

DEĞİŞİK MODEL VE SENARYOLARA GÖRE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN FIRAT-DİCLE HAVZASINA OLAN ETKİLERİ

Deniz BOZKURT¹, Ömer Lütfi ŞEN^{1,2}

¹**Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi
34469 Maslak, İstanbul**

²**Sabancı Üniversitesi, İstanbul Politikalar Merkezi,
Mercator-İPM Araştırma Programı, İstanbul**

bozkurtd@itu.edu.tr; senomer@itu.edu.tr

ÖZET

Gelecek iklim değişikliğinin havzadaki hidro-iklimsel etkilerini araştırmak için değişik küresel sirkülasyon modeli (ECHAM5, CCSM3 ve HadCM3) ve emisyon (A1FI, A2, B1) çıktılarının dinamik ölçek yöntemi ile küçültülmüş yüksek çözünürlüklü projeksiyonları kullanılmıştır. Farklı modellerin farklı emisyon senaryo çıktıları kullanılarak yapılan analizler, havzada kış yüzey sıcaklıklarının artacağını ve bu artışın havzanın yüksek yerlerinde daha fazla olacağını göstermektedir. Tüm simülasyonlarda, kış yağışının havzanın dağlık alanlarında ve kuzey kesimlerinde azaldığı, havzanın güney kesimlerinde arttığı yönünde genel bir uyumluluk vardır. Tüm simülasyonlar, dağlık bölgelerde kar-su eşdeğerlerinde %55 (düşük emisyon) ile %87 (yüksek emisyon) arasında değişen ve istatistiksel olarak anlamlı azalmalar öngörmektedir. Ana su kaynaklarının olduğu bölgede ise yıllık yüzey akışı değerlerinde %25 ve %55 arası (istatistiksel olarak anlamlı) azalmalar öngörülmektedir. Ayrıca, ana su kaynaklarının olduğu bölgede, yüzey akışlarının tepe zamanlarında ciddi bir şekilde erkene kaymalar (kullanılan senaryoya göre 18 ve 39 gün arası kadar) tahmin edilmektedir. Tüm senaryolarda tahmin edilen yıllık yüzey akış değişimlerine göre, ciddi azalmaların öngörüldüğü havzanın Türkiye ve Suriye toprakları, iklim değişikliğine karşı en kırılgan bölgeleridir. Bu yüzden havzadaki önemli hidro-iklimsel değişiklikler, havzadaki baraj ve hidro-elektrik santrallerinin yönetimi ile ilgili zorlukların artmasına neden olabileceği gibi havzanın biyolojik ve fizyolojik ekosistem bileşenleri üzerinde daha fazla etkilere yol açabilir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Hidroloji, Türkiye, Suriye, Irak, İran

ABSTRACT

Hydro-climatic effects of future climate change in the Euphrates–Tigris Basin are investigated using dynamically downscaled outputs of different GCM (ECHAM5, CCSM3 and HadCM3) – emissions scenario (A1FI, A2 and B1) simulations. All scenario simulations indicate winter surface temperature increases in the entire basin, however, the increase is larger in the highlands. There is a broad agreement amongst the simulations in terms of the winter precipitation decrease in the highlands and northern parts and increase in the southern parts of the basin. A remarkable impact of warming could be seen on the snow water equivalent in the

highlands where each simulation points out statistically significant decreases ranging from 55% (lower emissions) to 87% (higher emissions). Statistically significant declines (25–55%) are found for the annual surface runoff of the main headwaters area. Moreover, significant temporal shifts to earlier days (between 18 and 39 days depending on the scenario) are projected to occur in the surface runoff timing in the headwaters region. Projected annual surface runoff changes in all simulations suggest that the territories of Turkey and Syria within the basin are most vulnerable to climate change as they will experience significant decreases in the annual surface runoff. The substantial changes in the hydro-climate of the basin, therefore, are likely to increase the challenges associated with the management of several dam reservoirs and hydropower plants in the basin in addition to causing further impacts on physical and biological components of the ecosystems along these rivers.

