

Türkiye’de Yeni Senaryolara Göre İklim Değişikliği Projeksiyonları

Climate change projections in Turkey with new scenarios

Mesut DEMİRCAN¹, Ömer DEMİR¹, Hakkı ATAY¹, Osman ESKİOĞLU¹, Başak YAZICI¹, Hüdaverdi GÜRKAN¹, Arzu TUVAN¹, Alper AKÇAKAYA¹

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, ANKARA

Öz: İklim Değişikliğinin konuşulduğu, ulusal ve uluslararası tedbirlerin, uyum ve önleme çalışmalarının tüm paydaşlar ve hükümetler tarafından dikkatlice izlendiği günümüzde, en önemli konu değişikliğin olup olmadığı ile varsa ne kadar olduğunun belirlenmesi ve izlenmesidir. Doğru bir iklim izleme yapılması, gerek gözlemlere dayalı olarak gelecek iklim şartlarının ne olacağını modellenmesinde, gerekse uyum ve önleme çalışmalarının başarıya ulaşmasında olmazsa olmaz ilk şarttır. Senaryo, gelecekteki bazı olayları resmeden hikâyelerdir (Gregory ve Duran, 2001). Bu bağlamda, emisyon senaryoları, sera gazları ve aerosoller gibi yer yüzünün radyasyon dengesini bozan maddelerin gelecekte atmosfere boşalma potansiyellerinin tasvir edilmesidir (Moss vd., 2010). Bu tanımlamalar ışığında emisyon senaryosunun gelecek için bir tahmin olmadığı söylenebilir. Fakat, iklim değişikliği çalışmaları için emisyon senaryosu, entegre değerlendirme modellerinde gösterilen sosyo-ekonomik, çevresel ve teknolojik eğilimler üzerinde yapılan bilimsel çalışmalara dayandırılan gelecekteki emisyonlara ilişkin uzman görüş ve değerlendirmelerini de yansıtır. Bunun yanında, emisyon senaryoları, iklim değişikliği çalışmalarının en önemli bileşenlerinden birini teşkil etmektedir. Bu çalışmada, ülkemizi de içine alan bölgede, bölgesel iklim modeli çalışması ile geleceğe ait iklim değişikliği olasılıkları ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada, IPCC 5. Değerlendirme Raporu’nda yer alan Temsili Konsantrasyon Rotalarına (RCPs: Representative Concentration Pathways) ait RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanılmıştır. Bölgesel İklim Modeli (RegCM4.3.4) kullanılarak dinamik ölçek küçültme yöntemi ile 20 km çözünürlükte, 2013-2099 yılları için sıcaklık ve yağış projeksiyonları üretilmiştir.

Anahtar kelimeler: İklim, İklim Değişikliği, İklim Modelleme, RCPs, RegCM

Abstract: Climate Change is spoken in nowadays in accordance with national and international measures and adaptation and mitigation studies are carefully monitored by all stakeholders and government. The most important issue is identification and monitoring as to whether the climate change or not and If there is climate change to determine how much it's magnitude. Scenario is a story that depicts some future event (Gregory and Duran, 2001). Emissions scenario is depiction of potential future unloading into the atmosphere of some matters such as greenhouse gases and aerosols which influence the Earth's energy budget (Moss et all, 2010). According to these explanations, it can be said that a scenario is not a forecast or a prediction of future. However, emission scenario for climate change research reflects expert evaluations and opinions respecting conceivable future emissions based on researches into socioeconomic, environmental, and technological tendencies pointed out in integrated assessment models. Additionally, the emission scenario is one of the most important components of climate change studies. In this study, future climate change possibilities have been tried to reveal with regional climate model studies in a region that's included our country. In this study, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios were used that's belongs Representative Concentration Pathways (RCPs) and located in the IPCC 5th Assessment Report. Temperature and precipitation projections were produced with 20 km resolution for 2013-2099 periods by Regional Climate Model (RegCM4.3.4) and with dynamic downscaling method.

Keywords: Climate, Climate Change, Climate Modeling, RCPs, RegCM

1. GİRİŞ

İklimin insan hayatındaki önemi, iklimin sosyal ve ekonomik hayatı olumlu ya da olumsuz etkileri ile nasıl etkilediği ile ilgilidir (Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014). 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 birliğin sinerjisi ve IPCC'nin çalışma sonuçları belirli dönemlerle açıklanmıştır.

Dünya İklim Araştırma Programı (World Climate Research Programme-WCRP) altında görev yapan, Çiftli Modelleme üzerine Çalışma Grubu (Working Group on Coupled Modelling-WGCM), atmosfer-okyanus genel dolaşım model çiftlerinden (Atmosphere-Ocean General Circulation Models - AOGCM) çalışılan çıktılar için standart deneysel protokol olarak "Çiftli Model Döngülü-karşılaştırma Projesi (Coupled Model Intercomparison Project-CMIP)"ni kurdu (CMIP, url; Demircan vd., 2014). CMIP, iklim modelinin tanısı, doğrulama, döngülü-karşılaştırma, dokümantasyon ve veri erişimini desteklemek topluluk tabanlı bir altyapı sağlar. Bu çerçeve, bilim adamlarından oluşan bir topluluğa sistematik bir şekilde GCM'lerin analizi için, modelin geliştirilmesini kolaylaştıracak hizmet veren bir süreç sağlar. Neredeyse tüm uluslararası iklim modelleme topluluğu, 1995 yılında kurulduğu günden beri, bu projeye katıldı.

