

Olası İklim Değişikliği Senaryoları Altında Net Sulama Suyu İhtiyacının Tahminlenmesi: Menemen Sol Sahil Örneği

Zafer Ali SERBEŞ^{1*} Umut OKKAN² Şerafettin AŞIK¹

¹Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, İzmir

²Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir
Sorumlu yazar: zafer.ali.serbes@ege.edu.tr

Geliş tarihi: 10/08/2018 Yayına kabul tarihi:22/21/2018

Özet: İklim değişiminin etkilerinin oldukça fazla hissedileceği tahminlenen Akdeniz iklim kuşağında, yağış ve sıcaklık değerlerindeki değişimlerin bölgede yetiştirilen bitkilerin sulama suyu ihtiyacına (SSİ) etki etmesi kaçınılmazdır. Bu gerekçeden hareketle çalışmada olası iklim değişikliğinin net sulama suyu ihtiyacına etkisinin Menemen Sol Sahil Sulama Birliği örneğinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle söz konusu sulama birliğine en yakın istasyon olan Menemen istasyonu yağış ve sıcaklık değerlerinin tahminlenmesi için yapay sinir ağlarına dayalı ölçek indirgeme modelleri kurulmuştur. Modellerde, tahminleyici olarak NCEP/NCAR re-analiz değişkenleri kullanılmış, bu değişkenlerden ölçek indirgeme modellerinde hangilerinin kullanılacağına doğrusal regresyon analizi ve performans kriterleri kullanılarak karar verilmiştir. Kurulan ölçek indirgeme modelleri, ECHAM5 iklim modelinin 20C3M 1961-1990 referans dönemi ve 2021-2100 yılları A2, A1B ve B1 senaryo sonuçlarıyla çalıştırılarak istasyonlara ait yağış ve sıcaklık tahminleri elde edilmiştir. Sonuçlardaki yanlışlık miktarını azaltmak için bias düzeltme işlemi uygulanmıştır. Düzeltilmiş sıcaklık ve yağış değerleri kullanılarak sırasıyla, Blaney-Criddle yöntemiyle bitki su tüketimleri ve etkili yağış değerleri elde edilerek net sulama suyu ihtiyaçları hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, uygulama alanı genelinde A2, A1B ve B1 senaryolarına göre, 2021-2100 dönemi ortalama sıcaklıklarının sırasıyla 2.8, 3.0 ve 2.4 °C artabileceği, yağışların ise %17.6, %30.7 ve %17.2 azalabileceği, buna bağlı olarak ortalama net sulama suyu ihtiyacında %9.8, %12.1 ve %8.4 artış olması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: ECHAM5, yapay sinir ağları, ölçek indirgeme, bias düzeltme, net sulama suyu

Estimation of Net Irrigation Water Demand under Possible Climate Change Scenarios: Case of Menemen Left Bank

Abstract: In the Mediterranean climate zone, where the effects of climate change are expected to be felt very much, changes in rainfall and temperature values are inevitable for the plants grown in the region to affect the irrigation water requirement (IWR). For this reason, it is aimed to evaluate the effect of possible climate change on the net irrigation water demand in Menemen Sol Sahil Irrigation Association. For this purpose, statistical downscaling models based on artificial neural networks have been established for predicting precipitation and temperature values of Menemen station, which is the nearest station to irrigation association. In the models, the NCEP / NCAR reanalysis variables were used as the estimators, and which of these variables will be used in the downscaling models was decided by using linear regression analysis and performance criteria. Rainfall and temperature estimates of the station were obtained by operating the downscaling model models established, with ECHAM5 climate model 20C3M 1961-1990 reference period and 2021-2100 with A2, A1B and B1 scenario results. Bias correction was applied to reduce the amount of bias in the results. Using adjusted temperature and precipitation values, evapotranspiration were calculated by using Blaney-Criddle method and effective rainfall values obtained. Using this value, net irrigation water needs were obtained. According to the A2, A1B and B1 scenarios, the mean temperatures of the period 2021-2100 could increase by 2.8, 3.0 and 2.4 °C and the precipitation could decrease by 17.6%, 30.7% and 17.2% respectively. It is expected that average net irrigation water demand will increase by 9.8%, 12.1% and 8.4%.

Key words: ECHAM5, artificial neural networks, downscaling, bias correction, net irrigation water

Giriş

Çalışma kapsamında değerlendirilen sulama birliğinin içinde bulunduğu Gediz Havzası'nın sahip olduğu su kaynakları, genel olarak tarım, içme-kullanma ve sanayi sektörleri arasında paylaşılmaktadır. Bu paydaşlar arasında, suyun yaklaşık olarak %70 gibi çok önemli bir kısmını tarım sektörü kullanmaktadır. Geçtiğimiz yıllarda Havza'da kurak dönemler yaşanmış ve bu durum su kullanımı açısından rekabet içinde olan bu sektörler arasında sıkıntılara neden olmuştur.

Gerek sıcaklık artışına bağlı olarak su biriktirme haznelerinden buharlaşma nedeniyle oluşan kayıplardaki artış ve gerekse bitki su tüketimindeki artış, tarım sektöründeki ihtiyacın karşılanmasını güçleştirecektir. Bunun yanında yağışlardaki azalış ve yağış rejimindeki değişimle birlikte sulama suyuna ihtiyaç duyulan dönemlerin değişmesi ve buna bağlı olarak bazı aylarda ihtiyacın artması nedeniyle suyun yönetiminde sıkıntılarının yaşanması beklenebilir. Ayrıca Akdeniz ikliminin hâkim olduğu havzada özellikle bitki su tüketiminin en yüksek olduğu ve yağışın olmadığı Temmuz ve Ağustos aylarında suyun etkin kullanımının ve yönetiminin daha da kritik bir öneme sahip olacağı söylenebilir. Nüfustaki artışa ve sanayideki gelişmeye bağlı olarak da bu iki sektörün su talebinde yakın ve uzak gelecekte artış yaşanacağı öngörülmektedir.

Bu nedenle önümüzdeki yıllarda su biriktirme haznelerinin etkin ve doğru bir şekilde yönetilebilmesi için sıcaklık ve yağış gibi iki önemli hidrolojik bileşenin doğru tahminlenmesi çok önemlidir. Önümüzdeki yüzyılda bu iki hidrolojik bileşenin farklı iklim senaryoları altındaki değişimlerinin incelenmesi; havzada bulunan sulama birliklerine saptırılması gereken net sulama suyu ihtiyaçlarının (SSİ) tahminlenebilmesi ve buna bağlı olarak da içme-kullanmaya ve sanayiye tahsis edilecek suyun planlanabilmesi için ilgili kuruluşlara gerekli olan bilgileri sağlayacaktır.