Key Words: *Climate Change, Hydrology, Turkey, Syria, Iraq, Iran*

1. GİRİŞ

Hükümetlerarası İklim değişikliği Paneli'nin son raporunda [1], değişik emisyon senaryoları için gerçekleştirilmiş küresel sirkülasyon model çıktılarına göre ülkemizin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzası'nda 21. yüzyıl sonlarına doğru yağış azalışıyla beraber sıcaklıklarda artışın olacağı ve bu bölgenin küresel iklim değişimine karşı en kırılgan bölgelerden biri olacağı belirtilmiştir. Daha ayrıntılı bilgilerin olduğu dinamik ölçek küçültülerek yapılan çalışmalarda da, yağıştaki azalışın kıyı bölgelerde kendini daha çok göstereceği belirtilmiştir [2;3;4]. Yapılan bu çalışmaların birinde [3], nispeten kötümser bir senaryoya (IPCC'nin A2 emisyon senaryosu) göre gerçekleştirilen simülasyonun sonuçlarına göre, içinde bulunduğumuz yüzyılın sonlarına doğru, Türkiye'de sıcaklıkların 2 ile 6 derece arasında yükseleceği, en küçük artışın kış mevsiminde ve en yüksek artışın yaz mevsiminde olacağı öngörülmüştür. Özellikle Fırat ve Dicle gibi büyük nehirlerimizi besleyen Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kar örtüsünde sıcaklık artışından dolayı meydana gelecek azalma, yüzey akışında önemli mevsimsel değişikliklere neden olacaktır. Kar birikme dönemi olan kış mevsiminde daha az kar birikecek, daha çok su akışa geçecektir. Kar erime döneminde ise daha az birikmiş kar olacağından, daha az yüzey akışı meydana gelecektir. Bu nedenle nehirlerdeki akış rejimi değişecek; kış aylarında debiler yükselirken, ilkbahar aylarında düşecektir [5].

Fırat-Dicle Havzası, Orta Doğu ve Doğu Anadolu'nun kar ile beslenen iki önemli nehrine ev sahipliği yapar. Havzanın su kaynakları, havza ülkeleri olan Türkiye, Suriye, Irak ve İran için hidroelektrik üretimi, sulama ve tarım gibi alanlarda kritik öneme sahiptir. Ancak insanoğlunun son yıllarda doğaya ve doğal yaşama gittikçe artan müdahalesi, yüzbinlerce, hatta milyonlarca yılda oluşan dengeleri bozmaya başlamıştır. Fırat-Dicle Havzası'nın kapsadığı bereketli

Mezopotamya toprakları ve çevresi de bu müdahalelerin yarattığı değişikliklerden nasibini almaya başlamıştır. Havzanın ana su kaynaklarının olduğu kar ile kaplı dağlık alanlar, Toros ve Zagros Dağları'nda yer alır ve iklim değişikliğine karşı özellikle savunmasızdır. Bu çalışmada, gelecek iklim değişikliğinin havza hidrolojisine olan etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2. MODEL VE YÖNTEM

UNDP-Türkiye tarafından desteklenen bir proje kapsamında ECHAM5/MPI-OM, NCAR-CCSM3 ve HadCM3 küresel sirkülasyon modellerinin değişik emisyon senaryolarına ait çıktıları RegCM3 bölgesel iklim modeli kullanılarak dinamik olarak küçültülmüştür. İlk olarak referans periyodu (1961-1990) için yapılan simülasyonlar, daha sonra değişik emisyon senaryoları için gerçekleştirilmiştir. Model simülasyonları için yatay çözünürlüğü 27 km olan 144x100 grid sistemi ve 17 sigma seviyesi kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan simülasyonlar ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Önceki bir çalışmada, referans dönem klimatolojisi ile birlikte model performansları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir [6]. Üç farklı modelin A2 senaryo simülasyonu ile aynı modelin (CCSM3) üç farklı senaryo simülasyonu mevcuttur. HadCM3 modeli ile gerçekleştirilen simülasyon hariç tüm simülasyonlar 21. yüzyılın tamamını kapsamaktadır. HadCM3 simülasyonu ise sadece 2070-2099 dönemi için mevcuttur. Bu simülasyonların RegCM3 modeli ile ölçek küçültülerek elde edilen yağış, sıcaklık, kar-su eşdeğeri, yüzey akışı gibi çıktıları, Fırat-Dicle Havzası için değişik açılardan analiz edilmiştir [7].

Tablo 1. İklim değişikliği çalışmalarına temel teşkil eden küresel iklim modeli-emisyon senaryosu kombinasyonları.

