

Modifiye Yaklaşımların Evapotranspirasyon Tahminlerine Etkisi: Van Örneği

Ali UZUNLAR¹ ORCID 0000-0002-3602-3779

Arif ÖZ¹ ORCID 0000-0001-5504-4295

Muhammet Ömer DİŞ^{*1} ORCID 0000-0002-3347-5112

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 31.01.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: UZUNLAR, A., ÖZ, A., DİŞ, M.Ö., (2022). Modifiye Yaklaşımların Evapotranspirasyon Tahminlerine Etkisi: Van Örneği. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 973-988.

Öz

Suyun öneminin tartışılmaz olduğu gerçeğini göz önüne alarak, hidrolojik çevrimin ve onun en karmaşık bileşenlerinden biri olan evapotranspirasyon (ET) kaybının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Toprakta ve açık su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla kaybedilen suyun birleşimi olarak tanımlanan ET değerini belirlemek amacıyla birçok ampirik yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemler üzerinde modifiye çalışmaları yapılmıştır. Dünyada yaygın olarak bilinen FAO-Penman-Monteith (FAO-PM) denklemi referans alınarak Hargreaves-Samani (HS) ve Blaney-Criddle (BC) denklemleri ile bu iki denklemin modifiye çalışmaları kullanılarak Van ilinde 11 istasyona ait 6 yıllık (2015-2020) günlük meteorolojik veriler ile ET hesabı yapılmış ve modifiye çalışmaların etkileri araştırılmıştır. Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC) ve Ortalama Bağlı Hata (OBH) performans değerlendirme indislerinin kullanıldığı çalışmada, tüm sonuçlar incelendiğinde HS ve Modifiye HS (MHS) denklemlerinin iyi sonuçlar verdiği izlenmiştir. HS denklemi içerisindeki sabit değerler üzerinden yapılan modifiye çalışmaları ile oluşan MHS denkleminin, bazı istasyonlarda HS denkleminde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yükseklik ile ET arasındaki ilişki dikkate alınarak HS ve BC denklemlerinin yükseklik verisini kullanan modifiye çalışmaları da araştırmaya dâhil edilmiştir. Rakım bazlı modifiye edilen HS denklemi 6 denklem arasında ortalama 0,88 korelasyon değeri ile en kötü sonuçlara sahip denklem olmuştur. BC denklemi üzerinde yapılan modifiye çalışmalar BC denklemine kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Evapotranspirasyon, FAO-Penman-monteith, Hargreaves-samani, Blaney-criddle

* Sorumlu yazar (Corresponding author): Muhammet Ömer DİŞ, momerdis@ksu.edu.tr

The Effect of Modified Approaches on Evapotranspiration Estimates: Case Study over Van

Abstract

Considering the fact that the importance of water is indisputable, the hydrological cycle and its most complex components, evapotranspiration (ET) loss should be well defined. In order to determine the ET value, which is defined as the combination of water lost from soil and open water surfaces through evaporation and transpiration from plants, many empirical methods have been developed and modified studies have been carried out on these methods. By taking the widely known FAO-Penman-Monteith (FAO-PM) equation as reference, the Hargreaves-Samani (HS) and Blaney-Criddle (BC) equations and the modified studies of these two equations, 6 years (2015-2020) of 11 stations in Van province ET calculations were made with daily meteorological data and the effects of modified studies were investigated. In the study in which Pearson Correlation Coefficient (PCC) and Mean Relative Error (MRE) performance evaluation indices were used, it was observed that HS and Modified HS (MHS) equations gave acceptable results when all the results were examined. At some stations, it has been found that the MHS equation, which is formed by the modification studies made over the constant values in the HS equation, gives better results than the HS equation. Modified evaluations of the HS and BC equations utilizing altitude data were also included in the study to consider the relationship between altitude and ET. Altitude-based modified HS equation was the equation with the lowest PCC results with an average correlation value of 0.88 among the 6 equations. Modified studies on the BC equation gave better results compared to the BC equation.

Keywords: Evapotranspiration, FAO-Penman-monteith, Hargreaves-samani, Blaney-criddle

1. GİRİŞ

Toprakta ve açık su yüzeylerinden buharlaşma (evaporasyon) ile bitkilerden terleme (transpirasyon) yoluyla kaybedilen suyun birleşimi olarak tanımlanan evapotranspirasyon (ET), çok çeşitli atmosferik ve iklimsel parametrelerle ilişkili olduğundan hidrolojik çevrimin en karmaşık bileşenlerinden biridir. Suyun öneminin tartışılmaz olduğu gerçeğini göz önüne alarak iklimsel değişkenliği, suyun kontrolü, tarımsal sulama suyunun belirlenmesi, taşkın kontrolleri ve su hazinesi gibi birçok hesaplama ve değerlendirmelerin daha hassas yapılabilmesi için hidrolojik çevrimin ve dolayısıyla ET kaybının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Evapotranspirasyon, hidrolojik döngü içinde atmosfer ve toprak yüzeyi arasında mühim bir bağ olarak kabul edilebileceğinden, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkisinin incelenmesinde evapotranspirasyonun değerlendirilmesi büyük önem arz eder [1].

Toprakta yeterli nem miktarı mevcut olduğunda oluşabilecek maksimum evapotranspirasyona Potansiyel EvapoTranspirasyon (PET), herhangi bir koşulda oluşacak evapotranspirasyona Gerçek (aktüel) EvapoTranspirasyon (GET) denmektedir. Evapotranspirasyonun hesaplanmasına yönelik dört ana yaklaşım geliştirilmiştir: su bütçesi yöntemleri, kütle transferi yöntemleri, enerji dengesi yöntemleri ve ampirik yöntemler [2].

Bitki suyu tüketimi, referans ürün evapotranspirasyonu olarak da isimlendirilen ET'nin doğrudan ölçümü için su bütçesi yöntemlerine dayanan lizimetre ve pan buharlaşma tavaları gibi ölçüm aletleri kullanılmaktadır. Yağış ve nehir akışı gibi ölçümlerine kıyasla çok daha zor ve maliyetli olan ET'nin ölçülmesi, genellikle pratik değildir. Bu nedenle, hidrologlar daha kolay ölçülebilen verilere dayanarak, ET tahminlerini sağlayan bir dizi yöntem geliştirmişlerdir. Bitki su ihtiyacını belirlemek için lizimetre ölçüm yönteminin zor ve maliyetli olduğundan, alternatif

ampirik yaklaşımların uygulanabilirliği birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir [3-6].

ET'nin hesaplanması için yıllarca süren çalışmalara ve iklimsel verilere dayanarak geliştirilen ampirik yöntemler sıcaklığa dayalı, radyasyona dayalı ve enerji dengesi ve kütle transferi yöntemlerinin kombinasyonuna dayalı yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, Food and Agriculture Organization) tarafından tüm dünyada kullanılması için tavsiye edilen kombinasyona dayalı en önemli denklemlerden biri Penman-Monteith (PM) denklemidir. 1998 yılında yapılan çalışmada, yeterince sulanan ve aktif olarak büyüyen tek tip yükseklikte referans kabul edilen çim mahsulü üzerinde söz konusu denklemi geliştirilerek, FAO-56 PM olarak bilinen haliyle önerilmiştir [7].

Dünyada yaygın olarak kullanılan diğer ampirik denklemlerden Thornthwaite, Romanenko, Blaney-Criddle (BC), Kharrufa, Schendel ve Hargreaves-Samani (HS) denklemleri sıcaklık temelli; Makking, Priestley-Taylor ve Jensen-Haise denklemleri ise radyasyon temelli olarak sınıflandırılabilir. Az sayıda istasyon ve ölçülen iklimsel verilerin kısıtlı olması sebebiyle daha az sayıda veriye ihtiyaç duyan ve kullanımı kolay olan bu denklemlerin ET tahmininde kullanılabilirliği birçok araştırmacının konusu olmuştur. Örneğin, Şarlak ve Bağçacı, Konya Kapalı Havzası'nda yapılan çalışmasında, BC, Jensen-Haise, Makking, Turc, Priestley-Taylor ve HS gibi altı ampirik PET performanslarını beş istasyondan alınan günlük meteorolojik veriler kullanılarak FAO-56 PM yöntemi ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, günlük meteorolojik gözlem verilerinin eksikliği durumunda, daha az veriye ihtiyaç duyan Turc, HS ve Priestley-Taylor yöntemlerinin FAO-56 PM'ye alternatif olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir [8]. Diğer bir örnekte, Batı Bengal Nadia bölgesindeki ET değerlerinin tahmini için sıcaklık temelli BC, Thornthwaite, HS yöntemleri ve radyasyon temelli Turc, Priestley-Taylor ve FAO-24 radyasyon modeli yöntemleri kullanılarak FAO-Penman-Monteith denklemi ile karşılaştırılmıştır. 10 yıllık günlük istasyon verileri

