

# TÜRKİYE İÇİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI: ÖN ÇALIŞMALAR

Prof. Dr. H. Nüzhet Dalfes  
Prof. Dr. Mehmet Karaca  
Doç. Dr. Ömer Lütfi Şen

Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü – İstanbul Teknik Üniversitesi

## 1. Giriş – Çalışmanın Kapsamı ve Bağlamı

Bu rapor Türkiye'de son yüzyıl içerisinde gerçekleşen iklim değişiklikleri ve iklim değişikliği projeksiyonlarındaki gelişmelerin sonuçları hakkında İstanbul Teknik Üniversitesinin Avrasya Yer Bilimleri ve Enformatik Enstitülerinde yapılan araştırmaların sonuçlarını içermektedir. Aynı zamanda bir TÜBİTAK (105G015) yardımı ile desteklenen devam etmekte olan ve daha uzun vadeli bir araştırma programının ilk safhası hakkında da rapor sunmaktayız.

Yağış ve sıcaklık gibi iklimsel değişkenlerin Türkiye'de geçmişte nasıl değiştiğini belgelendirmek için bir girişimde bulunulmuştur. Uzun vadeli yağış ve sıcaklık verilerini (günlük, aylık ve yıllık ortalamalar veya toplamlar) Türkiye Devlet Meteoroloji İşlerinden sağlamış ve veri setleri üzerinde kalite kontrol prosedürleri ve homojenleştirme testleri gerçekleştirmiş bulunmaktayız. Mann- Kendall testini kullanarak yağış ve sıcaklık (minimum, maksimum ve ortalama) serileri için trendleri üretiyoruz. Buna ek olarak, ortalama meydana gelme zamanı ve mevsimsellik indeksi açısından mevsimselliği karakterize etmek ve geçmişte Türkiye'de yağış mevsimselliğinin nasıl değiştiğini araştırmak için aylık yağış verileri konusunda dairesel bir yaklaşım uyguluyoruz.

Şu anki çabalarımızın son amacı su kaynakları, doğal ekosistemler, tarımsal üretim sistemleri, insan sağlığı vb konularda etki çalışmaları için anlamlı ölçeklerde iklim değişikliği projeksiyonlarının elde edilmesidir. Bu çalışmalar, mevcut bilgisayar teknolojisi ve alt- ızgara ölçekli parametrisasyonlar ile küresel sistem modellerinin üretebileceğinden çok daha ince ölçeklerde iklim bilgileri gerektirmektedir.

Proje içerisinde gerçekleştirilen işlerin büyük bölümünde küresel ölçekteki iklim sistemi modellerinin etki çalışmaları ile ilgili ölçeklere indirilmesi hedeflenmiştir. Daha sonra detayları verileceği üzere, bölgesel iklim modelleri kullanılarak gerçekleştirilecek olan ölçek indirme çabaları, başka şeylerin yanı sıra gözlemlenen verilere karşı model simülasyonu performansını değerlendirmelidir.

İstatistiksel ölçek düşürmenin ön cephesinde, çabalarımız mevcut geniş metodolojiler topluluğu içerisinde uygun araçların seçimi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu yöntemlerden ikisini uyguluyoruz: lineer regresyonlar ve kanonik korelasyon biçim analizleri.

Fiziksel olarak temellendirilmiş veya istatistiksel ölçek düşürme işlemi ile ilgili tüm belirsizlikler göz önüne alındığında, "projeksiyonlar" direkt olarak kullanılabilir ürünler olarak görülmemektedir. İşte burada senaryolar devreye girmektedir: "bir iklim senaryosu antropojenik iklim değişikliğinin potansiyel sonuçlarının araştırılmasında açık kullanım için oluşturulmuş gelecekteki bir makul iklime karşılık gelir" (IPCC, 2001).

Bu raporda Türkiye için olası deniz seviyesi yükselmesinin etkilerini kısaca açıklıyoruz. Ne yazık ki, zamansal ve alansal değişiklikleri kapsayan yeterli deniz seviyesi verisi mevcut değildir. Burada verilen yorumlar daha önceki çalışmaların derlemesine dayanmaktadır. Nihai olarak, raporda açıklanan çalışma, Türkiye ve bölgesi için iklim senaryolarının ana içeriğini oluşturmak üzere birleştirilecek kadar zengin bir iklim projeksiyonları grubuna yol açacaktır. Ekstrem olaylar gibi iklim özelliklerini içeren makul, tutarlı iklim parametresi gruplarını elde etmek amacıyla, iklim modellerinden ve istatistiksel olarak ölçüğü düşürülmüş iklim parametresi değişikliği tahminlerinden elde edilen projeksiyonların yanı sıra, iklim senaryolarında uzman bilgisi de dikkate alınır.

Tüm bu nedenlerle, yer sisteminin geleceğinin araştırılması için iklim modeli çıktularından çok değişiklik senaryolarından faydalanılması tercih edilir.

## 2. Veri kaynakları

Birçok uzun vadeli klimatolojik zaman serisinde, değişikliklerin ve trendlerin yalnızca havadaki ve iklimdeki değişikliklerden kaynaklanmadığı, aynı zamanda istasyonların yerinin değiştirilmesinin veya aletlerin, gözlem uygulamalarının veya istasyon çevresinin değiştirilmesinin de bunlara neden olduğu kabul edilmektedir. Dolayısıyla, iklim değişikliği hakkında bir çalışma veya istasyon verilerini kullanarak olası bir iklim değişikliği sinyaline ilişkin bir araştırma yapmadan önce, veri setleri üzerinde bir kalite kontrol ve düzeltme yapılması zorunludur. Türk istasyon verileri gerekli olan hallerde, herhangi bir iklim değişikliği sinyalinin algılanması için trend analizlerinde kullanılmadan önce, sıkı bir kalite kontrole ve homojenizasyona tabi tutulmuştur (Bozkurt ve Göktürk, 2006). İstasyon analizi ile ilgili süre 1951–2004 aralığı olarak alınmıştır ve bu kritere uygun olmayan istasyonlar veri setinden elimine edilmiştir. Aşağıdaki basamaklar hem yağış hem de sıcaklık için zaman serisindeki eksik değerlerle ilgili olarak takip edilmiş olan prosedürü açıklamaktadır.

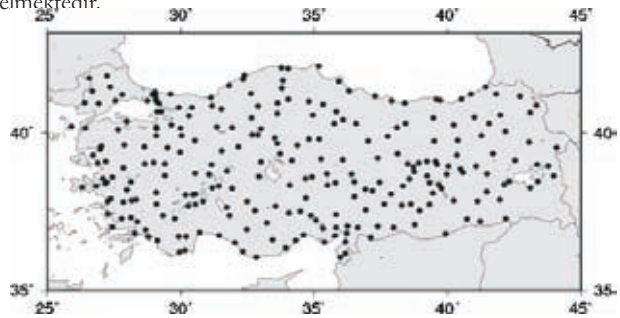
(i) Günlük gözlemlerdeki herhangi bir eksik değer, eksik olarak kaydedilmiştir.

