

# İklim değişimi senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi

Barış ÖNOL\*, Yurdanur S. ÜNAL, H. Nüzhet DALFES

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bu çalışmada izlenen yöntem, Türkiye ve çevresi üzerinde, günümüz ve gelecek için NASA-Sonlu Hacim Genel Dolaşım Modeli (fvGCM) tarafından üretilen projeksiyonların, ICTP-Bölgesel İklim Modeli (RegCM3) kullanılarak dinamik olarak ölçek küçültülmesidir. Günümüz (1961-1990, RF) ve gelecek (2071-2100, A2) simülasyonları için, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından belirlenmiş sera gazları emisyon senaryoları dikkate alınmıştır. A2 ve RF simülasyonlarının sıcaklık ve yağış için yapılan mevsimsel analizleri Türkiye'nin iklimsel bölgeleri üzerinde alansal ortalama alınarak ayrı ayrı incelenmiştir. A2 simülasyonuna göre, Türkiye üzerinde sıcaklıklardaki en dramatik değişim yaz mevsiminde Ege Bölgesi üzerindeki 5 ila 6 °C'ler arasındaki artıştır. Kış ayları dışındaki mevsimlerde artış, 3-4 °C arasında değişmektedir. Gelecek simülasyonundaki minimum artış, kış mevsiminden 2-3 °C olarak hesaplanmıştır. Yine A2 simülasyonunda, Doğu Karadeniz dağları boyunca uzanan bölgede kış yağışlarındaki artış, rüzgar paterninin değişmesiyle orografik etkinin güçlenmesine bağlıdır. Türkiye'nin güneyi üzerinde de rüzgar paterninin güneyli değişimine bağlı olarak kış yağışlarında çok ciddi azalmalar (% 34) model sonuçlarında ortaya çıkmıştır. Sonbahar mevsiminde ise Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yağışlarda % 50'lere varan artışlar görülmüştür. Bu artışların ana nedeni değişen rüzgar akımlarının taşıdığı nem olabilir. Gelecek iklim senaryosunda Fırat ve Dicle su havzalarını kapsayan alandaki kış yağışlarında yaşanan azalmalarla, küresel ısınmaya paralel sıcaklık artışının buharlaşmaya etkisiyle birlikte değerlendirildiğinde, model sonuçlarının hidrolojik analizlerinin önemi daha çok ortaya çıkmaktadır.*

**Anahtar Kelimeler:** İklim değişimi, bölgesel iklim modellemesi, ölçek küçültme.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Barış ÖNOL. onolba@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 34 40.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Meteoroloji Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Downscale climate change scenarios using regional climate model over Eastern Mediterranean" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 08.10.2007 tarihinde dergiye ulaşılmış, 13.12.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.01.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Modeling impacts of climate change scenario over Turkey

### Extended abstract

*The Earth's climate has changed many times and fluctuated between the glacial and the interglacial periods since its formed. These changes related to natural forcings like volcanic eruptions, intense tectonic activity, solar activity and variation of Earth's orbital parameters, were sometimes very dramatic. Today, the global change we face to is different than the natural changes occurred in the past. Human-induced climate change has been taken into consideration extensively within the last decade more than ever. Recent advances in both climate observing systems and methodologies to detect the climate change, as well as broader global coverage of observations help scientists to better understand the climate system. Scientific studies which are led by IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) showed that dominance of anthropogenic effect on global warming is indisputable (IPCC, 2007).*

*Regional climate change modeling has been applied to many different areas such as agriculture, seasonal forecasting, hydrology applications, paleoclimate and climate projections. Because of its ability to resolve sharp gradients and contrasts in the surface conditions, the regional climate modeling approach yields more accurate and spatially detailed information. In this study, the ICTP-Regional Climate Model version 3 (RegCM3) has been used to downscale present and future scenario simulations generated by the NASA-Finite Volume General Circulation Model (fvGCM) over Turkey and its surroundings. The present-day (1961-1990, RF) and the future climate change simulations (2071-2100, A2) are based on the IPCC Greenhouse Gases emissions, which are CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and CFC<sub>11</sub>-CFC<sub>12</sub>. Emission scenarios for these gases have been implemented into the radiation scheme for the simulations and, relatively high resolution of 30 km is adopted to resolve the complex topography of the domain. The role of the domain characteristics such as complex land-sea distribution determines the sub-regional climatic features and spatial climate variability. This diverse climatic structure of the region brings great challenge for regional climate modeling. Levantine Sea, Aegean Sea and Black Sea are main moisture sources of the Turkey and its surrounding regions.*

