



## Verification of Regcm Model with Observation Data for Çukurova Region

Burak Şen<sup>1,a,\*</sup>, Sevilay Topçu<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana, Türkiye

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 15.10.2023 Accepted : 21.03.2024</p> <p><b>Keywords:</b> Regional climate model Verification Çukurova Temperature Precipitation</p>	<p>Çukurova region is one of the major agricultural production regions in Turkey. In addition to extreme weather conditions, such as drought and flood, lower and/or severe rainfall along with increased temperature due to global climate change affects agricultural production. Model applicability was tested by means of some test studies and verification processes. The RegCM model predicts mean maximum, mean minimum, maximum, and minimum temperatures with deviations ranging from 2.8 to -4.3, 9.2 to -7.5, 14.6 to -4.3, 8 to -8.3 and 14.3 to -5.4°C respectively compared to the observations for the reference period. Thus, RegCM3 has been found to be appropriate for climate change predictions in the Cukurova District. The results of rainfall simulation were closely related to topography.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(3): 435-446, 2024

## Çukurova Yöresi İçin Regcm Modelinin Gözlem Verileriyle Verifikasyonu

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 15.10.2023 Kabul : 21.03.2024</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Bölgesel iklim modeli Verifikasyon Çukurova Sıcaklık Yağış</p>	<p>Çukurova Yöresi ülke ekonomisine önemli katkı yapan başlıca tarımsal üretim bölgelerinden biridir. Kuraklık, sel gibi ekstrem hava olaylarının yanı sıra iklim değişikliği nedeniyle daha az ve şiddetli yağışların artan sıcaklıkla birleşmesi tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Çalışmada RegCM modelinin Türkiye için kullanılabilirliği çeşitli test ve doğrulama çalışmalarıyla denenmiş ve modelin referans dönemi için ortalama, ortalama maksimum, ortalama minimum, maksimum, minimum sıcaklıkları sırasıyla 2.8 ile -4.3, 9.2 ile -7.5, 14.6 ile -4.3, 8 ile -8.3, 14.3 ile -5.4°C arasında değişen aralıklarda farklı benzeştirdiği gözlenmiştir. Yağış benzeşim sonuçlarının tutarlılığının topoğrafik yapıyla yakından ilgili olduğu belirlenmiştir.</p>

[bsen@ohu.edu.tr](mailto:bsen@ohu.edu.tr)

<http://orcid.org/0000-0001-8105-1106>

[hocasevilaytopcu@gmail.com](mailto:hocasevilaytopcu@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0006-1677-4643>



## Giriş

Çukurova Yöresi uygun iklim ve toprak faktörlerinin etkisiyle Türkiye'nin önde gelen tarımsal üretim bölgeleri arasında yer alır. Bölgede özellikle 1960'lı yıllardan başlayarak sulu tarım alanlarındaki hızlı gelişmelere paralel olarak ürün deseni çeşitlilik kazanmış, mevcut ürünlerde verim ve üretim bakımından önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Çukurova Yöresi toplam 3,9 milyon hektar yüzölçümü ve yaklaşık 1,1 milyon ha tarım toprağı ile Türkiye tarım topraklarının % 5'ini oluşturmaktadır. Bu alanın yarısını ise Adana ili tarım toprakları oluşturmaktadır. Çukurova'da sulu tarım yapılan alanlar, 1956 yılında Seyhan barajının yapımından sonra giderek artmıştır. Bugün 1,1 milyon ha dolaylarında olan Çukurova Yöresi ekilebilir tarım topraklarının yaklaşık %39'u sulanabilmektedir. Türkiye için aynı oran %14,4 dolaylarında olup, sulanan bu alanların da %13,6'sı bölgede bulunmaktadır. Bölgede 2000 yılı itibarıyla fiilen sulanan alanlarda yaygın olarak tarımı yapılan ürünlerin başında pamuk (%33,8) ve mısır (%26,5) gelmektedir. Bu ürünleri %11,6 ile soya, %8,9 ile turuncgiller izlemektedir. Son 15 yılda, sulanan alanlarda pamuk ekilişi %75'lerden %20-30'lara kadar gerilerken, başta mısır ve soya olmak üzere, turuncgil ve sebze alanlarında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Yıllardan yıla değişimle birlikte, yaklaşık %40 ile 50'sini buğday ekim alanları oluşturmaktadır. Birinci ürün mısırın yanı sıra bölgede buğdaydan sonra ikinci ürün olarak mısır üretimi hızla yaygınlaşmaktadır ve her ne kadar yine yıldan yıla hastalık-zararlı ve taban fiyatlara bağlı olarak değişimle birlikte, 1. ve 2. ürün mısır ekim alanlarının 2000 yılından günümüze pamuk alanlarını geçtiği kaydedilmektedir. Tüm bu gelişmeler sonucunda Çukurova Yöresi 1980 yılında Türkiye mısır üretiminin %1'ini sağlarken, günümüzde bu değer %50'ye ulaşmıştır.

Tarımsal üretim iklim ve hava koşulları ile doğrudan ilintilidir ve son yıllarda iklimdeki değişiklik ülkemizin de içinde yer aldığı Akdeniz Bölgesi'nde tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Yağış rejimindeki değişiklikler ve artan sıcaklıklar tarımda su gereksinimini artırırken, su kaynaklarında da azalmaya neden olmaktadır. Artan nüfusun gıda, giyim ve enerji gereksinimini sağlayan tarımsal üretimin sürdürülebilirliği sadece iklim değişikliğinin belirlenmesine değil aynı zamanda etkilerinin azaltılması ve uyum stratejilerinin geliştirilmesine bağlıdır. Bu bağlamda özellikle yüksek çözünürlükteki bölgesel iklim modelleri iklim değişikliğinin belirlenmesinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır.

Türkiye'de iklim değişikliğinin tarıma etkileri ile ilgili diğer gelişmiş ülkelere kıyasla daha az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genellikle küçük ölçekli olmakla birlikte Dellal vd. (2004) tarafından gerçekleştirilen ve iklim değişikliğinin Türk tarımı üzerine etkisini belirlemeye yönelik "Türkiye Tarımsal Sektör Modeli" (TASM)'nin geliştirildiği büyük ölçekli sosyo-ekonomik analiz çalışmaları da yapılmıştır. Anılan çalışmada HadCM'nin 2050 yılı projeksiyonları kullanılarak öngörülen iklimin Türkiye'de (7 coğrafik bölgede) buğday, arpa, mısır, pamuk ve ayçiçeği bitkilerinin verimlerine, ekim alanına, üretimine ve genel olarak bölgelerdeki üretim desenine olası etkileri

araştırılmış ve üretici ve tüketici refahı ile fiyatlarda meydana gelebilecek değişiklikler hesaplanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre Türkiye genelinde verimlilikte %2 ile %13 arasında azalma olabileceği, bunun da ekim alanı ve üretim desenini değiştireceği belirlenmiştir. Verimlilikte oluşan düşme nedeniyle üretimin gerileyeceği, bunun sonucunda fiyatların yükselmesiyle üretici refahında artış, tüketici refahında ise düşüş olacağı öngörülmüştür. Yerel düzeyde ise iklimde oluşacak değişimin Türk tarımı üzerine potansiyel etkileri (Şaylan & Çaldağ, 2000), Trakya Bölgesi'nde, buğday verimine etkileri (Çaldağ & Şaylan, 2004) bitki-iklim modelleri kullanılarak çalışılmıştır. Kadioğlu vd. (1998) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada iklim değişikliğinin Türkiye'deki bitki gelişme dönemlerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca iklimsel ısınmanın Karadeniz'deki balık varlığına ve ekolojik rejime etkileri Oğuz (2003) ile Oğuz vd. (2003) tarafından araştırılmıştır. Diğer bir çalışmada da küresel ısınma sonucunda Türkiye'yi çevreleyen denizlerdeki deniz seviyesinin 1 m yükselmesi durumunda Türkiye kıyılarında olası etkilenmeler incelenmiş, özellikle yerleşim alanlarına ve ekonomiye yansımaları irdelenmiştir. Bu düzeyde bir deniz seviyesi yükselmesinin Gayri Safi Milli Hâsılaya etkisinin yaklaşık %10 olabileceği belirtilmiştir (Karaca & Nicholls, 2008).

Yukarıda belirtilen çalışmalarda genellikle küresel iklim modelleri kullanılmıştır. Yüksek çözünürlükteki bölgesel iklim modelleri diğer özelliklerine ek olarak arazi kullanımı ve topoğrafik özellikleri de göz önünde bulundurmaları nedeniyle küresel modellere kıyasla daha doğru kestirimler yapabilmektedir. Bu çalışmada RegCM bölgesel iklim modelinin bölge için kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla verifikasyonu yapılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Verilerin Toplanması

Çalışma Doğu Akdeniz'in coğrafik olarak 36° 33' ve 39° 12' kuzey enlemleri ile 34° 24' ve 37° 43' doğu boylamları arasında yer alan Seyhan ve Ceyhan akarsu havzaları bölgesinde ve Adana, Mersin, Osmaniye, Kahramanmaraş, Niğde ile komşu iller Kayseri ve Hatay'ın sulu tarım yapılan alanlarını kapsamaktadır.