(ii) Aylık ortalama günlük ortalamalardan hesaplanmış ve günlük ortalamaların % 20'si veya daha fazlası eksik olduğunda, kullanılabilir değil şeklinde belirtilmiştir.

(iii) % 10'dan az aylık eksik verisi olan istasyonlar için, her bir ayın klimatolojik ortalaması aylık serinin tamamlanması için kullanılmıştır.

(iv) Mevsimsel ve yıllık veriler aylık verilerden hesaplanmıştır.

Veri setleri daha sonra dışta kalan değerler için analiz edilmiş ve dışta kalan değerler olarak tanımlanan değerler Barnett ve Lewis'e göre önceden ayarlanmış bir eşik değerine indirilmiştir (1994). Son olarak, seriler istasyonların işletimi sırasında gerçekleşmiş olabilecek iklimsel olmayan olaylar açısından analiz edilmiş ve Hanssen- Bauer ve Forland (1994) tarafından geliştirilen bir prosedür takip edilerek bu tür homojen olmama durumlarının algılanması ve ayarlanması yapılmıştır. Nihai veri seti, dağılımları Şekil 1'de gösterilen 113 istasyondan meydana gelmektedir.



Şekil.1 Trend çalışmalarında kullanılan Türk iklim istasyonlarının dağılımı.

## 3. Gözlemlenen iklimsel değişiklikler

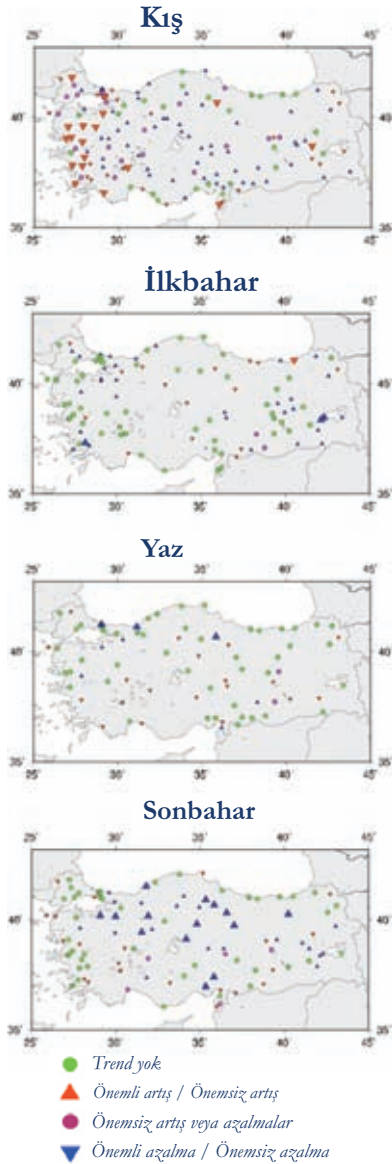
### 3.1 Trend analizi

#### 3.1.1 Yağış

Yağış biçimlerinde veya şiddet, sıklık veya süre gibi yağış özelliklerinde meydana gelen herhangi bir sürekli değişikliği çevre üzerinde önemli sonuçlar yaratacağına şüphe yoktur. Dolayısıyla, küresel ısınma sonuçları bu önemli değişkene özel önem vermektedir. Bununla birlikte, yağış konusunda iklim değişikliği sinyallerinin tanımlanmasında zorluklar söz konusudur.

Bu zorluklardan bazıları verilerin kalitesi ile ilgilidir, çünkü yağış ölçümleri birçok hata türüne açıktır. Yağış verilerinin uzunluğu iklim değişikliği sinyalinin takip edilmesi konusunda bir diğer zorluğa neden olmaktadır, çünkü yağış zamansal olduğu kadar alansal olarak da yüksek değişkenlik gösteren bir parametredir. Bazı durumlarda “kısa” bir yağış zamanı serisinde, aslında uzun vadeli bir değişkenliğin bir parçası olabilecek bir trend algılanabilir. Bu nedenle, yağış verilerinin trend analizi yorumlanırken dikkat edilmelidir. Trend analizinde, genel olarak kullanılan parametrik olmayan Mann- Kendall yöntemini, kalite kontrolü yapılan istasyon verilerindeki belirgin trendleri tanımlamak için kullandık (örn. Karaca et al. 1995).

Şekil.2'de dört mevsim için Mann- Kendall testinin sonuçları gösterilmektedir. Yağıştaki önemli değişikliklerin uyumlu alanları hem kış hem de sonbahar mevsimlerinde görülebilir. Kış yağışları Türkiye'nin batıdaki illerinde son elli yıl içerisinde önemli ölçüde azalmıştır. Diğer taraftan sonbahardaki yağışlar çoğunlukla orta Anadolu'nun kuzey bölümlerinde yer alan istasyonlarda artmıştır. Bu değişikliklerin arkasındaki neden iyi anlaşılabilmiştir. Bunlar kesinlikle kapsamlı bir çalışma gerektirmektedir ve bu çalışmada aynı zamanda siklon izleri ve bu değişiklikler arasındaki bağlantı da incelenmelidir (Karaca et al., 2000). İlkbahar ve yazlarda, istatistiksel olarak anlamlı değişikliklerin görüldüğü birkaç istasyon vardır; bunlar da uyumlu bir bölgesel davranış göstermemektedir.

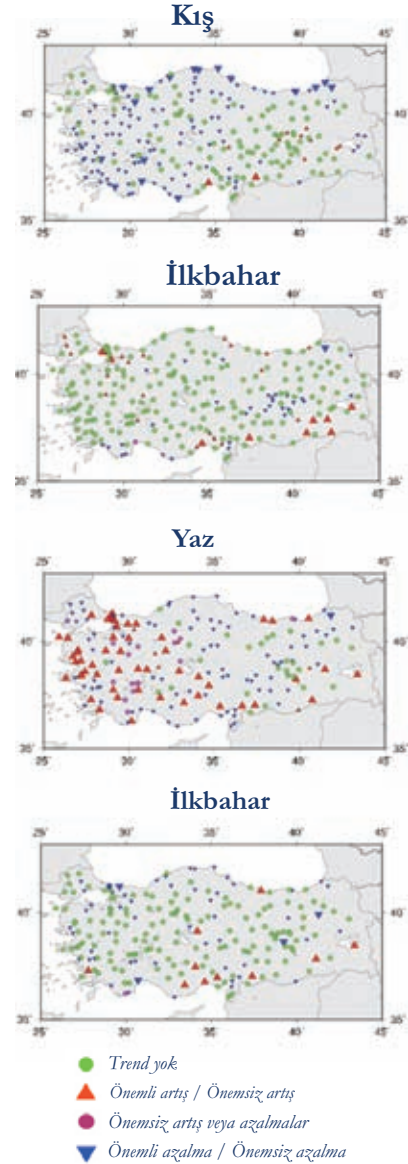


Şekil.2 1951-2004 dönemi için mevsimsel yağış trendleri.