İklim modelleri, mevsimselden onyıllık zaman ölçeklerinde iklim öngörülerini ile önümüzdeki yüzyıl boyunca ve ötesinde gelecek iklim projeksiyonları yapmak ve çeşitli zorlamalara iklim sisteminin yanıtını araştırmak için kullanılabilir birincil araçlardır (IPCC, 2013; Demircan vd., 2014). Bölgesel İklim Modelleri (RCMs) genellikle interaktif okyanus ve deniz buzu olmadan çalıştırılan, AOGCM'lerden atmosferik ve arazi yüzey bileşenleri ile karşılaştırılabilen, iklim süreçleri temsilleri ile sınırlı alan modellerdir. RCMs küresel yeniden analizleri ya da küresel iklim modeli çıktılarına, sınır koşulları ile sınırlı-alan bölgesi üzerinde uygulanır. RCMs genelde belirli bir coğrafi bölgede daha ayrıntılı bilgi sağlamak için küresel model simülasyonlarından dinamik ölçek-küçültme için kullanılır (IPCC, 2013; Laprise, 2008; Rummukainen, 2010; Demircan vd., 2014). Buna göre, deneysel ve istatistiksel ölçek-küçültme yöntemleri, benzer bölgesel veya yerel ayrıntı sağlamak için bir dizi tekniklerden oluşmaktadır. Parametrizasyonlar açıkça çözülemeyen süreçleri temsil eden tüm model bileşenlerini içerir; bunlar hem ayrı olarak hem de tüm model bağlamında değerlendirilir. Atmosferik modellerin, atmosferik konveksiyon ve bulutlar, bulut-mikrofiziği ve aerosol süreçleri ve bunların etkileşimi, sınır tabaka süreçleri, yanı sıra radyasyon ve çözümlenmemiş yerçekimi dalgaları davranışları ile ilgili olanlar dâhil olmak üzere süreçlerin geniş bir yelpazede, parametrize edilmesi gerekir.

Hadley Merkezi Küresel Çevre Modeli 2 sürümü kısaltma olarak HadGEM2 şeklinde isimlendirilir. Modellerin HadGEM2 ailesi ortak bir fiziksel çerçeve ile farklı karmaşıklık seviyeleri içeren özel model yapılandırmalarının bir dizisini içermektedir (MetOffice, url; Demircan vd., 2014). HadGEM2 ailesi, birleştiğinde atmosfer-okyanus yapılandırmasını ve/veya dinamik bitki örtüsü, okyanus biyoloji ve atmosferik kimyasıyla Dünya-Sistem yapılandırması ve iyi bir çözümle

stratosferin dâhil olduğu atmosferdeki bir dikey uzantısını içerir. HadGEM2 ailesi üyeleri İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli (IPCC) Beşinci Değerlendirme (AR5) kullanılacaktır. Standart atmosferik bileşeni, 1.875° boylam ve 1.25° enlem aralığı ile yatay çözünürlüğünden meydana gelen 192 x 145 grid hücresinden oluşan küresel bir grid (karelaj) yapısı ve yaklaşık 40km yüksekliğe uzanan 38 seviyeye sahiptir.

İklim uzun bir süre belli bir yerde yaşanan ortalama hava şartlarıdır. Klimatolojik normaller, iklimsel verilerinden hesaplan 30 yıllık birbirini takip eden dönemlerin ortalamalarıdır (Demircan vd. 2013; Demircan vd., 2014). İklim normallerinin kullanımı, küresel değerlendirme ve iklim izleme çalışmalarını hazırlamak için standart bir temel sağlamak için çok önemli bir araçtır. İklim referans dönemleri olan 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 bilim adamları, ulusal iklim hizmetleri ile uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından uluslararası, ulusal ve bölgesel temelli iklim izleme, iklim eğilimleri, iklim değişikliği ve iklim modelleme çalışmalarında iklim normalleri olarak kullanılır.

İklim değişikliği tahmin çalışmaları tüm sektörlerde uyum, hafifletme ve önleme çalışmaları için yapılan planlamalarına ana veri girişini sağlar yani paydaşların gelecek planlaması, iklim ve iklim modeli çıktılarına dayalı olmalıdır. İklim değişikliği bağlamında, gelecek için yapılacak küresel iklim modellerinin farklı senaryolarının Türkiye ve civarı için yüksek çözünürlüklü veri seti oluşturmak için çözünürlüklerinin artırılması yani ölçek küçültme gerekir. Böylece bu veriler sektörel olarak ve sektörlerin uyum, azaltma ve önleme faaliyetlerinin planlamalarında temel olarak kullanılabilir hale gelir. Bu verilerin sektörler tarafından kullanılması sektörlerin çalışmalarının doğruluğunu ve başarısını artıracaktır.

2. YÖNTEM

Sunulan çalışma, bölgesel iklim modeli (RegCM4.3.4) kullanarak ve temelinde IPCC 5. Değerlendirme Raporu için hazırlanan HadGEM2-ES Küresel Dolaşım Modeli ailesi içinde üretilen RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının çıkışlarından ölçek küçültme yöntemi ile daha yüksek bir çözünürlüğe sahip iklim projeksiyonlarının üretimini içermektedir.

2.1. Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs: Representative Concentration Pathways)

IPCC tarafından IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda kullanılacak iklim değişikliği senaryolarında yeni bir yaklaşım için geniş katılımlı "Uzmanlar Toplantısı" Eylül 2007'de organize edildi ve bu bağlamda; yeni emisyon/konsantrasyon senaryolarının bir setinin oluşturulmasına karar verilmiştir (MGM, 2013; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014). Bu karar uyarınca, (Tablo 1)'de belirtilen özelliklere sahip 4 adet RCPN belirlendi.