kullanılan çalışmada, Turc yöntemi ile hesaplanan ET değerlerinin FAO-Penman-Monteith denklemi ile hesaplanan değerlere en yakın, Thornthwaite denklemiyle hesaplanan ET değerlerinin ise en uzak sonuçlar verdiği belirtilmiştir [9]. Diğer taraftan, sadece sıcaklık verisine ihtiyaç duyan basitliklerinin yanında başarılı sonuçlar da üreten BC ve HS denklemleri yeterli verilerin bulunmadığı durumlarda ET tahmini için kullanılabilmesi de belirtilmektedir [7,10]. Adana bölgesindeki bitki büyüme mevsimi süresince yapılan bir başka çalışmada, 30 yıllık iklim verisi kullanılarak A sınıfı pan buharlaşma tavaısındaki günlük buharlaşma miktarlarını elde etmek için sıcaklığa, radyasyona, kütle transferine ve kombinasyona dayalı on farklı ampirik denklem kullanılmıştır. Ortalama karekök hatası, ortalama sapma hatası ve bağıl hata gibi istatistiksel performans değerlendirilmeleri yapılan çalışmada, Çukurova için en başarılı sonuçlar veren Kohler-Nordenson-Fox (KNF) ve ona en yakın Hanson-Rouze denklemi iken, en başarısız olan denklemin ise Hamon olduğu belirtilmiştir [11]. Çek Cumhuriyeti'nin kuzeyinde yer alan Most gölündeki buharlaşmayı hesap etmek için buharlaşma ve sıcaklık verilerinin regresyonuyla elde edilen üç farklı eşitliğin yanında Kharrufa, HS, Schendel ve Priestley-Taylor ampirik yaklaşımları kullanılarak FAO-PM denklemine kıyasla performansları kıyaslanmıştır. Göldeki buharlaşmanın tahmininde optimum değerlerin HS ile elde edildiği ifade edilmiştir [12].

Belirli iklimsel özelliklere ve toprak yapısına sahip bölgelerde yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan ampirik denklemlerin, her ne kadar bazı varsayımlar yapılarak dünya genelinde farklı bölgelerde kullanılsa da benzer başarılı sonuçların alınmayacağı göz önünde bulundurulduğunda; söz konusu denklemler üzerinde gerek yerel kalibrasyon çalışmaları gerekse denklem üzerinde iyileştirme (modifikasyon) çalışmaları yapılmıştır. Örneğin, Pakistan'ın yarı kurak iklim bölgelerinde bulunan üç istasyondan alınan verilerle Modifiye BC ve HS ile aylık ET değerleri hesaplanarak, FAO-56 PM ile elde edilen ET değerleri karşılaştırılmıştır. Her iki yaklaşım da ET değerlerini FAO-56 PM denklemine kıyasla daha fazla hesaplarken, HS ile elde edilen değerlerin

modifiye BC denkleminde göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [13]. Kahramanmaraş–Gaziantep arasında yer alan Ballıkaya Havzasındaki buharlaşma kayıplarını tahmin etmek için yapılan bir başka çalışmada, sıcaklık bazlı Kharrufa, BC ve modifiye BC yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen değerlerin meteorolojik istasyonlardan alınan verilerle kıyaslandığı çalışmada, BC ve Modifiye BC yöntemlerinin yaz aylarındaki buharlaşma miktarlarını eksik tahmin ederken; Kharrufa yönteminin ise referans değerlerine daha yakın olduğu ifade edilmiştir [14]. Türkiye'nin batısında yer alan Gediz Havzasının farklı nehir kollarında PET tahmin yöntemlerinin test edilmesi ve daha az meteorolojik veri kullanan alternatif denklemlerinin belirlenmesinin amaçlandığı bir başka çalışmada, yirmi bir farklı eşitlik kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, radyasyona dayalı McGuinness-Bordne denkleminin en tutarlı performansı gösteren yaklaşım olduğu, ona en yakın sonuçların ise sıcaklığa dayalı Hamon yöntemi ile elde edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmada, Hamon denklemi üzerindeki sabit değerlerin yeniden kalibrasyonu sonucunda daha başarılı performans sağladığı da ifade edilmiştir [15].

1985 yılında son halini alan HS eşitliği, modifikasyon çalışmaları arasında en popüler olan denklemlerden biridir. Yapılan modifiye çalışmalarının çoğu eşitlik içerisindeki sabit değerler üzerinde yapılan değişiklikleri kapsıyor olsa da eşitliğe başka iklimsel verileri dâhil eden modifiye çalışmaları da mevcuttur. Örneğin, Türkiye genelindeki 275 istasyona ait meteorolojik veriler kullanılarak yedi coğrafi bölgede yapılan kapsamlı çalışmada, FAO-PM denklemini referans olarak HS denklemindeki üç farklı sabitin en uygun değerleri araştırılmıştır. 2000 ile 2012 yılları arasında denklemindeki söz konusu sabitlerin değişimiyle oluşan modifiye çalışmalarını bir tablo halinde sunan çalışmada, sabitlerin değişimiyle yedi farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Ayrıca denkleme rüzgâr hızını açıklayıcı değişken olarak hesaba katan iki farklı kombinasyon eşitliği de çalışma kapsamına dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, rüzgâr hızını hesaba katan aynı

zamanda denklemin üç farklı sabitinin de modifiye edildiği kombinasyonun tüm bölgeler için en başarılı denklem olduğu belirtilmiştir. Her bir bölge için ayrı ayrı değerlendirmede bulunan çalışmada, ikinci olarak en başarılı olan kombinasyonun ise kıyı bölgeleri için orijinal HS denkleminde rüzgâr hızını katan kombinasyon olduğu gözlemlenmiştir [16]. Bir başka çalışmada ise Jensen-Haise (JH) yönteminin Karadeniz bölgesi koşullarındaki aylık ortalama referans ET tahminlerinde kullanılabilirliği ve yöre iklim koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonunun (JH_modifiye) yapılması amaçlanmıştır. De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre Karadeniz bölgesinin iklim sınıflandırmasının yapıldığı çalışmada, JH denkleminin tüm iklim sınıflarında kötü performans sergilediği belirtilirken, FAO-PM denklemi için yeterli veri bulunmaması durumunda JH_modifiye eşitliğinin daha iyi bir alternatif olduğu ve nemli koşullarda referans ET tahminlerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır [17].

Gerek ölçümlerin yüksek maliyetleri, sürdürülebilirliği ve zorluklarından kaynaklı gerekse kısıtlı iklimsel parametrelerden kaynaklı olarak ET kayıplarının daha hassas ve kolay bir şekilde belirlenmesi için geliştirilen alternatif ampirik yaklaşımlar ve bu yaklaşımların modifikasyon çalışmalarının kullanılabilirliği büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda FAO-PM değerleri referans alınarak Van ili özelinde 11 istasyona ait altı yıllık (2015-2020) iklimsel verilerle BC ve HS denklemleri ile bunların yaygın olarak kullanılan modifiye yaklaşımlarının ET tahmini üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada ayrıca farklı rakıma sahip 11 istasyonda sıcaklığın yükseklikle ilişkili olduğu dikkate alınarak BC ve HS denklemlerinin rakımla ilgili modifiye yaklaşımları da irdelenmiştir.

2. METODOLOJİ

2.1. Çalışma Alanı

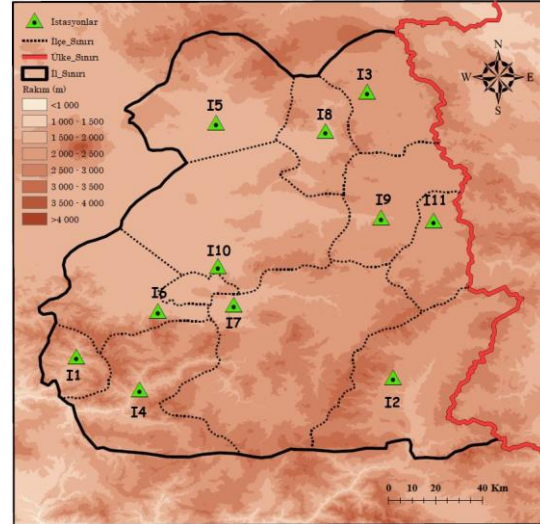
Kırsal nüfusun çoğunluğunun geçim kaynağını tarım oluşturmaktadır. Kuraklığın yaşandığı tüm

dünyada tarımsal sulamaya ihtiyaç duyulduğu gibi, Türkiye’de de tarımsal sulamaya ihtiyaç vardır. Çağın en büyük sorunlarından biri olarak görülen kuraklık problemi neticesinde tarımsal faaliyetlerde verimin azalacağı dolayısıyla gıda temininde ve ekonomide sıkıntılara yol açacağı öngörülmektedir [18]. Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 2013) raporlarına göre; Akdeniz, Ege, Doğu ve İç Anadolu Bölgelerinde ciddi manada iklim değişikliği etkilerinin görüldüğü belirtilmiştir. İnceleme alanı olarak IPCC raporlarına göre kuraklık tehlikesinde olan Doğu Anadolu bölgesi sınırları içerisindeki Van İli seçilmiştir [19].