### 3.1.2 Sıcaklık

Yağışla karşılaştırıldığında, sıcaklık meteoroloji istasyonlarında kolayca ve daha doğru bir biçimde ölçülebilecek bir değişkendir, bu nedenle ölçüm hatalarından kaynaklı belirsizlikler daha az önemlidir. Bununla birlikte, sıcaklıktaki iklim değişikliği sinyalleri genellikle şehirleşme etkileri ile kirlenir, çünkü Türkiye'de veya başka yerlerde yer alan istasyonların çoğu kademeli olarak şehrin yerleşim ve / veya ticari alanları ile çevrelenmektedir. Bu nedenle sıcaklık zaman serileri üzerindeki şehirleşme etkilerinden kaynaklı iklim değişikliği sinyalinin ayırt edilmesi zordur.

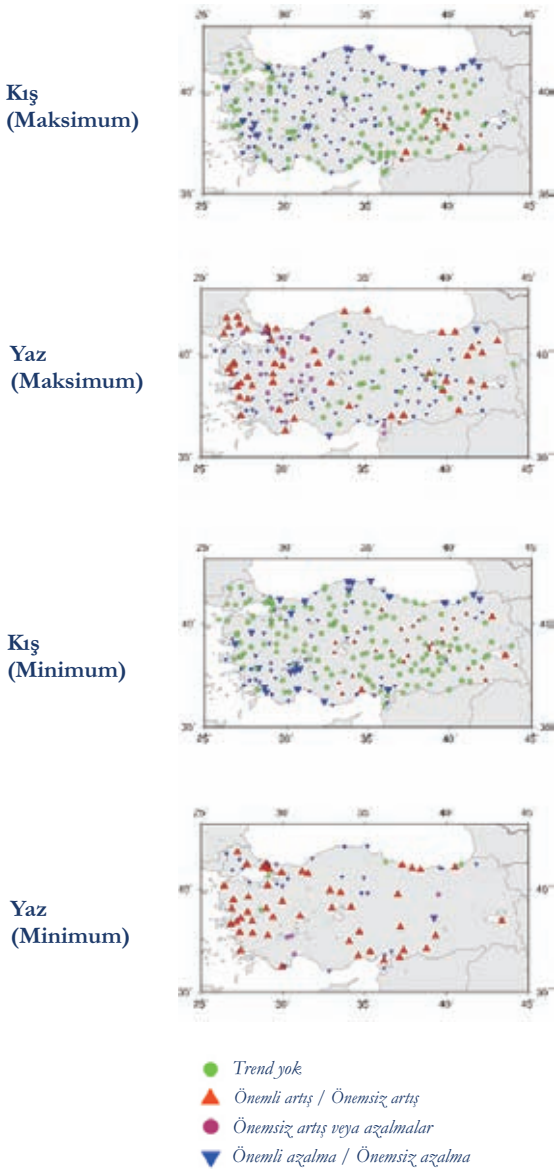
Şekil.3 1951 ve 2004 yılları arasında mevsimsel ortalama yıllık sıcaklık serisine uygulanan Mann- Kendall trend analizinin sonuçlarını göstermektedir. Gözlemlenebilecek en belirgin özellik yaz sıcaklıklarındaki yaygın artıştır. Yaz sıcaklıkları çoğunlukla Türkiye'nin batı ve güneybatı bölümlerinde artmaktadır. Kentsel ısı adası çalışmaları (örneğin Ezber et al., 2006, ve Karaca et al., 1995) şehirleşmenin bir sonucu olarak meydana gelen sıcaklık artışının en fazla yazın Akdeniz şehirlerinde, bölge yüksek basınç sistemlerinin etkisi altındayken fark edildiğini göstermektedir.



Şekil.3 1951-2004 dönemi için mevsimsel sıcaklık trendleri.

Dolayısıyla, Türkiye'nin batı istasyonlarındaki yaygın sıcaklık artışı, temel olarak bu olgu ile ilgili olabilir. Kış sıcaklıklarında genel bir azalma eğilimi göstermektedir. Daha önemli olanların sahil istasyonlarında yoğunlaştığı görülebilir. Geçiş mevsimlerinde, önemli eğilimlerin görüldüğü istasyonlar doğaları açısından genellikle seyrek ve bunlar tutarlı bir bölgesel davranış göstermezler.

Şekil.4 Kış ve yaz için mevsimsel maksimum ve minimum sıcaklık trendlerini göstermektedir. Kış için maksimum sıcaklıklar Karadeniz Bölgesinin sahil istasyonlarında aşağı yönlü trendler sergilemektedir ve orta Anadolu bölgesinde geniş bir azalma eğilimi gözlenmektedir (a). Bununla birlikte, yazın maksimum sıcaklıkların genel eğilimi özellikle de Türkiye'nin batısında artış yönündedir (b). Doğu Anadolu'daki birçok istasyon da maksimum sıcaklıkta önemli artışlar göstermektedir. Genel olarak, minimum sıcaklıklar hem kışın hem de yazın benzer dağılımlar göstermektedir. Kış minimumları yalnızca kuzey ve güney sahil bölgelerinde önemli azalmalar göstermektedir (c). Yaz minimumları çalışmada dikkate alınan dönem içerisinde gözlem yapan neredeyse tüm istasyonlarda önemli artış trendleri göstermektedir (d).



Şekil.4 1951-2004 arasındaki dönem için mevsimsel maksimum ve minimum sıcaklık eğilimleri.

### 3.1.3 Yüzeysel Akışları

Yüzeysel akışları, yağış ölçümleri ile karşılaştırıldığında, ölçümler açısından daha az belirsizlik göstermektedir. Bununla birlikte, debi ölçerlerde akış kayıtlarının nispeten kısa süreli alınması ve sulama ve içme suyu amaçlı olarak nehirlerden alınan su oranları ve su alanı özellikleri zaman içerisinde değişebileceğinden, bunların tümü trend analizinde kullanılacak olan akış verilerinin kalitesini ve homojenliğini etkiler. Bu nedenle, yağıştaki ile aynı kalite kontrol ve homojenlik prosedürlerini akış verilerine uyguluyoruz ve testleri geçemeyen tüm istasyonları elimine ediyoruz.