Türkiye'nin üzerindeki yere yakın hava akımları, kış aylarında Doğu Avrupa'ya kadar yayılan geniş alanlı Sibirya antisiklonu ve polar cephe depresyonları ile Akdeniz depresyonları tarafından kontrol edilir. Batı ve kuzeybatı yönlü akımlar polar cephe depresyonlarından doğu ve kuzeydoğu yönlü akımlar da Sibirya antisiklonundan kaynaklanmaktadır. Kuzeyli akımlar ise bazen Doğu Avrupa'dan doğrudan güneye inen polar cephe depresyonları ile bazen de Avrupa üzerine yerleşen bir antisiklonun doğu kenarından kaynaklanan sirkülasyonla ilgilidir. Güneybatılı ve güneyli hava akımları, genellikle doğu ve kuzeydoğu yönünde ilerleyen Akdeniz cephesi depresyonları ile birlikte gözlenir. Güneydoğulu akımlar, Türkiye'nin doğusunda yerleşen bir antisiklonla ya da doğuya ilerleyen bir depresyonun sıcak cephesiyle bağlantılı olabilir (Türkeş, 1996). Bununla birlikte, Türkiye iklimi Kuzeydoğu Atlantik ve Akdeniz kaynaklı cephesel depresyonların, subtropikal

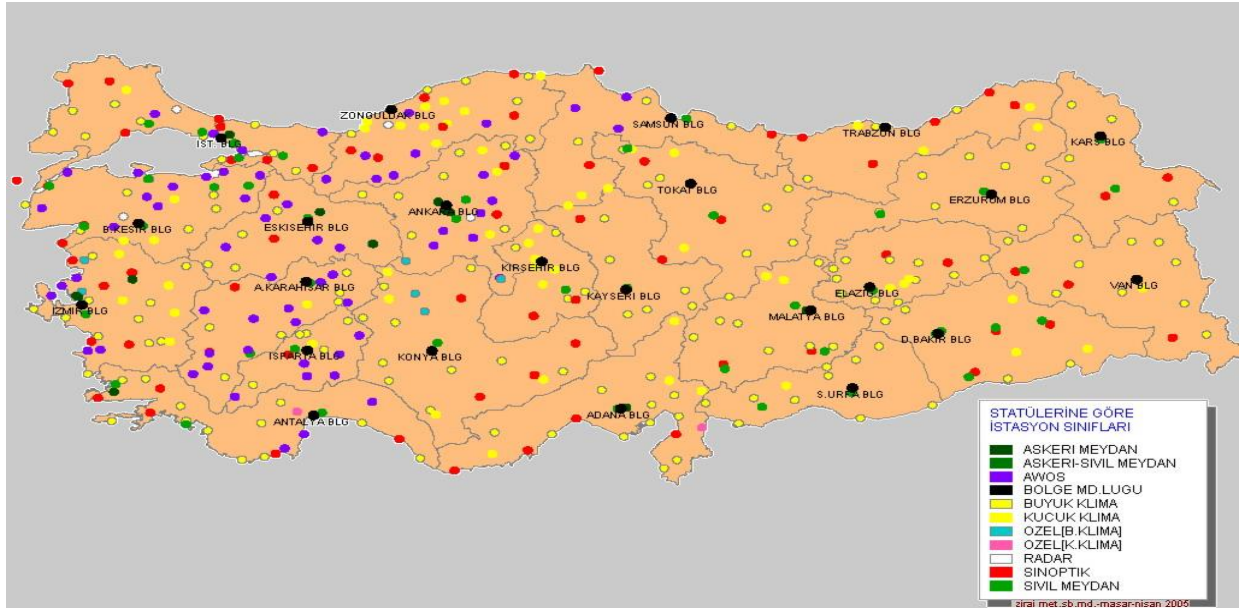
antisiklonların (yüksek basınçların) ve Muson alçak basıncının Orta Doğu'ya doğru uzantısını oluşturan Basra alçak basınç alanının mevsimsel yer değiştirmelerinin bir ürünüdür. Bazı yıllarda, özellikle kışın bu basınç sistemlerine Türkiye'ye Doğu Avrupa-Rusya platolarından ve Batı Sibirya ovalarından karasal polar hava kütleleri taşıyan Sibirya antisiklonu da eklenir (Türkeş, 1999).

Türkiye yağış rejimi bölgelerine göre, kıyı ve orta kesimlerde Akdeniz, doğu kesimlerinde Karasal Akdeniz ve kuzey uç kesimlerinde Karasal İç-Doğu Anadolu iklimi özelliği göstermektedir. Bölge mevsimsel kış ve bahar yağışlarına karşın oldukça sıcak ve kurak geçen yaz ayları ile yarı-kurak subtropikal iklim özelliklerine sahiptir.

Bölgesel iklim modeli RegCM sonuçlarının doğrulaması için havza alanları içerisinde ve çevresinde bulunan Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait

meteorolojik gözlem istasyonlarının verileri kullanılmıştır. Öncelikle Şekil 1'de Türkiye genelinde dağılımı görülen 300 den fazla meteoroloji istasyonundan çalışma alanında bulunan 22 istasyon belirlenerek, bu istasyonlar gözlem verileri ve süreleri bakımından incelenmiştir.

Yapılan inceleme sonucunda ortak gözlem süresine sahip 11'i Seyhan ve Ceyhan nehir havzaları alanında, 6'sı havzaya komşu toplam 17 istasyon, model sonuçlarının doğrulaması için seçilmiştir. Model referans verilerinin 1961-1990 yıllarını kapsamına rağmen, 1966-1990 dönemi doğrulama için mümkün olan en çok istasyonu ve en uzun süreyi içermesi nedeniyle belirlenmiştir. Sonuç olarak Çizelge 1'de istasyon adı, numarası, yüksekliği ve çalışma süresi verilen ve 25 yıllık gözlem süresine sahip 17 istasyon verileri kullanılarak doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Devlet Meteoroloji İşleri'ne bağlı gözlem istasyonlarının çeşitleri ve dağılımları (DMİ, Zirai Meteoroloji Şube Müdürlüğü)

Figure 1. Types and distributions of observation stations affiliated with the State Meteorological Affairs (DMİ, Agricultural Meteorology Branch Directorate)

Çizelge 1. Çalışma alanındaki meteoroloji istasyonları

Table 1. Meteorological stations in the study area

İstasyon Adı	İstasyon No	Yükseklik m	T <sub>ort</sub> , T <sub>maks</sub> , T <sub>min</sub> , RH ve Yağış Kayıt Başlangıcı	Rüzgar Kayıt Başlangıcı
Adana	17351	27	1930	1963
Ceyhan	17960	30	1964	1975
Elbistan	17870	1137	1963	1967
Göksun	17866	1344	1963	1967
Karaisalı	17936	241	1964	1966
Karataş	17981	22	1963	1974
K.Maraş	17255	572	1951	1964
Kozan	17908	109	1963	1993
Pınarbaşı	17802	1500	1964	1987
Sarız	17840	1500	1964	1987
Tomarza	17837	1397	1966	1986
Develi	17836	1180	1965	1967
İskenderun	17370	4	1940	1963
İslahiye	17964	518	1938	1963
Mersin	17340	3	1940	1963
Ulukışla	17906	1453	1938	1969

### **RegCM Bölgesel İklim Modeli**

RegCM modelinin kökeni, Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi çıkışlı MM4 modeline dayanmaktadır. Modelin dinamik bileşenleri olan sıkıştırılabilir, hidrostatik denge ile grid nokta modeli ve düşey  $\sigma$ -koordinatları temel olarak aynı kalmıştır. Farklı olarak RegCM'de dik topografik gradyanların varlığındaki açık formda ayrıştırılmış zaman integrasyonu alt modeli ile azalan yatay difüzyon algoritması kullanılmaktadır. İklim çalışmalarındaki MM4 uygulamaları için öncelikli olarak birinci nesil RegCM uygulamalarında da kullanılan fiziksel parametrisasyon radyatif transfer ve kara yüzeyi fiziği değiştirilmiştir (Dickinson vd., 1989; Giorgi 1990). Birinci nesil RegCM, yüzey işlemi temsili için Biyosfer-Atmosfer Transfer Modelini (BATS), radyatif transfer için Topluluk İklim Modelini (CCM) (NCAR 'National Center for Atmospheric Research'), orta ölçek yerel gezegensel çözünürlük sınır tabaka modelini, Kuo-tipi kümülüs konveksiyon alt modeli (Anthes, 1977) ve açık nem modelini (Hsie vd., 1984) alt modeller olarak kullanmıştır. RegCM2'nin fiziği NCAR CCM2 (Hack vd., 1993) ve orta ölçek modelden MM5 (Grell vd., 1994) alınmıştır. Radyasyon hesaplarında CCM2 modelinin radyatif transfer paketi (Briegleb, 1992) ve yerel olmayan sınır tabaka alt modeli (Holtslag vd., 1990) kullanılmıştır. Ayrıca kütle akısı kümülüs alt modeli (Grell, 1993) eklenmiş ve BATS modelinin son uygulaması da modele dahil edilmiştir. Son yıllarda da yeni fiziksel gelişmeler RegCM modeli için kullanıma uygun hale getirilerek CCM2 radyatif transfer paketi yerine modelde CCM3 (Kiehl vd., 1996) kullanılmıştır. Model alanının içine doğru gidildikçe model çözünürlüğü de artmaktadır. Bunun dışında göl modelleriyle olan birleştirmeler ve iz gazların radyatif etkileşime girmesinin model içinde hesaplanması da RegCM modelinin önemli bir üstünlüğüdür (Giorgi & Mearns, 1999). Bölgesel iklim modeli RegCM'in aşamaları 4 ana başlıkla belirtilebilir: 1) Model eşitlikleri, 2) Parametrisasyon, 3) Model projeksiyonu ve grid yapısı ve 4) Modelin koşuturulması.

### **RegCM Bölgesel İklim Modelinin Çalıştırılması**

RegCM modelinin koşuturulması için öncelikle modelin kullandığı verilerin hazırlanması gerekmektedir. Bu veriler çok çeşitli koşullar için farklı kurumlar tarafından oluşturulan veri setlerinden alınmaktadır. Örneğin, başlangıç ve sınır koşullarını (Initial and Boundary Conditions-ICBC) içeren Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından hazırlanan veri seti olan ERA40, Amerikan Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCAR) ile Amerikan Ulusal Çevre Projeksiyon Merkezi (NCEP) tarafından hazırlanan veri setleri NNRP1 ve NNRP2 (Reanalysis Product, V.1.2) gibi yer, uydu, radar, ravisonde gözlemlerinin asimile edilmesiyle elde edilen veri setleri ile HadCM, ECHAM, ECHAOM, FvGCM gibi küresel iklim modellerinin referans ve Senaryo veri setleri bu amaçla kullanılabilen veri setleridir. Ayrıca modellerde Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu'nun (US Geological Survey-USGS) çeşitli çözünürlüklerde (60, 30, 15, 10, 5, 2 dakikalık) topografya ve arazi kullanım verileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan RegCM modeli yukarıda belirtilen veri setlerinden HadAM3H kullanılarak çalıştırılmıştır. HadAM3H küresel modeli yatay çözünürlüğü 2,5°

boylamda 3,75° olan HadAM3H'nin anılan çözünürlüklerinin 2 kat iyileştirilmesi sonucunda elde edilmiştir. HadAM3H modeli hidrostatik, dikey koordinatlarda hibrit ve grid noktalı bir modeldir. Pronostik bulut fonksiyonu olarak Gregory & Morris (1996) in modelin birincil değerlerinden toplam nem ve potansiyel sıcaklıkta sıvı haldeki sudan, bulut buzu, bulut suyu ve bulut miktarını hesaplayan yaklaşımı kullanılmıştır. Sınır tabaka işlemleri Smith (1990, 1993) tarafından basitleştirilmiş versiyonu olan sadece lokal dikey karışmayı içeren (Pope vd., 2000) fonksiyonuna göre yapılmıştır. Radiative transfer fonksiyonu Edwards & Slingo (1996) ve Cusack vd. (1999) de tanımlanmış ve sırasıyla GHG, bulut ve sülfat aerosollerinin etkilerini içermektedir. Son olarak ta toprak tabaka modülü, bitki modülü ve kar/toprak hidroloji modülleriyle toprak yüzeyi işlemleri Cox vd. (1999) tanımlanan fonksiyonla hesaplanmıştır (Giorgi vd., 2004a, 2004b).