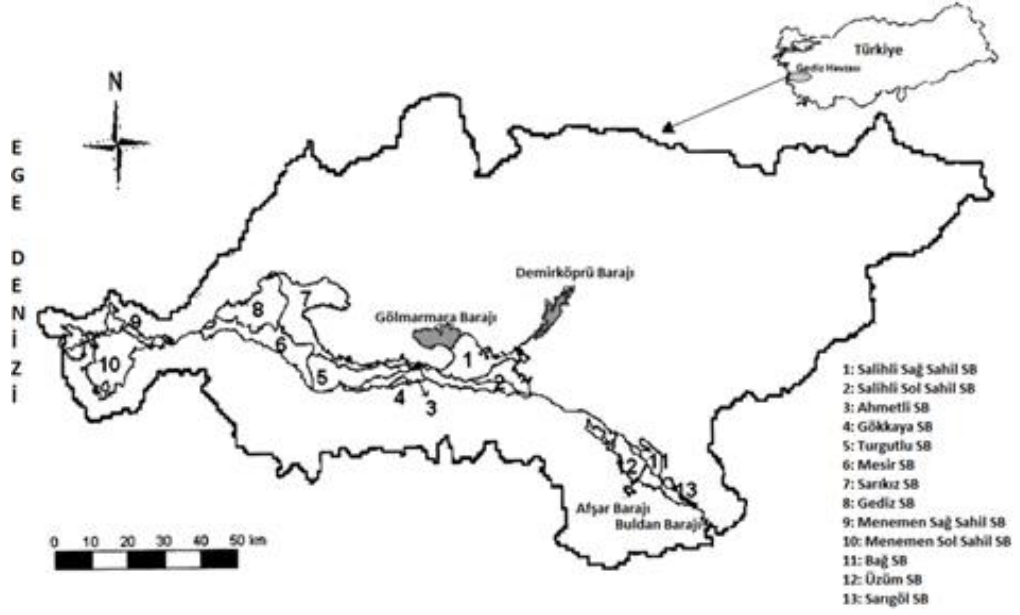
Dünyada, iklim değişiminin sulama suyu ihtiyacı üzerindeki olası etkilerinin incelendiği çalışmalara sıklıkla

rastlanmaktadır (Kang ve ark., 2015; Tanasijevec ve ark., 2014; Sang-Ok, 2013; McDonald and Girvetz, 2013; Meza ve ark., 2012; Villani ve ark. 2011; Fischer ve ark., 2007; Rodri'guez Dı'az ve ark., 2007; Döll, 2002). Ülkemizde de iklim değişiminin sulama suyu ihtiyacına etkilerinin incelendiği çalışmalara rastlanmakla birlikte (Serbes ve ark., 2018; Serbeş, 2017; Okkan ve ark., 2017; Okkan ve ark., 2016; T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016; Mengü ve ark., 2011; Şen ve ark., 2008; Harmancıoğlu ve ark., 2007), kısıtlı sayıdaki bu tür çalışmaların artması gerekmektedir.

Bu gerekçelerden hareketle, Menemen Sol Sahil sulama birliği örneğinde, ECHAM5 iklim modelinin olası iklim değişikliği senaryolarına göre elde edilen 2021-2100 dönemindeki 20 yıllık periyotlara ait net SSİ değerleri elde edilmiş, elde edilen bu değerler gözlenmiş iklim değerleri kullanılarak hesaplanan 1995-2007 dönemi ortalama net SSİ değerleri karşılaştırılarak, havzadaki su kaynaklarını kullanan paydaşlar içerisinde en yüksek kullanım oranına sahip tarım sektörüne yönelik etkin su kullanımı konusunda öneriler sunulmuştur. Ayrıca, ülkemizdeki diğer havzalar örneğinde yapılabilecek diğer çalışmalar için kapsamlı bir modelleme yaklaşımı da önerilmiştir.

Materyal ve Metod

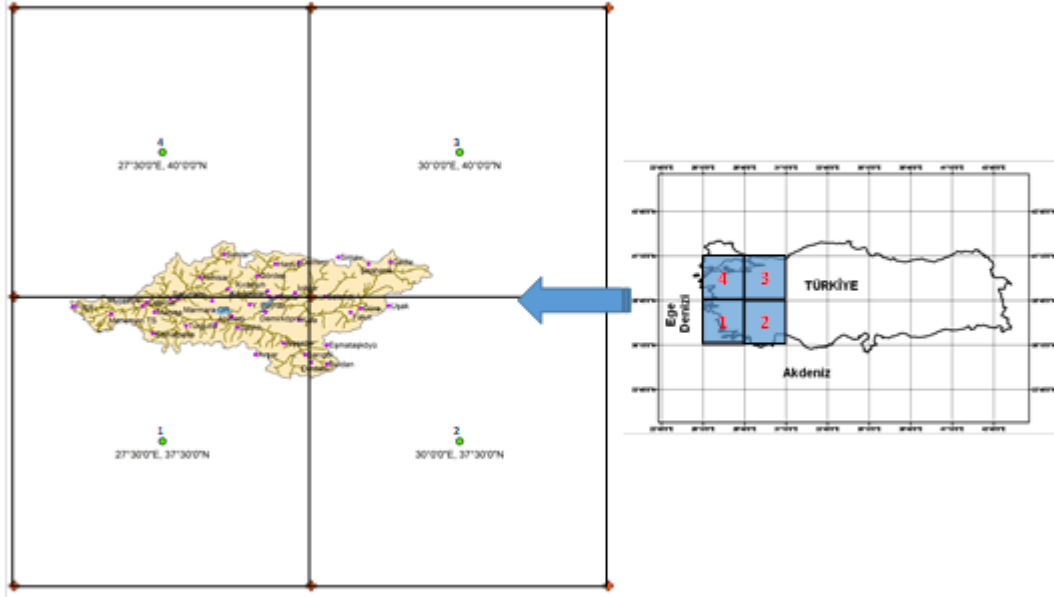
Çalışma kapsamında değerlendirilen Menemen Sol Sahil Sulama Birliği Gediz Havzası sınırları içinde bulunan 13 adet sulama birliğinden biri olup 16500 ha net sulama alanı ile %15.1'lik bir alanı temsil etmektedir (Şekil1). Sulama birliğinde 1997-2005 yıllarında yetiştirilen ürünler, Akgül (2009)'dan alınmış olup yetiştirildiği alan büyüklükleri sırasıyla pamuk, mısır, bağ, hububat, meyve, sebze, bostan, ve yem bitkileri olarak çeşitlilik göstermektedir. Söz konusu bitkilere ait ortalama alanlar ise yaklaşık olarak yine sırasıyla 8842.4, 1693.6, 937.9, 954.9, 449.4, 351.2, 272.0 ve 191.3 ha'dır. Yetiştirilme alanlarından da görüleceği üzere, su tüketimi oldukça yüksek olan pamuk, mısır ve bağın ortalama yetiştirme alanı içerisinde %81.2'lik bir yer kapladığı görülmektedir.