Şekil.5 1969 ve 1998 yılları arasında çeşitli akış ölçüm istasyonlarında ölçülen yıllık yüzeysel akışları için trend analizi sonuçlarını göstermektedir. Bu rakamdan, akışın Türkiye'nin batı ve güneybatı bölümlerinde azalma eğilimleri gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir. Kuzey bölümlerde, akışın önemli artış gösterdiği birkaç istasyon mevcuttur. Bu dağılım tüm mevsimler için az çok aynıdır.



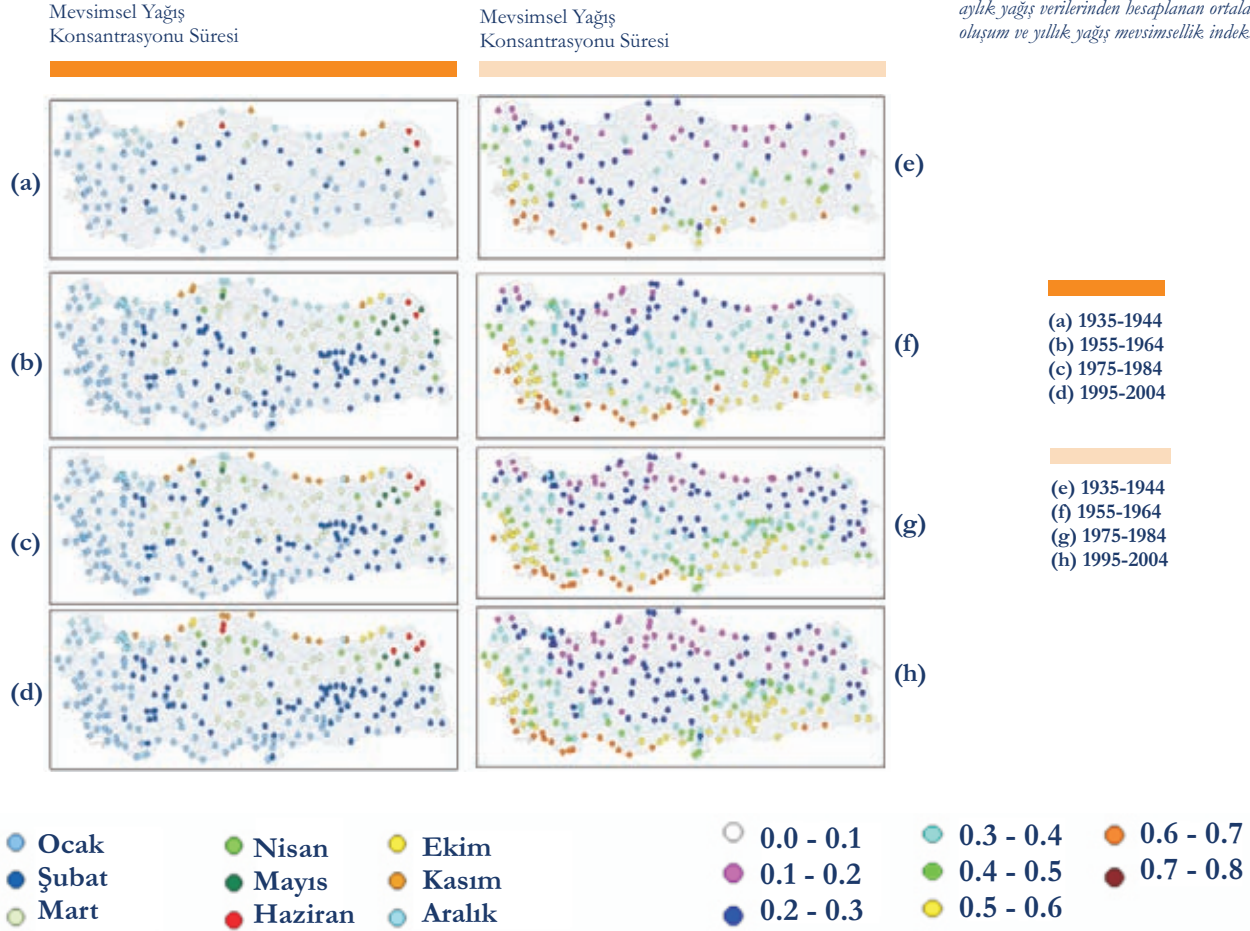
Şekil.5 Yıllık yüzeysel akışları için Mann- Kendall trend analizi.

### 3.2 Yağışın Mevsimsel Değişkenliği

Yağışın mevsimsel değişkenliği hidroklimatolojinin önemli bir yöndür, çünkü akış ve zemin suyunun yeniden şarj olması gibi diğer hidrolojik miktarların mevsimselliğini büyük ölçüde belirlemektedir (Dingman, 2002). Mevsimselliğin niceliksel olarak açıklanmasının yollarından biri Dingman (2002)'da tanımlandığı gibi mevsimselliğin dairesel istatistiklerle açıklanmasıdır. Mevsimselliğin ortalama meydana gelme zamanı ve mevsimsellik indeksi açısından karakterize edilmesi için aylık yağış verilerine dairesel istatistik yaklaşımını uyguluyoruz ve Türkiye'de yağış mevsimselliğinin geçmişte değişip değişmediğini araştırıyoruz. Şekil 6.10 yıllık süreler, yani 1935- 1944, 1955- 1964, 1975- 1984 ve 1995- 2004 için yağış konsantrasyonlarının hem süresini (a - d) hem de derecesini (e - h) göstermektedir.

Bu 10 yıllık mevsimsel haritalar 70 yıllık bir süre içerisinde yağışın mevsimselliğinde herhangi bir değişiklik meydana gelip gelmediğinin görülmesi için hazırlanmıştır. Şekil 6a, b, c ve d'den görülebileceği gibi, Türkiye genel olarak yağışının büyük bölümünü kışın almaktadır. Yağış, Türkiye'nin güney ve batı bölümlerinde Ocak ayında tepe noktasına varırken orta Anadolu'nun büyük bölümünde Şubat ve Martta, kuzey Marmara bölgesinde İstanbul da dahil olmak üzere Aralıkta, Karadeniz sahillerinde Ekim ve Kasım'da ve doğu bölgelerinde Mayıs ve Haziranda yağışta tepe noktaları gözlenmektedir.

Yağışın mevsimsel konsantrasyonunun derecesi Türkiye'nin Akdeniz ve Ege sahillerinde en yüksek noktadadır ve Karadeniz sahillerine doğru düşmektedir (Şekil 6e, f, g ve h). Bu çizimlerden, yağış mevsimselliğinin genel resminin son 70 yıl içerisinde sabit kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, istasyon seviyesine bakıldığında bazı değişiklikler fark edilebilir. Bu değişikliklerin çoğu bir ay ileriye veya geriye doğru kaymalar göstermektedir (a - d). Yağışın mevsimsel konsantrasyon derecesi Türkiye'nin orta bölümlerinde, bu analizde göz önüne alınan süre içerisinde düşmektedir (e - h).