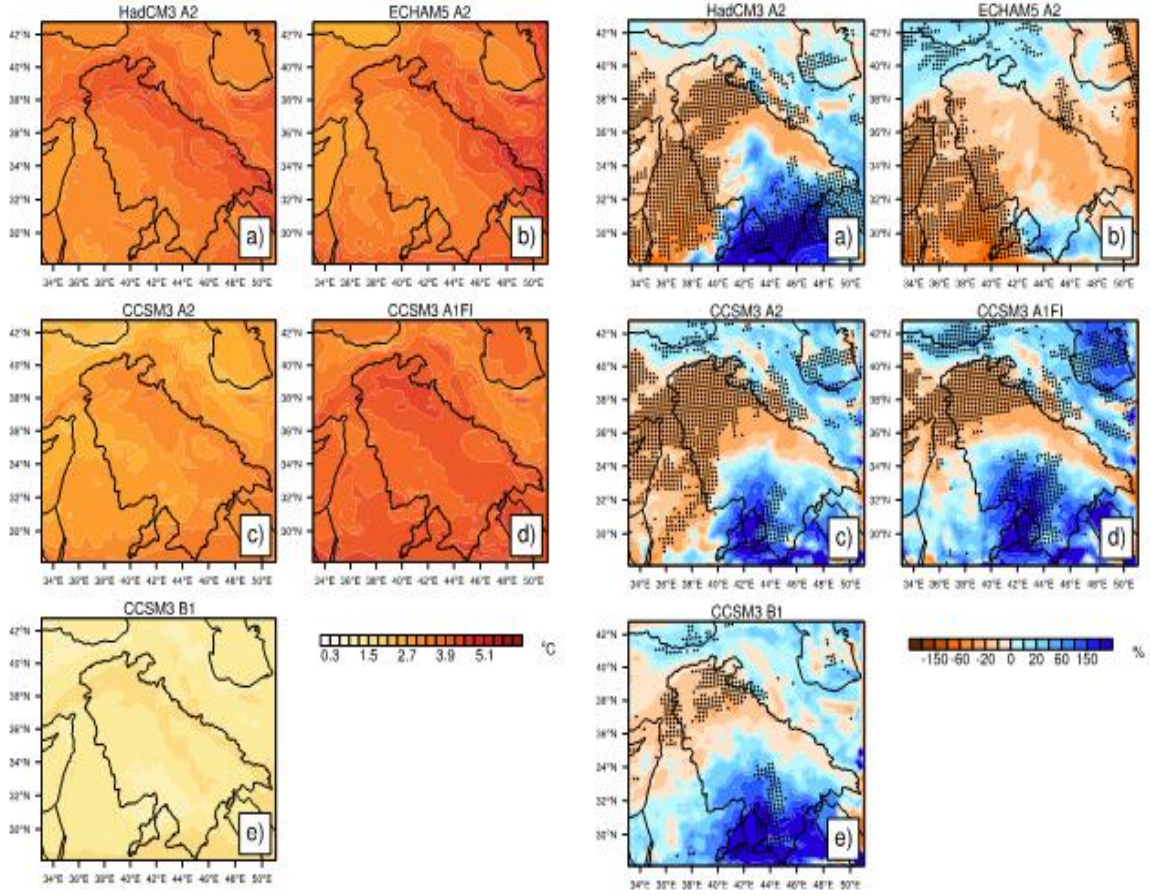
| Senaryo | Model | Referans Dönem | Projeksiyon Dönemi |
|----------------|--------------|-----------------------|---------------------------|
| A2 | ECHAM5 | 1961-1990 | 2000-2099 |
| A2 | HadCM3 | 1961-1990 | 2070-2099 |
| A2 | CCSM3 | 1961-1990 | 2000-2099 |
| A1FI | CCSM3 | 1961-1990 | 2000-2099 |
| B1 | CCSM3 | 1961-1990 | 2000-2099 |

3.FIRAT-DİCLE HAVZASI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PROJEKSİYONLARI

Şekil 1 bu beş simülasyona göre 2071-2099 dönemi için havza ve çevresinde gerçekleşmesi beklenen sıcaklık değişikliklerini (1961-1990 dönemine kıyasla) göstermektedir. Farklı modellerin farklı emisyon senaryo çıktıları kullanılarak yapılan analizler, havzada kış yüzey sıcaklıklarının artacağını ve bu artışın havzanın yüksek yerlerinde daha fazla olacağını göstermektedir. En fazla sıcaklık artışı, en kötümser senaryo olan A1FI simülasyonunda görülmektedir (Şekil 1d).