### **Bulgular ve Tartışma**

#### **RegCM Model Sonuçlarının Gözlem Değerleri ile Doğrulaması**

RegCM modeli sonuçları gözlem sonuçlarıyla doğrulama amaçlı olarak havza ve istasyon ölçeğinde olmak üzere 2 farklı ölçekte karşılaştırılmıştır. Öncelikle havza ölçeğinde karşılaştırmalar daha sonra ise istasyon bazındaki karşılaştırmalar değerlendirilerek aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

##### **a) Havza ölçeğinde doğrulama çalışmaları**

Model, ortalama sıcaklık değerlerinde gözlem değerlerine göre 2,8°C ile -4,3°C arasında değişen aralıkta sapmadan kestirim yapmaktadır (Şekil 2). Ancak şekilden de görüleceği gibi istasyonların tamamına yakını (Ulukışla hariç) 3°C'den daha az fark göstermektedir. Buradan da anlaşıldığı gibi model, 25 yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin kestiriminde iyi bir performans göstermektedir.

25 yıllık ortalama maksimum sıcaklıklarda model değerlerinin gözlem değerlerinden sapsması 9,°C ile -7,5°C arasında değişmektedir. Model Seyhan ve Ceyhan nehirleri deltasında (Adana, Ceyhan, Yumurtalık, Karataş istasyonları) belirgin bir şekilde maksimum sıcaklıkları daha düşük, buna karşın havzanın güney batı (Mersin) ve kuzey doğu kesimlerinde (Sarız, Elbistan) daha yüksek kestirim yapmaktadır. Havzanın diğer kısımlarında (Ulukışla, Develi, Karaisalı, İskenderun) ise hata sapsması 1,5°C'den daha az bulunmuştur.

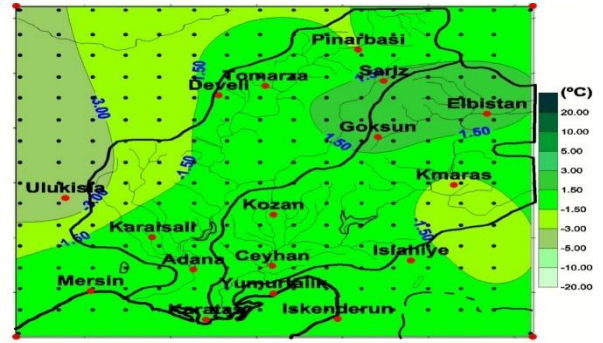
Şekil 3'te belirtilen 25 yıllık ortalama minimum sıcaklıklarda model değerlerinden gözlem değerlerinin gösterdiği hata değeri 14,6°C (Göksun) ile -4,3°C (Kahramanmaraş) arasında değişmektedir. Büyük farkların yanı sıra modelin 0,13°C gibi çok küçük farklarla da iyi performans gösterdiği bazı alanlar (Karaisalı) bulunmaktadır. Bölgenin kuzey doğusunda (Göksun, Sarız, Elbistan) ve güneyinde (Adana, Ceyhan, Yumurtalık ve Karataş) model belirgin olarak sıcaklıkları yüksek kestirim yapmıştır. Buna karşın Mersin, Develi, İslahiye ve Kozan'da ise yıllık ortalama minimum sıcaklıkları daha düşük kestirim yaptığı belirlenmiştir. Bununla birlikte ekstrem değerler için bu farklılıklar model çalışmalarında olağan sayılmaktadır. Takle vd., (1999) tarafından yürütülen ve farklı bölgesel modellerin sınıandığı bir

çalışmada en soğuk maksimum sıcaklık değerlerinin MM5-BATS ve HIRHAM modellerinde en küçük Bowen oranı ile birlikte olduğu belirtilmiştir. Anılan çalışmada model sonuçlarıyla gözlenmiş değerler arasındaki fark, minimum sıcaklıklarda maksimum sıcaklıklara göre daha küçük bulunmuştur. Araştırmacılar karşılaştırılan bölgesel iklim modellerindeki genel davranışı, günlük minimum sıcaklığın maksimuma göre daha tutarlı benzeşim olarak açıklamışlardır. Önal & Semazzi (2009) çalışmalarında RegCM bölgesel iklim modelinin NASA-Finite Volume GCM (NASA-FVGCM) veri setleriyle Doğu Akdeniz Bölgesi için doğrulamasını yaptıkları bir çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Kış ayları için çalışma alanının (Doğu Akdeniz) kuzey kesimleriyle Kafkaslar'da yaz ayları için güney kesimlerinde modelin 2-4°C daha sıcak kestirim yaptığını belirtmişlerdir. Yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde ise CRU değerlerinden 2°C daha yüksek kestirimde bulunduğunu belirtmişlerdir. Model sonuçlarının istasyon gözlemleriyle karşılaştırılmasında ise yaz mevsimi haricinde tüm mevsimlerde modelin 1-3°C daha soğuk kestirim yaptığını ve yaz mevsiminde diğer mevsimlerden daha iyi uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. Anılan değerler büyük bir alanın ortalamaları olup bu çalışmadaki Çukurova Yöresi için bulunan ortalama değerlerle örtüşmektedir. Bunun yanı sıra CRU değerlerinin gözlem değerlerine kıyasla daha sağlıklı bir doğrulamaya olanak sağladığı da söylenebilir zira bazı istasyonların yerlerindeki uygun olmayan durumların gözlem değerlerine etkileri CRU değerleri için söz konusu değildir. Yine aynı çalışmada kış sıcaklığında Türkiye'nin komşularını da içine alan geniş bölgede Küresel Tarihi İklim Ağı (GHCN) dahilindeki istasyonların sadece 3 ünde 3°C altında fark bulunurken, en yüksek fark Montenegro'da ve 4,3°C olarak belirlenmiştir. Ermenistan'da ilkbaharda fark 7°C olarak belirtilmiştir (Önal & Semazzi, 2009). RegCM modelinin kurak bölgelerde gözlemlerden daha yüksek sıcaklık kestirimleri yaptığı değişik araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Pal vd., 2007, Kirchak vd., 2007, Önal & Semazzi 2009). Pal vd. (2007) RegCM modelini ERA40 veri seti ile çalıştırdıkları denemede Irak ve Arab yarımadasında +4°C fark bulmuşlardır.

Modelle kestirim yapılan ve gözlenen yağış değerleri farkları (Şekil 4) topografyaya paralel bir dağılım göstermektedir. RegCM modeli şekilde kırmızı olarak belirlenen yüksekliği 500 m'nin altındaki istasyonlarda yağışı düşük, sarı ile belirtilen ve yüksekliği 1000-1500 m olan istasyonlar içinse daha yüksek kestirim yapmaktadır. Model ile gözlem değerlerinin birbirine yakın olduğu Şekil 5'de haritada mavi ile belirtilen istasyonlar ise genellikle 500-1000 m (özellikle 400-700 m bandında) yükseklikindedir.

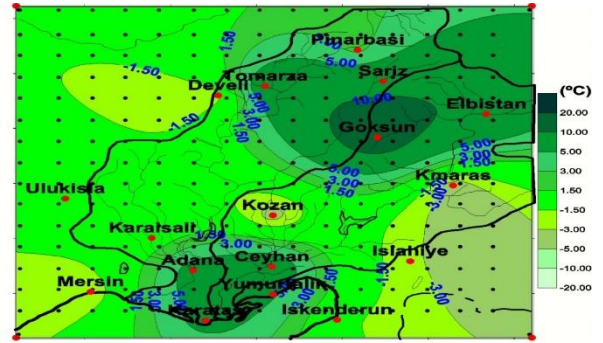
Yağış parametresinin farklı açılardan değerlendirilmesi amacıyla havza geneline düşen yağış miktarı i) istasyonlar ortalaması ve ii) yıllar ortalaması şeklinde olmak üzere iki türde incelenmiştir. Birinci tür değerlendirme sonucunda RegCM modelinin genellikle gözlem istasyonlarında elde edilen değerlerle benzer değişimler gösterdiği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle model, gözlem değerlerinin artış gösterdiği yıllarda artma, düşük gözlem değerleri olan yıllarda da yağış değerlerinde azalma öngörmektedir. Sadece 1971, 1973, 1974, 1985 ve 1988 yıllarında bir önceki yıla göre gözlem değeri artarken model değeri azalma veya gözlem değeri azalırken model

değeri artma şeklinde benzeşimde bulunmuştur. 25 yıllık değerlendirme döneminin 20 yılında model gözlemlerle aynı yönde benzeşimde bulunmuştur. İkinci tür değerlendirmede ise 25 yıllık ortalama havza yağış değeri kullanılmıştır. Ortalama havza yağış değeri çalışma alanı içerisindeki iklim istasyonlarının modelin kestirim yaptığı ve gözlemlerden elde edilen yıllık toplam yağış değerlerinin toplanarak istasyon sayısına bölünmesiyle bulunmuştur. Bu değerlendirme sonucunda ortalama havza yağış parametresinde, model değerinin (639 mm) gözlem ortalamasından (625 mm) yıllık 14 mm'lik çok küçük bir sapma gösterdiği görülmüştür (Şekil 6).



