



T.C.

ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



**ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KLİMATOLOJİ ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ'NÜN
2013 YILINDA DÜZENLENEN ÇEŞİTLİ
SEMPOZYUMLARDA SUNDUĞU
MAKALELER**

ANKARA, 2013

T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
METEOROLOĞI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KLİMATOLOĞI ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ'NÜN
2013 YILINDA DÜZENLENEN ÇEŞİTLİ SEMPOZYUMLARDA SUNDUĞU
MAKALELER

ANKARA, 2013

Önsöz

İklim oldukça geniş bir bölge içinde ve uzun yıllar değişmeyen ortalama hava koşullarıdır. Bir yerin iklimi, temel olarak enlemi, deniz seviyesinden olan yüksekliği ve okyanusa olan mesafesi ile belirlenir. İklimin standart ortalama süresi 30 yıl olmakla birlikte diğer süreler amaca bağlı olarak kullanılabilir. İklim; belirli bir zaman aralığında, belirli bir yer için atmosferin kolektif durumu olarak da tanımlanmaktadır. Kolektif durum istatistik kümelerin bir kısmı temelinde sınıflandırılır. En yaygın istatistik ortalamadır. İklim tanımları atmosfer gözlemleri ile yapılır ve sıcaklık, yağış, basınç, rüzgâr vb. meteorolojik parametrelerin ortalamaları ve uç değerleri ile tanımlanır.

İklim tanımları atmosfer gözlemleri ile yapılır ve sıcaklık, yağış, basınç, rüzgâr vb. meteorolojik parametrelerin ortalama ve aşırı değerleri ile tanımlanır. Dünya'nın var olduğu tarihten günümüze kadar ki yaşam süresi incelendiğinde, Dünya ikliminin onlarca, yüzerce ve binlerce yıllık farklı döngülere sahip olduğu görülmektedir. Bu döngüler ise iklimde soğuma ve ısınma dönemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Aletli gözlemler, yani meteorolojik ölçümler 1860'lı yıllardan itibaren yapılmaya başlamıştır. Ölçümlerin olmadığı zaman dilimine karşılık gelen iklim bilgileri ise, tarihsel-iklimbilimciler (paleo-klimatolojistler) tarafından vekil veriler kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Vekil veri buz havuçları, ağaç halkası, lösler, sedimentler vb. doğal tarihsel yeryüzü veri kayıtlarıdır. Vekil verilerin güvenilirliği yaklaşık %60 civarındadır.

İklim verileri ulusal meteorolojik miraslardır, şöyle ki: Tahmin ve uyarılar kısa raf ömürlü iken iklim verileri yüz yıllar boyu veya daha uzun süre kalıcıdır. İklim verileri ulusal mirasın bir parçasıdır. Veriler, gelişmiş bilgisayarlar ve algoritmalarla, gelecek yıllarda da hassas detayları ile tekrar tekrar dikkatli bir şekilde gözden geçirilmeye devam edecektir. Birçok yönden, ulusal meteoroloji servisleri gelecek kuşaklara bıraktıkları kayıtların kalitesi ile sorgulanacaklardır.

İklim, Dünya’da atmosferin oluşmasından beri, Dünya’nın şekillenmesinde etkili olmuştur. Sadece Dünya’nın fiziki olarak şekillenmesinde değil aynı zamanda Dünya’nın misafiri olan insan, hayvan ile bitki türlerinin yeryüzündeki dağılımı ve çeşitliliğinde de en önemli role sahiptir. Özellikle insanların giyiminden beslenmesine, yerleşimlerinden tarımına, kültürlerinden ekonomisine ve kırsalından şehirlerine kadar insanın olduğu her sektörde bu etkiyi ve bu etkiye karşı insanların geliştirdiği çözümleri görmek mümkündür.

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.

İklim değişikliği, “*nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değişiklikler*” biçiminde tanımlanmaktadır. Dünyamızın bugüne kadarki tarihi boyunca, yaklaşık 4,5 milyarlık bir periyotta iklim sisteminde, milyonlarca yıldan yıllık dönemlere kadar tüm zaman ölçeklerinde doğal etmenler ve süreçlerle birçok değişiklik olmuştur. Jeolojik devirlerdeki iklim değişiklikleri, özellikle buzul hareketleri ve deniz seviyesindeki değişimler yoluyla yalnızca dünya coğrafyasını değiştirmekle kalmamış, ekolojik sistemlerde de kalıcı değişiklikler meydana getirmiştir.

Günümüzde sözü edilen küresel iklim değişikliğine, fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımı değişiklikleri, ormansızlaştırma ve sanayi süreçleri gibi insan etkinlikleriyle atmosfere salınan sera gazı birikimlerindeki hızlı artışa bağlı olarak doğal sera etkisindeki artışın neden olduğu düşünülmektedir. Yeryüzünden geri yansıyan uzun dalga ışınların bir bölümü, bulutlarca ve atmosferdeki sera gazları tarafından (su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O), ozon (O₃), vb) soğurulur. Sera etkisi dünya ısı dengesi için gerekli doğal bir mekanizmadır. Fakat insan etkileriyle atmosfere salınan ilave gazlar atmosferi beklenenden daha fazla ısıtır. Sera gazı salımlarındaki bu artış, özellikle

1750'li yıllardan itibaren, yani sanayi devriminden bu yana net olarak gözlemlenmektedir. En önemli sera gazı olan CO₂'nin atmosferdeki birikimi sanayi öncesi dönemde yaklaşık 280 ppm'den (milyonda bir parçacık) 2012 yılında 400 ppm'e yükselmiştir. Sanayi öncesi dönemde yaklaşık 715 ppb olan CH₄ birikimi, 2005 yılında ise 1774 ppb'e çıkmıştır. Küresel atmosferik diazotmonoksit birikimi %18 oranında artış göstermiş ve sanayi öncesi yaklaşık 270 ppb'den 2005 yılında 319 ppb'ye çıkmıştır.

Buna paralel olarak, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (BMİDÇS) iklim değişikliği, *“karşılaştırılabilir bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik”* biçiminde tanımlanmaktadır.

İklim değişikliği yalnızca iklim bilimi ile uğraşanların değil aynı zamanda iklim değişikliğinden etkilenecek insan ve doğa merkezli tüm paydaşların bir sorunu olarak karşımızda durmaktadır. İnsanlığın karşısında iki seçenek bulunmaktadır. Bu seçenekler; iklim değişikliğini önlemek ya da ortaya çıkacak değişikliklere karşı uyum mekanizmaları geliştirmektir. İklim değişikliği konusunda çözüm için politik ve bilimsel çalışmaların yapıldığı her iki seçenek için de temel soru “Ne kadar?” ’dır. Bu sorunun cevabı ise geliştirilen iklim senaryoları ve sayısal iklim modelleri ile verilebilmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı'nda faaliyet gösteren Klimatoloji Şube Müdürlüğü, çalışma sahası olan iklim bilimi kapsamında, iklimin dün, bugün ve yarın konularında, hem Türkiye hem de Doğu Akdeniz İklim Merkezi'nin kapsadığı bölge için iklim hizmetleri sunmaktadır. İklimimizin geçmişi konusunda iklim indisleri eğilim çalışmalarını, bugün için aylık, mevsimlik ve yıllık izleme çalışmalarını ve gelecek için iklim senaryolarının kullanıldığı bölgesel iklim modelleri ile öngörü çalışmalarını yürütmektedir. Ayrıca iklimimize doğrudan etkisi olan ozon tabakası ve UV Radyasyonu için de ölçme, izleme ve değerlendirme çalışmalarını gerçekleştirmektedir.

Klimatoloji Şube Müdürlüğü; 2013 yılında İstanbul'da düzenlenen 6. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, İklim Değişkenliği, Tahminler ve Hizmetleri Uluslararası Eğitim Çalıştayı ve Sempozyumu ile Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde düzenlenen İklim Değişikliği İzleme ve Değerlendirme Çalıştayı'na katılım sağlamıştır. Adı sayılan çalışmalarda; Türkiye için tarihsel iklim analizleri, iklim izleme, iklim modelleri ile yeni senaryoların gelecek için analizi ve ozon konularında yapmış olduğu yeni çalışmaları paylaşmışlardır.

Klimatoloji Şube Müdürlüğü, günümüzde iklimimizin daha iyi anlaşılması için yapmış olduğu çalışmaları bu kitapçıkta toplayarak iklim kullanıcılarının faydasına sunmaktadır.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa No |
|--|-------------|
| ÖNSÖZ | ii |
| İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARINDA YENİ DÖNEM: PARALEL YAKLAŞIM VE TEMSİLİ KONSANTRASYON ROTALARI (RCPS) | 1 |
| RCP4.5 SENARYOSUNA GÖRE TÜRKİYE’DE SICAKLIK ve YAĞIŞ PROJEKSİYONLARI | 22 |
| İKLİM NORMALLERİ VE 1981-2010 SICAKLIK NORMALLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE TOPOGRAFYA KULLANARAK YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ GRID VERİ SETİNİN ÜRETİLMESİ | 35 |
| İKLİM NORMALLERİ: ÜÇ SICAKLIK NORMALİNİN İLİŞKİLERİ VE UZAMSAL DAĞILIMLARI | 52 |
| 2012 TEMMUZ AYINDA YAŞANAN SICAK HAVA DALGASI | 72 |
| 1960 - 2010 YILLARI ARASI TÜRKİYE İKLİM İNDİSİ TRENDLERİ | 86 |
| TOMS VE OMI UYDU TÜRKİYE OZON VERİLERİNİN CBS ÜRÜNLERİYLE ANALİZİ (1979-2012) | 101 |
| TÜRKİYE ÜZERİNE GELEN HAVA KÜTLELERİNİN ANKARA’NIN TOPLAM OZON KALINLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ | 116 |

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARINDA YENİ DÖNEM: PARALEL YAKLAŞIM VE TEMSİLİ KONSANTRASYON ROTALARI (RCPS)

Alper AKÇAKAYA, Hakkı ATAY, Ömer DEMİR

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara
aakcakaya@mgm.gov.tr, hatay@mgm.gov.tr, omerdemir@mgm.gov.tr

ÖZET

Senaryo, gelecekteki bazı olayları resmeden hikayelerdir (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 senaryosunun en önemli bileşenlerinden birini teşkil etmektedir. IPCC'nin Eylül 2007'de düzenlediği geniş katılımlı "Uzmanlar Toplantısı"nda, 5. Değerlendirme Raporu'nda kullanılacak iklim değişikliği senaryoları için yeni bir proses yaklaşımı ve bu kapsamda yeni bir emisyon/konsantrasyon senaryo seti oluşturmaya karar verilmiştir. Çalışmada, halen hazırlıkları süren 5. IPCC Değerlendirme Raporunda yer alacak yeni konsantrasyon senaryoları (RCPS: Representative Concentration Pathways) tanıtılmaya çalışılmış olup gelecekteki iklim değişikliği araştırmalarına rehberlik edecek "Uzmanlar Toplantısı" sonuç raporunun ilgili diğer yayınlarla birlikte genel bir tahlili niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Senaryo, iklim senaryosu, uzmanlar toplantısı, RCPS, IPCC Değerlendirme Raporu.

NEW EPOCH OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS: PARALLEL APPROACH AND REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS (RCPs)

ABSTRACT

Scenario is a story that depicts some future event (Gregory ve 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 al, 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 component of climate change studies. In the expert meeting of IPCC held in 2007, September in Netherlands, It was decided that new process approach and new emission/concentration scenario set would be developed for building of new climate change scenarios to use in liable 5. IPCC Assessment Report. In this study, we tried to explain the new approach and new concentration scenarios mentioned above. In the final analysis, It might be said that this is a general dissection of "IPCC Expert Meeting Report" and other studies related to new approach of climate change scenarios to guide future studies.

Key words: Scenario, climate scenario, expert meeting, RCPs, IPCC Assesment Report.

1. GİRİŞ

Senaryo, geleceğin hayali olarak canlandırılması veya alternatif gelecek durumların tasvir edilmesidir. Buna rağmen senaryo, tahmin ile karıştırılmaktadır. Senaryo geleceğin tahmini değil, olması muhtemel alternatif durumların ortaya konmasıdır (IPCC, 2000). Senaryolar, iklim gibi yüksek belirsizliğe sahip karmaşık sistemlerin gelecekteki muhtemel gelişiminin anlaşılması ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Genel olarak ölçülebilen değişkenlere, fiziksel ve kimyasal süreçlere sahip olması iklimi modellenen kılarken, karmaşık bir sistem olması, gelecekte yaşanması muhtemel iklim değişikliklerinin saptanabilmesi için iklimi doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen faktörlerle ilgili senaryolar üretmeyi gerektirmektedir. Örneğin atmosferdeki ısı bütçesi, yani güneş enerjisi iklimi doğrudan etkilerken, sera gazları bu enerji bütçesini farklı şekillerde etkilediğinden, dolaylı olarak iklimi de etkilemektedir. Sera gazları Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) 1. maddesinde “hem doğal, hem de insan kaynaklı olup atmosferdeki, kızıl ötesi radyasyonu emen ve tekrar yayan gaz oluşumları” olarak tanımlanmıştır (Tablo-1). Bu gazlar güneşten dünyamıza gelen ısıyı atmosferde hapsederek sıcaklıkların yükselmesine, dolayısı ile olması gerekenden farklı bir iklim durumunun oluşmasına neden olmaktadır. Emisyon, sera gazlarının ve/veya bunlara kaynaklık yapan öncül maddelerin belirli bir alanda ve zaman diliminde atmosfere salınması olarak tanımlanmaktadır (UNFCCC,1992). Konsantrasyon ise belli bir zamanda atmosferde bulunan sera gazlarının ppm cinsinden oransal değerini belirtir.

Tablo-1. Sera Gazları (Kyoto Protokolü,1998)

| Sera gazları |
|---|
| 1. Karbondioksit (CO ₂) |
| 2. Metan (CH ₄) |
| 3. Azot oksitler (N ₂ O) |
| 4. Hidro-floro-karbonlar (HFCs) |
| 5. Perfloro-karbonlar (PFCs) |
| 6. Sülfür heksa florür (SF ₆) |

Yukarıda yapılan açıklamalar doğrultusunda, gelecekteki iklim değişikliğinin etkilerinin saptanması için iklimin duyarlı olduğu sera gazları ve kirleticilerin atmosferdeki konsntrasyonları hakkında bazı ön fikirlerimizin olması gerekmektedir. Bu noktada sera gazı emisyon senaryoları; arazi kullanımı ve arazi örtüsü ile birlikte aerosoller, diğer kirleticiler ve sera gazlarının atmosfere salımları ile ilgili gelecek durumu açıklamaya çalışır ve iklim modellerine girdi sağlar. Emisyon senaryoları gelecekte meydana gelmesi muhtemel ekonomik durum, popülasyon durumu, teknolojik gelişme ve diğer faktörlere göre şekillendirilen varsayımlara dayanmaktadır. Bu yüzden gelecek emisyon seviyeleri yüksek oranda belirsizlik içerir. Dolayısı ile senaryolar, gelecekteki emisyonların nasıl şekilleneceği konusunda tek bir sonuç yerine alternatifli sonuçlar ve projeksiyonlar sunar. Senaryolar, ayrıca, zorlayıcı faktörlerin, gelecek emisyon seviyelerini nasıl etkileyeceği ve bununla ilgili belirsizliklerin nasıl değerlendirileği ile ilgili uygun bir araç olarak işlev görmektedir. En önemli işlevleri ise, uyum, azaltım ve etki değerlendirme ile iklim modellenmesini de içeren iklim değişikliği analizlerine yardımcı olmalarıdır.

2. YENİ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SENARYOLARI VE YENİ YAKLAŞIM

Radyatif (Işınımsal) zorlama ve bu zorlamalara iklim sisteminin tepkisi ile ilgili seçeneklerin temel olarak yer aldığı antropojenik iklim değişikliği senaryoları, IPCC çalışmalarının en önemli bileşenlerinden birisidir. IPCC, 25. genel oturumuna kadar senaryo geliştirme süreçlerini koordine etmekteydi. Fakat 25. oturumunda (26-28 Nisan 2006), IPCC'nin senaryo geliştirme çalışmalarını koordine etme yerine kolaylaştırma misyonunu üstlenmesine ve olası IPCC 5.Değerlendirme Raporu için yeni emisyon senaryolarını geliştirme işlevini araştırma camiasının yürütmesine karar verilmiştir.

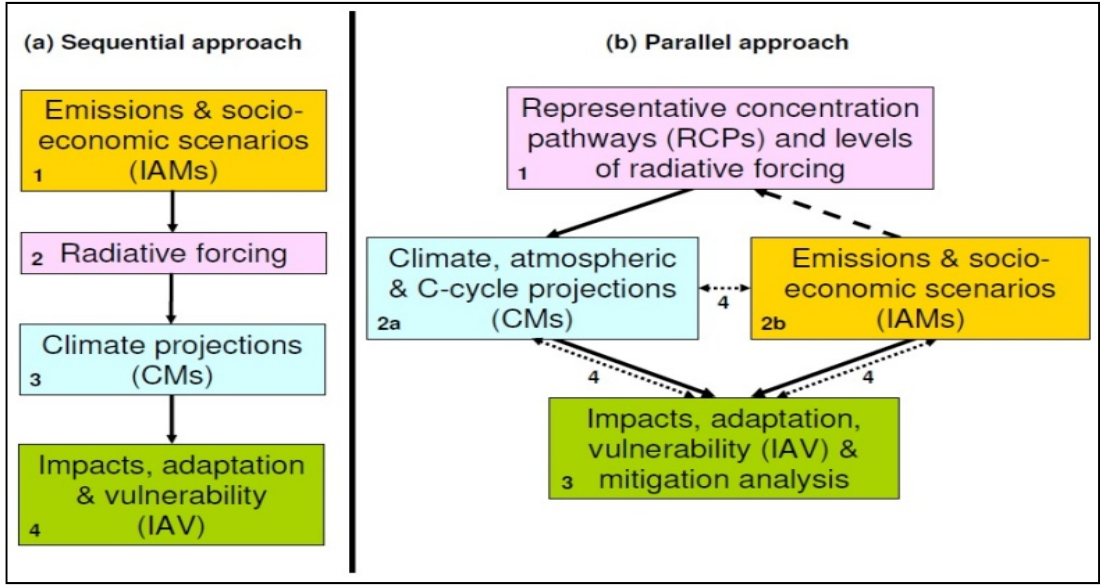
Konu ile ilgili uzmanlar toplantısı ise 19-21 Eylül 2007 tarihinde Hollanda'da gerçekleştirilmiştir. Bu toplantıda, karar vericileri de içeren resmi ve gayri resmi birçok organizasyonun temsilcileri ile birlikte, Entegre Değerlendirme Model Topluluğu (IAMC), Etki, Uyum ve Etkilenebilirlik Topluluğu (IAVC) ve İklim Modelleri Topluluğu (CMC) temsilcileri yer almıştır. Bu geniş katılımı ile birlikte yeni oluşturulacak değerlendirme sürecinde ihtiyaç duyulacak senaryolar hakkında önemli bilgiler ortaya konulmuştur. Sonuç

olarak yukarıda zikredilen topluluklar ile karar vericiler arasında maksimum etkileşimin sağlanacağı, dolayısı ile en iyi şekilde iklim değişikliği değerlendirmelerine imkan sağlayacak “entegre iklim değişikliği senaryosu oluşturma prosesi” oluşturulmasına karar verilmiştir.

Oluşturulacak yeni iklim senaryolarının kullanıcıları, son kullanıcılar (politika üreticiler, karar vericiler) ve ara kullanıcılar (araştırma toplulukları) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Senaryoların potansiyel son kullanıcıları olarak aşağıdaki gruplar belirlenmiştir.

- Uluslararası kuruluşlar (UNFCCC, Biyolojik Çeşitlilik Anlaşması vb.)
- Küresel kamu ve hükümetler arası organizasyonlar (FAO,WHO, UNEP, IEA vb.)
- Çok uluslu bölgesel karar verici yapılar (Avrupa Birliği vb.)
- Ulusal hükümetler
- Bölgesel ve yerel yönetimler
- Farklı ölçekte özel sektör organizasyonları
- Sivil toplum kuruluşları (CSOs) ve gayri-resmi organizasyonlar (NGOs)
- Yerel topluluklar
- Geniş anlamda araştırma grupları (iklim değişikliği topluluğu dışında)
- Diğer değerlendirme grupları ve uygulayıcı gruplar

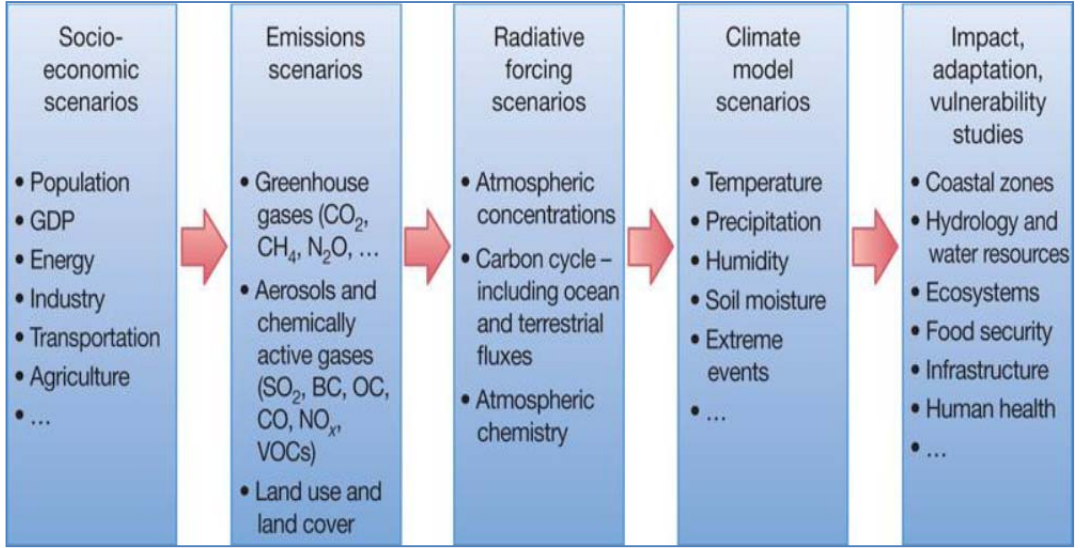
Katılımcı gruplarla yapılan değerlendirmeler sonucunda saptanan “ihtiyaçlar ve ilgi alanları” doğrultusunda küresel senaryoların periyotları “yakın vadeli” ve uzun vadeli olarak belirlenmiştir. Ulusal ya da bölgesel ölçekteki kısa vadeli sosyo-ekonomik senaryolar, bir bakıma küresel senaryolarla paralel olmasına karşın, kendine has lokal şartları yansıtması bakımından, özellikle bölgesel ve yerel uyum ve azaltım uygulamalarının (acil risklerin tanımlanması, uyum kapasitesinin artırılması, etkilenebilirliğin azaltılması, iklim değişikliği ile mücadele için daha efektif yatırımların yapılması, düşük emisyon teknolojileri için yatırımların yapılması, enerji verimliliği) planlanması ile iklim değişikliği risk yönetimine entegre edilmesi bağlamında, oldukça büyük önem arz etmektedir.



Şekil-1. Sıralı (a) ve paralel (b) yaklaşım (IPCC, 2007). Şekilde iki yaklaşım arasındaki fark şematik olarak gösterilmektedir. Paralel yaklaşımda iklim modelleri ve entegre değerlendirme modellerinin çalışma fazları eş zamanlı olarak ilerlemektedir. Düz oklar bilgi akışını simgelerken, kesikli ok RCP seçimini, noktalı oklar ise bilgi akışını ve entegrasyonunu simgelemektedir.

2.1. Sıralı yaklaşım

Sıralı iklim değişikliği değerlendirme prosesi, birbirini takip eden fazlar şeklindedir. Bu yaklaşımda öncelikle sosyo-ekonomik senaryolar oluşturulmakta, sonrasında sosyo ekonomik gelişmelerin neden olacağı emisyon salımlarına göre salım senaryoları oluşturulmaktadır. Ardından da emisyon seviyelerine göre, emisyonların neden olacağı radyatif (ışınım sal) zorlamalar hesaplanmakta ve girdi olarak iklim modellerinde kullanılmaktadır.

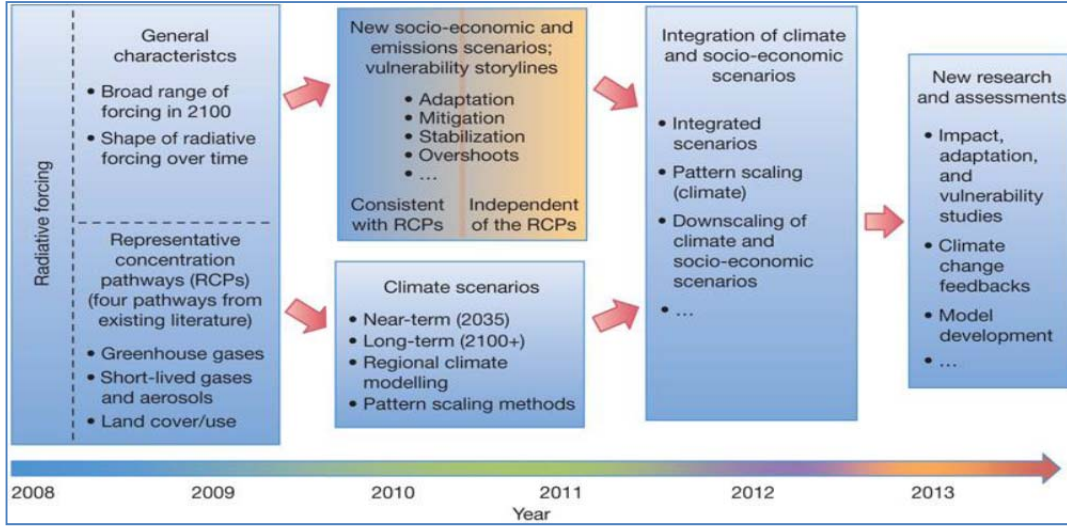


Şekil-2. Sıralı yaklaşım (Moss vd., 2010)

Bu yolla iklim parametrelerinde meydana gelmesi muhtemel değişimler saptanmaya çalışılmaktadır. Son olarak, atmosferde meydana gelmesi tahmin edilen bu değişimlerin, uyum ve etki çalışmalarına girdi teşkil ederek politika üretilmesi ve karar verme süreçleri tamamlanmaktadır (Şekil-2). Bu yaklaşım, sıralı fazlardan oluştuğundan emisyon senaryolarının oluşturulması ile etki değerlendirme modelleri sonuçlarının elde edilmesi arasında geçen süre çok uzun olmaktadır. Bu yaklaşım IPCC 3. ve 4. Değerlendirme Raporları'nda SRES senaryoları ile iklim değişikliği senaryoları oluşturulurken kullanılmıştır. Bu senaryolar 1997'de oluşturulmaya başlandı ve tamamlanması yaklaşık 3 yıl sürdü. İlk model sonuçları ise 2001'de IPCC 3. Değerlendirme Raporu'nda kullanılmasına rağmen, ayrıntılı değerlendirmeler ancak 2007'deki IPCC 4. Değerlendirme Raporu'nda görülebildi.

2.2. Paralel yaklaşım

Yeni iklim değişikliği senaryolarının oluşturulmasında, eski nesil senaryolardaki sıralı değerlendirme metodu yerine paralel değerlendirme metodu kullanılmaktadır.



Şekil-3. Paralel yaklaşım (Moss vd., 2010)

Emisyon senaryolarının geliştirilmesi ve iklim model sonuçlarının etki değerlendirme araştırmalarında kullanımı arasındaki zamanı kısaltmak için yeni bir değerlendirme yaklaşımı oluşturmak amacıyla etki araştırma çevreleri ile entegre model ve iklim araştırma çevreleri iş birliği yaptılar. Bu yeni yaklaşımın paralel fazında iklim modelleri, sosyo-ekonomik ve emisyon modelleri sıralı olarak değil, eş zamanlı çalışmaktadır. Böylece, sıralı yaklaşımdan farklı olarak zaman açısından ciddi bir kazanım sağlanmaktadır.

3. Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs)

RCP'ler, sera gazlarının toplam emisyon ve konsantrasyonu, arazi kullanımı ve arazi örtüsü, kimyasal olarak aktif gazlar, ve aerosoller için oluşturulan veri setleridir (Moss vd., 2008). "Representative" kelimesi temsili olarak çevrilmiştir ve her RCP'nin söz konusu spesifik radyatif zorlama özelliklerini göstermesi muhtemel birçok senaryo içerisinde yalnızca birini temsil ettiğini ifade etmektedir. "Pathway" sözcüğü ise rota olarak çevrilmiş olup, sadece uzun bir periyot sonunda ulaşılabilecek konsantrasyon seviyesini değil, aynı zamanda seviyeye gelinceye kadar konsantrasyonların izleyeceği rotayı da kapsamaktadır (Moss vd., 2010).

3.1. Temsili konsantrasyon rotası (RCP) tiplerinde istenilen özellikler

Yapılan çalışmalar sonunda hem son kullanıcılar hem de araştırma çevrelerinin ihtiyaç duyduğu senaryo setlerinin hangi özellikleri taşıması gerektiği belirlenmiştir. Bu özellikler gruplandırılarak aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Konsantrasyon rotaları

Farklı kullanıcıların farklı istekleri ve ihtiyaçları doğrultusunda, bilimsel literatürde çalışmaları yapılmış düşük, orta ve yüksek seviye radyatif zorlama özelliğine sahip farklı konsantrasyon rotaları oluşturulmuştur. Literatürdeki en düşük seviye radyatif (ışınımsal) zorlama rotası önce zirve yapmakta ve sonra düşmektedir. Bu yükselme ve düşüşün seviyesi kadar yükseliş ve düşüş biçimi de önemli bir noktayı teşkil etmektedir. Orta seviye rotalar, radyatif zorlamanın hem iklimi hem de buzulları nasıl etkileyeceğinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Yüksek seviye zorlama/konsantrasyon rotaları ise, yüksek seviye zorlamada iklim sisteminin dinamiklerinin araştırılmasında iklim modeli çevrelerine (CM community), yüksek etki senaryoları oluşturulmasında da “etki-uyum-etkilenebilirlik” (IAV) topluluklarına imkan vermektedir.

3.1.2. Konsantrasyon rotalarının sayısı

Senaryo setinde bulunacak senaryo sayısının, düşük, orta ve yüksek seviye senaryolar arasında oluşabilecek doğal doğrusal ilişkiden kaçınmak için 2’den büyük bir çift sayı olması, hesaplamalarda ve modellerin çalıştırılmasındaki ihtiyaçlar göz önüne alınarak tercihen 4 olmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Bu seçim mantığı daha önceki senaryolarda (SRES) da uygulanmıştır.

3.1.3. Konsantrasyon rotalarının ayrımları ve formları

Saptanmaya çalışılan iklim değışikliği sinyali, iklim değışkenliği belirtilerine nazaran büyük olduğunda, atmosfer-okyanus genel sirkülasyon model (AOGCM) uygulama sonuçlarının yorumlanmasında en etkili yöntemdir. Modellerin çalıştırılması ile elde edilen iklim değışikliği çıktılarında senaryoların ayrımlarının kolayca görülebilir olması istenmiştir.

3.1.4. Güçlü konsantrasyon rotaları

İklim modeli çalışmalarının gerektirdiği kaynakların yeterli şekilde sağlanıyor olması RCP'lerin ve senaryoların bilim camiası tarafından "güçlü" olarak nitelendirilmesini sağlamıştır. Bu açıdan "güçlü" tanımlaması "iyi desteklenmiş" anlamında kullanılmış olup senaryonun teknik olarak güvenilir olduğunu göstermektedir. Güçlü senaryoda güvenilir varsayımlar, mantık ve hesaplamalar yer almaktadır. Ayrıca radyatif zorlamanın birbirinden bağımsız modeller tarafından tekrar elde edilebileceğini göstermektedir.

3.1.5. Konsantrasyon rotalarının kapsadığı periyot

Antropojenik iklim değışikliği, iklim sisteminin radyatif zorlanmaya maruz kalmasına sebep olan bütün faktörler tarafından desteklenmektedir. Bu faktörlerin hepsi birbirleri ile bağlantılıdır. RCP senaryolarında bu faktörlerin hepsi, 2300 yılına kadar uzanan veri setlerinde, iklim modelcilerine girdi oluşturması amacıyla modellenmiştir. 21. yüzyıl ötesini de içine alan iklim senaryoları ile ilgili yayınlanmış fazla çalışma bulunmadığından, RCP'ler bu anlamda da önemli bir aşama olarak kabul edilmektedir.

3.1.6. Senaryoların yakın periyottaki çözünürlüğü

Araştırma ve kullanıcı grupların talepleri doğrultusunda RCP'lerden bir tanesinin, yakın gelecek (2035'e kadar) iklim değişikliği projeksiyonu üretmek için, 1° ya da daha büyük bir çözünürlükte (örneğin 0.5°) çalıştırılması kararlaştırılmıştır. Yüksek çözünürlükte simülasyonlarla şunlar amaçlanmıştır:

- İklim değişikliğinin hava kalitesi ve bölgesel iklim üzerine etkisinin anlaşılması
- Ekstrem hava olaylarının olasılıklarının ve eğilimlerinin anlaşılması
- Orta vadeli (20-30 yıllık) doğal iklim değişkenliği tahminini etkileyebilen gözlemlenmiş iklim ile iklim modellerinin nasıl başlatılacağı belirlenmesi,
- Özellikle IAV grupları tarafından bölgesel iklim analizleri için bir çerçeve belirlenmesi
- Yakın gelecek için iklim değişikliği etkileri ve uyum uygulamaları konusunda daha iyi bilgiler sağlayarak iklim politikaları seçenekleri oluşturulması

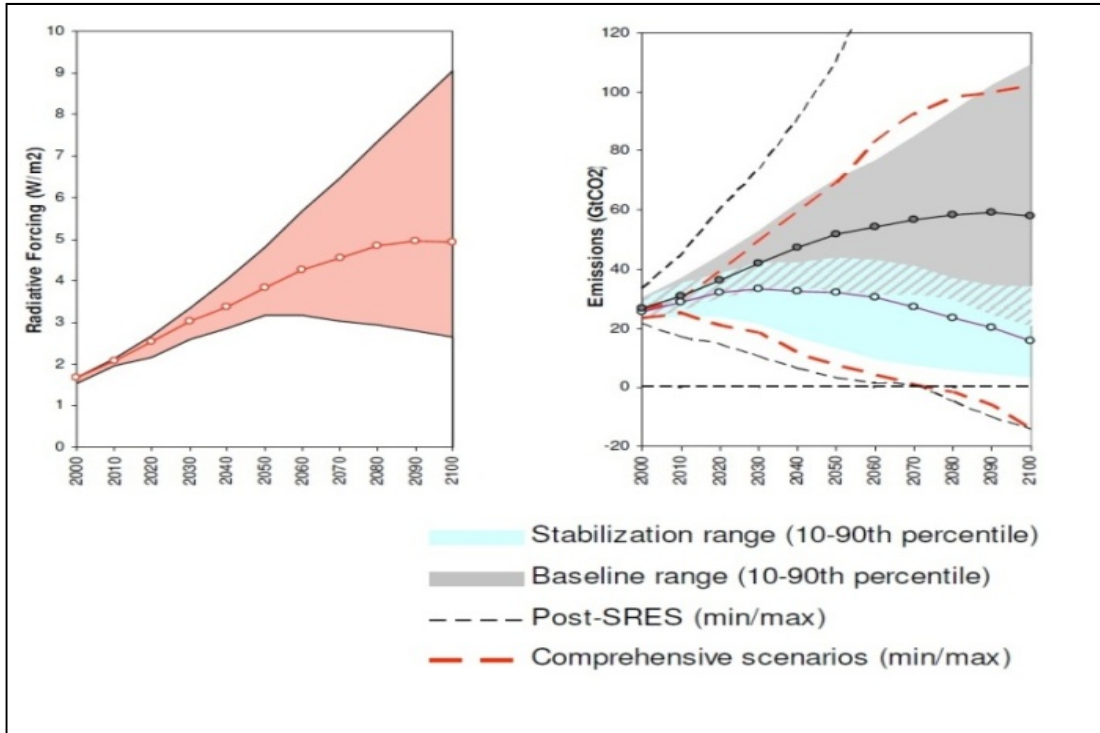
3.2. Konsantrasyon rotalarına uygun senaryoların belirlenmesi

Önceki bölümde seçilecek rotaların hangi özellikleri taşıması gerektiği hakkında bilgiler sunulmuştu. Bu özellikleri taşıyan yüzlerce senaryo ve onlarca senaryo grubu içinden en uygun olanlarının seçilmesine ilişkin bilgiler bu bölümde yer almaktadır.

3.2.1. Literatürde yer alan senaryolar

30' dan fazla yeni emisyon/konsantrasyon senaryosu RCP adaylarının belirlenmesi için bir araya getirilerek değerlendirme yapılmıştır. Radyatif zorlamanın temel bileşenleri sera gazı ve sera gazı dışındaki emisyonlar ve konsantrasyonlar, arazi kullanımı ve arazi

örtüsü, iklim ve kara-okyanus karbon döngüsü olarak sıralanmaktadır. Bu bileşenler tüm senaryolar için karşılaştırılabilir olmadığından grafikte Grafik-1’de, 37 senaryodan ancak 32’si kullanılabilmiştir. Grafik-1’de kapsamlı CO2 senaryolarının, SRES sonrası literatürü 10-90% oranında içerdiği görülmektedir. Senaryo seçiminde bu bir kriter olarak ele alınmamasına rağmen, bu iki senaryo setinin, yani SRES senaryoları ve ilerde RCP olarak adlandırılan kapsamlı emisyon senaryolarının, uyumu artık bir özellik olarak değerlendirilmektedir. Entegre değerlendirme modellerinde (IAMs) uzun ömürlü gazlar için elde edilen potansiyel rotalar, kısa ömürlü gazlar için bulunmamaktadır. Atmosfer-okyanus genel sirkülasyon modelleri (AOGCMs), dolayısı ile yer sistem modelleri (ESMs), belirli bir konsantrasyon rotası için radyatif zorlayıcıları basit iklim modelleri (CMs) gibi efektif kullanmazlar. CM’ler genellikle IAM’lar tarafından kullanılırlar ve AOGCM sonuçlarına göre kalibre edilirler. AOGCM ve ESM radyatif zorlamayı kendi ürettikleri üç boyutlu atmosfer kompozisyonu projeksiyonlarından elde ederler ve bu değerler CM’lerin kısa ömürlü gazlar için (short-lived species) ürettiği değerlerden farklı olabilir. Bu farklılıklar yeni araştırmalarda göz önünde bulundurulmaktadır.



Grafik-1. Radyatif zorlamalar ve CO2 emisyonları (IPCC,2007). Solda, senaryolardan elde edilen maksimum ve minimum küresel radyatif zorlama seviyeleri görülmektedir. Sağda ise, soldaki grafikte kullanılan senaryoların karbondioksit emisyon rotaları verilmiştir.

3.2.2. RCP tipleri

RCP tiplerinin tanımlanması için senaryo literatürü daha önce açıklanan özellikler bakımından taranmış ve radyatif zorlama seviyeleri ve rotaları için 4 RCP tipi tanımlanmıştır.

*Tablo-2. RCP Tipleri (IPCC, 2007) (*PD: Peak and decline (zirve ve düşüş))*

| RCPs | Radyatif (Işınımsal) Zorlama | Zaman | Radyatif (Işınımsal) Zorlama Değişimi | Karbondioksit Eşdeğer Konsantrasyonu (ppm) |
|----------|------------------------------|--------------|---|--|
| RCP 8.5 | > 8.5 W/m ² | 2100'de | Yükselme | > ~1370 ppm |
| RCP 6.0 | ~6.0 W/m ² | 2100 sonrası | Hedefi geçmeden Stabilizasyon | ~ 850 ppm |
| RCP 4.5 | ~4.5 W/m ² | 2100 sonrası | Hedefi geçmeden Stabilizasyon | ~ 650 ppm |
| RCP3-PD* | ~3.0 W/m ² | 2100 öncesi | 3.0 W/m ² 'de zirve ve düşüş | Zirve ~ 490 ppm ve düşüş |

3.2.3. RCP adaylarının tanımlanması için kriterler

Senaryolar içerisinde RCP adaylarının seçilmesinde, süreçte yer alan grupların değerlendirmelerine göre bir dizi kriter belirlenmiştir. Bunlar şu şekilde sıralanmıştır:

1. Konsantrasyon rotasının literatürde yayınlanmış çalışmalara sahip olması
2. Kullanıcıların taleplerini karşılayacak şekilde belirlenen 4 RCP tipine (Tablo-2) uyumlu olması,
3. Data gerekliliklerini yerine getirmesi,

- a. Değişkenler için projeksiyonlarının hazırlanması (sera gazları, aerosoller, kimyasal olarak aktif gazlar, arazi kullanımı ve arazi örtüsü),
 - b. Uzun dönem ve yakın dönem için veri çözünürlükleri gereklilikleri,
4. Modelleme gerekliliklerinin yerine getirilmesi (karbon döngüsü ve atmosferik kimya gösterimlerini de içeren radyatif (Işınımsal) zorlama sonuçlarının modellerin güvenilirliği için IAM ile üretilmesi),
5. Modelleme grubu, iklim model grubu ile koordine içerisinde hedeflenen süre zarfında (yapılan toplantılar sonucu bu tarih 2008 sonu olarak belirlenmiştir)
- a. Başlangıç veri (tam olarak dokümantasyonunun ve veri çözünürlüğü taslağının tamamlanması),
 - b. Tamamlanan verinin iklim modeli grubuna teslim edilmesi.