Van İli, Türkiye’nin doğusunda ve Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Van 37-39° kuzey paralelleri ile 42-44° doğu meridyenleri arasında 20.921 km²’lik yüzölçümü ile beşinci, nüfusa göre on dokuzuncu büyük ildir. Aynı zamanda etrafı yüksek dağlarla çevrili kapalı havza özelliği taşıyan Van Gölü Havzasının kıyısında yer almaktadır. İlin ortalama yükseltisi 1.730 m olarak hesaplanmıştır. Van İl sınırlarına ait SYM verileri ABD Yerbilimsel Araştırma Kurumunun (USGS) web sitesinden elde edilmiştir [20]. Elde edilen bu model 30x30 m çözünürlüklü hücrelerden oluşmaktadır. Bu veriler Arc-GIS programına eklenip gerekli projeksiyon ve alan sınırlandırmaları yapıldıktan sonra bu verilerden yükseklik analizi yapılabilmektedir. Çizelge 1’de verilen istasyonlara ait koordinat bilgileri sayısal yükseklik haritasına işlenerek Şekil 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. İstasyon bilgileri

Sıra	No	Adı	Koordinat	Rakım [m]
I1	18235	Bahçesaray	38,1192 42,8081	1.648
I2	17880	Başkale	38,0435 44,0173	2.286
I3	18238	Çaldıran	39,1381 43,9244	2.055
I4	18583	Çatak	37,9956 43,0522	1.510
I5	17784	Erciş	39,0197 43,3382	1.678
I6	17852	Gevaş	38,2963 43,1197	1.694
I7	18237	Gürpınar	38,3228 43,4081	1.751
I8	17786	Muradiye	38,9897 43,7627	1.706
I9	17812	Özalp	38,6573 43,9767	2.000
I10	17172	Van Bölge	38,4693 43,3460	1.675
I11	18585	Van/Saray	38,6442 44,1772	2.120



Şekil 1. Van SYM ve meteorolojik istasyonları

2.2. Evapotranspirasyon Tahmin Yöntemleri

2.2.1. FAO-Penman-Monteith (FAO-PM)

Penman 1948 yılında açık su yüzeyinden buharlaşmayı hesaplamak için güneş ışığı, sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı gibi iklimsel verileri kullanarak enerji dengesini kütle transferi yöntemiyle birleştirdiği bir denklem üretmiştir [21]. Bu kombinasyon yöntemi birçok araştırmacı tarafından direnç faktörleri eklenerek daha da geliştirilip bitki örtülü yüzeylere genişletilmiştir [7]. 70 s/m yüzey direncine, 0,23 albedo katsayısına ve varsayılan yüksekliği 0,12 m olan yeterince sulanan ve aktif olarak büyüyen yeşil çim kaplı referans yüzey tanımlanarak Penman-Monteith denklemi geliştirilip Eşitlik 1’deki halini almıştır.

$$ET_{pm} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Eşitlikte, ET_{pm} , evapotranspirasyonu (mm/gün), R_n , net radyasyonu (MJ/m^2 -gün), G , toprak ısı akısını (MJ/m^2 -gün), T , günlük ortalama hava sıcaklığını ($^{\circ}C$), u_2 , 2 m yükseklikteki rüzgâr hızını (m/s), e_s , doymun buhar basıncını (kPa), e_a , gerçek buhar basıncını (kPa), Δ , buhar basıncı eğrisinin eğimini

(kPa/°C) ve γ , psikometrik sabiti (kPa/°C) simgeleri.

Çok fazla iklimsel parametreye ihtiyaç duyan FAO-PM denkleminin karşılığı, HS ve Modifiye HS (MHS) denklemleri maksimum, minimum, ortalama sıcaklıklara (T_{max} , T_{min} , T) ek olarak dünya dışı radyasyon (R_a) (MJ/m²-gün) parametrelerini kullanırken; modifiye HS elevation (HS-el) denklemi dünya dışı radyasyona ek olarak sadece rakım parametresini kullanmaktadır. BC denklemi ise ortalama sıcaklık ve gündüz süreleri parametrelerine ihtiyaç duyarken; modifiye BC (MBC) denkleminde söz konusu iki parametreye ilaveten minimum nispi nem (RH_{min}), güneşlenme süresi (n) ve rüzgâr hızı (U) parametrelerinden türetilen katsayılar kullanılmaktadır.

2.2.2. Hargreaves-Samani (HS)

California'da 8-15 cm kırılmış çim evapotranspirasyonunu temsil eden 8 yıllık günlük lizimetre verilerini kullanan Hargreaves (1975) Eşitlik 2'yi ortaya koymuştur [22]. 1982 yılında ise Samani ile birlikte bu yaklaşımın güneş radyasyonunu, R_s (MJ/m²-gün), T_{max} 'a ve T_{min} 'e (°C) bağlı olarak Eşitlik 3'teki gibi hesaplanabileceğini önermiştir [23]. 1985 yılında ise denklem modifiye edilerek Eşitlik 4'teki haliyle sunulmuştur [24].

$$ET = 0,0135 R_s (T + 17,8) \quad (2)$$

$$R_s = K_{rs} R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (3)$$

$$ET_{hs} = 0,0023 R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} (T + 17,8) \quad (4)$$

Söz konusu eşitliklerde daha önce ifade edilen indislere ek olarak, ET_{hs} , Hargreaves-Samani'ye göre hesaplanan evapotranspirasyonu ve K_{rs} kalibrasyon katsayısını ifade etmektedir.

2.2.3. Modifiye Hargreaves-Samani (MHS)

Allen 1992 yılında yaptığı çalışma neticesinde Hargreaves-Samani denkleminin genel formunun evrensel olarak uygulanabilir olsa da denklemde

benzer tahmin doğruluğu sağlayan çok çeşitli katsayılar olduğunu ifade etmiştir [25]. Birçok çalışmada genellikle denklem içerisindeki sabit değerler (0,0023-0,5-17,8) üzerinden gerek bölgesel olarak gerekse dünya çapında denklemin tahmin doğruluğunu artırmak için modifiye çalışmaları yapılmıştır [26]. Bu çalışmada, modifiye Hargreaves eşitliği olarak Droogers ve Allen [27] tarafından geliştirilen eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 5).

$$ET_{mhs} = 0,0025 R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}} (T + 16,8) \quad (5)$$

Eşitlikte kullanılan ET_{mhs} , modifiye edilmiş Hargreaves-Samani'ye göre ET miktarını göstermektedir.

