

(*) Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M. 2008. *PRECIS Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye İçin İklim Öngörülleri: HadAMP3 SRES A2 Senaryosu, IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 365-373. İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 25-28 Mart 2008, İstanbul.*

PRECIS BÖLGESEL İKLİM MODELİ İLE TÜRKİYE İÇİN İKLİM ÖNGÖRÜLERİ: HaDAMP3 SRES A2 SENARYOSU (*)

İsmail DEMİR¹, Gönül KILIÇ², Mustafa COŞKUN³

¹ Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, 06120 Kalaba, ANKARA

idemir@meteoroloji.gov.tr

² Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, 06120 Kalaba, ANKARA

gkilig@meteoroloji.gov.tr

³ Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, 06120 Kalaba, ANKARA

mcoskun@meteoroloji.gov.tr

ÖZET

Bu çalışmada, İngiltere Meteoroloji Servisi Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen Bölgesel İklim Modeli, PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) kullanılarak, Akdeniz Havzası'nda yer alması nedeniyle gelecekte iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek ülkeler arasında bulunan Türkiye için bölgesel düzeyde ayrıntılar içeren iklim değişikliği öngörülerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Model, Hadley Merkezi'nin Atmosferik Genel Dolaşım Modeli, HadAMP3 çıktıları ile çalıştırılmıştır ve referans dönem (1961-1990) simülasyonları ile gelecek dönem (2071-2100) A2 senaryosu simülasyonları iklim değişikliğini belirlemek için karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarında, Türkiye'de kıyı bölgeleri dışında ortalama sıcaklıklarda 5-6 °C'lik artışlar öngörülmektedir. Kış mevsiminde sıcaklıklar doğuda (4-6 °C), buna karşılık yaz mevsiminde batıda (6-7 °C) daha fazla artacaktır. Maksimum yani gündüz en yüksek sıcaklıklarda değişim, genel olarak artış yönünde olacaktır. Yaz mevsiminde, geniş ölçekli 8 °C'yi bulan yüksek artışlar göze çarpmaktadır. Minimum, gece en düşük sıcaklıkları, kış mevsiminde doğu bölgelerinde (5-6 °C) ve yaz mevsiminde Ege Bölgesinin iç bölümlerinde daha fazla (7-8 °C) artacaktır. Yağış rejimindeki değişikliklerde, doğudan batıya doğru gidildikçe yüzde olarak artan (% 40) azalmalar dikkati çekmektedir. Kış mevsiminde güney ve batı bölümlerde yağışlarda düşüşler olacaktır. Yaz mevsiminde ise tersi söz konusudur. Su bütçesi bakımından kar kalınlığı gelecekte, Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz'de azalacaktır. Yağıştaki azalma ve sıcaklıklardaki artışa paralel olarak buharlaşmadaki artış sonucunda, su kaybı da artmaktadır. Yağış ve buharlaşma arasındaki farklılıklarda ise, gelecekte Türkiye genelinde alansal olarak geniş ölçekli belirgin değişiklikler göze çarpmamakla birlikte, Güney Marmara, Ege, Doğu Karadeniz, Güneydoğu Anadolu'nun kuzeyi ve Toros Dağları hattında azalmalar görülmektedir.

Anahtar terimler: İklim Değişikliği, PRECIS, sıcaklık, yağış, buharlaşma, kar kalınlığı.

ABSTRACT

Due to her existence in the Mediterranean Basin and possibly Turkey will be among the one of the most affected countries by climate change impacts, the target of this study was to obtain detailed climate projections for Turkey and Her surrounding regions by using British Met Office, Hadley Centre for Climate Prediction and Research's Regional Climate Model, PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies). The Model was run with Hadley Centre's GCM HadAMP3 outputs and reference period (1961-1990) and corresponding future period (2071-2100) A2 scenario simulations have been compared with each other to analyse climate change. According to the results of simulations, 5-6 °C increases in mean temperatures were projected in Turkey except Her coastal regions. In winter season, while temperatures in Eastern region will increase 4-6 °C, during summer in the west, this will be 6-7 °C. In summer season, up to 8 °C high insreases in the large scale was eye-catching. In winter season, minimum temperature will increase 5-6 °C in Eastern and 7-8 °C in the continental parts of Aegean region during summer season. Changes in precipitation regime, scanning from east to westward, as percentage wise 40 % decreases attracts one's attention. There will be decreases in precipitation in Western and Southern regions but in summer season this case will be reversed. In terms of water budget, snow depth will lessen in the Eastern and the Eastern Black Sea regions. Parallel to decrease in precipitation and increase in temperature, at the result of evaporation increase, water loss is enhanced (from the surcafeces). The differences between the precipitation and evaporation, although changes in the large scale domain of Turkey were not apperant, Southern Marmara, Aegean, Eastern Black Sea, North of Southeastern Anatolia regions and along the Taurus Mountains line, decreases were evident.

Key Terms: Climate Change, PRECIS Regional Climate Model, temperature, precipitation, evaporation, snow depth.