3.2.4. RCP adayları

Bir önceki bölümde tanımlanan kriterler ışığında IAM grubu literatürden 19 RCP adayını seçmiştir. Seçilen bu senaryolar modelleme grupları tarafından daha önce belirtilen kriterleri yerine getirecek şekilde üretilmiştir.

Tablo-3. IAM model grupları ve çalıştırdıkları modeller (IPCC, 2007)(Not: Altı çizili olanlar eksikleri olan ve revize edilmesi gerekenleri ifade etmektedir.)

| IAM Grubu (model ve enstitü) | RCP8.5 | CRCP6 | RRCP4.5 | RCP3-PD | Referans(lar) |
|---|---------------|--------------|----------------|----------------|--|
| AIM (NIES) | | <u>*</u> | * | <u>*</u> | Fujino et al. (2006), Hijioka et al. (2008) |
| GRAPE (IAE) | | | * | | Kurosawa (2006) |
| IGSM (MIT) | * | * | * | | Reilly et al. (2006), Clarke et al. (2007) |
| IMAGE (MNP) | * | * | * | * | van Vuuren et al. (2006, 2007) |
| IPAC (ERI) | | <u>*</u> | * | | Jiang et al. (2006) |
| MESSAGE (IIASA) | * | * | * | * | Rao and Riahi (2006), Riahi et al. (2007) |
| MiniCAM (PNNL) | | * | * | | Smith and Wigley (2006), Clarke et al. (2007) |

3.2.5. Seçilen RCP'ler

Kullanıcılar ve bilim adamlarının da hazır bulunduğu IPCC yürütme komitesi toplantısında adaylar içerisinde hangi rota için hangi model ve grubun temsilci olacağı belirlenmiştir.

Tablo-4. Seçilen RCP'ler

| <u>RCP</u> | <u>Referans</u> | <u>IAM</u> |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|
| RCP8.5 | Riahi et al. (2007) | MESSAGE |
| RCP6 | Fujino et al. (2006) | AIM |
| RCP4.5 | Clarke et al. (2007) | MiniCAM |
| RCP3-PD | van Vuuren et al. (2006, 2007) | IMAGE |

Model gruplarının veri setlerini tamamlayarak iklim modelleme gruplarına vermesinden önce, veri setleri bir kez daha gözden geçirilerek iklim model gruplarının ihtiyaç duyduğu formata getirilmiştir. Seçilen senaryolar için, yeni iklim değişikliği senaryoları üretme yaklaşımında, eski nesil yaklaşımlarda olduğu gibi önce sosyo-ekonomik varsayımlar üretilmediğinden, burada zikredilen konsantrasyon seviyeleri için belirlenmiş sosyo-ekonomik senaryolar bulunmamaktadır. IAM grupları RCP'leri ürettikten sonra, azaltım ve uyum konusunda politik gruplara ve karar vericilere yol göstermesi açısından, belirlenen radyatif zorlama seviyelerine uygun varsayımları üretmeyi üstlenmişlerdir. Bu konu ile ilgili düzenlenen çalıştayda (Berlin-Almanya, 2010) yöntemler ve izlenecek yol belirlenmiştir.

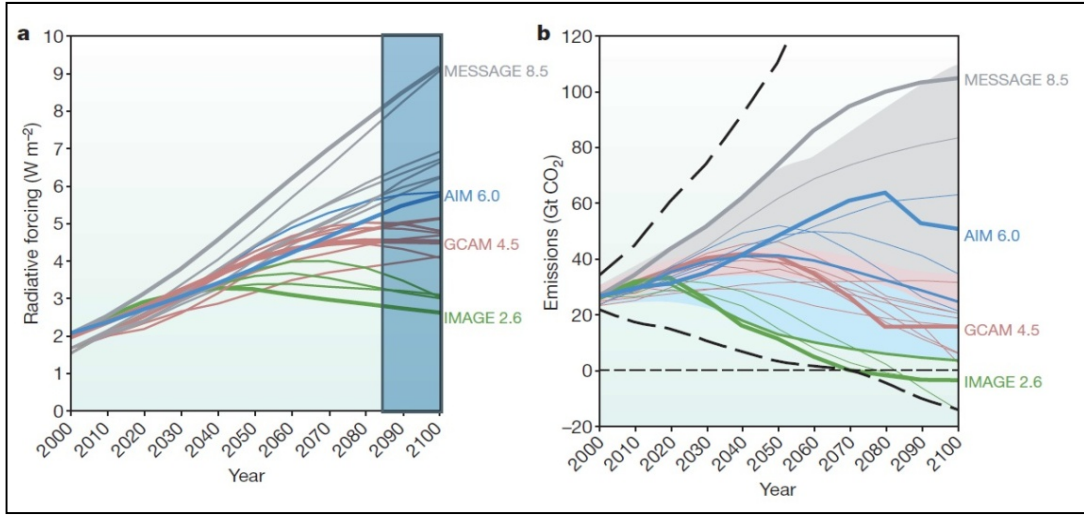
RCP3-PD ise düşük radyatif zorlama ve konsantrasyon rotasıdır ve literatürdeki CO₂ ve CO₂ dışındaki gazlara ait emisyon senaryolarının yalnızca %10'undan azını temsil etmektedir. Senaryonun temelini 21. yüzyıl sonlanmadan emisyonların ya da radyatif zorlamanın zirve yaparak düşüşe geçeceği varsayımı oluşturmaktadır. Önce zirveye ulaşma ve sonra düşme varsayımı, iklim camiası için yeni bir yaklaşımdır. Bundan dolayı, senaryonun iklim değişikliğinin ve onun etkilerinin geri çevrilebilirliği konusunda yeni bilimsel bulgular üretmesi beklenmektedir.

Düşük konsantrasyon rotası (RCP3-PD) için IMAGE2.6 ve IMAGE2.9'dan birinin seçilmesine karar verilmiştir. IMAGE2.6 radyatif zorlamanın hızlı bir şekilde 3 W/m² civarına yükselmesini ve ardından 2100 yılında 2.6 W/m²'ye düşmesini öngörmektedir.

IMAGE2.9 ise benzer şekilde 2100 yılında zorlamanın 3 W/m²'nin bir miktar üzerine çıkarak tekrar 2.9 W/m² seviyesine düşmesini öngörmektedir. Bu iki senaryoya ait verilerin tamamlanması için 2300 yılına kadar konsantrasyon, zorlama ve emisyon bilgilerinin tamamlanması gerekmektedir. Bu iki senaryo öngörülerinin gerçekleşmesi ve radyatif zorlamanın azalması için önemli politik ve bilimsel çabanın gerektiğini bildirilmektedir. Negatif emisyon teknolojileri, CO₂ tutulması ve depolanmasına (CCS: CO₂ capture and storage) yönelik teknolojilerin birleştirildiği bio-enerji teknolojileridir. Her iki senaryoda biokütle temelli azaltım stratejileri bulunmasına rağmen, bio-enerji ve CCS teknolojisinin sadece RCP2.6 senaryosunda birleştirilmiş olması ilgi çekici bir nokta olarak belirtilmiştir.

Uzmanlar düşük rota için RCP2.6 senaryosunun kullanılmasının daha uygun olacağını belirtmişlerdir. IMAGE2.6 karbondioksit emisyonlarının 2050 yılında 7.6 Gt olacağını varsayarken, IMAGE 2.9 12.8 Gt CO₂ Gt olacağını öngörmektedir. Bu özelliği sebebi ile küresel ortalama sıcaklıkların belli seviyede tutulması hedefine IMAGE2.6 senaryosunun daha uygun olduğu belirtilmiştir. Diğer bir sebep ise, RCP8.5 ile birlikte ele alındığında RCP2.6, radyatif zorlama değerleri spektrumunda daha büyük temsil oranı oluşturmaktadır. Son olarak ise araştırma gruplarının hemen hepsi, IMAGE2.6 ile yaptıkları model çalışmalarında bu rotanın ana karakteristiği olan zirve ve düşüş ardından negatif CO₂ emisyonlarının görüldüğünü belirtmişlerdir. Bu sebepler RCP2.6'yı avantajlı kılarken senaryonun yeterince güçlü olup olmadığı (literatürde ne kadar desteklendiği), teknoloji, ekonomi, karbon depolama, politik durum vb. koşulları ne kadar gerçekçi temsil ettiği gibi tam aydınlatılmayan noktalar dezavantajlarını oluşturmaktadır. Bir dizi analiz çalışmasından sonra IRCP3-PD rotası için senaryonun seçilmesine karar verilmiş, yapılan çalışmalar sonucu IMAGE2.6 seçilmiştir.

RCP4.5 senaryosu, 2100 yılında radyatif zorlamanın 4.5 W/m²'de bu değeri geçmeden sabitleneceğini varsayan senaryodur. GCAM (Küresel Değişim Değerlendirme Modeli) görüntülenen RCP4.5 ise bir orta stabilizasyon rotası olup 2100-2150 yılları arasında radyatif zorlamanın 4.5 W/m²'de sabitleneceğini varsaymaktadır.

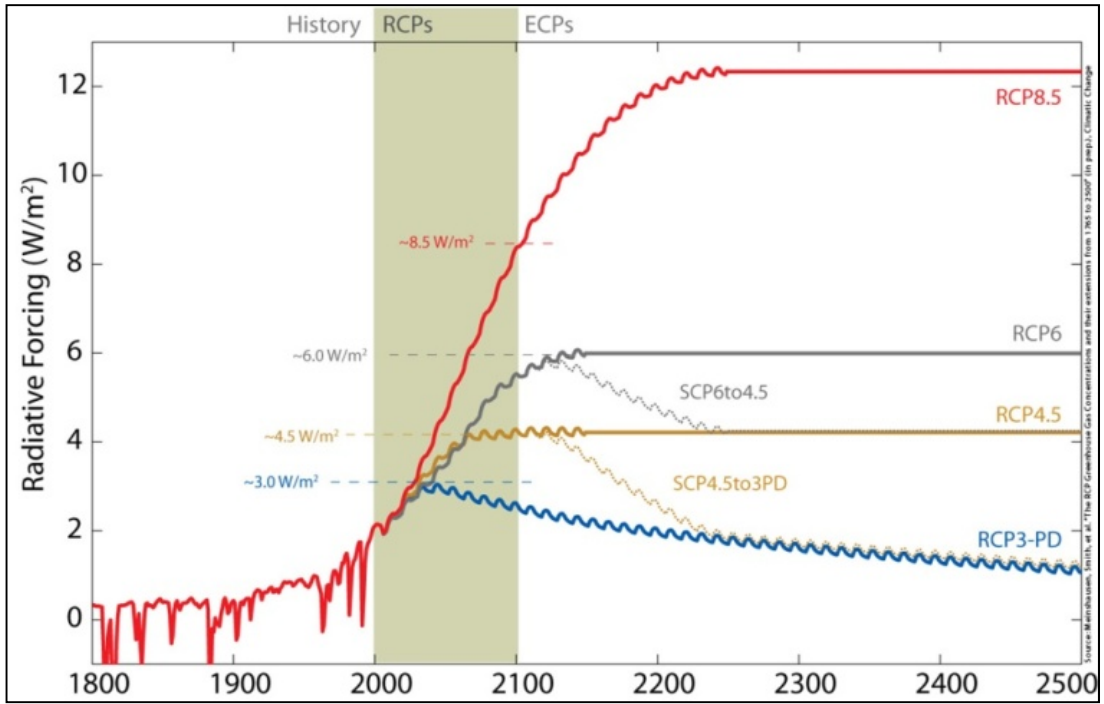


Grafik-2. RCP senaryo adaylarına ait radyatif zorlama seviyeleri ve emisyon miktarları (IPCC, 2007)

Bu senaryonun diğer senaryolara göre avantajları yüksek rota ile arasındaki farktan dolayı çok iyi sinyal elde edilebilmesi ve literatürde bu rota ile ilgili çok sayıda yayınlanmış çalışmanın bulunmasıdır. RCP4.5 senaryosu, küresel bir ekonomik çerçevede sera gazlarının uzun dönem küresel emisyonları, kısa ömürlü gazları ve arazi değişimi/kullanımı bilgilerini içermektedir. RCP4.5 hedeflenen radyatif zorlama seviyesine maliyet azaltımı yaklaşımıyla ulaşmayı öngörmektedir. Bu yaklaşım içerisinde, hedefe ulaşmak için enerji kullanımında elektriğin payının artması, düşük emisyonlu enerji teknolojileri, karbon tutuma ve doğal jeolojik formasyonlarda depolama teknolojilerine yönelmeler öngörülmektedir.

İkinci orta seviye rota RCP6'dır ve bu rotada 2100'den sonra yaklaşık 6 W/m² civarında radyatif zorlamanın sabitleneceği varsayılmaktadır. İklim model grupları açısından, iki farklı orta (intermediate) konsantrasyon rotasının olması bütün RCP'lerin çalıştırılabilmesi açısından oldukça büyük kolaylık sağlayacaktır. Emisyonlarda ise bu yüzyılın son çeyreğine kadar bir artış ve daha sonra azalma varsayımı kabul edilmiştir. RCP8.5 yüksek radyatif zorlama öngörmektedir ve literatürdeki emisyon senaryolarının neredeyse %90'ını temsil etmektedir. RCP8.5, SRES senaryoları içerisinde A2 ve A1F1 senaryoları ile benzerlik göstermektedir. Düşük rota (RCP3-PD) ile arasındaki fark, iklimin bu senaryoya karşı

AOGCM'ler yardımı ile görüntülenen tepkisinin değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. RCP8.5, yüksek popülasyon ve göreceli olarak düşük ekonomik gelir artışı, orta derecede teknolojik değişiklik, orta derecede enerji yoğunluğu gelişimi ve iklim değişikliği politikalarının geliştirilmemesi ya da uygulanmamasının neden olduğu yüksek emisyonlar ve yüksek enerji ihtiyacı gibi varsayımları kabul etmektedir. Diğer RCP senaryoları ile karşılaştırıldığında en yüksek emisyon oranına sahip senaryodur. Bu senaryo ayrıca azaltım politikalarının öngörülmediği temel bir senaryo işlevi görerek, farklı azaltım politikalarının nasıl sonuçlanabileceğine dair karşılaştırma seçenekleri oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. RCP8.5 senaryosunda radyatif zorlama sürekli bir artış trendinde seyretmekte olup, sabitlenmesi ancak 22. yüzyılın ortalarında gerçekleşebilmektedir. Emisyonlarda buna paralel olarak 2050'lere kadar hızlı bir şekilde artarken, 2050 sonrasında artış hızı düşmektedir.



Grafik-3. RCP tiplerine ait toplam doğal ve antropojenik radyatif zorlama seviyeleri (Meinshausen, vd., 2011)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, 2007 yılında IPCC'nin düzenlediği uzmanlar toplantısında alınan kararlar ile iklim değişikliği çalışmalarındaki yeni yaklaşımların ve bu çalışmalarda kullanılacak RCP'lerin kamu oyuna tanıtılmasını amaçlamaktadır.

Adı geçen toplantının sonuç raporu, yeni iklim değişikliği çalışmalarında izlenecek yol konusunda bir kılavuz işlevi görmektedir. Bu rapora ek olarak yine IPCC'nin 2010 yılında Almanya'da düzenlediği sosyo-ekonomik senaryoların oluşturulmasına yönelik çalıştay raporu iklim değişikliği değerlendirme çalışmalarında yol gösterici diğer bir kaynağı teşkil etmektedir.

Benimsenen yeni yaklaşım ve kabul edilen yeni senaryolar doğrultusunda ülkemizde yapılacak iklim değişikliği çalışmaları eski çalışmalar ile birleştirilmeli ve yeni iklim projeksiyonları ve sosyo-ekonomik projeksiyonlar üretilmelidir. Yapılacak bu tür çalışmalar, öncelikle, UNFCCC tarafından düzenlenen uluslararası iklim değişikliği müzakerelerinde ülkemizin benimseyeceği politikaların belirlenmesinde çok önemli rol oynayacaktır. Diğer yandan, özellikle iklim değişikliğini farklı açılardan ele alan kamu kurumlarımızın bahsi geçen yeni dönem iklim değişikliği çalışmalarına başlamaları ülkemizin iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı başarılı uyum çalışmaları yürütmesinde temel teşkil edecektir.

5. KAYNAKLAR

1. Gregory, W.L. and Duran, A., 2001. "Scenarios and acceptance of forecasts". Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners, edited by J. Scott Armstrong. 2001 Springer Science-Business Media, inc. New York.
2. IPCC, 1990. CLIMATE CHANGE: The IPCC Response Strategies, by Working Group III.
3. IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press.
4. IPCC, 2001. Climate Change 2001, Synthesis Report.
5. IPCC, 2001. Climate Change 2001, Scientific Basis, Appendix II. Cambridge University Press.
6. IPCC, 2007. "Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report." September, 2007, the Netherlands.
7. IPCC, 2010. "IPCC Workshop on Socio-Economic Scenarios: Workshop Report." November, 2010, Germany.
8. Leggett J., Pepper W.J., Swart R.J., 1992. "Emissions Scenarios for the IPCC: an Update", Climate Change 1992: The Supplementary Report to The IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, UK, pp. 68-95.
9. Meinshausen M. vd., 2011. "The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300". Climatic Change (2011) 109:213–241. DOI 10.1007/s10584-011-0156-z.
10. Morgan, M. G. and Henrion, M., 1990. "A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis", Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
11. Moss, R. H. Vd., 2010. "The next generation of scenarios for climate change research and assessment". Nature, 2010: Vol 463: 11 February 2010. doi:10.1038/nature08823.
12. Moss, R.H. vd., 2008. "Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies", Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
13. Riahi, K. vd., 2011. "RCP 8.5: A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions". Climatic Change (2011). 109:33–57 DOI 10.1007/s10584-011-0149-y.
14. Thomson A. M. vd., 2011. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. Climatic Change, DOI 10.1007/s10584-011-0151-4.
15. UN, 1998. "Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change", Annex-A, Greenhouse Gases.
16. UNFCCC, 1992. İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, madde 1.4, madde 1.5.
17. <http://www.mgm.gov.tr/index.aspx#sfU>
18. <http://unfccc.int/2860.php>
19. <http://www.ipcc.ch>
20. <http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/>
21. <http://www.epa.gov>
22. <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>
23. <http://www.medcordex.eu/simulations.php>
24. <http://www.earthsystemmodeling.org/>

RCP4.5 SENARYOSUNA GÖRE TÜRKİYE’DE SICAKLIK ve YAĞIŞ

PROJEKSİYONLARI

Ömer DEMİR, Hakkı ATAY, Osman ESKİOĞLU, Arzu TUVAN,

Mesut DEMİRCAN, Alper AKÇAKAYA

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Daire Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara

omerdemir@mgm.gov.tr, hatay@mgm.gov.tr, oeskioglu@mgm.gov.tr, atuvan@mgm.gov.tr,
mdemircan@mgm.gov.tr, aakcakaya@mgm.gov.tr

ÖZET

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

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

1. GİRİŞ

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

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

Teknolojinin gelişimi ile daha da küçülen Dünyamızda iklim değişikliği hakkında yapılan çalışmalar, 1990'lı yıllardan sonra IPCC (Uluslararası İklim değişikliği Paneli) adı altında oluşturulan birliktelik ve oluşumun yönlendirmeleri ile daha anlamlı bir çaba içine girmiştir. Oluşan bu birlikteliğin çalışma sonuçları belli dönemlerle gerçekleştirilmiştir. IPCC'de yüzlerce bilim adamının katkıda bulunduğu en son 4. Değerlendirme Raporu'nda, önce 40 farklı senaryo gözden geçirilmiş ve bunların içinden 7 senaryo belirlenmiştir.

İklim, geniş zaman dilimlerinde ve daha büyük alanlarda yapılan atmosferik değerlendirmeleri ifade etmektedir. Bu kapsamda belli bir bölgenin gelecek iklimi hakkında yorum yapabilmemiz için, o bölgede meydana gelmesi muhtemel çevresel değişikliklerin de bilinmesi gerekmektedir. Şu an ormanlık olan bir alanın 1 ay sonrası, 1 yıl sonrası, 10 yıl sonrası, 50 yıl sonrası düşünüldüğünde; ağaçlık alanın yok olması yerine binaların yapılması

veya başka amaçlar için kullanılması gibi durumlar söz konusu olabilir. İklim modelleri ayrıntılı bir şekilde ortam şartlarını, beklenen değişimlere göre yeniden kurgulama imkanı vermektedir. Bu bağlamda, 2007’de yayınlanan IPCC’nin 4. Değerlendirme Raporu’ndan bu tarafa, değişen arazi kullanımı/değişimi, sera gazı emisyonları ve konsantrasyonları, aerosol konsantrasyonu bilgileri ile gelişen teknolojik altyapı ve modelleme teknikleri yeni bir değerlendirme raporu hazırlanması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda IPCC 5. Değerlendirme Raporu çalışmaları başlamış olup, 2014 yılı ikinci yarısında tamamlanması planlanmaktadır.

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

2. MATERYAL VE YÖNTEM

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

2.1. Temsili Konsantrasyon Rotaları:RCPs

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

Tablo-1. Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCPs)

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

2.2. Kullanılan Küresel Modeller ve Veri Setleri

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

Tablo-2. Veri Setleri

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

2.3. Dinamik Ölçek Küçültme: RegCM4

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

2.4. Hassasiyet ve Kontrol Testleri

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

| <i>Tablo-3. 1971-2000 referans periyodu ortalama sıcaklık sonuçlarının mevsimlik olarak, farklı gözlem veri setleriyle karşılaştırılması</i> | | | | |
|--|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sıcaklık (°C) | RCM | CRU | UDEL | RAW |
| KIŞ | <u>0.436</u> | 0.561 | 0.258 | 1.762 |
| İLKBAHAR | <u>8.294</u> | 9.712 | 9.503 | 9.867 |
| YAZ | <u>20.792</u> | 20.859 | 20.834 | 20.763 |
| SONBAHAR | <u>10.412</u> | 12.480 | 12.177 | 12.349 |
| ORTALAMA | <u>9.987</u> | 10.906 | 10.694 | 11.190 |

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

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

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

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

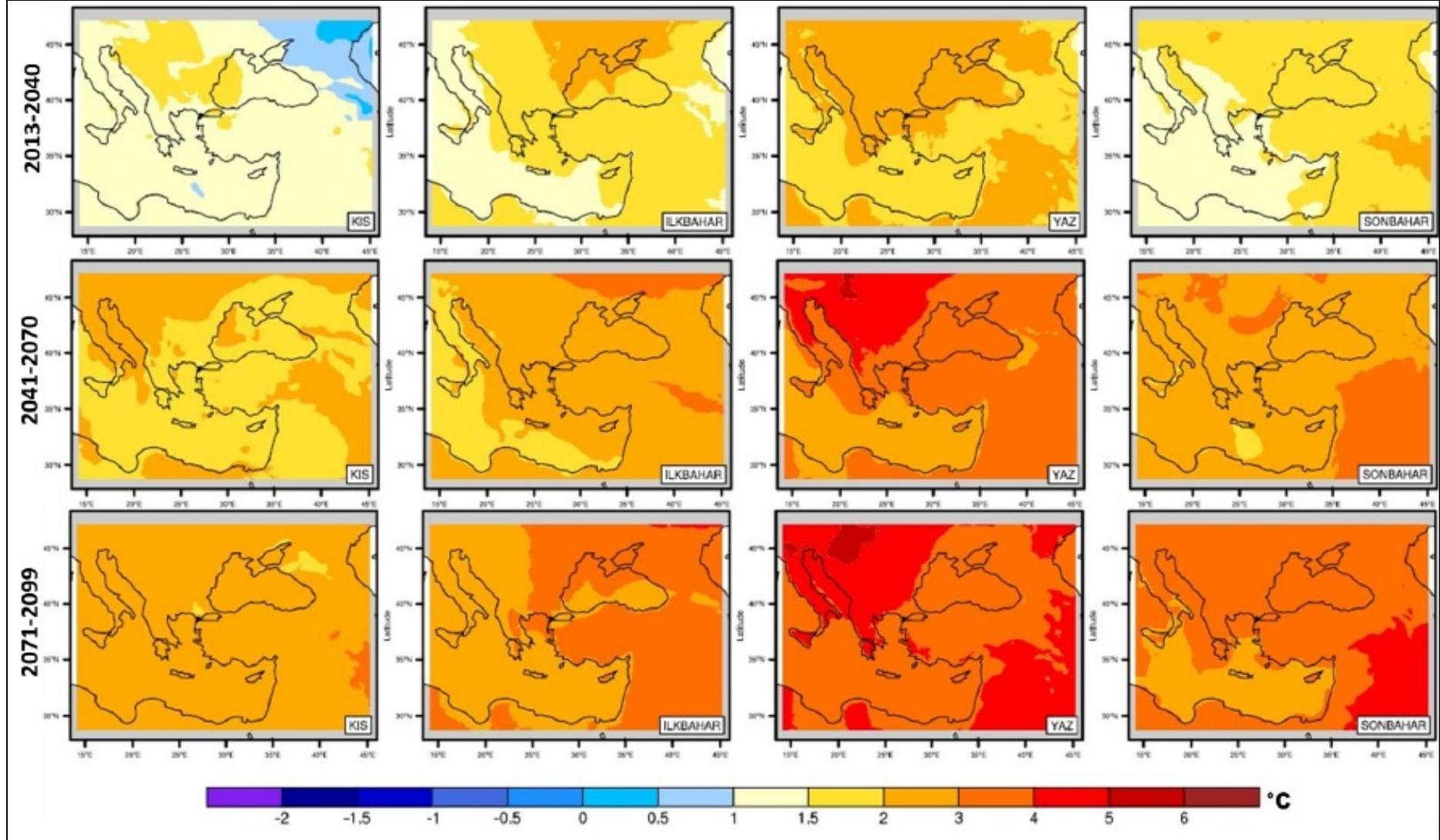
HadGEM2-ES küresel modelinin 1971-2000 referans periyodu verisinden ölçek küçültme yöntemiyle elde edilen günlük yağış sonuçları, diğer gözlem verileriyle karşılaştırıldığında özellikle kış mevsiminde model sonuçlarının diğer gözlem verileriyle örtüştüğü görülmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde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

3. HadGEM2-ES PROJEKSİYON SONUÇLARI

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

HadGEM2-ES küresel modelinin RCP4.5 senaryosundan dinamik ölçek küçültme yöntemiyle 1971-2000 referans periyoduna göre elde edilen sıcaklık fark değerleri genel olarak günümüzden yüzyılın sonuna kadar artış eğilimindedir. 2013-2040 yılları arasında özellikle yaz mevsiminde Kuzey-Batı ve Güney Doğu Bölgelerimizde 2-3 °C artış beklenirken, kış mevsiminde bu artış miktarı genel olarak 1-1.5 °C'dir. 2041-2070

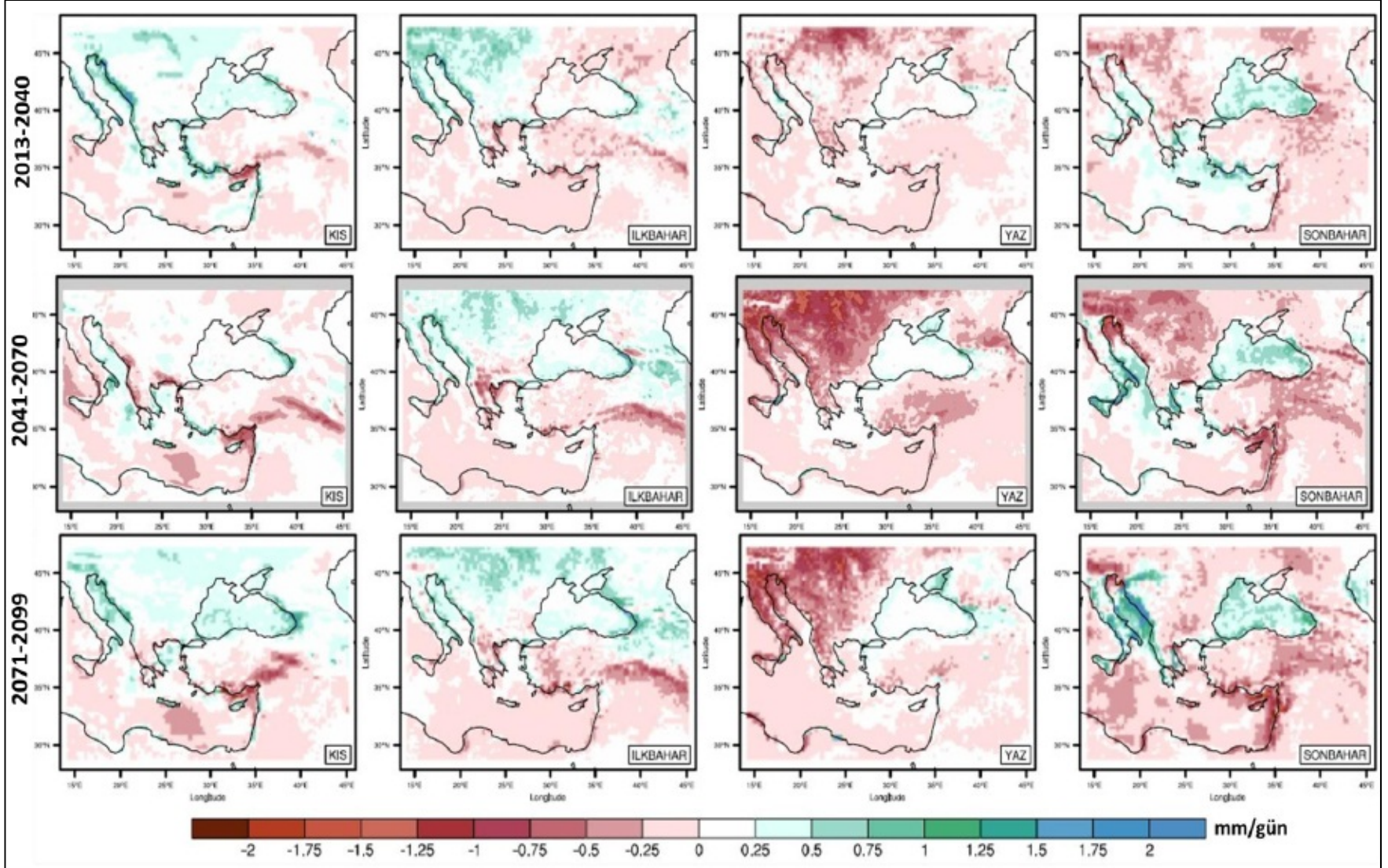
periyodunda ise sıcaklıkların bir önceki periyoda göre tüm mevsimlerde ortalama 1 °C artacağı öngörülmektedir. Yaz mevsiminde sıcaklık artışı 2-3 °C iken, kış mevsiminde Doğu bölgelerimizde 2-3 °C, ülkemizin diğer bölgelerinde ise 1.5-2 °C'dir. Yüzyılın sonuna doğru sıcaklıkların kış mevsiminde 2-3 °C, ilkbahar mevsiminde Çanakkale, İstanbul ve Batı Karadeniz kıyılarında 2-3 °C diğer bölgelerde 3-4 °C, yaz mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgesi ve kıyı Ege bölgelerinde 4-5 °C diğer bölgelerimizde 3-4 °C, sonbahar mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgemizde 4-5 °C, diğer bölgelerimizde 3-4 °C artması beklenmektedir. Genel olarak özellikle yaz ve sonbahar mevsiminde Güney Doğu Anadolu bölgemizin sıcaklık artışına karşı hassas bir bölge olduğu göze çarpmaktadır (Şekil-1).



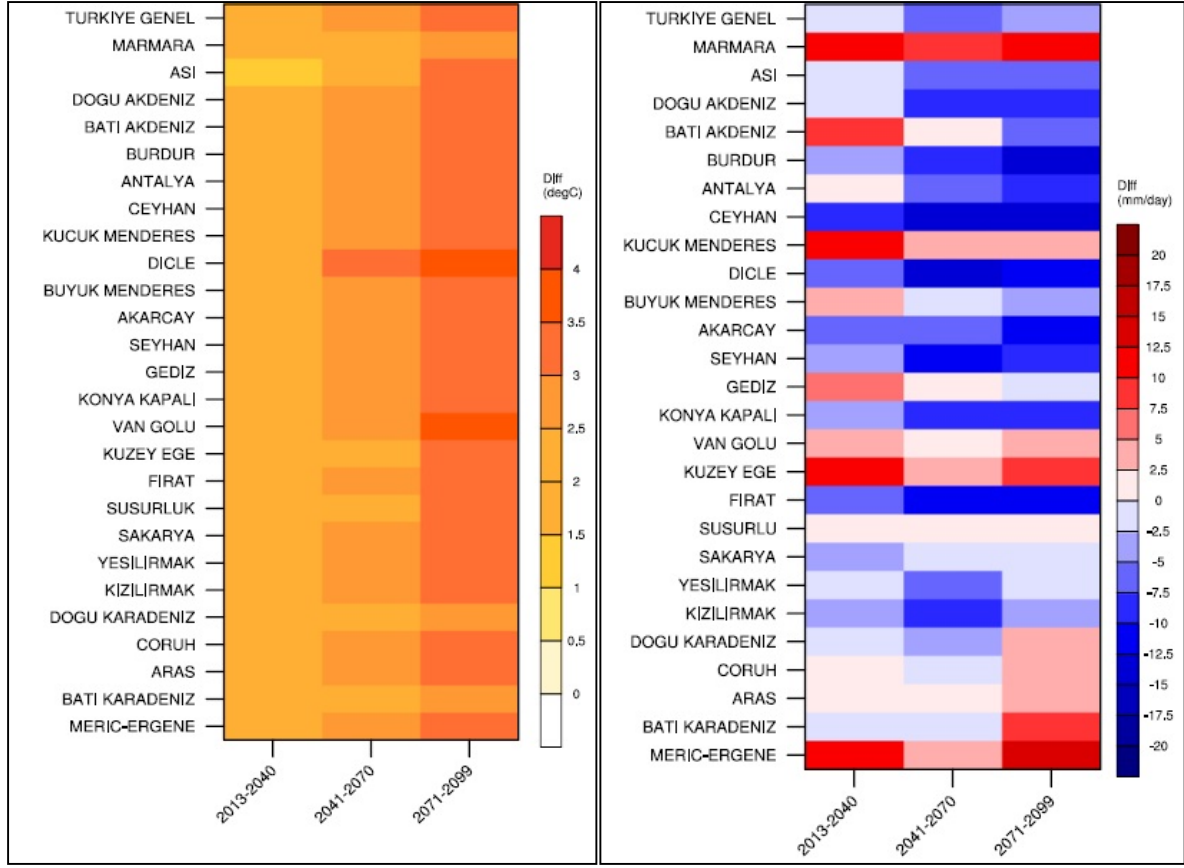
Şekil 1. Tüm mevsimler için 1971-2000 periyoduna göre 2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 periyodlarının sıcaklık fark haritası.

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

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



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



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

4. SONUÇLAR

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

Bu çalışma ülkemiz ve bölgesi için kapsamlı bir iklim projeksiyonu çalışmasının ilk aşaması niteliğindedir. Dolayısı ile burada HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 senaryosuna ait

çıktılar bölgesel model ile çalıştırılarak, hedeflenen 6 projeksiyon setinden ilkinin sonuçları sunulmuştur. Çalışmanın devamında farklı iki küresel model ile RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının sonuçları elde edilerek toplamda 6 adet projeksiyon seti oluşturmak hedeflenmektedir.

5. KAYNAKLAR

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

İKLİM NORMALLERİ VE 1981-2010 SICAKLIK NORMALLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE TOPOGRAFYA KULLANARAK YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ GRID VERİ SETİNİN ÜRETİLMESİ

Mesut DEMİRCAN, Hüseyin ARABACI, Erdoğan BÖLÜK, Alper AKÇAKAYA, Serhat ŞENSOY, Mithat EKİCİ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara, mdemircan@mgm.gov.tr, harabaci@mgm.gov.tr, eboluk@mgm.gov.tr, aakcakaya@mgm.gov.tr, ssensoy@mgm.gov.tr, mekici@mgm.gov.tr

ÖZET

İklim belirli bir bölge içinde ve uzun yıllar değişmeyen ortalama hava koşullarıdır. Klimatolojik normaller; birbirini takip eden 30 yıllık dönemler için hesaplanan klimatolojik verilerin ortalamalarıdır. İklim normallerinin kullanılması yapılacak küresel değerlendirmeler için standart bir altlık sağlaması ve iklim izleme çalışmaları için çok önemli bir araçtır. Türkiye için 1981-2010 ortalama sıcaklık normallerinin yüksek çözünürlüklü grid veri setini üretmek için CBS tabanlı bir yöntem geliştirilmiştir. Yükseklik ve Lapse Rate (LR) değeri (yükseklik ile sıcaklık değişim oranı), 1km çözünürlükteki grid noktalarının sıcaklık tahminçileri olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, Türkiye genelinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 246 meteoroloji istasyonunda ölçülen yıllık ortalama sıcaklık değerleri, mekânsal dağılım, görselleştirilme ve enterpolasyonda kullanılmıştır. Ortalama sıcaklık normalleri, 1981-2010 uzun dönem sıcaklık veri setinden elde edilmiştir. Yükseklik verileri, CBS ile sayısal yükseklik modelinden (SYM) elde edilmiştir. LR değeri 5°CKM^{-1} ($R^2=0.97$) olarak kullanılmıştır. 246 meteoroloji istasyonundan, 188 istasyonun sıcaklık verileri seçilerek ve çalışma sırasında kullanılmıştır. 58 istasyon doğrulama için ayrılmıştır. Yıllık ortalama sıcaklık (58 istasyon) gözlemleri ve tahmin edilen sıcaklık değerleri için maksimum minimum ve ortalama hatalar sırasıyla, 1.43, -1.61 ve 0.06°C ve ortalama karekök hatası (RMSE) 0,67 ve regresyon katsayısı (R^2) 0.96 olarak bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Sıcaklık, İklim, Lapse Rate, Yükseklik, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

ABSTRACT

Climate is the average weather conditions experienced in a particular place over a long period. Climatological normals are averages for consecutive periods of 30 years which are calculated from climatological data. Using climate normals are very important tool to provide a standard base for preparing global assessment and climate monitoring studies. A GIS-based method for deriving high-resolution grid data set of mean temperature (Base Period; 1981-2010) is developed for Turkey. Height and lapse rate value (changing rate of temperature with height) are used as predictors of temperatures on 1km resolution of grid points. In this study, mean annual temperature values measured at 246 meteorological stations of Turkish State Meteorological Service over Turkey are used for visualization and interpolation to reveal spatial distribution of mean annual temperature values. Mean annual temperatures have been obtained from period of 1981-2010 long term temperature data sets. Elevation data have been obtained from digital elevation models (DEM) with the help of GIS. Lapse rate value have been used as 5°CKm^{-1} ($R^2=0.97$). Temperature data from 188 stations have been selected from 246 meteorological stations and used during the study. 58 stations were retained for validation. For observations and predicted temperature values of yearly mean temperature (58 stations); maximum, minimum and mean errors are respectively, 1.43, -1.61 and 0.06°C and root-mean-square-error (RMSE) is 0,67 and regression coefficient (R^2) is 0.96.

KEY WORDS: Temperature, Climate, Lapse Rate, Height, Geographical Information Systems (GIS)

1. GİRİŞ

İklim oldukça geniş bir bölge içinde ve uzun yıllar değişmeyen ortalama hava koşullarıdır (Yalçın, G., ve ark., 2005 ve Eken, M., ve ark., 2008). Bir yerin iklimi, temel olarak enlemi, deniz seviyesinden olan yüksekliği ve okyanusa olan mesafesi ile belirlenir (Şensoy,S., ve Demircan, M., 2010). İklimin standart ortalama süresi 30 yıl olmakla birlikte diğer süreler amaca bağlı olarak kullanılabilir. İklim uzun bir süre boyunca belirli bir bölgedeki sıcaklık, nem, atmosferik basınç, rüzgâr, yağış, atmosferik parçacık sayımı ve çok sayıda diğer meteorolojik elemanların istatistiklerini kapsar. İklim; belirli bir zaman aralığında, belirli bir yer için atmosferin kolektif durumu olarak da tanımlanmaktadır. Kolektif durum istatistik kümelerin bir kısmı temelinde sınıflandırılır. En yaygın istatistik ortalamadır. İklim tanımları atmosfer gözlemleri ile yapılr ve sıcaklık, yağış, basınç, rüzgâr vb. içeren hava parametrelerinin çeşitlerinin ortalamaları ve ekstremeleri ile tanımlanır.