*A2 simulation results which correspond future climate indicate that warming over Turkey's climatic zones is in the range of 2-5 °C. Summer temperature changes are more dominant in the A2 scenario. This pattern has also been observed for neighboring countries. Summer heat wave conditions over Aegean region (5 °C increase) are more obvious in the area averages than in the spatial pattern based model results. The difference between the summer and winter change is about 3 °C and it could play an important role in contributing to temporal shifts of the transition seasons. In addition, warming in winter over eastern and southeastern of Turkey which have higher altitudes are nearly 1 °C higher than for Marmara and Aegean regions which have lower altitudes. Autumn temperature changes for all regions are affected by the extension of the summer season extension due to the global warming.*

*Most significant precipitation changes in A2 scenario have been occurred over the Mediterranean region of Turkey in winter and over the Southeastern of Turkey in autumn. Our analyses show a 34% decrease over Mediterranean region and it is related to the change in the atmospheric circulation which in turn causes reduced orographic forcing. The same circulation change also enhanced orographic forcing especially over the east of the Black Sea region and results in significant precipitation increase. Decreases over the Aegean and Southeastern regions are around 20% in winter. Autumn precipitation over Southeastern region increased as high as 48%. Flow pattern changes which also affected Iraq and Syria are consistent with enhanced moisture availability over this region which may account for the major precipitation increase. All precipitation changes in winter and autumn are also statistically significant. The amount of precipitation over Turkey in summer season is very little except eastern Black Sea region. Therefore, percent changes for summer precipitation over all of regions could not be meaningful to discuss.*

*Analyses of A2 simulation show that combined effect of precipitation decrease and evapotranspiration increase related to temperature increase could play major role to reduce water resources over Turkey. Especially, there could be significant problems over Euphrates-Tigris basin because of the decreasing water availability in future scenario.*

**Keywords:** Climate change, regional climate modeling, downscaling scenarios.

## **Giriş**

19. yuzyıl sonlarından bugüne kadar küresel anlamda yaşanan en sıcak 5 senenin son 10 sene içinde gözlenmesi, günümüzde iklim değişikliği ve sonuçlarının günlük yaşama etkilerinin artık ülkemizde de her alanda tartişılmaya ve sorgulanmaya başlamasını sağlamıştır. Özellikle küresel ısınmanın önemli oranda insan kaynaklı sera gazları tarafından geręekleřtięi, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (Alley vd., 2007) son toplantısında da tartişmalara yer bırakmayacak şekilde vurgulanmıştır. Türkiye ise bugüne kadar insan kaynaklı iklim değişikliği ile ilgili çalışmaları küresel ölçekte incelemiş, bunların ülkemiz coğrafyasına etkilerini değerlendirmede ise yetersiz kalmıştır. İklim değişikliği senaryolarının küresel ölçekte iklim modelleri yoluyla bölgesel ölçeye indirgenmesi ve sonuçlarının incelenmesi, ülkemizin, enerji, tarım ve su kaynakları yönetimi gibi alanlardaki gelecekle ilgili planlamalarını yakından ilgilendirmektedir.

Bu çalışmada kullandığımız bölgesel iklim modelleri, daha önce dünyanın farklı coğrafyalarında tarımsal ve hidrolojik uygulamalarda, mevsimsel öngörülerde, paleo-iklimsel çalışmalarda ve iklim değişimi senaryolarının yerleştirilmesi çalışmalarında kullanılmıştır. İklim değişimi çalışmalarından Türkiye ve çevresini de ilgilendiren en önemlileri, Avrupa üzerinde yapılmıştır (Giorgi vd., 2004; Raisanen vd., 2004; Gao vd., 2006). Özellikle Gao ve diğerlerinin (2006) çalışmasında, 20 kilometre yatay çözünürlük kullanarak elde ettikleri simülasyon ve sonuçları, bizim çalışmamızı desteklemesi açısından önemlidir. Gao ve diğerlerinin çalışmasında ortaya koyduğu gelecek iklim simülasyonunda, yağışların, dağların rüzgar üstü bölümlerinde artması ve rüzgar altı kısımlarında azalması, akış paternindeki değişimlerle ilişkilendirilmiştir. Bu sonuç, Türkiye üzerinde seçtiğimiz model alanı üzerinde de aynı şekilde geręekleřmiřtir.

Avrupa Birliği projeleri kapsamında yapılan bu çalışmalarda seçilen bölgesel model alanları Türkiye'nin tümünü kaplamamakta ve ülkemizin iklim değişimi ile ilgili değerlendirmelerinde

yetersiz kalmaktadır. Bu sebepten dolayı çalışmamızda seçtiğimiz model alanı Türkiye üzerindeki iklim değişikliği senaryolarının değerlendirmesi açısından optimum alandır.