1. Giriş

İnsan etkinliklerinden kaynaklanan sera gazı salımlarındaki hızlı artışa bağlı olarak küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının arttığı ve iklimin değiştiği pek çok bilimsel çevre tarafından kabul edilen bir gerçektir. İklim değişikliğiyle ilgili en güncel bilimsel bilgileri içeren IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporuna göre (IPCC, 2007), küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 1906-2005 döneminde 0.74 °C artmıştır. 1901–2005 döneminde Kuzey ve Güney Amerika'nın doğu bölgelerinde, Avrupa'nın kuzeyi ve Asya'nın kuzeyi ile iç kesimlerinde yağışlarda önemli artışlar, Afrika'nın Sahel bölgesi, Akdeniz havzası, Afrika'nın güneyi ile Asya'nın güneyinde bazı kesimlerde önemli azalmalar belirlenmiştir. Son elli yılda ekstrem sıcaklıklarda yaygın ölçekli değişiklikler yaşanmış, atmosferik su buharında gözlenen artış ve ısınma ile tutarlı olarak kuvvetli yağış olaylarının sıklıklarında artış saptanmıştır. İklimdeki gözlenen bu değişikliklerin gelecekte de alansal ve zamansal farklılıklarla birlikte süreceği beklenmektedir. IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporundaki yirmi üç farklı küresel modelin kullanıldığı simülasyon sonuçlarında, 2090-2099 döneminde ortalama yüzey sıcaklığının, 1980-1999 dönemi ortalamasına göre 1.1 - 6.4 °C artacağı ve yağışların yüksek enlemlerde azalacağı, buna karşılık ve subtropikal karaların büyük bölümünde ise artacağı (2100 yılında % 20 oranında) öngörülmektedir. Daha çok sıcak ekstremler, sıcak dalgaları ve şiddetli yağışlar ve daha şiddetli tropikal fırtınalar beklenmektedir.

İklim değişikliğinin etkilerinin önlenmesi ya da en az düzeye indirilmesi için geleceğe yönelik iklim değişikliği senaryolarının oluşturulması ve bu senaryolara göre etki değerlendirilmelerinin yapılması gerekmektedir. İklim değişikliğinin etkileri alansal ve zamansal ölçekte farklılık gösterecektir. Hangi bölgelerde hangi sektörlerin hangi düzeyde etkileneceğinin belirlenmesi, ülkelerin iklim değişikliğinin sonuçlarına hazırlıklı olması ve

iklim değişikliğine uyum bakımından çok önemlidir. İklim değişikliğinin bölgesel/yerel etkilerini değerlendirme çalışmalarında, küresel modellerin çözünürlüğünden daha yüksek çözünürlüklü simülasyonlara gereksinim duyulmaktadır. Küresel modellerin çözünürlükleri düşüktür (150-200 km) ve bölgesel özellikleri içermemektedirler. Bölgesel iklim modelleri, dinamik ölçek küçültme yöntemlerinden biri olarak, bu amaçla başarılı bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu modeller, başlangıç ve sınır koşullarını küresel model çıktılarında almaktadırlar ve topografya özelliklerinin de yansıtıldığı daha yüksek çözünürlükte (20-30 km) çalıştırılabilmektedirler (Demir ve ark.2007).

Türkiye, IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporuna göre, küresel ısınmadan en çok etkilenecek bölgelerden biri olan Akdeniz Havzası'nda yer alması nedeniyle, iklim değişikliğinin etkilerinin önlenmesi ya da en aza indirilmesi bakımından Türkiye'nin gelecekteki ikliminin tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Türkiye ve bölgesi için iklim değişikliği öngörülerine yönelik bölgesel iklim modeli çalışmaları oldukça sınırlıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ile İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün ortaklaşa yürüttüğü, "Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları" başlıklı TÜBİTAK projesi, bu tür çalışmaların ilklerinden sayılabilir. Türkiye'nin İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildiriminde de yer alan projenin ilk sonuçları (First National Communication, 2007; Önal and Semazzi, 2007) ve Doğu Akdeniz için gerçekleştirilen RegCM3 bölgesel iklim modeli çalışmasının analizleri (Önal ve ark., 2007), 2071-2100 döneminde IPCC SRES A2 senaryosuna göre Türkiye genelinde 2-3 °C oranında ısınma ve yağışlarda Ege ve Akdeniz kıyıları boyunca azalma ile Karadeniz kıyısı boyunca artış öngörmektedir. Giannakopoulos ve ark., 2005 tarafından WWF için yapılan çalışmada, sanayi öncesi değerlerde 2 °C'lik bir küresel sıcaklık artışının 2061-2090 döneminde 1961-1990 ortalamasına göre Akdeniz'de 1-3 °C arasında değişen sıcaklık artışlarına yol açacağı belirtilmektedir. Maksimum sıcaklıklardaki artışların minimum sıcaklıklardaki artışlardan daha fazla olacağı, yıllık toplam yağışların genel olarak bölgede %20'lere ulaşan oranda azalacağı, buna karşılık Karadeniz kıyıları boyunca yağışların artacağı, mevsimsel yağışlardaki değişikliklerin kuzey-güney ve kış-yaz arasındaki karşıtlıklarla karakterize olduğu, en büyük yağış düşüşlerinin yaz mevsiminde görüleceği öngörülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, diğer bir bölgesel iklim modeli PRECIS ile Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde aynı IPCC SRES senaryosu ve aynı dönem için farklı küresel iklim modeli veri seti kullanılarak devam eden iklim öngörü çalışmalarındaki elde edilen sonuçlarının değerlendirilmesidir.

