

RCP4.5 SENARYOSUNA GÖRE TÜRKİYE'DE SICAKLIK ve YAĞIŞ PROJEKSİYONLARI

Ömer DEMİR¹, Hakkı ATAY², Osman ESKİOĞLU³, Arzu TUVAN⁴,
Mesut DEMİRCAN⁵, Alper AKÇAKAYA⁶

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Daire Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Keçiören ANKARA
omerdemir@mgm.gov.tr¹, hatay@mgm.gov.tr², oeskioglu@mgm.gov.tr³, atuvan@mgm.gov.tr⁴,
mdemircan@mgm.gov.tr⁵, aakcakaya@mgm.gov.tr⁶

ÖZET

Senaryo, geleceğin hayali olarak canlandırılması veya alternatif gelecek durumların tasvir edilmesidir. Buna rağmen senaryo, tahmin ile karıştırılmaktadır. Senaryo geleceğin tahmini değil, olması muhtemel alternatif durumların ortaya konmasıdır (IPCC, 2000). Senaryolar, iklim gibi yüksek belirsizliğe sahip karmaşık sistemlerin gelecekteki muhtemel gelişiminin anlaşılması ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bunu bize sağlayan ise model çalışmaları ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen iklim projeksiyonlarıdır. Bu çalışmada, ülkemizi de içine alan bölgede, bölgesel iklim modeli çalışması ile geleceğe ait iklim değişikliği olasılıkları ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada, CMIP5 projesi kapsamında kullanılan ve halen hazırlıkları devam eden IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda yer alan RCP4.5 konsantrasyon senaryosu ile üretilen HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli çıktıları kullanılmıştır. Bu çıktılar RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli kullanılarak dinamik ölçek küçültme yöntemi ile ülkemiz ve bölgesi için 20 km çözünürlükte 2013-2099 yılları için sıcaklık ve yağış projeksiyonları üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: HadGEM2-ES, RegCM4.3.4, IPCC, İklim Projeksiyonları

1. GİRİŞ

İklimin insan hayatındaki önemi, iklimin sosyal ve ekonomik hayatı olumlu ya da olumsuz etkileri ile nasıl etkilediği ile ilgilidir. İnsanların daha iyi koşullar altında, daha sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmeleri için, gerek ulusal gerekse uluslararası birçok kurum ve kuruluş, organizasyon, merkezi ve yerel yönetimler ile sivil toplum örgütleri iklimde meydana gelebilecek değişimler ve bu değişimlerin etkilerinin doğru saptanabilmesi için farklı şekillerde çaba sarf etmektedirler.

Bu çabalardan en önemlisi modelleme çalışmalarıdır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte ortam koşullarını ifade eden değişkenler, daha detaylı bir şekilde modellerde yer alabilmektedir. 1970'li yıllardan itibaren bilgisayarların bilimsel amaçlı kullanımlarının yaygınlaşması ile iklim modelleri de kullanılmaya başlamıştır. Çalışılan ilk modellerde sadece atmosfer ve atmosferde gözlenen parametrelere göre çalışmalar yapılmış olup gelişmelere paralel olarak kara yüzeyi, okyanuslar, deniz buzları, sülfat, aerosoller, karbon çevrimi, dinamik bitki örtüsü ve atmosferin kimyası gibi etmenler modellere girdi teşkil eden parametreler olmuştur.

Teknolojinin gelişimi ile daha da küçülen Dünyamızda iklim değişikliği hakkında yapılan çalışmalar, 1990'lı yıllardan sonra IPCC (Uluslararası İklim değişikliği Paneli) adı altında oluşturulan birliktelik ve oluşumun yönlendirmeleri ile daha anlamlı bir çaba içine girmiştir. Oluşan bu birlikteliğin çalışma sonuçları belli dönemlerle gerçekleştirilmiştir. IPCC'de

yüzlerce bilim adamının katkıda bulunduğu en son 4. Değerlendirme Raporu'nda, önce 40 farklı senaryo gözden geçirilmiş ve bunların içinden 7 senaryo belirlenmiştir.