2.2.4. Modifiye Hargreaves-Samani Elevation (HS-el)

El-Salvador ülkesi için elde edilen veriler neticesinde maksimum ve minimum sıcaklıkların rakımla güçlü ilişkisi olduğu bulunmuş ve ET'nin yüksekliğe bağlı olarak elde edilebileceği eşitlik, aşağıdaki gibi önerilmiştir [24]. Eşitlik 6'da el simgesi ilgili istasyonun rakımını ve ET_{hs-el} , rakımında hesaba katıldığı Hargreaves-Samani'ye göre ET miktarını göstermektedir.

$$ET_{hs-el} = R_a (0,348 - 5el \times 10^{-5}) \sqrt{1 - 0,0002el} \quad (6)$$

2.2.5. Blaney-Criddle (BC)

Blaney ve Morin (1942) tarafından önerilen eşitlik, Blaney ve Criddle (1945) tarafından geliştirilip; 1950 yılında revize edilerek Eşitlik 7'deki haliyle sunulmuştur [28-31]. Burada, ET_{bc} , p ve k simgeleri, sırasıyla, Blaney-Criddle'a göre hesaplanmış ET değerlerini, yılın gündüz saatlerinin olası aylık yüzdesini ve mevsimsel mahsul katsayısını göstermektedir.

$$ET_{bc} = k p (0,457T + 8,13) \quad (7)$$

2.2.6. Modifiye Blaney-Criddle (MBC)

Doorenbos ve Pruitt (1977) orijinal Blaney-Criddle

denkleminde, iklimin ET üzerindeki etkisinin yeterince tanımlanmadığını belirterek; eşitlikteki mevsimsel mahsul katsayısının sadece mahsulle değil iklim koşulları ile de çok değişebileceğini ifade etmiştir [32]. Eşitlikteki k katsayısı yerine nem, güneşlenme süresi ve gündüz rüzgâr hızını dikkate alan ayarlama faktörünü (c) dâhil etmişlerdir. 1977 yılına kadar yapılan çalışmalar sonucunda ise, bu değeri daha da netleştirip c faktörü yerine eşitliğe a ve b katsayılarını ekleyerek modifiye edilmiş BC değerlerini (ET_{bc}) bulmak için Eşitlik 8 ortaya konulmuştur. Eşitlik 8’de kullanılan a ve b katsayıları sırasıyla Eşitlik 9 ve 10’daki gibi hesaplanabilir.

$$ET_{mbc} = a + b \left[p(0,457T + 8,13) \right] \quad (8)$$

$$a = 0,0043 RH_{min} - \left(\frac{n}{N} \right) - 1,41 \quad (9)$$

$$b = e_0 + e_1 RH_{min} + e_2 \left(\frac{n}{N} \right) + e_3 U + e_4 RH_{min} \left(\frac{n}{N} \right) + e_5 RH_{min} U \quad (10)$$

Burada a değeri, günlük RH_{min} (%) ve gerçek güneşlenme süresi ile olası maksimum güneşlenme süresi arasındaki oranının (n/N) bir fonksiyonudur. Diğer taraftan, b değeri ise RH_{min} ve n/N ’ye ek olarak günlük gündüz rüzgâr hızı olan U (m/sn) değerlerine bağlı tablodan enterpolasyon yöntemiyle elde edilebilir. Burada kullanılan katsayılar ise e_0, e_1, e_2, e_3, e_4 ve e_5 için, sırasıyla, 0,81917, -0,0040922, -1,0705, 0,065649, -0,0059684 ve -0,0005967 olarak alınabilir [32-33].

2.2.7. Modifiye Blaney-Criddle Elevation (BC-el)

Daha yüksek rakımlarda daha düşük sıcaklıklar olabileceğinden Doorenbos ve Pruitt (1977) her 1.000 m’lik rakımlar için kurak ve yarı kurak bölgelerde %10’luk bir ayarlama yapılabileceğini belirtmiştir [32]. Allen ve Pruitt (1986) tarafından ise yükseklik eşitliğe dahil edilerek, Eşitlik 11’deki şekliyle rakıma bağlı olarak değişebilen BC denkleminin modifiye hali olan ET_{bc-el} elde

edilmiştir [34].

$$ET_{bc-el} = ET_{bc} \left(1 + 0,1 \frac{el}{1000} \right) \quad (11)$$

2.3. Performans Değerlendirme İndisleri

İstatistiksel indisler, tahminlerin referanslara yakınlığının değerlendirilmesini sağlamak amacıyla hidrologlar tarafından sıklıkla kullanılır [35-37]. Bu çalışmada ise farklı metotlara göre hesaplanan ET değerlerinin performanslarını değerlendirmek amacıyla Ortalama Bağlı Hata (OBH) ve Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC) kullanılmıştır. OBH indisi tahmin değerlerinin referanslara yakınlığını ifade eder ve Eşitlik 12 ile hesap edilir. OBH değerleri $-\infty$ ile $+\infty$ aralığında olup “0” değeri modelin mükemmel olduğunu gösterir. Burada, negatif değerler eksik tahminlere, pozitif değerler ise fazla tahminlere işaret eder. Diğer taraftan, PCC tahmin ve referans değerleri arasındaki ilişkiyi ifade etmek için kullanılır ve Eşitlik 13 ile hesaplanabilir. PCC değeri -1 ile +1 aralığında değişirken, -1 (+1) referans ile tahminler arasında güçlü negatif (pozitif) bir korelasyon olduğunu göstergesidir.

$$OBH = \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{t,i} - ET_{r,i})}{\sum_{i=1}^n (ET_{r,i})} \quad (12)$$

$$PCC = \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{r,i} - \overline{ET}_r)(ET_{t,i} - \overline{ET}_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ET_{r,i} - \overline{ET}_r)^2 \sum_{i=1}^n (ET_{t,i} - \overline{ET}_t)^2}} \quad (13)$$

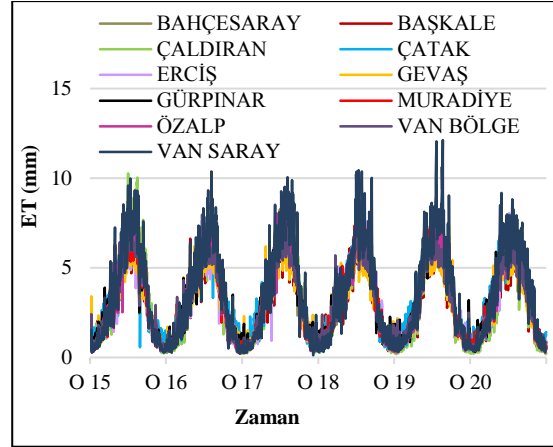
Eşitlikte kullanılan, $ET_{r,i}$ referans yöntem ile hesaplanan evapotranspirasyon değerlerini, $ET_{t,i}$ diğer metotların tahmin edilen çıktı değerlerini ve \overline{ET}_r (\overline{ET}_t) referans yöntemin (tahminlerin) aritmetik ortalamasını temsil eder.

3. BULGULAR

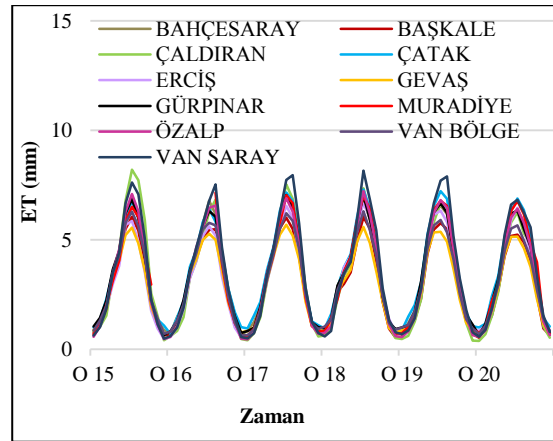
Van ilinde 11 istasyondan 2015 ve 2020 yılları arasında günlük olarak alınan verilerle FAO-PM, BC, MBC, BC-el, HS, MHS ve HS-el denklemleri kullanılarak ET hesabı yapılmıştır. Günlük

değerlerin ortalamaları alınarak aylık periyotta da değerlendirmeler yapılmıştır. Referans olarak alınan FAO-PM denklemiyle her bir istasyon verileri için hesaplanan ET değerleri Şekil 2 ve 3'te görülmektedir. Şekil 2'de günlük değerlere bakıldığında 12,12 mm/gün ile en büyük ET değeri 22/08/19 tarihinde Van Saray istasyonunda oluşmuştur. En küçük değer ise 07/12/17 tarihinde 0,13 mm/gün ile Çatak istasyonunda oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 2'de birbirini takip eden günlerde ani sıçrama ve düşüşlerin sebepleri incelendiğinde sıcaklık ve nem değerlerinin normal sayılabilecek salınımlarına karşılık, rüzgâr hızındaki ekstrem değişikliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, en büyük ET değerinin gözlemlendiği 22/08/19 tarihinde rüzgâr hızı 8,2 m/s iken, ertesi gün 4,7 m/s değerine düşmesiyle ET değerinde 2,8 mm/gün azalma izlenmiştir. Buradan, FAO-PM denklemi için rüzgâr hızının ET değerlerini etkileyen önemli bir unsur olduğu ifade edilebilir; ancak, birinci derecede etken unsur olmadığı belirtilmelidir. Çünkü birbirine yakın hatta aynı rüzgâr hızına sahip farklı günlerde sıcaklık ve nispi nem değişikliklerine bağlı olarak ET değerlerinde çok fazla dalgalanma fark edilmiştir. Aylık ortalama ET değerlerinin gösterildiği Şekil 3 incelendiğinde, en yüksek değer 2015 yılının Temmuz ayında Çaldıran istasyonunda 8,20 mm/gün'dür. En düşük değer ise yine Çaldıran istasyonunda 2020 yılının Ocak ayında 0,38 mm/gün olarak bulunmuştur. Grafikte gözlemlenen bir diğer husus da diğer 5 yılın maksimum değerlerinin altında kalarak 2020 yılındaki aylık ortalama ET değerlerinin 7 mm/gün değerini geçmediğidir. İstasyon bazında bakılacak olduğunda ise, 2015 yılında Çaldıran istasyonunun maksimum ET değerine sahip olduğu ve diğer 5 yılda ise Van Saray istasyonunun maksimum değere sahip olduğudur. ET değerlerinin yüksek olduğu yaz aylarında, en düşük aylık ortalama ET değerlerinin Gevaş istasyonunda meydana geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 2 ve 3 birlikte incelendiğinde, genel olarak yüksek ET değerleri Haziran-Temmuz-Ağustos (yaz) aylarında gözlemlenirken, en düşük değerler ise Aralık-Ocak-Şubat (kış) aylarında gözlemlenmiştir. Yıllık ortalama değerler incelendiğinde ise, en düşük değerlerin 2,78 mm ile 2020 yılında Gevaş istasyonunda oluşurken en yüksek değerlerin 3,69