2. Model özellikleri ve yöntem

Çalışmada, İngiltere Meteoroloji Servisi Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi'nin geliştirdiği PRECIS Bölgesel İklim Modeli kullanılmıştır. Bölgesel iklim modelleri, ölçek küçültmede yaygın olarak tercih edilmektedir ve yeryüzü şekillerinin karmaşık ve kısa mesafelerde değişme eğiliminde olduğu alanlarda gerçekçi simülasyonlar elde etmede oldukça başarılı sonuçlar vermektedirler. Küresel iklim modeli HadCM3'ün en son sürümüne dayanan PRECIS, 32bit Intel Linux işletim sistemlerinde çalışan ve grafik ara yüzü olan bir modeldir. Herhangi bir Fortran derleyiciye gerek olmadan (kaynak kodları olmaksızın ön-derlenmiş haliyle), masaüstü bilgisayarlarda çok rahat çalışmaktadır. Ancak, seçilen alana ve çözünürlüğe göre, ihtiyaç duyulan bilgisayarların özellikleri değişmektedir. Model, mevcut durumda 50 ve 25 km çözünürlükle 19 dikey seviyede (50m - 30 km arasında), en alt dört seviye sadece arazi yüzeyini takip eden sigma, en üst üç seviyede sadece basınç ve kalan ara seviyelerde bu ikisinin birleşiminden oluşan hibrid (hybrid) koordinatlardan oluşmaktadır (Wilson ve ark., 2005; Jones ve ark., 2004).

Simülasyonlarda, Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi'nin Atmosferik Dolaşım Modeli HadAMP3'ün çıktıları kullanılmıştır. Model geçmiş dönem yani referans dönemi,

1961-1990 ve gelecek dönem 2071-2100 yılları için iki aşamada çalıştırılmıştır. Referans dönemi (1961-1990) tamamlanan sonuçlarının verifikasyonunda küresel kara gözlem ağından elde edilen 0,5°x0,5° grid çözünürlüğüne sahip CRU (Climate Research Unit) gözlem verisinden yararlanılmıştır. 2071-2100 dönemini kapsayan gelecek model simülasyonları için IPCC SRES A2 senaryosu seçilmiştir .

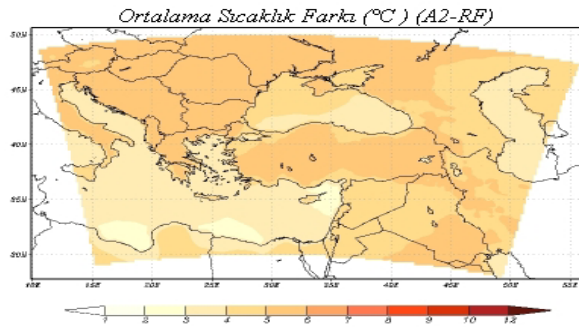
Model, iki farklı dönem simülasyonları için 156x109 grid matrisinde, 25-50 kuzey paralelleri, 7-50 doğu meridyenlerini kapsayan alanda, 25 km çözünürlükte, sülfat döngüsü kullanılmadan çalıştırılmıştır. Model çalıştırmalarında, küresel modelin çıktıları başlangıç ve sınır koşulları olarak alındığından, ilk 8 grid noktasının 1-4 grid'e kadar olan bölümünde sınır koşulları beslenmektedir ve 5-8 grid aralığında ise küresel modelin topografik yüksekliğinin bölgesel model topografyasına geçişi sağlanmaktadır. Bu nedenle, değerlendirmelerde bu 8 grid alanı dikkate alınmamıştır. Modelin kararlı hale gelmesi için, bütün simülasyonlar istenilen periyodun en az bir yıl öncesinden başlatılmıştır.

3. Gelecek iklim öngörülleri

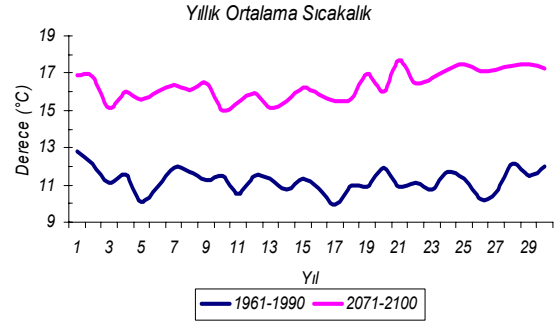
Gelecek dönem (2071-2100) A2 senaryosu simülasyon sonuçlarının, referans dönem (1961-1990) simülasyon sonuçlarından farklarının alınmasıyla elde edilen iklim değişikliği öngörülleri aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

3.1 Ortalama sıcaklık:

A2 senaryosuna göre 2071-2100'de 1961-1990'a göre ortalama sıcaklıklar, Türkiye'nin kıyı sahili boyunca 4-5 °C, iç bölgelerde ise 5-6 °C oranında artacaktır. Avrupa genelinde de Türkiye'ye benzer şekilde 5-6 °C'lik bir artış gözlenmektedir (Şekil 1a). Türkiye'nin alansal olarak elde edilen yıllık ortalama sıcaklık değişim eğrisine göre 2071-2100 periyodu ortalaması 1961-1990 periyodu ortalamasına göre yaklaşık 5,12°C artacağı görülmektedir.(Şekil 1b).