İklim, geniş zaman dilimlerinde ve daha büyük alanlarda yapılan atmosferik değerlendirmeleri ifade etmektedir. Bu kapsamda belli bir bölgenin gelecek iklimi hakkında yorum yapabilmemiz için, o bölgede meydana gelmesi muhtemel çevresel değişikliklerin de bilinmesi gerekmektedir. Şu an ormanlık olan bir alanın 1 ay sonrası, 1 yıl sonrası, 10 yıl sonrası, 50 yıl sonrası düşünüldüğünde; ağaçlık alanın yok olması yerine binaların yapılması veya başka amaçlar için kullanılması gibi durumlar söz konusu olabilir. İklim modelleri ayrıntılı bir şekilde ortam şartlarını, beklenen değişimlere göre yeniden kurgulama imkanı vermektedir. Bu bağlamda, 2007'de yayınlanan IPCC'nin 4. Değerlendirme Raporu'ndan bu tarafa, değişen arazi kullanımı/değişimi, sera gazı emisyonları ve konsantrasyonları, aerosol konsantrasyonu bilgileri ile gelişen teknolojik altyapı ve modelleme teknikleri yeni bir değerlendirme raporu hazırlanması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda IPCC 5. Değerlendirme Raporu çalışmaları başlamış olup, 2014 yılı ikinci yarısında tamamlanması planlanmaktadır.

IPCC'nin iklim değişikliği ile ilgili bu çalışmalarına paralel olarak, bölgesel bazda çalışmalarda yürütülmektedir. Yürüttüğümüz çalışma, bahsettiğimiz bölgesel çalışmalardan bir tanesi olup, burada çalışmanın şuna kadar gerçekleşen kısımları ve elde edilen veriler paylaşılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Sunulan çalışma IPCC 5. Değerlendirme Raporu için hazırlanan RCP4.5 senaryosu temelinde üretilen HadGEM2-ES küresel dolaşım modeli çıktılarının, RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli kullanılarak ölçek küçültme yöntemi ile daha yüksek çözünürlükte iklim parametrelerinin yeniden üretilmesini kapsamaktadır.

2.1. Temsili Konsantrasyon Rotaları:RCPs

IPCC'nin Eylül 2007'de düzenlediği geniş katımlı "Uzmanlar Toplantısında", IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda kullanılacak iklim değişikliği senaryoları için yeni bir yaklaşım ve bu kapsamda yeni bir emisyon/konsantrasyon senaryo seti oluşturulmasına karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda, belirlenen özelliklerde 4 adet Temsili Konsantrasyon Rotası (RCP: Representative Concentration Pathways) belirlenmiştir.

Tablo-1: Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs)

RCPs	Radyatif Zorlama	Zaman	Radyatif Zorlama Değişimi	Karbondiyoksit Eşdeğer Konsantrasyonu (ppm)	Emisyonlar (KYOTO protokolü sera gazları)
RCP 8.5	> 8.5 W/m ²	2100'de	Yükselme	~1370 ppm 2100'de	2100 e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	~6.0 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 850 ppm 2100'de	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	~4.5 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 650 ppm 2100'de	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP3-PD*	~3.0 W/m ²	2100 öncesi	3.0 W/m ² 'de zirve ve düşüş	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş 2100'de	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

2.2. Kullanılan Küresel Modeller ve Veri Setleri

Buradaki çalışma, halen çalışmalarını devam eden “Türkiye ve Bölgesi İçin İklim Projeksiyonları” çalışmasının şu ana kadar elde edilen sonuçlarını kapsamaktadır. Bu konuda, farklı küresel modellerle ve farklı senaryolarla çalışmalar halen devam etmektedir. Bu kapsamda HadGEM2-ES küresel modelinin, RCP4.5 senaryosu (2013-2099) ve 30 yıllık referans periyodu (1971-2000) verileri kullanılmıştır. Model kontrol testlerinde, bölgesel model 1971-2000 periyodu için çalıştırılarak elde edilen çıktılar, diğer küresel gözlem veri setleri ile (CRU, UDEL, UDEL-c) karşılaştırılmıştır.