mm ile 2019 yılında Van Saray istasyonunda oluştuğu gözlemlenmiştir.



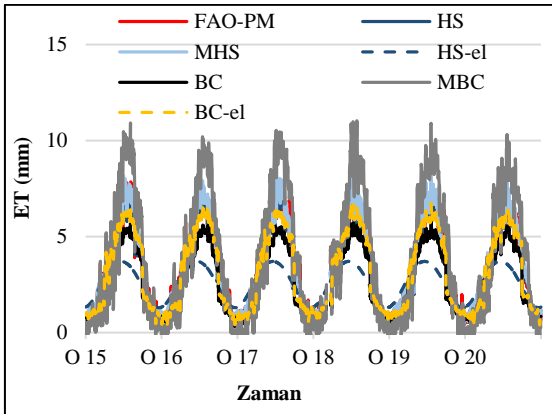
Şekil 2. FAO-PM denklemiyle hesaplanan günlük ET değerleri (mm/gün)



Şekil 3. FAO-PM denklemiyle hesaplanan günlük ET değerlerinin aylık ortalamaları (mm/gün)

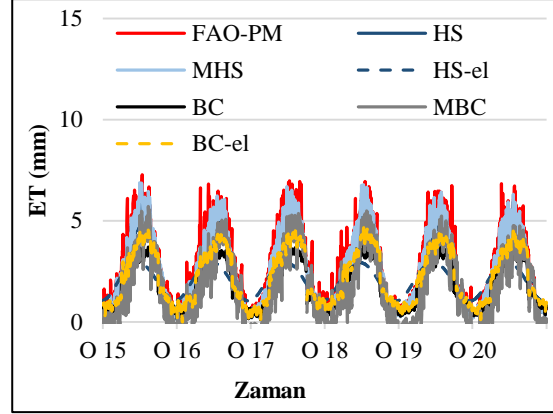
Grafiklerde süreksiz çizgilerin olması veya bazı değerlerin okunmamasının sebebi istasyonlardan alınan verilerin eksik olmasıdır. Eksik veriler ışığında ET hesabı yapılamamış ve bu durum grafiklere yansımıştır. Referans alınan FAO-PM denkleminin çok fazla veriye ihtiyaç duyması, veri eksikliğinde söz konusu denklemde hesap yapılabilmesi için önerilen yardımcı denklemler kullanılmıştır [7,21]. Doğrudan ölçülmesi gereken radyasyon verilerinin eksik olması durumunda

sıcaklık verileri kullanılarak radyasyon hesabının yapılması ya da çığ noktası (işba) sıcaklığının olmadığı durumlarda nispi nem verilerinin kullanılması yardımcı denklemler olarak sayılabilir. Daha az sayıda veriye ihtiyaç duyan HS ve BC denklemleri ve bu denklemlerin modifiye edilmiş diğer denklemleri kullanarak her bir istasyon için yapılan hesaplamaların sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 4'te I1-Bahçesaray istasyonuna ait verilerle 6 farklı ET tahminlerinin ve FAO-PM değerlerinin 01.01.2015 ile 31.12.2020 tarihleri arasındaki değişimi gösterilmektedir. Bahçesaray istasyonunda hesaplanan en yüksek ET değeri 11,03 mm olarak MBC denklemi ile hesaplanmıştır. FAO-PM denklemiyle hesaplanan ET verilerine en yakın değerler ise HS ve MHS denklemleriyle elde edilmiştir.



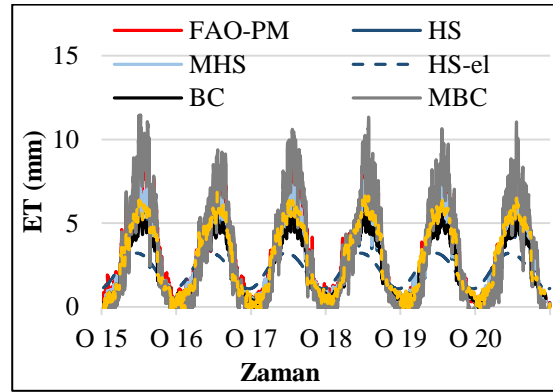
Şekil 4. I1-18235 Bahçesaray istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Şekil 5'te I2-Başkale istasyonuna ait en yüksek ET değerlerine bakıldığında, diğer istasyonlara kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. İstasyonlar arasında en yüksek rakıma sahip olan Başkale istasyonunda oluşan düşük ET değerleri, rakımla ET arasında etkileşim olduğunu göstermektedir. İstasyonda oluşan en yüksek ET değeri FAO-PM denklemi ile hesaplanan 7,26 mm değeri olmuştur. Yine Şekil 5 incelendiğinde, diğer istasyonlardan farklı olarak, en yüksek ET değerleri yıl bazında birbirine yakın değerler gösteren FAO-PM ve MHS denklemleriyle oluştuğu görülmektedir.



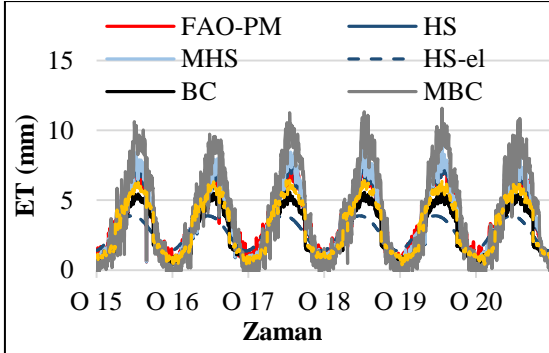
Şekil 5. I2-17880 Başkale istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Rakımı yüksek olan I3-Çaldıran istasyonunda yüksek ET değerlerinin oluşmasında bölgedeki volkanik dağın etkisi olmuştur (Şekil 6). Diğer taraftan, yükseklik arttıkça azalan sıcaklık verileri haricinde basınç, nem ve rüzgâr gibi meteorolojik verilerin değişikliği ET değerlerini etkileyen unsurlar olarak gösterilebilir.



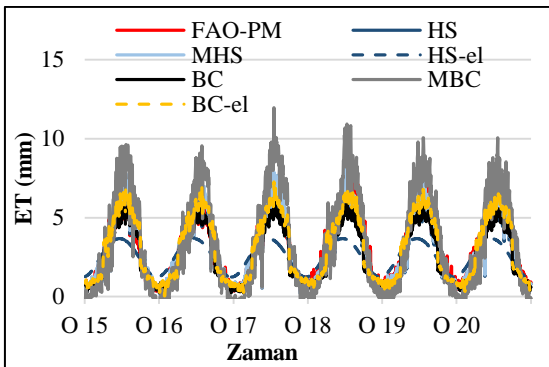
Şekil 6. I3-18238 Çaldıran istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Şekil 7'de I4-Çatak istasyonunda oluşan günlük ET değerlerine bakıldığında, diğer istasyonlara benzer olarak yaz aylarında en yüksek, kış aylarında ise en düşük ET değerleri MBC denklemiyle hesaplanmıştır. FAO-PM, HS ve MHS denklemleriyle hesaplanan ET değerleri birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir.