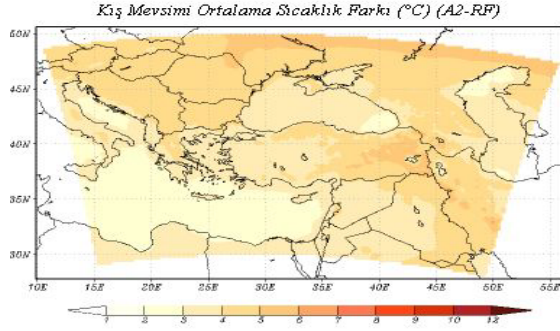


Şekil 1a: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları ortalama sıcaklık farkı haritası (°C)

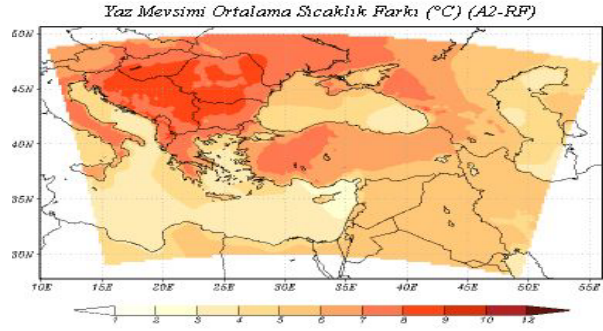


Şekil 1b: Türkiye için HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları ortalama sıcaklık değişim grafiği

Kış mevsiminde Türkiye'de batıdan doğuya doğru sıcaklık değişiminde bir artış görülmektedir. Sıcaklık artışı batıda 3-4 °C, doğuda ise 4-6 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 2a). İlkbahar mevsiminde, ülke genelinde 4-5 °C'lik artışlar olacaktır. Artış oranları, Karadeniz kıyılarında 3-4 °C, Doğu Anadolu'nun iç kesimlerinde 5-6 °C şeklinde değişmektedir. Yaz mevsiminde ise kış mevsiminin aksine doğudan başlayan sıcaklık değişimi batı bölgelerinde kendini daha fazla göstermektedir. Güneydoğu Anadolu'da 4-5 °C oranında öngörülen sıcaklık artışı, İç Ege, Göller Bölgesi, Batı Karadeniz'in iç kesimleri kaplayan alanlarda 6-7 °C ye çıkmaktadır. Diğer alanlarda ise 5-6 °C'lik artışlar bulunmaktadır (Şekil 2b). Sonbahar mevsiminde ise genel olarak sıcaklık artışları 4-5 °C olarak belirlenmiştir.



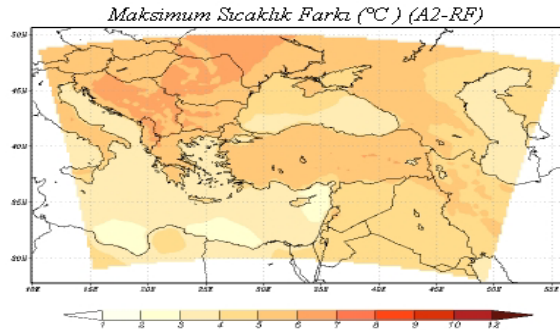
Şekil 2a: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi ortalama sıcaklık farkı haritası (°C)



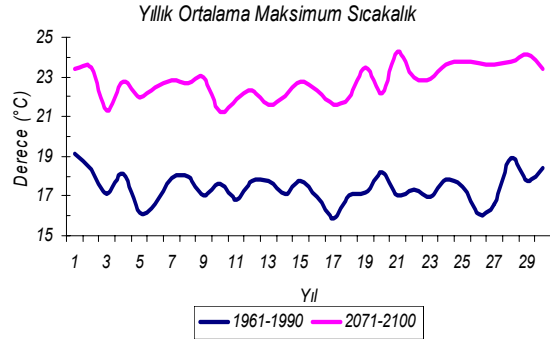
Şekil 2b: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yaz mevsimi ortalama sıcaklık farkı haritası (°C)

3.2 Maksimum sıcaklık:

Maksimum sıcaklıklarda, İskenderun Körfezi ve kıyı şeridi dışında ülke genelinde 5-6 °C artış öngörülmüştür (Şekil 3a). Türkiye'nin alansal ortalamasına göre yıllık maksimum sıcaklık değişiminde 2071-2100 periyodu ortalamasının 1961-1990 periyodu ortalamasına göre 5.36 °C artacağı hesaplanmıştır (Şekil 3b).