Tablo-2: Veri Setleri

Küresel Model	Bölgesel Model	Hassasiyet Analiz Verileri	Periyot
HadGEM2-ES	RegCM4.3.4	<ul style="list-style-type: none"> • HadGEM2-ES RF(1971-2000) • CRU (1971-2000) • UDEL (1971-2000) • UDEL-c (1971-2000) 	2013-2099

2.3. Dinamik Ölçek Küçültme: RegCM4

Çalışmada, İtalya’daki Uluslararası Teorik Fizik Merkezi (ICTP) tarafından geliştirilen RegCM4 (Giorgi ve diğ.1993a,b) kullanılmıştır. Bu model, temel denklemlerle, hidrostatik, sıkıştırılabilir ve sigma basınç seviyelerinden oluşan bir sınırlı alan atmosfer modelidir. RegCM3 model fiziği, yer yüzey modeli BATS (Dickinson ve diğ., 1993), yerel olmayan sınır tabaka şeması (Holtlag ve diğ., 1990), ısı transfer paketi CCM3 (Kiehl ve diğ., 1996), okyanus yüzey akış parametrisasyonu (Zeng ve diğ., 1998), açık nem şemasının (Hsie ve diğ., 1984) basit bir versiyonu, bulutların altgrid ölçekli değişkenliğini açıklayan geniş bir ölçekli bulut ve yağış şeması (Pal ve diğ., 2000) ve kümülüs konveksiyonu için çeşitli seçenekler (Anthes, 1977; Grell, 1993; Emanuel ve Zivkovic-Rothman, 1999) kullanılmaktadır.

2.4. Hassasiyet ve Kontrol Testleri

Tablo-1’de zikredilen referans periyodu veri setleri kullanılarak, mevsimlik ve genel ortalamaya göre modelin hassasiyet karşılaştırmaları yapılmıştır (Tablo2,Tablo3).

Tablo-3: 1971-2000 referans periyodu ortalama sıcaklık sonuçlarının mevsimlik olarak, farklı gözlem veri setleriyle karşılaştırılması

Sıcaklık (°C)	RCM	CRU	UDEL	RAW
KIŞ	0.436	0.561	0.258	1.762
İLKBAHAR	8.294	9.712	9.503	9.867
YAZ	20.792	20.859	20.834	20.763
SONBAHAR	10.412	12.480	12.177	12.349
ORTALAMA	9.987	10.906	10.694	11.190

HadGEM2-ES küresel modelinin 1971-2000 referans periyodu verisinden ölçek küçültme yöntemiyle elde edilen ortalama sıcaklık sonuçları, diğer gözlem verileriyle karşılaştırıldığında özellikle kış ve yaz mevsiminde model sonuçlarının diğer gözlem verileriyle örtüştüğü görülmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ise modelin sıcaklık değerleri gözlem verilerine göre 1.5 °C daha düşüktür. Genel olarak Türkiye ortalamasına

bakıldığında model sonuçları CRU ve UDEL gözlem verilerine göre 0.71 - 0.92 °C daha düşüktür

Tablo-4: 1971-2000 referans periyodu günlük yağış sonuçlarının mevsimlik olarak, farklı gözlem veri setleriyle karşılaştırılması

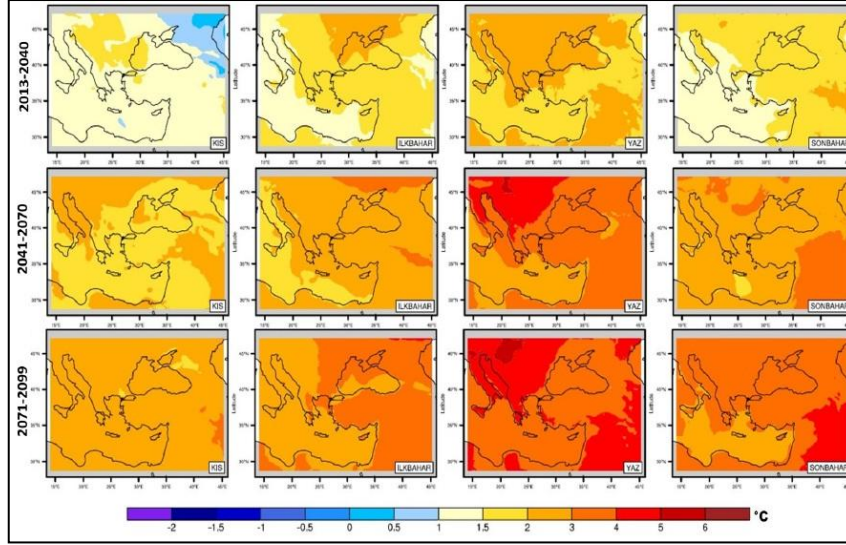
Yağış (mm/gün)	RCM	CRU	UDEL	UDEL-C	RAW
KIŞ	<u>2.159</u>	2.126	2.064	2.452	2.764
İLKBAHAR	<u>2.622</u>	1.974	1.881	2.101	2.874
YAZ	<u>0.947</u>	0.686	0.653	0.733	0.952
SONBAHAR	<u>1.830</u>	1.333	1.347	1.497	1.858
ORTALAMA	<u>1.886</u>	1.531	1.487	1.697	2.107