Şekil 1. Gediz Havzası ve sulama birliklerinin konumları (Akkuzu ve ark., 2007)
 Figure 1. Gediz Basin and irrigation associations locations (Akkuzu ve ark., 2007)

Ölçek indirgeme uygulamasında kullanılmak üzere, sulama birliğine yakın konulardaki ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilen, 38.600 kuzey enlemi, 27.067 doğu boylamında konumlandırılmış, denizden yüksekliği 10 m olan, Menemen meteoroloji istasyonunun 1961-1990 referans dönemine ait aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değerleri derlenmiştir. Havzada Akdeniz iklimi hakim olup bölgelere göre değişmekle birlikte seçilen istasyonda referans dönemi olarak alınan 1961-1990 dönemi yıllık sıcaklık ortalaması 16.6 °C, aynı dönem ortalama yıllık yağış toplamı ise yaklaşık 547 mm olarak hesaplanmıştır. İstasyonda ortalama sıcaklık değerinin yaklaşık 26.5 °C olarak temmuz ayında en yüksek olduğu görülmektedir. Yağışların büyük bir kısmı kış mevsiminde gerçekleşmekte olup sıcaklığın ve dolayısıyla bitki su tüketiminin en yüksek olduğu yaz aylarında ise yağış yok denecek kadar azdır. Bu nedenle yetiştirilen bitkiler için gerekli olan suyun yağışlarla karşılanamadığı bu dönemde, net sulama suyu ihtiyacının karşılanabilmesi oldukça önemlidir.

İstasyonda ölçülen sıcaklık ve yağış değerlerinin tahminlenmesi için hazırlanan ölçek indirgeme modellerinde tahminleyici olarak, NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) kuruluşları tarafından sunulan 2.5°x2.5° grid çözünürlüğüne sahip veri setleri kullanılmıştır. NCEP/NCAR re-analiz iklim verileri olarak adlandırılan bu veriler (Kalnay ve ark., 1996) uydu verileri, meteoroloji gözlem istasyonları, gemi ve uçak gözlemleri, çeşitli ülkelerin ulusal arşivleri ve hava tahmin modelleri sonuçları kullanılarak spektral istatistiksel interpolasyon yöntemi ile 210 km çözünürlüklü olarak hazırlanmaktadır. NCEP/NCAR re-analiz gridi verilerinin gözlenmiş meteorolojik değişkenler ile uyumu mevsimsel Kendall sıra korelasyon testi ile yapılmıştır (Anandhi ve ark., 2008). Test sonucunda, Menemen meteoroloji istasyonunun yağış ve sıcaklık verileriyle en iyi uyumun 1 numaralı grid ile sağladığı belirlenmiştir (Serbeş ve ark., 2014). Aynı zamanda söz konusu bu grid, sulama birliklerinin sorumlu oldukları alanları da kapsamaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. NCEP/NCAR re-analiz gridleri (Okkan ve ark., 2017)
 Figure 2. NCEP/NCAR re-analyze grids (Okkan ve ark., 2017)

Çalışmada gelecek dönem net sulama suyu ihtiyaçlarının elde edilmesi aşamasında, gerek alansal çözünürlüğünün yüksek olmasından ve gerekse birçok araştırmacının yaptığı tarımsal amaçlı öngörü çalışmalarında sıklıkla kullanılmasından dolayı ECHAM5 iklim modelinin A2, A1B ve B1 gelecek dönem senaryolarına ve 20C3M referans senaryosuna göre çalıştırılarak elde edilmiş kaba çözünürlüklü sonuçları esas alınmıştır. ECHAM5, Max Planck Enstitüsü'nde geliştirilen $1.87^\circ \times 1.87^\circ$ alan çözünürlüğünde olan atmosferik genel dolaşım modelidir (Roeckner ve ark., 2003). A2, A1B ve B1 senaryolarında; 2100 yılında atmosferik CO₂ konsantrasyonunun sırasıyla 850, 720 ve 550 ppm'e ulaşacağı kabul edilmektedir (IPCC, 2007a).

Çalışmada ölçek indirgeme modellerinin kurulması için gerekli olan atmosferik değişkenleri belirlemek amacıyla NCEP/NCAR re-analiz değişkenleri ile ECHAM5 iklim modelinin 20C3M, A2, A1B ve B1 senaryo sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki veri setinde de bulunan ortak atmosferik değişkenlerden air, hava sıcaklığını; hgt, geopotansiyel yüksekliği; rhum, nisbi (rölatif) nemi; press, yüzey basıncını; slp, deniz seviyesi basıncını; prate, yağışı temsil etmektedir. İfadelerin yanındaki sayılar hPa cinsinden atmosferik seviyeyi belirtmektedir.

İklim modelleri farklı çözünürlüklere sahip olmakla birlikte genel olarak kaba çözünürlüğe sahiptirler. Yerel düzeyde iklim değişikliğinin değerlendirildiği hassas çalışmalarda kullanılan iklim modellerinin sonuçları çalışma bölgesini yansıtmada yetersiz kalabilir. Bu nedenle kaba çözünürlüklü iklim modeli sonuçlarını yerel ölçeğe indirgeyen dinamik ve istatistiksel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Çalışmada, kurulumunun kolaylığı, veri gereksiniminin azlığı ve diğer bölgelere adapte edilebilirliği nedeniyle istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, kaba çözünürlüklü atmosferik değişkenler ile yerel ölçekte tahminlenmesi istenen değişken veya değişkenler arasında istatistiksel ilişkiler kurulması esasına dayanır ve bu bakımdan oldukça pratik bir yaklaşımdır (Wilby ve ark., 2002; Fistikoglu ve Okkan, 2011; Okkan ve Kırdemir, 2016). Kullanılan ölçek indirgeme stratejisinin detayları için Okkan ve Fistikoglu (2014) incelenebilir.