Bu çalışmanın amacı, gelecekte öngörülen insan kaynaklı iklim değişikliğinin ülkemiz üzerindeki ekonomik ve sosyal etkilerini değerlendirebilmek için gereken yüksek çözünürlükteki verileri, dinamik ölçek küçültme yöntemi ile üretmek ve bu bilgileri son kullanıcılar ve karar mekanizması içindekiler için anlamlı hale dönüştürmektir. Bu sebepten çalışmada hedeflenen ve ulaşılan nokta ülkemiz açısından çok önemlidir.

## **Yöntem**

Bu çalışmada kullanılan dinamik ölçek küçültme yöntemi, 1990'lı yılların başından beri iklim modellerinde sınırlı alan modelleri referans alınarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde yatay çözünürlüğü (genelde 2.5°x2.5°) düşük olan Genel Dolaşım Modeli çıktıları veya Küresel Re-analiz verileri, belirlenen bir bölge üzerinde sınırlı alan (bölgesel iklim modeli) modeline sınır koşullarını sağlamaktır. Bu işlem sonucunda bölgesel modelin ürettiği çözünürlüğü yüksek veriler, küresel modele göre çok daha ayrıntılı bilgi sağlamaktadır.

Çalışmada izlenen yol, Türkiye ve çevresi üzerinde, günümüz ve gelecek için NASA-Sonlu Hacim Genel Dolaşım Modeli (fvGCM) tarafından 1°x1.25° yatay çözünürlükte üretilen projeksiyonları, ICTP-Bölgesel İklim Modeli (RegCM3) kullanarak dinamik olarak ölçek küçültmektir. Günümüz (1961-1990, RF) ve gelecek (2071-2100, A2) simülasyonlarında referans olarak, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından belirlenmiş sera gazları emisyon senaryoları dikkate alınmıştır. Bu gazlar (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve CFC<sub>11</sub>- CFC<sub>12</sub>) için belirlenen emisyon senaryo değerleri, bölgesel modelin radyasyon şeması içine yerleştirilmiştir.

## **Bölgesel iklim modeli (RegCM3)**

Bu çalışmada bölgesel ölçekte uygulanan model, düşeyde  $\sigma$ -basınç koordinatları kullanan, 3 boyutlu bir atmosfer modelidir. Simülasyonlar

için düzeyde 18 seviye seçilmiştir. RegCM3, radyasyon alt modeli olarak NCAR-CCM3 şemasını kullanmaktadır. Atmosfer modeli, yer seviyesinde ise Biyofer-Atmosfer Transfer (BATS) modeli (Dickinson vd., 1993) ile etkileşimli olarak çalışmaktadır. Seçilen bölgenin arazi, bitki örtüsü ve bakılarının BATS alt modeli tarafından belirlenip hesaplanmaktadır.

Genelde kış mevsiminde gördüğümüz sistem yağışlarının dışında kalan konvektif karakterli yağışlar için model içerisinde birden fazla seçenek sunulmuştur. Bu tür yağışlar genelde geçiş ayları dediğimiz ilkbahar ve sonbahar mevsimleri ile yaz mevsiminde etkin olarak görülmektedir. İlgilendiğimiz bölge için en uygun kümülüs parametrisasyonunu seçmek amacıyla özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerine yönelik testler sonucunda, bugün ve geleceğe yönelik yapılan iklim simülasyonları için Grell (1993) şeması ile birlikte Arakawa-Schubert (1974) yaklaşımı uygun görülmüştür.