Tablo1. Temsili Konsantrasyon Rotalarının (RCPs) Türleri

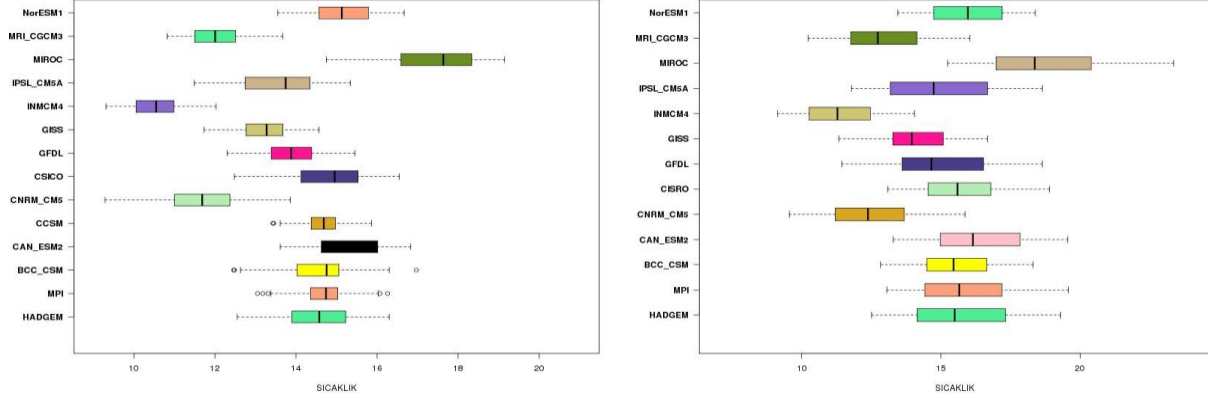
Adı (RCP's)	İşinimsal Zorlama	Zaman	İşinimsal Zorlama Değişimi	Konsantrasyonlar (CO ² eşdeğer)	Emisyonlar (Kyoto Protokolü Sera Gazları)
RCP 8.5	> 8.5 W/m ²	2100'de	Yükselme	> ~1370 (2100'de)	2100'e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	~6.0 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 850 ppm (2100'de)	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	~4.5 W/m ²	2100 öncesi	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 'e ulaşmadan zirve ve düşüş	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş (2100'de)	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

IPCC 2007'ye göre

2.2. Küresel Modeller ve Veri Setleri

Bu çalışma "Türkiye ve çevresi için İklim Projeksiyonları" isimli halen devam eden bir projeden bugüne kadar elde edilen sonuçları kapsamaktadır (Demircan vd., 2014). Kullanılacak

küresel modellerin seçiminde küresel modellerin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının Türkiye için gösterdiği ortalama sıcaklık değerleri (1971-2000 dönemi için) karşılaştırılarak en uygun olan üç tanesi seçilmiştir. Türkiye sıcaklık gözlemlerinden elde edilen 1971-2000 sıcaklık normali değeri 13.5°C'dir (Demircan vd., 2013). "Türkiye ve çevresi için İklim Projeksiyonları" projesi farklı küresel modeller ve senaryolar ile hala çalışmaya devam etmektedir.



Şekil 1. Küresel Modellerin RCP4.5 Senaryosu (sol) ve RCP8.5 Senaryosuna (Sağ) Göre Türkiye İçin Gösterdikleri Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması (MGM, 2013).

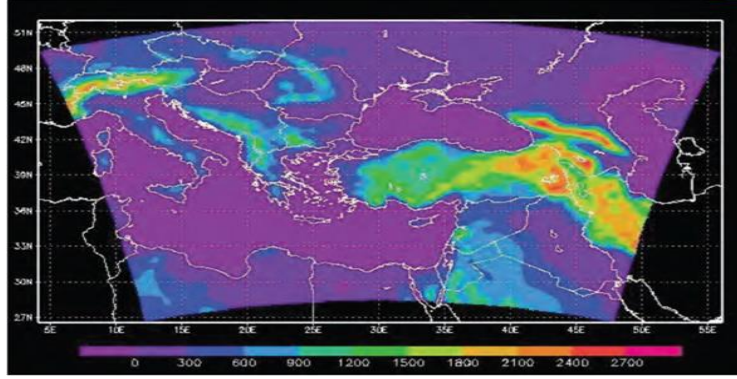
Bu çalışma bağlamında, HadGEM2-ES küresel modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları (2013-2099) ve küresel modelin 30 yıllık referans dönemi (1971-2000) veri setleri kullanılmıştır. Modelin kontrol testinde, RegCM bölgesel modeli 1971-2000 dönemi için çalıştırılarak elde edilen sonuçlar diğer küresel gözlem veri setleri ile (İklim Araştırma Birimi'nin - CRU, Delaware Üniversitesi'nin - UDEL ve UDEL-c) karşılaştırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Veri Setleri (MGM, 2013)

Küresel İklim Modeli (GCM)	Bölgesel İklim Modeli (RCM)	Hassasiyet Analizi için Kullanılan Veri Setleri	Dönem
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 Bölgesel İklim Modeli (Giorgi vd., 1993a,b; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014) kullanılmıştır. Bu model, temel denklemler, hidrostatik, sıkıştırılabilir ve sigma basınç seviyelerinden oluşan bir sınırlı alan atmosfer modelidir. RegCM4 model fiziği, yer yüzey modeli BATS (Dickinson vd., 1993; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014), yerel olmayan sınır tabaka şeması (Holtslag vd., 1990; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014), ısı transfer paketi CCM3 (Kiehl vd., 1996; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014), okyanus yüzey akış parametrisasyonu (Zeng vd., 1998; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014), açık nem şemasının (Hsie vd., 1984; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014) basit bir versiyonu, bulutların altgrid ölçekli değişkenliğini açıklayan geniş bir ölçekli bulut ve yağış şeması (Pal vd., 2000; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014) ve kümülüs konveksiyonu için çeşitli seçenekler (Anthes, 1977; Grell, 1993; Emanuel ve Zivkovic-Rothman, 1999; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014) kullanılmaktadır. Bu çalışmada konvektif yağış şeması olarak karalar üzerinde Emanuel ve denizler üzerinde Grell kümülüs konveksiyon parametrisasyonu kullanılmıştır. Çalışma alanı (domain) olarak yatay çözünürlüğü 20km olan 130x180 gridden ve dikeyde 18 sigma seviyesinden oluşan bir bölge için model koşturulmuştur (Şekil.2).