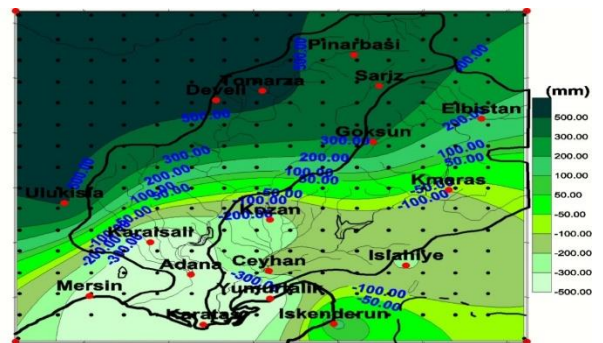
Şekil 2. 1966-1990 dönemi ortalama sıcaklık değerleri farkları (model-gözlem)

Figure 2. Differences in average temperature values for the period 1966-1990 (model-observation)



Şekil 3. 1966-1990 dönemi yıllık ortalama minimum sıcaklıklarda model ve gözlem değerleri farkları

Figure 3. Differences in model and observation values in annual average minimum temperatures for the period 1966-1990

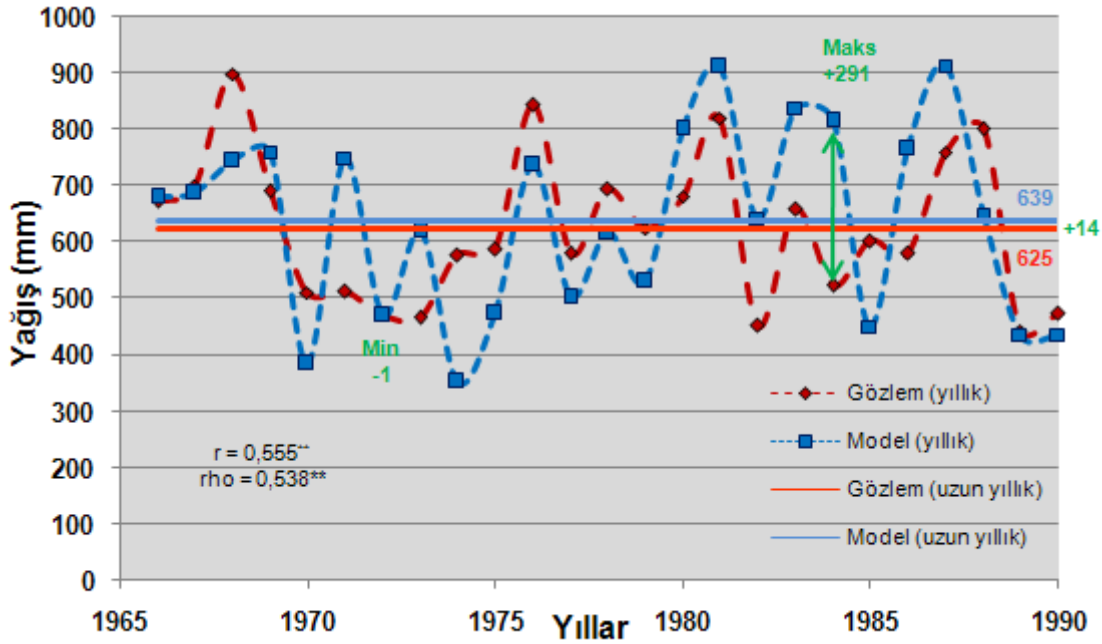


Şekil 4. 1966-1990 döneminde yıllık toplam yağış farkları (model-gözlem)

Figure 4. Annual total precipitation differences in the period 1966-1990 (model-observation)



Şekil 5. DMİ büyük klimatoloji istasyonlarının yüksekliklerine göre dağılımı  
Figure 5. Distribution of DMI major climatology stations according to their altitudes



Şekil 6. Gözlem ve model sonucu yıllık toplam havza yağışlarının yıllar arası değişimi ve uzun yıllık ortalamaları  
Figure 6. Interannual variation and long-year averages of total annual basin precipitation as a result of observation and model

Türkiye'yi de içine alan geniş bir alanda daha düşük çözünürlükte yapılan bir başka çalışmada yağış değerlerinde CRU verilerinin kullanılmasının gerçek gözlem değerlerine kıyasla daha sağlıklı bir doğrulamaya olanak sağladığı belirtilmiştir. Bu şekilde CRU ve model kestirimleri arasındaki farkların daha küçüldüğü belirtilmektedir. Bununla birlikte RegCM modelinin tüm mevsimlerde genel yağış paternini gerçekçi olarak yansıttığı bildirilmiştir (Önal ve Semazzi, 2009). Bu saptama bu çalışma kapsamında bulunan sonuçlarla uyumludur. Önal ve Semazzi (2009) RegCM modelinin kış ve ilkbahar yağışlarını Dalmacıya kıyıları, Karadeniz kıyısının doğusunda ve Türkiye'nin güneybatı kıyılarında

olduğundan yüksek kestirim yaptığı saptamıştır. Araştırmacılar modelin yaz yağışlarında ise daha az kestirimde bulunduğunu bunun yanı sıra Türkiye, Romanya ve Gürcistan üzerinde daha gerçekçi kestirimlerde bulunduğunu bildirmişlerdir. Seyhan Havzası'nda TERCH-RAMS bölgesel iklim modeli kullanılarak yapılan başka bir çalışma (Fujihara vd., 2008) sonuçları TERCH-RAMS modelinin yağış değerlerini fark düzeltmesi yapılması durumunda az bir sapma ile kestirdiğini, fark düzeltmesinin yapılmadığı durumlarda ise benzeşim sonuçlarının bu çalışmada RegCM ile elde edilen sonuçlarla benzerlik içinde olduğunu göstermektedir.

### İstasyon ölçęinde doğrulama alışmaları

Atmosferik modeller gerek atmosferik olayların matematiksel denklemlerle çözümlendiği model yapısında kullanılan izafi topografyadan gerekse yağış oluşumu gibi çok karmaşık ve pek çok konunun birbiri ile bağlantılı bir şekilde gerçekleşmesi sonucu oluşan olayların çözümünde kullanılan denklemlerin yeterince iyi matematiksel olarak ifade edilememesinin vermiş olduğu kısıtlamalar nedeniyle gerçek durumları birebir yansıtamayabilmektedir. Özellikle nokta bazlı ölçümlerin yapıldığı istasyon gözlemlerinde model sonuçlarıyla kıyaslandığında farklılıklar olabilmektedir. Bu nedenle bu bölümde çalışma alanında yer alan sırasıyla Adana istasyonunun yanı sıra model sonuçlarıyla büyük oranda uyumlu, model sonuçlarının gözlem sonuçlarından yüksek olduğu ve model sonuçlarının gözlem sonuçlarından düşük olduğu birer istasyon örnek temsil etmesi bakımından seçilerek değerlendirilmiştir.

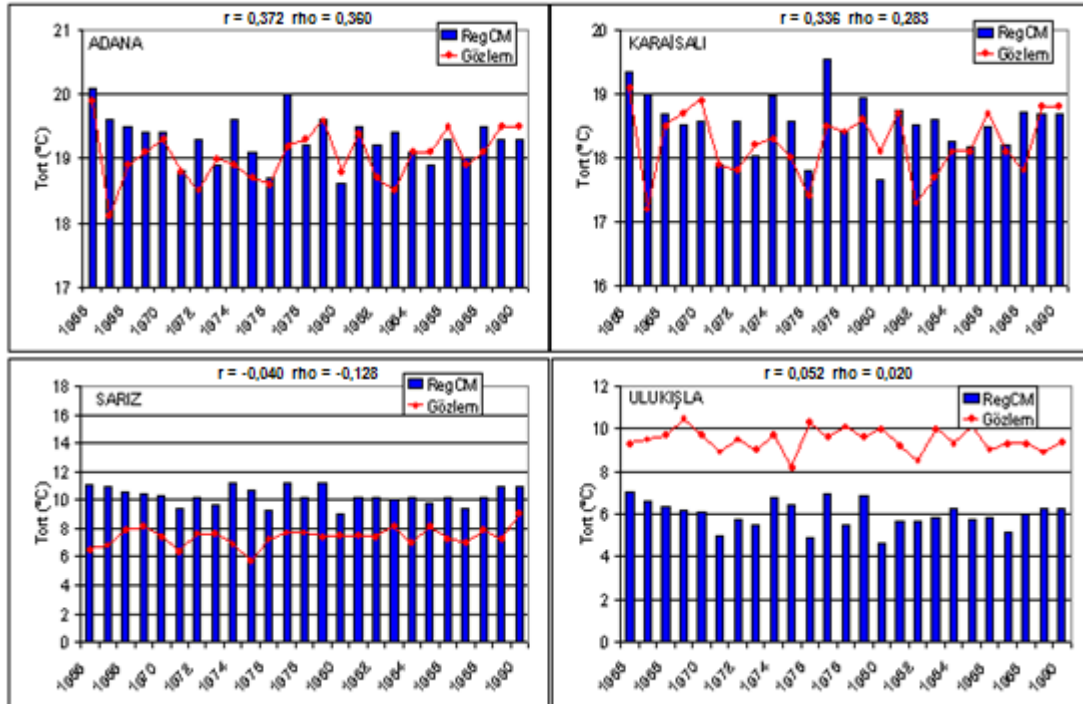
Aşağıda Şekil 7’de belirtildiği gibi yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde modelin iyi kestirim yaptığı Adana ve Karaisalı istasyonlarında gözlemlerden sapma 1966-1990 yılları arasında ortalama 0,24 ve 0,38°C olmaktadır. Yıllara göre değerlendirildiğinde ise en yüksek sapma  $\pm 1,5^\circ\text{C}$  olabilmektedir. Modelin gözlem değerlerine göre yüksek sıcaklık değerleri ürettiği Sarız istasyonunda ortalama fark  $2,8^\circ\text{C}$  olurken, kestirilen ve gözlenen arasındaki maksimum sıcaklık farkı  $4,1^\circ\text{C}$  ile 1974 yılında gerçekleşmiştir. Model Ulukışla istasyonunda sıcaklıkları ölçülen sıcaklık değerlerinden ortalama olarak  $4,3^\circ\text{C}$  daha düşük kestirim yapmıştır. En yüksek sapma 1976 yılında ve  $5,4^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir.