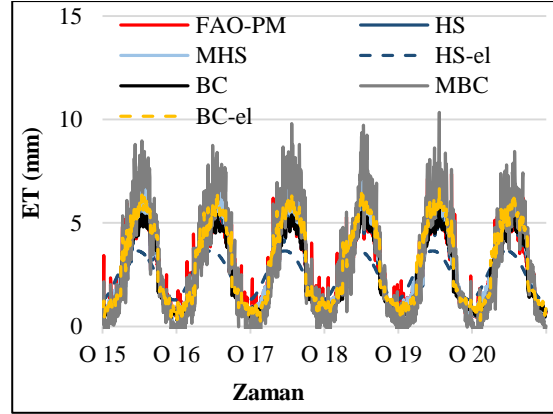


Şekil 7. I4-18583 Çatak istasyonu günlük ET değerleri

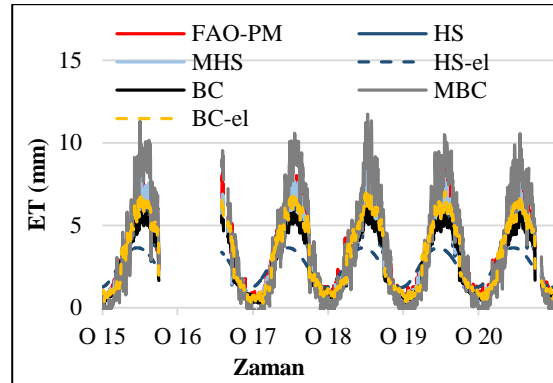
Şekil 8, 9, 10 ve 11'de, yükseklikleri birbirine yakın olan, sırasıyla, I5-Erciş, I6-Gevaş, I8-Muradiye ve I10-Van Bölge istasyonlarının günlük ET değerlerindeki farklılık hâkim rüzgâr yönü ve şiddetinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Diğer istasyonların ekserisine benzer şekilde 4 istasyonda da ekstrem değerler MBC denklemi ile elde edilirken, MBC değerlerinin BC denkleminde kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. BC-el denkleminin ise hem BC hem de MBC denklemlerine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, HS ve MHS denkleminin sonuçları birbirine yakın olmakla birlikte her ikisinin de FAO-PM denkleminin en yakın sonuçları verdiği grafiklerden elde edilen diğer bir sonuçtur. Maksimum ET değerlerinin gözlemlendiği yıllar 2017, 2018 ve 2019 olarak ifade edilebilir. Şekil 10'dan da görüleceği üzere, Muradiye istasyonundan 03.10.2015-02.08.2016 tarihleri arasında yaklaşık 10 ay gibi günlük veri alınamamıştır.



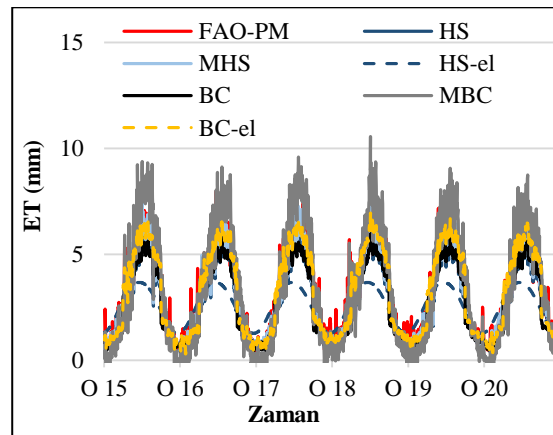
Şekil 8. I5-17784 Erciş istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)



Şekil 9. I6-17852 Gevaş istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

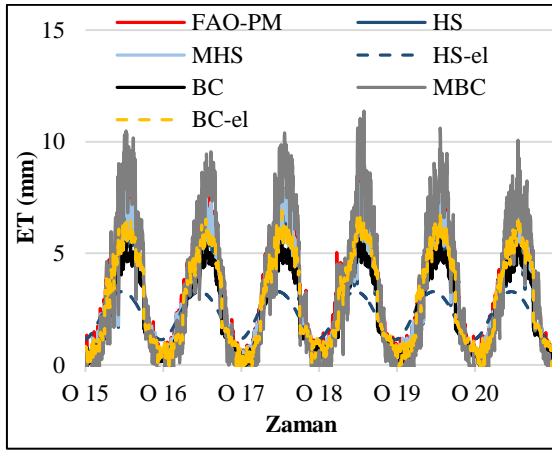


Şekil 10. I8-17786 Muradiye istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

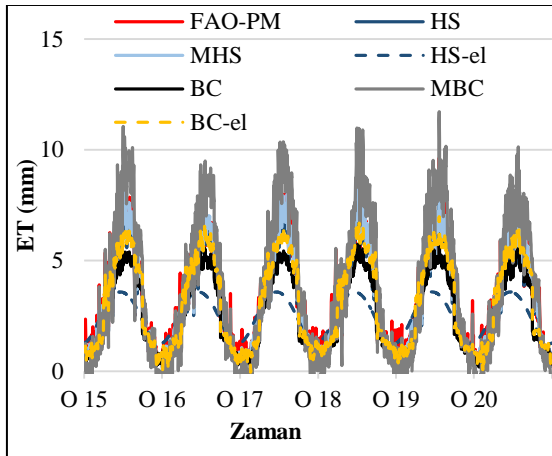


Şekil 11. I10-17172 Van bölge (İpekyolu) istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Şekil 12 ve 13'te sırasıyla I9-Özalp ve I7-Gürpınar istasyonlarının günlük ET değerlerine bakıldığında, ekstrem (en yüksek ve en düşük) ET değerlerinin MBC denklemi ile elde edilirken; HS ve MHS denklemlerinin birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Diğer taraftan, ET'yi etkileyen çok sayıda parametre olduğundan, söz konusu istasyonlar için ET değerleri arasında rakım farkı nispetinde bir değişme görülmemektedir.



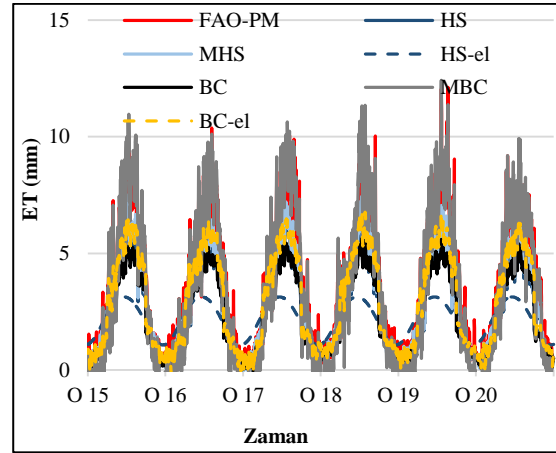
Şekil 12. I9-17812 Özalp istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)



Şekil 13. I7-18237 Gürpınar istasyonu günlük ET değerleri (mm/gün)

Şekil 14'te I11-Van Saray istasyonunda ise FAO-PM denklemine en yakın değerleri MBC denklemi

ile elde edilmiştir. Diğer taraftan, MBC denkleminin ekstrem ET değerlerinin elde edilmesinde diğer denklemlere kıyasla daha hassas olduğu grafikten de görülmektedir. İstasyonun yüksek rakıma sahip olmasının yanı sıra rüzgâr hızı veri setleri incelendiğinde değerlerin yüksek olması sebebiyle, fazla ET değerlerinin oluştuğu düşünülmektedir.



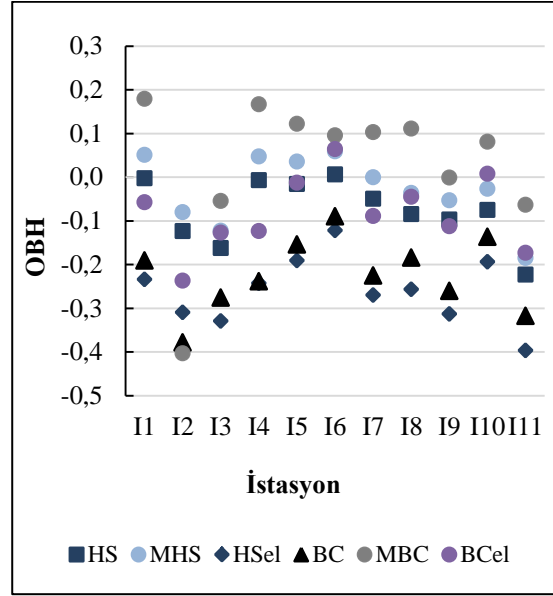
Şekil 14. I11-18585 Van saray istasyonu günlük ET değerleri

