alanlarındaki Tahribatın Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Acıgöl (Denizli) Örneği: II*, II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran, Kırşehir.
- Karaman M., Uça Avcı Z.D., Budakoğlu M., Taşdelen S., Özelkan E., Papila İ., (2011b), *Acıgöl'ün (Denizli) Uzaktan Algılama Yöntemleri ve CBS Kullanılarak Rezervinin Hesaplanması*, II. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, 22-24 Haziran, Kırşehir.
- Karaman M., Uça Avcı Z.D., Papila İ., Özelkan E., (2011c), *The analysis of destruction in flamingos habitat of Acıgöl Wetland*, 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), ss.10-15.
- Karaman M., Budakoglu M., Avcı Z.D.U., Ozelkan E., Bulbul A., Civas M., Tasdelen S., (2015), *Determination of seasonal changes in wetlands using CHRIS/Proba Hyperspectral satellite images: A case study from Acıgöl (Denizli), Turkey*, Journal of environmental biology, 36(1), 73-83.
- Karaman M., (2017), *Hipersalin Acıgöl'ün (Denizli) hidrojeokimyasal özellikleri ve uzaktan algılama yöntemleri ile değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Karsli F., Guneroglu A., Dihkan M., (2011), *Spatio-temporal shoreline changes along the southern Black Sea coastal zone*, Journal of Applied Remote Sensing, 5(1), 053545, 1-13.
- Klemas V., Pieterse A. (2015), *Using remote sensing to map and monitor water resources in arid and semiarid regions*, Advances in Watershed Science and Assessment'in, Springer, ss. 33-60.
- Koçman A., (1993), *Türkiye iklimi*, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir.
- Li X.M., Huo Z.L., Xu B., (2017), *Optimal Allocation Method of Irrigation Water from River and Lake by Considering the Field Water Cycle Process*, Water, 9(12), 911, 1-17.
- Liu W., Wang L., Zhou J., Li Y., Sun F., Fu G., Li X., Sang Y.-F., (2016), *A worldwide evaluation of basin-scale evapotranspiration estimates against the water balance method*, Journal of Hydrology, 538, 82-95.
- Lu N., Chen S., Wilske B., Sun G., Chen J., (2011), *Evapotranspiration and soil water relationships in a range of disturbed and undisturbed ecosystems in the semi-arid Inner Mongolia, China*, Journal of Plant Ecology, 4(1-2), 49-60.
- McFeeters S.K., (1996), *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*, International journal of remote sensing, 17(7), 1425-1432.
- McKean J., Nagel D., Tonina D., Bailey P., Wright C. W., Bohn C., Nayegandhi A., (2009), *Remote sensing of channels and riparian zones with a narrow-beam aquatic-terrestrial LIDAR*, Remote Sensing, 1(4), 1065-1096.
- Ozelkan E., Avcı Z.D.U., Karaman M., (2011), *Investigation on Draining of the Lake Amik and the Related Environmental Changes, by Using Remote Sensing Technology*, Remote Sensing and Geoinformation not only for Scientific Cooperation. Proceedings of the 31st EARSeL Symposium Prague, 30 May-2 June 2011, ss.20-29.
- Ozelkan E., Chen G., Ustundag B.B., (2016), *Multiscale object-based drought monitoring and comparison in rainfed and irrigated agriculture from Landsat 8 OLI imagery*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 44, 159-170.
- Önder G., (2016), *Determining the Most Appropriate Classification Methods for Water Quality*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 44(2016), 022038, 1-6.
- Pereira A.R., Pruitt W.O., (2004), *Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration*, Agricultural Water Management, 66(3), 251-257.
- Rango A., (1994), *Application of Remote-Sensing Methods to Hydrology and Water-Resources*, Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques, 39(4), 309-320.
- Ritchie J.C., Zimba P.V., Everitt J.H., (2003), *Remote sensing techniques to assess water quality*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(6), 695-704.