NCEP/NCAR re-analiz değişkenleri kullanılarak, gözlenmiş yağış ve sıcaklık değerlerinin tahmin edilmesi aşamasında kurulacak olan istatistiksel ölçek indirgeme modellerinde kullanılmak üzere en iyi tahminleyici veya tahminleyicilerin seçiminde, sıklıkla tercih edilen doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır (Wilby ve ark., 2002; Fistikoglu ve Okkan, 2011).

Optimum tahminleyici seçiminde Fistikoglu and Okkan (2011) tarafından önerilen, söz konusu değişkenlerle kurulabilecek tüm olası doğrusal regresyonların denendiği, All Possible Regression; APR (tüm olası regresyon) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, optimum tahminleyici veya tahminleyiciler seçilirken, doğrusal regresyon modellerinde potansiyel 11 adet NCEP/NCAP re-analiz tahminleyici değişkenin birli, ikili, üçlü, ... ve onbirli olası tüm kombinasyonları denenmiştir. Modellere ilişkin Mallows Cp katsayısı (Mallows, 1973) ve hata kareler ortalamasının karekökü (HKOK) değerleri dikkate alınarak, bir girdili modeller arasından en iyisi, iki girdili modeller arasından en iyisi, üç girdili modeller arasından en iyisi... ve onbir girdili modeller arasından en iyisi belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan istatistiksel ölçek indirgeme modelinde yapay sınır ağları (YSA) kullanılmış olup, modelin eğitimi aşamasında ileri beslemeli geri yayımlı ağ algoritmalarının gelişmiş bir türü olan Levenberg-Marquardt algoritmasından yararlanılmıştır (Hagan ve Menhaj, 1994; Ham ve Kostanic, 2001; Okkan ve Serbes, 2012; Okkan, 2013). YSA modellerinin kurulumunda veri setinin 2/3'ü (240 ay) ağı eğitimi için 1/3'ü 120 (ay) ise test aşamasında kullanılmıştır. Eğitim aşamasında ağı performansına bakılarak 10 adet iterasyonun yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. λ katsayısı 0.001 olarak sabit tutulmuş, 1 adet gizli katman kullanılmıştır. Gizli katmandaki hücre sayısının kaç olacağı deneme yanılma ile ağı performansını en iyi yapacak şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak ise logsig-purelin kullanılmıştır.

YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin performanslarının değerlendirilebilmesi, elde edilen sonuçların güvenilirliği için oldukça önemlidir. Bu aşamada, Moriasi ve ark. (2007) tarafından önerilen ve hidrolojik model kalibrasyonu için kullanılan Nash-Sutcliffe (NS), boyutsuz observations standard deviation ratio (RSR), percent bias (PBIAS) kriterleri, hangi girdi ya da girdi kombinasyonunu içeren modelin seçileceğine karar verilmesi aşamasında kullanılmıştır.

Küresel iklim modelleri büyük alanlar için sonuçlar ürettiğinden, iklim modelinin sonuçlarının istasyondaki ölçümleri temsil etmeme durumları bias (yanlılık) olarak ifade edilebilir. Bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla ölçek indirgeme modellerinden elde edilen sonuçlara bias düzeltme uygulanmıştır. Uygulamada öncelikle 1961-1990 referans dönemi ölçülmüş değerleri ve aynı dönemleri kapsayan 20C3M tahminleri için her bir aya ait eklenik dağılım fonksiyonları (EDF) elde edilir. Daha sonra 20C3M senaryosu sonuçlarına ait dağılım parametreleri elde edilir ve bu parametreler kullanılarak A2, A1B ve B1 senaryolarına ait tahminlerin EDF'leri elde edilir. Bu işlemin ardından gözlenmiş verilerin dağılım parametreleri kullanılarak 20C3M'ye ait EDF'lerin tersi alınır ve böylece 20C3M sonuçları için bias düzeltme işlemi tamamlanır. Son olarak gözlenmiş verilerin dağılım parametreleri kullanılarak A2, A1B ve B1 senaryo sonuçlarına ait EDF'lerin tersi alınıp gelecek dönem senaryo sonuçları için de bias düzeltme işlemi tamamlanmış olur (Ines ve Hansen, 2006).

Net sulama suyu ihtiyacının hesaplanması için gerekli olan potansiyel bitki su tüketimi (U) değerleri, Blaney-Criddle yöntemi ile hesaplanmıştır (Acatay, 1996, Blaney ve Criddle, 1950). Bu yöntem, az girdi kullanılarak hesaplama yapmaya imkan verdiği için tercih edilmiştir (Eşitlik 1-4).

$$U(\text{mm / ay}) = f \times k \quad (1)$$

$$f = (1.8T + 32) \times p / 100 \quad (2)$$

$$k(\text{mm / ay}) = k_c \times k_t \times 25.4 \quad (3)$$

$$k_t = 0.0173 \times (1.8T + 32) - 0.314 \quad (4)$$

Eşitliklerde, f aylık su kullanma kapasitesi faktörü, k ise aylık su kullanma kapasitesi, T derece cinsinden aylık ortalama sıcaklık değeri, p ise enlem derecesine bağlı olarak aylık ortalama gündüz saatlerinin yıllık ortalama gündüz saatlerine oranı, k_t iklim faktörü ve k_c gelişme dönemi faktördür.

Sulama suyu ihtiyacı (U_s) ise, Eşitlik 5 yardımıyla hesaplanmıştır (Acatay, 1996).

$$U_s(\text{mm / ay}) = U - R_e \quad (5)$$

Yöntemle ilgili bütün ayrıntılar ve kullanılan tablolar Acatay (1999) ve Serbeş (2017)'den incelenebilir.

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Çalışma kapsamında değerlendirilen Menemen meteoroloji istasyonunda ölçülen aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerlerinin tahminlenmesi için kurulacak

olan ölçek indirgeme modellerinde kullanılacak NCEP/NCAR re-analiz değişkenlerinin seçiminde uygulanan tüm olası regresyon yöntemine ilişkin sonuçlar Tablo 1-2'de sunulmuştur. Tablolar incelendiğinde, sıcaklıklar için 5 girdili, yağış için 10 girdili regresyon modeline ait değişkenlerin ölçek indirgeme modellerinde kullanılması uygun görülmektedir.