İstasyonların günlük ET grafiklerine bakıldığında, HS-el denkleminin yüksek ve düşük ET değerleri arasındaki açıklığın diğer denklemlere göre çok daha az olduğu ve tüm yıllar için düzenli bir eğri takip ettiği görülmektedir. Buna, Eşitlik 6'da sıcaklık verisinin göz ardı edilerek, sadece rakım ve dünya dışı radyasyon değişkenlerinin kullanılmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. BC denkleminde bakıldığında, yine tüm yıllar için benzer eğri takip ettiği ve ET değerlerinin arttığı aylarda diğer denklemlere kıyasla (HS-el hariç), ET değerlerini daha az tahmin ettiği gözlemlenmektedir. Orijinal BC denklemi üzerinde yapılan yükseklik ayarlamasıyla oluşan BC-el denkleminin ise BC denklemine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. MBC denklemiyle hesaplanan ET değerlerinin maksimum ve minimum değerleri arasındaki farkın diğer denklemlerle hesaplanan değerler arasındaki farktan daha büyük olduğu görülmektedir. Diğer denklemlerden farklı olarak

günlük değişkenliği fazla olan minimum nem ve rüzgâr hızı parametrelerinin denkleme dâhil olması bu durumun sebebi olarak görülebilir. Tüm grafikler incelendiğinde, FAO-PM denkleminin hesaplanan ET değerlerine en yakın değerlerin, HS yöntemiyle elde edildiği gözlemlenmektedir. FAO-PM verileri referans alınarak bakıldığında, diğer taraftan, uyumsuzluğun en fazla olduğu yaklaşım ise HS-el denkleminin elde edilen değerlerden meydana geldiği görülmektedir.

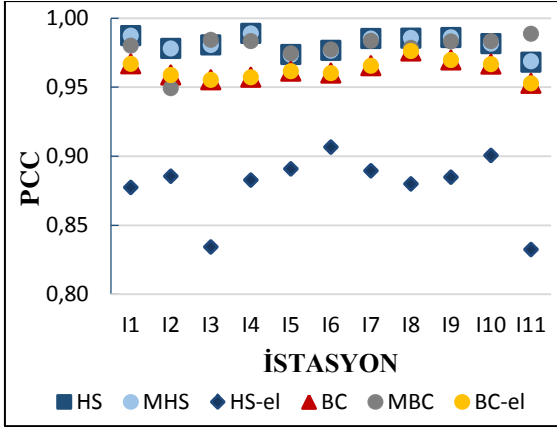
Ortalama bağıl hata değerlerini gösteren Şekil 15 incelendiğinde, FAO-PM referans değerlerine en yakın olan denklemin istasyonlara göre farklılık göstermesine rağmen genel olarak HS ve MHS denklemleri olduğu söylenebilir. MHS denkleminin Muradiye istasyonunda $-0,00041$ OBH değeriyle en iyi sonucu verdiği, Başkale ve Gürpınar istasyonlarında da diğer denklemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bahçesaray, Çatak ve Gevaş istasyonlarında, yaklaşık olarak sıfır OBH değerleriyle HS denkleminin diğer denklemlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer istasyonlarda ise, HS eşitliğiyle elde edilen ET değerleri FAO-PM'ye kıyasla, $-0,22$ ile $-0,02$ aralığında değişen negatif yönlü OBH eğilimine sahiptir. Çaldıran, Özalp ve Van Saray istasyonlarındaki OBH sonuçları incelendiğinde ise negatif yönlü ($-0,001$ ile $-0,063$ arasında değişen) MBC denkleminin en iyi değerler elde edilmiştir. Diğer istasyonlarda ise pozitif OBH değerleri sonucunda ET değerlerini fazla tahmin ettiği görülmektedir. Erciş (OBH= $-0,012$) ve Van Bölge (OBH= $-0,008$) istasyonlarında BC-el denkleminin diğer denklemlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Tüm istasyonlarda negatif OBH eğiliminde olan HS-el ve BC yaklaşımlarının, ET değerlerini FAO-PM denkleminin göre çok daha az tahmin ettiği ve tüm eşitlikler arasında en kötü sonuçları verdiği görülmektedir. Şekil 15'ten elde edilen diğer bir sonuç ise, ET tahminlerindeki modifikasyonların BC denkleminin üzerindeki olumlu etkisidir. Başkale istasyonu hariç olmak üzere sonuçlar incelendiğinde, tüm istasyonlarda BC yönteminin elde edilen ortalaması $-0,207$ ve OBH değerleri $-0,318$ ile $-0,089$ arasında değişirken; bu oran

MBC denkleminin $0,074$ ortalama ve $-0,063$ ile $0,1796$ aralığında değişmektedir.



Şekil 15. OBH indisi grafiği

Şekil 16'da Pearson korelasyon değerleri incelendiğinde, en kötü sonuçların $0,832$ ile $0,907$ arasında değişen HS-el ile elde edildiği gözlemlenmektedir. Tüm istasyonlarda kullanılan HS, MHS, BC, MBC, BC-el yaklaşımlarının korelasyon değerleri $0,949$ ile $0,989$ gibi yüksek değerler arasında değişmektedir. Ayrıca, PCC bakımından sonuçlar irdelendiğinde, BC denkleminin ve onun üzerinden yapılan yükseklik ayarı ile modifiye edilen BC-el denklemlerinin korelasyonlarının birbirinin aynı çıkması doğal bir sonuç olarak görülebilir. Ancak diğer grafikler incelendiğinde, BC-el denkleminin BC denkleminin göre daha iyi sonuçlar verdiği ve rakımsal modifikasyon çalışmasının iyi netice verdiği gözlemlenmiştir. Grafikten elde edilen diğer bir sonuç ise HS ve MHS denklemlerinden elde edilen PCC değerlerinin birbirine yakın çıkmasıdır. Metodların tamamının tüm istasyonlardaki korelasyon değerleri bakımından sonuçları incelendiğinde, en iyi PCC değerlerinin $0,98$ ve $0,99$ düzeylerinde değişen HS, MHS ve MBC denklemleri olduğu görülmektedir.



Şekil 16. PCC indisi grafiği

4. SONUÇLAR

Çalışmada Van ilindeki 11 istasyona ait günlük çözünürlüklü meteorolojik verilerden (6 yıllık) yararlanılarak FAO-Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, Modifiye Hargreaves-Samani, Hargreaves-Samani-Elevation, Blaney-Criddle, Modifiye Blaney-Criddle ve Blaney-Criddle-Elevation eşitlikleri ile günlük evapotranspirasyon değerleri hesaplanmıştır. Tüm denklemlerden elde edilen sonuçlar referans alınan FAO-PM denklemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve modifiye çalışmaların ET üzerindeki etkisi incelenmiştir.

HS yönteminin FAO-PM ile elde edilen değerlere daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenirken; denklem içerisindeki sabit değerler üzerinden yapılan modifiye çalışmaları ile oluşan MHS denkleminin Başkale, Gürpınar ve Muradiye istasyonlarında, sırasıyla, $-0,08$, $0,00$ ve $-0,4$ OBH değerleriyle HS denkleminde daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İstasyonlardaki PCC değerleri bakımından sonuçlar incelendiğinde, $0,98-0,99$ aralığında değişen yüksek korelasyona sahip HS ve MHS denklemlerinin FAO-PM denklemi yerine kullanılabilirliği görülmektedir. HS denklemi üzerinde yapılan söz konusu modifiye çalışmalar sonucunda, literatürdeki diğer modifiye denklemlerin de ayrı bir inceleme ve değerlendirilmesi yapılabilir. Sadece dünya dışı

radyasyon ve yükseklik verilerine ihtiyaç duyan HS-el eşitliğinin ise farklı rakım ve bölgelerde bulunan 11 istasyonun olduğu Van ilinde, OBH bakımından yüksek negatif yönlü tahminlerin hâkim olduğu ($-0,39$ ile $-0,12$ arasında değişen), ortalama $0,87$ PCC ($0,83-0,91$) ile diğer yöntemlere kıyasla iyi sonuçlar vermediği görülmektedir. Hargreaves-Samani 1985 yılında ET değerlerinin maksimum ve minimum sıcaklık verilerinin yükseklikle yakın bir ilişkisi olan yerlerde yükseklik verilerini kullanarak hesaplanabileceğini belirtmiştir. ET'yi etkileyen birçok farklı parametre olduğundan söz konusu bu ilişkiye Van ilinde bulunan istasyonlarda rastlanmamıştır.