Şekil 2. RCM'de (RegCM4.3.4) çalışma alanının topoğrafya görüntüsü (MGM, 2013).

2.4. Hasiyet ve Kontrol Testleri

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

Tablo 3. 1971-2000 referans periyodu ortalama sıcaklık ve yağış sonuçlarının mevsimlik olarak, farklı gözlem veri setleriyle karşılaştırılması (MGM, 2013)

SICAKLIK (°C)	RCM	CRU	UDEL	RAW	YAĞIŞ (mm/gün)	RCM	CRU	UDEL	UDEL-C
KIŞ	0.436	0.561	0.258	1.762	KIŞ	2.159	2.126	2.064	2.452
İLKBAHAR	8.294	9.712	9.503	9.867	İLKBAHAR	2.622	1.974	1.881	2.101
YAZ	20.792	20.859	20.834	20.763	YAZ	0.947	0.686	0.653	0.733
SONBAHAR	10.412	12.480	12.177	12.349	SONBAHAR	1.830	1.333	1.347	1.497
ORTALAMA	9.987	10.906	10.694	11.190	ORTALAMA	1.886	1.531	1.487	1.697

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.

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.

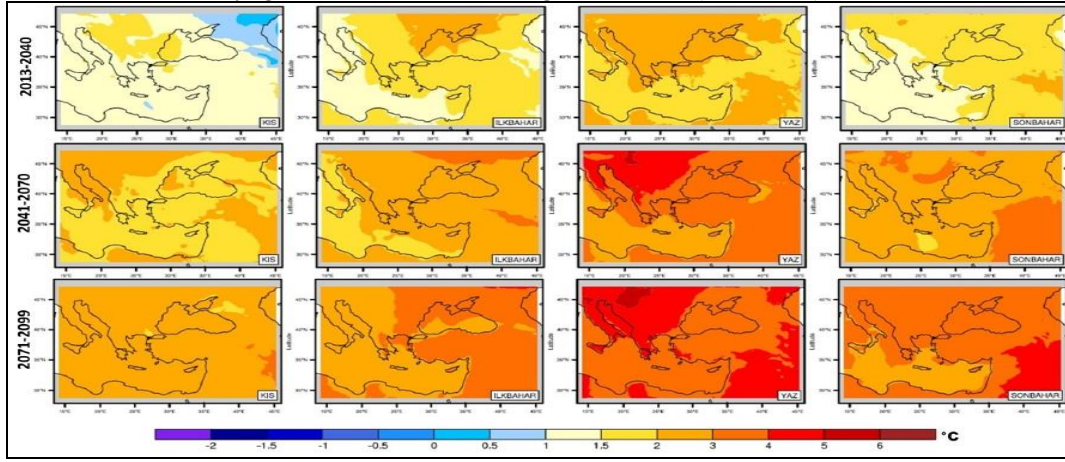
3. Bulgular

Türkiye için HadGEM2-ES projeksiyonları, ülkemizi de içine alan bölgede, bölgesel iklim modeli çalışması ile geleceğe ait iklim değişikliği olasılıkları ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışmada, IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda yer alan CMIP5projesinde de kullanılan HadGEM2-ES Küresel Dolaşım Modeline (GCM) ait RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanılmıştır. Bölgesel iklim modeli RegCM4.3.4 kullanılarak dinamik ölçek küçültme yöntemi ile ülkemizi ve çevresini içeren 20 km çözünürlükte bir çalışma alanında, 2013-2099 yılları için sıcaklık ve yağış projeksiyonları üretilmiştir. Gelecek zaman dönemi 2013-2099 yılları sırasıyla 2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 dönemleri olmak üzere üç döneme ayrılmıştır. Bu üç dönemim mevsimlik ortalama değerleri tespit edilmiştir. Bu üç dönemin sıcaklık ve yağışları ile referans dönemin (1971-2000) sıcaklık ve yağışları karşılaştırılarak farkları tespit edilmiştir.