Şekil 2 ise bu beş simülasyona göre 2071-2099 dönemi için havza ve çevresinde gerçekleşmesi beklenen yağış değişikliklerini (1961-1990 dönemine kıyasla) göstermektedir. Değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı oldukları alanlar noktalar ile işaretlenmiştir. Farklı senaryo ve modeller kullanılmasına rağmen simüle edilen değişiklikler konusunda genel bir uyum olduğunu söylemek yanlış olmaz. Havzanın genellikle yüksek kesimlerinde yağışların önemli oranlarda azalacağı, buna karşılık havzanın güney kesimlerinde önemli oranlarda artacağı öngörülmektedir. A2 emisyon senaryosuna göre yüzyıl sonunda havzanın yüksek kesimlerinde %25 civarı yağışta azalma söz konusudur.

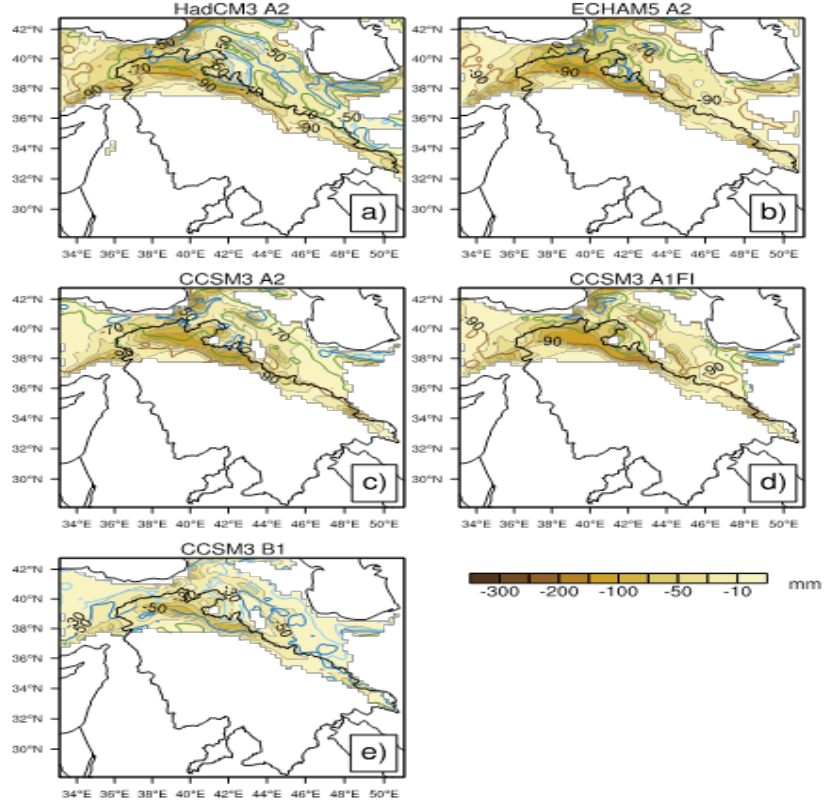
Havzanın dağlık alanlarındaki kar örtüsü bölgesel hidrolojik döngüde önemli bir rol oynar. Fırat ve Dicle Nehirleri karla kaplı doğu Toros ve Zagros Dağları'ndaki kar örtüsü ile beslenir. Bu yüzden kar örtüsünün iklim değişikliğine olan etkisini araştırmak ve gelecek iklim değişikliğinin havzanın su kaynaklarına olan etkilerini ortaya koymak oldukça önemlidir. Şekil 3 beş simülasyona göre 2071-2099 dönemi için havza ve çevresinde gerçekleşmesi beklenen kar-su eşdeğer değişikliğini (1961-1990 dönemine kıyasla) göstermektedir. Mutlak farklar (boyalı alanlar), havzadaki dağlık alanlardaki kar örtüsünün ciddi bir şekilde azalacağını öngörmektedir. A2 emisyon senaryolarına göre yüzyıl sonunda havzanın ana su kaynağının olduğu dağlık bölgelerde, kar-su eşdeğerinin 100mm üzerinde azalacağı öngörülmektedir. Göreceli değişimlere göre ise (çizgiler), havzanın alçak yerlerinde yüzyıl sonuna doğru kar örtüsünün ortadan kalkacağı öngörülmektedir. Yüksek yerlerdeki azalmalar ise %50-80 arasındadır.