İklim normalleri başlıca iki amaç için kullanılır. Normaller; yeni veya mevcut birçok anomali tabanlı iklim veri kümeleri (örneğin, küresel ortalama sıcaklık) için bir temel sağlamayı da içeren karşılaştırılabilir gözlemler için bir ölçüt olarak hizmet vermektedir (WMO No:100, 2011). Normaller ayrıca, yaygın olarak belirli bir konumda yaşanabilecek olması muhtemel koşulların bir tahmini olarak, açık veya örtülü olarak kullanılmaktadır. Teknik Düzenlemeler (WMO-No. 49; WMO No:100, 2011) altında, klimatolojik standart normaller; art arda birbirini takip eden 30 yıllık dönemler için hesaplanan klimatolojik verilerin ortalamalarıdır: 01 Ocak 1901'den 31 Aralık 1930'a kadar, 1 Ocak 1931'den 31 Aralık 1960'a kadar, vb. Normallerin beş önemli niteliği vardır; zamansal ortalamalardır, ağırlıksız ortalamalardır, ortalama dönemi otuz ardışık yıldır, geçmiş ve güncel verileri kullanan doğal filtrelerdir, on yılda bir yenilenirler (Arguez, A., ve Vose, R., S., 2011). İklim için Atmosferik Gözlem Paneli, bir tanesi en son dönemi temsil eden ve bir diğeri trend göstergesi için temel olmak üzere sabit kalan çift iklim normalini gerekli kabul eder (GCOS 158). Bununla beraber, birçok eğilim bilgilerinin şu anda 1961-1990 normaline göre sunulmasına bakılmaksızın, 1981-2010 döneminin sonrakiler için daha iyi bir dönem olduğunu dikkate almaktadır. Çifte standart nasıl işleyecek; 30/30 şekliyle iklim izleme yapılacak (nispeten istikrarlı, uzun vadeli ortalama olarak kalacak, güncel standart: 1961-1990), 30/10 şekliyle genel iklim hizmetleri için güncel normaller kullanılacak (Güncel standart: 1981-2010) (Wright, W., 2012). Dünya Meteoroloji Organizasyonu'nun VI. Bölgesindeki ülkeler incelendiğinde, 2011 yılında üç ülkenin standart dönem kullanmadığı, üç ülkenin 1961-1990

dönemini, dokuz ülkenin 1971-2000 dönemini, üç ülkenin hem 1961-1990, hem de 1971-2000 dönemini kullandığı görülmüştür (Demircan, M., 2011). Standart dönem kullanmayan ülkeler, bir takım sebepler nedeniyle bu dönemler için veri serileri olmadığından dolayı kullanamamaktadırlar. İklim normallerinin kullanılması yapılacak küresel değerlendirmeler için standart bir altlık sağlaması ve iklim izleme çalışmaları için çok önemli bir araçtır. 1981-2010 döneminin tamamlanmasıyla birlikte ülkeler bu dönemi normaller için kullanmaya başlamışlardır.

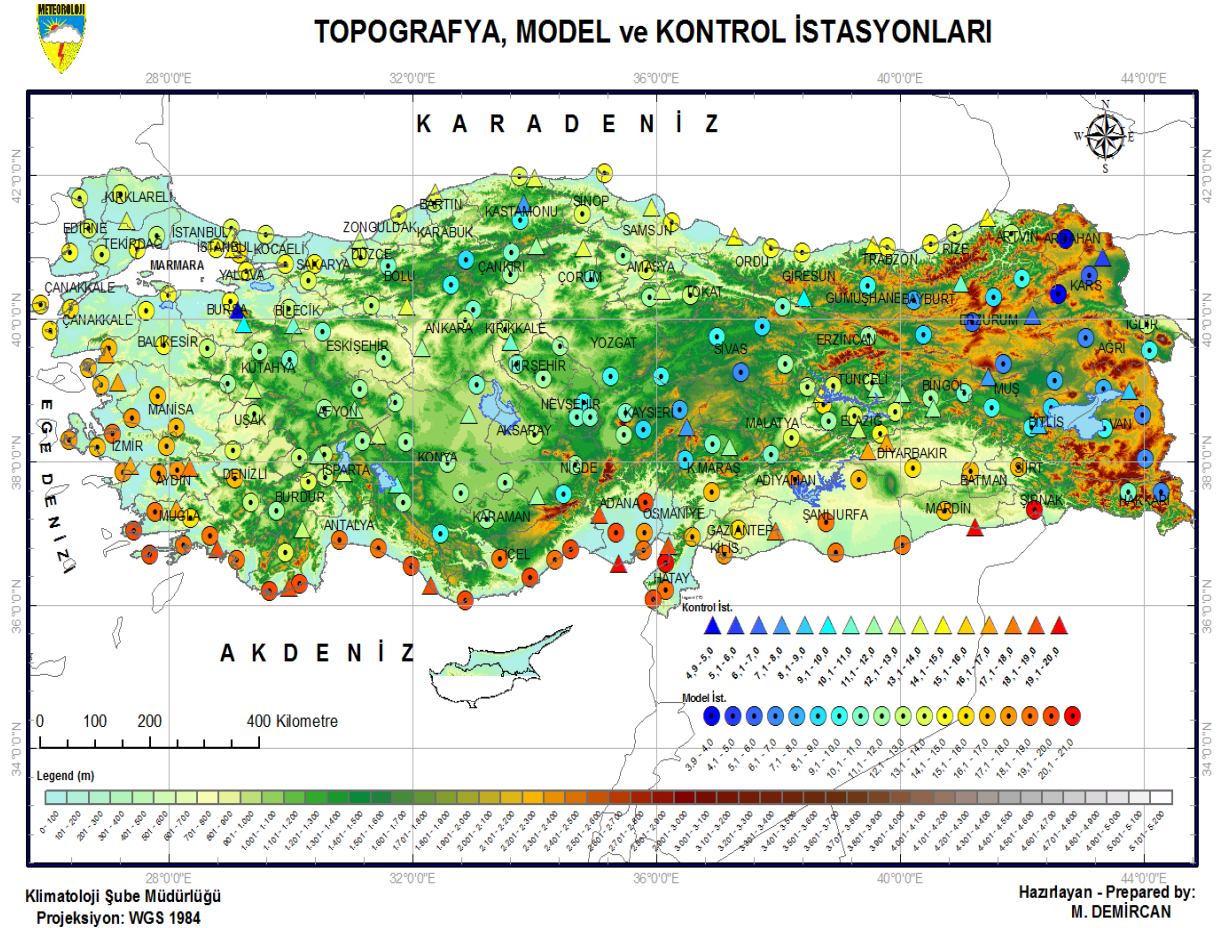
Meteorolojik veriler, gözlem maliyetleri ve topografyadan kaynaklanan sorunlar nedeni ile her yerde ölçülemezler. Bununla birlikte birçok sektör tarafından yapılan çalışma, analiz ve projelerde ise bu verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Demircan, M., ve diğerleri, 2011). Geniş ve dağlık coğrafyası olan ülkelerde, gözlem istasyonları genellikle tüm ülkeyi kapsayamaz (Demircan, M., ve diğerleri, 2011). Bu nedenle, farklı modeller topografyaya bağlı olarak, sıcaklık değişimlerini belirlemek ve sıcaklık verileri elde etmek için kullanılabilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), özellikle 2000’li yıllardan bu yana, iklim modeli çıktılarının ve meteorolojik ölçümlerin alansal dağılım çözünürlüğünü artırmak için kullanılan bir araç olmuştur. CBS programlarının Jeo-istatistik ve Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (GWR) araçları ile yapılan bazı model çalışmaları ile sıcaklık, yükseklik, eğim ve bakı verileri kullanılarak yapılmakta ve haritalar üretilmektedir. Ancak, bu modeller, istatistiksel olarak uygun olmasına rağmen, klimatolojik perspektif açısından topografyaya bağlı olarak sıcaklık dağılımını yansıtmamaktadır.

Sıcaklık; enlem, yükseklik, güneşlenme, su kaynaklarına uzaklık, bitki örtüsü, bakı, düşü ve benzeri etmenlere bağlı olarak değişen, bununla birlikte sürekliliği olan bir iklim parametresidir (Demircan, M., ve diğerleri, 2011). Sıcaklığın değişimi enlem ve coğrafi etmenlere bağlı olarak yavaş değişim gösterir ve ani sıçramalar veya kesilmeler yapmaz. Özellikle ortalama sıcaklıklar, ortaya çıktıkları yerin özelliklerini içlerinde taşırlar. Ortalama sıcaklıkların değişimindeki en önemli etmenin yükseklik ve enlem olarak ortaya çıktığı görülmektedir.

Bu çalışmada, mevcut sıcaklık ölçümleri kullanılarak, sıcaklık ölçümlerinin olmadığı alanlar için sıcaklık verilerinin tahmin edilmesi ve oluşturulan grid noktaları için sıcaklık verisi üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar 1981-2010 sıcaklık normalleri atlas çalışmasında kullanılacaktır. Bu amaçla sıcaklık ve yükseklik arasındaki ilişki

kullanılabilmektedir (Demircan, M., ve diğerleri, 2011). Lapse Rate (LR), sıcaklığın yükseklikle değişimi olarak tanımlanmaktadır. LR, havadaki nem miktarına bağlı olarak 0.5°C ila 1.0°C arasında değişmektedir.

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Türkiye üzerinde dağılım gösteren 246 istasyonda yapılan ölçümlerden elde edilen yıllık ve mevsimlik ortalama sıcaklık verileri; mekânsal dağılımını ortaya çıkarmak, görselleştirme ve enterpolasyon için kullanılmıştır. Ortalama sıcaklık verileri, 1981-2010 uzun yıllar sıcaklık veri setinden elde edilmiştir. Yükseklik verileri, Sayısal Yükseklik Modeli'nden (SYM) ArcGIS yardımıyla elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait (model ve kontrol için) kullanılan gözlem istasyonları ve SYM'den elde edilen yükseklik haritası.

2. YÖNTEM

Lapse Rate (LR): Sıcaklık verilerinin olmadığı yerlerde, istenilen sıcaklık verisi Lapse Rate değeri kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir (Demircan, M., ve diğerleri, 2011). LR, atmosferdeki adyabatik ısınma ve soğuma oranları olarak tanımlanır ve sıcaklığın yükseklikle değişmesi olarak açıklanır. Kuru havanın adyabatik LR oranı yaklaşık 100 metrede 1°C'dir. Fakat bununla birlikte genel tanımlayıcı amaçlar için 100 metrede 0.5°C azaldığı da varsayılır (Fairbridge ve Oliver, 2005; Demircan, M., ve diğerleri, 2011). Serbest atmosferde dikey lapse rate ortalaması, mevsimlere ve coğrafi durumlara göre değişiklikler olmakla birlikte, 6°Ckm-1'dir (Agnew ve Palutikof, 2000; Demircan, M., ve diğerleri, 2011).

LR, yükseklik/rakım ile ilgili olarak hava sıcaklığını tahmin etmek için geliştirilmiştir (Li, L., ve Heap, A., D., 2008). En yakın hava istasyonunun sıcaklık değeri ve hava sıcaklığı tahmin edilecek örneklenmemiş bir noktanın yükseklik farkı, bir bölge için hava sıcaklığı ve yükseklik arasındaki ilişkinin temeli üzerinde kullanır. Aynı zamanda akıllı enterpolasyon denir (Willmott ve Matsuura; 1995 Vicente-Serrano ve ark, 2003; Li, L., ve Heap, A., D., 2008). Bu, LR'nin çalışma bölgesi boyunca sabit olduğu varsayımına dayanır (Collins ve Bolstad, 1996; Li, L., ve Heap, A., D., 2008). LR'nin çeşitli varyantları hava sıcaklığı için öne sürülmüştür (Stahl ve ark., 2006; Li, L., ve Heap, A., D., 2008). Sadece yükseklik kullanılarak sıcaklık tahmini yapmanın sınırlılığı göz önüne alındığında, bu yöntem, bir daha ayrıntılı olarak ele alınmayacaktır.

İstasyonların sıcaklık verileri yüksekliklerine bağlı olarak aşağıdaki formül aracılığıyla deniz seviyesine indirgenmiştir.

$$T_d = T_i + (h_i * 0.005) \quad (1)$$

T_d = Deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık

T_i = İstasyonun ortalama sıcaklığı

h_i = İstasyonun yüksekliği

Deniz yüzeyine indirgenmiş sıcaklıklar 1x1Km çözünürlüklü yüksekliği belirli grid noktalarına çekilerek, (1) formülün tersten işletilmesi ile yani “ $T_g = T_d - (h_g * 0.005)$ ” şeklinde kullanılarak grid noktalarındaki sıcaklıklar elde edilmiştir.

Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (Inverse Distance Weighted – IDW): Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW) örneklem nokta verilerinden enterpolasyonla grid üretmede çoğunlukla tercih edilen ortak bir yöntemdir (Arslanoğlu ve Özçelik, 2005; Demircan, M., ve diğerleri, 2011). IDW enterpolasyon tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalarda daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılır. Bu teknik enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltan ve örneklem noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar.

Ağırlıklı hareketli ortalama enterpolasyon için yaygın kullanılan bir yaklaşımdır. Farklı ağırlıklı fonksiyonların çeşitleri kullanılmış fakat IDW, CBS sistemlerindeki en ortak form olmuştur. IDW tam bir ara değer üreticisidir (enterpolatördür) öyle ki verilerin değerlerini pekiştirir. IDW tahmincisi aşağıdaki gibidir (Lloyd, 2007; Demircan, M., ve diğerleri, 2011);

$$\hat{z}(x_o) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_{i0}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{i0}^{-r}} \quad (2)$$

Tahminlerin yapıldığı x_0 lokasyonu, komşu ölçümleri n 'nin bir fonksiyonudur ($z(x_i)$ ve $i=1,2,\dots,n$); r gözlemlerin her birinin atanmış ağırlığını belirleyen üstür ve d gözlem lokasyonu x_i ile tahmin lokasyonu x_0 'ı ayıran mesafedir. Üs büyüdükçe, tahmin lokasyonundan uzak mesafedeki gözlemlerin atanmış ağırlığı küçülür. Üssün artması, tahminlerin en yakındaki gözlemlere çok benzediğini gösterir.

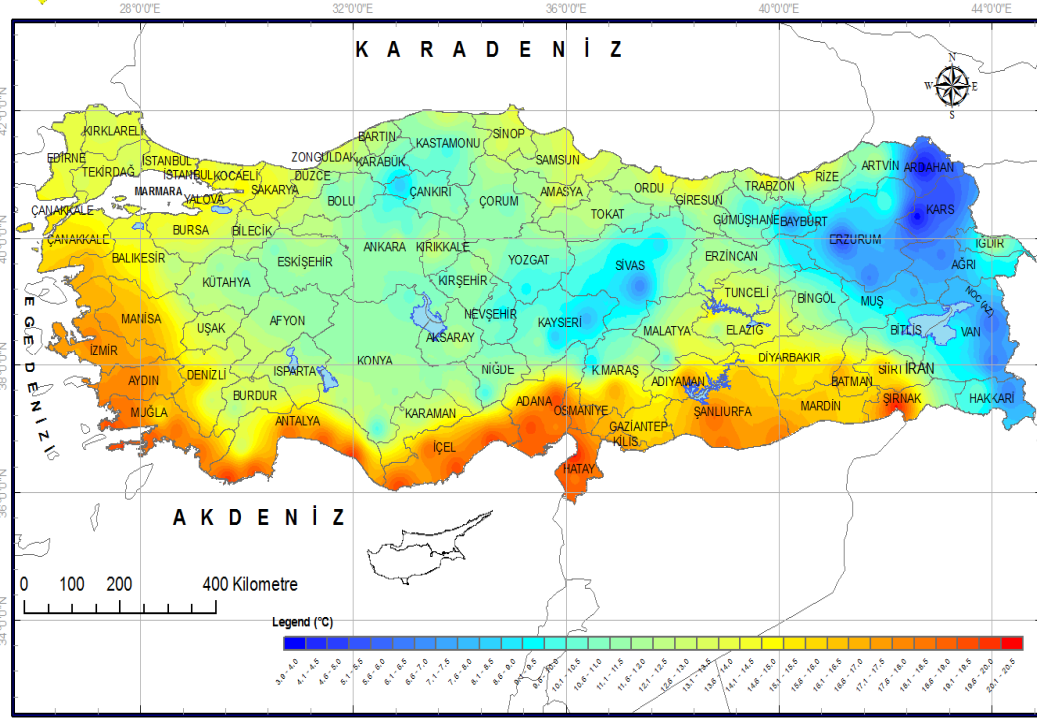
3. ANALİZLER

Uludağ ve çevresindeki istasyonların değişik zaman aralıklı sıcaklık verilerinin yükseklik ile değişim ilişkisine bakılarak kullanılacak LR oranı tespit edilmiştir (Demircan, M., ve diğerleri, 2011). LR, regresyon katsayısı (R^2) 0.97 ile ortalama 5°CKm^{-1} olarak bulunmuştur. Çalışmada LR için bu değer kullanılmıştır.

1981-2010 periyodunda sıcaklık verileri olan 246 meteoroloji istasyonunun uzun yıllar, yıllık ve mevsimlik ortalamaları hesaplanmıştır. 246 meteoroloji istasyonundan 188 istasyon modelleme için kullanılmış, haritalandırılmış (Şekil2) ve seçilen 58 istasyon doğrulama amaçlı olarak modelleme dışında bırakılmıştır. IDW yöntemi düzlemsel enterpolasyon yapmaktadır. Bu nedenden, seçilen istasyonların yıllık ortalama sıcaklık değerleri, yükseklik farklılıklarını ortadan kaldırmak ve bir düzlem değerleri elde etmek için, önce (1) formülü yardımıyla deniz seviyesine indirilmiş ve elde edilen değerler IDW yöntemiyle dağıtılmıştır (Şekil3). Bu değerlerin haritalarının oluşturulması ve enterpolasyon için ArcGIS'in IDW aracı kullanılmıştır. Türkiye'yi kaplayan 1x1Km çözünürlükteki grid noktaları, ArcGIS içine ayrıca kurulan HAWHTS aracı yardımıyla oluşturulmuştur. Grid noktalarına (1x1Km çözünürlüklü), oluşturulan deniz seviyesi sıcaklık haritalarından sıcaklık değerleri, "ArcGIS - Spatial Analyst – Extraction aracı" yardımıyla alınarak (1) formülü tersine uygulanmış ve sıcaklıklar bu grid noktalarının yüksekliklerine taşınmış ve elde edilen değerler IDW yöntemiyle interpolate edilmiştir (Şekil4). Elde edilen bu haritalardan, doğrulama için ayrılmış istasyonlara modellenmiş sıcaklık verileri yukarıda bahsedilen şekilde alınarak, bu istasyonların gözlemlenmiş sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış, farkları bulunmuş (Şekil5), bu işlem yıllık ve mevsimler için tekrarlanmış sıcaklıklardaki yıllık değişimin görülebilmesi için aynı gösteri kullanılarak haritalanmıştır (Şekil 6 a, b, c). Ortalama Karesel Hataları (RMSE) ve regresyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo1, Şekil7).



YILLIK ORTALAMA SICAKLIK NORMALİ (1981 - 2010, 188 İstasyon)

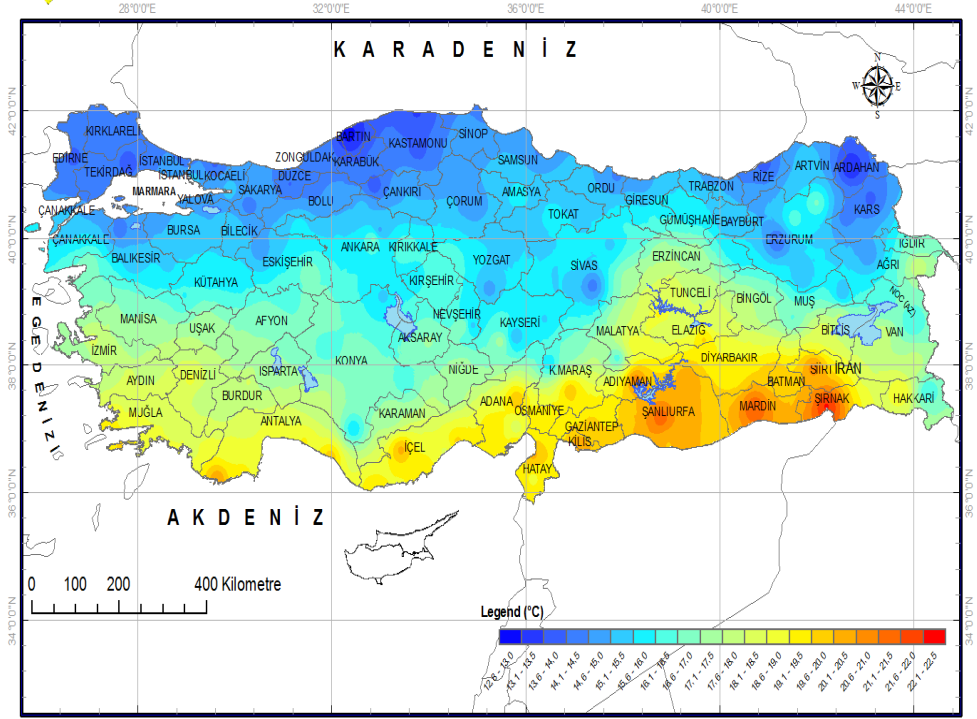


Klimatoloji Şube Müdürüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN



YILLIK ORTALAMA SICAKLIK NORMALİ (1981 - 2010, 188 İstasyon)

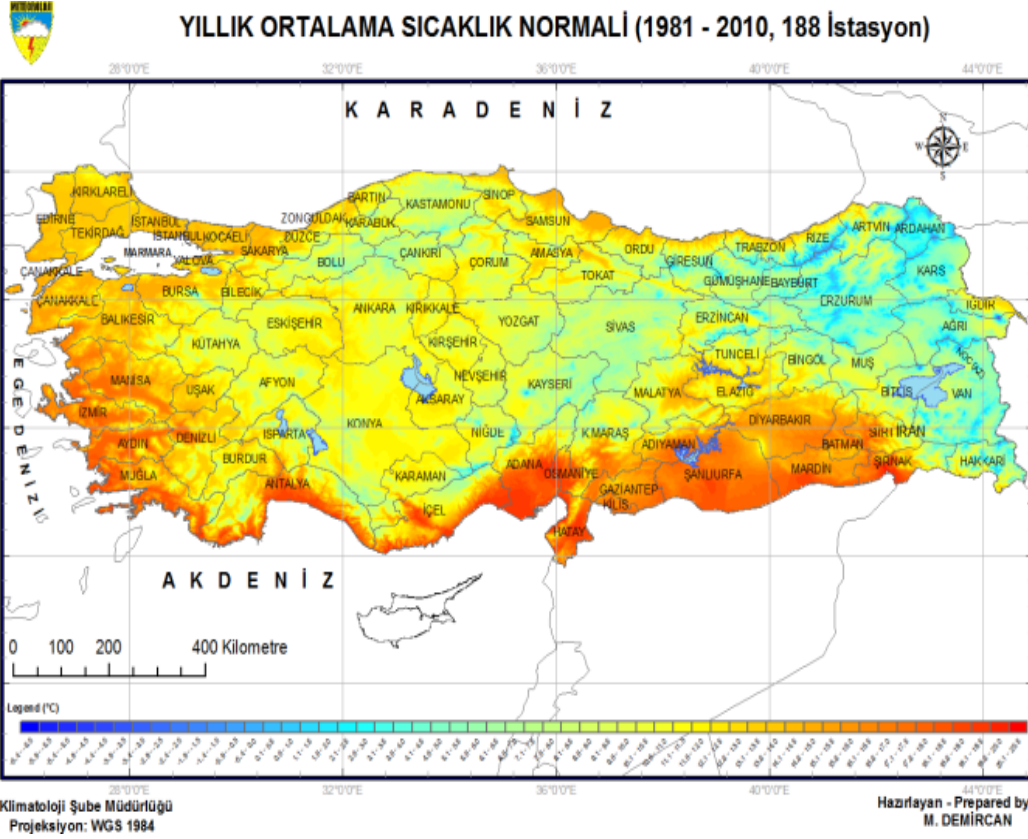


Klimatoloji Şube Müdürüğü
Projeksiyon: WGS 1984

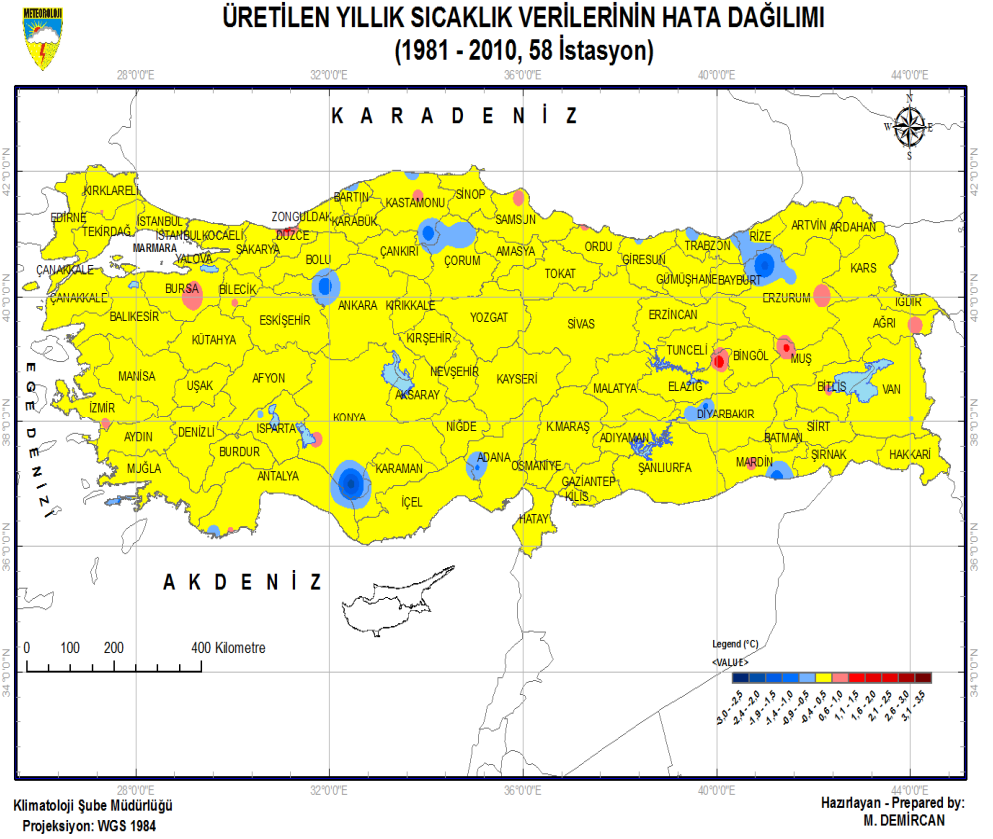
Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

Şekil 2 Yıllık ortalama sıcaklık normalleri

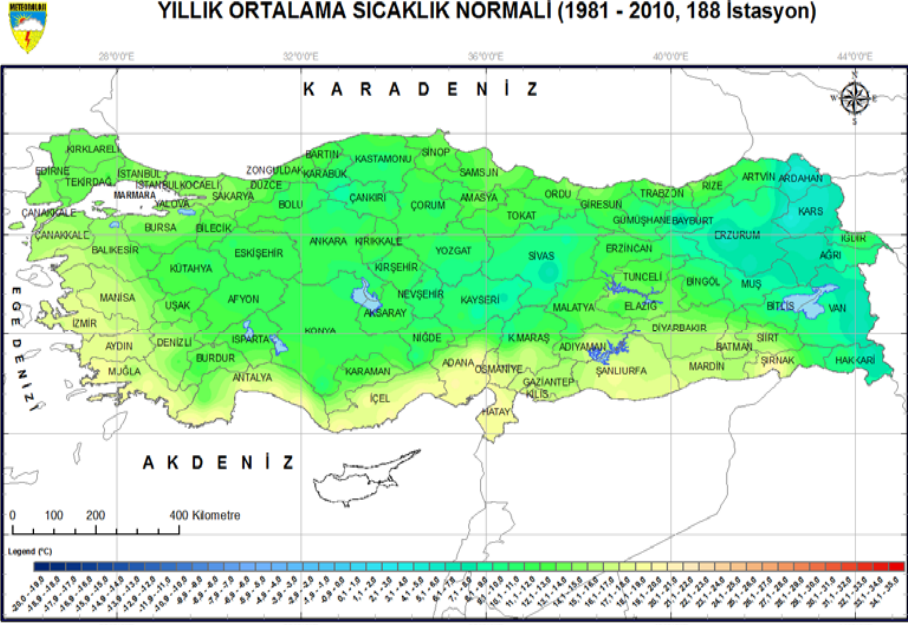
Şekil 3 Deniz seviyesine indirgenmiş normaller



Şekil 4 Modellenmiş normaller

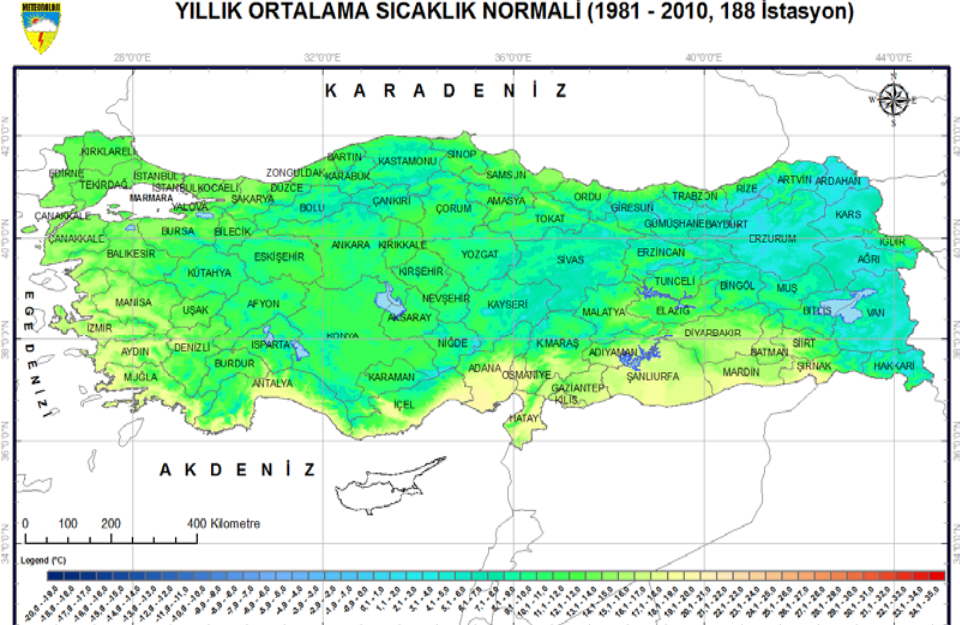


Şekil 5 Gözlem ve model sıcaklık verileri arasındaki hataların dağılımı



Klimatoloji Şube Müdürüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN



Klimatoloji Şube Müdürüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

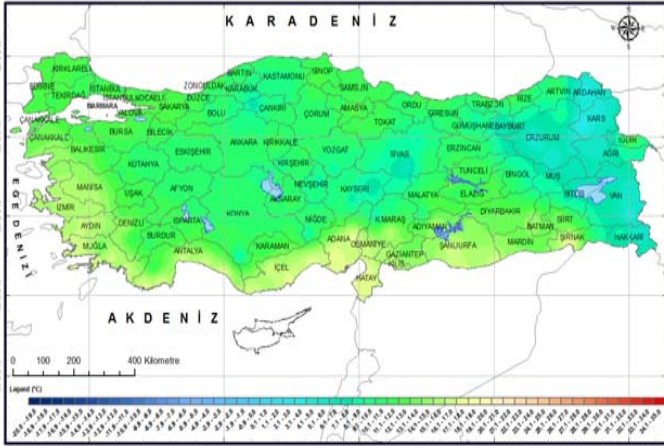


Klimatoloji Şube Müdürüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

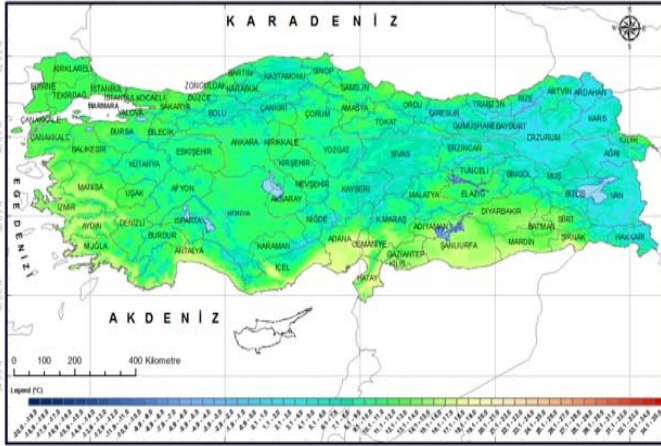
Şekil 6 a) 1981-2010 normalleri yıllık ve mevsimlik gözlemlenmiş, modellenmiş sıcaklık ve hata haritaları

İLKBAHAR MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMALİ (1981 - 2010, 188 İstasyon)



Klimatoloji Şube Müdürlüğü Hazırlayan - Prepared by: M. DEMİRCAN
Projeksiyon: WGS 1984

İLKBAHAR MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMALİ (1981 - 2010, 188 İstasyon)



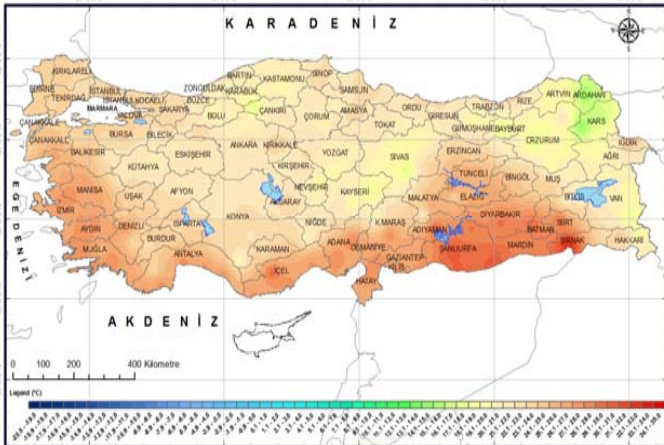
Klimatoloji Şube Müdürlüğü Hazırlayan - Prepared by: M. DEMİRCAN
Projeksiyon: WGS 1984

ÜRETİLEN İLKBAHAR MEVSİMİ SICAKLIK VERİLERİNİN HATA DAĞILIMI (1981 - 2010, 58 İstasyon)



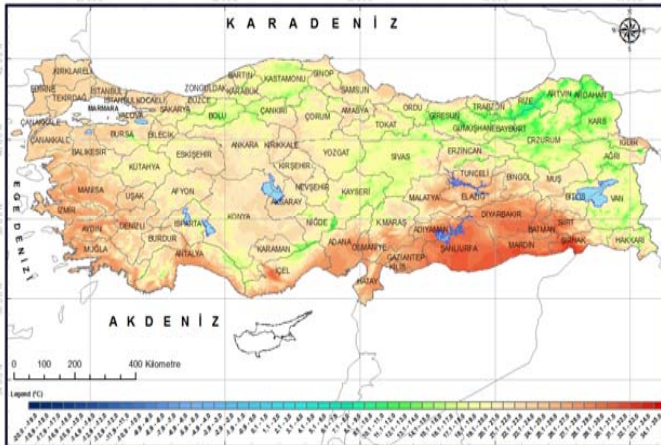
Klimatoloji Şube Müdürlüğü Hazırlayan - Prepared by: M. DEMİRCAN
Projeksiyon: WGS 1984

YAZ MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMALİ (1981 - 2010, 188 İstasyon)



Klimatoloji Şube Müdürlüğü Hazırlayan - Prepared by: M. DEMİRCAN
Projeksiyon: WGS 1984

YAZ MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMALİ (1981 - 2010, 188 İstasyon)



Klimatoloji Şube Müdürlüğü Hazırlayan - Prepared by: M. DEMİRCAN
Projeksiyon: WGS 1984

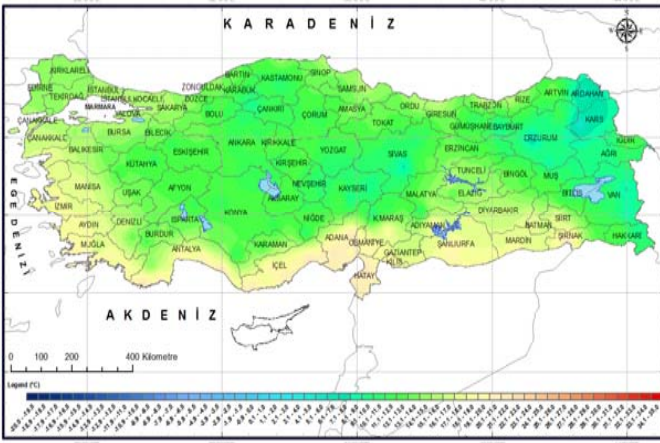
ÜRETİLEN YAZ MEVSİMİ SICAKLIK VERİLERİNİN HATA DAĞILIMI (1981 - 2010, 58 İstasyon)



Klimatoloji Şube Müdürlüğü Hazırlayan - Prepared by: M. DEMİRCAN
Projeksiyon: WGS 1984

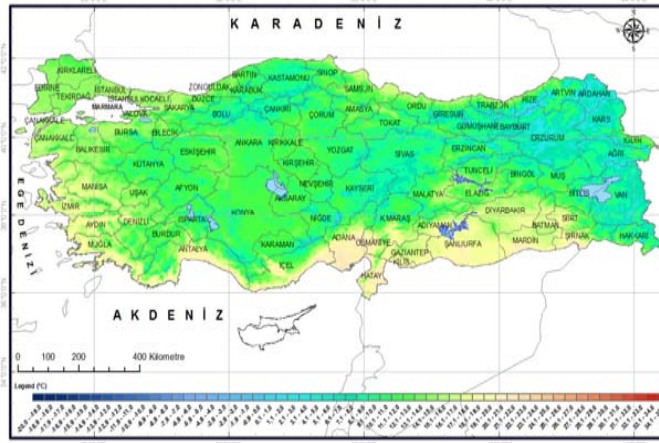
Şekil 6 b) 1981-2010 normalleri yıllık ve mevsimlik gözlemlenmiş, modellenmiş sıcaklık ve hata haritaları

SONBAHAR MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMALI (1981 - 2010, 188 İstasyon)



Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeeksiyon: WGS 1984
Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

SONBAHAR MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMALI (1981 - 2010, 188 İstasyon)



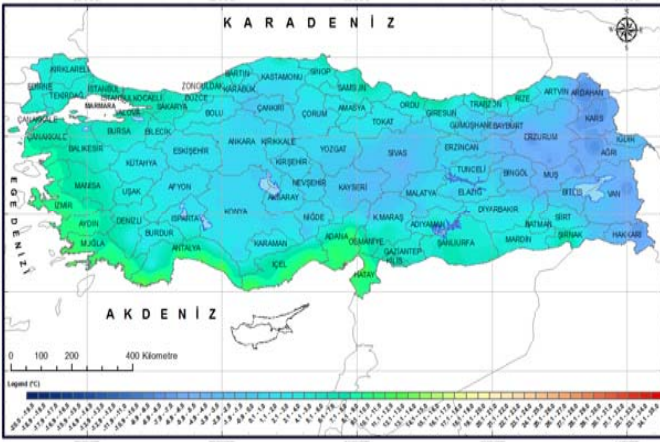
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeeksiyon: WGS 1984
Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

ÜRETİLEN SONBAHAR MEVSİMİ SICAKLIK VERİLERİNİN HATA DAĞILIMI
(1981 - 2010, 58 İstasyon)



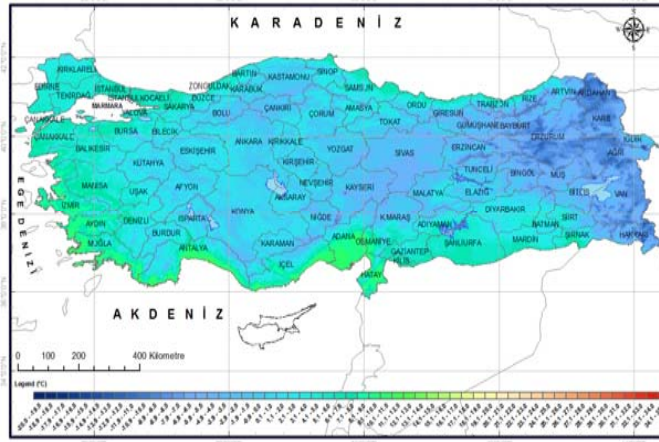
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeeksiyon: WGS 1984
Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

KIŞ MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMALI (1981 - 2010, 188 İstasyon)



Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeeksiyon: WGS 1984
Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

KIŞ MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMALI (1981 - 2010, 188 İstasyon)



Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeeksiyon: WGS 1984
Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

ÜRETİLEN KIŞ MEVSİMİ SICAKLIK VERİLERİNİN HATA DAĞILIMI
(1981 - 2010, 58 İstasyon)

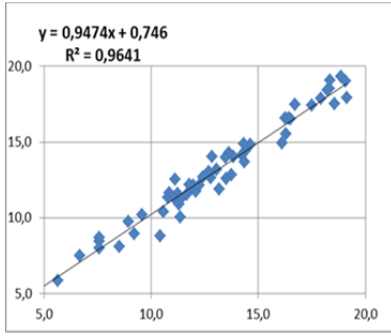


Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeeksiyon: WGS 1984
Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

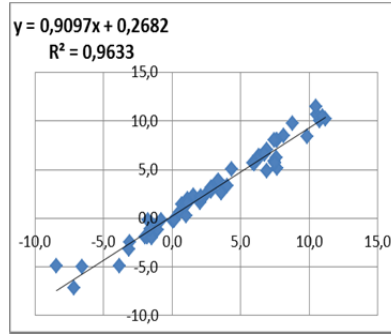
Şekil 6 c) 1981-2010 normalleri yıllık ve mevsimlik gözlemlenmiş, modellenmiş sıcaklık ve hata haritaları

| <i>Tablo 1 RMSE, R² ve hata değerleri</i> | | | | | | |
|--|--------------------------|-------|----------|-------|----------|--|
| 1981-2010 Ortalama Sıcaklık Normalleri | Yıllık Ortalama Sıcaklık | Kış | İlkbahar | Yaz | Sonbahar | |
| Ortalama Karesel Hata (RMSE) | 0,67 | 0,94 | 0,76 | 0,96 | 0,73 | |
| R ² | 0,96 | 0,96 | 0,94 | 0,92 | 0,96 | |
| Ortalama Hata | 0,06 | -0,01 | 0,12 | 0,09 | 0,06 | |
| Maksimum Hata | 1,43 | 3,54 | 2,23 | 1,83 | 1,70 | |
| Minimum Hata | -1,61 | -2,50 | -1,97 | -2,92 | -1,86 | |

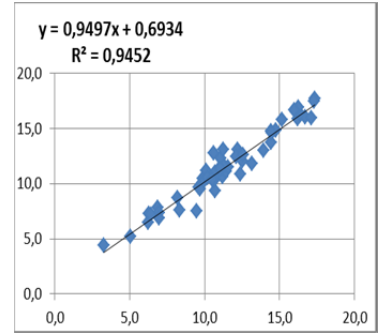
Yıllık Ortalama Sıcaklık



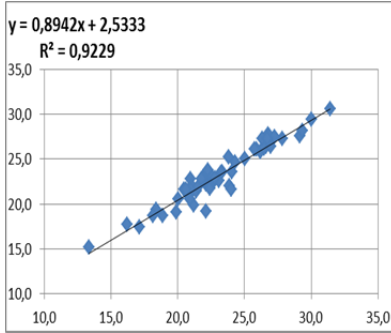
Kış Ortalama Sıcaklık



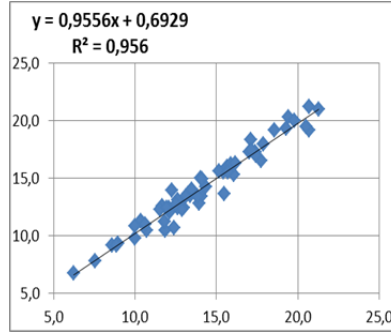
İlkbahar Ortalama Sıcaklık



Yaz Ortalama Sıcaklık



Sonbahar Ortalama Sıcaklık



Şekil 7 Gözlem sıcaklık ve model sıcaklık verilerinin ilişkisi

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada 246 meteoroloji istasyonunda ölçülen ortalama yıllık sıcaklık değerleri kullanılarak, sıcaklığın mekânsal dağılımı yükseklik verileri ve LR yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. LR 5°Ckm⁻¹ olarak kullanılmıştır.