HadGEM2-ES küresel modelinin 1971-2000 referans periyodu verisinden ölçek küçültme yöntemiyle elde edilen günlük yağış sonuçları, diğer gözlem verileriyle karşılaştırıldığında özellikle kış mevsiminde model sonuçlarının diğer gözlem verileriyle örtüştüğü görülmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ise modelin yağış değerleri gözlem verilerine göre daha fazladır. Genel olarak Türkiye ortalamasına baktığımızda model sonuçları diğer gözlem veri setlerine göre ortalama %23 daha fazla yağış vermektedir.

3. HadGEM2-ES PROJEKSİYON SONUÇLARI

Projeksiyon çalışmasında, kümülüs konveksiyonu parametrizasyonu olarak karalar üzerinde Grell (1993) , deniz üzerinde Emanuel konveksiyon yağış şeması kullanılmıştır. Model simülasyonları için yatay çözünürlüğü 20 km olan 130x180 grid ölçekli grid ve 18 sigma seviyesi kullanılmıştır.

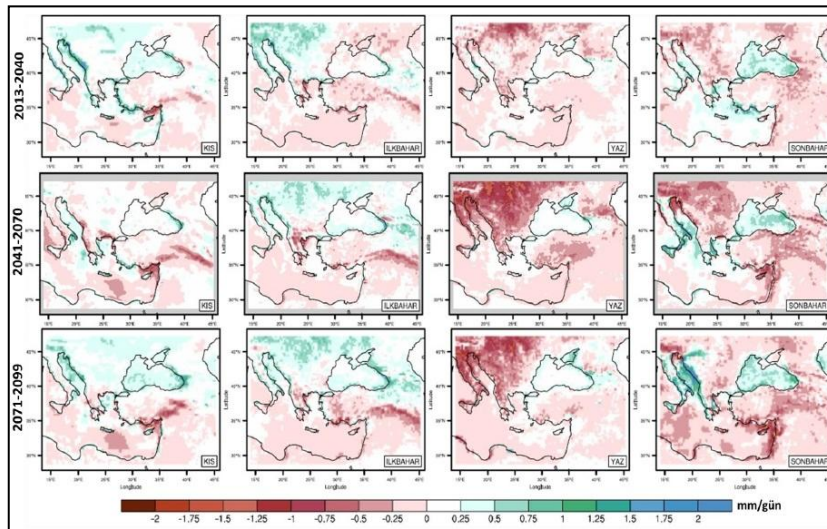
HadGEM2-ES küresel modelinin RCP4.5 senaryosundan dinamik ölçek küçültme yöntemiyle 1971-2000 referans periyoduna göre elde edilen sıcaklık fark değerleri genel olarak günümüzden yüzyılın sonuna kadar artış eğilimindedir. 2013-2040 yılları arasında özellikle yaz mevsiminde Kuzey-Batı ve Güney Doğu Bölgelerimizde 2-3 °C artış beklenirken, kış mevsiminde bu artış miktarı genel olarak 1-1.5 °C'dir. 2041-2070 periyodunda ise sıcaklıkların bir önceki periyoda göre tüm mevsimlerde ortalama 1 °C artacağı öngörülmektedir. Yaz mevsiminde sıcaklık artışı 2-3 °C iken, kış mevsiminde Doğu bölgelerimizde 2-3 °C, ülkemizin diğer bölgelerinde ise 1.5-2 °C'dir. Yüzyılın sonuna doğru sıcaklıkların kış mevsiminde 2-3 °C, ilkbahar mevsiminde Çanakkale, İstanbul ve Batı Karadeniz kıyılarında 2-3 °C diğer bölgelerde 3-4 °C, yaz mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgesi ve kıyı Ege bölgelerinde 4-5 °C diğer bölgelerimizde 3-4 °C, sonbahar mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgemizde 4-5 °C, diğer bölgelerimizde 3-4 °C artması beklenmektedir. Genel olarak özellikle yaz ve sonbahar mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgemizin sıcaklık artışına karşı hassas bir bölge olduğu göze çarpmaktadır (Şekil-1).