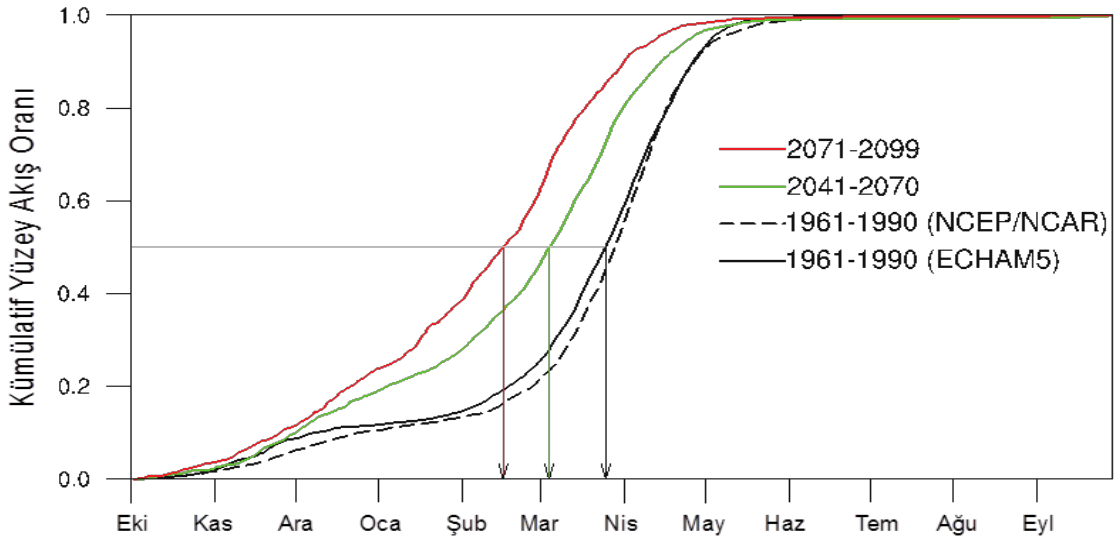
Şekil 1. Beş simülasyonun 2071-2099 dönemine ait kış sıcaklıklarındaki değişim (değişimler 1961-1990 dönemine göre °C olarak verilmiştir).

Şekil 2. Beş simülasyonun 2071-2099 dönemine ait kış yağışlarındaki değişim (değişimler 1961-1990 dönemine göre % olarak verilmiştir). Noktalı alanlar değişimlerin istatistiksel olarak anlamlı oldukları yerleri göstermektedir.

Yüze akışlarında (runoff) iki yönlü değişimler gözlenmekle beraber, 2041-2070 ve 2071-2099 dönemi yüze akışlarının genel olarak 1961-1990 dönemine kıyasla önemli oranlarda azalacağı öngörülmektedir. Ayrıca yüze akışlarının, kar örtüsünün sıcaklık artışı dolayısıyla daha erken erimesi nedeniyle daha erkene kayacağı öngörülmektedir. Şekil 4 bu durumu çarpıcı şekilde göstermektedir. Yıllık toplam akışın yarısına ulaşıldığı günleri ifade eden merkez zaman analizi, bu günlerin 21. yüzyılda zamanla erkene kayacağına işaret etmektedir. Yüzyıl sonunda ana su kaynaklarının olduğu bölgede, yüze akışlarının tepe zamanlarında ciddi bir şekilde erkene kaymalar (kullanılan senaryoya göre 18 ve 39 gün arası) tahmin edilmektedir.



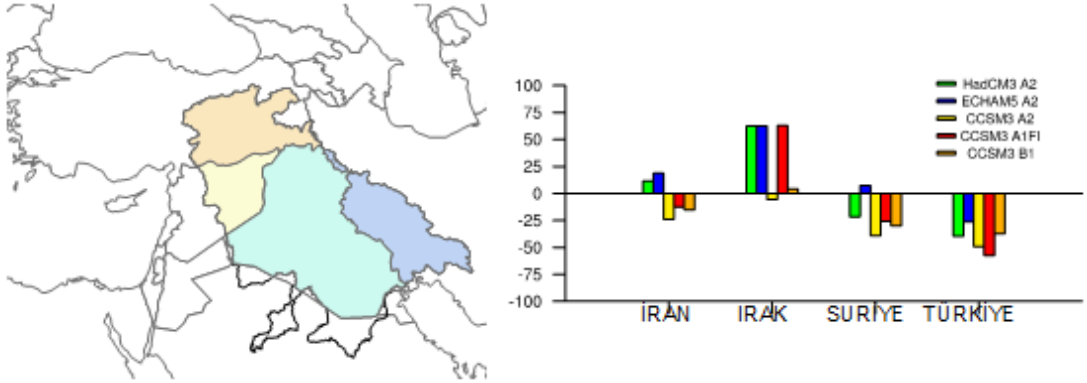
Şekil 3. Beş simülasyonun 2071-2099 dönemine ait kış kar-su eşdeğerindeki değişim (mutlak değişimler 1961-1990 dönemine göre mm olarak, göreceli değişimler ise gene aynı döneme göre % olarak verilmiştir).