Maksimum sıcaklıkların istasyon bazında karşılaştırıldığında İskenderun istasyonu model tarafından iyi temsil edilen bir gözlem istasyonu olarak belirlenmiştir.

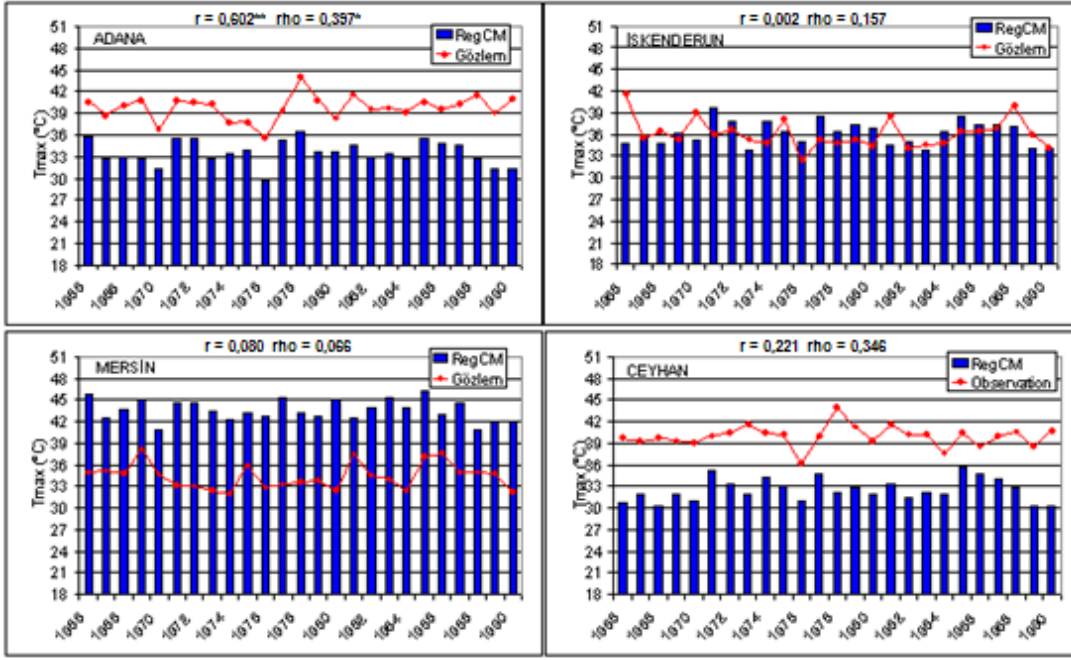
1966-1990 yılları maksimum sıcaklık ortalamalarında model kestirimleri gözlem değerlerinden sadece  $0,06^\circ\text{C}$  daha yüksek bulunmuştur (Şekil 8). Aynı istasyonda maksimum sapma ise 1966 yılında ve  $6,98^\circ\text{C}$  olmuştur. RegCM modeli Mersin istasyonu gözlem değerleriyle kıyaslandığında maksimum sıcaklıkları yüksek benzeşim yapmaktadır. Mersin istasyonu ikliminin kestirilmesinde maksimum sıcaklıklar model ile ortalama  $9,17^\circ\text{C}$  (uzun yıllar ortalama sapması) sapma belirlenmiştir. Aynı istasyondaki sıcaklık değerleri için maksimum sapma  $12,66^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Adana ve Ceyhan istasyonları için ise model gözlem verilerine göre düşük kestirim değerleri üretmektedir. Ceyhan istasyonunda gözlemlerde uzun yıllar maksimum sıcaklık ortalamasının model kestiriminden farkı  $7,45^\circ\text{C}$  olurken, maksimum yıllık fark 1978 yılında ve  $11,78^\circ\text{C}$  olarak bulunmuştur.

Yıllık minimum sıcaklıklar değerlendirildiğinde modelin Karaisalı istasyonunda gözlem değerlerine benzer, Kahramanmaraş istasyonunda gözlenenlerden düşük, Adana ve Elbistan istasyonlarında ise yüksek kestirimler yaptığı belirlenmiştir (Şekil 9). Gözlemlerden sapmalar uzun yıllar ortalamalarında Karaisalı istasyonunda  $0,1^\circ\text{C}$ , Kahramanmaraş istasyonunda  $-4,26^\circ\text{C}$ , Adana ve Elbistan’da ise sırasıyla  $6,4$  ve  $9,1^\circ$  olarak bulunmuştur. Gözlemlerden maksimum sapmalar ise Karaisalı da  $6,3^\circ\text{C}$  (1989), Kahramanmaraş ta  $8,84^\circ\text{C}$  (1982), Adana ve Elbistan da  $10,6^\circ\text{C}$  (1967) ve  $16,9^\circ\text{C}$  (1974) olmuştur.

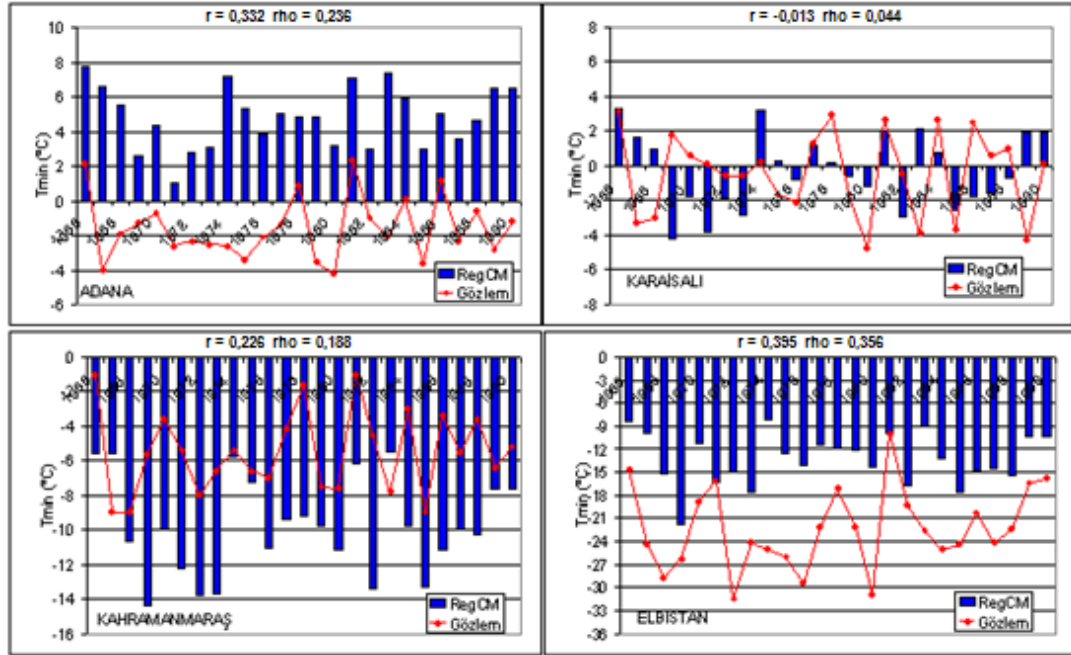
Gözlenen ve kestirilen yıllık toplam yağış değerlerinin istasyon ölçęinde karşılaştırılması sonucunda modelin Kahramanmaraş istasyonunda iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir. RegCM toplam yağışları Develi istasyonunda yüksek kestirim yaparken, Adana ve Karaisalı istasyonları için düşük benzeşim yapmıştır (Şekil 10).



Şekil 7. RegCM ve gözlem değerlerinde istasyon ortalama sıcaklıklarının karşılaştırmaları  
Figure 7. Comparisons of station average temperatures in RegCM and observation values



Şekil 8. RegCM ve gözlem değerlerinde istasyon maksimum sıcaklıklarının karşılaştırmaları  
Figure 8. Comparisons of station maximum temperatures in RegCM and observation values



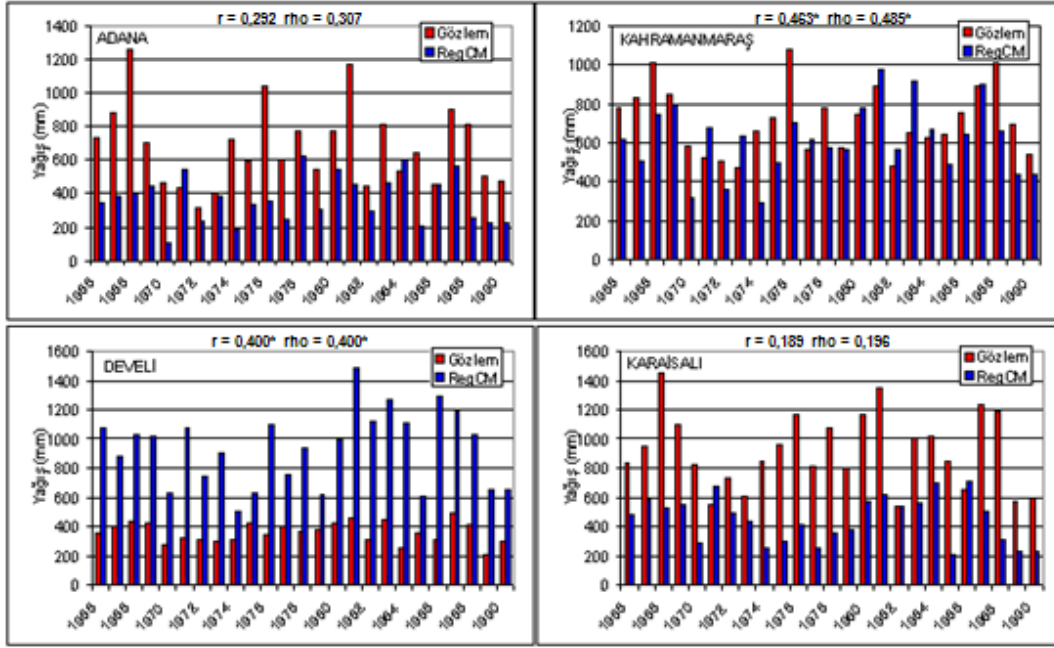
Şekil 9. RegCM ve gözlem değerlerinde istasyon minimum sıcaklıklarının karşılaştırmaları  
Figure 9. Comparisons of station minimum temperatures in RegCM and observation values

Kahramanmaraş, Develi, Adana ve Karaisalı istasyonlarının uzun yıllar ortalamaları dikkate alındığında model ile yapılan kestirimlerin gözlemlerden sırası ile -99 mm, 569 mm, -312 mm, -468 mm farklı olduğu bulunmuştur. Kahramanmaraş, Develi, Adana ve Karaisalı istasyonlarının yıllık toplam yağış değerlerine ilişkin RegCM kestirimleri gözlem değerlerinden maksimum sapmaları ise sırası ile -378 mm (1976), 1023 mm (1981), -859 mm (1968), -923 mm (1968) olmuştur.