3.1 RCP4.5 Senaryosuna göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları

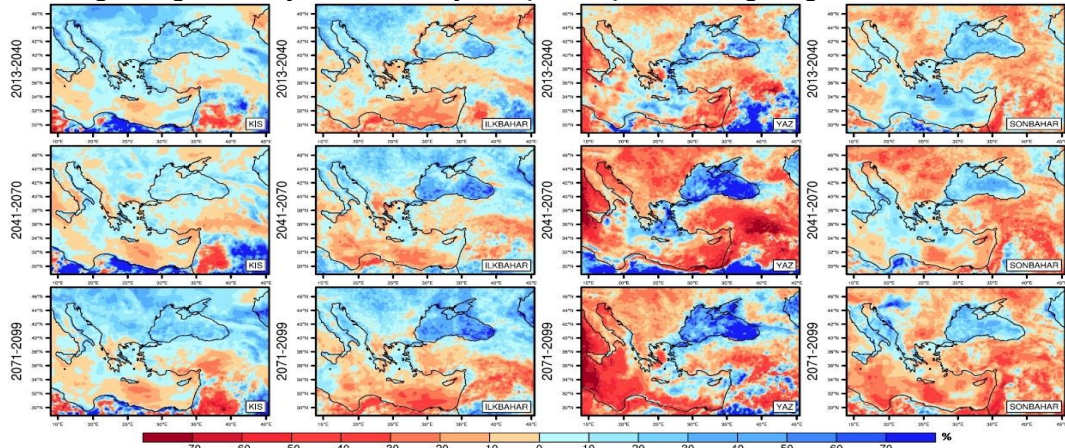
Sıcaklık ve yağış değerleri çalışma alanı için ölçek küçültme yöntemi ile HadGEM2-ES Küresel İklim Modelinin RCP4.5 senaryosundan elde edildi. Sıcaklık ve yağış için referans dönem

(1971-2000) ile yukarıda anlatılan üç dönemin farkları hesaplandı. Sıcaklık ve yağış fark değerleri tüm dönemler için mevsimlik olarak görselleştirildi. Genel olarak günümüzden yüzyılın sonuna kadar sıcaklık farkları artma ve yağış farkları ise azalma eğilimindedir (Şekil 3, 4).



Şekil 3. RCP4.5 Senaryosuna göre sıcaklık projeksiyonlarının referans dönemden farkları.

Birinci dönemde (2013-2040), genellikle sıcaklıklarda 1.5-2°C arasında bir artış olacağı ve yaz sıcaklıklarında özellikle Marmara Bölgesinde ve Karadeniz Bölgesinin batısında bu artışın 2-3°C ulaşabileceği öngörülmektedir. İkinci dönemde (2041-2070), ilk ve sonbahar sıcaklıklarında 2-3°C, yaz sıcaklıklarında ise 4°C ulaşan artışın olacağı öngörülmektedir. Son dönemde (2071-2099), kış sıcaklıklarında 2°C, ilk ve sonbahar sıcaklıklarında 3°C ve yaz sıcaklıklarında özellikle Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgesinin kıyılarında 5°C'ye ulaşan artışların olacağı öngörülmektedir.



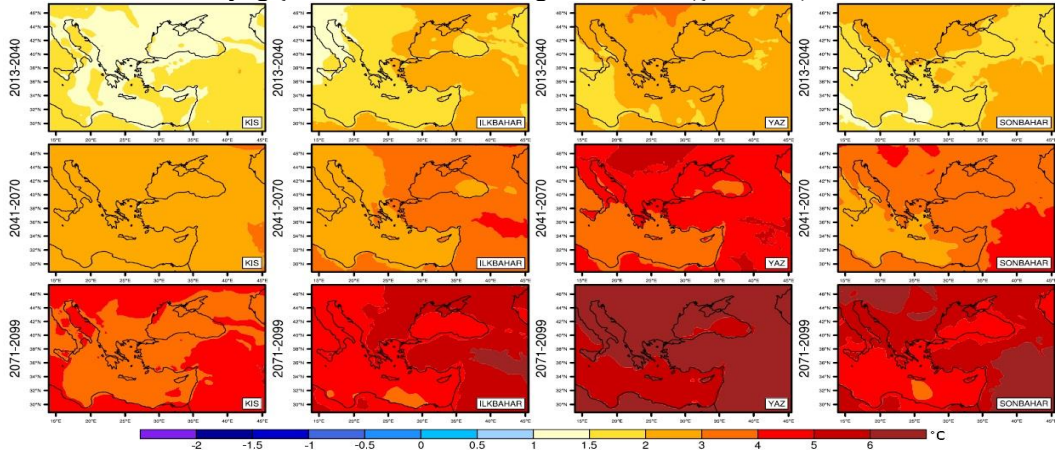
Şekil 4. RCP4.5 Senaryosuna göre yağış projeksiyonlarının referans dönemden farkları.

Birinci dönemde (2013-2040), yağışın kış aylarında özellikle Ege Bölgesinin sahillerinde, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinin orta kesimlerinde bir artış olacağı, bununla birlikte bahar yağışlarında ülkenin büyük bir kesiminde %20'lere varan düşüşler olacağı öngörülmektedir. İkinci dönemde (2041-2070), kış yağışlarında özellikle Doğu, Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde ve Akdeniz Bölgesinin orta ile doğu kısımlarında %20'ye varan azalışlar öngörülmektedir. Yaz mevsiminde özellikle yaz yağışlarının önemli olduğu Doğu Anadolu Bölgesinde %30'lara varan azalışlar ve sonbahar yağışlarında Ege Bölgesinin sahilleri ve İç Anadolu Bölgesinin küçük bir bölümü haricinde azalışlar olacağı öngörülmektedir. Son dönemde (2071-2099), kış yağışlarında Güneydoğu Anadolu Bölgesi haricinde özellikle kıyı hattı boyunca %10 artış olacağı öngörülmektedir. İlkbahar yağışlarında Ege Bölgesinin kıyı kesimleri, Karadeniz Bölgesinin batı ve doğu kesimleri ve Doğu Anadolu Bölgesinin kuzeydoğu kesimleri hariç %20'lere varan bir azalış olacağı öngörülmektedir. Yaz yağışlarında Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinin özellikle kıyı kesimleri hariç olmak üzere

%40'lara varan azalışlar ve sonbahar yağışlarında hemen hemen tüm ülkede azalışlar olacağı öngörülmektedir.