Şekil 4. ECHAM5 A2 simülasyonlarına göre Fırat-Dicle Havzası'nın ana su kaynaklarının olduğu bölgedeki yüzey akışı verisinin 30 yıllık dönemlere göre değişimi. Ayrıca yıllık toplam yüzey akışının %50'sine ulaşılan günlerdeki değişimler oklarla gösterilmiştir.

Yüzey akışındaki değişimler havzanın içerisinde toprakları bulunan dört ülke (Türkiye, Irak, Suriye ve İran) için de ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Şekil 5). Tüm senaryolarda tahmin edilen

yıllık yüzey akış değişimlerine göre, ciddi azalmaların öngörüldüğü havzanın Türkiye ve Suriye toprakları, iklim değişikliğine karşı en kırılgan bölgeleridir.



Şekil 5. Fırat-Dicle Havzası'nda toprakları olan ülkelere göre yıllık yüzey akışındaki değişimler.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, iklim değişikliğinin Fırat-Dicle Havzası'na etkileri değişik emisyon senaryoları ile gerçekleştirilen model simülasyonları kullanılarak analiz edilmiştir. Havzada sıcaklıklarda istatistiksel olarak anlamlı artışlar meydana gelecektir. Değişik senaryolara göre yüzyılın sonuna doğru artış miktarlarının ortalama 2.5 °C ile 6 °C arası değerlere ulaşması tahmin edilmektedir. Yağışlar genel olarak havzanın yüksek kesimlerinde (kaynak kısımlarında) azalacak, menfeze yakın güney kesimlerinde ise bir miktar artacaktır. Tüm havza için hesaplandığında yüzyılın sonu için yağışlarda %20'ler mertebesinde bir azalma söz konusudur. Yüzey akışı hem toplamda azalacak hemde yüksek değerlerin görüldüğü bahar akışları daha erkene kayacaktır. Havzanın kaynak kısımlarında farklı senaryolara göre yüzey akışında yüzyılın sonuna kadar %25-55 arasında azalma tahmin edilmektedir. Buna ek olarak, yapılan hesaplamalar yüzyılın sonlarına kadar tepe akımların farklı senaryolara göre 2-5 hafta mertebesinde erkene kayacağını ortaya koymaktadır. Havzanın su kaynakları açısından değerlendirildiğinde, iklim değişikliğinden en fazla Türkiye'nin etkileneceği söylenebilir. Yüzey akışının havzanın Türkiye ve Suriye kısmında azalacağı, diğer ülkelerde ya değişmeyeceği yada artış yönünde değişeceği öngörülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change fourth assessment report on scientific aspects of climate change for researchers, students, and policymakers.
2. Gao, X., Pal, J.S., Giorgi, F., 2006. Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from high resolution double nested RCM simulations. *Geophysical Research Letters*, 33:L03706.
3. Bozkurt, D., Şen, Ö.L., Turunçoğlu, U.U., Karaca, M., Dalfes, H.N., 2008. Regional climate change projections for Eastern Mediterranean: preliminary results. Vol. 10, EGU2008-A- 04264.
4. ÖnoI, B. and Semazzi, F.H.M., 2009. Regionalization of climate change simulations over Eastern Mediterranean. *Journal of Climatology*, 22:1944-1961.
5. Bozkurt, D., Şen, Ö.L., Turunçoğlu, U.U., ÖnoI, B., Kindap, T., Dalfes, H.N., Karaca, M. 2010. Impacts of climate change on hydrometeorology of the Euphrates and Tigris Basins. Vol. 12, EGU2010-14278.
6. Bozkurt, D., Turunçoğlu, U.U., Şen, Ö.L., ÖnoI, B., Dalfes, H.N., 2012. Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3 global models for the eastern Mediterranean-Black Sea region: Evaluation of the reference period. *Climate Dynamics*, 39 (1-2), 207-225. DOI: 10.1007/s00382-011-1187-x.
7. Bozkurt, D., Şen, Ö.L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149-161.