Tablo 1. Sıcaklıklar için farklı değişken sayılarında en iyi doğrusal regresyon modelleri
Table 1. The best linear regression models for different variable numbers for temperatures

Değişken Sayısı Variable Number	R ²	Düz. R ² Adj. R ²	C-p	HKOK (mm) RMSE (mm)	air	hgt	rhum	air	hgt	rhum	air	hgt	air	press	prate
					850	850	850	500	500	500	200	200			
1	97.8	97.8	155.8	1.002										X	
2	98.4	98.4	23.8	0.862										X	X
3	98.4	98.4	14.9	0.851	X	X								X	
4	98.5	98.4	6.1	0.839		X			X				X	X	
5	98.5	98.5	4.3	0.836		X		X	X				X	X	
6	98.5	98.5	4.7	0.835		X		X	X			X	X	X	
7	98.5	98.5	5.8	0.835		X		X	X		X	X	X	X	X
8	98.5	98.5	6.3	0.835	X	X		X	X		X	X	X	X	X
9	98.5	98.5	8.1	0.836	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
10	98.5	98.4	10.0	0.837	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
11	98.5	98.4	12.0	0.838	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tablo 2. Yağışlar için farklı değişken sayılarında en iyi doğrusal regresyon modelleri
Table 2. The best linear regression models for different variable numbers for precipitations

Değişken Sayısı Variable Number	R ²	Düz. R ² Adj. R ²	C-p	HKOK (mm) RMSE (mm)	air	hgt	rhum	air	hgt	rhum	air	hgt	air	press	prate
					850	850	850	500	500	500	200	200			
1	53.6	53.5	82.1	37.028											X
2	58.4	58.1	39.1	35.124	X										X
3	59.4	59.1	31.1	34.721	X								X		X
4	60.2	59.8	25.6	34.430	X					X			X		X
5	62.0	61.5	10.9	33.700		X				X		X	X		X
6	62.3	61.7	9.8	33.602					X	X		X	X	X	X
7	62.6	61.9	9.1	33.525	X			X	X		X	X	X		X
8	62.8	62.0	9.1	33.476	X			X	X	X		X	X		X
9	62.9	62.0	9.9	33.468	X	X			X	X		X	X	X	X
10	63.1	62.1	10.0	33.424	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
11	63.1	62.0	12.0	33.471	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fazla girdi kullanımı, modellerin serbestlik derecesini ve değişkenlerin kendi belirsizliklerinden dolayı model sonuçlarının belirsizliğini arttıracaktır (Okkan ve Kirdemir, 2016). Bu nedenle, yağışlar için 2 girdili (prate ve air850) YSA modelinin, tüm performans kriterleri yönünden daha fazla girdili modellerle aynı sınıfta (iyi sınıfta) olduğu, sıcaklıklar için 1 girdili (air) YSA

modelinin tüm performans kriterleri yönünden çok iyi sınıfta olduğu görüldüğünden, ECHAM5 iklim modellerine ait sıcaklık ve yağış öngörülerinin elde edilmesinde bu YSA modellerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Modellerin test dönemlerine ilişkin performans değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Sıcaklıklar ve yağışlar için kurulan YSA modellerinin test dönemlerine ilişkin performans değerleri ve istatistikler.

Table 3. Performance values and statistics for test periods of YSA models established for temperature and precipitation.

Değişken Variable	Model	HKOK RMSE (mm)	R ² (-)	Düz. R ² Adj. R ² (-)	NS (-)	RSR (-)	PBIAS (%)	Min. Min. (mm)	Mak. Max (mm)	Ort. Aver. (mm)	Std. Sap. Std. Dev. (mm)
Sıcaklık Temperature	Gözlem Observation	-	-	-	-	-	-	5.20	28.60	16.61	6.81
	Model	0.9640	0.9848	0.9847	0.9800	0.1415	-2.86	5.60	28.45	17.08	6.73
Yağış Precipitation	Gözlem Observation	-	-	-	-	-	-	0.00	261.50	41.57	54.65
	Model	31.3005	0.6746	0.6691	0.6719	0.5728	1.46	-10.67	200.61	40.97	42.10

Her bir istasyonda ölçülen (gözlenmiş) aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklıkların hangi dağılıma uydukları Olasılık Çizgisi Korelasyon Katsayısı Testi (OÇKKT) ile belirlenmiştir. Yapılan test sonucunda, 0.05 önem düzeyinde yağışların Gamma-2, sıcaklıkların ise Normal dağılıma uydukları saptanmış ve her bir dağılıma ilişkin parametreler hesaplanmıştır. Ardından, elde edilen sonuçlardaki yanlılık miktarının azaltılması için söz konusu dağılımlara ilişkin değerler kullanılarak bias düzeltme uygulanmış ve sonuçlar ölçülmüş değerlerin dağılımlarıyla uyumlu hale getirilmiştir.

Bias düzeltme işlemi uygulandıktan sonra elde edilen aylık ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında 20C3M referans dönem senaryosuna göre A2, A1B ve B1 senaryolarında 2021-2100 yılları ortalamasının 2.8, 3.0 ve 2.4 °C artış olabileceği, yüzyılın son 20 yıllık döneminde ise bu artışın yine sırasıyla 4.9, 4.7, 3.5 °C olabileceği görülmüştür. Yıllık toplam yağış değerlerinde ise yine 2021-2100 yılları ortalamasının sırasıyla % olarak 17.6, 30.7 ve 17.2 azalış olabileceği, yüzyılın son 20 yıllık döneminde ise yağışlardaki bu azalışın yine sırasıyla 41.6, 51.9 ve 27.1 olabileceği görülmüştür.