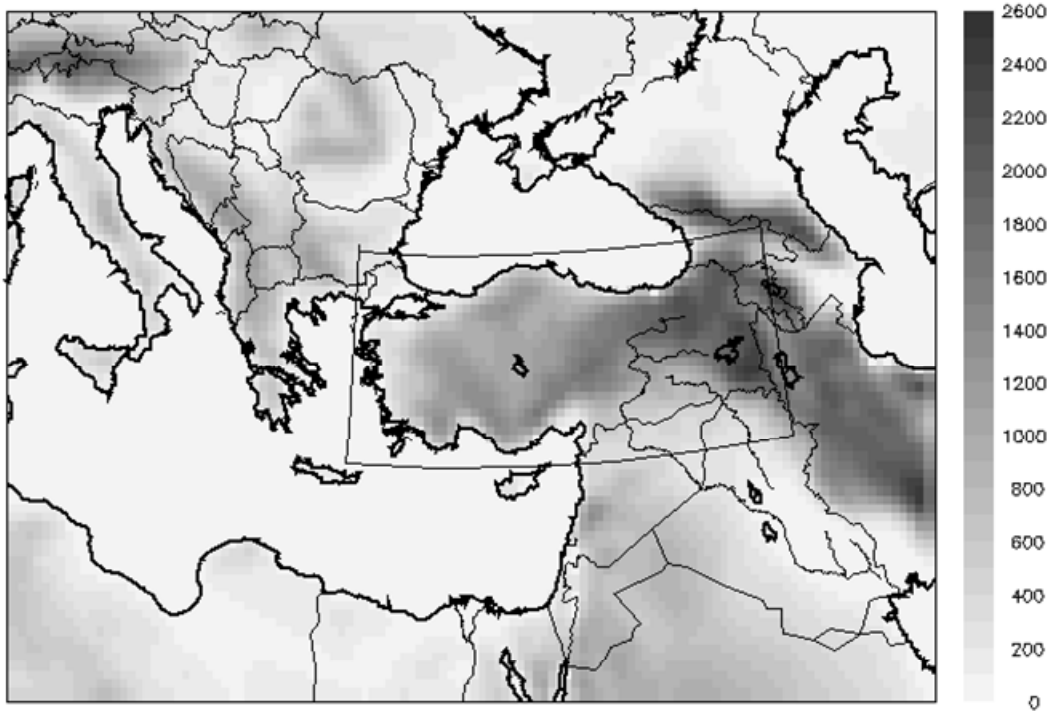
#### Model alanı ve simülasyon çözünürlüğü

Model alanı seçimi, çeşitli iç ve dış zorlamaların model hassasiyetine etkileri açısından çok önemlidir. Model alanı, orta-ölçek atmosferik

etkilerin gelişimi için uygun bir ortam yaratacak kadar geniş olmalıdır. Bu alanın belirlenmesi sırasında çeşitli büyüklüklerdeki bölgeler üzerinde simülasyonlar yapılmış ve bunların analizleri sonucunda Türkiye'nin model alanı sınırlarından uzak olmasına dikkat edilerek en uygun alan seçilmiştir.

Seçilen alan Türkiye'yi de kapsayan, batı-doğu doğrultusundan İtalya'dan başlayıp Hazar Denizi'ne, kuzey-güney doğrultusunda ise Mısır'dan başlayıp Ukrayna'ya kadar uzanan Şekil 1'de gösterilen bölgedir. Şekil 1'de asıl ilgilenilen bölge olan Türkiye, çerçeve içine alınmıştır. Bölgenin ve özellikle Türkiye'nin topografik karakteristikleri, alansal iklim değişkenliğini besleyen en önemli unsurdur.

Yine bölgenin kara-deniz dağılımı da iklimsel karakteristiği en çok etkileyen faktörlerin başındadır. Bu karmaşık yapı, bölgesel iklim modellemesi açısından da çözülmesi gereken birçok zorluk getirmektedir. Karadeniz, Akdeniz ve Ege denizleri tarafından çevrelenmiş olan Türkiye'nin başlıca nem kaynakları bu denizlerdir. Kıyıya paralel uzanan Doğu Karadeniz ve Toros Dağları bu nem kaynaklarının yağışa dönüşmesini



Şekil 1. Model alanı ve topografyası

sağlayan en önemli unsurlardır. Model alanı üzerindeki yataydaki 30 kilometrelik çözünürlük, gerçek yükseklik değerlerinin yumuşatılmasına sebep olmaktadır. Şekil 1’de de görüldüğü gibi, alan üzerindeki maksimum yükseklik 2600 metredir.

Model alanının yataydaki çözünürlüğünün belirlenmesi için de bazı testler yapılmıştır. 15, 30 ve 60 kilometrede üç farklı yatay çözünürlük sınanmıştır. 60 km simülasyonu, bölgenin karmaşık topografik yapısının çözümünde yetersiz kalmıştır. 15 km simülasyonunda ise, karşılaştırma için referans alınacak yüksek çözünürlükte gözlem verisi olmadığı anlaşılmıştır. 15 km simülasyonundaki yağış ve sıcaklık sonuçları, 30 km simülasyonun göre çok büyük farklılık getirmemiştir. 15 km simülasyonu, 30 km’ye göre en az 4 kat fazla bilgisayar hesaplama zamanı gerektirdiğinden iklim simülasyonları için seçilmemiştir. 30 km yatay çözünürlük, 60 yıllık iklim simülasyonları için hesaplama olanakları ve model performansı gözönünde bulundurulduğunda en uygun seçim olarak belirlenmiştir.