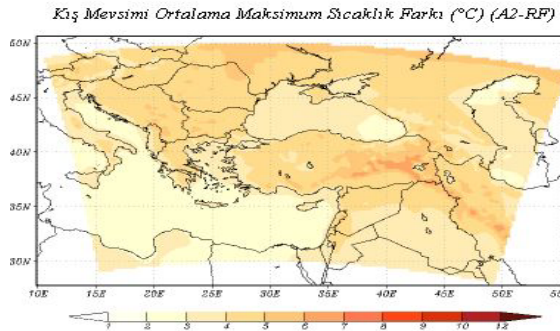


Şekil 3a: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları maksimum sıcaklık farkı haritası (°C)

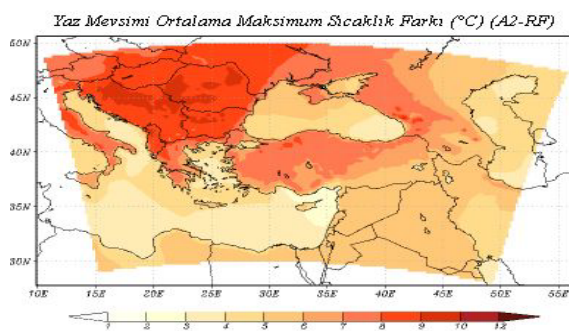


Şekil 3b: Türkiye için HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları ortalama maksimum sıcaklık değişim grafiği

Kış mevsiminde maksimum sıcaklıklardaki en fazla değişim, Doğu Anadolu'nun iç bölümlerinde görülmektedir (Şekil 4a). İlkbahar mevsiminde Doğu Anadolu ile birlikte Ege Bölgesinde aynı oranda (5-6 °C) sıcaklık artışı beklentisi bulunmaktadır.



Şekil 4a: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi ortalama maksimum sıcaklık farkı haritası (°C)

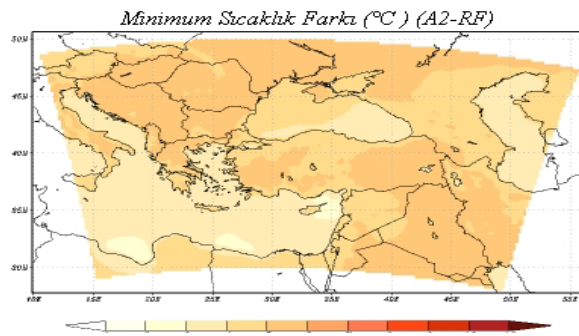


Şekil 4b: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yaz mevsimi ortalama maksimum sıcaklık farkı haritası (°C)

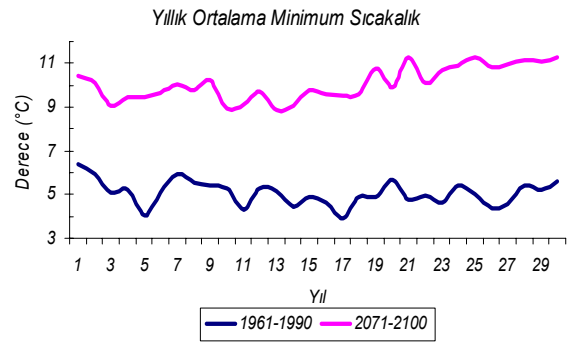
Maksimum sıcaklıklarda yaz mevsimindeki değişim, Güneydoğu Anadolu bölgesinde 5-6 °C iken, batıya doğru ilerledikçe artarak Orta Avrupa'da 10-12 °C'ye ulaşmaktadır. Türkiye'de yaz mevsiminde maksimum sıcaklıklardaki değişim Güneydoğu Anadolu bölgesinde 5-6 °C'lik artış kuzey batı alanlara doğru ilerledikçe 7-8 °C yi bulmaktadır (Şekil 4b). Sonbahar mevsiminde ise ülke genelinde 4-5 °C'lik artışlar görülmektedir.

3.3 Minimum sıcaklık:

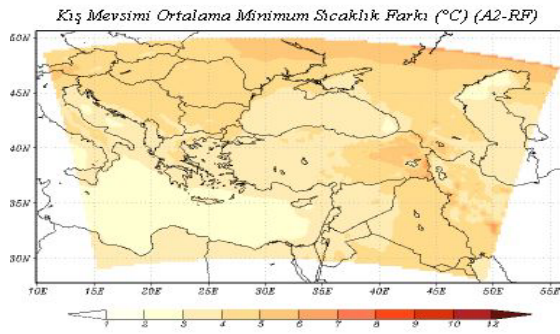
Minimum sıcaklıklardaki değişim oranı, Doğu ve Güneydoğu Anadolu ile İç Ege, Göller Bölgesi ve İç Anadolu'nun kuzey batısı ve güneyinde 5-6 °C, diğer alanlarda ise 4-5 °C'dir (Şekil 5a). Model sonucuna göre Türkiye'nin alansal hesaplanan yıllık ortalama minimum sıcaklık değişimi 2071-2100 periyodunun 1961-1990 periyoduna göre 5.02 °C artacağı tahmin edilmektedir (Şekil 5b). Mevsimsel değerlendirmelerde, en büyük ısınma oranları yaz mevsiminde öngörülmektedir. İç Ege, Göller Bölgesi ve İç Anadolu'nun batısında 7-8 °C'ye ulaşan oranlarda artışlar olacaktır (Şekil 5d). Kış mevsiminde minimum sıcaklıklar doğuda, batıya nazaran daha fazla, 5-6 °C artacaktır. Batı bölgelerinde ise artışlar 3-4 °C'dir (Şekil 5c). İlkbahar mevsiminde minimum sıcaklıklarda gelecekteki değişim, Karadeniz Bölgesinde ve Marmara'nın güneyinde 3-4 °C, diğer alanlarda ise 4-5 °C olarak belirlenmiştir. Sonbahar mevsiminde ise Doğu ve Güneydoğu Anadolu, Güney Ege ve İç Anadolu'nun güneyinde 5-6 °C, diğer alanlarda ise 4-5 °C artış beklenmektedir.