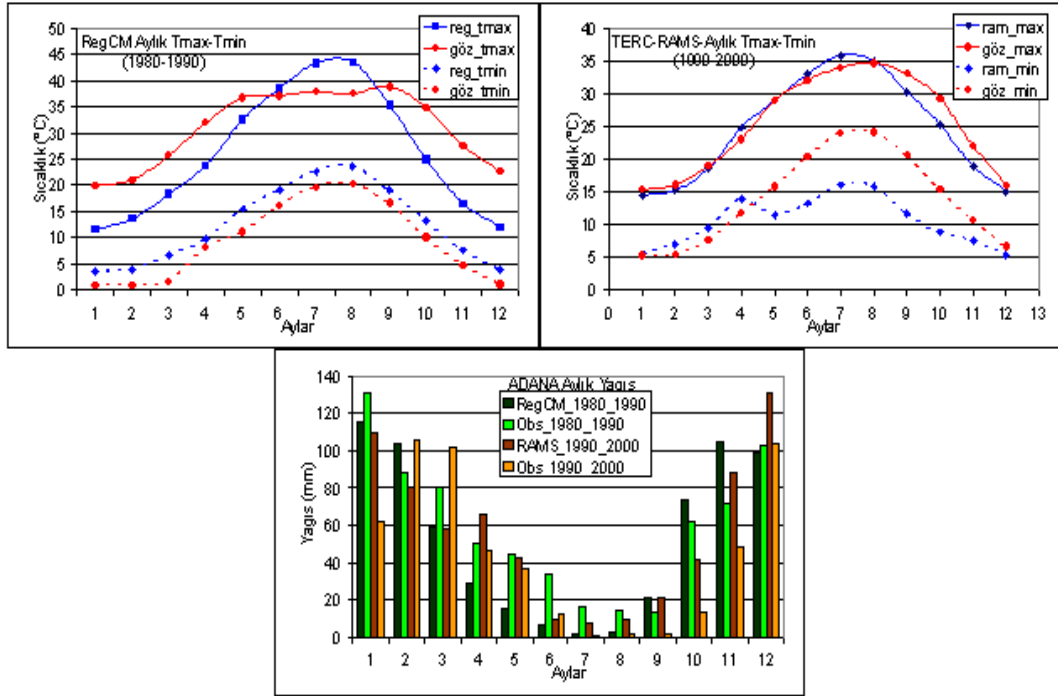
İstasyon bazında elde edilen model kestirimleri incelendiğinde RegCM modelinin gerek yıllık maksimum ve minimum sıcaklıklar gerekse yıllık toplam yağış miktarlarını istasyon bazında büyük hata paylarıyla temsil

ettiği düşünülebilir. Bununla birlikte, bölgenin coğrafik yapısı nedeniyle kıyı bölgesinde bulunması, denizden 20-30 km sonrasında 600-1000 m yüksekliklere çıkılması, iç bölgelere açılan boğazların bulunması, ayrıca Akdeniz'den gelen nemli hava kütlelerinin meydana getirdiği konvektif yağışların bölgedeki toplam yağış içerisinde payının yüksek olması gibi özel durumlar atmosfer modellerinin bölgede uyumlu çalışmasını güçleştirmektedir. Nitekim bölgede uygulanan diğer bir iklim modeli (Terch-Rams) (ICCAP, 2007a, 2007b; Watanabe, 2004; Fujihara vd., 2008) benzeşimleri ile RegCM modeli benzeşimlerinin gözlemlerle kıyaslanma sonuçları arasında önemli bir fark bulunmamaktadır.





Şekil 10. RegCM ve gözlem değerlerinde istasyon yağış değerleri karşılaştırmaları  
Figure 10. Comparisons of station precipitation values in RegCM and observation values



Şekil 11. 10 yıllık dönemlerde RegCM ve RAMS modellerinin aylık maksimum- minimum sıcaklık ve aylık toplam yağış ortalama değerlerinin Adana için gözlem değerleriyle kıyaslanması

Figure 11. Comparison of monthly maximum-minimum temperature and monthly total precipitation average values of RegCM and RAMS models with observation values for Adana in 10-year periods

Şekil 11 yıllık dönemlerde RegCM ve RAMS modellerinin aylık maksimum ve minimum sıcaklıklar ile aylık toplam yağış ortalama değerlerinin Adana istasyonu için gözlem değerleriyle kıyaslanması gösterilmiştir. Bu amaçla hazırlanan verilerde, 1980-1990 dönemi için aylık maksimum ve minimumların 10 yıllık ortalamaları alınmış, 1990-2000 dönemi için ise aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklık değerlerinden 10'ar yıllık ortalamalar hesaplanmıştır. Dönemler ve veri tiplerinde farklılık olmasına karşın bu değerlendirme modellerin aynı nokta

için tepkilerini göstermek amacıyla yapılmıştır. RegCM modelinin maksimum sıcaklıklarda gözlemlerden olan sapması en yüksek 11. ayda ve 11,1°C fark ile gerçekleşmiştir (Şekil 11). RAMS modelinin ise en yüksek olarak 10. ayda 3,9°C fark ile gösterdiği görülmekte. Minimum sıcaklıklarda ise RegCM modeli Mart ayında 5,1°C fark ile gösterirken RAMS modeli 9. ayda 8,9°C daha soğuk benzeştirmektedir. Aylık yağış değerlerinde en yüksek sapmayı RAMS modeli 1. ayda 43 mm olarak gösterirken RegCM modeli 11. ayda 33 mm olarak

göstermektedir. 10 yıllık dönemlerde RegCM yıllık toplam yağış ortalamasını gözlemlerden 77 mm daha düşük kestirim yaparken RAMS modeli 132 mm yüksek kestirim yapmıştır.

Genel olarak model performansını değerlendirildiğinde RegCM modeli; genel atmosfer hareketlerine bağlı olan, içeriği daha iyi belirlenen/bilinen ve mevcut bilgiler dâhilinde iyi formülize edilebilen parametrelerde (ortalama sıcaklık gibi), parametrenin oluşmasında etkisi olduğu bilinen/bilinmeyen ve hesaba katılmayan veya formüle edilemeyen daha karmaşık süreçlere (yağış gibi) göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca model sonuçları genelleştirildikçe (istasyon bazından havza bazına, anlık veya kısa dönem ortalamadan uzun dönem ortalamalara yönelmek gibi) sapma miktarları verilerin doğası itibarıyla azalmaktadır.

Mevcut standartlar ve kabuller ölçüsünde, bunların da ötesinde olanaklar çerçevesinde ve diğer bölgesel iklim modelleri arasındaki yaygın kullanımı nedeniyle RegCM modeli tez çalışması için uygun bulunmuştur. RegCM ile gerçekleştirilen ve yukarıda ayrıntıları verilen bulguların irdelenmesi sonucunda Çukurova Yöresi'nde anılan bölgesel iklim modelinin iklim değişikliği ve etkilerini belirlemeyi amaçlayan çalışmada kullanılmak için yeterli güvenilirliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

## Sonuç ve Öneriler

RegCM modeli sonuçları gözlem sonuçlarıyla doğrulama amaçlı olarak havza ve istasyon ölçekli olmak üzere 2 farklı ölçekte karşılaştırılmıştır. Aşağıda önce havza bazındaki karşılaştırmaların ve daha sonra istasyon bazındaki karşılaştırmaların sonuçları değerlendirilerek sunulmuştur.

Model, ortalama sıcaklık değerlerinde gözlem değerlerine göre 2,8°C (Sarız) ile -4,3°C (Ulukışla) arasında değişen aralıkta sapmayla öngörülmüştür. 25 yıllık ortalama maksimum sıcaklıklarda model değerlerinin gözlem değerlerinden sapması 9,2°C (Mersin) ile -7,5°C (Ceyhan) arasında değişmiştir. Model Seyhan ve Ceyhan nehirleri deltasında (Adana, Ceyhan, Yumurtalık ve Karataş istasyonları) belirgin bir şekilde maksimum sıcaklıkları daha düşük, buna karşın havzanın güney batı (Mersin) ve kuzey doğu kesimlerinde (Sarız ve Elbistan) daha yüksek tahmin etmiştir. Havzanın diğer kısımlarında (Ulukışla, Develi, Karaisalı ve İskenderun) ise hata sapması 1,5°C'den daha az bulunmuştur. RegCM modelinin referans çalıştırmasında elde edilen 1966-1990 dönemi ortalama maksimum sıcaklık RMSE değerleri (Mersin 9,17, Kahramanmaraş 2,65, Adana 6,20) makul değerler olarak yorumlanmıştır.

Ortalama minimum sıcaklıklarda model değerlerinden gözlem değerlerinin gösterdiği hata değeri 14,6°C (Göksun) ile -4,3°C (Kahramanmaraş) arasında değişmiştir. Büyük farkların yanı sıra modelin 0,13°C gibi çok küçük farklarla da iyi performans gösterdiği bazı alanlar (Karaisalı) bulunmaktadır. Bölgenin kuzey doğusunda (Göksun, Sarız, Elbistan) ve güneyinde (Adana, Ceyhan, Yumurtalık ve Karataş) model belirgin olarak sıcaklıkları yüksek tahmin etmiştir. Buna karşın Mersin, Develi, İslâhiye ve Kozan'da ise yıllık ortalama minimum sıcaklıkları daha düşük tahmin ettiği belirlenmiştir. 1966-1990 dönemi ortalama minimum sıcaklıklara ilişkin RMSE

değerlerinin Mersin için 3,9, Kahramanmaraş için 5,30 ve Adana için 6,7 olarak bulunmuştur.