246 meteoroloji istasyonundan 188 istasyon modelleme için kullanılmış ve seçilen 58 istasyon doğrulama amaçlı olarak modelleme dışında bırakılmıştır. Çalışmadaki mekânsal dağıtımlar için Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği kullanılmıştır.

Modelleme sonucunda doğrulama istasyonlarında; sırasıyla ortalama, maksimum ve minimum hatalar yıllık için 0.06, 1.43 ve -1.61°C, ortalama karesel hata (RMSE) 0.67 ve regresyon katsayısı (R^2) ise 0.96'dir. Kış mevsimi için -0.01, 3.54 ve -2.50°C, ortalama karesel hata (RMSE) 0.94 ve regresyon katsayısı (R^2) ise 0.96'dir. İlkbahar mevsimi için 0.12, 2.23 ve -1.97°C, ortalama karesel hata (RMSE) 0.76 ve regresyon katsayısı (R^2) ise 0.94'dir. Yaz mevsimi için 0.09, 1.83 ve -2.92°C, ortalama karesel hata (RMSE) 0.96 ve regresyon katsayısı (R^2) ise 0.92'dir. Sonbahar mevsimi için 0.06, 1.70 ve -1.86°C, ortalama karesel hata (RMSE) 0.73 ve regresyon katsayısı (R^2) ise 0.96 olarak hesaplanmıştır.

Hatalar ($\pm 1.0^\circ\text{C}$ üzerindeki) istasyon bazında incelendiğinde, en düşükten yükseğe sıralanarak: Yıllık ortalama sıcaklık için; İspir, Beypazarı, Tosya, Nusaybin ve Ergani'de ortalama sıcaklıklarından -1.1 ila -1.6°C düşük ve Karakoçan, Akçakoca ve Varto'da ise 1.1 ila 1.4°C yüksek çıkmıştır. Kış mevsimi için; Hopa, Amasra, Nusaybin, Akçaabat, Karaisalı, Ünye ve Muradiye'de ortalama sıcaklıklarından -1.1 ila -2.5°C düşük ve Horasan, Varto ve Karakoçan'da ise 1.1 ila 3.5°C yüksek çıkmıştır. İlkbahar mevsimi için; İspir, Osmancık, Tosya ve Nusaybin'de ortalama sıcaklıklarından -1.1 ila -2.0°C düşük ve Akçakoca, Ünye, Bafra ve Uludağ'da ise 1.1 ila 2.2°C yüksek çıkmıştır. Yaz mevsimi için; İspir, Beypazarı, Osmancık, Ergani, Tosya ve Çermik'te ortalama sıcaklıklarından -1.1 ila -2.9°C düşük ve Akçakoca, Uludağ, Ünye, Devrekâni, Karakoçan, Hopa ve Tatvan'da ise 1.1 ila 1.8°C yüksek çıkmıştır. Sonbahar mevsimi için; Amasra, Tosya, Karaisalı, İspir, Ergani, Beypazarı ve Nusaybin'de ortalama sıcaklıklarından -1.1 ila -1.9°C düşük ve Karakoçan ve Selçuk'ta ise 1.1 ila 1.7°C yüksek çıkmıştır.

Bu tür çalışmaların hepsinin başarısı doğru ve sık veriye dayanır (Demircan, M., ve diğerleri, 2011). Ülkemizin özellikle dağlık kesimlerinde ve büyük nehir vadileri boyunca temel iklim elemanlarının gözlemlenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Bunun üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde; kara – deniz ilişkisinin, dağların denizlerden gelerek iç kesimlere akan hava kütlelerine etkisinin ve mikro-iklim bölgelerinin tespitini kolaylaştıracağı ve doğruluğu artıracığı düşünülmektedir.

Bu tür çalışmalarda kullanılan yükseklik veri setleri çok önemlidir. Yükseklik veri setleri oluşturulurken kullanılan yeniden örnekleme (resampling) teknikleri ile oluşturulan yeni grid hücrelerinde gerçek topografyaya ait yükseklik bilgileri kaybolabilmektedir. Çalışmadaki hata kaynaklarının birisi de meteoroloji istasyonlarının yüksekliği ile SYM'den alınan yükseklik farklarıdır. Çalışmada kullanılan 1km çözünürlüklü grid noktalarının yükseklik değerlerinin daha yüksek çözünürlüklü bir SYM'den alınması durumunda hata miktarlarının minimuma ineceği düşünülmektedir.

Çalışmada görülen diğer bir hata kaynağı ise istasyon koordinatlarının kullanılan Türkiye sınırları altlığının dışına düşüyor olmasıdır. Bu sorun özellikle deniz kıyısında ve Türkiye sınırlarında olan istasyonlarımızda görülmektedir.

Bu tip modelleme çalışmaları için Türkiye'de altlık harita sağlayıcı kurumların bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere yüksek çözünürlüklü altlıkları hazırlayarak kullanıcılara sağlamasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

İstasyonların mikro-klimatolojik özellik göstermesinin ise diğer bir hata kaynağı olabileceği düşünülmektedir.

CBS ile modellemelerde kullanılan jeo-istatistik ve coğrafi ağırlıklı regresyon yöntemleri ile çalışmalar yapılarak yöntemlerin karşılaştırılması ve 1981-2010 sıcaklık normalleri atlas çalışmasında kullanılması planlanmaktadır.

Bu çalışma iklimin sıcaklık parametresinin CBS yardımıyla istatistikî olarak topografyaya bağlı dağıtımın kolay ve pratik bir yolunu sunmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Yalçın, G., Demircan, M., Ulupınar, Y., ve Bulut, E., Klimatoloji – I, DMİ Yayınları, Yayın No : 2005 / 1, 2005, Ankara, Sayfa 4,
<http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/klimatoloji1.pdf>
2. Eken, M., Ulupınar, Y., Demircan, M., Nadaroğlu, Y., Aydın, B., ve Özhan, Ü., Klimatolojik Rasat El Kitabı, DMİ Yayınları, Yayın No: 2008/3, 2008, Ankara, Sayfa 1,
3. Sensoy, S., ve Demircan, M., Climatological Applications In Turkey, 2010, Ankara, Sayfa 1,
<http://www.rtc.dmi.gov.tr/FILES/KURS/336/DOCS/Climatological%20Applications.pdf>
4. Guide to Climatological Practices Third Edition, WMO-No. 100, 2011, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Sayfa 4-16, 17,
www.wmo.int/pages/prog/wcp/documents/Guide2.pdf
5. Technical Regulations Volume I, General Meteorological Standards and Recommended Practices, Basic Documents No. 2, WMO - No. 49, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 1988, Sayfa XI
http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_49_en-v1_1988.pdf
6. Arguez, A., ve Vose, R., S., The Definition of the Standard WMO Climate Normal The Key to Deriving Alternative Climate Normals, DOI: 10.1175/2010BAMS2955.1, 2011
<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010BAMS2955.1>
7. GCOS – 158, Summary Report and Recommendations from the Seventeenth Session of the GCOS/WCRP Atmospheric Observation Panel for Climate (AOPC-XVII), WCRP 10/2012, 2012, Sayfa 5
<http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-158.pdf>
8. Wright, W., WMO Technical Commission for Climatology, Open Panel of CCI Experts on Climate Data Management (OPACE-I), AOPC-XVII, Geneva 30 April - 3 May 2012,
http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/apocXVII/presentations/6.1_CCI_Wright.pdf
9. Demircan, M., Basic Approach To Climate Monitoring Products And Climate Monitoring Products In WMO RA VI, Meeting of the Commission for Climatology (CCI) (OPACE 2) Task Team on National Climate Monitoring Products, Geneva, 2011,
http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/opace2_tt_ncmp/Climate_Monitoring_Product_Europe.pdf

10. Demircan, M., Alan, İ., ve Şensoy, S., Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Sıcaklık Haritalarının Çözünürlüğünün Artırılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara,
http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/bfa3a35a87198f7_ek.pdf
11. Demircan, M., Alan, I., and Sensoy, S., Increasing Resolution Of Temperature Maps By Using Geographic Information Systems (GIS) And Topography Information, 5th Atmospheric Science Symposium, 27-29 April 2011, İstanbul Technical University, İstanbul – Turkey, Sayfa 423,
http://siga.uubf.itu.edu.tr/atmosfer/files/conferences/1/ATMOS2011_Proceedings.pdf
12. Demircan, M., Alan, I., and Sensoy, S., Increasing Resolution of Temperature Maps by Using Geographic Information Systems and Topography Information, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 8, EMS2011-182, 2011, 11th EMS / 10th ECAM,
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2011/EMS2011-182.pdf>
http://presentations.copernicus.org/EMS2011-182_presentation.pdf
13. Li, L., ve Heap, A., D., 2008, A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists, Geoscience Australia Record 2008/23, 2008, Australia, Sayfa 10 http://www.ga.gov.au/image_cache/GA12526.pdf
14. J.E.Oliver, R.W.Fairbridge at all, Encyclopedia of World Climate, 2005, Sayfa 448
15. M.D.Agnew, J.P.Palutikof, GIS-based construction of baseline climatologies for the Mediterranean using terrain variables, 2000
<http://www.int-res.com/articles/cr/14/c014p115.pdf>
16. C.D.Loyd, Local Models for Spatial Analysis, 2007, Sayfa 98

İKLİM NORMALLERİ: ÜÇ SICAKLIK NORMALİNİN İLİŞKİLERİ VE UZAMSAL DAĞILIMLARI

Mesut DEMİRCAN, Hüseyin ARABACI, Erdoğan BÖLÜK, Alper AKÇAKAYA, Mithat
EKİCİ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara,
mdemircan@mgm.gov.tr, harabaci@mgm.gov.tr, eboluk@mgm.gov.tr, aakcakaya@mgm.gov.tr,
mekici@mgm.gov.tr

ÖZET

İklim belirli bir bölge içinde ve uzun yıllar değişmeyen ortalama hava koşullarıdır. Klimatolojik normaller; birbirini takip eden 30 yıllık dönemler için hesaplanan klimatolojik verilerin ortalamalarıdır. İklim normallerinin kullanılması yapılacak küresel değerlendirmeler için standart bir altlık sağlaması ve iklim izleme çalışmaları için çok önemli bir araçtır.

Bu çalışmada; 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 olmak üzere üç sıcaklık normalleri arasındaki ilişkinin kurulması ve uzamsal dağılımının gösterilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yıllık ve mevsimlik ortalamalar bazında sıcaklık verilerinin trendleri, MAKESENS yazılımı yardımı ile MannKendall ve Sen's istatistik yöntemleri ile incelenmiştir. Uzamsal dağılımlar için Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Sıcaklık, İklim Normalleri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Mann-Kendall, Sens

ABSTRACT

Climate is the average weather conditions experienced in a particular place over a long period. Climatological normals are averages for consecutive periods of 30 years which are calculated from climatological data. Using climate normals are very important tool to provide a standard base for preparing global assessment and climate monitoring studies.

In this study, it is aimed to establish of the relationship between three temperature normals, which are including 1961-1990, 1971-2000 and 1981-2010, and to show its spatial distribution. Furthermore, trend of temperature data, which are basis on annual and seasonal averages, were investigated according to MannKendall and Sen's statistical methods with help of MAKESENS software. Geographic Information Systems are used for the spatial distributions.

KEY WORDS: Temperature, Climate Normals, Geographical Information Systems (GIS), Mann-Kendall, Sens

1. GİRİŞ

İklim oldukça geniş bir bölge içinde ve uzun yıllar değişmeyen ortalama hava koşullarıdır [1;2;3]. Bir yerin iklimi, temel olarak enlemi, deniz seviyesinden olan yüksekliği ve okyanusa olan mesafesi ile belirlenir [3; 4]. İklimin standart ortalama süresi 30 yıl olmakla birlikte diğer süreler amaca bağlı olarak kullanılabilir. İklim uzun bir süre boyunca belirli bir bölgedeki sıcaklık, nem, atmosferik basınç, rüzgâr, yağış, atmosferik parçacık sayımı ve çok sayıda diğer meteorolojik elemanların istatistiklerini kapsar. İklim; belirli bir zaman aralığında, belirli bir yer için atmosferin kolektif durumu olarak da tanımlanmaktadır. Kolektif durum istatistik kümelerin bir kısmı temelinde sınıflandırılır. En yaygın istatistik ortalamadır. İklim tanımları atmosfer gözlemleri ile yapılır ve sıcaklık, yağış, basınç, rüzgâr vb. içeren hava parametrelerinin çeşitlerinin ortalamaları ve ekstremeleri ile tanımlanır.

İklim normalleri başlıca iki amaç için kullanılır. Normaller; yeni veya mevcut birçok anomali tabanlı iklim veri kümeleri (örneğin, küresel ortalama sıcaklık) için bir temel sağlamayı da içeren karşılaştırılabilir gözlemler için bir ölçüt olarak hizmet vermektedir [3;5]. Normaller ayrıca, yaygın olarak belirli bir konumda yaşanabilecek olması muhtemel koşulların bir tahmini olarak, açık veya örtülü olarak kullanılmaktadır. Teknik Düzenlemeler [3;5;6] altında, klimatolojik standart normaller; art arda birbirini takip eden 30 yıllık dönemler için hesaplanan klimatolojik verilerin ortalamalarıdır: 01 Ocak 1901'den 31 Aralık 1930'a kadar, 1 Ocak 1931'den 31 Aralık 1960'a kadar, vb. Normallerin beş önemli niteliği vardır; zamansal ortalamalardır, ağırlıksız ortalamalardır, ortalama dönemi otuz ardışık yıldır, geçmiş ve güncel verileri kullanan doğal filtrelerdir, on yılda bir yenilenirler [3;7]. İklim için Atmosferik Gözlem Paneli, bir tanesi en son dönemi temsil eden ve bir diğeri trend göstergesi için temel olmak üzere sabit kalan çift iklim normalini gerekli kabul eder [8]. Bununla beraber, birçok eğilim bilgilerinin şu anda 1961-1990 normaline göre sunulmasına bakılmaksızın, 1981-2010 döneminin sonrakiler için daha iyi bir dönem olduğunu dikkate almaktadır. Çifte standart nasıl işleyecek; 30/30 şekliyle iklim izleme yapılacak (nispeten istikrarlı, uzun vadeli ortalama olarak kalacak, güncel standart: 1961-1990), 30/10 şekliyle genel iklim hizmetleri için güncel normaller kullanılacak (Güncel standart: 1981-2010) [3;9]. Dünya Meteoroloji Organizasyonu'nun VI. Bölgesindeki ülkeler incelendiğinde, 2011 yılında üç ülkenin standart dönem kullanmadığı, üç ülkenin 1961-1990 dönemini, dokuz ülkenin 1971-2000 dönemini, üç ülkenin hem 1961-1990, hem de 1971-2000 dönemini kullandığı görülmüştür [3;10]. Standart dönem kullanmayan ülkeler, bir takım sebepler nedeniyle bu

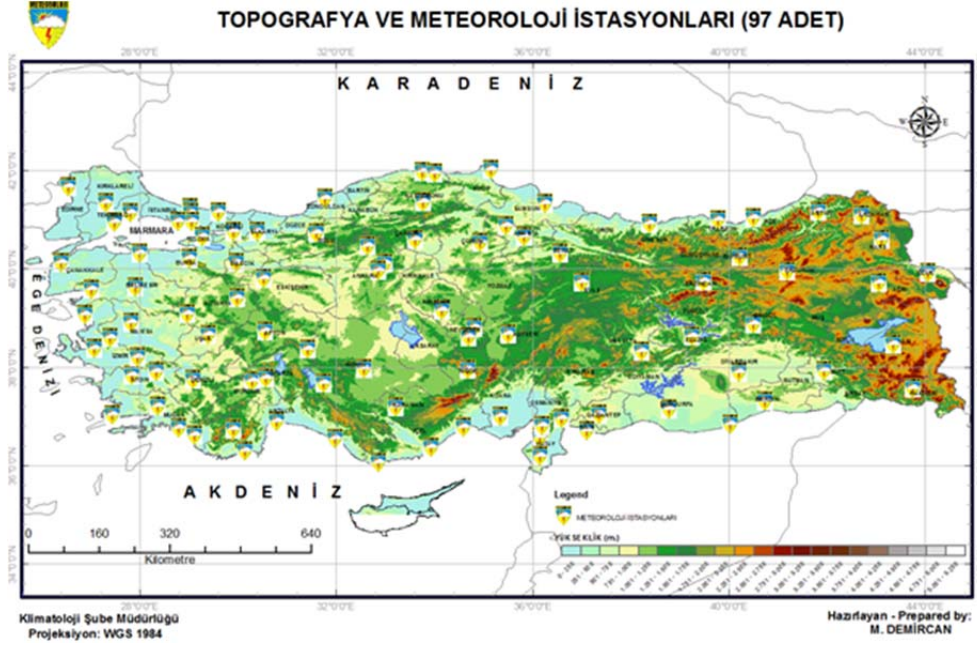
dönemler için veri serileri olmadığından dolayı kullanamamaktadırlar. İklim normallerinin kullanılması yapılacak küresel değerlendirmeler için standart bir altlık sağlaması ve iklim izleme çalışmaları için çok önemli bir araçtır. 1981-2010 döneminin tamamlanmasıyla birlikte ülkeler bu dönemi normaller için kullanmaya başlamışlardır.

İklim referans dönemleri, 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 iklim normalleri olarak; uluslararası, ulusal ve bölgesel temelli iklim izleme, iklim trendleri, iklim değişikliği ve iklim modelleme çalışmalarında, bilim insanları, ulusal iklim servisleri ve uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından kullanılmaktadır [11;12;13;14].

1961-1990 iklim normalisi; Devlet Planlama Teşkilatı tarafından ‘Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı’, kapsamında oluşturulan ‘İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu’nun oluşturduğu raporda [15], Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi Raporu’nda [16], birçok bilim insanının çalışmalarında [17;18;19] ve ayrıca 1971-2000 iklim normalisi de [20;21;22;23] referans dönem olarak kullanılmıştır.

İklim normalleri, iklim veri tabanına eklenen yeni gözlemler ile gözlem süresinin uzaması sonucu iklim çalışmaları yapanlar tarafından yeni dönemler ile güncellenmektedir. Yapılan yeni çalışmalar ile eski çalışmalar arasındaki değişimi gözlemek için iklim normallerinin birbiri ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Öte yandan, 1981-2010 dönemli iklim normalisinin kullanılması, özellikle 1997 yılından bu yana kendini hissettiren sıcaklık artış dönemini içermesi nedeni ile diğer iklim normalleri dönemine göre artışları gizlemektedir. Bu çalışmada; Türkiye için 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 iklim normalleri arasındaki ilişkinin kurulması ve uzamsal dağılımının gösterilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne ait Türkiye üzerinde dağılım gösteren 97 istasyonda yapılan ölçümlerden elde edilen 1961-2010 uzun yıllar sıcaklık veri setinden; 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 dönemleri için, yıllık ve mevsimlik ortalamalar elde edilmiştir (Şekil 1). Bu yıllık ve mevsimlik ortalama sıcaklık verilerinin trendlerindeki değişimin incelenmesi için Salmi, T. ve diğerleri tarafından MS Excel ortamında hazırlanan MAKESENS [24]; uzamsal dağılımların gösterildiği haritaların hazırlanması için ArcGIS 9.3 yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 1 Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait kullanılan gözlem istasyonları ve topografya haritası.

2. YÖNTEM

2.1 Mann-Kendal ve Sen's (MAKESENS)

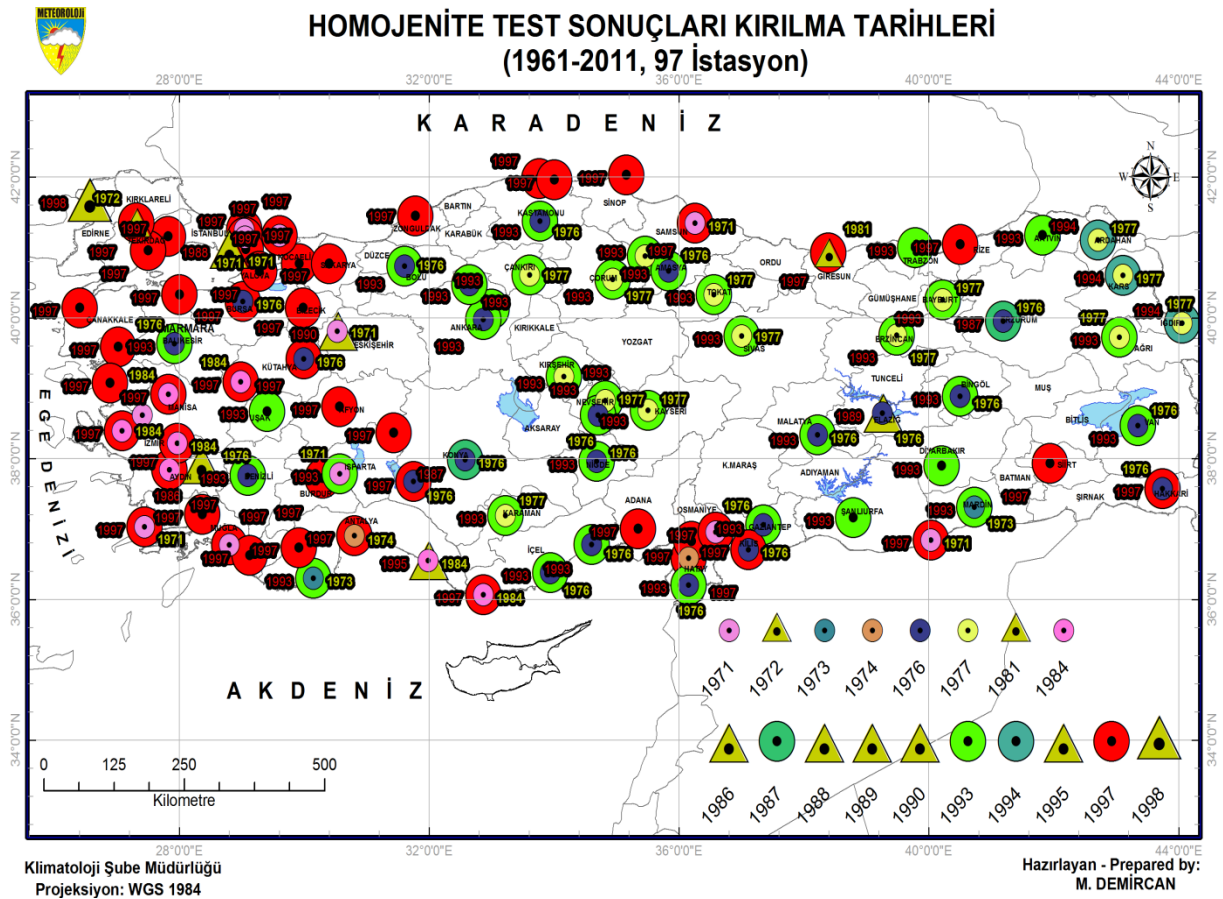
MAKESENS, Excel şablonu (trend için Mann-Kendall ve eğim tahmini için Sen's) atmosferik ve yağış konsantrasyonlarının yıllık değerlerinin zaman serisi eğilimlerini tespit ve tahmin etmek için geliştirilmiştir [24]. MAKESENS, iki tip istatistiksel analizi kullanır. Önce tekdüze bir artış veya azalış trendinin varlığı parametrik olmayan Mann-Kendall testi ile test edilir. İkinci olarak, doğrusal bir trendin eğimi parametrik olmayan Sen's yöntemi ile tahmin edilmektedir[24]. Bu metotlar, burada kendi basit şekilleri ile kullanılır.

2.2. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği

Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (Inverse Distance Weighted - IDW) enterpolasyon tekniği örneklem nokta verilerinden enterpolasyon ile grid üretmede çoğunlukla tercih edilen ortak bir yöntemdir [3;21;22;23]. IDW enterpolasyon tekniği enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların uzaktaki noktalarda daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılır. Bu teknik enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı da azaltan ve örneklem noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar.

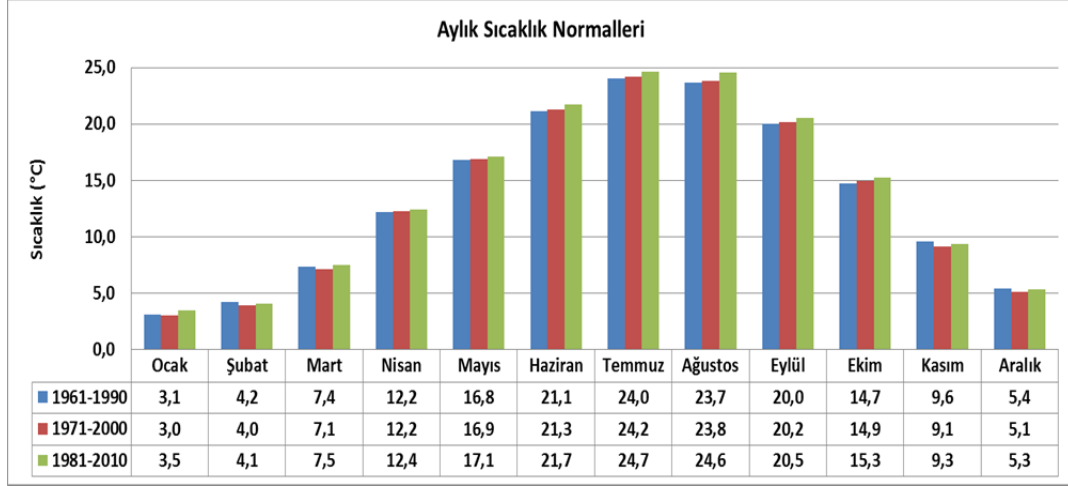
3. ANALİZLER

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Türkiye üzerinde dağılım gösteren 97 istasyonda yapılan sıcaklık ölçümlerinden elde edilen ve 1961-2010 dönemine ait uzun yıllar sıcaklık veri setinden her istasyon için, 1961 yılı ocak ayından başlayıp 2010 yılı aralık ayında sonlanmak üzere, aylık ortalama sıcaklık veri hazırlanmıştır. Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) İklim Komisyonu'nun (CCI) ve Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) Okyanus-Atmosfer Sisteminin Değişkenlik ve Öngörülebilirliği (CLIVAR) ortak İklim Değişikliği Belirleme ve İndisleri Uzmanlar Grubu tarafından geliştirilen RH-Test yazılımı kullanılarak istasyonların veri setlerinin homojenliği incelenmiştir [25](Şekil 2). Bu veri setinden, iklim referans dönemleri olan 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 dönemleri için, yıllık ve mevsimlik ortalamalar elde edilmiştir.



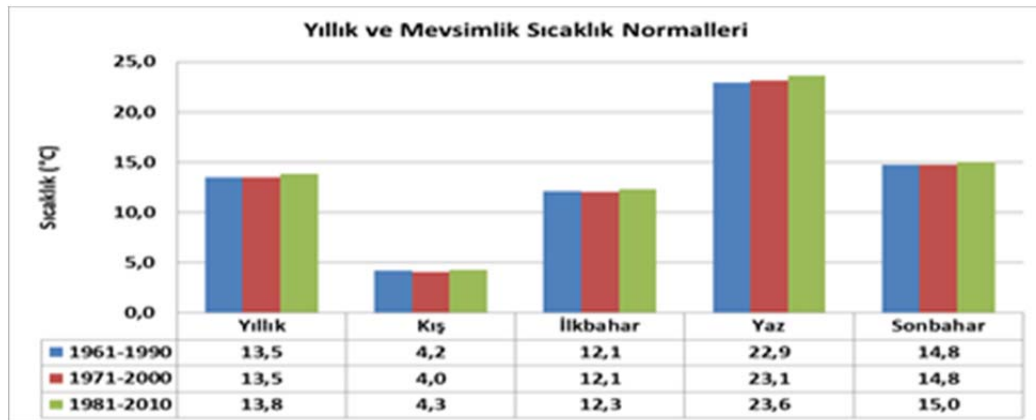
Şekil 2 Homojenite sonuçlarına göre; 8 istasyon için değişik tarihlerde sadece bu istasyonda kırılmıştır. Ortak kırılma tarihleri 1997 (48 istasyon), 1993 (37 istasyon), 1976 (24 istasyon) ve 1971 (11 istasyon) olarak görülmektedir.

1961-1990 sıcaklık normalleri, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri ile karşılaştırıldığında, 1971-2000 sıcaklık normaline göre; nisan ayı ortalamaları aynı, ocak, şubat, mart, kasım ile aralık ayında yüksek ve diğer aylarda düşüktür. 1981-2010 sıcaklık normaline göre ise; şubat, kasım ve aralık aylarında yüksek ve diğer aylarda düşük olduğu görülmektedir. 1971-2000 sıcaklık normal, 1981-2010 sıcaklık normaline göre daha düşük değerlere sahiptir (Şekil 3).



Şekil 3 Aylık ortalama 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri değerleri.

1961-1990 sıcaklık normalleri, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri ile karşılaştırıldığında, 1971-2000 sıcaklık normaline göre; yıllık, ilkbahar ve sonbahar ortalamaları aynı, kışın yüksek ve yazın düşüktür. 1981-2010 sıcaklık normaline göre ise; yıllık ve mevsimlik olarak daha düşük değerlere sahiptir. 1971-2000 sıcaklık normal, 1981-2010 sıcaklık normaline göre daha düşük değerlere sahiptir (Şekil 4).



Şekil 4 Yıllık ve mevsimlik ortalama 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri değerleri.

MAKESENS ile yapılan “Mann-Kendall ve Sens’s Eğim Tahmini” istatistik analiz sonuçları şöyledir (Tablo 1):

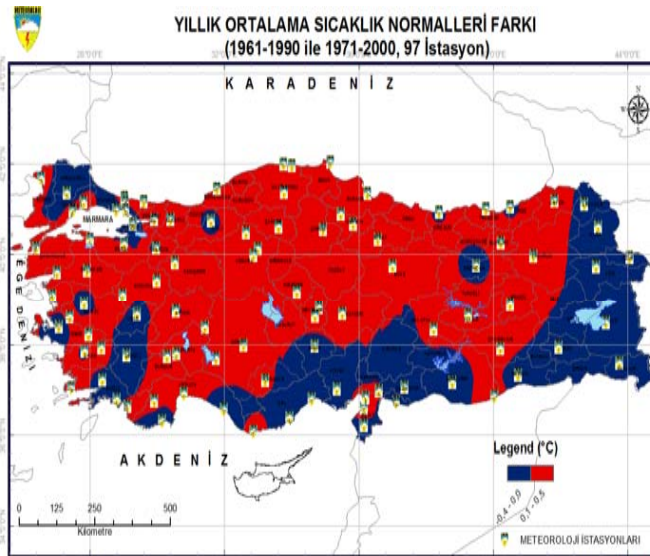
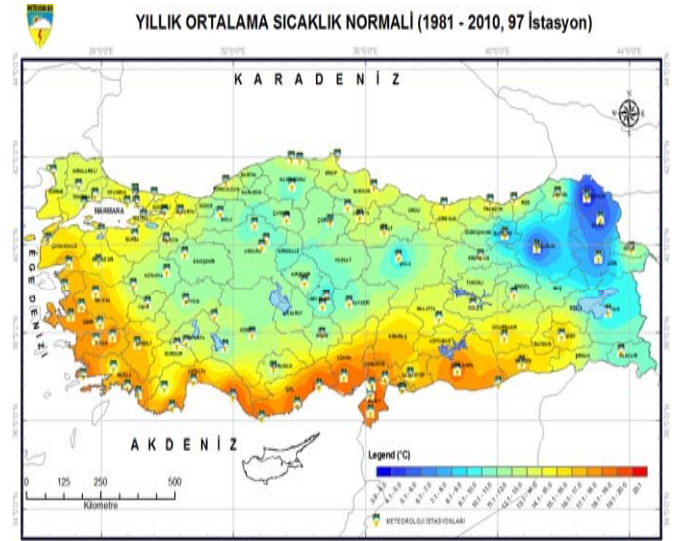
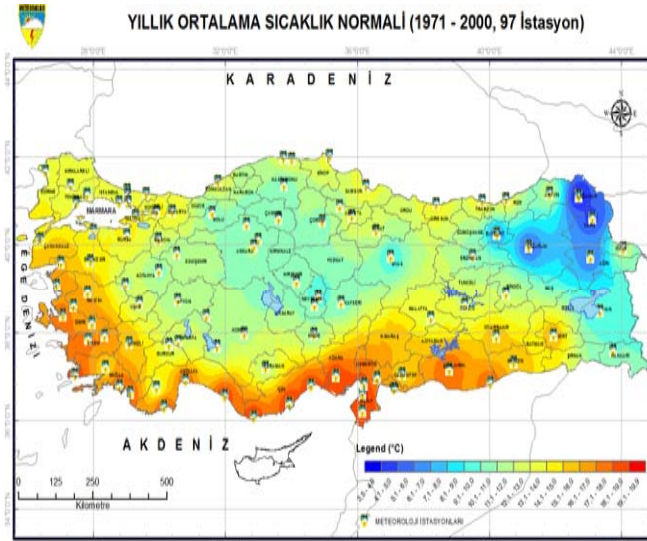
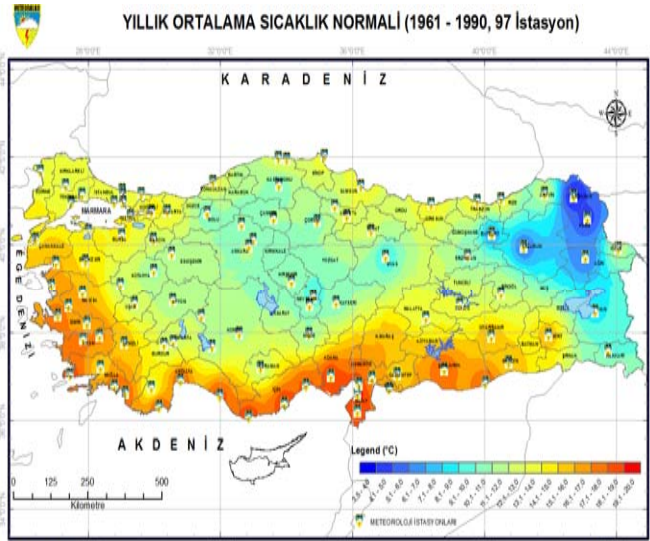
Veri serisini 1961-2010 aralığında incelediğimizde; yıllık ortalama sıcaklıklarda α : 0.01 anlamlılık seviyesinde, yaz mevsimi ortalama sıcaklıklarında α : 0.001 anlamlılık seviyesinde, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri ortalama sıcaklıklarında α : 0.1 anlamlılık seviyesinde, kış mevsimi ortalama sıcaklıklarında ise α : 0.1 anlamlılık seviyesinden küçük bir artış trendi gözükmemektedir. Veri serisini 1961-1990 aralığında incelediğimizde; sonbahar mevsimi ortalama sıcaklıklarında α : 0.1 anlamlılık seviyesinde, yıllık, kış ve yaz ortalama sıcaklıklarında ise α : 0.1 anlamlılık seviyesinden küçük bir azalış trendi gözükmemektedir. İlkbahar mevsimi ortalama sıcaklıklarında ise bir trend gözükmemektedir. Veri serisini 1971-2000 aralığında incelediğimizde; yıllık ortalama sıcaklıklarda α : 0.05 anlamlılık seviyesinde, yaz mevsimi ortalama sıcaklıklarında α : 0.01 anlamlılık seviyesinde, kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri ortalama sıcaklıklarında ise α : 0.1 anlamlılık seviyesinden küçük bir artış trendi gözükmemektedir. Veri serisini 1981-2010 aralığında incelediğimizde; yıllık ve yaz ortalama sıcaklıklarında α : 0.001 anlamlılık seviyesinde, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri ortalama sıcaklıklarında α : 0.01 anlamlılık seviyesinde, kış mevsimi ortalama sıcaklıklarında ise α : 0.1 anlamlılık seviyesinden küçük bir artış trendi gözükmemektedir.

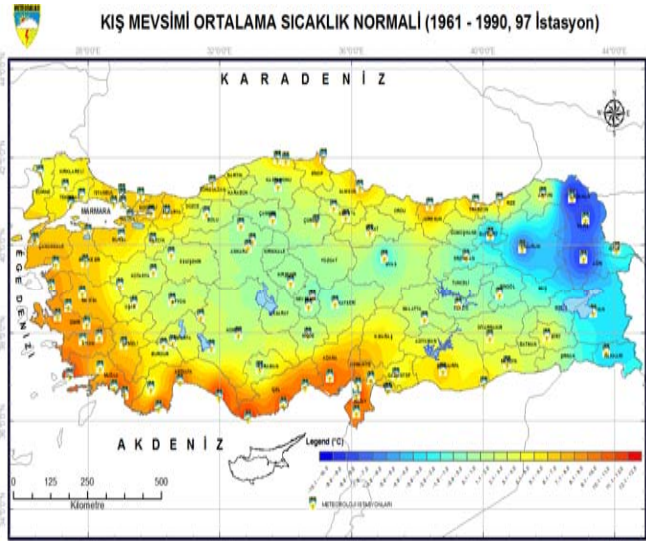
Tablo 1 MAKESENS ile yapılan “Mann-Kendall ve Sens’s Eğim Tahmini” sonuçları (**= α : 0.001, **= α : 0.01 anlamlılık seviyesinde, * α : 0.05 ve + α : 0.1 anlamlılık seviyesini gösterir.)

| Türkiye Ortalama Sıcaklık (1961- 2011) | | | | | | | | | | |
|--|-----------|--------------------|----|--------|------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| Zaman Serisi | Başlangıç | Mann-Kendall trend | | | | Sen's Eğim Tahmini | | | | |
| | | Bitiş | n | Test Z | Anlamlılık | Q | Q min99 | Q max99 | Q min95 | Q max95 |
| Yıllık | 1961 | 2010 | 50 | 3,062 | ** | 0,020 | 0,004 | 0,035 | 0,009 | 0,031 |
| Kış | 1961 | 2010 | 50 | 0,435 | | 0,005 | -0,031 | 0,042 | -0,021 | 0,031 |
| İlkbahar | 1961 | 2010 | 50 | 1,857 | + | 0,016 | -0,009 | 0,041 | -0,001 | 0,034 |
| Yaz | 1961 | 2010 | 50 | 4,567 | *** | 0,036 | 0,020 | 0,054 | 0,024 | 0,049 |
| Sonbahar | 1961 | 2010 | 50 | 1,807 | + | 0,015 | -0,006 | 0,034 | -0,001 | 0,030 |
| Yıllık | 1961 | 1990 | 30 | -0,571 | | -0,006 | -0,039 | 0,024 | -0,033 | 0,017 |
| Kış | 1961 | 1990 | 30 | -0,500 | | -0,014 | -0,092 | 0,064 | -0,070 | 0,036 |
| İlkbahar | 1961 | 1990 | 30 | 0,000 | | 0,000 | -0,053 | 0,047 | -0,039 | 0,034 |
| Yaz | 1961 | 1990 | 30 | -0,178 | | -0,001 | -0,039 | 0,032 | -0,028 | 0,024 |
| Sonbahar | 1961 | 1990 | 30 | -1,677 | + | -0,016 | -0,061 | 0,016 | -0,050 | 0,003 |
| Yıllık | 1971 | 2000 | 30 | 2,070 | * | 0,024 | -0,009 | 0,053 | 0,002 | 0,047 |
| Kış | 1971 | 2000 | 30 | 1,178 | | 0,029 | -0,048 | 0,118 | -0,022 | 0,090 |
| İlkbahar | 1971 | 2000 | 30 | 0,178 | | 0,002 | -0,047 | 0,049 | -0,035 | 0,036 |
| Yaz | 1971 | 2000 | 30 | 3,140 | ** | 0,039 | 0,011 | 0,072 | 0,019 | 0,060 |
| Sonbahar | 1971 | 2000 | 30 | 0,607 | | 0,007 | -0,023 | 0,054 | -0,014 | 0,041 |
| Yıllık | 1981 | 2010 | 30 | 4,139 | *** | 0,049 | 0,023 | 0,087 | 0,028 | 0,074 |
| Kış | 1981 | 2010 | 30 | 0,963 | | 0,025 | -0,050 | 0,113 | -0,031 | 0,093 |
| İlkbahar | 1981 | 2010 | 30 | 2,676 | ** | 0,049 | 0,002 | 0,111 | 0,015 | 0,087 |
| Yaz | 1981 | 2010 | 30 | 4,781 | *** | 0,080 | 0,049 | 0,114 | 0,059 | 0,107 |
| Sonbahar | 1981 | 2010 | 30 | 2,855 | ** | 0,051 | 0,006 | 0,088 | 0,016 | 0,076 |

1961-1990 sıcaklık normalleri, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri ile karşılaştırıldığında, 1971-2000 sıcaklık normaline göre; farklar yıllık ortalamalar için -0.4 - 0.5°C ve ilkbahar içinse -0.4 - 0.5°C arasında dağılmakta ve genel olarak Türkiye'nin büyük bölümünde pozitif farklar gözükmemektedir. Farklar kış için -0.4 - 1.0°C, yaz için -0.5 - 0.1°C ve sonbahar içinse -0.7 - 0.5°C arasında dağılmakta ve genel olarak Türkiye'nin büyük bölümünde negatif farklar gözükmemektedir. 1981-2010 sıcaklık normaline göre ise; farklar yıllık ortalamalar için -1.1 - 0.6°C, kış için -1.1 - 1.4°C, ilkbahar içinse -1.0 - 0.4°C arasında, yaz için -1.5 - 0.1°C ve sonbahar içinse -1.5 - 0.7°C arasında dağılmakta ve genel olarak Türkiye'nin büyük bölümünde negatif farklar gözükmemektedir. 1971-2000 sıcaklık normali, 1981-2010 sıcaklık normaline göre; farklar yıllık ortalamalar için -0.7 - 0.2°C, kış için -0.8 -

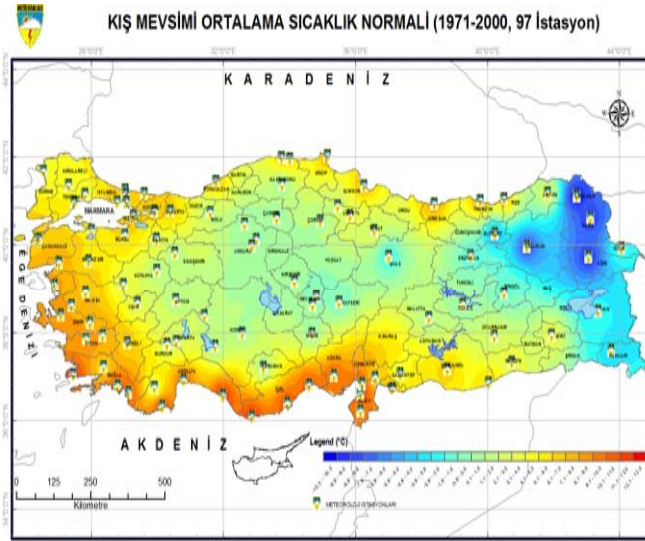
0.5°C, ilkbahar içinse -0.7 - 0.1°C arasında, yaz için -1.0 - 0.0°C ve sonbahar içinse -0.8 - 0.2°C arasında dağılmakta ve genel olarak Türkiye'nin büyük bölümünde negatif farklar gözükmektedir (Şekil 5 a,b,c,d,e).