ECHAM5 iklim modelinin Menemen aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleri tahminlerinin elde edilmesi ve bias düzeltme işlemi uygulanmasının ardından bitki su tüketimi (BST) ve net sulama suyu ihtiyacı hesabı aşamasına geçilmiştir. Öncelikle 1995-2007 yıllarına ilişkin her bir bitki için yıllık toplam potansiyel BST değerleri, gözlenmiş sıcaklık değerleri

kullanılarak hesaplanmıştır. Bitki deseninin gelecek dönemlerde de aynı kalacağı varsayımıyla A2, A1B ve B1 senaryolarının düzeltilmiş sıcaklık değerleri kullanılarak 2021-2100 dönemi için yıllık toplam potansiyel BST değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin 20 yıllık periyotlara ait ortalamaları, 1995-2007 potansiyel BST değerlerinin ortalamalarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda potansiyel BST'lerde 2021-2100 arası yıllarda meydana gelen % artışların ortalama değerleri A2 senaryosu için hububatta 12.6, meyvede 2.2, pamukta 1.3, bağda 2.6, mısırdaki 1.2, sebzedeki 0.5, yem bitkilerinde 12.6 ve bostanda 0.5, A1B senaryosu için hububatta 14.8 meyvede 3.7, pamukta 2.6, bağda 4.1, mısırdaki 2.7, sebzedeki 1.9, yem bitkilerinde 14.8 ve bostanda 1.9, B1 senaryosu için ise hububatta 9.1, meyvede 1.2, pamukta 0.5, bağda 1.6, mısırdaki 0.1, sebzedeki -0.3, yem bitkilerinde 9.1 ve bostanda -0.3 olacağı hesaplanmıştır.

BST değerlerinin hesaplanmasının ardından söz konusu gözlenmiş ve ECHAM5 gelecek dönem senaryolarına ait yağış değerleri kullanılarak etkili yağış değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan BST değerlerinden etkili yağış değerleri çıkarılarak sulama suyu ihtiyaçları (SSİ) hesaplanmıştır. Öncelikle 1995-2007 yıllarına ilişkin her bir bitki için yıllık toplam SSİ değerleri hesaplanmıştır. Ardından yine A2, A1B ve B1 senaryolarının 2021-2100 dönemi için yıllık toplam SSİ değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerin 20 yıllık periyotlarına ait ortalamaları, 1995-2007 SSİ değerlerinin ortalamalarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda

SSİ'lerde 2021-2100 arası yıllarda meydana gelen % artışların ortalama değerleri A2 senaryosu için hububatta 23.6, meyvede 9.1, pamukta 9.1, bağda 10.4, mısırdaki 5.7, sebze 7.2, yem bitkilerinde 23.6 ve bostanda 7.2, A1B senaryosu için hububatta 30.7, meyvede 11.3, pamukta 11.0, bağda 12.8, mısırdaki 8.0, sebze 9.1, yem bitkilerinde 30.7 ve bostanda 9.1, B1 senaryosu için ise hububatta 20.5, meyvede 7.5, pamukta 7.7, bağda 8.8, mısırdaki 4.3, sebze 6.1, yem bitkilerinde 20.5 ve bostanda 6.1 olacağı hesaplanmıştır.

SSİ değerlerinin hesaplanmasının ardından, çalışma kapsamında değerlendirilen Menemen Sol Sahil sulama birliğinin ihtiyaç duyduğu net sulama suyu miktarlarının hesaplanması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada, öncelikle sulama birliğinde 1995-2007 yıllarında üretimi yapılan bitkiler için söz konusu döneme ilişkin ortalama alanlar hesaplanmıştır. Daha sonra, A2, A1B ve B1 senaryolarının 2021-2100 dönemi yıllık SSİ değerleri ile hesaplanan ortalama alanlar çarpılarak su kaynağından yıllık olarak saptırılması gereken net SSİ elde edilmiştir. Elde edilen net SSİ değerlerinin 2021-2100 dönemine ilişkin yıllık toplamalarının ortalaması hesaplanmış ve bu ortalama değerler, 1995-2007 dönemine ilişkin yıllık net SSİ toplamalarının ortalama değerlerine göre % değişimleri hesaplanmıştır. Ayrıca, 1995-2007 dönemi ve 2021-2100 dönemine ilişkin aylık ortalama net SSİ değerleri hesaplanmış ve böylece sulama birliklerinin söz konusu dönemlere ilişkin ihtiyaç duydukları net SSİ değerlerinin aylık dağılımları da değerlendirilmiştir.

Karşılaştırma sonucunda net SSİ'lerde 2021-2100 arası yıllarda meydana gelen % artışların ortalama değerleri A2 senaryosu için hububatta 26.9, meyvede 9.6, pamukta 9.3, bağda 10.8, mısırdaki 6.8, sebze 9.2, yem bitkilerinde 59.1 ve bostanda 6.9, A1B senaryosu için hububatta 34.2, meyvede 11.9, pamukta 11.2, bağda 13.1, mısırdaki 9.1, sebze 11.2, yem bitkilerinde 68.2 ve bostanda 8.9, B1 senaryosu için ise hububatta 23.8, meyvede 8.1, pamukta 8.0, bağda 9.2, mısırdaki 5.4, sebze 8.1, yem bitkilerinde 55.1 ve bostanda 5.9 olacağı hesaplanmıştır.

Yıllık toplam net sulama suyu ihtiyacındaki artışların yanında, sulama birliğinde yeterli ve zamanında yapılması planlanan sulama suyu miktarının aylara göre değerlendirilmesi ve su kısıtı yaşanabilecek kritik ayların saptanması da oldukça önemlidir. Bu gerekçeden hareketle, 1995-2007 dönemine göre, 2021-2100 dönemi aylık toplam net SSİ değerlerinin değişiminin de incelendiğinde, özellikle Ağustos ayında A2 ve B1 senaryolarındaki az miktardaki azalış hariç net SSİ'nin bütün aylarda arttığı, bu artışların en yüksek olduğu ayın ise Eylül ayı olduğu göze çarpmaktadır. Bu bakımdan söz konusu ay için sulama birliğinde gelecek dönemde özellikle suyun yönetimi aşamasında dikkatli olunması gerekmektedir. Sulama birliğinde referans döneme benzer şekilde en yüksek net SSİ'nin Temmuz ayında gerçekleştiği düşünüldüğünde yine bu aydaki az miktardaki artışın bile yağışın az olduğu ve sıcaklığın oldukça arttığı bu dönemde saptırılması gereken suyun zamanında ve uygun miktarda bitkilere ulaştırılması ürün kalitesi ve verim açısından oldukça önemlidir.