Şekil.6 Dairesel istatistik yöntemleri kullanılarak aylık yağış verilerinden beslenen ortalama aylık oluşum ve yıllık yağış mevsimsellik indeksi.

#### 4. Metodolojik yaklaşımlar

##### 4.1 Dinamik ölçek düşürme

###### 4.1.1 RegCM3'ün kullanıldığı çalışmalar

RegCM3, İtalya Trieste'de bulunan Uluslararası Teorik Fizik Merkezi tarafından geliştirilen bir bölgesel iklim modelinin üçüncü versiyonudur ve bu model aynı merkezde tutulmaktadır. RegCM orijinal olarak, 1980lerde, Pennsylvania Devlet Üniversitesi Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCAR-PSU) Mesoscale Modeli versiyon MM4 temelinde oluşturulmuştur. O zamandan bu yana, modelin fiziğinde ve bunu iklim çalışmaları için popüler bir araç haline getiren ilgili yazılımda önemli gelişimler olmuştur.

RegCM3'ün kullanıldığı ölçek düşürme çalışmaları ekip üyelerimizden biri olan Barış Önal tarafından, Raleigh NC, ABD'de bulunan Kuzey Carolina Devlet Üniversitesi Deniz, Yer ve Atmosfer bilimleri Bölümünde gerçekleştirilmiştir.

Optimal bir yatay çözünürlüğün belirlenmesi için bir dizi test yapılmış ve 30 km'lik bir çözünürlük seçilmiştir. Bu biraz subjektif bir seçimdir; hesaplama kaynakları ve Türkiye'nin dağlık topografisi dikkate alınmalıdır. Gelecekte modeli daha küçük alanlar ve ilgili mevsimler için daha yüksek çözünürlüklerde kullanmayı ve böylece model sonuçları üzerinde topografinin etkisini değerlendirmeyi planlıyoruz. Aynı zamanda modelde kullanılan "fizik" için birçok opsiyon mevcuttur: Grell seması kümülüs parametrelerinin belirlenmesi için seçilmiş, Arakawa-Schubert ise kapanış seması olarak kullanılmıştır.

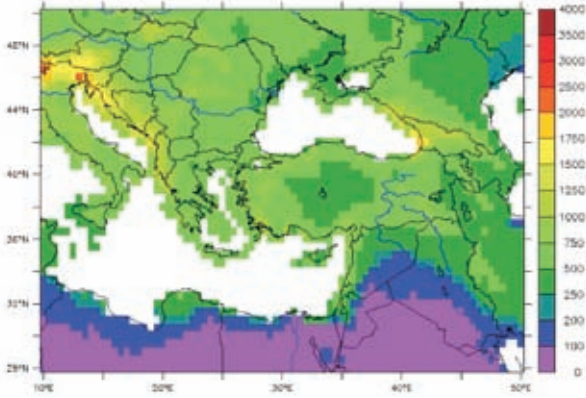
Şu anda iki simülasyon grubu gerçekleştirilmiştir: NCEP / NCAR yeniden analiz verileri ile sınırlarda gerçekleştirilen kontrol işlemleri ve A2 emisyon senaryosu ile NASA'nın Sonlu Hacim Genel Dolaşım Modelinden (fvGCM) zorlanan geleceğe yönelik simülasyonlar (Lin, 2004). Kontrol işlemleri "standart" 30 yıllık iklimsel dönemi, yani 1961-1990 dönemini kapsayacaktır. Geleceğe yönelik simülasyonlar 2071-2100 dönemini kapsayacaktır. Bu rapor yazılırken, her iki 30 yıllık simülasyon tamamlanmıştır ve analizler devam etmektedir.

Gözlemlerin (CRU TS 2.1 ızgaralı  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  veri seti, Mitchell, 2004) RegCM3 ölçek düşürme sonuçları ile karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkan çarpıcı konulardan biri, modelin yağışı, özellikle Karadeniz ve Doğu Adriyatik Denizi sahillerinde fazla tahmin etmiş olmasıdır (bkz. Şekil.7). Çeşitli "fizik" seçenekleri ile gerçekleştirilen birçok deneme sonucunda, bu özelliğin devamlı olduğu görülmektedir. Bu fazla tahmin sorununun yanı sıra, yağışın genel biçimleri kontrol çalışmalarında iyi bir şekilde simüle edilmiştir.

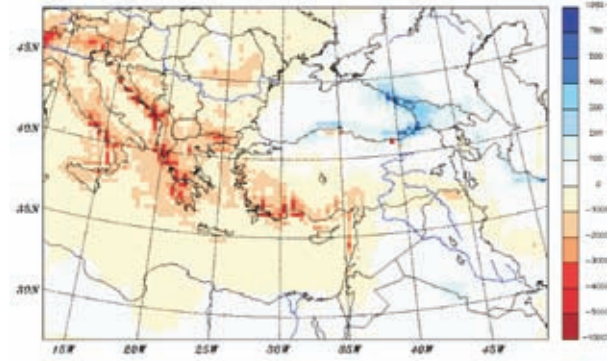
RegCM3 ile gerçekleştirilen geleceğe yönelik simülasyonlar SRES A2 emisyon senaryosu temelinde genel dolaşım yöntemi ile zorlanmıştır. RegCM3 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC11 ve CFC12'deki yıllık değişimleri dikkate almak üzere modifiye edilmiştir. Yatay çözünürlük yukarıda belirtildiği gibi 30 km'dir.

Bu simülasyonların sonuçlarından bazıları kontrol çalışmasından farklılıklar olarak Şekil.9 ve Şekil.10'da gösterilmiştir. Türkiye üzerinde odaklanıldığında, kışın tahmini sıcaklık artışının ülkenin doğu yarısında daha yüksek olduğu, yazın bu biçimin tersine döndüğü ve ülkenin batı yarısının, özellikle de Ege Bölgesinin 6°C'ye varan artışlar yaşadığı görülmektedir.