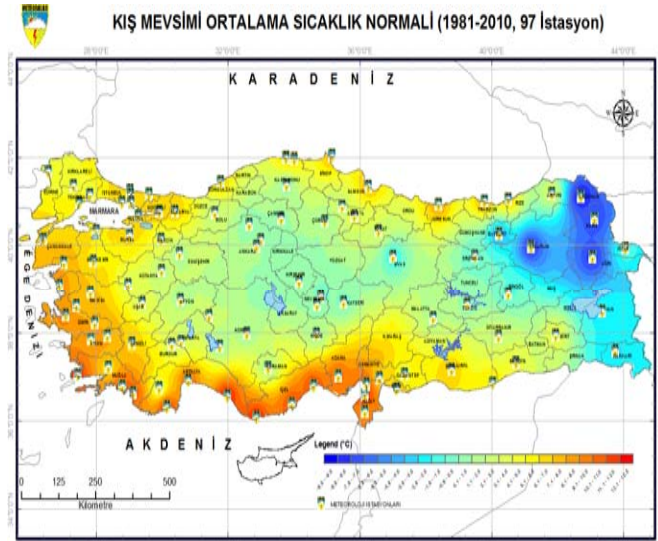
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN



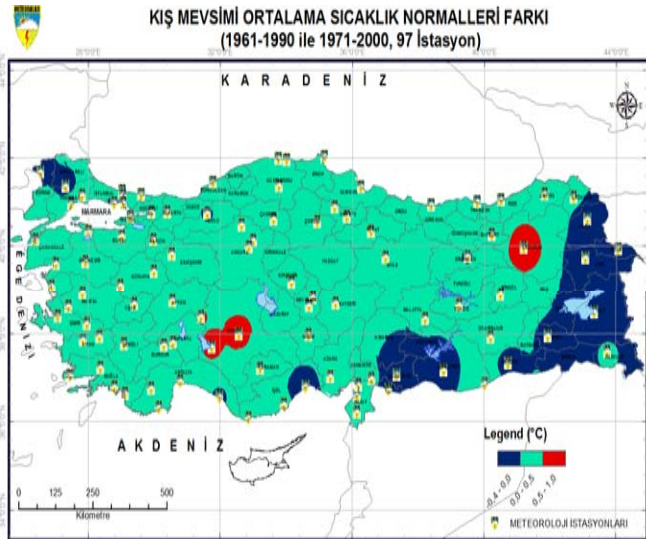
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN



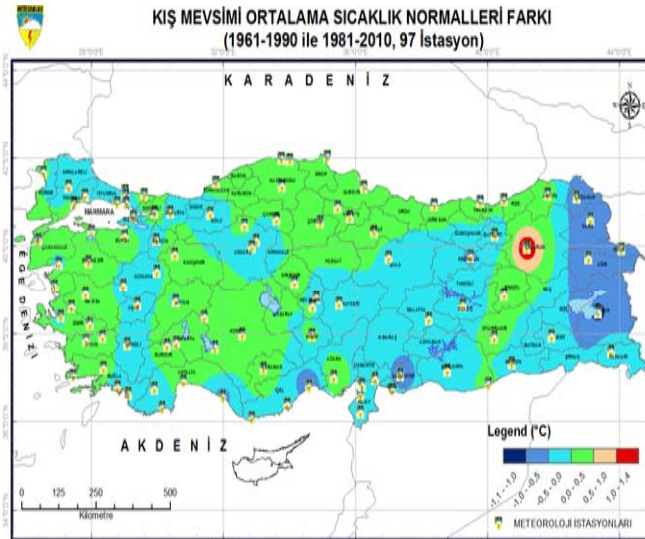
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN



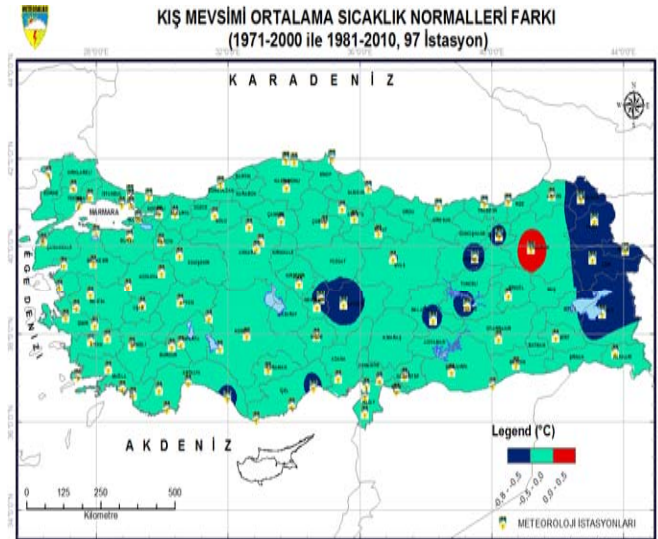
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN



Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeksiyon: WGS 1984

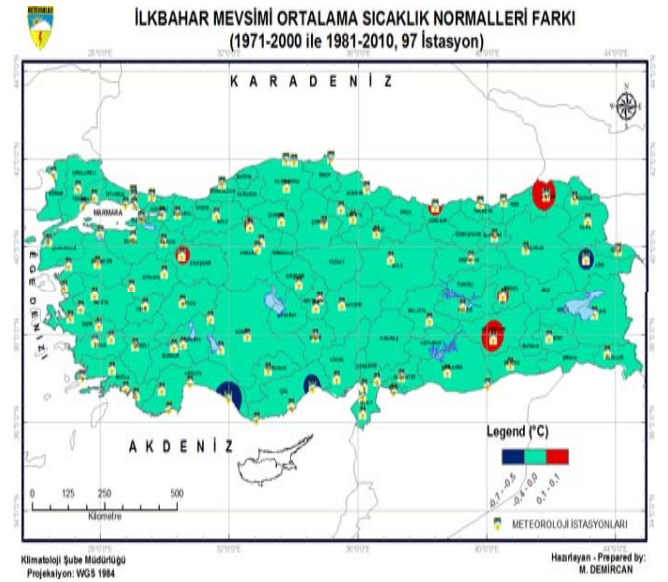
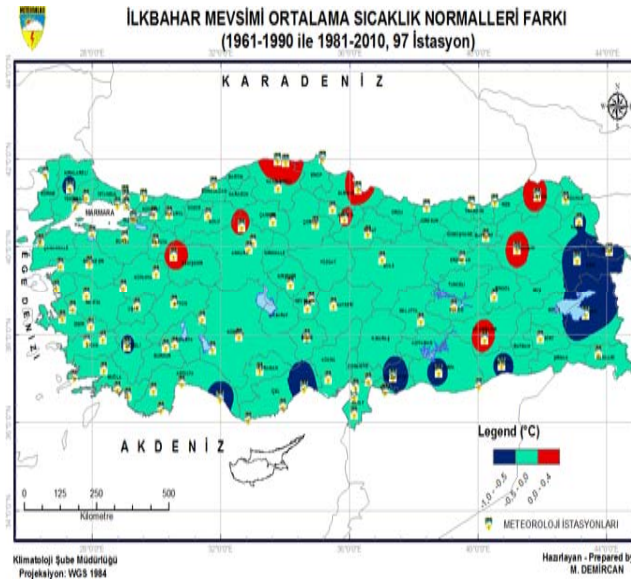
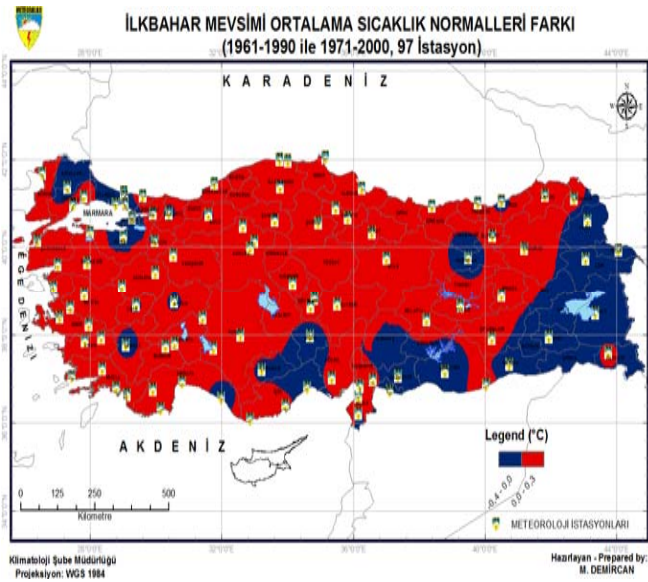
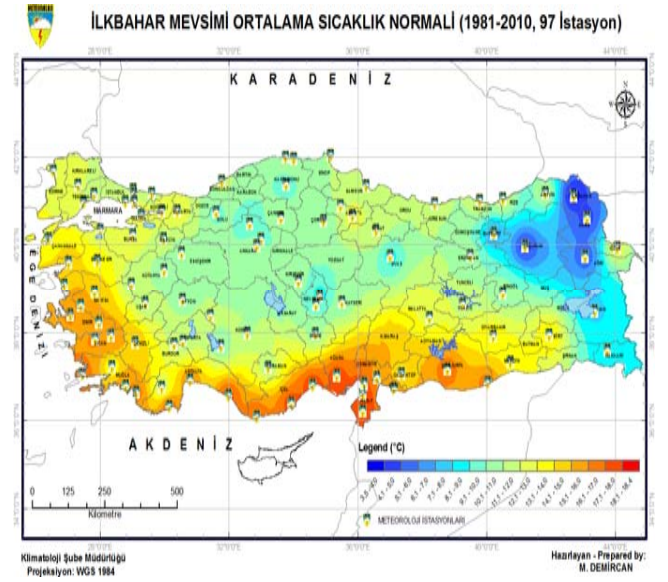
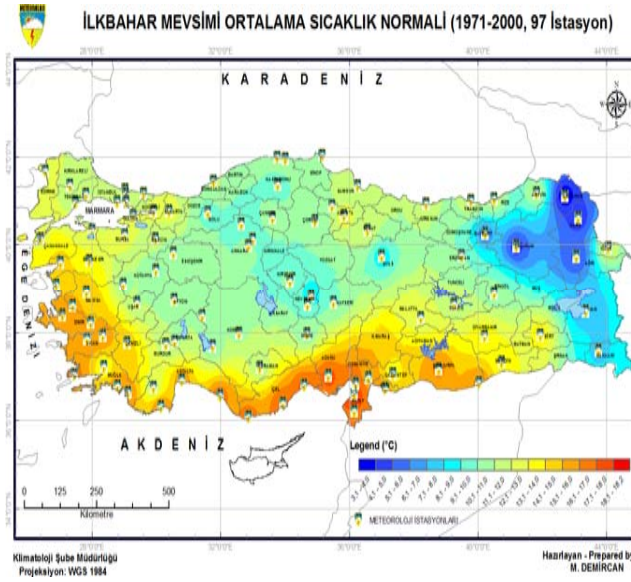
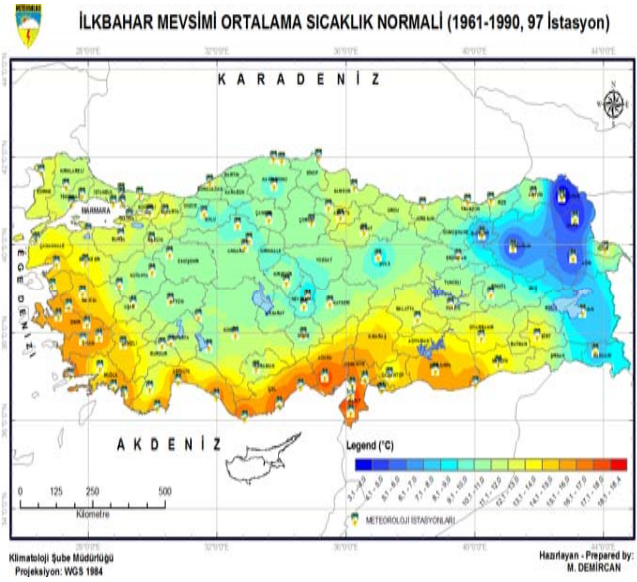
Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN



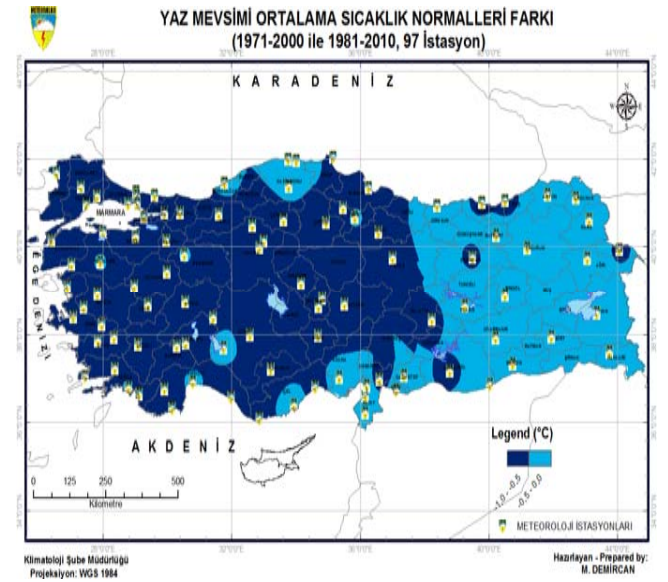
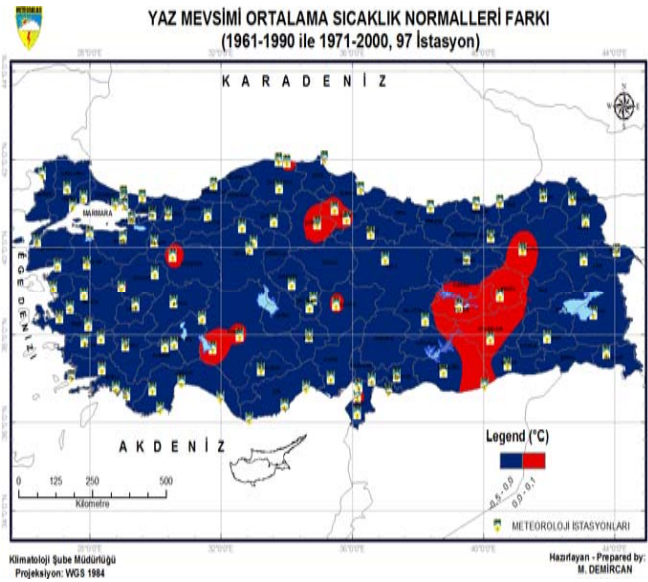
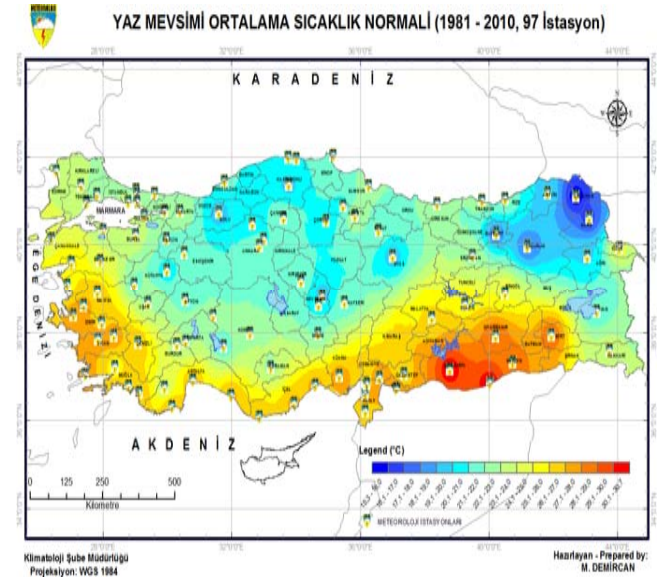
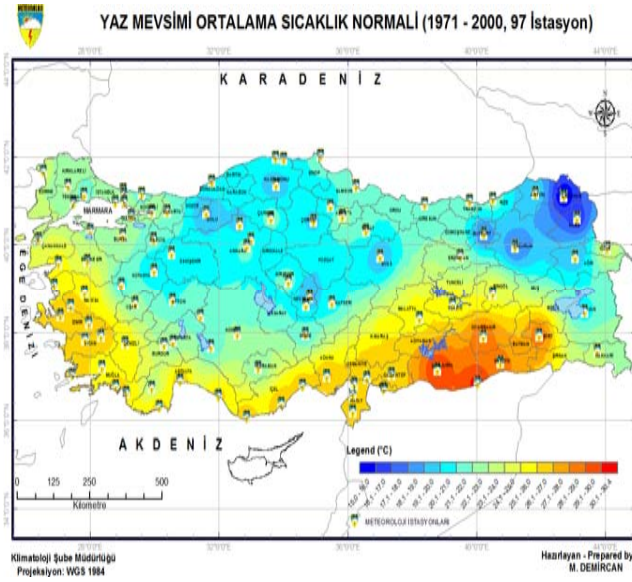
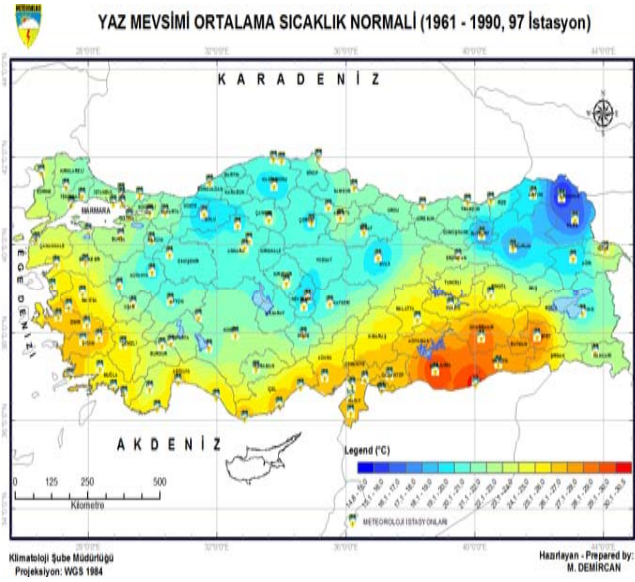
Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

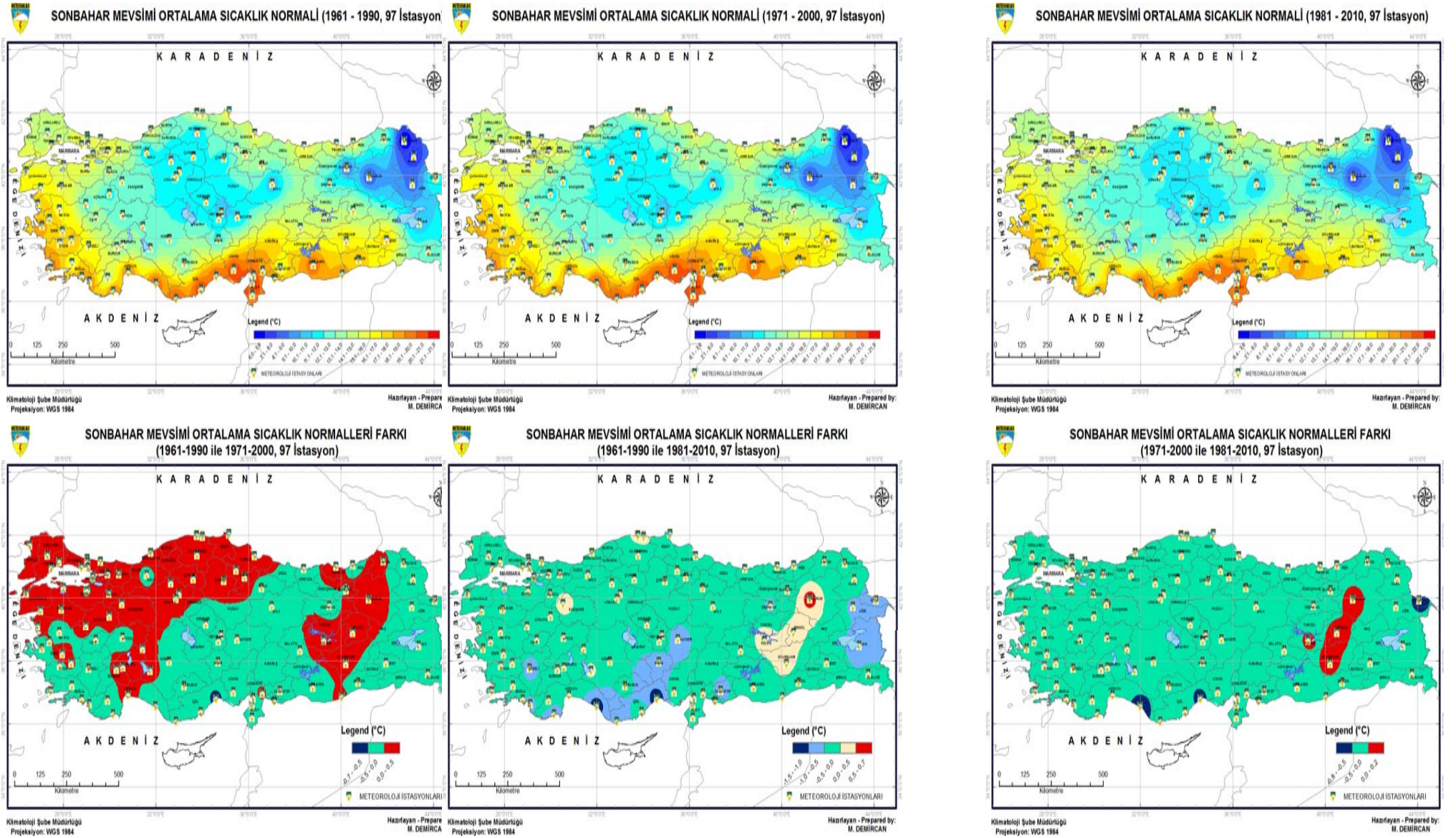
Şekil 5b Kış mevsimi, 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri ve birbirlerinden farkları.



Şekil 5c İlkbahar mevsimi, 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri ve birbirlerinden farkları.



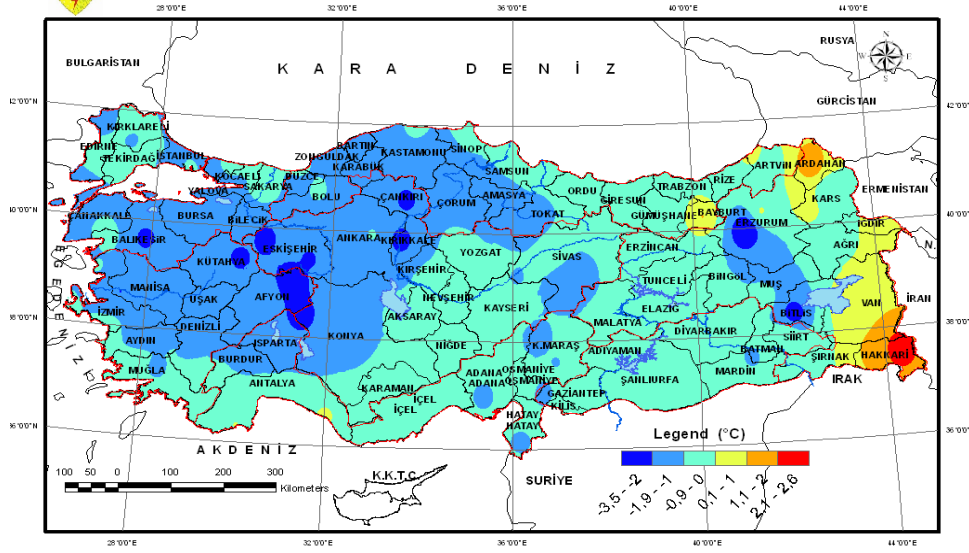
Şekil 5d Yaz mevsimi, 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri ve birbirlerinden farkları.



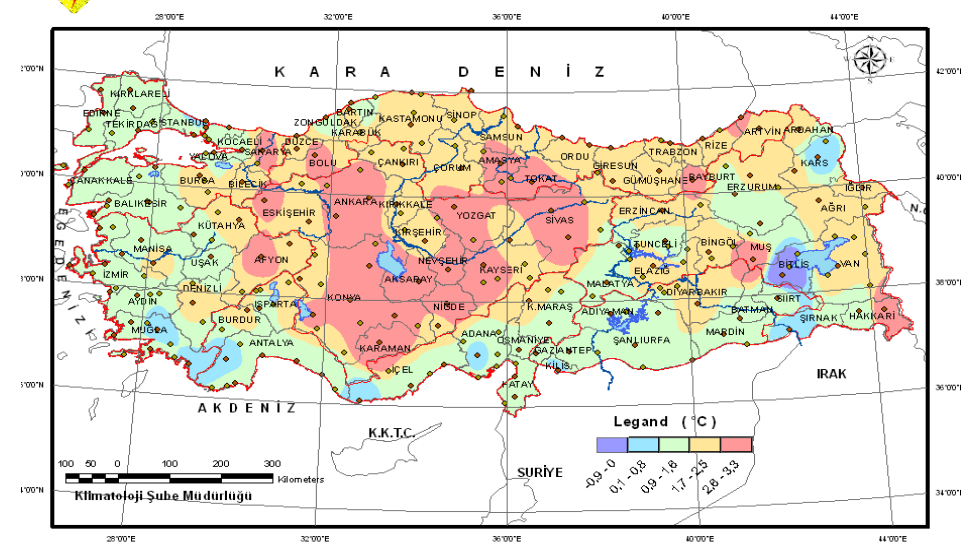
Şekil 5d Sonbahar mevsimi, 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 sıcaklık normalleri ve birbirlerinden farkları.



2011-2012 KIŞ MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK FARK HARİTASI



2012-2013 KIŞ MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK FARK HARİTASI



| 1971-2000 | 1981 - 2010 |
|-------------|-------------|
| -3,5 - -2,0 | -3,0 - -1,5 |
| -1,9 - -1,0 | -1,4 - -0,5 |
| -0,9 - 0 | -0,4 - 0,5 |
| 0,1 - 1,0 | 0,6 - 1,5 |
| 1,1 - 2,0 | 1,6 - 2,5 |
| 2,1 - 2,6 | 2,6 - 3,1 |



KIŞ MEVSİMİ ORTALAMA SICAKLIK NORMATLERİ FARKI (1971-2000 ile 1981-2010, 97 İstasyon)



Klimatoloji Şube Müdürlüğü
Projeksiyon: WGS 1984

Hazırlayan - Prepared by:
M. DEMİRCAN

| 1971-2000 | 1981 - 2010 |
|-------------|-------------|
| -1,4 - -0,5 | -0,9 - 0 |
| -0,4 - 0,3 | 0,1 - 0,8 |
| 0,4 - 1,1 | 0,9 - 1,6 |
| 1,2 - 2,0 | 1,7 - 2,5 |
| 2,1 - 2,8 | 2,6 - 3,3 |

Şekil 6 2011-2012 Kış Mevsimi (1971-2000 Normallerine göre) ve 2012-2013 Kış Mevsimi'nin (1981-2010 normallerine göre) karşılaştırılması.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

İklim izleme ve iklim değışikliği çalışmalarında referans dönemler, yani iklim normalleri kullanmak; küresel, ülkesel ile bölgesel değerdendirmeler yapmayı ve ayrıca geçmiş ve gelecek çalışmaları bütünleştirmeyi de kolaylaştırır. 1961-1990 sıcaklık normallerini, genelde 1971-2000 normallerine yakın ve her iki normal de 1981-2010 normalinden düşük olarak gözlemlenmiştir. 1961-1990 ortalama sıcaklık serisinde anlamlı olmasa da bir soğuma trendi, 1971-2000 ortalama sıcaklık serisinde anlamlılığı az da olsa bir artış trendi ve 1981-2010 ortalama sıcaklık serisinde anlamlı bir artış trendi mevcuttur. Veri serisini 1961-2011 olarak ele aldığımızda %95 anlamlı bir sıcaklık artışı söz konusudur. Özellikle 1971 yılından itibaren yaz mevsimindeki anlamlı sıcaklık artışı dikkat çekicidir. CBS ortamında yapılan fark dağılımlarının farklı sıcaklık normalleri ile yapılan çalışmaların karşılaştırılmasında kolaylık sağlayacağı düşünlmektedir.

4. KAYNAKLAR

1. Yalçın, G., Demircan, M., Ulupınar, Y., ve Bulut, E., (2005). Klimatoloji – I, DMİ Yayınları, Yayın No : 2005 / 1, Ankara, Sayfa 4,
<http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/klimatoloji1.pdf>
2. Eken, M., Ulupınar, Y., Demircan, M., Nadaroğlu, Y., Aydın, B., ve Özhan, Ü., (2008). Klimatolojik Rasat El Kitabı, DMİ Yayınları, Yayın No: 2008/3, Ankara, Sayfa 1,
3. Demircan, M., Arabacı, H., Bölük, E., Akçakaya, A., Şensoy, S., Ekici, M., (2013). İklim Normalleri Ve 1981-2010 Sıcaklık Normallerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Topografya Kullanarak Yüksek Çözünürlüklü Grid Veri Setinin Üretilmesi, 6th Atmospheric Science Symposium, İstanbul Technical University, İstanbul – Turkey,
4. Sensoy, S., ve Demircan, (2010). M., Climatological Applications In Turkey, Ankara, Sayfa 1,
<http://www.rtc.dmi.gov.tr/FILES/KURS/336/DOCS/Climatological%20Applications.pdf>
5. Guide to Climatological Practices Third Edition, (2011). WMO-No. 100, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Sayfa 4-16, 17,
www.wmo.int/pages/prog/wcp/documents/Guide2.pdf
6. Technical Regulations Volume I, General Meteorological Standards and Recommended Practices, Basic Documents, (1988). No. 2, WMO - No. 49, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, Sayfa XI
http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_49_en-v1_1988.pdf
7. Arguez, A., ve Vose, R., S., (2011). The Definition of the Standard WMO Climate Normal The Key to Deriving Alternative Climate Normals, DOI: 10.1175/2010BAMS2955.1,
<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010BAMS2955.1>
8. GCOS – 158, Summary Report and Recommendations from the Seventeenth Session of the GCOS/WCRP Atmospheric Observation Panel for Climate (AOPC-XVII), (2012). WCRP 10/2012, Sayfa 5
<http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-158.pdf>
9. Wright, W., (2012). WMO Technical Commission for Climatology, Open Panel of CCI Experts on Climate Data Management (OPACE-I), AOPC-XVII, Geneva,
http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/apocXVII/presentations/6.1_CCI_Wright.pdf
10. Demircan, M., (2011). Basic Approach To Climate Monitoring Products And Climate Monitoring Products In WMO RA VI, Meeting of the Commission for Climatology (CCI) (OPACE 2) Task Team on National Climate Monitoring Products, Geneva,
http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/opace2_tt_ncmp/Climate_Monitoring_Product_Europe.pdf
11. WMO-No. 1085, WMO statement on the status of the global climate in 2011, (2012). Geneva, Switzerland, www.wmo.int/pages/publications/showcase/.../WMO_1085_en.pdf
12. BAMS Vol. 93, State Of The Climate In 2011, Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society, (2012). Vol. 93, No. 7,
<http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/cmb/bams-sotc/climate-assessment-2011-lo-rez.pdf>
13. IPCC, Climate Change 2007 - The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, (2007).
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf
14. MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2012 Yılı İklim Değerlendirmesi, (2013).
<http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/2012-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf>
15. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, İklim Değişikliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, (2000). DPT: 2532 ÖİK: 548, Ankara,
www.dpt.gov.tr/DocObjects/Download/3193/oik548.pdf

16. Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi Raporu, (2007). <http://www.dmi.gov.tr/FILES/iklim/ulusalbildirimtr.pdf>
17. Kömüşçü, A., Ü., (1998). An Analysis Of The Fluctuations In The Long-Term Annual Mean Air Temperature Data Of Turkey, International Journal Of Climatology, Vol. 18, 199-213
www.researchgate.net/publication/230508081_An_analysis_of_the_fluctuations_in_the_longterm_annual_mean_air_temperature_data_of_Turkey/file/32bfe50d9ed5891448.pdf
18. Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G. (2000). ‘Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri’, Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, İstanbul Sanayi Odası, 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara. <http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklimetkileri.pdf>
19. Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T., H., Albert, P., Semawi, M., Ali, M., K., Al-Shabibi, M., H., S., Al-Oulan, Z., Zadari, T., Khelet, I., D., Hamoud, S., Sagir, R., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., Alexander, L., Peterson, T., C., and Wallis, T., (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 110, D22104, doi:10.1029/2005JD006181, <http://www.emcc.mgm.gov.tr/FILES/ClimateIndices/MiddleEastClimateExtremeIndices.pdf>
20. Sensoy, S., Demircan, M. and Alan, I., (2008). Trends in Turkey Climate Extreme Indices from 1971 to 2004, BALWOIS, http://balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-1000.pdf
21. Demircan, M., Alan, İ., ve Şensoy, S., (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Sıcaklık Haritalarının Çözünürlüğünün Artırılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/bfa3a35a87198f7_ek.pdf
22. Demircan, M., Alan, I., and Sensoy, S., (2011). Increasing Resolution of Temperature Maps By Using Geographic Information Systems (GIS) And Topography Information, 5th Atmospheric Science Symposium, İstanbul Technical University, İstanbul – Turkey, Sayfa 423, http://siga.uubf.itu.edu.tr/atmosfer/files/conferences/1/ATMOS2011_Proceedings.pdf
23. Demircan, M., Alan, I., and Sensoy, S., (2011). Increasing Resolution of Temperature Maps by Using Geographic Information Systems and Topography Information, EMS Annual Meeting Abstracts, Vol. 8, EMS2011-182, 2011, 11th EMS / 10th ECAM, <http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2011/EMS2011-182.pdf>
http://presentations.copernicus.org/EMS2011-182_presentation.pdf
24. Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell T., (2002). Makesens 1.0, http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/julkaisu/pdf/MAKESENS-Manual_2002.pdf
25. Wang, X., L. and, Feng, Y., (2004). RHTest (0.9) User Manual, Climate Research Branch, Meteorological Service of Canada, Downsview, Ontario, Canada
<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>
<http://www.clivar.org/organization/etccdi>
<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace2/ETCCDI.php>

2012 TEMMUZ AYINDA YAŞANAN SICAK HAVA DALGASI

Erdoğan BÖLÜK, Alper AKÇAKAYA, Hüseyin ARABACI

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara,
eboluk@mgm.gov.tr, aakcakaya@mgm.gov.tr, harabaci@mgm.gov.tr

ÖZET

NOAA'nın yayınladığı Global Ortalama Sıcaklık Anomalisine göre ortalama sıcaklıkların 1980 den sonra arttığı gözlenmektedir (IPCC, 2007). Bu artış sonucunda dünyamızda ekstrem hava olaylarının gözlenme sıklığı artmaktadır. Sıcak Hava Dalgası (Heat Wave) da şiddetli hava olayları arasına girmektedir.

Bu çalışmada 2012 yılı Temmuz ayında Türkiye'yi etkileyen sıcak hava dalgaları incelenmiştir. Ülkemizdeki, Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı 238 meteoroloji istasyonun günlük verileri incelenmiş ve sıcak hava dalgası tanımına uyan değerler tespit edilerek devam sayıları bulunmuştur. Bu yerler harita üzerinde işaretlenerek sıcak hava dalgasının yaşandığı bölgeler bulunmuştur.

Ayrıca, tespit edilen günlerdeki hissedilen sıcaklık değerleri hesaplanmış ve harita üzerinde işaretlenerek, ülkemizin etkisi altında kaldığı sıcak hava dalgasının etkilediği bölgeler bulunmuştur.

En son olarak bu hava olayının meydana geldiği günlerin sinoptik haritaları incelenerek bölgemizi hangi hava sisteminin etkilediği belirlenmiştir.

ABSTRACT

Global mean temperatures have been increasing since 1850 (IPCC, 2007). This upward trend draws the attention particularly after 1980. As a result of this increasing of mean temperatures, frequency of extreme weather events has risen, such as heat wave.

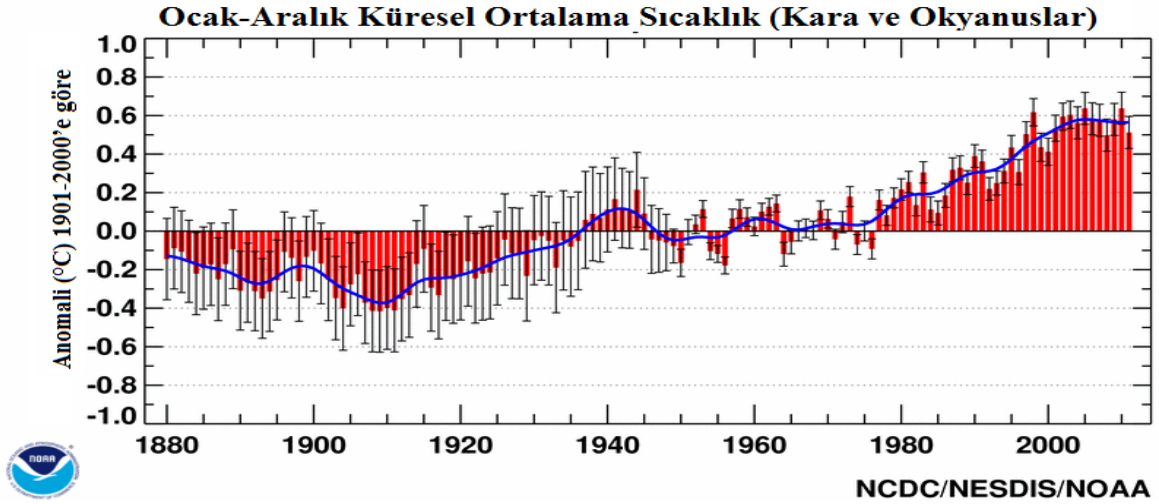
The heat waves affecting Turkey in July, 2012 were investigated in this study. Daily data of 238 stations belonging to Turkish State Meteorological Service were analyzed and the days having appropriate datum were determined. Also, number of continued existence of days were found. After that, the stations having heat wave were marked on the map and defined the regions where heat waves were observed. Additionally, the values of sensible heat were calculated, belonging to these stations on days when heat waves were active. Lastly, the synoptic maps were evaluated, relating to days having heat wave and it is tried to explain which weather system was effective according to synoptic maps.