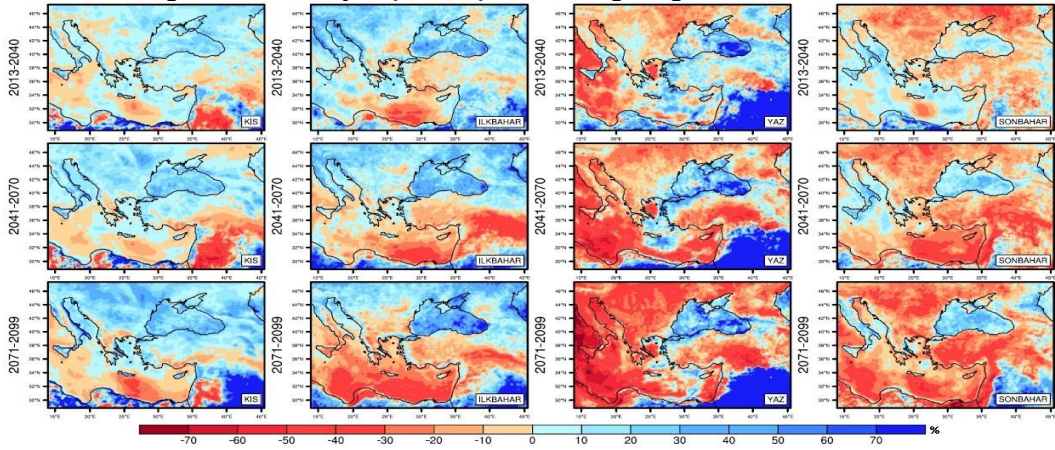
3.2 RCP8.5 Senaryosuna göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları

Sıcaklık ve yağış değerleri çalışma alanı için ölçek küçültme yöntemi ile HadGEM2-ES Küresel İklim Modelinin RCP4.5 senaryosundan elde edildi. Sıcaklık ve yağış için referans dönem (1971-2000) ile yukarıda anlatılan üç dönemin farkları hesaplandı. Sıcaklık ve yağış fark değerleri tüm dönemler için mevsimlik olarak görselleştirildi. Genel olarak günümüzden yüzyılın sonuna kadar sıcaklık farkları artma ve yağış farkları ise azalma eğilimindedir (Şekil 5,6).



Şekil 5. RCP8.5 Senaryosuna göre sıcaklık projeksiyonlarının referans dönemden farkları.

Birinci dönemde (2013-2040), özellikle ilkbahar ve yaz sıcaklıklarında 3°C ulaşan bir artış olacağı öngörülmektedir. İkinci dönemde (2041-2070), kış sıcaklıklarında 2-3°C, ilk ve sonbahar sıcaklıklarında 3-4°C, yaz sıcaklıklarında ise 5°C ulaşan artışın olacağı öngörülmektedir. Son dönemde (2071-2099), kış sıcaklıklarında Trabzon – Mersin hattının batısında 3-4°C ve doğusunda ise 4-5°C, ilk ve sonbahar sıcaklıklarında özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 6°C ve yaz sıcaklıklarında ülke genelinde 6°C'ye aşan artışların olacağı öngörülmektedir.



Şekil 6. RCP8.5 Senaryosuna göre yağış projeksiyonlarının referans dönemden farkları.

Birinci dönemde (2013-2040), yağışın kış aylarında Marmara Bölgesinin batı kesimleri, Akdeniz Bölgesinin doğu kesimleri, İç Anadolu Bölgesinin güneydoğu kesimleri ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin batı kesimleri haricinde bir artış olacağı, ilkbahar yağışlarında Ordu-Mersin hattının batısında ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bir düşüş olacağı öngörülmektedir. Yaz yağışlarında Akdeniz Bölgesinin batı kesimleri ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi hariç olmak üzere %40'lara varan artış, bununla birlikte sonbahar yağışlarında ülke genelinde düşüşler olacağı öngörülmektedir. İkinci dönemde (2041-2070), kış yağışlarında Anadolu'nun güney kesimleri

haricinde artışlar olacağı öngörülmektedir. İlkbahar yağışlarında Ege Bölgesinin batı kesimleri, Marmara Bölgesi, Karadeniz Bölgesinin batı ile doğu kesimleri ve Doğu Anadolu Bölgesinin kuzeydoğu kesimleri haricinde düşüşler olacağı öngörülmektedir. Yaz mevsimi yağışlarında Ege Bölgesinin kıyı kesimleri, Marmara Bölgesi ve Karadeniz Bölgesinin batı ile doğu kesimleri hariç ülke genelinde %50'ye varan azalışlar, sonbahar yağışlarında ülke genelinde azalışlar olacağı öngörülmektedir. Son dönemde (2071-2099), ikinci dönemde mevsimler için anlatılan yağış desenlerinin olacağı, bununla birlikte sonbahar düşüşlerinin %60'lara ulaşacağı öngörülmektedir.

Tablo 4. Özet Tablosu: RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarının sıcaklık projeksiyonları aralığının karşılaştırılması.