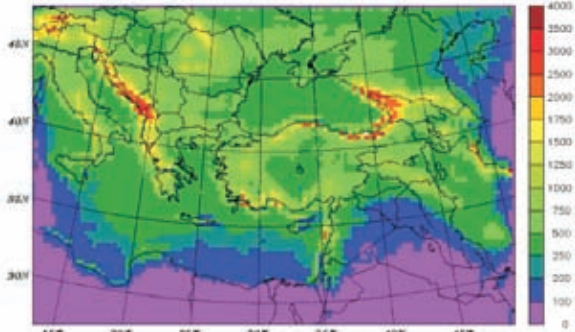
Yıllık Yağış CRU (1961 - 1970)



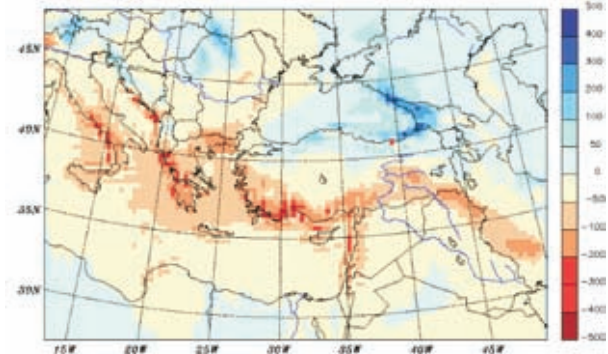
Yıllık Sıcaklık Farklılıkları (2071:2100 - 1961:1990 mm)



Yıllık Yağış Kontrolü (1961 - 1970)



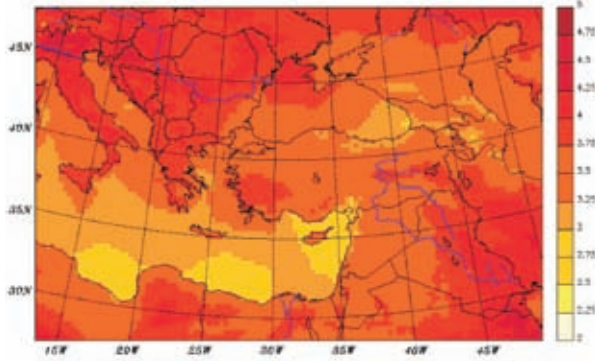
Kış Sıcaklık Farklılıkları (2071:2100 - 1961:1990 mm)



Şekil.7 Gözlemlenen ve modellenen toplam yıllık yağış karşılaştırılması.

Şekil.10 A2 çalışması (2071 - 2100) ve kontrol çalışması (1961- 1990) arasında toplam yıllık yağışta ve kış yağışında görülen farklılıklar.

Yıllık Sıcaklık Farklılıkları (2071:2100 - 1961:1990 mm)



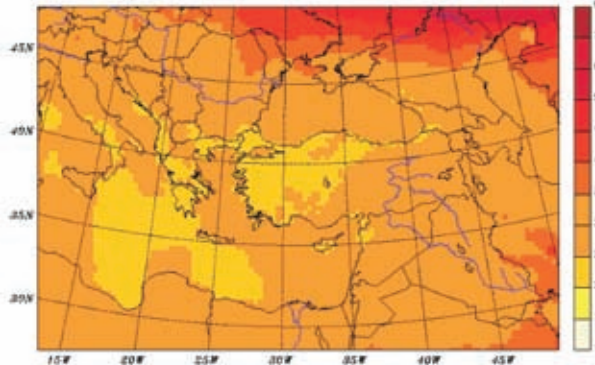
Yağıştaki farklılıklar Şekil.10'da gösterilmiştir. Genel olarak, Ege ve Akdeniz sahilleri boyunca yağış azalmakta ve Karadeniz Sahili boyunca artmaktadır. Orta Anadolu yağış konusunda ya çok az değişim göstermekte ya da hiç göstermemektedir. En şiddetli (mutlak) azalmalar güneybatı sahilinde gözlemlenecektir; bunun aksine, Kafkas sahili bölgesinin çok daha fazla yağış alması beklenmektedir. Bu gözlemler hem yıllık hem de kışa ait toplamlar için geçerlidir.

Şekil.11 kar suyu eşdeğerindeki değişikliği göstermektedir. Şekilden görülebileceği üzere, Doğu Anadolu'nun yüksek ovalarında ve Karadeniz dağlarının doğu bölümünde 200 mm'ye kadar azalma görülmektedir. Bu, Fırat- Dicle havzasındaki akışta bir azalma olması anlamına gelmektedir. Doğu Akdeniz bölgesinde önemli nedeniyle su kaynakları üzerinde çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir, ancak bunların hiçbirisi gelecekteki iklim değişikliğinin rolü üzerinde odaklanmamıştır. Fırat ve Dicle gibi sınır ötesi akarsular yalnızca evsel ve endüstriyel kullanım için değil, aynı zamanda enerji için de bölgenin ana su kaynaklarıdır. Son 30 yıl içerisinde, Fırat- Dicle sistemi üzerinde, önemli arazi kullanımı değişikliklerine yol açan çok sayıda baraj ve sulama sistemi inşa edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın sonucu, bölgedeki su kaynakları ve dolayısıyla da su üretimi ve tarımsal verim için önemli etkilere sahip olabilir.

#### 4.1.2 MM5'in kullanıldığı çalışmalar

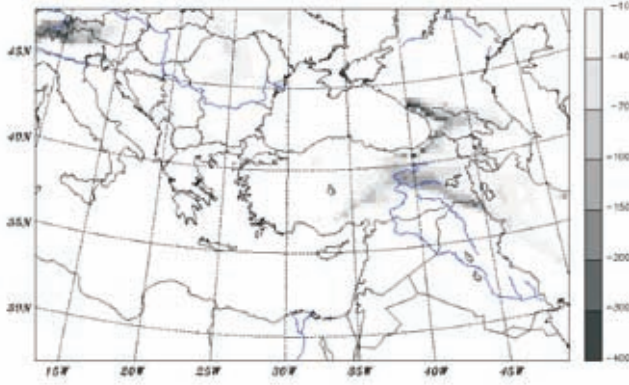
MM5 ölçek düşürme çalışmalarımız için ana araçtır. Her ne kadar orijinal olarak sınırlı alan, mezoskala hava tahmini görevleri için düşünülmüşse de, bölgesel iklim modelleme amaçları için geniş bir şekilde kullanılmıştır.

Kış Sıcaklık Değişimi (2071:2100 - 1961:1990 mm)



Şekil.9 A2 çalışması (2071 - 2100) ve kontrol çalışması (1961-1990) arasında yıllık sıcaklıklarda ve kış sıcaklıklarında görülen farklılıklar.

### Kış Kar Kalınlığı Farklılıkları (A2 - Control)



Şekil.11 Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları: kar suyu eşdeğerindeki değişiklikler (mm cinsinden) (Önal ve Semazgi, 2006).