### **Model sonuçları**

A2 ve RF simülasyonlarının sıcaklık ve yağış için yapılan mevsimsel analizleri Türkiye’nin iklimsel bölgeleri üzerinde hem alansal dağılım hem de alansal ortalama alınarak ayrı ayrı incelenmiştir. A2 simülasyonu için belirlenen değişim değerleri (sıcaklık için °C, yağış için %), RF referans alınarak elde edilmiştir. Bütün değişimler, A2 ve RF simülasyonlarının 30’ar yıllık ortalamalarının birbirlerinden çıkartılmasıyla hesaplanmıştır (A2-RF).

### **Sıcaklık**

A2 sonuçlarının değerlendirilmesinden önce, RF simülasyonu, güvenilirliğinin anlaşılabilmesi için gözlemlerle karşılaştırılarak sınanmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda genel olarak Türkiye üzerinde RegCM3 modelinin ürettiği sıcaklık değerlerinin, klimatolojik olarak gözlemlerle uyumlu olduğu görülmüştür. Yaz mevsiminde model, gözlemlere göre en iyi sonuçları verirken, kış mevsiminde modelde 1-3 °C’lik negatif farklılıklar oluşmuştur. Bunun en muhtemel sebebi, modelin dağlar üzerinde çok daha iyi temsil edilmesi, gözlemlerin ise bu konuda zayıf

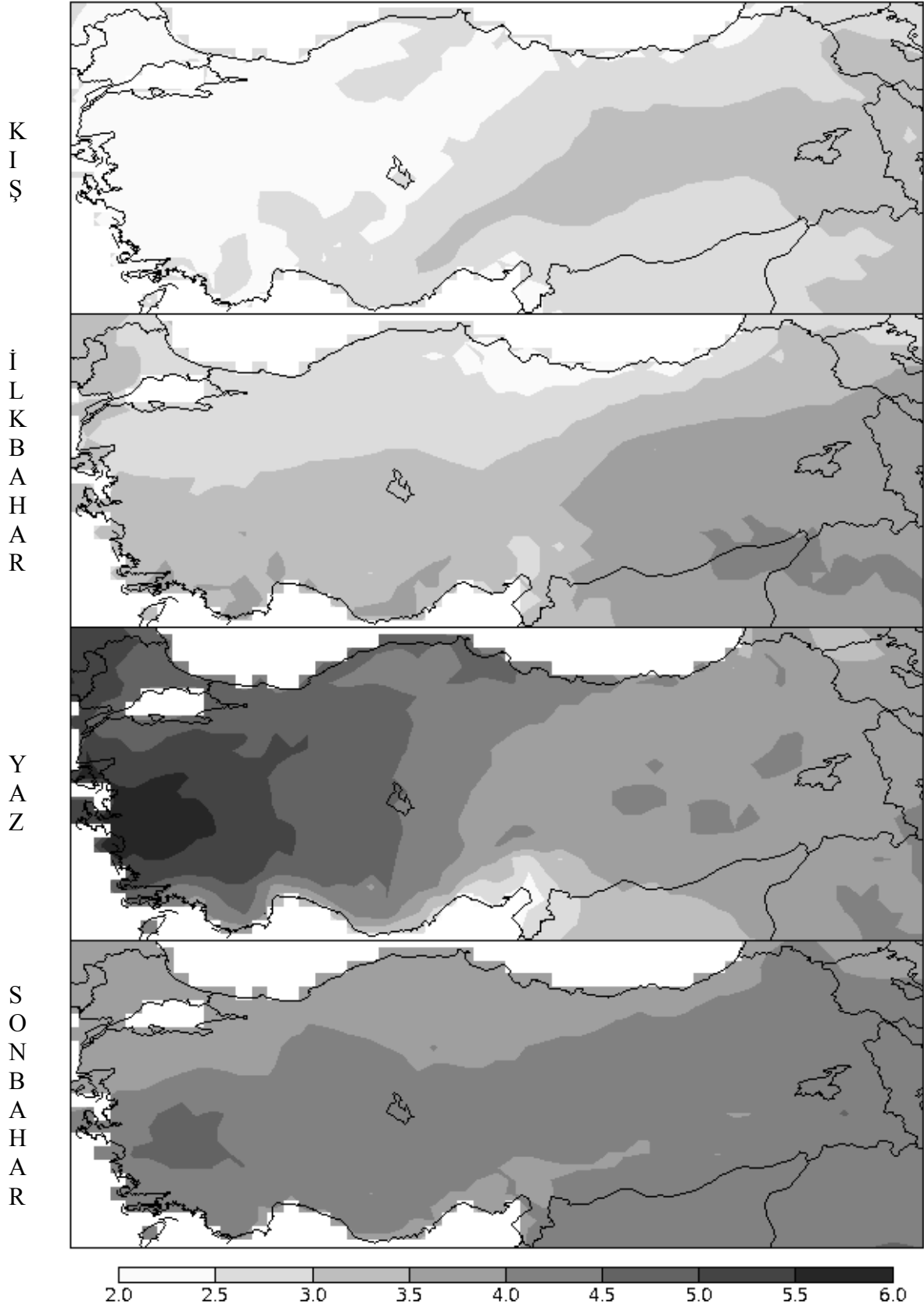
kaldığının bilinmesidir. Bu da gözlemlerin modelden daha yüksek değerlerde kalmasını sağlamıştır. Özellikle dağlık Karadeniz ve Akdeniz Bölgelerinde bu farklılık çok daha belirgindir. Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesi için kullanılan gözlem istasyonlarının ortalama yüksekliği 110 metreyken, modelin bu bölgedeki ortalama yüksekliği 679 metredir. Yine bu oran Akdeniz’de model lehine 137 metreye 755 metredir.