	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85
Dönem	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
2013-2040	1,5-2	1-2	1,5-2	2-3	2-3	1,5-3	1,5-2	1,5-3
2041-2071	1,5-3	2-3	2-3	3-5	2-4	4-5	2-4	3-5
2071-2099	2-3	3-5	2-4	4-6	3-5	5-6	3-5	4-6

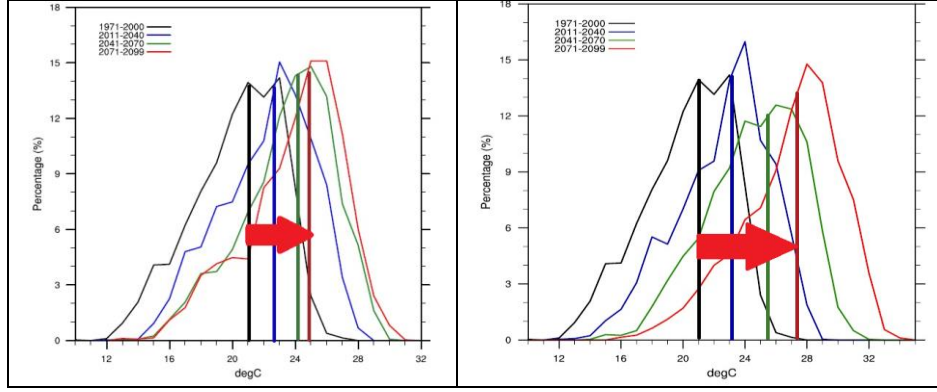
Tablo 4'den de görüleceği üzere her iki senaryoda da sıcaklıklar için artış öngörülmektedir. Bununla birlikte RCP8.5 senaryosunun göstermiş olduğu artış aralığı daha yüksek olup bu artışın yüzyılın sonunda 6°C'ye ulaşabileceği öngörülmektedir. Bu ise ülkemiz açısından önemli bir sıcaklık artışıdır.

Tablo 5. Özet Tablosu: RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarının yağış projeksiyonları aralığının karşılaştırılması.

	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85
Dönem	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
2013-2040	-10 - +20	-10 - +30	-20 - +20	-20 - +30	-30 - +40	-40 - +40	-30 - +10	-30 - +10
2041-2071	-30 - +30	-30 - +40	-40 - +20	-40 - +30	-50 - +60	-50 - +60	-40 - +10	-40 - +10
2071-2099	-20 - +30	-30 - +50	-50 - +20	-50 - +30	-50 - +50	-50 - +60	-50 - +10	-50 - +10

Tablo 5'den de görüleceği üzere her iki senaryoda da yağışlar için azalış ve artışlar öngörülmektedir. Özellikle sonbahar mevsiminde her iki senaryonun da aynı aralığı göstermesi dikkat çekicidir. Bununla birlikte RCP8.5 senaryosunun göstermiş olduğu azalış - artış aralığı daha yüksek olup bu senaryodaki artışlar ısınmaya bağlı buharlaşmanın artışı ile ilgilidir.

Türkiye geneli için ortalama yaz sıcaklıkları incelendiğinde gerek RCP4.5 gerekse RCP8.5 senaryolarına göre referans periyodundan son periyoda kadar aşamalı olarak sıcaklıkların artış yönüne doğru kaydığı görülmektedir. Bu kayma RCP8.5 senaryosunda daha belirgin şekilde görülmektedir. 2071-2099 periyodunda RCP4.5 senaryosuna göre en yüksek ortalama yaz sıcaklığı 31°C civarındayken, RCP8.5 senaryosunda bu değer 35°C'nin üzerinde çıkmaktadır. Bu durum aynı zamanda ekstrem sıcaklıkların görülme ihtimalinin yükseldiğini, daha şiddetli sıcak hava dalgaları ile daha sık karşı karşıya kalabileceğimizi göstermektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Türkiye geneli ortalama yaz sıcaklıkları yüzdesi (RCP4.5 solda ve RCP8.5 sağda).

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

IPCC'nin Raporuna göre (IPCC,2013), iklim sistemindeki ısınma, özellikle 1950'den sonra, çok açık şekilde görülmektedir. Atmosfer ve okyanusların ısınması yanında, kalıcı kar örtüsünde ve buzullarda azalmalar, deniz seviyesinde yükselmeler ve sera gazları konsantrasyonlarında artışlar açık şekilde gözlenmektedir. 1850-1900 dönemine göre, dünyada endüstri öncesi dönemden günümüze kadar yaklaşık 0.9°C'lik sıcaklık artışı meydana gelmiştir ve bu artışın 0.6°C'lik kısmı 1950'den sonra gerçekleşmiştir. Yağışlarda ise düzensizliğin artacağı, kurak ve ıslak periyotlar ile kurak ve ıslak alanlar arasındaki farkın açılacağı belirtilmektedir. IPCC'nin yaptığı değerlendirmelere göre, herhangi bir volkanik patlama olmadığı ve güneşten gelen enerjide uzun vadeli önemli değişiklikler olmadığı ön kabulü ile, 2016-2035 periyodunda, 1986-2005 referans periyoduna göre, Küresel ortalama yüzey sıcaklık (GMST) anomalisi, muhtemelen 0.3°C-0.7°C arasında olacaktır (orta güvenilirlikte). 2081-2100 periyodunda, 1986-2005 referans periyoduna göre, muhtemelen, %5-%95 CIMIP5 modellerine göre GMST değişimi 0.3°C-1.7°C (RCP2.6), 1.1°C-2.6°C (RCP4.5), 1.4°C-3.1°C (RCP6.0) ve 2.6°C-4.8°C (RCP8.5) olacaktır.

Projeksiyonlardan elde edilen sonuçlara göre 2013-2099'un ilk döneminde sıcaklık artışlarının 3°C ile sınırlı olduğu, bununla birlikte son dönemde ise yaz sıcaklıklarında ise RCP4.5'a göre özellikle Ege Bölgesi kıyıları ve Güney Doğu Anadolu bölgesinde 4-5°C artışlar ve RCP8.5'a göre ülke genelinde 6°C'ye ulaşan artışların olabileceği öngörülmektedir. Yağışta ise her iki senaryoya göre de bütün dönemlerin kış mevsiminde ülke genelinde yağış artışı olacağı öngörülmektedir. Sıcaklık artışları da dikkate alındığında bu yağışların cinsinin kar ve donan yağış şeklinde olamayacağı dolayısıyla da kış mevsimindeki bu yağış artışının diğer mevsimlere su bütçesi açısından bir katkı sağlamayacağı düşünülmektedir. İlkbahar ve yaz yağışlarında ülkenin batı ve kuzey kıyı kesimleri ile kuzeydoğusu hariç ülke genelinde bir düşüş öngörülmektedir. Sonbahar yağışlarında ülke genelinde ve bütün dönemlerde bir azalış olacağı öngörülmektedir.