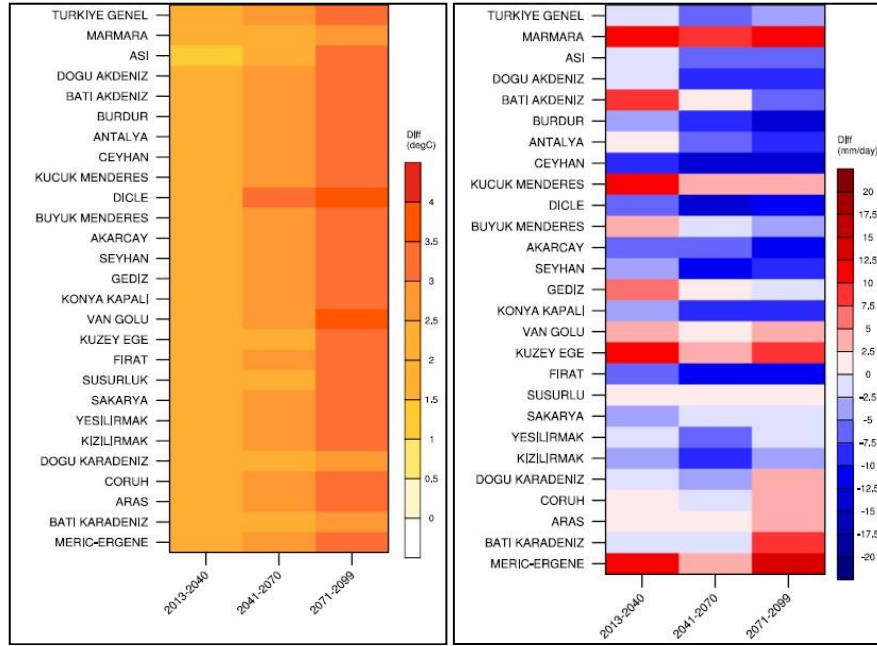
Şekil 1. Tüm mevsimler için 1971-2000 periyoduna göre 2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 periyotlarının sıcaklık fark haritası.

1971-2000 referans periyoduna göre elde edilen günlük yağış fark değerlerine göre özellikle tüm periyotlarda Güney Bölgelerimizde yağışlarda azalma beklenmektedir. 2013-2040 yılları arasında kış ve sonbahar mevsiminde özellikle Kıyı Ege ve Batı Akdeniz bölgelerimizde günlük 1-1.25 mm civarında yağış artışları, İç ve Doğu bölgelerimizde ise günlük 0.75-1 mm'ye varan yağış azalışları beklenmektedir.

2041-2070 yılları arasında Güney ve Güney Doğu bölgelerimizde günlük 0.5-1.25 mm yağış azalışları öne çıkmaktadır. Bununla beraber tüm mevsimlerde Ülkemizin kuzeyinde günlük 0.25-1mm yağış artışları beklenmektedir. Yüzyılın sonunda bir önceki döneme paralel olarak Güney bölgelerimizde yağışlarda günlük 1-1.25 mm civarında azalma göze çarpmaktadır. Ülkemizin Kuzeyinde, bu dönemde 0.25-1 mm civarında özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde 0.25-1 mm civarında yağış artışları, İç ve doğu bölgelerimizde ise 0.25-1 mm civarında yağış azalışları beklenmektedir. Genel olarak kış ve sonbahar mevsiminde Doğu Akdeniz'de günlük 1.25 mm'ye varan yağış azalışları, kış ve ilkbahar mevsiminde ise Doğu Karadeniz'de günlük 1.25 mm'ye civarında yağış artışları ön görülmektedir (Şekil-2).