Mevcut MM5 tabanlı simülasyon serisi üç alan seviyesini içerecek şekilde tasarlanmıştır (bkz. Şekil.12): yatay çözünürlüğü 81 km olan bir kaba (ana) alan (D01) kullanılmıştır ve Doğu- Batı, Kuzey- Güney ve dikey yönlerde sırasıyla 75, 60, 23 ızgara aralıkları vardır. İkinci alanın (D02) ızgara aralığı 27 km olup tüm Türkiye'yi ve yakındaki denizleri ve ülkeleri kapsar. Doğu Batı, Kuzey- Güney ve dikey yönlerde sırasıyla 118, 79, 23 ızgara aralıklarından meydana gelir. Bununla birlikte iç alan (D03 ve D04) çözünürlükleri, özellikle alanın arazi kullanım türleri hakkında daha fazla detay yakalamak için 9 km olarak seçilmiştir. Üçüncü alan (D03) Türkiye'nin Marmara Bölgesinde 46, 34, 23 ızgara aralıkları ile yer alırken dördüncü alan (D04) Doğu Türkiye'de, Doğu-Batı, Kuzey- Güney ve dikey yönlerde, sırasıyla 82, 58, 23 ızgara aralıkları ile bulunmaktadır. Bu çalışmanın amaçları dahilinde, tüm alanlar aynı fizik konfigürasyonuna sahiptir.



Şekil.12 MM5'in kapsadığı simülasyon alanları

1961- 1990 arasındaki iklimsel referans dönemin simülasyonu halen devam etmektedir.

#### 4.2 İstatistiksel ölçek düşürme

1980'lerin sonlarından bu yana, birçok çalışma kaba GCM simülasyon sonuçlarının etki çalışmaları için anlamlı ölçeklere istatistiksel olarak indirilmesi sorununu hedef almıştır. En basit lineer regresyon şemalarından suni nöral ağları içeren sofistike şemalara kadar çok sayıda metodoloji uygulanmıştır (örneğin bkz. Tatlı et al., 2004 ve Tatlı et al., 2005).

İstatistiksel ölçek düşürmenin özü ilk olarak geniş ölçekli atmosferik alanların istasyon ölçeğinde iklim parametreleri ile ilişkilendirilmesini sağlayan istatistiksel modellerin geliştirilmesi ve daha sonra bu modellerin bu parametrelerde “gelecekte” meydana gelecek değişikliklerin tahmin edilmesinde kullanılmasıdır.

Bu işlem aşağıdakiler hakkında kararları içerir:

- Tahmin amaçlı olarak kullanılacak olan 'Geniş ölçekli' atmosferik alanlar;
- Tahmin edilecek yerel iklim parametreleri için istasyon veya “küçük ölçekli” ızgara verileri (yani prediktanlar);
- Verilerin ve model yapısının ön işleme için matematiksel çerçeve.

Bu rapor kapsamındaki süre için, çabaların büyük bölümü, istatistiksel ölçek düşürme uygulamalarımız için ilk olarak dikkate alınacak olan uygun metodolojilerin seçimine dahil edilmiştir. Şu anda, bu tür iki yaklaşım uygulamaktayız:

#### Çoklu lineer regresyon (MLR):

Çoklu lineer regresyon temelindeki model (von Storch ve Zwiers, 1999), bağımlı bir değişken (prediktan) ve bir veya daha fazla bağımsız değişken (prediktör) arasında lineer bir ilişkinin oluşturulması amacıyla bir transfer fonksiyonu olarak kullanılır.

#### Kanonik Korelasyon Biçimleri (CCP):

İki tek değişkenli zaman serisi arasındaki korelasyon Pearson'un korelasyon katsayısı ile ifade edilir. CCA, iki tek değişkenli zaman serisi arasında korelasyon kurmak için kullanılabilir olan bir yöntemdir. Ampirik ortogonal fonksiyon (EOF) veya temel bileşen analizi ile analoji yoluyla anlaşılabilir.

EOF analizi tek bir çok boyutlu veri seti arasındaki biçimlerin bulunması için çaba gösterir; bu biçimler verilerdeki değişikliklerin büyük bölümünden sorumlu kabul edilmektedir. Değişkenler zaman serileri ise, bu biçimler aynı zamanda, zamandaki her bir gerçekleştirme için biçimin gücünü gösteren zaman sabitlerine sahiptir (temel bileşenler, burada bundan sonra PC'ler olarak anılacaktır). Diğer taraftan CCA, iki veri setinden her birindeki biçimleri bulmaya çalışır, böylece ilk veri setinin ilk biçimine ait zaman sabiti ve ikinci veri setinin ilk biçimi arasındaki korelasyon en yüksek değerdedir. İkinci en yüksek korelasyonun her bir veri setinin ikinci biçimleri arasında olduğu kabul edilir ve böyle devam eder. Sonunda, zaman sabitleri optimal korelasyona sahip olan bir biçim çifti bulunur, yani çiftler eş zamanlı olarak meydana gelme eğilimi gösterir (Barnett ve Preisendorfer, 1987; Xoplaki et al., 2002).

Bir biçim çifti kanonik korelasyon analizi çifti (burada bundan sonra CCA çifti) olarak adlandırılır. Biçimlerin zaman katsayıları kanonik korelasyon değişkenleri (CCV'ler) olarak adlandırılır. Kanonik korelasyon katsayısı, bu CCV'ler arasındaki Pearson'un korelasyon katsayısıdır. Kanonik biçimler yalnızca eş zamanlı olmaları nedeniyle değil aynı zamanda orijinal veri setlerinin değişiminin büyük bir bölümünü temsil etmeleri açısından da değerlidir.

#### 5. Türkiye için Deniz Seviyesindeki Yükselme

Türk sahillerinin büyük bölümünde, genel olarak kabul edilen deniz seviyesi yükselmesi aralığında (1-2 mm/yıl) deniz seviyesi değişiklikleri görülecektir. Deniz seviyesi yükselmesinin 1-2 mm/yıldan daha az olduğu alanların (örneğin Samsun-Antalya) tektonik yükselme geçirdiği varsayılmaktadır, çok sayıda geniş nehir deltası küresel yükselmeden çok daha fazla deniz seviyesi yükselmeleri yaşamıştır. Bu alanların çökme geçirdiği varsayılmaktadır. Türkiye'deki deniz seviyesi değişikliklerinin uzun vadeli eğilimlerini konu alan çalışmalar için sistematik bir araştırma yapılmamıştır. Türkiye'de deniz seviyesi ölçümleri 1974 yılından beri yapılmakta olup en güvenilir seri 1986 yılında, Akdeniz'de Antalya'da, Ege Denizi'nde Bodrum'da, Marmara Denizinde Erdek'te ve Karadeniz'de Samsun'da başlatılmıştır (Karaca, 2001).

Son yüzyıl için küresel deniz seviyesi yükselmesinin 10 ve 20 cm arasında olduğu tahmin edilmiştir. Akdeniz ve Karadeniz bölgeleri için, deniz seviyesi yükselmesinin son yüzyıl içerisinde 12 cm civarında olmuştur. Her ne kadar sahil şehirleri Türkiye'nin toplam yüzey alanının % 5'inden azını kapsamaktaysa da, 30 milyondan fazla insan sahil alanlarında yaşamaktadır.