Anahtar Kelimeler: Şiddetli hava olayı, Sıcak hava dalgası, Hissedilen sıcaklık

GİRİŞ

Günlük maksimum sıcaklığın, ardı ardına 5 gün boyunca uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklığın 5 0C üzerinde gerçekleşmesi Sıcak Hava Dalgası olarak adlandırılmaktadır (WMO). Fakat ülkeler kendi coğrafi ve iklim özelliklerine göre sıcak hava dalgası tanımlaması yapmaktadırlar. Ülkemizde günlük maksimum sıcaklığın, uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklığın 3-5 derece üzerinde gerçekleşmesi, sıcak hava dalgası olarak tanımlanmaktadır (MGM).

Dünya üzerinde ölçülmüş sıcaklık kayıtlarına göre 1850 yılından bu yana küresel ortalama sıcaklık anomalisi Şekil (1) de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi 1980 den sonra global ortalama sıcaklık anomalisinin arttığı gözlenmektedir.



Şekil 1. Global Ortalama Sıcaklık Anomalisi (NOAA, 2013)

<http://www.climatewatch.noaa.gov/article/2009/climate-change-global-temperature>

Sıcak hava dalgaları, ekstrem olaylardır. Az rastlanan olaylar olmasına karşın insan sağlığı ve ekosistem üzerine etkileri büyüktür. 2003 yılı temmuz ve ağustos aylarında Almanya, İspanya, Fransa ve İngiltere'yi etkileyen sıcak hava dalgasında 14800 kişi (IPCC, 2007) hayatını kaybetmiştir.

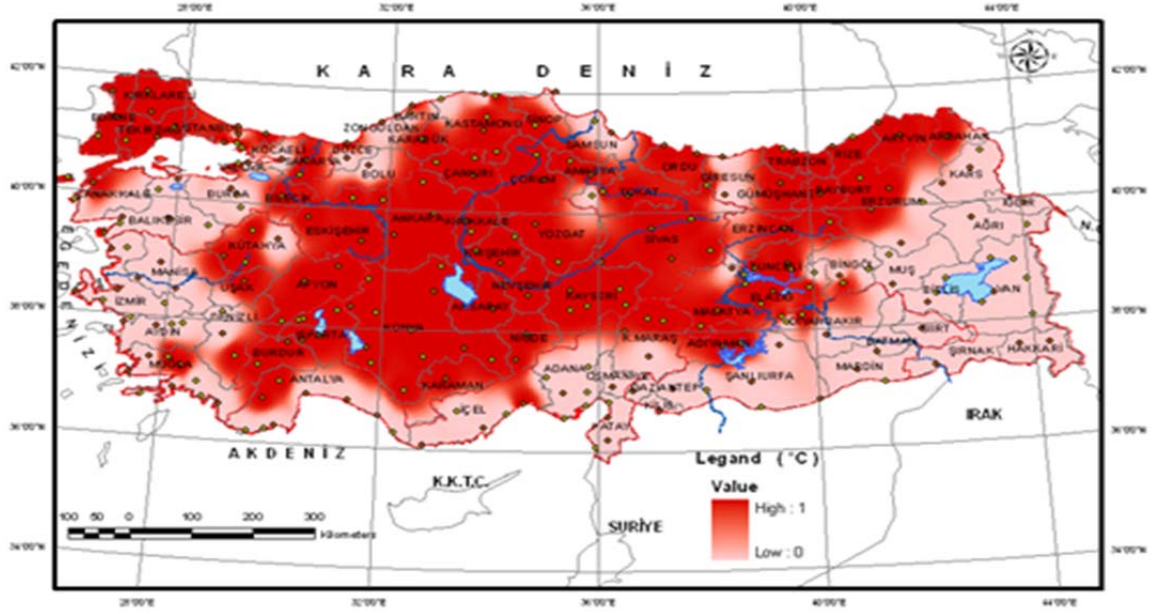
Bu çalışmada, maksimum sıcaklıklar, nem ve hissedilen sıcaklıklar dikkate alınarak Temmuz 2012 yılında ülkemizi etkileyen sıcak hava dalgası incelenmiştir.

METERYAL ve METOD

Bu çalışmada kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğünün kayıtlarından alınmış olup, ülkemizin tüm bölgelerini kapsayan ve verileri tam olan toplam 238 istasyonu kapsamaktadır. Temmuz 2012 ayının günlük maksimum sıcaklığı ve 14.00 da ölçülen nem değerleri ile uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklık verileri kullanılmıştır. Temmuz 2012 de meydana gelen Sıcak hava dalgasının sinoptik modeli için MGM'nin günlük bültenleri alınmıştır.

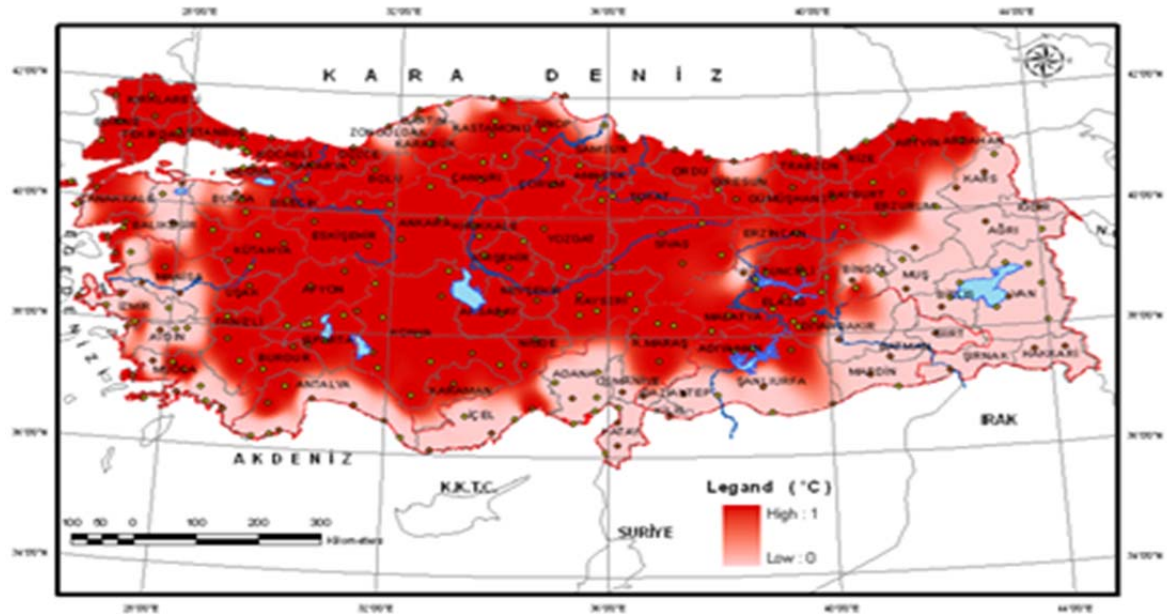
TEMMUZ 2012 SICAK HAVA DALGASI

Temmuz 2012 ayında, günlük maksimum sıcaklığın ortalama maksimum sıcaklıktan 5 0C üzerinde olan ve bu olayın ardı ardına en az 5 gün boyunca devam eden 238 istasyonun verileri ve günleri tespit edilmiştir. Temmuz ayında 10–16 günleri arasında ve 24–31 günleri arasında sıcak hava dalgaları tespit edilmiştir. 24–31 Temmuz günleri arasında 131 istasyonda sıcak hava dalgası yaşanmıştır. (Şekil 2)



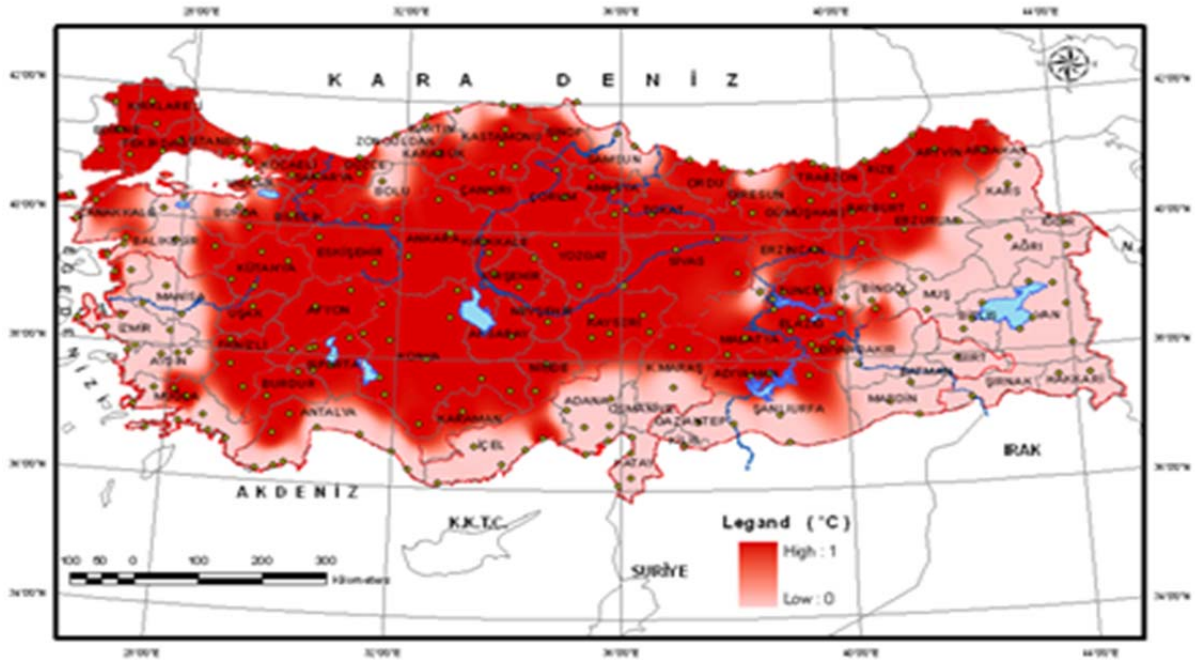
Şekil 2. 24-31 Temmuz 2012 Sıcak Hava Dalgası (5 gün ve daha fazla)

Sıcak Hava Dalgası tanımındaki 5 gün ardı ardına yerine 3 gün ardı ardına alırsak, 156 istasyonda,



Şekil 3. 24-31 Temmuz 2012 Sıcak Hava Dalgası (3 gün ve daha fazla)

4 gün ardı ardına alırsak, 144 istasyonda sıcak hava dalgasının yaşandığını görürüz.



Şekil 4. 24-31 Temmuz 2012 Sıcak Hava Dalgası (4 gün ve daha fazla)

HİSSEDİLEN SICAKLIK

İnsan yaşam konforunun ölçüsü olarak kullanılan hissedilen sıcaklık, sıcaklık ve nemin etkisinin birleşimini ifade eder. Yüzey yakınındaki nem miktarı, buharlaşma ve terleme süreçlerini düzenlediklerinden insan konforu için önemlidir. Dolayısıyla sıcaklık kadar nem miktarı da insan konforunu belirleyici bir faktördür.

İnsanların termal konfor algılamasına sıcaklık, rüzgâr, nem ve güneş ışınımı gibi birçok faktör etki etmektedir. Bunun yanı sıra kişiye özgü giyilen giysiler, sağlık koşulları ve hareket halinde olma gibi faktörler de insanların konfor koşullarını etkiler.

Steadman (Steadman, 1979) Hissedilen Sıcaklığı şu şekilde ifade etmiştir.

$$HI = c_1 + c_2T + c_3R + c_4TR + c_5T^2 + c_6R^2 + c_7T^2R + c_8TR^2 + c_9T^2R^2$$

Burada;

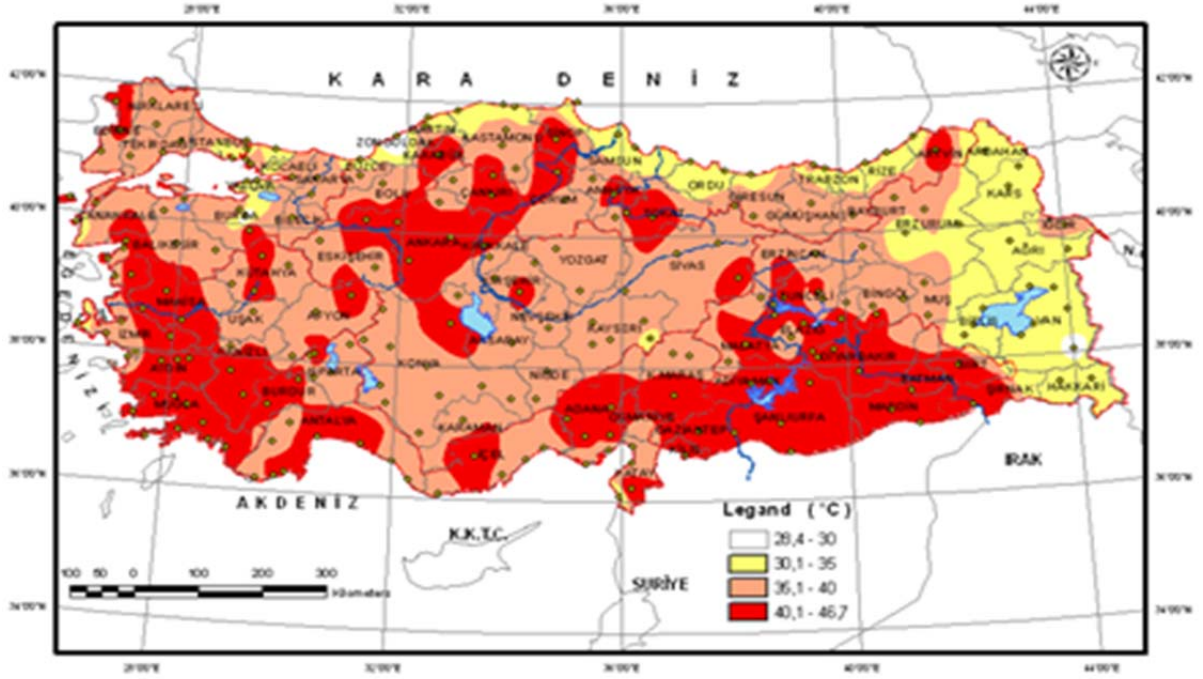
HI = Isı İndeksi ($^{\circ}$ Fahrenheit)
 T = Sıcaklık ($^{\circ}$ Fahrenheit)
 R = Nispi Nem (%)

$$c_1 = -42.379, c_2 = 2.04901523, c_3 = 10.14333127, c_4 = -0.22475541, \\ c_5 = -6.83783 \times 10^{-3}, c_6 = -5.481717 \times 10^{-2}, c_7 = 1.22874 \times 10^{-3}, \\ c_8 = 8.5282 \times 10^{-4}, c_9 = -1.99 \times 10^{-6}.$$

24 – 31 TEMMUZ 2012 SICAK HAVA DALGASI

24-31 Temmuz 2012 günlerinde ülkemizde görülen sıcak hava dalgasında, 7 istasyonda uzun yıllar Maksimum Sıcaklık değeri aşılmıştır.

| Tarih | İstasyon Adı | 2012 Değeri | Uzun Yıllar |
|------------|--------------|-------------|-------------|
| 25.07.2012 | Isparta | Max=39,2 | 39,0 |
| 26.07.2012 | Elmalı | Max=39,2 | 38,0 |
| 26.07.2012 | Kırıkkale | Max=41,8 | 41,6 |
| 26.07.2012 | Emirdağ | Max=40,7 | 40,0 |
| 26.07.2012 | Akşehir | Max=39,3 | 38,6 |
| 27.07.2012 | Ankara | Max=41,0 | 40,8 |
| 27.07.2012 | Niğde | Max=38,5 | 38,0 |



Şekil 5. Temmuz 2012 Maksimum sıcaklık Haritası

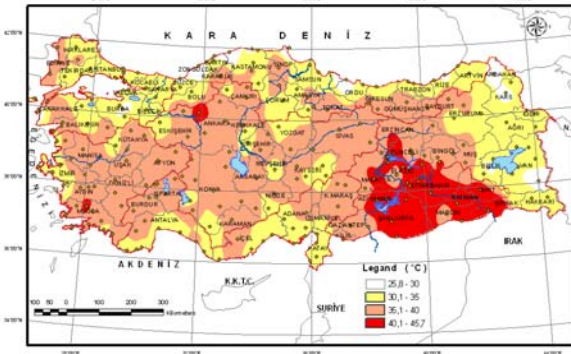
Şekil (5) deki haritadan da görüldüğü gibi temmuz ayında ülkemizin büyük bir kısmı 35 0C'nin üzerinde bir sıcaklığa sahiptir. Güney Doğu Anadolu, Ege, Akdeniz ve İç Anadolu'nun büyük bir kısmında 40 0C aşan sıcaklıklar görülmüştür.

Bu dönemde en yüksek sıcaklık değeri Nusaybin de 46.7 0C olarak 23 Temmuz günü ölçülmüştür. Nusaybin'in uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklığı 40.1 0C ve uzun yıllar Maksimum sıcaklığı ise 47.5 0C dir.

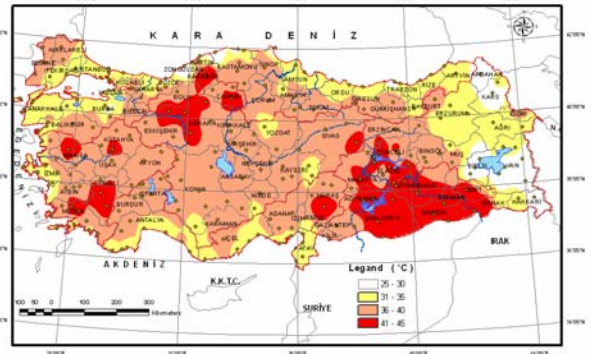
Temmuz 2012 döneminde 86 istasyonda 400C aşan maksimum sıcaklıklar görülmüştür.

Şekil (6) da görüleceği üzere 24 Temmuz günü başlayan sıcaklık artışı, 25, 26 ve 27. günler de devam etmiş, 28 Temmuzdan itibaren sıcaklıklar normalleri civarına dönmeye başlamıştır.

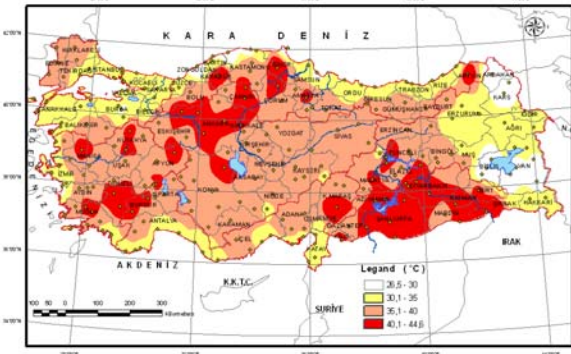
24 TEMMUZ 2012 MAKSİMUM SICAKLIK HARİTASI



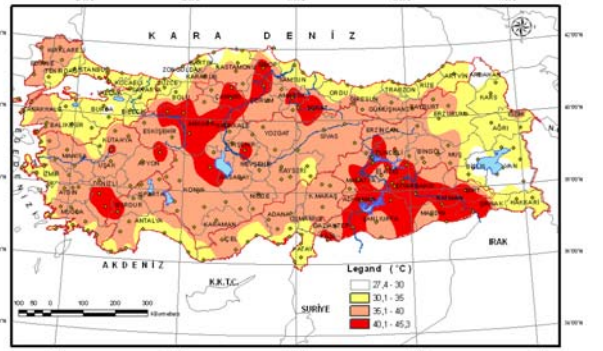
25 TEMMUZ 2012 MAKSİMUM SICAKLIK HARİTASI



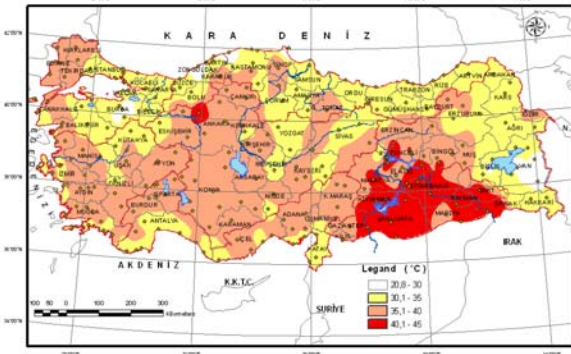
26 TEMMUZ 2012 MAKSİMUM SICAKLIK HARİTASI



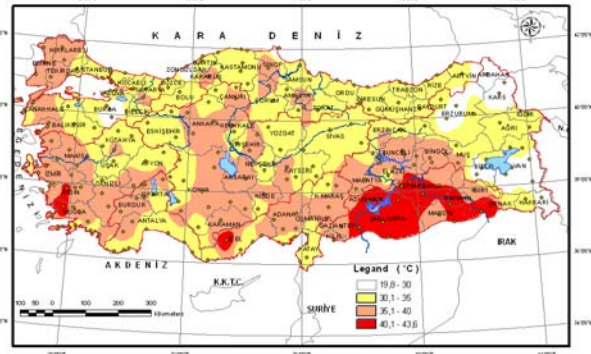
27 TEMMUZ 2012 MAKSİMUM SICAKLIK HARİTASI



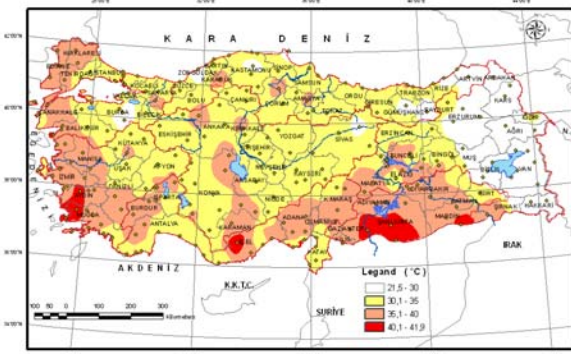
28 TEMMUZ 2012 MAKSİMUM SICAKLIK HARİTASI



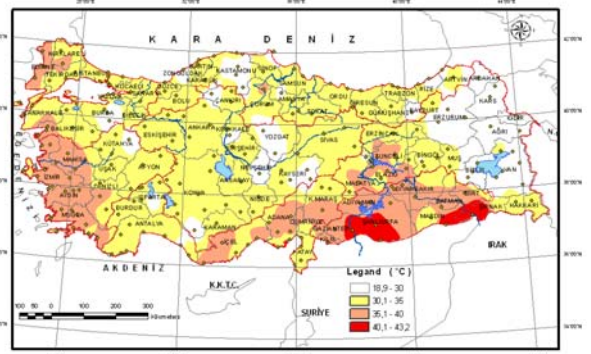
29 TEMMUZ 2012 MAKSİMUM SICAKLIK HARİTASI



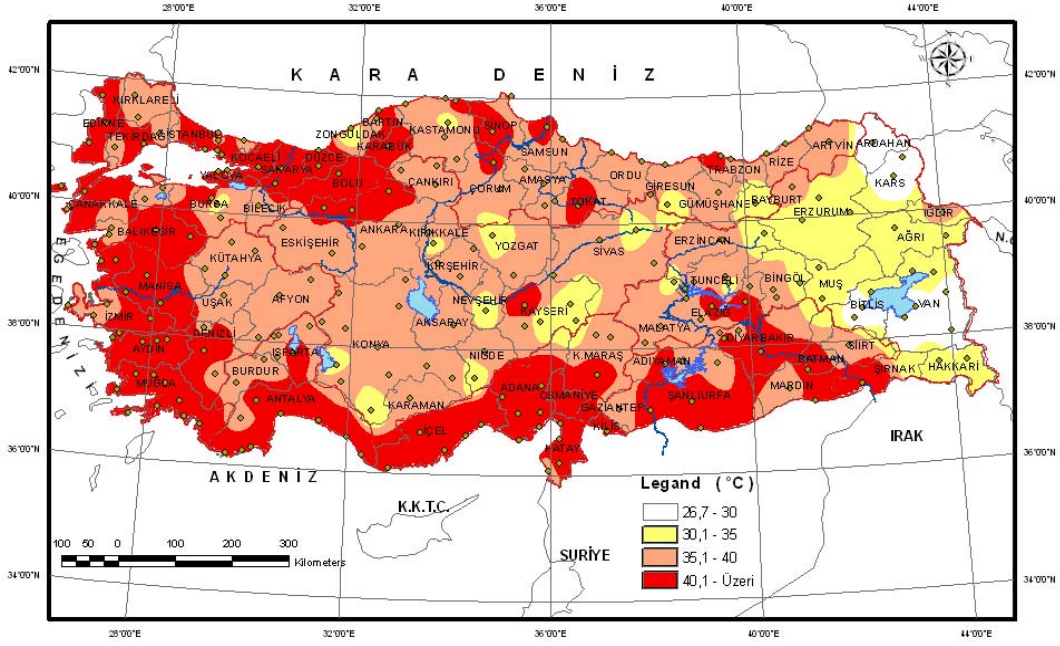
30 TEMMUZ 2012 MAKSİMUM SICAKLIK HARİTASI



31 TEMMUZ 2012 MAKSİMUM SICAKLIK HARİTASI



Şekil 6. 24-31 Temmuz günleri Maksimum Sıcaklık Haritası



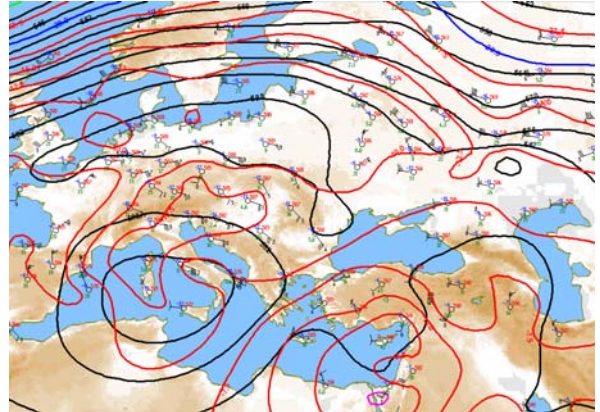
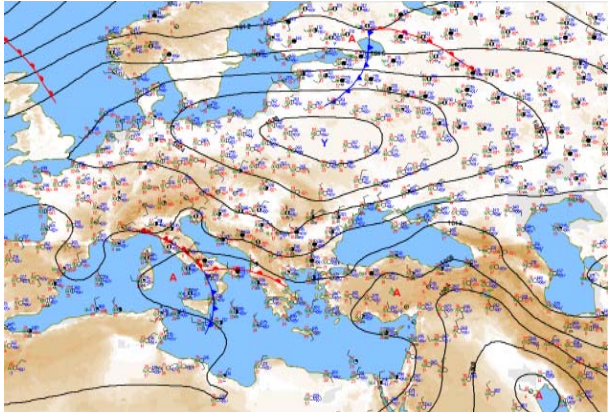
Şekil 7. 24-31 Temmuz günleri Maksimum Hissedilen Sıcaklık Haritası

24-31 Temmuz günlerindeki maksimum sıcaklıklardan hesaplanan hissedilen sıcaklık haritası Şekil (7) de verilmiştir. Bu değerlere göre, Güney Doğu Anadolu, Akdeniz, Ege, Marmara ve Batı Karadeniz Bölgelerinde 40 0C aşan Hissedilen Sıcaklıklar görülmüştür. Bu durum bize hissedilen sıcaklığın denizsel bölgelerde çok fazla arttığını göstermiştir.

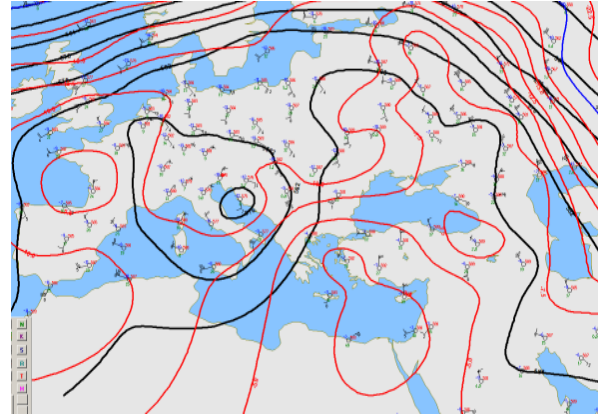
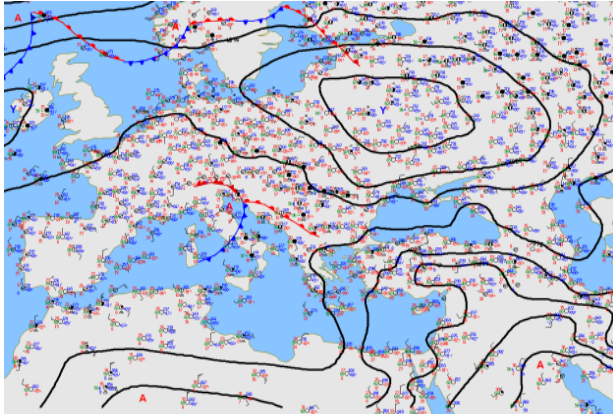
SİNOPTİK DURUM

İncelenen tarihler için sinoptik haritalar (Yer kartı ve 500 Hpa) şu şekildedir.

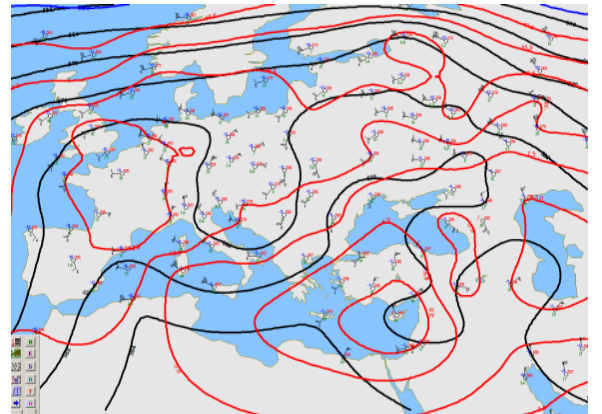
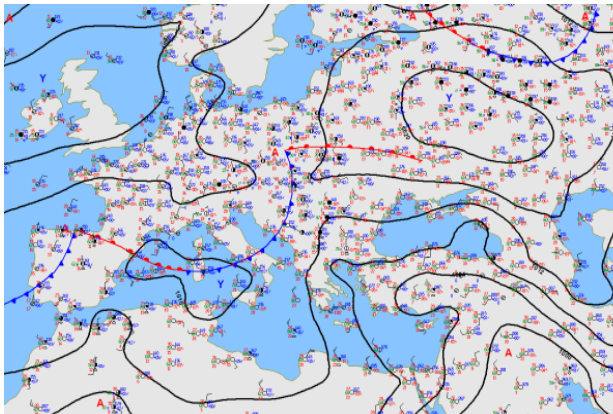
24 Temmuz



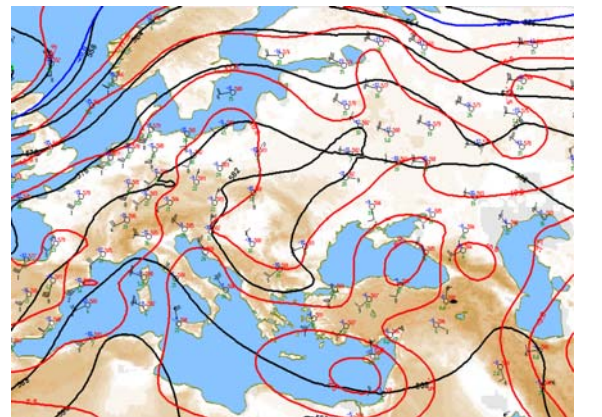
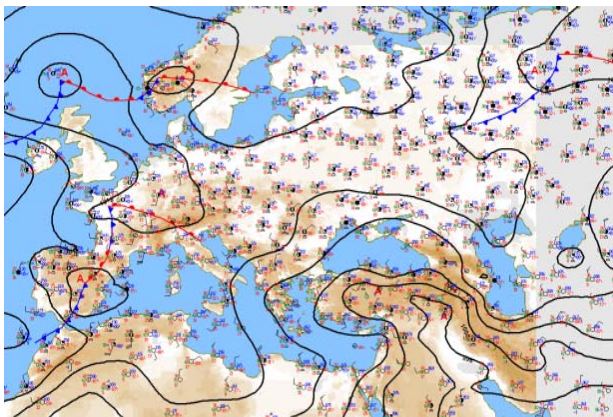
25 Temmuz



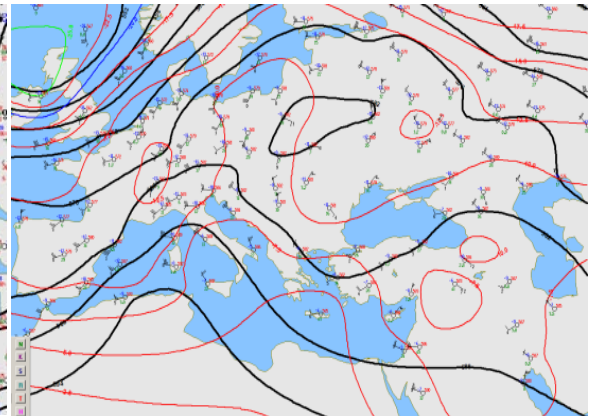
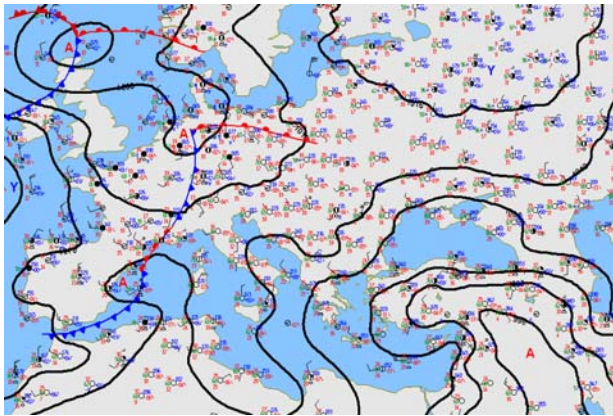
26 Temmuz



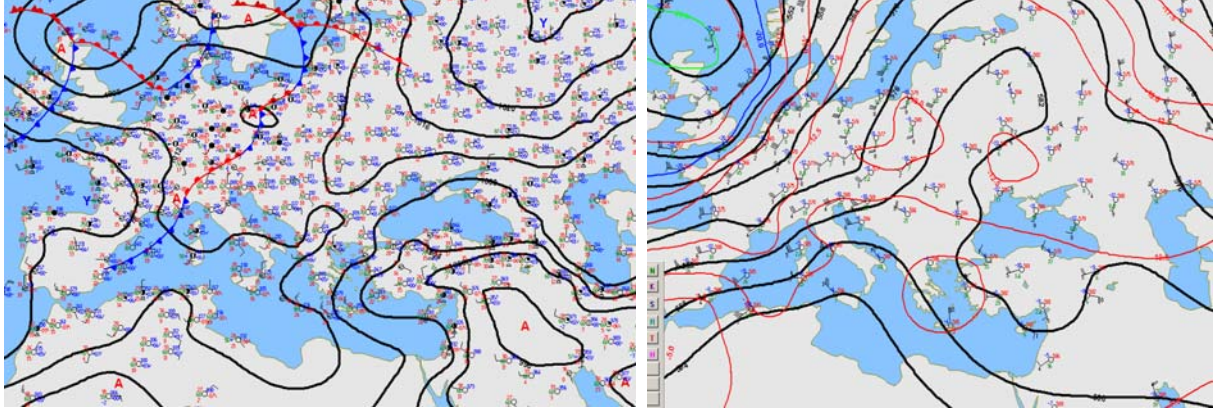
27 Temmuz



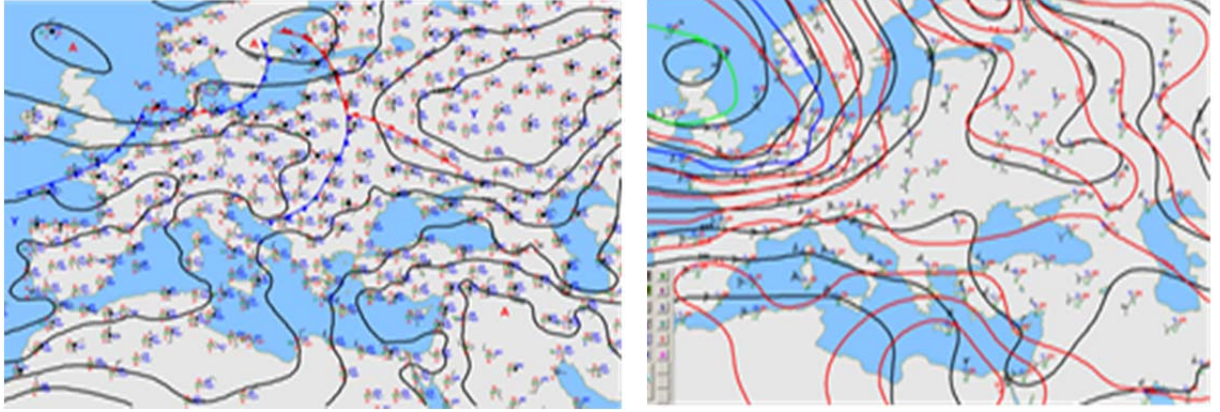
28 Temmuz



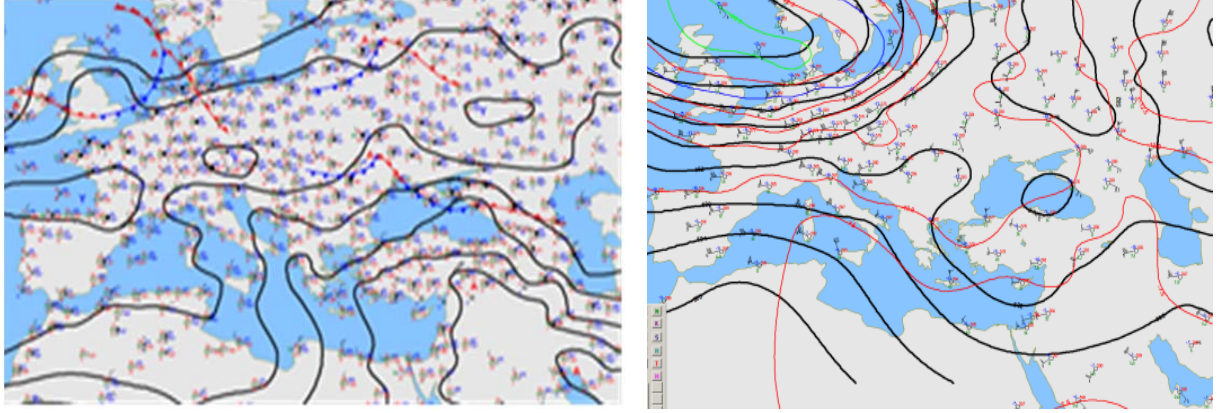
29 Temmuz



30 Temmuz



31 Temmuz



Şekil 8. 24-31 Temmuz günleri Sinoptik (Yer Kartı, 500 hPa) Haritalar (MGM, Hava Tahminleri Dairesi Başkanlığı Analiz Şube Müdürlüğü, Sinoptik Kartları)

Sinoptik haritaların incelenmesinden görüleceği üzere söz konusu tarihlerde yurdumuzun kuzeyinde Sibirya yüksek basıncı, güneyinde ise Hint okyanusunda oluşan Muson sisteminin uzantısı olan Basra alçak basınç sistemi etkilidir. 500 hPa basınç haritasına bakıldığında ülkemizin Karasal Tropikal (cT) hava kütesinin etkisinde olduğu görülür. Bu hava kütesi, sıcak ve kuru olduğundan hava sıcaklığının artması kaçınılmazdır.

Uzun süre bu sisteminin etkisinde kalan ülkemiz, temmuz ayında ekstrem sıcaklıklara maruz kalmıştır. İzlanda alçak basınç sisteminin kuvvetlenmesi sonucunda, ay sonundan itibaren hava normal sıcaklık değerlerine dönmüştür.

SONUÇ

Ülkemiz, Hint okyanusunda oluşan Muson sisteminin uzantısı olan Basra alçak basınç sisteminin etkisinde kaldığı 24-31 Temmuz günleri içinde sıcak hava dalgasına maruz kalmıştır. Maksimum sıcaklıklar, uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklıklarının üzerinde seyretmiştir. Sıcak hava dalgası, Güney Doğu Anadolu, İç Anadolu, Doğu Karadeniz ve Marmara bölgesinin Trakya kesiminde etkili olmuştur. İç Anadolu Bölgesinde 17 gün süren sıcak hava dalgaları tespit edilmiştir.

Meteorologların, afetler gibi tehlikeli hava olayları ve sonuçları ile ilgili çalışmaları, hayati bir öneme sahiptir. Bu durum sıcak hava dalgaları için de geçerlidir. Meteorologlar, meteoroloji hizmetlerinde, acil durum yönetimi, medya ve gönüllü kuruluşlar ile birlikte çalışması gereklidir. Bu çalışmalarda zarar azaltma için, erken uyarı sistemleri ve halkı bilinçlendirme eğitim programları düzenlenmelidir.