Şekil 2’de, mevsimlere göre gelecek projeksiyonunda sıcaklıklarının nasıl değişeceği gösterilmiştir. A2 simülasyonunda, Türkiye üzerinde, yıllık ortalama sıcaklıktaki artış 2.5-4°C arasında olmakla beraber, özellikle Ege Bölgesi ve Doğu Anadolu’nun önemli bir kısmındaki artış 4 °C’ye ulaşmaktadır. Ege Bölgesi üzerindeki yıllık artışın sebebi, sıcaklıklardaki en dramatik değişimin yaşandığı yaz mevsimindeki 5 ila 6°C arasındaki artıştır. Bölgede yaz mevsiminde görülen bu aşırı sıcaklık artışı, Avrupa kaynaklıdır ve Balkan ülkeleri üzerinde 7 °C’ye ulaşmaktadır (Önol ve Semazzi, 2007). Ortalama sıcaklıktaki bu düzeyde bir yükselmenin orman yangınlarından hayvan ve bitki çeşitliliğine, oradan insan sağlığına kadar çok çeşitli alanlarda etkilerinin olacağı açıktır.

Kış ayları dışındaki mevsimlerde artış, 3-4 °C arasında değişmektedir. Sonbahar mevsiminde ise 4 °C’yi biraz aşmaktadır. Bu durum, yaz aylarının sonbahara doğru uzayacağı anlamına gelebilir. Gelecek simülasyonundaki minimum artış ise 2-3 °C ile kış mevsiminde hesaplanmıştır. Bu mevsimdeki değişimin Türkiye’nin doğusunda batısına göre 1 °C fazla olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, batıya göre daha yüksek olan doğu bölgelerimizdeki kar örtüsünün azalması olarak gösterilebilir. Kar derinliği analizlerinde, A2 simülasyonunda önemli düşüşler olduğu görülmüştür.

Yaz ve kış mevsimi arasındaki sıcaklık farkı gelecek senaryosunda bölgelere göre değişmekle birlikte, artma eğilimindedir. Bu durumun kış ve yaz mevsimlerinden önce geçiş ayları olan ilkbahar ve sonbahar aylarında, ani sıcaklık artışı veya azalışı olarak gerçekeşebileceği, bu yeni gelişmenin de ekosisteme önemli zararlar verebileceği söylenebilir.

SICAKLIK: A2-RF (C)



Şekil 2. A2 simülasyonunun mevsimlere göre sıcaklık (°C) değişimi

## **Yağış**

Sıcaklıkta olduğu gibi RF simülasyonunda üretilen yağış değerleri de gözlemlerle karşılaştırılmıştır. Bu analizden RegCM3 modelinin sonuçlarının oldukça başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Gelecek projeksiyonunda yağış bakımından en önemli mevsim olan kış için, Doğu Anadolu Bölgesi dışında kalan bölgelerde model sonuçları gözlemlere çok yakın değerler vermektedir. Kış mevsiminde Doğu Anadolu Bölgesinde görülen aşırı yağışın sebebi ise modelin yağış parametrizasyonunun yağmur ve kar yağışını ayıramamasından kaynaklandığı düşünölmektedir. Yine ilkbahar mevsiminde Karadeniz Bölgesinde, modelin ürettiği aşırı yağışlar, bu bölgedeki sarp ve denize paralel uzanan yüksek dağların üzerinde, modelin yetersiz kalmasıyla açıklanabilir.

RegCM3 modelinin bu dağlık ve sarp bölge üzerinde sistematik hatalar ürettiği daha önce yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir (Evans vd., 2004).