Modelle kestirilen ve gözlenen yağış değerleri farklarının paralel bir dağılım gösterdiği saptanmıştır. RegCM modeli yüksekliği 500 m'nin altındaki istasyonlarda yağışı düşük, yüksekliği 1000-1500 m olan istasyonlar için ise daha yüksek tahmin etmektedir. Model ile gözlem değerlerinin birbirine yakın olduğu belirtilen istasyonlar ise genellikle topografyanın etkisinin orta düzeyde olduğu 500-1000 m (özellikle 400-700 m bandında) yükseklikte olduğu belirlenmiştir. Yağış parametresinin farklı açılardan değerlendirilmesi amacıyla havza geneline düşen yağış miktarı 1) istasyonlar ortalaması ve 2) yıllar ortalaması şeklinde olmak üzere iki türde incelenmiştir. Birinci tür değerlendirme sonucunda RegCM modelinin genellikle gözlem istasyonlarında elde edilen değerlerle benzer yıllararası değişim özelliği gösterdiği görülmüştür. Diğer bir ifadeyle model, gözlem değerlerinin artış gösterdiği yıllarda artma, düşük gözlem değerleri olan yıllarda da yağış değerlerinde azalma öngörmektedir. İkinci tür değerlendirmede ise 25 yıllık ortalama havza yağış değeri kullanılmıştır. Ortalama havza yağış parametresinde, model değerinin (639 mm) gözlem ortalamasından (625 mm) yıllık 14 mm'lik çok küçük bir sapma gösterdiği görülmüştür.

Bölgesel iklim modeli sonuçları ile gözlem değerlerinin karşılaştırıldığı istatistiksel değerlendirmeler sonucunda genel olarak varyansların eşit olduğu ama ortalamalarda modelin iyi sonuç vermediği belirlenmiştir (Şen, 2009). Genel olarak gözlem ve model dizileri arasında dizisel ilişki sınamalarında düşük ilişki katsayısı bulunmuştur. İlişki katsayılarının önemli olduğu bazı serilerde ortalamaların birbirinden farklı olması veyahut ta ortalamaların birbirine çok yakın olduğu halde dizisel ilişkinin bulunmaması kimi yerlerde modelin yıllar arası değişkenlikleri iyi yakaladığını kimi yerlerde ise yakalayamadığını göstermektedir. Bu durumda değerlendirme yapılırken model sonuçlarının sadece ortalamalar arası farka bakmayıp dizisel ilişkinin de olup olmadığına bakılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir (Şen, 2009).

İstasyon ölçeğinde doğrulama çalışmaları kısmında çalışma alanında yer alan sırasıyla Adana istasyonunun yanı sıra model sonuçlarıyla büyük oranda uyumlu, model sonuçlarının gözlem sonuçlarından yüksek olduğu ve model sonuçlarının gözlem sonuçlarından düşük olduğu birer istasyon örnek temsil etmesi bakımından seçilerek değerlendirilmiştir.

Yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde modelin iyi tahmin ettiği Adana ve Karaisalı istasyonlarında gözlemlerden sapma 1966-1990 yılları arasında ortalama 0,24 ve 0,38°C olmaktadır. Yıllara göre değerlendirildiğinde ise en yüksek sapma  $\pm 1,5^\circ\text{C}$  olabilmektedir. Modelin gözlem değerlerine göre yüksek sıcaklık değerleri tahmin ettiği Sarız istasyonunda ortalama fark 2,8°C, maksimum fark 4,1°C ile 1974 yılında gerçekleşmiştir. Model Ulukışla istasyonunda ölçülen sıcaklık değerlerinden ortalama olarak 4,3°C daha düşük sıcaklık tahmin etmektedir. En yüksek sapma 1976 yılında 5,4°C'dir. Maksimum sıcaklıkların istasyon bazında karşılaştırıldığında İskenderun istasyonu model tarafından iyi temsil edilen bir gözlem istasyonu olarak belirlenmiştir. 1966-1990 yılları maksimum sıcaklık ortalamalarında

model sonucu gözlem değerlerinden sadece 0,06°C daha yüksektir. Maksimum sapmayı ise 1966 yılında 6,98°C ile göstermiştir. RegCM modeli Mersin istasyonu gözlem değerleriyle kıyaslandığında maksimum sıcaklıkları yüksek benzeşim yapmaktadır. Uzun yıllar ortalama sapması 9,17°C, maksimum sapması 12,66°C olarak belirlenmiştir. Adana ve Ceyhan istasyonları için ise model gözlem verilerine göre düşük tahmin değerleri üretmektedir. Ceyhan istasyonunda gözlemlerde uzun yıllar maksimum sıcaklık ortalamasının model tahmininden fark 7,45°C maksimum yıllık fark 1978 yılında 11,78°C'dir. Yıllık minimum sıcaklıklar değerlendirildiğinde modelin Karaisalı istasyonunda iyi, Kahramanmaraş istasyonunda düşük, Adana ve Elbistan istasyonlarında yüksek sıcaklık değerleri verdiği saptanmıştır. Gözlemlerden sapmalar uzun yıllar ortalamalarında Karaisalı da 0,1°C, Kahramanmaraş ta -4,26°C, Adana ve Elbistan'da 6,4 ve 9,1°C'dir. Gözlemlerden maksimum sapmalar ise Karaisalı da 6,3°C (1989), Kahramanmaraş ta 8,84°C (1982), Adana ve Elbistan'da 10,6°C (1967) ve 16,9°C (1974)'dir. Oransal nem parametresinin değerlendirilmesinde Karaisalı istasyonunda iyi, Adana ve Yumurtalık istasyonlarında yüksek, Elbistan istasyonunda gözlemlere göre düşük benzeşim değerleri elde edilmiştir. Karaisalı istasyonunun benzeşim sonuçları uzun yıllar ortalama oransal nem gözlem değerlerinden % 2 daha düşüktür. Adana ve Yumurtalık oransal nem benzeşim sonuçları uzun yıllar otalamasında gözlemlerden % 7 ve % 8 daha yüksektir. Elbistan ise % 15 daha düşüktür. Adana, Karaisalı, Yumurtalık ve Elbistan istasyonlarında maksimum sapmalar sırasıyla %9 (1980), %7 (1970), % 13 (1986) ve % 26 (1974) olduğu belirlenmiştir. Bu arada 4 istasyondaki gözlem değerlerinde belirgin bir azalma eğilimi varken model benzeşim değerlerinde azalma görülmemiştir. Yıllık toplam yağış değerleri karşılaştırmalarında gözlem değerlerine göre Kahramanmaraş'ta iyi, Develi'de yüksek, Adana ve Karaisalı'da düşük yağış miktarı öngörmüştür. Kahramanmaraş, Develi, Adana ve Karaisalı istasyonlarının uzun yıllar ortalamalarında gözlemlerden farkları sırası ile -99 mm, 569 mm, -312 mm, -468 mm dir. Kahramanmaraş, Develi, Adana ve Karaisalı istasyonlarının yıllık toplam yağışlarda gözlemlerden maksimum farkları sırası ile -378 mm (1976), 1023 mm (1981), -859 mm (1968), -923 mm (1968) olarak belirlenmiştir. Bu değerler yağış miktarına karşı duyarlı iklim değişikliği çalışmalarının güvenilir bir şekilde yapılması için çok büyük farklardır. Bu tür çalışmalarda yıllık değerlerdeki büyük oranlı sapmaların olumsuz etkilerini önlemek için gözlemlerle kestirimler arasında daha küçük sapmalar gösteren uzun yıllar ortalamaları ve/veya havza ortalamaları kullanılmalıdır.

Genel olarak model performansı değerlendirildiğinde model; genel atmosfer hareketlerine bağlı olan, içeriği daha iyi belirlenen/bilinen ve mevcut bilgiler dâhilinde iyi kurgulanan değişkenlerde (ortalama sıcaklık gibi), değişkenin oluşmasında etkisi olduğu bilinen/bilinmeyen ve hesaba katılmayan veya formüle edilemeyen daha karmaşık süreçlere (yağış gibi) göre gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca model sonuçları genelleştirildikçe (istasyon ölçeğinden havza ölçeğine, anlık veya kısa dönem ortalamadan uzun dönem ortalamalara yönelmek gibi) sapma miktarları ve dağılımında verilerin

doğası itibariyle (yükselti, bakı vb.) azaldığı görülmüştür. Yağış oluşumunda topoğrafyanın yanısıra bölgesel ölçekli dolaşım ve basınç koşulları etkisi ve mevsimsel değişimleri de çok önemlidir. Nitekim Türkeş vd. (2008) ile Türkeş & Tatlı (2009) Türkiye yağışlarının yüksek mevsimsellik ve yıllararası değişkenlik gösterdiğini, genellikle kuru ve ıslak (yağışlı) devreleri içerdiğini vurgulamışlardır. Anılan çalışmalarda ıslak devrelerin genellikle seyrek görüldüğü, kısa sürdüğü ve zayıf olduğu buna karşın kuru devrelerin daha sık gerçekleştiği, uzun sürdüğü ve güçlü etkide olduğu belirtilmektedir.

Ayrıca gelecekteki iklim değişikliğini belirlemede bölgesel iklim modeli kullanımı çalışmalarında sağlıklı ve güvenilir bulgular elde edebilmek için model sonuçlarıyla gözlem sonuçları arasında farkları azaltıcı veya düzeltici teknikler ve yöntemlerin geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Model topoğrafyasıyla gerçek topoğrafya arasında farkların belirlenerek model çıktılarını yükselti düzeltmesi uygulanması ve fark düzeltmesi (bias correction) gibi istatistiksel yöntemlerin uygulanması sonuçları daha güvenilir kılabilir.

Küresel ve bölgesel ölçekli iklim modellerinin birbirlerine kıyasla üstünlük ve kısıtları gözönünde bulundurularak aynı modellerin farklı parametrisasyonları ile farklı modellerin aynı parametrisasyonlarla yine aynı bölgede çalıştırılması ve sonuçların birlikte değerlendirilmesi son yıllarda rağbet gören yaklaşımlardan biridir. Böylece bir bölgenin gelecekteki ikliminin kestirilmesinde farklı özelliklerdeki modeller topluluğu kullanılarak daha gerçekçi kestirimler yapılabilir.