KAYNAKÇA

1. MGM, Hava Tahm.D.Bşk.lığı Analiz Şb.Md.lüğü - Sinoptik kartları
2. Yurdanur S. Ünal, Kazım Çağatan, Elçin Tan - Türkiye'nin batısında 1965-2006 yılları arasında sıcak hava dalgalarının belirlenmesi, 5th Atmospheric Science Symposium, 27-29 April 2011, İstanbul
3. F. Zhang, H. Gao and X. Cui - Frequency Of Extreme High Temperature Days in China, 1961–2003
4. J. J. Miro' , M. J. Estrela and M. Milla' n - Summer Temperature Trends in a Mediterranean Area (Valencia Region)
5. Andrea Toreti and Franco Desiato - Changes in Temperature Extremes Over Italy in the Last 44 years
6. Thomas C. Peterson, Peter A. Stott and Stephanie Herring - Explaining Extreme Events of 2011 from a Climate Perspective
7. The World Meteorological Organization And The World Health Organization - Heat Waves And Health Guidance On Warning System Development

1960 - 2010 YILLARI ARASI TÜRKİYE İKLİM İNDİSİ TRENDLERİ

Serhat SENSOY (1), Necla TÜRKOĞLU (2), Alper AKÇAKAYA (1), Mithat EKİCİ (1)
Yusuf ULUPINAR (1), Mesut DEMİRCAN (1), Hakkı ATAY (1),
Arzu TÜVAN (1), Hatice DEMİRBAŞ (1)

(1) Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye E-posta: iklimsube@mgm.gov.tr

(2) Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi, Ankara, Türkiye, E-posta: nturkoglu@ankara.edu.tr

ÖZET

Ekstrem olayların genellikle sağlık, su kaynakları, tarım ve afet risk azaltımı sektörleri üzerine güçlü etkileri söz konusudur. Ortalama koşullardaki küçük değişiklikler ekstremlerin görülme olasılığında büyük değişikliklere neden olur. Bu çalışmada Türkiye’de bulunan 109 meteoroloji istasyonunun 1960-2010 yılları arası sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak RClimDex yazılımı ile iklim indisleri üretilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre tüm Türkiye’de yaz günleri, sıcak günler, sıcak geceler ve tropik geceler sayıları artarken; donlu günler, serin günler, serin geceler sayıları ise azalmaktadır. Hesaplanan bu trendlerin çoğu %95 güven aralığında istatistiksel olarak önemlidir. Büyüme sezonu uzunluğu indisleri ise zaten yüksek olan sahil alanları hariç artış trendindedir.

Yıllık toplam yağış trendlerinin ülkenin kuzeyinde artış, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege Bölgelerinde ise azalış trendinde olduğu bulunmuştur. Sıklıkla sellere neden olan şiddetli yağışlı gün sayıları Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgeleri dışında artış eğilimindedir. Bir günlük maksimum yağışların ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında artış trendinde olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: RClimDex, iklim, ekstrem, indis, trend

TRENDS IN TURKEY CLIMATE INDICES FROM 1960 TO 2010

Serhat SENSOY (1), Necla TÜRKOĞLU (2), Alper AKÇAKAYA (1), Mithat EKICI (1)
Yusuf ULUPINAR (1), Mesut DEMİRCAN (1), Hakkı ATAY (1),
Arzu TÜVAN (1), Hatice DEMİRBAŞ (1)

(1) Turkish State Meteorological Service, Ankara, Turkey Email: iklimsube@mgm.gov.tr

(2) Ankara University, Faculty of Languages, History and Geography, Ankara, Turkey

Email: nturkoglu@ankara.edu.tr

Abstract

Extreme climate events usually have strong impacts on society, water resources, health, and agriculture sectors. Small change in the mean condition can cause a large change in the likelihood of an extreme. In this study we have run RClimDex software in order to calculate climate indices for 109 stations in Turkey for the period from 1960 to 2010.

The results show that numbers of summer days, warm days, warm nights and tropical nights have been increasing all over Turkey while frost days, cool days and cool nights are decreasing. Most of the trends are statistically significant at the 95% level. Growing season length has increased over Turkey except coastal regions.

Trend in annual total precipitation is increasing in northern parts of the country while decreasing in Southeastern Anatolia, Mediterranean and Aegean Regions. Numbers of heavy precipitation days have been increasing in most of the stations except Aegean and Southeastern Anatolia and usually cause extreme flood events. The maximum 1-day precipitation has been increasing in most of the stations except Southeastern Anatolia.

Keywords: RClimDex, climate, extreme, indices, trend

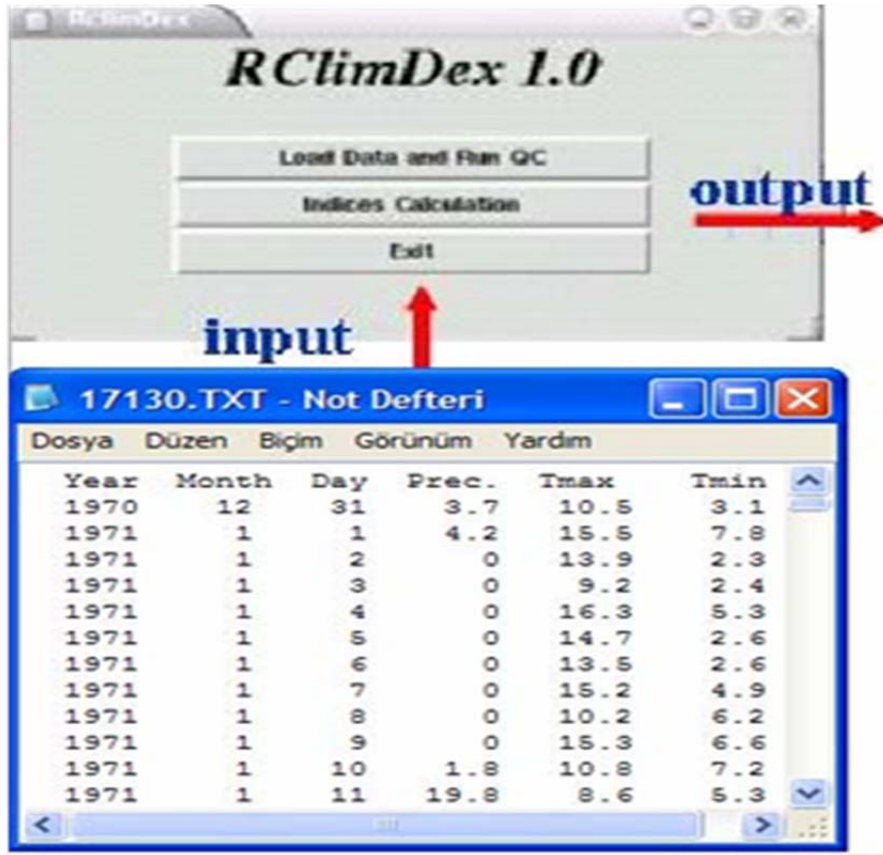
1. GİRİŞ

İklim değişikliği 21. Yüzyılda insanoğlunun yüz yüze kaldığı en büyük problemlerden biridir. İklim değişikliği hem hava paternlerindeki değişikliği arttıracak hem de ekstrem olayların frekansı ve şiddetinde artışlara neden olacaktır. İklim sisteminin karmaşıklığı ve küresel yapısı dikkate alındığında iklim değişikliği görüntüleme ve tahmin çalışmalarında uluslar ve disiplinler arası işbirliği faaliyetleri kaçınılmazdır. Bu nedenle WMO CCI/CLIVAR İklim Değişikliği Belirleme, Görüntüleme ve İndis Uzman Ekibi (<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/opace/opace2/ETCCDI.php>) çoğunlukla ekstremlere odaklanan 27 adet çekirdek iklim indisi tanımlamıştır. İndisleri üretecek RCLimDex yazılımı, Uzman Ekip adına Kanada Meteoroloji Servisinden Dr. Xuebin Zhang tarafından R istatistik paketi altında çalışabilecek şekilde geliştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOTLAR

Bu çalışmada Türkiye’de bulunan 109 meteoroloji istasyonunun 1960-2010 verileri kullanılarak RCLimDex yazılımı ile iklim indisleri üretilmiştir. Aynı iklim periyodunda karşılaştırma yapabilmek adına her istasyon için aynı veri periyodu seçilmiştir. Ülke çapında iklim değişkenliğinin genel bir fotoğrafını çekmek için her indis için ortalama trendler 1971-2000 iklim periyodu temel alınarak hesap edilmiştir. İndis hesaplanmasından önce verilerin kalite kontrolüne tabi tutulmuş ve homojenite testleri yapılmıştır. Aylık veriler bazı önemli hava olaylarını filtrelediği için çalışmada girdi olarak günlük veri kullanılmıştır. RCLimDex yazılımı ve kullanıcı kılavuzuna aşağıdaki adresten erişmek mümkündür.

<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.



Şekil 1. Yazılım ve ham veri

2.1. Kalite kontrolü:

Muhtemel kalite sorunlarını yakalamak amacıyla yazılım günlük verinin birçok grafiğini çizmekte ve istatistiksel olarak $X_{ort} \pm 4St$. Sapma verisinin dışında kalan veriler işaretlenmektedir. Dışarıda veya problemlili her veri metaverisine bakılarak elle doğrulanmakta ve QClog dosyasına yazılmaktadır.

Yazılım içindeki kalite kontrol prosedürleri şunlardır:

- Eğer yağış değeri (-) ise kayıp değer olarak kabul edilir (-99.9)
- $T_{max} < T_{min}$ ise her iki veri de kayıp değer olarak kabul edilir (-99.9)
- Eğer veri $X_{ort} \pm 4St$. Sapma nın dışında kalıyor ise problemlili veri olarak kabul edilir.

2.2. Veri homojenitesi:

Homojen iklimsel zaman serisi, değişimi yalnızca iklimsel değişimden kaynaklanan veri şeklinde tanımlanır (Aguilar, E. et all, 2004). Veri homojenitesi için Kanada Meteoroloji Servisi tarafından geliştirilen R tabanlı RHtest programı kullanılmıştır. (şekil 2). Bu analiz tüm zaman serisine uygulanan doğrusal trend ile iki fazlı regresyon modeline dayanmaktadır (Wang, 2003).

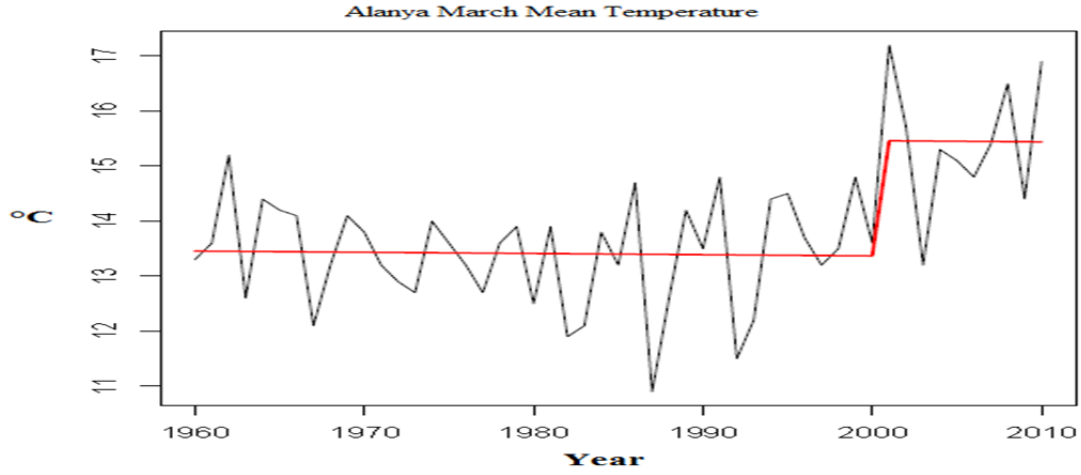
2.3. İndis hesaplama:

Veriler kalite kontrolünden ve homojenite testinden geçtikten sonra indis hesaplamak için hazır hale gelirler. RClimDex Tablo 1’de verilen 27 adet iklim indisini hesaplar. Trend hesabında seride dışarıda kalan verilere karşı dayanıklı bir metot olan Kendall’s tau tabanlı eğim tahmini kullanılmıştır. Eğer eğimin hatası eğim tahmininden büyük ise eğim tahminine güvenilmez. Eğer P değeri 0.05’ten küçük ise bu trend %95 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir (şekil 3).

Tablo 1. 27 adet çekirdek iklim indisi

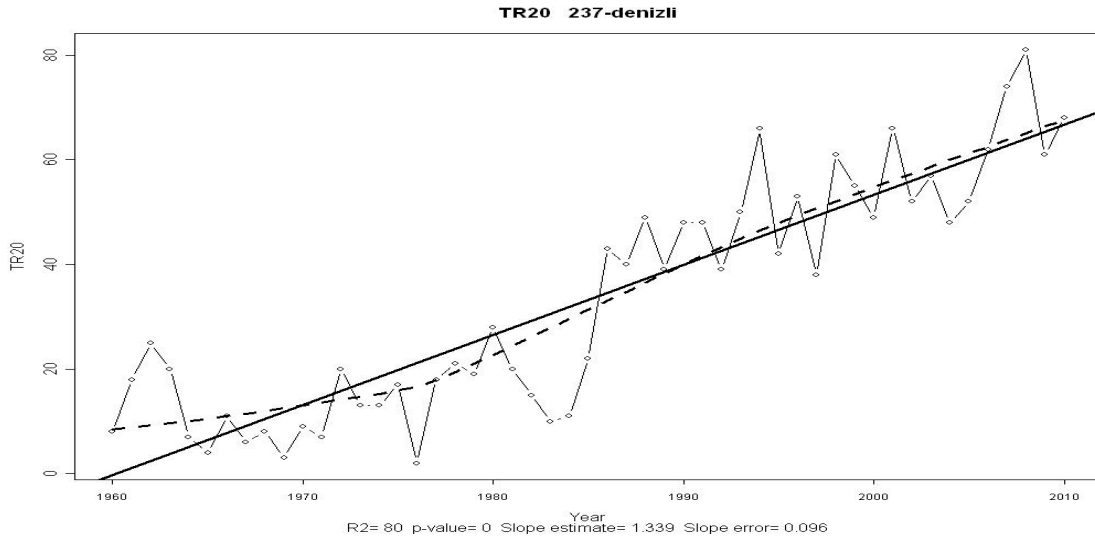
| Indis- ID | Indis adı | Tanımlama | Birim |
|-----------|---------------------------------|---|--------|
| FD0 | Donlu günler | Minimum sıcaklık < 0°C olduğu günler | Gün |
| SU25 | Yaz günleri | Maksimum sıcaklık > 25°C olduğu günler | Gün |
| ID0 | Buz günleri | Maksimum sıcaklık <0 °C olduğu günler | Gün |
| TR20 | Tropik geceler | Minimum sıcaklık > 20°C olduğu günler | Gün |
| GSL | Büyüme sezonu uzunluğu | T>5°C olan ilk 6 gün ile T<5°C olan ilk 6 gün arasındaki günler toplamı | Gün |
| TXx | Max Tmax | Maksimum sıcaklıkların maksimumu | °C |
| TNx | Max Tmin | Minimum sıcaklıkların maksimumu | °C |
| TXn | Min Tmax | Maksimum sıcaklıkların minimumu | °C |
| TNn | Min Tmin | Minimum sıcaklıkların minimumu | °C |
| TN10p | Serin geceler | Tmin < normalinin %10 olduğu günler | Gün |
| TX10p | Serin günler | Tmax < normalinin %10 olduğu günler | Gün |
| TN90p | Sıcak geceler | Tmin > normalinin %90 olduğu günler | Gün |
| TX90p | Sıcak günler | Tmax > normalinin %90 olduğu günler | Gün |
| WSDI | Sıcak devre süresi indikatörü | Tmax > normalinin %90 olduğu en az 6 ardışık gün sayısı | Gün |
| CSDI | Soğuk devre süresi indikatörü | Tmin < normalinin %10 olduğu en az 6 ardışık gün sayısı | Gün |
| DTR | Günlük sıcaklık genişliği | Tmax - Tmin | °C |
| RX1day | 1 Günlük maksimum yağış | Günlük maksimum yağış miktarı | mm |
| Rx5day | 5 Günlük maksimum yağış | 5 günlük ardışık maksimum yağış miktarı | mm |
| SDII | Günlük yağış yoğunluk indisi | Yıllık yağış toplamı / yağışlı gün sayısı | mm/gün |
| R10 | Şiddetli yağışlı gün sayısı | Yağış >= 10 mm olduğu günler | Gün |
| R20 | Çok şiddetli yağışlı gün sayısı | Yağış >= 20 mm olduğu günler | Gün |
| R25 | Çok şiddetli yağışlı gün sayısı | Yağış >= 25 mm olduğu günler | Gün |
| CDD | Ardışık kurak günler sayısı | Yağışın < 1mm olduğu ardışık günler sayısı | Gün |
| CWD | Ardışık ıslak günler sayısı | Yağışın >= 1mm olduğu ardışık günler sayısı | Gün |
| R95p | Çok ıslak günler | Yağışın normalinin %95 inden fazla olduğu miktarları | mm |
| R99p | Aşırı ıslak günler | Yağışın normalinin %99 inden fazla olduğu miktarları | mm |
| PRCPTOT | Yıllık toplam yağış | Yıllık toplam yağış miktarı (P>=1mm) | mm |

3. ANALİZ



Şekil 2. Alanya istasyonunun Mart ayı ortalama sıcaklıkları için homojenite testi

Kırmızı çizgi zaman serisinde mümkün kırılmaların büyüklük ve zamanı ile homojen bölüm ile kırılmalar arasındaki doğrusal regresyonu göstermektedir. 2000'lerdeki büyük değişiklik hem istatistiksel olarak anlamlı hem de istasyon tarihsel metaverisi tarafından desteklenmiştir. Buna göre 2000'li yıllardan sonra istasyon deniz yönü hariç binalarla çevrelenmiştir.

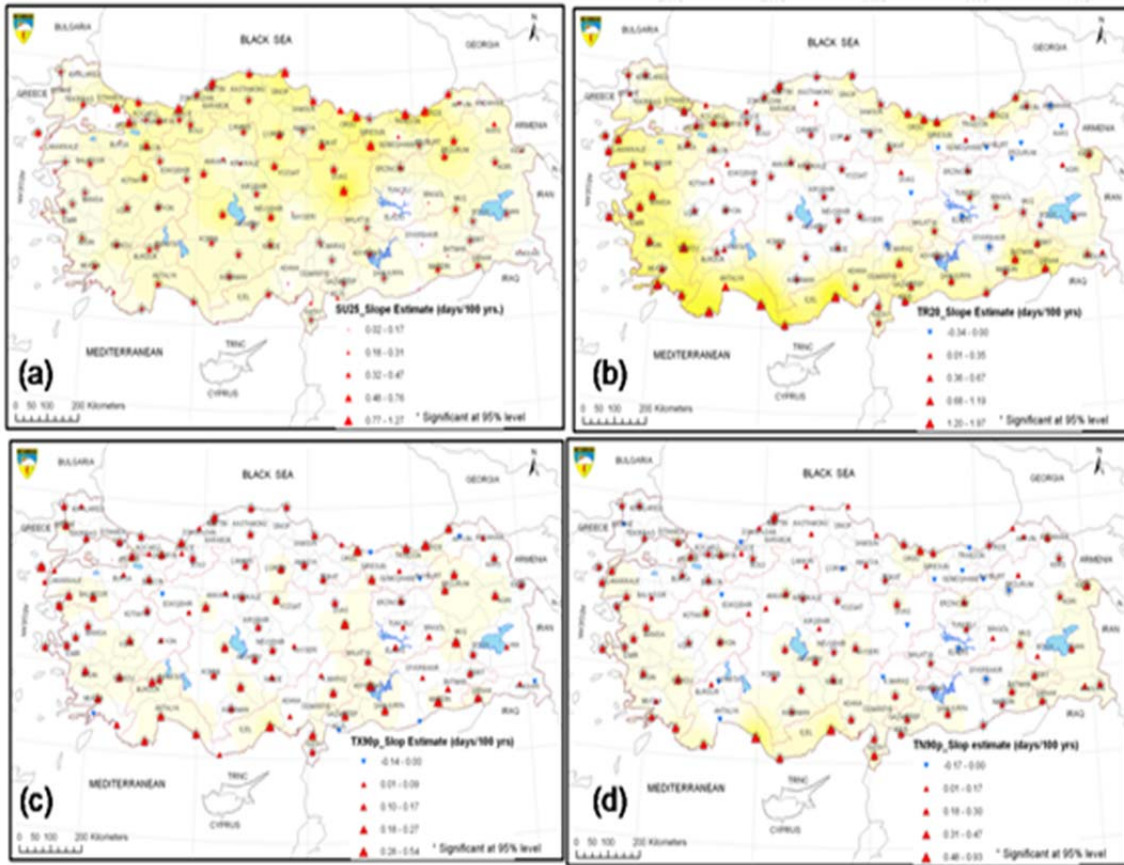


Şekil 3. Denizli 1960 -2010 arası tropik geceler ($T_n > 20^\circ\text{C}$) trendi

Şekil 3'te verilen indis çizimi Denizli'de tropik geceler sayısının 100 yılda 134 gün artacağını ve bu trendin %95 seviyesinde istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ($P < 0.05$). Denizli'de 1960'larda çok az olan tropik gece sayısının 50 yılda 70 günlere ulaşması minimum sıcaklıklardaki belirgin artışın bir göstergesidir.

4. İNDİS TRENDLERİNİN GÖRÜNTÜLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Her istasyon için elde edilen indis trendleri ArcGIS ortamında tüm Türkiye için haritalanmıştır. Haritalarda yukarı üçgenler artış, aşağı üçgenler azalış, kırmızı renk ısınma, mavi renk soğuma, üçgenin büyüklüğü artışın ölçüsünü vermektedir. Benzer trendler arasında enterpolasyon yapılmıştır.



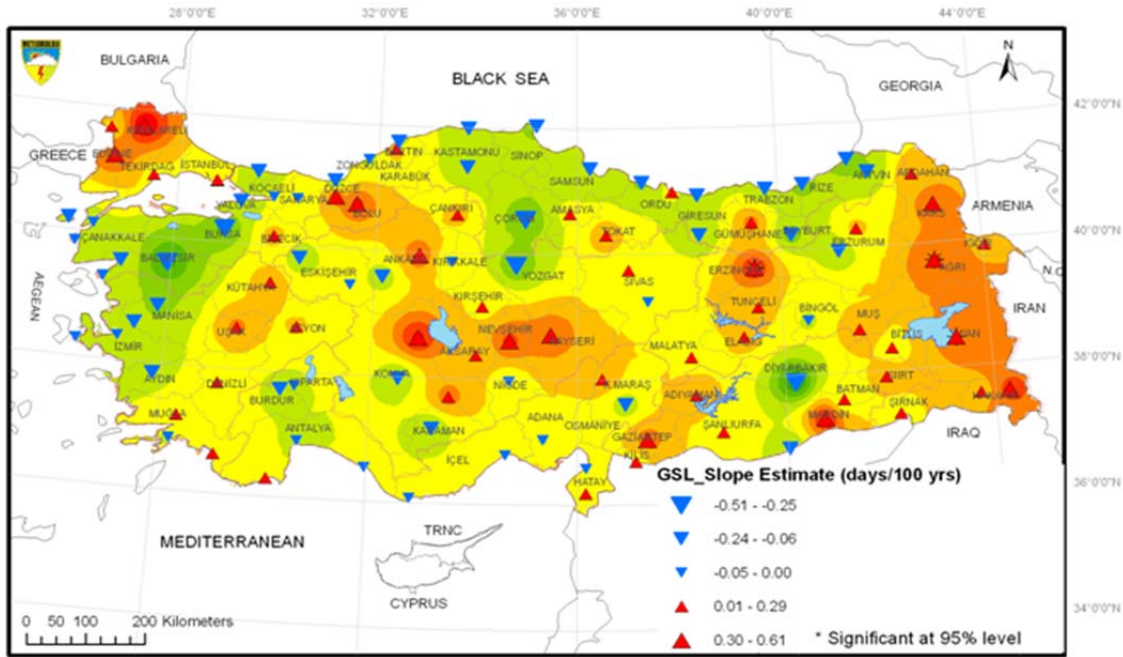
Şekil 4. Yaz günleri (a), tropik geceler (b), sıcak günler(c) ve sıcak geceler (d) trendleri

(a) Yaz günleri ($T_x > 25^\circ\text{C}$) sayısı tüm Türkiye’de artmaktadır. Özellikle kuzeydeki istasyonların trenleri fazladır. Kendall’s tau tabanlı trend ortalama artış trendinin 39 gün/100 yıl şeklinde olduğunu ve trendlerin çoğunun %95 seviyesinde önemli olduğunu belirtmektedir.

(b) Tropik geceler ($T_n > 20$) sayısı Fırat havzası dışında artmaktadır. Elazığ Keban barajının yapımından sonra önemli derecede azalan bir trende sahiptir. Özellikle sahil istasyonları büyük trende sahiptir. Hesaplanan ortalama artış trendi 37 gün/100 yıldır ve çoğu %95 seviyesinde önemlidir.

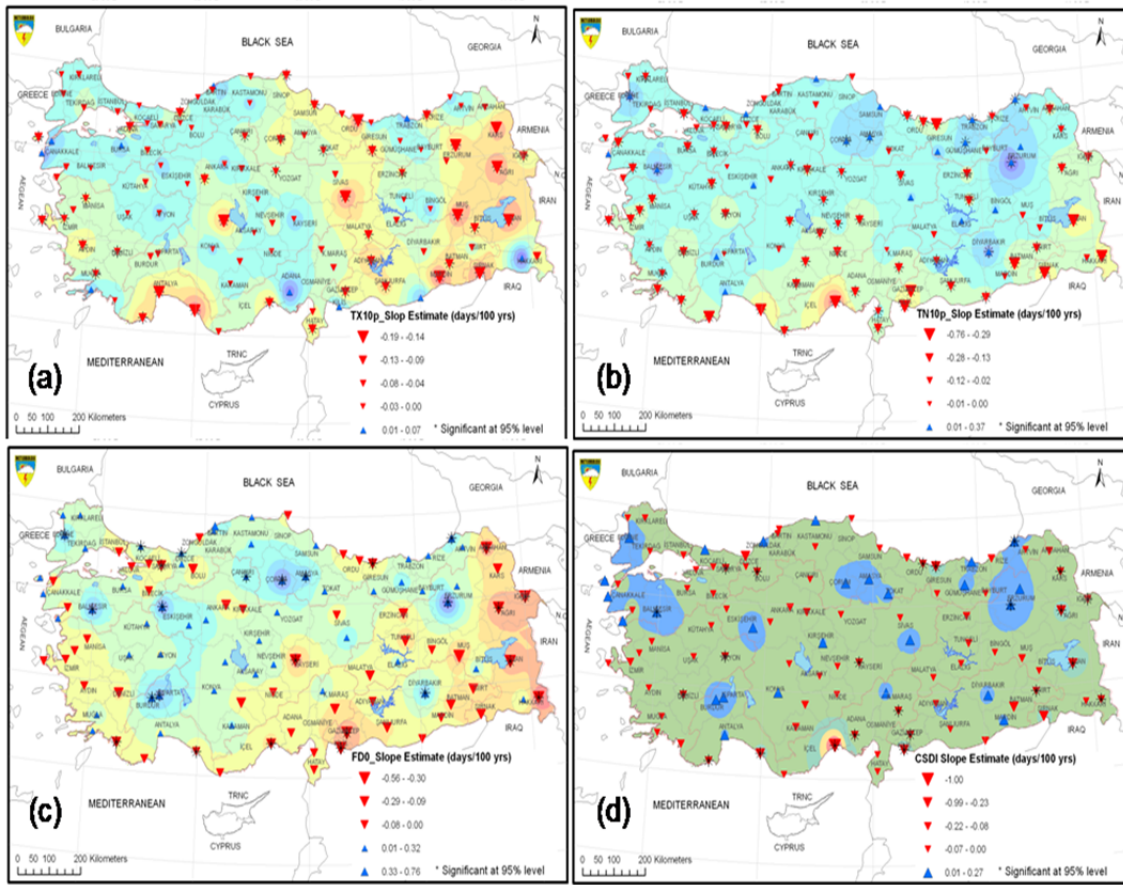
(c) Sıcak günler tüm Türkiye’de artmaktadır. Hesaplanan ortalama artış trendi 14 gün/100 yıldır. Trendlerin çoğu %95 seviyesinde önemlidir.

(d) Sıcak geceler sayısı Fırat havzası dışında artmaktadır. En büyük artışlar Akdeniz kıyılarındadır. Hesaplanan ortalama artış trendi 15 gün/100 yıldır. Trendlerin çoğu %95 seviyesinde önemlidir.



Şekil 5. Büyüme sezonu uzunluğu trendi

Büyüme sezonu uzunluğu sahil kesimleri dışında Trakya, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu'da artmaktadır. Hesaplanan ortalama artış trendi 21 gün/100 yıldır. Isınan sıcaklıklar orta enlemlerde bitki gelişimini desteklemektedir (Kadioğlu ve ark, 2000). Büyüme sezonu uzunluğunun artmasının tarımda ve bağcılıkta tür seçimi, münavebe gibi pozitif etkileri olabileceği gibi kısalan gelişme dönemi tahıllarda tane doluluğu ve yoğunluğu, başak başına tane sayısı ve tane ağırlığı üzerine negatif etkileri olacaktır. Meyve ağaçlarının erken çiçek açması da geç don zararını artırabilecektir. (Chmielewski ve ark, 2002).



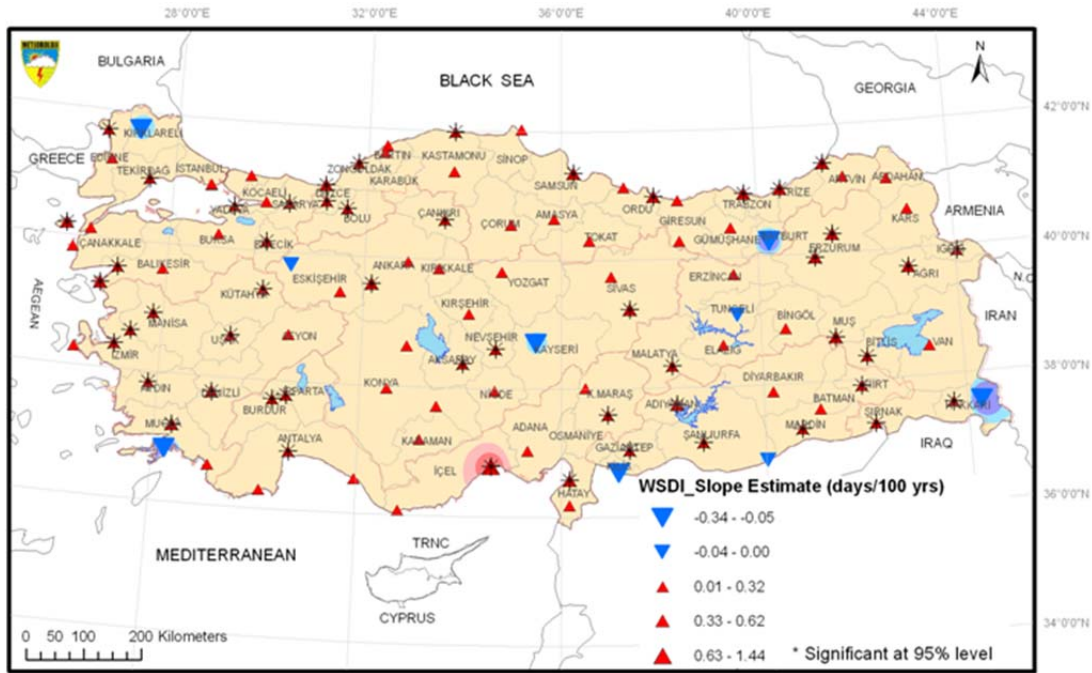
Şekil 6. Serin gün (a), serin gece (b), donlu gün (c) ve soğuk devre süresi indisi (d) trendleri

(a) İstasyonların çoğunda serin günler sayısı azalmaktadır. Sadece 10 istasyon artan trend göstermektedir. Hesaplanan ortalama azalış trendi 6 gün/100 yıldır. Trendlerin çoğu %95 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

(b) İstasyonların çoğunda serin geceler sayısı azalmaktadır. Sadece 20 istasyon artan trend göstermektedir. Hesaplanan ortalama azalış trendi 15 gün/100 yıldır. Trendlerin çoğu %95

seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

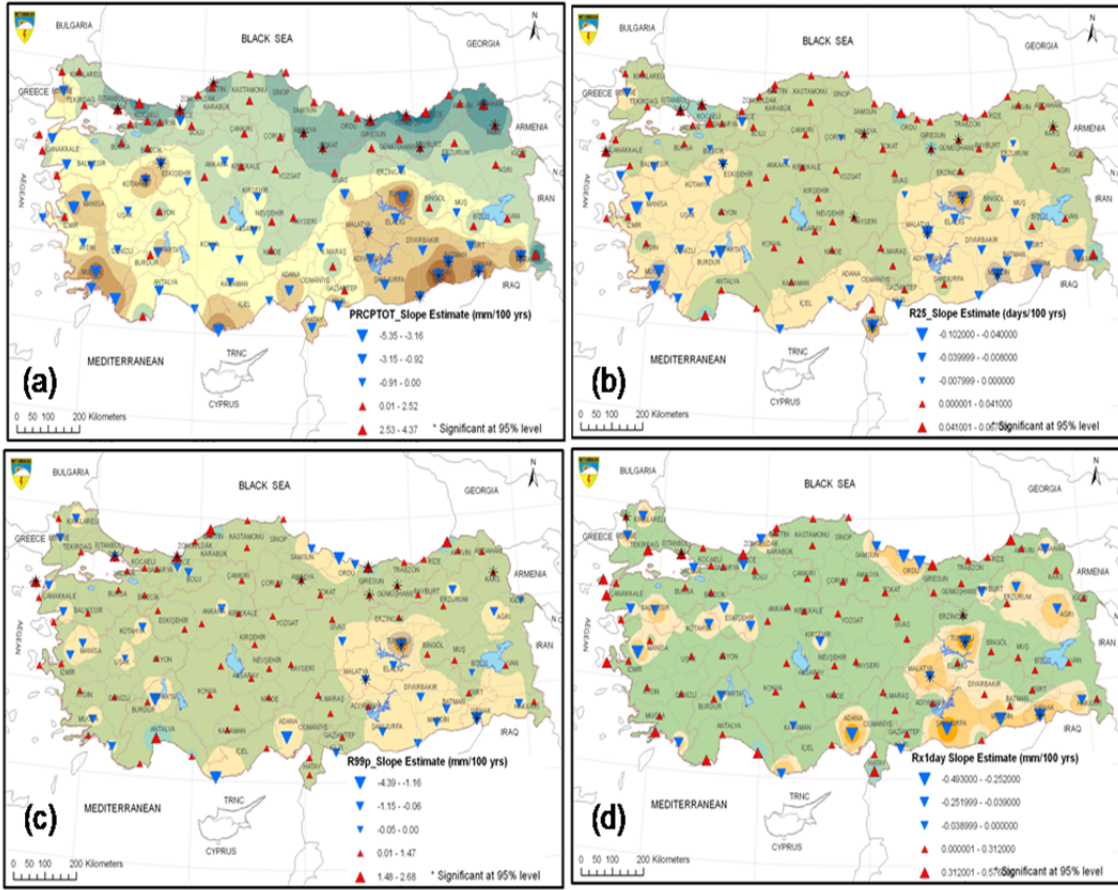
(c) Donlu günler sayısı Edirne, Balıkesir, Eskişehir, Göller yöresi, Çorum, Erzurum ve Diyarbakır'da önemli olmak üzere 55 istasyonda artış trendi gösterirken 53 istasyonda ise azalış trendi göstermektedir. diğer yerlerde azalış göstermektedir. Hesaplanan ortalama azalış trendi 14 gün/100 yıldır. Trendlerin çoğu %95 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.



Şekil 7. Sıcak devre süresi indisi trendi

(d) Soğuk devre süresi indisi ülkenin batı kesimi, Amasya, Çorum, Eskişehir, Burdur, Erzurum ve Bayburt hariç azalış trendindedir. Hesaplanan ortalama azalış trendi 20 gün/100 yıldır.

Sıcak devre süresi indisi Marmaris, Bayburt, Yüksekova, Kilis, Kırklareli, Kayseri, Ceylanpınar ve Tunceli hariç artış trendindedir. Hesaplanan ortalama artış trendi 23 gün/100 yıldır. Trendlerin çoğu %95 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.



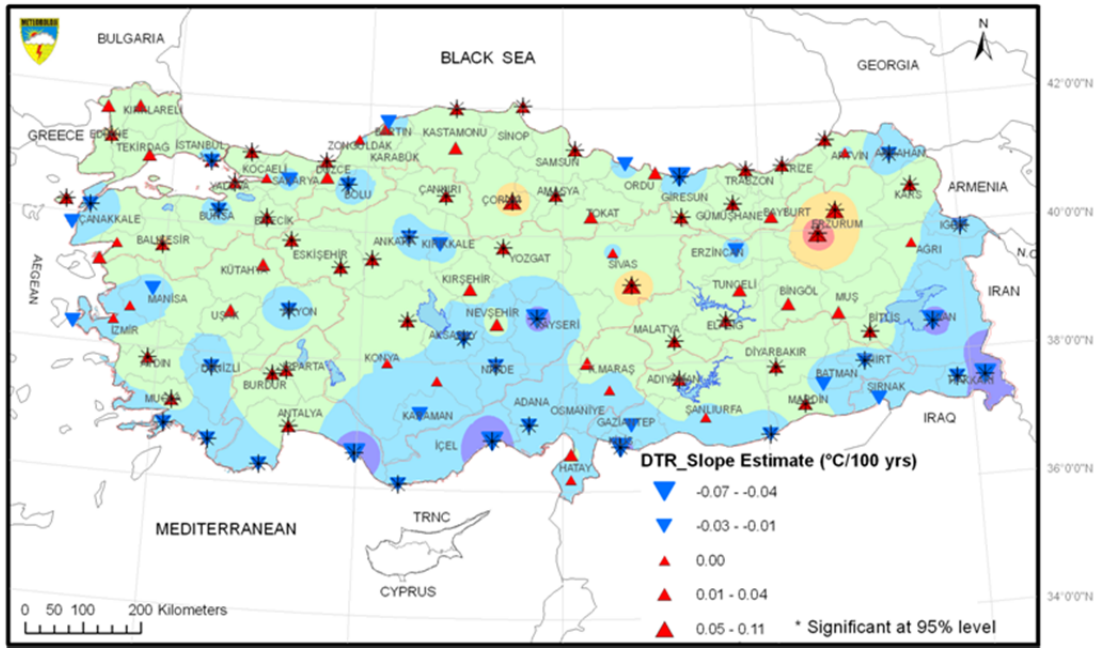
Şekil 8. Toplam yağış (a), şiddetli yağışlı gün sayısı (b) aşırı ıslak günler (c) günlük maksimum yağış (d) trendleri

(a) Yıllık toplam yağış trendlerinin ülkenin kuzeyinde artış, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege Bölgelerinde ise azalış eğiliminde olduğu bulunmuştur.

(b) Şiddetli yağışlı gün sayıları Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri hariç istasyonların çoğunda artış trendindedir. Hesaplanan ortalama artış trendi 17 gün/100 yıldır. Doğu Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri karşıt fakat güçlü trendler göstermektedir.

(c) Aşırı ıslak günler Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri hariç istasyonların çoğunda artış trendindedir. Hesaplanan ortalama artış trendi 119 mm/100 yıldır.

(d) Bir günlük maksimum yağışlar Ege ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri hariç istasyonların çoğunda artış trendindedir. Hesaplanan ortalama artış trendi 17 mm/100 yıldır. Akdeniz bölgesi büyük trendlere sahiptir.



Şekil 9. *Günlük sıcaklık genişliği trendi*

Günlük sıcaklık genişliği (Tmax-Tmin) özellikle Çorum Erzurum ve Kangal olmak üzere 51 istasyonda artış, 31 istasyonda ise azalış trendindedir. Trendlerin çoğu %95 seviyesinde istatistiksel olarak önemlidir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

İndislerden türemiş bilgi yalnızca ortalama değer zaman içinde nasıl değiştiğini değil; aynı zamanda verinin istatistiksel dağılımının nasıl değiştiği konusunda da bilgi içerir. Ayrıca sonuçlar bize ekstremelerin trendleri hakkında çok önemli bilgiler sağlar.

Elde edilen sonuçlara göre tüm Türkiye’de yaz günleri, sıcak günler, sıcak geceler ve tropik geceler sayıları artış trendinde iken; donlu günler, serin günler, serin geceler sayıları indislerinin trendleri ise azalış göstermektedir. Bu durum dünyadaki ısınma trendine paralel olarak Türkiye’de de sıcaklıkların artmakta olduğunu göstermektedir. Yaz günleri sayısındaki artış trendi 39 gün/100 yıl şeklindedir. Bu da gelecekte daha fazla sıcak dalgası ile karşı karşıya kalacağımızın bir göstergesidir. Hesaplanan bu trendlerin çoğu %95 güven aralığında istatistiksel olarak önemlidir.

Büyüme sezonu uzunluğu indisi ise zaten yüksek olan sahil alanları hariç artış trendindedir. Bunun tarım sektörüne olumlu ve olumsuz etkileri olacaktır.

Yıllık toplam yağış trendlerinde ülkenin kuzeyinde artış, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Ege Bölgelerinde ise azalış eğilimleri olduğu bulunmuştur. Sıklıkla sellere neden olan şiddetli yağışlı gün sayıları Güneydoğu Anadolu ve Ege Bölgeleri dışında artış eğilimindedir. Bir günlük maksimum yağışların ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi dışında artış trendinde olduğu gözlenmiştir. Bu da sel tehlikelerine karşı erken uyarı ve altyapı çalışmalarına daha fazla önem verilmesi gerektiği sonucunu doğurmaktadır.

Özet olarak, genellikle ülke boyunca maksimum ve minimum sıcaklıkları da etkileyen bir ısınma trendi söz konusudur. Yağıştaki değişimde çok karışık desenler söz konusu olmakla birlikte toplam yağışların kuzeyde artış, güneyde azalış trendinde olduğu, buna karşılık maksimum yağışlarda ise artış eğilimleri olduğu gözlenmiştir.