Ortalama $-0,22$ OBH ve $0,96$ PCC değerlerine sahip BC denkleminde kıyasla ortalama $0,03$ OBH ve $0,98$ PCC değerlerine sahip MBC denkleminin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. BC denklemi ile aynı korelasyon değerine sahip BC-el eşitliğinin ise ortalama $-0,08$ OBH değeriyle yine BC denkleminde göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bu anlamda BC denklemi üzerinde yapılan modifiyeler ET hesabında iyi sonuçlar vermiştir. BC denklemi içerisinde k mevsimsel mahsul katsayısı ayrıntılı bir şekilde incelenebilir. Her iki denklem için de hem k katsayısı hem de a ve b katsayıları daha iyi sonuçlar almak adına ayrıntılı bir şekilde incelenip düzenleme yapılabilir. BC denklemi üzerinde yapılan yükseklik ayarlaması sonucu oluşan BC-el denklemi aynı şekilde daha iyi sonuçlar vermesine rağmen bazı istasyonlarda geri planda kalmıştır. Bu minvalde de aynı yükseklik düzenlemesinin MBC denklemi üzerinde yapılarak sonuçlar incelenebilir.

Evapotranspirasyon tahmininde yaygın olarak kullanılan Hargreaves-Samani ve Blaney-Criddle alternatif ampirik yaklaşımlar ve bu yaklaşımların modifikasyon etkileri Van ili genelinde değerlendirildiğinde, orijinal denklemlerine kıyasla modifiye çalışmalarının sonuçlardaki performansta olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Belirli iklimsel özelliklere ve toprak yapısına sahip bölgelerde yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan ampirik yaklaşımların farklı çalışma alanlarında da uygulanabilirliğinin test edilmesi

gereğini göz ardı etmeyerek çeşitli modifikasyon çalışmaları da başka bir araştırma konusu olabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Yates, D., Strzebek, K., 1994. Potential Evapotranspiration Methods and their Impact on the Assessment of River Basin Runoff under Climate Change. International Institute for Applied Systems Analysis, WP-94-46, Laxenburg, Austria, 28.
2. Kagele, W.C., 1985. An Evaluation of Potential Evapotranspiration Estimates for Selected Sites within Arizona. Master of Science with a Major in Soil and Water Science. University of Arizona, 77.
3. Dingman, S. L., 2002. Physical Hydrology. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, Second Edition, 646.
4. Doğan Demir, A., Meral, R., 2016. Bingöl İli Koşullarında Referans Bitki Su Tüketiminin Doğrudan ve Farklı Tahmin Yöntemleri ile Belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 3, 45-51.
5. Bağcı, S. Ç., Şarlak, N., 2019. Karaman İli Potansiyel Evapotranspirasyon Tahmini. Soil Water Journal, Special Issue, 1-8. <https://doi.org/10.21657/topraksu.654742>.
6. Liu, B., Cui, Y., Shi, Y., Cai, X., Luo, Y., Zhang L., 2019. Comparison of Evapotranspiration Measurements Between Eddy Covariance and Lysimeters in Paddy Fields under Alternate Wetting and Drying Irrigation. Paddy Water Environment, 17, 725-739. <https://doi.org/10.1007/s10333-019-00753-y>.
7. Allen, R.G., Periera, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the UN, Rome, Italy, 300.
8. Şarlak, N., Bağcı, S.Ç., 2020. Ampirik Potansiyel Evapotranspirasyon Tahmin Yöntemlerinin Değerlendirilmesi: Uygulama Konya Kapalı Havzası, Teknik Dergi, 1-18. <https://doi.org/10.18400/tekderg.408019>.
9. Chowdhury, A., Gupta, D., Das, D.P., Bhowmick, A., 2017. Comparison of Different Evapotranspiration Estimation Techniques for Mohanpur, Nadia District, West Bengal. International Journal of Computational Engineering Research (IJCER), 7, 33-39.
10. Brouwer, C., Heibloem H., 1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs, Irrigation Water Management Training Manual No. 3, Land and Water Development Division FAO Via delle Terme di Caracalla 00100 Rome, Italy, 102.
11. Koç, D.L., 2022. Çukurova Yöresi Koşullarında Bazı Buharlaştırma Modellerinin Performanslarının Değerlendirilmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (1), 145-155. <https://doi.org/10.33462/jotaf.938894>.
12. Dlouha, D., Dubovsky, V., Pospisil, L., 2021. Optimal Calibration of Evaporation Models against Penman-Monteith Equation. Water, 13(11), 1484. <https://doi.org/10.3390/w13111484>.
13. Hafeez, M., Chatha, Z.A., Khan, A.A., Gulshan, A.B., Basit, A., Tahira, A., 2020. Comparative Analysis of Reference Evapotranspiration by Hargreaves and Blaney-Criddle Equations in Semi-Arid Climatic Conditions, Current Research in Agricultural Sciences, 7(2), 525-57. <https://doi.org/10.18488/journal.68.2020.72.52.57>.
14. Elağca, A., Diş, M.Ö., 2021. Temperature-Driven Evaporation Analysis over Ballıkaya Catchment. Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A- Applied Science and Engineering, 22(3), 290-298. <https://doi.org/10.18038/estubtda.911741>.
15. Okkan, U., Kıymaz, H., 2020. Questioning of Empirically Derived and Locally Calibrated Potential Evapotranspiration Equations for a Lumped Water Balance Model. Water Supply, 20(3), 1141-1156. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.292>.
16. Çıtakoğlu, H., Haktanır, T., 2016. Türkiye Referans Evapotranspirasyon Değerlerinin Sıcaklığa Bağlı Olarak Tahmini için En Uygun Hargreaves-Samani Denklemine Belirlenmesi. T.C. Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje No. FBA-2014-4875), Kayseri, 24.

17. Usta, S., 2022. Karadeniz Bölgesi İklim Koşullarına Uygun Jensen Haise Yöntemi Referans Evapotranspirasyon Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 38, 415-427. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1130701>.
18. Arslan, F., Ergül, M., 2014. Çayören Barajı Sulama Havzası ve Çevresinde Tarımsal Faaliyetler. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 171-190. <https://doi.org/10.16992/ASOS.63>.
19. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (Eds.), 2013. IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996.
20. DEM, 2021. Geographic Information Systems, Digital Elevation Model Data Website, <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Erişim Tarihi: 10.09.2021.
21. Penman, H. L., 1948. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass. *Royal Society of London Proceedings, Series A*, 193,120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>.
22. Hargreaves, G. H., 1975. Moisture Availability and Crop Production. *Trans. ASAE*, 18(5), 980-984. <https://doi.org/10.13031/2013.36722>.
23. Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1982. Estimating Potential Evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(3), 225-230. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001390>.
24. Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1 (2), 96-99. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>.
25. Allen, R. G., 1992. Evaluation of a Temperature Difference Method for Computing Grass Reference Evapotranspiration. Report Submitted to FAO, Rome, 50.
26. Hargreaves, G. H., Allen, R. G., 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129, 53-63. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:1\(53\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:1(53)).
27. Droogers, P., Allen, R.G., 2002. Estimating Reference Evapotranspiration under Inaccurate Data Conditions. *Irrigation and Drainage System*, 16, 33-45. <https://doi.org/10.1023/A:1015508322413>.
28. Blaney, H.F., Morin, K.V., 1942. Evaporation and Consumptive Use of Water Empirical Formulas. *Transactions American Geophysical Union*, 23, 76-83. <https://doi.org/10.1029/TR023i001p00076>.
29. Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1945. Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological Data. Processed, 17.
30. Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1950. Determining Water Requirements in Irrigation Areas from Climatological and Irrigation Data, United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service, Washington, D.C, 48.
31. Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1962. Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements, United States Department of Agriculture in Cooperation with the Office of Utah State Engineer. Technical Bulletin No. 1275, Washington, D.C, 59.
32. Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy, 144.
33. Shahidian, S., Serraheiro, R., Serrano, J., Teixeira, J., Haie, N., Santos, F., 2014. Hargreaves and Other Reduced-Set Methods for Calculating Evapotranspiration. *Evapotranspiration-Remote Sensing and Modeling*, 23, 59-80.
34. Allen, R.G., Pruitt, W.O., 1986. Rational Use of the FAO Blaney-criddle Formula, *Journal Irrigation and Drainage Engineering*, 112, 139-155. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1986\)112:2\(139\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:2(139)).
35. Krause, P., Boyle, D.P., Base, F., 2005. Comparison of Different Efficiency Criteria for Hydrological Model Assessment. *Advances in Geosciences*, 5, 89-97. <https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>.
36. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007.

- Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, Transactions of the ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(3), 885-900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>.
37. Dis, M. O., Anagnostou, E., Mei, Y., 2018. Using High-Resolution Satellite Precipitation for Flood Frequency Analysis: Case Study over the Connecticut River Basin. Journal of Flood Risk Management, 11, 514-526. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12250>.