## Teşekkür

Bu çalışma, birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında hazırladığı doktora tezinden üretilmiştir (Doktora Tezi, Bölgesel İklim Modelleri Kullanılarak Çukurova Yöresi'nde İklim Değişikliğinin 1. ve 2. Ürün Mısır Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2009). Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir. Proje No: ZF2006D2. Bu çalışma, 3rd International Congress of the Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology) TURJAF 2023, kongresinde sunulmuştur.

## Kaynaklar

- Anthes, R. A. (1977). A Cumulus Parameterization Scheme Utilizing a One-Dimensional Cloud Model, *Mon. Weather Rev.*, 117, 1423-1438.
- Briegleb, B. P. (1992). Delta-Eddington Approximation For Solar Radiation In The Near Community Climate Model, *J. Geophys. Res.*, 97, 7603-7612.
- Cox, P. M., Betts, R. A., Bunton, C. B., Essery, R. L. H., Rowntree, P. R., & Smith J. (1999). The Impact Of New Land Surface Physics On The GCM Simulation Of Climate And Climate Sensitivity. *Clim Dyn* 15: 183-203.
- Cusack, S., Edwards, J. M., Crowther, & J. M. (1999). Investigating K-Distribution Methods For Parametrizing Gaseous Absorption In The Hadley Centre Climate Model. *J Geophys Res* 104: 2051-2057.
- Dellal, İ., Butt, T., Mccarl, B., & Dyke, P. (2004). 'İklim Değişikliğinin Türk Tarımı Üzerine Ekonomik Etkileri', Ankara İklim Konferansı, Ankara.

- Dickinson, R. E., Errico, R. M., Giorgi, F., & Bates, G. T. (1989). A Regional Climate Model For The Western United States, *Climate Change*, 15, 383-422.
- Edwards, J. M. & Slingo, A. (1996). Studies With A Flexible New Radiation Code. I: Choosing A Configuration For A Large Scale Model. *Q J R Meteorol Soc* 122: 689-719.
- Fujihara Y., Tanaka K., Watanabe T., Nagano T., & Kojiri T. (2008). Assessing The Impacts Of Climate Change On The Water Resources Of The Seyhan River Basin In Turkey: Use Of Dynamically Downscaled Data For Hydrologic Simulations. *Journal Of Hydrology*, Volume 353, Issues 1-2, 20 May 2008, p33-48. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.01.024>
- Giorgi, F. (1990). Simulation Of Regional Climate Using A Limited Area Model Nested In A General Circulation Model, *Journal Of Climate*, 3, 941-964.
- Giorgi, F., & Mearns, L. O. (1999). Introduction To Special Section: Regional Climate Modeling Revisited, *J Geophys Res-Atmos*, 104, 6335-6352.
- Giorgi, F., Bi, X., & Pal, J. S. (2004a). Mean, Interannual Variability And Trends In A Regional Climate Change Experiment Over Europe. Part I: Present Day Climate (1961-1990), *Clim. Dyn.*, 22, 733-756.
- Giorgi, F., Bi, X., & Pal, J. S. (2004b). Mean, Interannual Variability And Trends In A Regional Climate Change Experiment Over Europe. Part II: Future Climate Scenarios (2071-2100), *Clim. Dyn.*, 23, 839-858.
- Gregory D., & Morris D. (1996). The Sensitivity Of Climate Simulations To The Specification Of Mixed Phase Clouds. *Clim Dyn* 12: 641-651.
- Grell, G. A. (1993). Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations, *Mon. Weather Rev.*, 121, 764-787.
- Grell, G. A., Dudhia, J. & Stauffre, D. R. (1994). Description Of The Fifth Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), *NCAR Tech. Note*, 121.
- Hack, J. J., Boville, B. A., Briegleb, B. P., Kiehl, J. T., Rasch, P. J. & Williamson, D. L. (1993). Description of the NCAR Community Climate Model (CCM2), *NCAR Tech. Note*, 108.
- Holtstlag, A. A. M., De Bruijn, E. I. F. & Pan, H. L. (1990). A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-Range Weather Forecasting, *Mon. Weather Rev.*, 118, 1561-1575.
- Hsie, E. Y., Anthes, R. A. & Keyser, D. (1984). Numerical Simulation Of Frontogenesis In A Moist Atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 41, 2581-2594.
- ICCAP. (2007a). The Final Report Of ICCAP Project. The Research Project On The Impact Of Climate Changes On Agricultural Production System In Arid Areas (ICCAP). Research Institute For Humanity And Nature (RIHN); The Scientific And Technological Research Council Of Turkey (TÜBİTAK). Edit By Research Team For Thr ICCAP Project. ICCAP Pub. No. 10, March 2007(A), 343 P.
- ICCAP. (2007b). Iccap Project: Turkish Group Final Reports. Impact Of Climate Changes On Agricultural Production System In Arid Areas (ICCAP). Kurak Alanlarda İklim Değişikliğinin Tarımsal Üretim Sistemlerine Etkisi. Research Institute For Humanity And Nature (Rihn); The Scientific And Technological Research Council Of Turkey (TÜBİTAK). Edit By Research Team For Thr ICCAP Project. ICCAP Pub. No. 11, March 2007(B), 188 P.
- Kadioğlu, M., Şaylan, L. & Şen, Z. (1998). Effect of climate change on the growing season in Turkey, *Second Trabzon Int. Energy and Environment*.
- Karaca, M., & Nicholls, R. J. (2008). Potential Implications Of Accelerated Sea-Level Rise For Turkey, *Journal Coastal Research*, 242: 288-298. <https://doi.org/10.2112/07A-0003.1>
- Kiehl, J. T., Hack, H. H., Bonan, G. B., Boville, B. A., Briegleb, B. P., Williamson, D. L. & Rasch, P. J. (1996). Description Of The NCAR Community Climate Model (CCM3), *NCAR Tech. Note*, 152.
- Krichak, S. O., Alpert, P., Bassat K. & Kunin, P. (2007). The Surface Climatology Of The Eastern Mediterranean Region Obtained In A Three-Member Ensemble Climate Change Simulation Experiment, *Adv. Geosci.*, 12, 67-80.
- Oğuz, T. (2003). Climatic Warming Impacting Pelagic Fish Stocks In The Black Sea Due To An Ecological Regime Shift During Mid-1990s, *Globec International Newsletter Vol.9, No.2*, Pp.18-20.
- Oğuz, T., Çokacar, T., Malanotte-Rizzoli P., & Ducklow, H. W. (2003). Climatic Warming And Accompanying Changes In The Ecological Regime Of The Black Sea During 1990s. *Global Biogeochem. Cycles*, 17(3), 1088, Doi:10.1029/2003GB002031.
- Önol, B., & Semazzi F. (2009). Regionalization Of Climate Change Simulations Over Eastern Mediterranean. *Journal Of Climate*: 22:1944-1961
- Pal J. S., Giorgi, F., Bi X., Elguindi N., Solmon F., Gao X., Rauscher S. A., Francisco R., Zakey A., Winter J., Ashfaq M., Syed F. S., Bell J. L., Difenbaugh N. S., Karmacharya J., Konare A., Martinez D., Rocha R. P., Sloan L. C., & Steiner, A. (2007). Regional Climate Modeling For The Developing World: The ICTP Regcm3 And Regcnet Bull. *Am. Meteorol. Soc.* 88 1395-409.
- Pope, V. D., Gallani, M. L., Rowntree, P. R., & Stratton, R. A., 2000. The Impact Of New Physical Parametrisations In The Hadley Centre Climate Model. *Climate Dynamics*, 16, 123-146.
- Smith, R. N. B., 1990. A Scheme For Predicting Layer Clouds And Their Water Content In A General Circulation Model. *Q J R Meteorol Soc* 116: 435-460.
- Smith, R. N. B. (1993). Experience And Developments With The Layer Cloud And Boundary Layer Mixing Schemes In The UK Meteorological Office Unified Model. In: Proc ECMWF/GCSS Workshop On Parametrization Of The Cloud-Topped Boundary Layer, 8-11 June 1993, ECMWF, Reading, UK.
- Şaylan, L. & Çaldağ B. (2000). Potential Impacts Of Climate Change On Agriculture, 2<sup>nd</sup> International Symposium On New Technologies For Environmental Monitoring And Agro-Applications, AGROENVIRON-2000, 18-20 October 2000, Tekirdağ.
- Şen, B. (2009). Bölgesel İklim Modelleri Kullanılarak Çukurova Yöresi'nde İklim Değişikliğinin 1. ve 2. Ürün Mısır Verimine Olası Etkilerinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s:322, Adana.
- Takle E. S., Gutowski W. J., Arritt R. W., Pan, Z., Anderson C. J., Da Silva, R. R., Caya, D., Chen, S.C., Giorgi, F., Christensen, J. H., Hong, S.Y., Juang, H. M. H, Katzfey, J., Lapenta, W. M., Laprise, R., Liston, G. E., Lopez, P., Mcgregor, J., Pielke, R. A. & Roads J. O. (1999). Project to intercompare regional climate simulations (PIRCS): description and initial results. *J Geophys Res Atmos* 104:19443-19461.
- Türkeş, M. (1996). Spatial and Temporal Analysis of Annual Rainfall Variations in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16:1057-1076.
- Türkeş, M. (1999). Vulnerability Of Turkey To Desertification With Respect To Precipitation And Aridity Conditions. *Tr. J. Of Engineering And Environmental Science*, 23:363-380.
- Türkeş, M., Koç, T., Sarış, F. (2008). Spatiotemporal Variability of Precipitation Total Series Over Turkey. *Int. J. Of Climatol* (2008). <https://doi.org/10.1002/joc.1768>
- Türkeş, M. & Tatlı, H. (2009). Use Of The Standardized Precipitation Index (SPI) And A Modified SPI For Shaping The Drought Probabilities Over Turkey. *Int. J. Of Climatol*. 29: 2270 - 2282. <https://doi.org/10.1002/joc.1862>
- Watanabe, T. (2007). Summary Of ICCAP -Framework, Outcomes And Implication Of The Project. The Final Report Of ICCAP Project. ICCAP Pub. No. 10, March 2007(A), 1-14.