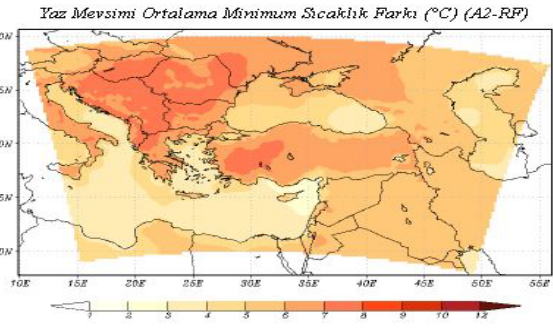
Şekil 5a: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları minimum sıcaklık farkı haritası (°C)



Şekil 5b: Türkiye için HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları ortalama minimum sıcaklık değişim grafiği



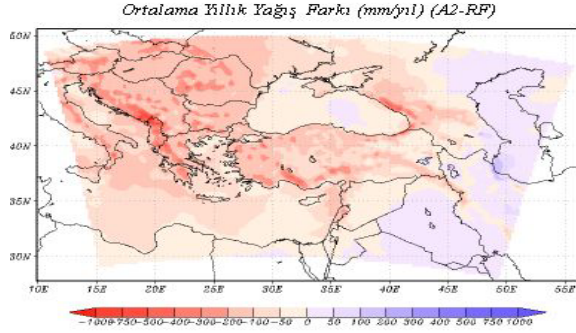
Şekil 5c: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi ortalama minimum sıcaklık farkı haritası (°C)



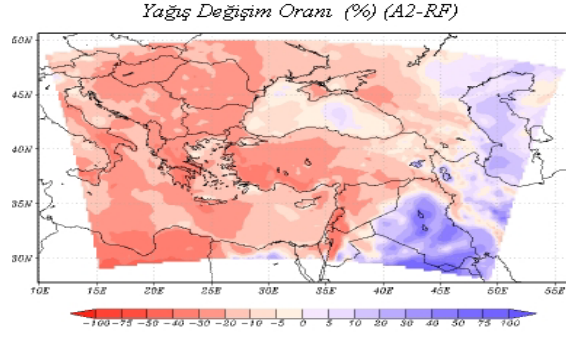
Şekil 5d: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yaz mevsimi ortalama minimum sıcaklık farkı haritası (°C)

3.4 Yağış

A2 senaryosuna göre gelecekte Türkiye yağışlarında, azalma yönünde değişiklikler öngörülmektedir ve bu değişimlerde bölgesel farklılıklar söz konusudur. Doğu Karadeniz, Ege, Akdeniz ve Toros Dağları boyunca yıllık toplam yağış miktarında 100-400 mm/yıl oranında düşüşler beklenmektedir (Şekil 6a). Yağıştaki değişimleri yüzde olarak hesaplandığında ise, doğudan batıya doğru gidildikçe azalma yüzdelerinin büyüdüğü dikkati çekmektedir. Ege, Trakya, Batı ve Orta Akdeniz, Güneydoğu Anadolu'nun bir kısmı ile İç Anadolu bölgesinde yağışlar %30-40 oranında azalacaktır. Doğu Anadolu ile Doğu Karadeniz'de bu oran daha az (%5) beklenmektedir (Şekil 6b).

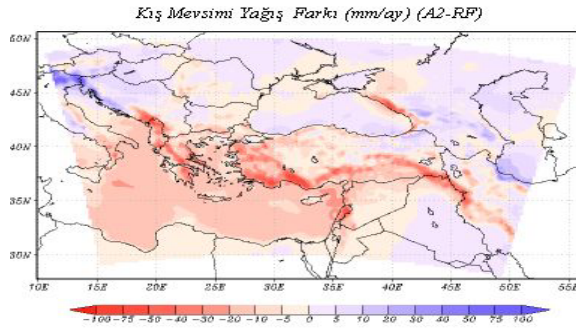


Şekil 6a: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık toplam yağış değişim haritası (mm/yıl)