şekil 3'te mevsimlere göre gelecek projeksiyonunda yağışların nasıl değişeceği gösterilmiştir. A2 simülasyonunda, Doğu Karadeniz dağları boyunca uzanan bölgede kış yağışlarındaki artış, rüzgar paterninin değişmesiyle güçlenen orografik etkiye bağlıdır. Model sonuçlarında Türkiye'nin Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerini kapsayan alan üzerinde de rüzgar paterninin güneyli değişimine bağlı olarak kış yağışlarında çok ciddi azalmalar (% 20 ila % 50 arasında) ortaya çıkmıştır. Sadece Akdeniz Bölgesi üzerindeki alansal ortalamadaki değişim % 4 civarındadır. Türkiye'nin güney ve kuzeyindeki kış yağışlarında oluşan bu birbirine zıt durum, küresel değişimin bir ürünüdür. Kuzey Atlantik'te gelecek iklim senaryolarında oluşan basınç sisteminin doğuya doğru kayması (Yin, 2005), rüzgar paternlerini etkilemekte, ölkemiz ve çevresi üzerindeki yağış dağılımını değiştirmektedir. Yağıştaki bu azalmalar bölgedeki su kaynaklarının kullanımı açısından çok kritiktir ve tarım gibi başka alanlara yansımaları da çok ciddi olabilir.

Yine A2 simülasyonunda, sonbahar mevsiminde Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yağışlarda % 50'lere varan artışlar hesaplanmıştır. Bu artışla-

rın da ana nedeni olarak değişen rüzgar akımlarının taşıdığı nem gösterilebilir. Bu mevsimde, aynı değişimler daha kuvvetli olarak komşu ölkeler olan Irak ve Suriye üzerinde de oluşmaktadır (Önol ve Semazzi, 2007).

Gelecek iklim senaryosunda yağışta kış mevsiminde yaşanan, Fırat ve Dicle su havzalarını kapsayan alandaki azalmalarla, küresel ısınmaya paralel sıcaklık artışının buharlaşmaya etkisi de birlikte değerlendirilmelidir. Yıllık toplam su bütçesindeki açığın sonbaharda artan yağışlarla azalmasına rağmen, hala çok önemli bir düzeyde olduğu açıktır.

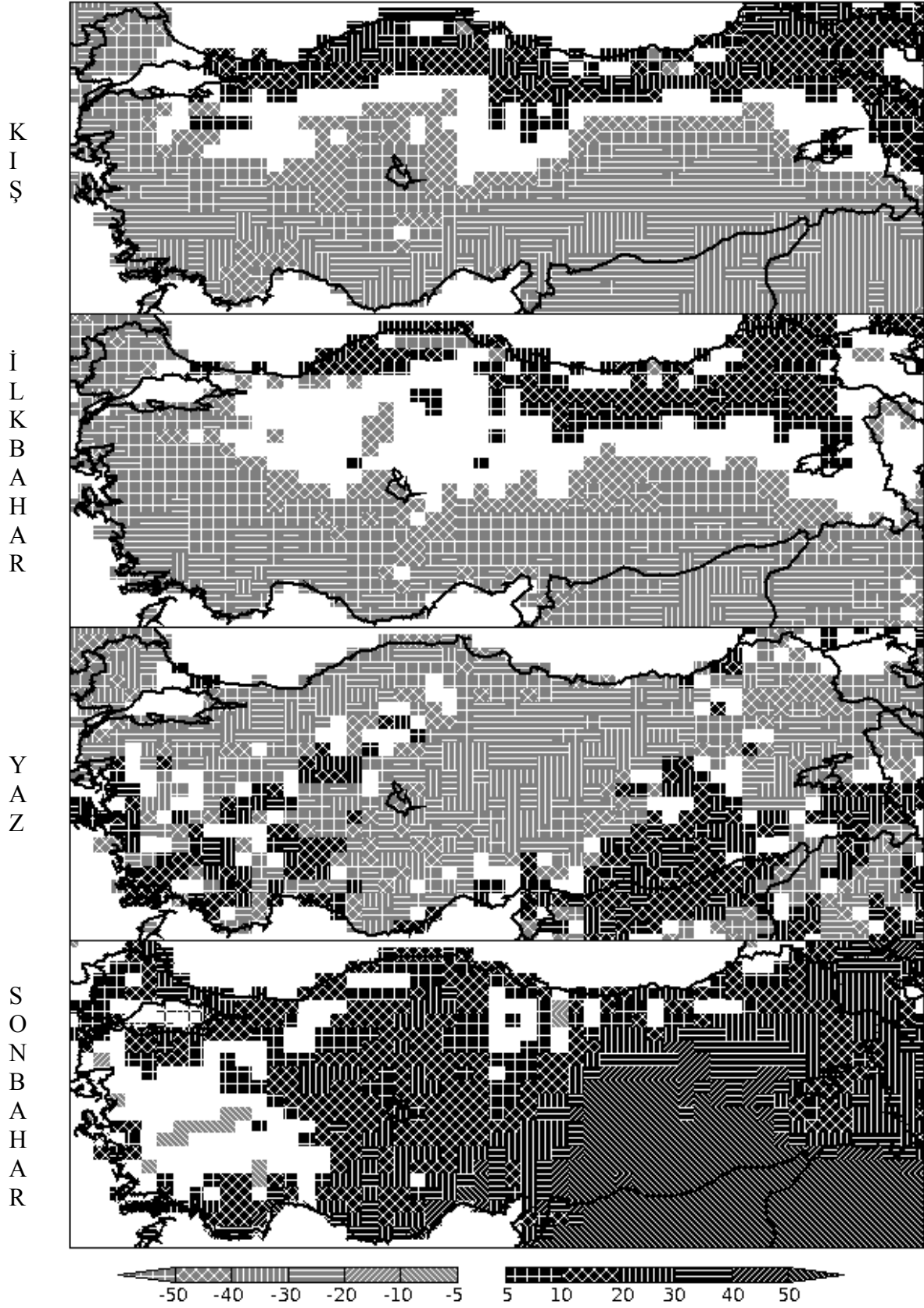
Kış ve sonbahar mevsimindeki bu ciddi yağış değişimlerinin hepsi, yapılan analizler sonucunda istatistik olarak da anlamlı çıkmıştır. Bu sonuç yağış değişiminin güvenilirliği açısından önemlidir.