Türkiye'nin GSMH'nın % 60'tan fazlası Marmara Denizinin kuzey sahil hattı boyunca Tekirdağ'dan Kocaeli'ye uzanan sahil şeridinde üretilmektedir (DPT, 2001). Karaca'ya göre (2001), IPCC CZMS (1992) Ortak Metodolojisi, 1-m ASLR senaryosu kabul edilerek hem Türkiye hem de İstanbul şehri için uygulandığında, Türkiye düşük riskli ülkeler sınıfında yer almaktadır, ancak İstanbul yüksek risk değerlerine sahiptir. Zarara açıklık (Vulnerability) analizinin ön değerlendirmesi sermaye kaybı için GSMH'nın % 6 kadarını ve ülkenin koruma ve adaptasyon maliyetleri için de % 10 kadarını vermektedir.

## 6. Gelecekte yapılacak İşler

RegCM3 temelli çalışmalar devam edecek ve aşağıdakileri içerecektir:

### (i) Kapsamlı temel çalışma analizleri (1961-1990):

Klimatolojik referans dönem 1961- 1990 için Model çıktısı ızgara yüzeyi sıcaklığı ve yağış verileri (CRU'dan – East Anglia Üniversitesi İklim Araştırma Birimi – İngiltere elde edilen) ile karşılaştırılacaktır.

### (ii) FVGCM A2 senaryosunu temel alan çalışmaların kapsamlı analizi:

Uzun vadeli ortalama iklim, yıllar arası değişkenlik, atmosferik biçim indisleri (NAO – Kuzey Atlantik Osilasyon İndeksi gibi) iyice incelenecektir.

Farklı küresel iklim modelleri temelinde model seçimi aracılığı ile ikinci bir çalışma grubu henüz tamamlanmamıştır.

MM5 temelli çalışmalar geliştirilmektedir ve aşağıdakileri içerecektir:

(i) Tüm alanlar için taban (1961-1990) referans çalışmalarının tamamlanması;

(ii) En az iki küresel iklim modelinden elde edilen çıktılar temelinde geleceğe yönelik iklim simülasyonları

Bu simülasyonlar D1, D2 alanları için ve D3 seviyesindeki alanların bir seçimi için gerçekleştirilecektir. Seçim su kaynakları, ekosistemler, tarım vs. alanlarda etki değerlendirmesi hakkında çalışan ekiplerle koordinasyon içerisinde yapılacaktır. Geniş ölçekli özelliklerin lokal ölçekli parametrelerle bağlantılandırılması ve bu modellerin tarihsel verilerle kalibre edilmesi ve doğrulanması amacıyla istatistiksel modeller geliştirmeye devam etmeyi planlıyoruz. Bu modeller daha sonra dinamik ölçek düşürme için bölgesel iklim modellerine sınır koşullar olarak kullanılanla aynı küresel ölçekli iklim modeli çıktısına uygulanabilir.

Çalışmanın bu safhasında, iklim parametrelerinin ortalama değerleri ile ilgili değişiklik bilgilerini elde etmeyi planlıyoruz, ancak ekstrem değer istatistikleri için modellerin geliştirilmesine yönelik çabalar da gösterilecektir.

## 7. Teşekkürler

Bu raporun yazarları araştırma ekibi üyelerinin katkıları için teşekkür etmek istemektedirler. Katkıda bulunan isimler: Deniz Bozkurt, Tayfun Kindap, Barış Önal, Ozan Mert Göktürk, Ufuk Utku Turunçoğlu.

Bu proje boyunca Barış Önal'a Raleigh, Kuzey Caroline ABD'de bulunan Carolina Devlet Üniversitesinde Profesör Fredrick Semazzi ev sahipliği yapmış ve kısmi destek vermiştir.

## Referanslar

- [1] Barnett T. P., Preisendorfer R. W. 1987: Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States air temperatures determined by canonical correlation analysis. Monthly Weather Review 115, 1825-1850.
- [2] Bozkurt, D. and Göktürk, O. M., "Homogenization of Turkish Precipitation and Streamflow Datasets", General Assembly of European Geophysical Union, Vienna, Austria, 2-7 April 2006.
- [3] Coppola E. and Giorgi, F., 2005: Climate change in tropical regions from high resolution time slice AGCM experiments, Quarterly Journal, accepted.
- [4] Dingman, S.L., 2002, "Physical Hydrology", 2nd ed., Prentice-Hall, 646 pp.
- [5] DPT (State Planning Organization), 2001, "Economic and Social Indicators", www.dpt.gov.tr.
- [6] Ezber, Y., Sen, O.L., Kindap, T., and Karaca, M., 2006, "Climatic Effects of Urbanization in Istanbul: A Statistical and Modeling Analysis", Int. J. of Climatol, accepted.
- [7] Hanssen-Bauer, L. and Forland, J., 1994, "Homogenizing long Norway precipitation series", J. Climate, 7, 1001-1013.
- [8] IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK
- [9] IPCC CZMS, 1992, "Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea", Published for IPCC, Geneva, by Ministry of Transport, Public Works and Water Management, the Hague, Netherlands, 35p.
- [10] Karaca, M., Tayanç, M. and Toros, H., 1995, "Effects of Urbanization on Climate of Istanbul and Ankara: A First Study", Atmospheric Environment, Part B: Urban Atmosphere, 29, No: 23, 3411-3421.
- [11] Karaca, M., A. Deniz, and M. Tayanç, 2000, "Cyclone Track Variability over Turkey in Association with Regional Climate", Int. J. of Climatol., 20, 1225-1236.
- [12] Karaca, M., 2001, "Overview of Preliminary Accelerated Sea-Level Rise Studies on Turkey", Proceedings of SURVAS Overview Workshop on the Future of Vulnerability and Adaptation Studies" London, 28-30 June 2001, pp. 15-16.
- [13] Lin, S.-J., 2004: A vertically Lagrangian finite-volume dynamical core for global models. Mon. Wea. Rev., 132, 2293-2307.
- [14] Mitchell, T.D., 2004: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high resolution grids. About to be submitted.
- [15] Tati, H., H. N. Dalfes and S. S. Menteş, 2004: A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey, Int. J. Climatol., 24, 161-180.
- [16] Tati, H., H. N. Dalfes and S. S. Menteş, 2005: Surface air temperature variability over Turkey and its connection to large scale upper air circulation via multivariate techniques, Int. J. Climatol., 25, 331-350.
- [17] von Storch, H., 1999: On the Use of "Inflation" in Statistical Downscaling, Journal of Climate, 12, 3505-3506.
- [18] von Storch H., Zwiers F. W. 1999: Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- [19] Wilks, D.S., 1995: Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, 467 pp.
- [20] Xoplaki E., Gonzalez-Rouco J. F., Luterbacher J. 2002: Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large scale atmospheric circulation and SSTs. Climate Dynamics, 20, 723-739.