Şekil 2. Tüm mevsimler için 1971-2000 periyoduna göre 2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 periyotlarının yağış fark haritası.



Şekil 3. Tüm mevsimler için 1971-2000 periyoduna göre 2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 periyotlarının havza bazlı sıcaklık(solda) ve yağış(sağda) farkı

4. SONUÇLAR

Elde edilen çıktılara göre 2099'a kadar ilk periyotta sıcaklık artışı (1-1.5 °C) sınırlıyken özellikle son periyotta (2070-2099) Kıyı Ege ve Güney Doğu Anadolu'da yaz sıcaklıklarında artış (4-5 °C) dikkat çekmektedir. Yağışlarda ise, ilk periyotta Marmara, Kıyı Ege ve Batı Akdeniz'de sonbahar ve kış yağışlarında artışlar gözlenirken, özellikle son periyotta Doğu Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu'nun güneyinde kış ve ilkbahar yağışlarında azalmalar gözlenmektedir.

Bu çalışma ülkemiz ve bölgesi için kapsamlı bir iklim projeksiyonu çalışmasının ilk aşaması niteliğindedir. Dolayısı ile burada HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 senaryosuna ait çıktılar bölgesel model ile çalıştırılarak, hedeflenen 6 projeksiyon setinden ilkinin sonuçları sunulmuştur. Çalışmanın devamında farklı iki küresel model ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının sonuçları elde edilerek toplamda 6 adet projeksiyon seti oluşturmak hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR:

1. Anthes, R.A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Mon. Weather Rev.*, 117, 1423-1438
2. Dickinson, R., Henderson-Sellers, A. and Kennedy, P., 1993: Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the near community climate model, Technical report, National Center for Atmospheric Research.
3. Emanuel, K.A., and M. Zivkovic-Rothman, 1999: Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models, *J. Atmos. Sci.*, 56, 1766-1782.
4. Giorgi, F., M.R. Marinucci, and G.T. Bates, 1993a: Development of a second generation regional climate model (RegCM2), I, Boundary layer and radiative transfer processes, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2794-2813.
5. Giorgi, F., M.R. Marinucci, G. De Canio, and G.T. Bates, 1993b: Development of a second generation regional climate model (RegCM2), II, Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions, *Mon. Weather Rev.*, 121, 2814- 2832.
6. Grell, G., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations, *Mon. Wea. Rev.* Grell, G.A., J. Dudhia and D.R. Stauffer (1995), A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), NCAR/TN-398+STR, pp. 122.
7. Hsie, E.Y., R.A. Anthes, and D. Keyser, 1984: Numerical simulation of frontogenesis in a moist atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 41, 2581-2594.
8. Holtslag, A., de Bruijn, E., and Pan., H. L., 1990: A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1561–1575.
9. Kiehl, J., Hack, J., Bonan, G., Boville, B., Breigleb, B., Williamson, D., and Rasch, P., 1996: Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). NCAR Technical Note, NCAR / TN-420+STR, National Center for Atmospheric Research.
10. Lin, S. J., 2004. A vertically Lagrangian finite-volume dynamical core for global models, *Monthly Weather Review*, 132, 2293-2307.
11. Pal, J., Small, E. and Eltahir, E., 2000: Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within regcm, *J Geophys Res-Atmospheres*.
12. Pal J.S., Giorgi F., Bi X. et al, 2006: The ICTP RegCM3 and RegCNET: regional climate modeling for the developing World. *Bull Am Meteorol Soc*.
13. Önel, B. ve F.H.M. Semazzi, 2007: Regionalization of Climate Change Simulations over Eastern Mediterranean, *Journal of Climate*, Degerlendirme asamasi.
14. Tatlı, H., H. N. Dalfes and S. S. Menteş, 2004: A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey. *International J. Climatology*, 24:161-180.
15. Zeng, X., Zhao, M. and Dickinson, R. E., 1998: Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using toga coare and tao data, *Journal of Climate*
16. IPCC, "Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report", the Netherlands, September, 2007.
17. Turunçoğlu, U. U.; Önel, B.; Bozkurt D., 2007. "Dinamik Modeller İle Bölgesel İklim Değişikliği Projeksiyonları". *Regional climate change projections with dynamic models. Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu*, 13-14 Aralık, Bildiriler Kitabı, İstanbul