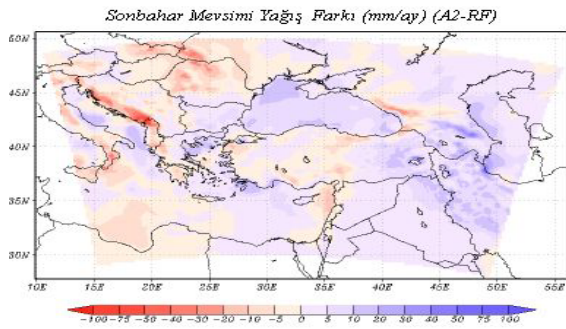


Şekil 6b: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık yağış değişim oranı (%)

Mevsimlik yağış değişimleri incelendiğinde, kış mevsiminde Ege ve Akdeniz bölgelerinden başlayarak Toros Dağlarını takip eden hat boyunca yağışlarda belirgin azalmalar ve Doğu Karadeniz ile Doğu Anadolu'nun kuzeyinde artışlar olacağı saptanmıştır (Şekil 7a). İlkbahar mevsimi yağış miktarında ülke genelinde azalma hakimdir. Yaz mevsiminde, yağış miktarı Orta Anadolu ve Karadeniz bölgesinde belirgin olarak azalmaktadır. Sonbahar mevsiminde ise diğer mevsimlere oranla, daha çok Türkiye'nin doğu kesimleri olmak üzere genelde artış beklenmektedir (Şekil 7b).



Şekil 7a: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi yağış değişim haritası (mm/ay)



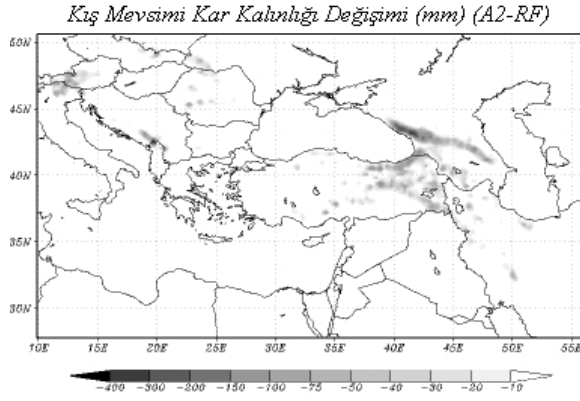
Şekil 7b: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları sonbahar mevsimi yağış değişim haritası (mm/ay)

3.5 Kar kalınlığı:

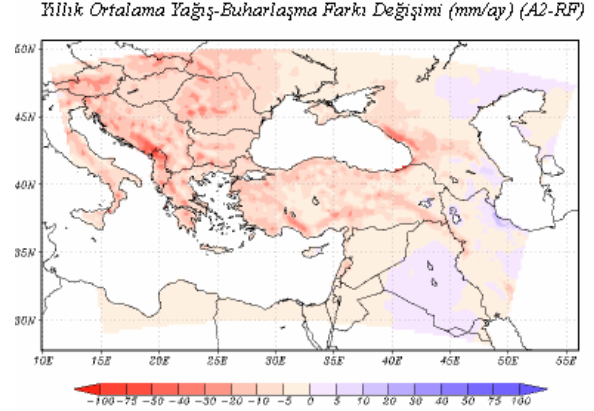
Su bütçesi açısından çok önemli olan kar kalınlığının 2071-2100 döneminde 1961-1990 yıllarına göre değişimi Şekil 8a'da verilmiştir. Buna göre, kar potansiyeli yüksek olan bölgelerimizden Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz'de kar kalınlığı gelecekte azalacaktır. Bu bölgelerimizde 2071-2100 yıllarındaki kar kalınlığı 1961-1990 yıllarına göre yer yer 300 mm'yi bulan düşüşler belirlenmiştir. Avrupa'da ise Alp Dağları'nda kar kalınlığında düşüşler görülmektedir. Türkiye'nin kuzey doğusundaki Kafkas Dağlarında ise kar kalındaki azalma -500 mm'ye kadar çıkmaktadır.

3.6 Yağış-buharlaşma farkı:

2071-2100 döneminde 1961-1990 ortalamasına göre yağış miktarı ile buharlaşma farkları Şekil 8b'de gösterilmektedir. Yağıştaki azalma ve sıcaklıklardaki artışa paralel olarak buharlaşmadaki artış sonucunda, su kaybı da artmaktadır. Sonuçlarda, Türkiye genelinde alansal olarak geniş ölçekli belirgin bir değişiklikler dikkati çekmemekle birlikte, Güney Marmara, Ege, Doğu Karadeniz, Güneydoğu Anadolu'nun kuzeyi ve Toros Dağları hattında azalmalar görülmektedir.