- Sensoy S., Demircan M., Ulupınar U., Balta İ., (2008), *Türkiye İklimi*, https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/13_turkiye_iklimi.pdf, [Erişim 18 Şubat 2018].
- Simon J.D., Gregory H.S.S., James L.B., Andrew P.N., Jon M.B., Mark E.V., Maminul H. S., Steven G., (2018), *The planform mobility of river channel confluences: Insights from analysis of remotely sensed imagery*, Earth-Science Reviews, 176, 1-18.

- TBMM, (1977), Çanakkale İli'nde projesi yapılan barajlar, https://www.tbmm.gov.tr/tutanaklar/TUTANAK/MM___/d04/c023/b042/mm__040230420514.pdf, [Erişim 18 Şubat 2018].
- Thornthwaite C.W., (1948), *An approach toward a rational classification of climate*, Geographical review, 38(1), 55-94.
- Uca Avcı Z.D., Karaman M., Özelkan E., Kumral M., Budakoglu M., (2014), *OBIA based hierarchical image classification for industrial lake water*, Science of the Total Environment, 487, 565-573.
- URL-1, (2018), GDAL - Geospatial Data Abstraction Library, Sentinel-2 Products, http://www.gdal.org/frmt_sentinel2.html, [Erişim 18 Şubat 2018].
- URL-2, (2018), Sentinel-2A Satellite Sensor (10m), <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/>, [Erişim 18 Şubat 2018].
- Verdin J., (1996), *Remote sensing of ephemeral water bodies in western Niger*, International journal of remote sensing, 17(4), 733-748.
- Verpoorter C., Kutser T., Tranvik L., (2012), *Automated mapping of water bodies using Landsat multispectral data*, Limnology and Oceanography-Methods, 10, 1037-1050.
- Wan L., Tong J., Zhou J.X., Guo H.Y., Cui M., Liu Y.G., Ning L.K., Tang F.K., (2016), *Variation of Vegetation Ecological Water Consumption and Its Response to Vegetation Coverage Changes in the Rocky Desertification Areas in South China*, PLoS ONE, 11(10):e0163566, 1-18.
- Wang Y., Wang W., Peng S., Jiang G., Wu J., (2016), *The relationship between irrigation water demand and drought in the Yellow River basin*, Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 374, 129-136.
- Wu J.L., Ho C.R., Huang C.C., Srivastav A.L., Tzeng J.H., Lin Y.T., (2014), *Hyperspectral Sensing for Turbid Water Quality Monitoring in Freshwater Rivers: Empirical Relationship between Reflectance and Turbidity and Total Solids*, Sensors, 14(12), 22670-22688.
- Xu H., (2006), *Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery*, International journal of remote sensing, 27(14), 3025-3033.
- Yang P., Xia J., Zhan C. S., Mo X. G., Chen X. J., Hu S., Chen J., (2018), *Estimation of water consumption for ecosystems based on Vegetation Interfaces Processes Model: A case study of the Aksu River Basin, Northwest China*, Science of the Total Environment, 613, 186-195.
- Ye H. C., Yang D. Q., Zhang T. J., Zhang X. B., Ladochy S. ve Ellison M., (2004), *The impact of climatic conditions on seasonal river discharges in Siberia*, Journal of Hydrometeorology, 5(2), 286-295.
- Yildiz M.Z., Deniz O., (2005), *Kapalı Havza Göllerinde Seviye Değişimlerinin Kıyı Yerleşmelerine Etkisi: Van Gölü Örneği*, Journal of Social Science, 15(1), 15-31.
- Zhou J., Li M.S., Liu S.M., Jia Z.Z., Ma Y.F., (2015), *Validation and Performance Evaluations of Methods for Estimating Land Surface Temperatures from ASTER Data in the Middle Reach of the Heihe River Basin, Northwest China*, Remote Sensing, 7(6), 7126-7156.