Bitki bazında net SSİ değerlerindeki değişimler ayrıntılı olarak incelendiğinde, kış yağışlarındaki azalışların ve sıcaklık artışlarının hububat ve yem bitkilerinin net SSİ değerlerinin gelecek dönemde artışında etkili olduğu söylenebilir. Sulama birliğinde yetiştirilen diğer bitkiler arasında yaklaşık 11473 ha gibi oldukça büyük bir alanda üretimi yapılan pamuk, bağ ve mısırın net SSİ değerlerindeki artış özellikle dikkat çekicidir. 2021-2100 periyodu ortalama net SSİ değerlerinde artışın pamuk, bağ ve mısır için sırasıyla A2 senaryosunda 1.898, 0.280 ve 0.292, A1B senaryosunda 2.296, 0.341 ve 0.389, B1 senaryosunda ise 1.626, 0.239 ve 0.230 m³/s olduğu hesaplanmıştır. Bu değerler sulama birliğinde yetiştirilen diğer bitkilerdeki artışlarla karşılaştırıldığında daha fazla olup pamuktaki artışa özellikle dikkat edilmelidir. Sulamanın zamanını ve miktarının planlanması aşamasında söz konusu bitkilerin yetiştirildiği alanlarda sulama planlamasının doğru yapılması üretimi doğrudan etkileyecektir.

Sonuç ve Öneriler

İklim değişiminin etkilerinin oldukça fazla hissedileceği belirtilen Akdeniz ikliminin hâkim olduğu bölgelerde ve dolayısıyla çalışma alanını oluşturan ve Gediz Havzası'nda bulunan Menemen Sol Sahil sulama birliğinde, yağış ve sıcaklık değerlerindeki değişimlerin bölgede yetiştirilen bitkilerin net sulama suyu ihtiyacına (SSİ) etki etmesi kaçınılmazdır. Sulama birliğine tahsis edilecek toplam net SSİ miktarının yanında, suyun hangi dönemde ne kadar verilmesi gerektiğinin de bilinmesi, suyun etkin yönetimi açısından oldukça önemlidir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, sulama birliği genelinde A2, A1B ve B1 senaryolarına göre, 2021-2100 dönemi ortalama sıcaklıklarının sırasıyla 2.8, 3.0 ve 2.4 °C artabileceği, yağışların ise %17.6, %30.7 ve %17.2 azalabileceği, buna bağlı olarak da ortalama net sulama suyu ihtiyacında %9.8, %12.1 ve %8.4 artış olması beklenmektedir. Sulama birliğinde yetiştirilen bitkiler açısından bakıldığında özellikle kış yağışlarının azalması hububat ve yem bitkilerinin net SSİ değerlerindeki artış yüzdesinin önemli derecede arttıracığı görülmektedir. Ancak sulama birliğinin %81.2'lik bir alanında üretimi yapılan pamuk, bağ ve mısırdaki net SSİ artış miktarının oldukça dikkat çekici olduğu ve özellikle pamuk yetiştiriciliğinde su ihtiyacının çarpıcı bir şekilde artacağı sonucuna varılmıştır. Sıcaklığın en yüksek olduğu Temmuz ayında özellikle su tüketimi yüksek olan ve oldukça büyük bir alanda yetiştirilen bu pamuk, bağ ve mısır bitkisinin sulama programlamasında ve bu bölgelere suyun saptırılması aşamasında, suyun yönetiminde etkin rol oynayan kurum ve kişilerin bu konuda gelecek dönemlerde gerçekleşmesi olası senaryolara göre önlemler alması ve projeler geliştirmesi son derece önemlidir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların bu bakımdan söz konusu kişi ve kuruluşlara katkıda bulunabileceği, düşünülmekte ve çalışmada kullanılan modelleme yaklaşımının, başka havzalarda ve sulama birliklerinde yapılması düşünülen benzer çalışmalara örnek olabileceği düşünülmektedir.

IPPC'nin 4. Değerlendirme Raporu kapsamında değerlendirilen ve farklı çalışma grupları tarafından üretilmiş birçok iklim modeli bulunmaktadır. Her bir iklim modeli kendi içinde belirsizlikler içermekte ve herhangi bir bölge için iklim modellerinden farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenlerle, yapılacak benzer çalışmalarda söz konusu iklim modellerinin karşılaştırılmasının yapılması ve çalışma bölgesini iyi temsil edebilmek için çoklu model yaklaşımlarının kullanılması önerilmektedir. Ayrıca IPPC'nin 5. Değerlendirme Raporu kapsamında (AR5) değerlendirilen yeni iklim modelleri de benzer amaçlarla yapılacak çalışmalarda kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2014-ZRF-022. Bu bakımdan Ege Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Umut OKKAN yürütücülüğünde tamamlanan, TÜBİTAK-ÇAYDAG tarafından desteklenen "İklim Değişikliği Senaryoları Altında Gelecekteki Sulama ve İçme Suyu Yeterliliğinin İrdelenmesi: Gediz Havzası Örneği" başlıklı 114Y716 numaralı proje ile desteğinden dolayı TÜBİTAK'a ve proje ekibine teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Acatay, T. 1996. Sulama Mühendisliği. Dokuz Eylül Üniversitesi Vakfı Yayınevi, İzmir.
- Akgül, S. 2009. Gediz Havzasında Su Bütçesi Elemanlarındaki Değişimin Tarımsal Su Kullanımına Etkisi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 246 sayfa.
- Akkuzu, E., Unal, H.B., Karatas, B.S., Avci, M., Asik, S. 2007. General Irrigation Planning Performance of Water User Associations in the Gediz Basin in Turkey. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Volume 133 Issue 1, pp. 17-26.