Şekil 8a: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları kış mevsimi kar kalınlığı değişimi haritası (mm)



Şekil 8b: HadAMP3 A2 senaryosuna göre 2071-2100 yılları ile 1961-1990 (RF) yılları yıllık ortalama yağış-buharlaşma (P-E) değişimi (mm/ay)

4. Sonuç ve tartışma

HadAMP3 küresel iklim modelinin geçmiş (1961-1990) ve gelecek (2071-2100) A2 senaryosu çıktılarına dayanan PRECIS Bölgesel İklim Modeli simülasyonları analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçlarında, Türkiye ve bölgesinde sıcaklıklar, diğer model çalışmalarının sonuçlarına benzer şekilde artış göstermiştir. Isınma oranları, ortalama sıcaklıklarda Türkiye'nin kıyı bölgeleri dışında 5-6 °C olarak öngörülmektedir. Kış mevsiminde sıcaklıklar doğuda (4-6 °C), buna karşılık yaz mevsiminde batıda (6-7 °C) daha fazla artacaktır. İlkbahar ve sonbahar mevsiminde ise ülke genelinde 4-5 °C'lik artış beklenmektedir. Maksimum sıcaklıklarda beklenen değişim Türkiye genelinde 5-6 °C'dir. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde en büyük ısınma oranları (6-7 °C) ile Doğu Anadolu'nun iç bölümlerinde öngörülmektedir. Yaz mevsiminde ise geniş ölçekli 8 °C'yi bulan yüksek artışlar göze çarpmaktadır. Minimum sıcaklıklar, kış mevsiminde doğu bölgelerinde (5-6 °C) ve yaz mevsiminde Ege Bölgesinin iç bölümlerinde daha fazla (7-8 °C) artacaktır. Türkiye'nin alansal olarak elde edilen yıllık sıcaklık değişim eğrilerinde 2071-2088 yılları arasında sıcaklıklar ortalama civarında gerçekleşirken 2088-2100 yılları arasında atış trendi gözlenmektedir.

Su kaynaklarının gelecekteki durumu için son derece önemli olan yağış rejimindeki değişikliklerde, doğudan batıya doğru gidildikçe yüzde olarak artan (% 40) azalmalar dikkati çekmektedir. Kış mevsiminde güney ve batı bölümlerde yağışlarda düşüşler olacaktır. Yaz mevsiminde ise tersi söz konusudur. Karadeniz ve Orta Anadolu bölümlerinde azalmalar öngörülmektedir. Sonbahar mevsiminde, diğer mevsimlere oranla, daha çok Türkiye'nin doğu kesimleri olmak üzere genelde artış beklenmektedir. Sonbahar yağışlarındaki artış öngörülürü, RegCM3 bölgesel iklim modeli ile elde edilen sonuçlarla uyumludur (Önol ve Semazzi, 2007). Su bütçesi bakımından kar kalınlığı gelecekte, kar potansiyeli yüksek olan bölgelerimizden Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz'de azalacaktır. Bu sonucun, bölgedeki havzaların beslenmesine ciddi oranda olumsuz yansımaları olacaktır. Yağıştaki azalma ve sıcaklıklardaki artışa paralel olarak buharlaşmadaki artış sonucunda, su kaybı da artmaktadır. Yağış ve buharlaşma arasındaki farklılıklarda, gelecekte Türkiye genelinde alansal olarak geniş ölçekli belirgin değişiklikler göze çarpmamakla birlikte, Güney Marmara, Ege, Doğu Karadeniz, Güneydoğu Anadolu'nun kuzeyi ve Toros Dağları hattında azalmalar görülmektedir.

PRECIS bölgesel iklim modeli ve diğer bir bölgesel iklim modeli olan RegCM3 ile gerçekleştirilen bölgesel simülasyonlar, Türkiye'nin ikliminin gelecekte nasıl değişeceğini göstermesi bakımından ilk ve önemli çalışmalardır. İklim parametrelerinde gelecekteki değişimleri ortaya koyan bu simülasyonların sonuçları, geleceğe yönelik planlama ve strateji

çalışmalarında dikkate alınmalıdır. **Ancak, çok karmaşık olan iklim sistemini benzeştirmede modellerin yeterlilikleri ve hala varolan belirsizlikler de, sonuçları değerlendirirken göz önünde bulundurulmadır. Türkiye için daha gerçekçi ve anlamlı iklim değişikliği öngörülerini için, çok sayıda değişik küresel model çıktılarıyla farklı bölgesel modellerine dayanan çalışmalar yapılmalıdır.**

5. Kaynakça

- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M., 2007. Türkiye ve Bölgesi için PRECIS Bölgesel İklim Modeli Çalışmaları, I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiri Kitabı, s252-261, İstanbul. First National Communication of Turkey on Climate Change, 2007.
- Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo M. ve Tin T., 2005. A Report for WWF: Climate Change Impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C Global Temperature Rise. 75 pp. Gland, Switzerland
- IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios – A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Nakićenović, *et al.*, lead authors), Cambridge University Press, New York.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policy Makers.
- Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. and Mitchell, J.F.B. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 40pp.
- Önol B., Semazzi, F., Unal, Y. S., Dalfes H. N., 2007. “Regional Climatic Impacts of Global Warming over the Eastern Mediterranean”, Proceedings of the International Conference on Climate Change and Middle East; Past, Present and Future, 20-23 November 2006, İstanbul.
- Önol, B. and Semazzi, F., H., 2007. Regionalization of Climate Change Simulations over Eastern Mediterranean, Journal of Climate. Submitted.
- Wilson, S., Hassell, D., Hein, D., Jones, R. and Taylor, R., 2005: Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS, User’s Guide.