## **Sonuçlar ve öneriler**

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çalışmada bulunan sonuçlar Avrupa ve Akdeniz üzerinde daha önce yapılmış bölgesel iklim değişikliği çalışmalarıyla uyum göstermektedir. Bu durum, üretilen model sonuçlarına güveni arttırmaktadır.
- Kış yağışlarındaki Fırat ve Dicle havzasını kapsayan alandaki ciddi azalma gelecekte sınır aşan bu suların paylaşımında ve yönetiminde ciddi sorunlar çıkarabilir.
- Yaz aylarında Ege Bölgesi üzerinde 6 °C'a yaklaşan ve diğer bölgelerimizin çok üstünde kalan sıcaklık artışları, su kaynakları, enerji ve tarım konuları göz önünde bulundurularak çok ciddi değerlendirilmelidir.
- Bu çalışma son kullanıcılar ve karar vericiler için çok önemli bilgiler sağlamaktadır.
- Türkiye üzerinde, yukarıda açıklanan bütün bu olası iklimsel değişimler, bu konu ile ilgili diğer disiplinler tarafından değerlendirilmedikçe ve bu değişimlere karşı adaptasyon çalışmaları yapılmadıkça, gelecekte meydana gelmesi kuvvetle muhtemel bu yeni durum daha da tehlikeli hale dönebilir.

YAĞIŞ: A2-RF (%)



Şekil 3. A2 simülasyonunun mevsimlere göre yağış (%) değişimi



## **Kaynaklar**

- Alley R., Berntsen, T., Bindoff, T.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Friedlingstein, P., Gregory, J., Hegerl, G., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Manning, M., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Qin, D., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Solomon, S., Somerville, R., Stocker, T.F., Stott, P., Stouffer, R.J., Whetton, P., Wood, R. A. ve Wratt, D., (2007). Climate change 2007: The physical science basis; summary for policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change Assessment Report 4, Paris.
- Arakawa, A. ve Schubert W.H., (1974). Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I, *Journal of Atmospheric Science*, **31**, 674-701.
- Dickinson, R., Henderson-Sellers, A. ve Kennedy, P. J., (1993). Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model, Technical Report, **387**, NCAR, Boulder, Colorado, 72.
- Evans, J.P., Smith, R.B. ve Oglesby, R.J., (2004). Middle East climate simulation and dominant precipitation processes, *International Journal of Climatology*, **24**, 1671-1694.
- Gao X., Pal, J.S. ve Giorgi, F., (2006). Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation, *Geophysical Research Letter*, **33**, L03706.
- Giorgi F., Xunquiang, B. ve Pal, J.S., (2004). Mean interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate change scenarios (2071-2100), *Climate Dynamics*, **23**, 839-858.
- Grell, G.A., (1993). Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations, *Monthly Weather Review*, **121**, 764-787.
- Önol, B. ve Semazzi, F., (2007). Regionalization of climate change simulations over Eastern Mediterranean, *Journal of Climate*, Değerlendirme aşamasında.
- Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Doascher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelsson, P. ve Willen, U., (2004). European climate in the late twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, *Climate Dynamics*, **22**, 13-31.
- Yin, J.H., (2005). A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21<sup>st</sup> 78 century climate, *Geophysical Research Letter*, **32**, L18701.