- Anandhi, A., Srinivas, V.V., Nanjundiahb, R.S., Kumara, D.N. 2008. Downscaling Precipitation to River Basin in India for IPCC SRES Scenarios Using Support Vector Machine. *International Journal Of Climatology*, 28: 401–420.
- Blaney, H.F., Criddle, W.P. 1950. Determining Water Requirements in Irrigated Areas From Climatological and Irrigation Data. USDA (SCS) TP-96, 48 pp., 1950.
- Döll, P. 2002. Impact of Climate Change and Variability on Irrigation Requirements: A Global Perspective. *Climatic Change* 54: 269–293.
- Fischer, G. Tübiello, F.N., Velthuisen, H.V., Wiberg, D.A.. 2007. Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements: Effects of Mitigation, 1990–2080. *Technological Forecasting & Social Change*, 74, 1083–1107.
- Fistikoglu, O., Okkan, U., 2011, Statistical Downscaling of Monthly Precipitation Using NCEP/NCAR Reanalysis Data for Tahtali River Basin in Turkey. *Journal of Hydr. Eng.*, 16(2): 157-164.
- Hagan, M.T., Menhaj, M.B. 1994. Training Feed Forward Techniques with the Marquardt Algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5, 6, 989–993.
- Ham, F., Kostanic, I. 2001. *Principles of Neurocomputing for Science and Engineering*. Macgraw-Hill. USA.
- Harmancıoğlu, N.B., Özkul, S., Fıstıkoğlu, O., Barbaros, F., Onuşluel, G., Çetinkaya, C.P., Dalkılıç, Y. 2007. İklim Değişikliğinin Gediz ve Büyük Menderes Havzalarına Olası Etkileri. İklim Değişikliği ve Türkiye Etkiler, Sektörel Analizler, Sosyo-Ekonomik Boyutlar. B. M. Kalkınma Programı (UNDP) Türkiye Ofisi. Sayfa: 18-22.
- IPCC, 2007a. *Climate Change, The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*.
- Ines, A.V.M. ve Hansen, J.W. 2006. Bias Correction of Daily GCM Rainfall for Crop Simulation Studies. *Agri. and Forest Meteorology*, 138(1–4), 44–53.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-471.
- Kang, Y., Khan, S., Ma, X. 2015. Analysing Climate Change Impacts On Water Productivity Of Cropping Systems in The Murray Darling Basin, Australia. *Irrig. and Drain.*, 64: 443–453.
- Mallows, C.L. 1973. Some Comments on Cp, *Technometrics*, 15(4), 661-675.
- McDonald, R.I., Girvetz, E.H. 2013. Two Challenges for U.S. Irrigation Due to Climate Change: Increasing Irrigated Area in Wet States and Increasing Irrigation Rates in Dry States. *PLoS ONE* 8(6): e65589. doi:10.1371/journal.pone.0065589.
- Mengu, G.P., Akkuzu, E., Anac, S., Sensoy, S. 2011. Impact Of Climate Change On Irrigated Agriculture, *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 20(3a).
- Meza, F.J., Wilks, D.S., Gurovich, L., Bambach, N. 2012. Impacts of Climate Change on Irrigated Agriculture in the Maipo Basin, Chile: Reliability of Water Rights and Changes in the Demand for Irrigation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(5): 421-430.
- Okkan, U. 2013. Doktora Tezi (YOK Tez No: 328330): İklim değişikliğinin akarsu akışları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi / Assessment of climate change effects on river flows, 364 s., Tez Danışmanı: Doç. Dr. Okan FISTIKOĞLU.
- Okkan, U., Fistikoglu, O. 2014. Evaluating Climate Change Effects on Runoff by Statistical Downscaling and Hydrological Model GR2M. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1), 343–361.

- Okkan, U., Kırdemir, U., 2016. Downscaling of Monthly Precipitation Using CMIP5 Climate Models Operated under RCPs. *Meteorological Applications*, 23(3), 514-528. DOI: 10.1002/met.1575.
- Okkan, U., Kırdemir, U., Serbeş, Z.A. 2016. RCP İklim Değişikliği Senaryoları İle Salihli Sol Sahil Sulaması'nda Sulama Suyu İhtiyacının 2015-2050 Gelecek Dönemi İçin İrdelenmesi. 13. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 12-15 Nisan 2016, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, sf 81-90.
- Okkan, U., Serbes, Z.A. 2012. Rainfall-runoff Modeling Using Least Squares Support Vector Machines. *Environmetrics*, 23, 549-564.
- Okkan, U., Tatlı, H., Dalkılıç, H.Y., Serbeş, Z.A., Kırdemir, U. 2017. İklim Değişikliği Senaryoları Altında Gelecekteki Sulama ve İçme Suyu Yeterliliğinin İrdelenmesi: Gediz Havzası Örneği. TÜBİTAK-ÇAYDAG Projesi, No:114Y716, Sonuç Raporu.
- Rodríguez Díaz, J.A., Weatherhead, E.K., Knox, J.W., Camacho, E. 2007. Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements in the Guadalquivir River Basin in Spain. *Reg Environ Change*, 7:149-159.
- Roeckner, E., Bäuml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kirchner, I., Kornblueh, L., Manzini, E., Rhodin, A., Schlese, U., Schulzweida, U., Tompkins, A. 2003. The Atmospheric General Circulation Model ECHAM 5. PART I: Model description, MPI-Report No. 349.
- Sang-Ok, C. 2013. Projecting Future Paddy Irrigation Demands in Korea. *Irrig. and Drain.*, 62: 297-305.
- Serbeş, Z.A., Okkan, U., Avcı, M. 2014. Ölçülen ve NCEP Re-Analiziyle Elde Edilen Yağış Verileri Eğilimlerinin Karşılaştırılması: Gediz Havzası Örneği. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2014, Namık Kemal Ün., Tekirdağ, 420-425.
- Serbeş, Z.A. 2017. Doktora Tezi (YÖK Tez No: 488259): Olası İklim Değişikliği Senaryoları Altında Gediz Havzası Sulama Suyu İhtiyacının Tahminlenmesi, 171 s., Tez Danışmanları: Prof. Dr. Şerafettin AŞIK, Dr. Öğr. Üyesi Umut OKKAN.
- Serbes, Z.A., Yildirim, T., Mengu, G.P., Akkuzu, E., Asik, S., Okkan, U. 2018. Temperature and Precipitation Projections under AR4 Scenarios: The Case of Kucuk Menderes Basin, Turkey. 4th International Conference Water Across Time in Engineering Research - WATER 2018, Constanta, Romania. 21-23 June. Pp-72-72.
- Şen, B., Topçu, S., Giorgi, F., Bi, X., Kanit, E.G., Dalkılıç, T. 2008. Seyhan Havzasında İklim Değişikliğinin Tarımsal Su Kullanımına Etkileri. TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, Ankara, sayfa: 71-82.
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L.S., Pizzigalli, C., Lionello, P. 2014. Impacts of Climate Change on Olive Crop Evapotranspiration and Irrigation Requirements in the Mediterranean Region. *Agricultural Water Management*, Volume: 144, Pages: 54-68.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Proje Nihai Raporu, Ek-7 Gediz Havzası. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Wilby, R.L., Hay, L.E., Gutowski Jr., W.J., Arriitt, R.W., Takle, E.S., Pan, Z., Leavesley, G.H., Clark, M.P. 2000. Hydrological Responses to Dynamically and Statistically Downscaled Climate Model Output. *Geophysical Research Letters*, Volume 27, Issue 8, Pages 1199-1202.
- Villani, G., Tomei, F., Tomozeiu, R., Marletto, V. 2011. Climatic Scenarios and Their Impacts on Irrigated Agriculture in Emilia-Romagna, Italy. *Italian Journal of Agrometeorology* – No:1, April.