"Türkiye için İklim Değişikliği Projeksiyonları" yeni modeller ve senaryolar için bir kamu kuruluşu tarafından kendi öz kaynak ve personeli ile Türkiye'de ilk kez yapılmaktadır (Demircan, M. vd., 2014). Bu çalışma halen devam etmekte olan bir projeden şu ana kadar elde edilen sonuçları kapsamaktadır. Bu proje sonucunda Türkiye ve çevresi için üç farklı model ile altı farklı senaryo sonuçlarının elde edilmesi beklenmektedir.

İklim değişikliği projeksiyon çalışmaları gelecek için uyum, önleme ve mücadele konusunda planlama yapan tüm paydaşlar için ana veriyi sağlamaktadır (Demircan, M. vd., 2014). Yani paydaşlar gelecek planlamalarını iklim ve iklim değişikliği modelleri ürünleri üzerinde yapmalıdır. İklim değişikliği bağlamında gelecek için geliştirilen küresel iklim değişikliğinin farklı senaryoları Türkiye ve çevresi için yüksek çözünürlüklü veri setleri biçiminde elde edilmelidir. Bu veriler paydaşların kullanımına sunulurken, paydaşların kendi uyum, azaltım ve önleme planlamaları çalışmalarında bu çalışmaların doğruluk va başarısını artırmak için bir temel olarak kullanılmalıdır.

Referanslar

1. Anthes, R.A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Mon. Weather Rev.*, 117, 1423-1438
2. CMIP Coupled Model Intercomparison Project, access date:12.09.2013 <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html>
3. DEMİR,Ö., ATAY,H., ESKİOĞLU, O., TÜVAN, A., DEMİRCAN, M. ve AKÇAKAYA, A., “Rcp4.5 Senaryosuna göre Türkiye’de sıcaklık ve yağış projeksiyonları”, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi - TİKDEK 2013, Bildiri Kitabı, 3-5 Haziran 2013, İstanbul, Türkiye
4. Demircan,M, Arabaci, H., Bölük, E., Akçakaya, A., And Ekici, M., “İklim normalleri: üç sıcaklık normalinin ilişkileri ve uzamsal dağılımları”, III. Türkiye İklim Değişikliği Konferansı - TİKDEK 2013, 3-5 Haziran 2013, Bildiri Kitabı, İstanbul, Türkiye
5. DEMİRCAN, M., DEMİR,Ö., ATAY,H., ESKİOĞLU, O., TÜVAN, A. ve AKÇAKAYA, A., “Climate change projections for Turkey with new scenarios”, The Climate Change and Climate Dynamics Conference-2014 – CCCD2014, 8-10 Ekim, İstanbul, Türkiye
6. Dickinson, R., Henderson-Sellers, A. and Kennedy, P., “Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the ncar community climate model”, Technical report, National Center for Atmospheric Research. 1993
7. Emanuel, K.A., and M. Zivkovic-Rothman, “Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models”, *J. Atmos. Sci.*, 56, 1766-1782, 1999.
8. Giorgi, F., M.R. Marinucci, and G.T. Bates, “Development of a second generation regional climate model (RegCM2), I, Boundary layer and radiative transfer processes”, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2794-2813, 1993.
9. Giorgi, F., M.R. Marinucci, G. De Canio, and G.T. Bates, “Development of a second generation regional climate model (RegCM2)”, II, Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions, *Mon. Weather Rev.*, 121, 2814- 2832, 1993.
10. Grell, G., “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, 1993.
11. Hsie, E.Y., R.A. Anthes, and D. Keyser, “Numerical simulation of frontogenesis in a moist atmosphere”, *J. Atmos. Sci.*, 41, 2581-2594, 1984.
12. Holtslag, A., de Bruijn, E., and Pan., H. L., “A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting”. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1561–1575, 1990.
13. IPCC, “Definition of Terms Used Within the DDC Pages”, Content last modified: 17 June 2013, <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>
14. IPCC, “Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report”, the Netherlands, September, 2007.
15. IPCC, Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2013, http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
16. 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.
17. Lin, S. J., 2004. A vertically Lagrangian finite-volume dynamical core for global models, *Monthly Weather Review*, 132, 2293-2307.
18. MetOffice, Met Office climate prediction model: HadGEM2 family, Last updated: 24 April 2014, <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>
19. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yeni Senaryolar ile Türkiye için İklim Değişikliği Projeksiyonları, TR2013-CC, 2013,
20. 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*.
21. 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*.
22. Önal, B. ve F.H.M. Semazzi, “Regionalization of Climate Change Simulations over Eastern Mediterranean, *Journal of Climate*”, 2007.
23. Tatlı, H., H. N. Dalfes and S. S. Menteş, “A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey”, *International J. Climatology*, 24:161-180, 2004.
24. Zeng, X., Zhao, M. and Dickinson, R. E., “Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using toga coare and tao data”, *Journal of Climate*, 1998
25. Turunçoğlu, U. U.; Önal, B.; Bozkurt D., “Dinamik Modeller İle Bölgesel İklim Değişikliği Projeksiyonları”. Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu, 13-14 Aralık, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2007