Sonuçlara bakıldığında maksimum sıcaklıklar da dahil olmak üzere tüm sıcaklıklarda genel bir artış, yağışlarda Karadeniz’de artış, güneyde ise azalışlar fakat şiddetli yağışlarda artış eğilimleri gibi iklim değişikliğinin tüm belirtilerinin Akdeniz havzasında olduğu gibi ülkemizde de görüldüğü izlenmiştir. Bu belirtilerin başta insan sağlığı olmak üzere tarım, su kaynakları, afet risklerinin azaltılması, turizm, ulaştırma vb. tüm sektörlerle negatif etkileri olacağı beklenmektedir.

Yayımdaki bulguların iklim değişikliğine uyum ve afet risklerinin azaltılması çalışmalarında sektörlerle ve karar alıcılara faydalı olmasını diliyoruz.

KAYNAKLAR

Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. C. Peterson and J. Wieringa, 2003: Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. World Meteorological Organization, Geneva, 55 pp.

Alexander, L.V., et al., Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 2005

Chmielewski F.M., Müller A., Bruns E., 2002: Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000, Humboldt-University of Berlin.

Folland, C. K., T. R. Karl and Coauthors, 2001: Observed climate variability and change. *Climate Change 2001: The scientific Basis. Contribution of working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.T. Houghton et al., Eds., Cambridge University Press, 99-181 pp.

Frich, P., L. V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. M. G. Klein Tank and T. Peterson, 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the 2nd half of the 20th century, *Climate Res.*, 19, 193-212.

Kadioğlu, M., Şaylan, L., 2000: Trends of Growing Degree-Days in Turkey, İTÜ, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Meteorology, Maslak, 80626 Istanbul, Turkey

Peterson, T. C., C. Folland, G. Gruza, W. Hogg, A. Mokssit, and N. Plummer, 2001: *Report of the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs*, World Meteorological Organization Technical Document No. 1071, World Meteorological Organization, Geneva, 146 pp.

Sensoy, S., T. C. Peterson, L. V. Alexander, X. Zhang, 2007: Enhancing Middle East Climate Change Monitoring and indexes, *American Meteorological Society* DOI: 10.1175/BAMS-88-8-1249

Wang, X. L., 2003: Comments on "Detection of undocumented change points: A revision of the two-phase regression model." *J. Climate*, **16**, 3383-3385.

Zhang, X., et al., 2005, Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *J. Geophys. Res.*, 110, D22104, doi: 10.1029/2005JD006181.

Zwiers, F., H. Cattle, T. C. Peterson, and A. Mokssit, 2003: Detecting climate change, *WMO Bulletin*, 52, 37-42.

TOMS VE OMI UYDU TÜRKİYE OZON VERİLERİNİN CBS ÜRÜNLERİYLE ANALİZİ (1979-2012)

Mithat EKİCİ, Osman ESKİOĞLU, Yılmaz ACAR, Mesut DEMİRCAN, Alper
AKÇAKAYA,

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Daire Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara
mekici@mgm.gov.tr, oeskioglu@mgm.gov.tr, yacar@mgm.gov.tr, mdemircan@mgm.gov.tr,
aakcakaya@mgm.gov.tr

ÖZET

Ozon, gezegenimizi çevreleyen atmosfer içinde önemli bir iz gaz olarak tanımlanır. Stratosferdeki ozon, güneş ışınlarının zararlı kısmını emme yeteneğine sahiptir. TOMS (Toplam Ozon Haritalama Spektrometresi) uydu ozon programı, 24 Ekim 1978 tarihinde Nimbus-7 ile başlamış ve 1993 yılına kadar devam etmiştir. Meteor-3 TOMS, 22 Ağustos 1991 tarihinden itibaren ölçüme başlamış ve faaliyetini 24 Kasım 1994 tarihinde sonlandırmıştır. Uydu ozon verilerinde; Kasım 1994 ile Temmuz 1996 yılları arasında yaklaşık 20 aylık ölçümsüz boş dönem yaşanmıştır. Earth Probe uydusu ise 31 Aralık 2005 tarihine kadar faaliyetine devam ettirilmiştir. Aura uydusu üzerine konulan OMI (Ozone Monitoring Instrument) ozon ölçüm cihazı ile 2004 yılı Temmuz ayında ozon ölçümü başlamış ve halen devam etmektedir.

Bu çalışmada, <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/> web sitesinde yayınlanan küresel uydu toplam sütun ozon verisi bir kod ile indirilmiştir. Küresel veri seti içerisinde 1979-2012 (34 yıl) periyoduna ait ve 25° - 45° Doğu Boylamı ile 34° - 42° Kuzey Enlemi aralığındaki Türkiye koordinatlarına ait veriler ayrıştırılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu veriler 1° x 1.25° çözünürlüğünde ve Türkiye'yi kapsayan 82 adet grid'den oluşmaktadır. Bu veriler yardımıyla Türkiye'ye ait aylık, mevsimlik ile yıllık toplam ozon eğilim grafiği çizdirilmiş, dağılım haritaları ise CBS ortamında yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelime: Ozon Uydu Verisi, Toplam Ozon, Dobson Birimi, Mevsimsel Ozon, CBS

ANALYSING OF TURKEY'S OZONE DATA DERIVED FROM TOMS AND OMI SATELLITE BY GIS (1979-2012)

Mithat EKİCİ, Osman ESKİOĞLU, Yılmaz ACAR, Mesut DEMİRCAN, Alper
AKÇAKAYA,

Turkish State Meteorological Service, Ankara, Turkey,
mekici@mgm.gov.tr, oeskioglu@mgm.gov.tr, yacar@mgm.gov.tr, mdemircan@mgm.gov.tr,
aakcakaya@mgm.gov.tr

ABSTRACT

Ozone is a key trace gas in the atmosphere surrounding our planet. Ozone in the stratosphere absorbs the detrimental part of the solar radiation, thus protecting life (in its present form) at the Earth's surface.

TOMS ozone Nimbus-7 satellite program started on October 24, 1978 and continued until 1993. Meteor-3 TOMS started in 22 August 1991 and operated until November 1994. There was an empty period in satellite data from November 1994 to July 1996. Earth Probe satellite worked until December 2005. OMI (Ozone Monitoring Instrument on Aura) has started to measure ozone data from July 2004 to present.

In this study, global total column ozone which is published in <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/> website data have been used. The data is downloaded for Turkey's (25° - 45°; 34° - 42°N) and for the period 1979-2012 by a script. These data has 82 grid points for Turkey for the 1979-2012 periods. The resolution of the data is 1° x 1.25°. Annual, seasonal and monthly Turkey's total column ozone's graphics were prepared by these data. Data also were mapped in GIS and results were interpreted.

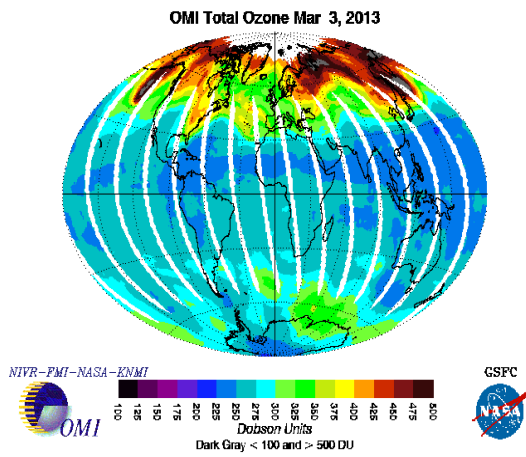
Keywords: Ozone Satellite Data, Total Ozone, Dobson Units, Seasonal Ozone, GIS

1. GİRİŞ

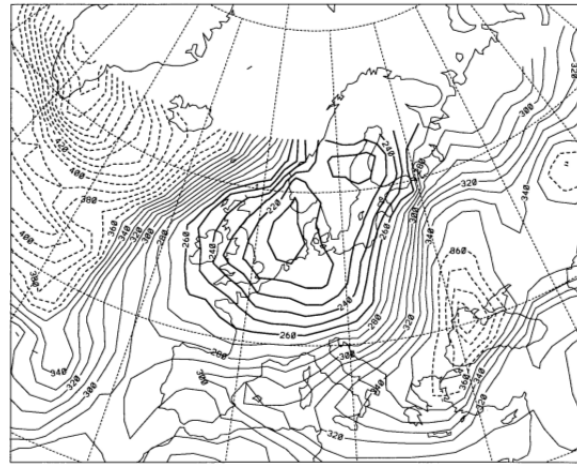
Ozon, gezegenimizi çevreleyen atmosfer içinde önemli bir iz gaz olarak tanımlanır. Stratosferdeki ozon, güneş ışınlarının zararlı kısmını emme yeteneğine sahiptir. Bu sayede yeryüzündeki canlı hayatını korur. Ancak, stratosferik ozon tabakası, ozon tabakasına zarar veren maddeler ve insan yapısı kimyasallar (CFCs, Br vb.) yüzünden tehlike altındadır (1). Ozon, ekvator kuşağı üzerindeki stratosfer tabakasında bütün bir yıl boyunca üretilmekte ve hava hareketleri ile buradan kutuplara doğru taşınmaktadır. Ozonun en çok bulunduğu stratosfer tabakasının alt kısımları ise tropopoz yüksekliği ile belirlenebilmektedir. Toplam sütun ozonunun dünya ortalaması 300 Dobson birimi (Dobson Unit, DU) civarında olup, coğrafyaya bağlı olarak 230 ile 500 Dobson birimi arasında değişmektedir. Toplam ozon ortalaması, ekvator kuşağı üzerinde 240 DU ile en düşük değere sahipken ekvator dan kutuplara doğru gidildikçe 400 DU'ya kadar artış göstermektedir (9). Bir Dobson birimi, ozon hacminin yaklaşık milyarda bir kısmının (1 ppbv), ortalama atmosferik konsantrasyonunu ifade eder. $1 \text{ DU} = 10^{-3} \text{ atm-cm} = 0.01 \text{ mm} = 10^{-5} \text{ m}^3$ 'dir (11). Stratosferik ozon, orta enlem bölgelerinde son birkaç on yıl için belli oranda düşüş eğilimine girmiştir (2). 2006-2009 ortalama toplam ozon değerleri; 1964-1980 ortalamalarına göre son on yıldır ise aynı düzeyde kalırken, 90°S - 90°N için yaklaşık %3,5 ve 60°S-60°N için %2,5 altında gerçekleşmiştir (6). Kuzey yarımküre orta enlemlerindeki (35° N-60° N) 2006-2009 dönemi yıllık toplam sütun ozon miktarı, 1998-2005 döneminde gözlemlenen miktarla aynı kalmış ve 1964-1980 ortalamasına göre yaklaşık %3,5 altındadır. En düşük miktar, 1964-1980 ortalamasına göre, %5,5 ile 1990'ların ortalarında görülmüştür.

TOMS uydu gözlemleri ile yapılan toplam ozon ölçümlerine dayalı çok sayıda çalışmada, yaz mevsimine göre kış ve ilkbahar aylarında orta enlemlerde, toplam ozon miktarında, daha büyük düşüş eğilimleri gösterdiği görülmüştür (3). NASA tarafından 1975 yılında yapılan kongre; araştırma, teknoloji ve yukarı atmosfer gözlem programının izlenmesi ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kongre; dünya yukarı atmosferinin kimyasal ve fiziksel bütünlüğünü korumak için bir anlayış birliği geliştirmiştir (12). Uydu ölçümleri için ilk ozon alıcıları 1960 yılında geliştirilmiştir. Ozon gözlemlerinin en geniş ölçüm seti 1970 ile 1977 arasında Nimbus 4'dan elde edilmiştir (4). Nimbus-7 TOMS uydusundan toplam ozonun günlük ölçümleri, sürüm 7 verileri kullanılarak, 14 yıl boyunca alınmıştır. Uydu gözlemleri

modern çağında yapılan ilk büyük çalışmalarda, Antartika üzerindeki bahar mevsimi ozon deliğinde tespit edilen geçici ozon miktarı düşüşleri araştırılmıştır (5). Aslında ozondaki mini azalmalar her iki yarımküre orta enlemlerde de yaygındır. Bunlar, yatay ve dikey adveksiyon hava hareketinin bir kombinasyonu sonucu, genellikle, ozonun az olduğu zamanlarda meydana gelir ve antisiklonik bir çizgide, nispeten sıcak hava kutba ve doğuya doğru hareket ederken görülür. Ozonca fakir havayla dolu tropopozun yükselmesi, toplam sütun ozon oranının artmasına yardımcı olur (5). Sonuç olarak, toplam sütun ozon miktarı tropopoz yüksekliği ile güçlü bir korelasyon gösterir. Ozon azalma klimatolojisi, Nimbus-7 TOMS'un günlük ozon gözlemlerine dayanır, verinin elde edilebilen en son sürümü, sürüm-7'dir. Bu sürüm özellikle önceki sürümlere göre, düşük güneş zenit açıları için yeniden elde edilen verilerin kalitesinin artırılmasında ve ham verilerin kalibrasyonunda kullanılmıştır (5).



Şekil 1. OMI Uydu Küresel Toplam Ozon Gösterimi (13)



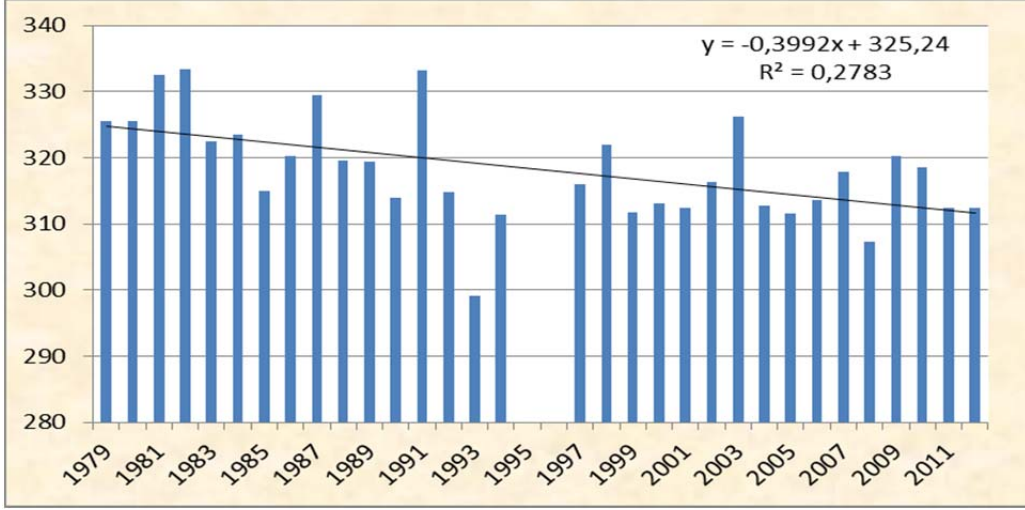
Şekil 2. Nimbus-7 TOMS cihazı tarafından 5 Şubat 1990'da Avrupa üzerindeki toplam ozon seviyeleri: Kontur aralığı 10 DU, en düşük 260 DU ve en yüksek 360 DU'dur (5).

2. YÖNTEM

TOMS programı 24 Ekim 1978 tarihinde Nimbus-7 uzay aracı üzerindeki TOMS Uçuş Modülü kullanılarak, geçerli ölçümler aynı yılın Kasım ayında başlamıştır. TOMS cihazının görevi Mayıs 1993 yılında sona ermiştir (14). Yerine ise Meteor-3 TOMS Ağustos 1991'de veri göndermeye başlamış ve Aralık 1994 yılında faaliyetini durdurmuştur (15). Başlangıçta, Earth Probe (EP) TOMS ile elde edilen veriler, uydunun yüksek yörüngesi nedeniyle, tam ekvatorial özelliklerinden dolayı ADEOS TOMS'dan elde edilen verilerle tamamlanmasına gerek duyulmuştur ve EP-TOMS ilk planlanan 950 kilometrelik yörünge yerine 500 kilometrelik yörüngeye oturtulmuştur (16). OMI, NASA'nın Yeryüzü Gözlem Sistemi Aura Uydusu güvertesinde ve UV/Görünür CCD Spektrometre ile birlikte NADIR görüntüleme sistemidir. Aura, 15 Temmuz 2004 tarihinde uzaya fırlatılmış ve 9 Ağustos 2004 yılından bu yana veri toplamaktadır (17). Son zamanlardaki, TOMS ve OMI verileri, görüntüleme koşulları ile ilişkili hataları gidermek amacıyla NASA'nın Goddard Ozon İşlem Ekibi tarafından geliştirilen Sürüm 8 algoritması ile işlem yapılmaktadır (14).

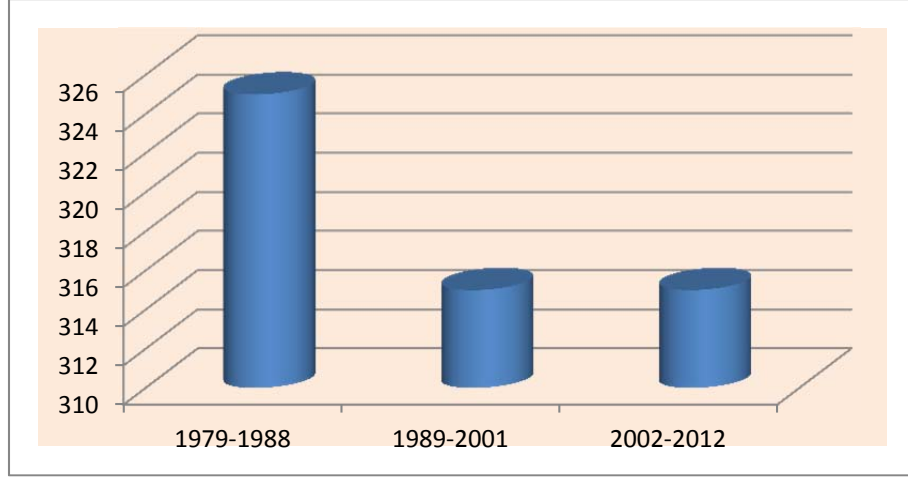
Bu çalışmada kullanılan TOMS - OMI uydu ozon verileri, küresel veri seti içerisinde 1979-2012 (34 yıl) periyodu için ve 34°-42° K enlem ve 25°- 45°D boylamları aralığındaki Türkiye'yi içeren koordinatlara ait 2788 adet veri içermektedir. Bu veriler 1°x1.25° çözünürlüğünde ve 82 adet grid'den oluşmaktadır. Aylık değerlendirmeler için 82x12=984 adet, mevsimlik karşılaştırmalar için de 82x4= 328 adet veri kullanılmıştır.

Uydulardan alınan verinin haritalanması için CBS Uygulama Programı ArcGIS 9.3'ün Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (IDW) yöntemi kullanılmıştır. IDW, örneklem nokta verilerinden enterpolasyonla grid üretmede çoğunlukla tercih edilen ortak bir yöntemdir (9). Ağırlıklı hareketli, ortalama enterpolasyon için yaygın kullanılan bir yaklaşımdır. Farklı ağırlıklı fonksiyonların çeşitleri kullanılmış fakat IDW, CBS sistemlerindeki en ortak form olmuştur. IDW tam bir ara değer üreticisidir (enterpolatördür) ve verilerin değerlerini pekiştirir (9,10).



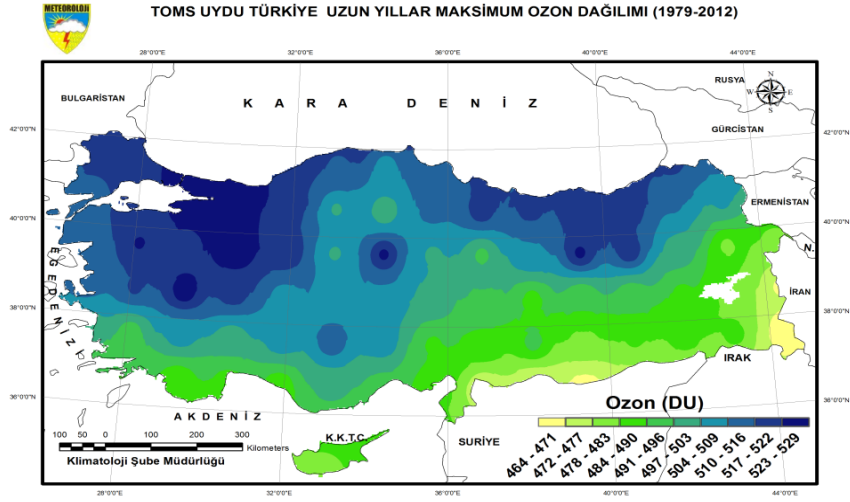
Şekil 4. Türkiye Uzun Yıllar Ortalama Ozon Grafiği (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2012)

Şekil 4’de 1979-2012 yılları arasında TOMS-OMI uydu verilerine göre Türkiye Toplam Ozon ortalamalarının, zaman serisi grafiği, bir düşüş eğilimi göstermektedir. Bu düşüş eğiliminin yaklaşık yıllık 0,4DU olduğu ama Regresyon Katsayısı (R^2) =0,2783 değerine göre istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir. Grafikte 1991 ve 1982 yılları toplam sütun ozonu ortalaması en yüksek (333 DU) olduğu ve en düşük ortalamasının ise 1993 (299 DU) yılı olduğu görülmektedir. 1994 yılında sonlanan Nimbus-7 uydusu yerine konulan Earth Probe uydusunun, kalibrasyon sorunları nedeniyle veri ölçümüne başlayana kadar 1995 yılı verisi alınamamış ve 1996 yılı da eksikler verilerden dolayı değerlendirmeye eklenememiştir. Veri serisinde, özellikle, dikkat çeken bölüm 1991 Pinatubo Yanardağı patlamasını takip eden yıllar olmuştur. Kuzey yarım küre orta enlemlerde 1992–1996 yılları arasında sütun ozonu ve aşağı stratosfer ozonu Pinatubo Yanardağı patlamasından etkilenmiştir (6). Şekil 4’de özellikle en sert düşüşün yaşandığı yıl olarak 1993 yılı görülmektedir.



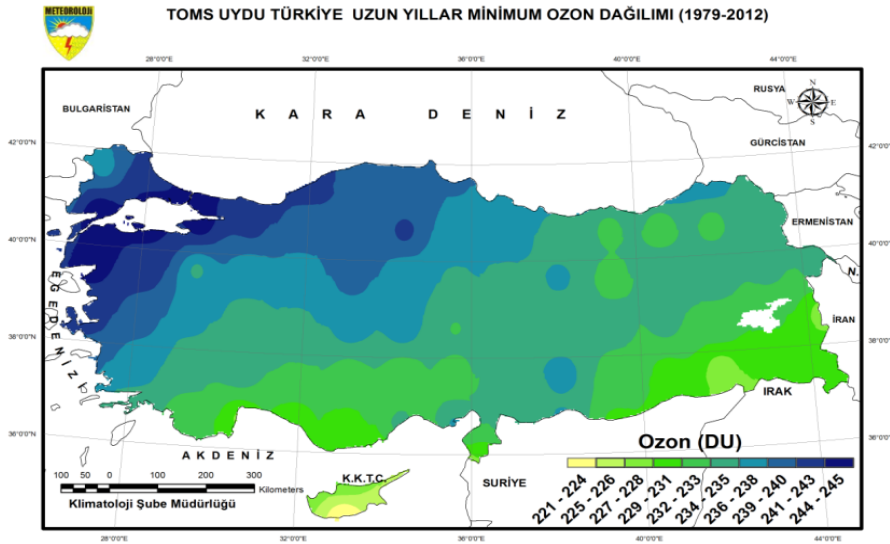
Şekil 5. Farklı dönemler için Türkiye Uzun Yıllar Ortalama Ozon Değerleri Karşılaştırma Grafiği (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2012)

Şekil 5’de 34 yıllık periyod yaklaşık üç eşit parçaya bölünüp karşılaştırma yapıldığında 1979-1988 yıllarını kapsayan ilk 10 yılda ortalama 325 DU iken, son iki 11 yıllık periyod (2. Periyotta 1995-1996 yılları eksiktir) 315 DU ile birbirine eşit çıkmıştır. Ozon Azalmasının Bilimsel 2010 değerlendirmesine göre; ozon tabakasının kendisini onarması için tarihi hedef 1980 değerleri olarak belirlenmiştir (7). Kuzey yarımküre orta enlemlerde yıllık ortalama toplam ozonun, 2015 ve 2030 yılları arasında, 1980 değerlerine döneceği tahmin edilmektedir. Bu Güney yarımküre orta enlemlerinde ise 2030-2040 döneminde olması beklenmektedir. Bu değerlendirmelerle birlikte yukardaki üç periyoda bölünen grafikte 1990 sonrası ozon incelmesinin Türkiye üzerinde durduğu ve Küresel Ozon Değerlendirmesinin kuzey yarımküre orta enlemlerin 2015 yılından başlayarak ozon değerlerinin 1980 öncesine döneceği tezini desteklemektedir. Pinatubo Yanardağı patlamasından sonra sert bir azalma dönemine giren toplam ozon kalınlığı incelmesinin, doğal etkilerden kurtulmaya başladığını ve insan kaynaklı ozon incelten maddelere karşı alınan önlemlerin başarılı olduğu göstermektedir.



Şekil 6. Türkiye Uzun Yıllar Maksimum Ortalama Ozon Dağılımı (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2012)

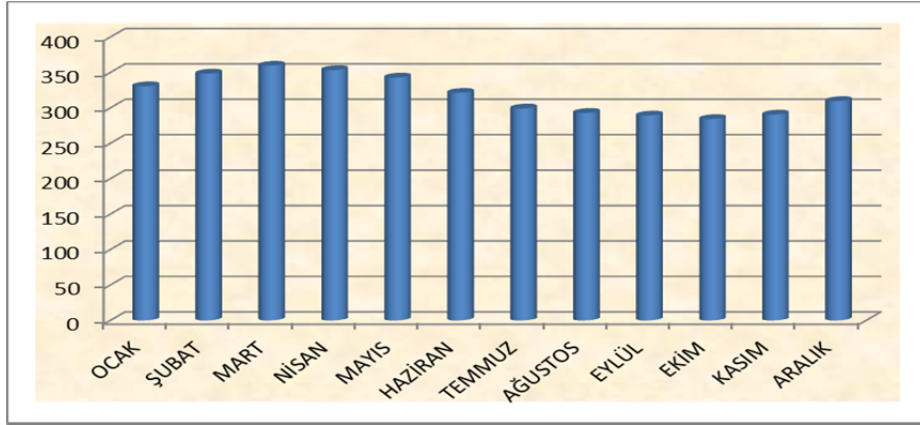
Şekil 6’de Türkiye’nin uydu verilerinden elde edilen maksimum ozon dağılımı gösterilmiştir. Bu gösterimde yine Türkiye’nin kuzey ve kuzeybatı bölümleri maksimum dağılım içerisinde de en yüksek değerleri, güney ve güneydoğu bölümleri ise en düşük değerleri göstermektedir. Ölçülen en yüksek ozon değeri 529 DU, en düşük maksimum değer 464 DU olarak görülmekte ve aralarındaki fark ise 65 DU’dur.



Şekil 7. Türkiye Uzun Yıllar Minimum Ortalama Ozon Dağılımı (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2012)

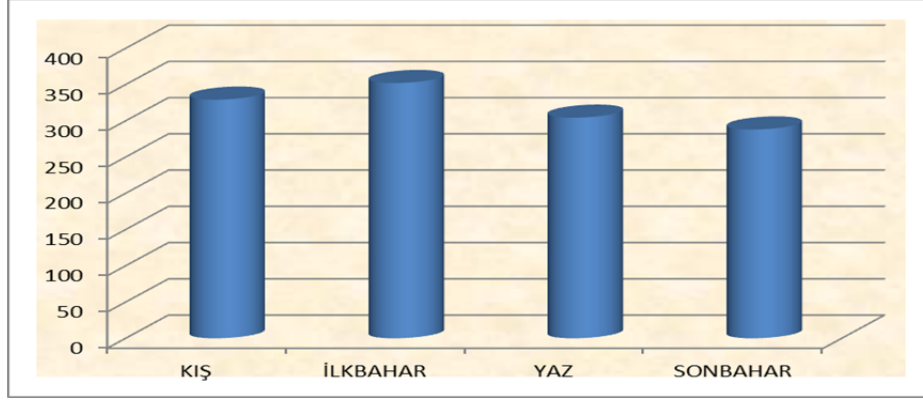
Şekil 7’de Türkiye’nin kuzey batı bölümleri, minimum değerlerin en yüksek ozon değerlerini, güney ve güneydoğu bölümleri ise en düşük değerleri göstermektedir. Minimum toplam sütun ozonu değerlerinin en düşük değeri 221 DU ve en yüksek değeri ise 245 DU olarak görülmekte ve aralarındaki fark ise oldukça düşüktür (17 DU).

4. TOMS VE OMI UYDU VERİLERİNE GÖRE TÜRKİYE MEVSİMLİK OZON DEĞERLENDİRMESİ (1979-2012)



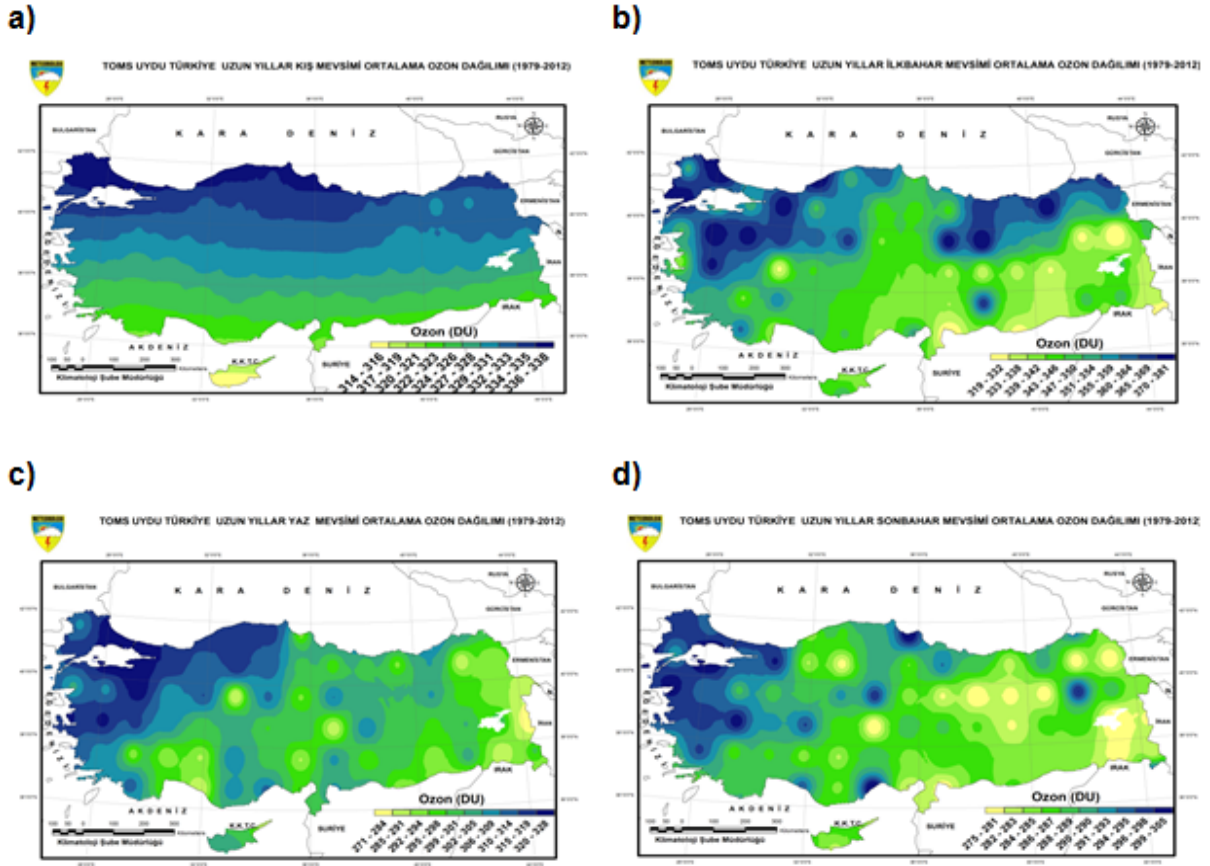
Şekil 8. Türkiye Uzun Yıllar Aylık Ortalama Ozon Grafiği (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2012)

Şekil 8’de aylık ortalama toplam ozon değerleri görülmekte ve bu değerler, Türkiye’nin bulunduğu enlemlerin ozon tabakası değerlerine uyumlu gözükmektedir. En yüksek ortalama toplam ozon değeri 359 DU ile Mart ayında ve en düşük değeri ise 284 DU Ekim ayında görülmektedir. En düşük ay ile en yüksek ay değerleri arasında 75 DU fark vardır.



Şekil 9. Türkiye Uzun Yıllar Mevsimsel Ortalama Ozon Grafiği (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2012)

Toplam ozon değerlerinin kuzey yarım küre orta enlemlerdeki eğilimleri; genelde mevsimsel olarak kış sonu ilkbahar başında en yüksek seviyesine ve yaz sonu sonbahar başında ise en düşük seviyesine ulaştığını göstermektedir. Şekil 9'daki mevsimsel değerler de bu durumla uyumludur. Buna göre Türkiye için en yüksek değeri 352DU ile ilkbahar mevsiminde, en düşük ise 288DU ile sonbahar mevsiminde görülmektedir ve bu iki mevsim arasındaki fark 64DU olmuştur. En yüksek ikinci değer 329DU ile kış mevsiminde ve en düşük ikinci 304DU ile yaz mevsiminde gerçekleşmiştir.



Şekil 10. Türkiye Uzun Yıllar Mevsimsel Ortalama Ozon Dağılımları; a) Kış, b) İlkbahar, c) Yaz ve d) Sonbahar (TOMS ve OMI Uydu, 1979-2012)

Şekil 10'a göre Türkiye uzun yıllar mevsimsel ortalama ozon dağılımları;

- a) Kış mevsimi ozon dağılımı haritası, uzun yıllar ortalama ozon haritası gibi enlemlerle uyumlu bir dağılım göstermiştir. Buna göre; Türkiye'nin güney enlemlerinde düşük ozon, kuzey enlemlerde ise daha yüksek ozon değerleri görülmektedir. Kış ayları için güney enlemler ortalama değer 314 DU, kuzey enlemler 338 DU olarak tespit edilmiştir. Kuzey ve güney enlem farklarınının 24 DU ile fazla olmadığı söylenebilir.
- b) En yüksek değerlerin görüldüğü ilkbahar aylarında ise Türkiye ortalama toplam ozon dağılımı daha heterojen görünmekte, kuzey batı ve kuzey doğu bölümleri en yüksek ozon değerleri göstermektedir. Türkiye'nin doğusu, güney doğusu ve Hatay, Kilis illeri civarı en düşük değerlerin görüldüğü yerlerdir. En düşük değerler 319 DU ve en yüksek değerler ise 381 DU civarındadır. En düşük ve en yüksek değer arasındaki fark 62 DU ile kış aylarına göre oldukça açılmıştır.

- c) Yaz aylarında bölgesel farklılıklar göze çarpmaktadır. Yaz mevsiminde Türkiye'nin doğu bölümünde oldukça düşük ozon değerleri görülürken, kuzey batı ve batı bölümlerde yaz mevsimi içerisinde en yüksek ozon (328 DU) değerlerinin görülmektedir. En düşük değerlere ise Türkiye'nin en doğusu sahiptir (271 DU).
- d) Ozonca en düşük ayların yaşandığı sonbahar ayları kuzey batı ve Ege'nin kuzeyi sonbahar ayları içerisinde en yüksek ozon (305 DU) değerleri görülen bölgemiz olmuştur. Yine en düşük ozon (275 DU) değeri ise doğu bölgelerimizin iç bölümlerinde ve yine doğu bölgemizin güneyinde görülmüştür.

5. SONUÇLAR

- 34 yıllık 1979-2012 Türkiye ortalama ozon sütun değeri 318 DU olarak bulunmuştur. En düşük yıllık ozon ortalama değeri 299 DU ile 1993 yılında ölçülmüştür. En yüksek yıllık ozon ortalama değeri ise 333 DU ile 1982 ve 1991 yıllarında tespit edilmiştir. Türkiye'nin güney enlemlerinde toplam ozon ortalaması 306 DU, kuzey enlemlerinde ise toplam ozon ortalaması 331 DU civarındadır. En kuzey ve en güney ortalama toplam ozon değeri farkı Türkiye için 25 DU'dır.
- 1979-2012 yılları 34 yıllık ve 82 grid noktasının ortalaması ile alınan yıllık dağılım grafiği bize bir düşüş eğilimi göstermektedir. Bu düşüş eğilimi $y = -0,3992x + 325,24$ formülü ile gösterilmiştir. Regresyon Katsayısı (R^2) =0,2783 değeri istatistiksel olarak bu düşüşün anlamlı olmadığını göstermektedir.
- Türkiye'nin Kuzey ve Kuzey Batı bölümleri maksimum dağılım içerisinde en yüksek değerleri göstermektedir. Bunun yanında, Türkiye'nin güney doğu bölümleri maksimum ozon değerlerinin en düşük görüldüğü bölge olmuştur.
- Türkiye'nin kuzey, kuzey batı bölümleri, minimum değerlerin en yüksek ozon değerlerini gösterirken, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin doğusu ve Akdeniz Bölgesi minimum değerlerin en düşük ozon değerlerini barındırmaktadır.
- Mevsimlik değerlendirmeye göre; Türkiye'nin en yüksek ozon mevsimi olan ilkbahar mevsimi ortalama toplam ozon değeri 352 DU, en düşük ozon mevsimi olan sonbahar için 288 DU, en yüksek ikinci mevsim olan kış değeri 329 DU ve en düşük ikinci mevsim yaz değeri 304 DU olmuştur. En düşük ortalama değere sahip mevsim

sonbahar ile en yüksek ortalama sahip mevsim ilkbahar arasındaki ortalama ozon farkı 64 DU olmuştur.

- 1979-2012 periyodu için aylık ortalama toplam ozon değerlerinin dağılımı, Türkiye'nin bulunduğu enlemlerin ozon tabakası dağılımına uygun bir dağılım ortaya koymuştur. Bu dağılıma göre; en yüksek ortalama toplam ozon değeri Mart (359 DU) ayında, takiben Nisan (353 DU) ve Şubat (348 DU) aylarında görülmüştür. Ekim (284 DU), Eylül (289 DU) ve Kasım (291 DU) ayları en düşük ozon değerlerine ulaşılan aylar olmuştur. Aralık (310 DU) ayı yeniden yükseliş eğiliminin başladığı ay olarak dikkat çekmektedir. En düşük ay ile en yüksek ay değerleri arasında 75 DU fark vardır.
- 1979-2012 periyodunda eksik yıllar olan 1995 ve 1996 yılları ortalamaları dahil edilmeden ve yaklaşık 3 eşit parçaya bölünerek yapılan grafik değerlendirmede ise ilk 10 yıllık (179-1988) periyotta 325 DU olan toplam sütun ozonu ortalaması, ikinci (1989-2001) ve üçüncü (2002-2012) periyotlarda 315 DU olarak eşit çıkmıştır. Bu durum, uluslararası kaynaklarda kuzey yarımküre orta enlemlerde ozon tabakasının kendisini yakın zamanda onarmaya başlayacağı tezini desteklemektedir.

KAYNAKLAR

1. Prepared by Herman G.J. Smit and the Panel for the Assessment of Standard Operating Procedures for Ozonesondes (ASOPOS), September 2011, GAW Report No. 201, Quality Assurance and Quality Control for Ozone Sonde Measurements in GAW, page preface.
2. Kahya, C., Aksoy, B., Demirhan, D., Topcu, S., Incecik, S., Acar, Y., Ekici, M., Ozunlu, M., "Ozone variability over Ankara, Turkey" Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 06756, 2007 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-06756.
3. Chandra ve ark., 1996, Hood ve McCormick, 1997, Chandra S and R.D McPeters, 1994, "The solar cycle variations of ozone in the stratosphere inferred from Nimbus 7 and NOAA 11" Journal Geophysical Research, 99, 20665-20671.
4. A. J. Krueger, B. Guenther, A. J. Fleig, D. F. Heath, E. Hilsenrath, R. McPeters and C. Prabhakara, "Satellite Ozone Measurements" Laboratory for atmospheric sciences, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771 USA 191-204 1980, 191p.
5. James, P.M., "A Climatology Of Ozone Mini-Holes Over The Northern Hemisphere" *Meteorologisches Institut der Universitat Munchen, Theresienstr. 37, D-80333 Munchen, Germany*, International Journal Of Climatology *Int. J. Climatol.* **18**: 1287–1303 (1998).
6. A. Douglass, V. Fioletov ve ark. (2010), World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 52, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010 "Stratospheric Ozone and Surface, Ultraviolet Radiation" Chapter 2.1 p. ve 2.2 p.
7. A. Douglass, V. Fioletov ve ark. (2010), World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 52, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010 "Stratospheric Ozone and Surface, Ultraviolet Radiation" Chapter 3.1 p. Ve 3.2 p.
8. Acar, Y. ve ark., (2004), "Atmosfer ve Ozon", Teknik Rapor, DMİ Genel Müdürlüğü Yayınları, 2004.
9. Demircan, M., Alan, İ., ve Şensoy, S., "Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Sıcaklık Haritalarının Çözünürlüğünün Artırılması", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.
10. C.D.Loyd, (2007) "Local Models for Spatial Analysis", CRC Pres, Boca Raton FL, 98 p.
11. http://daac.gsfc.nasa.gov/upperatm/image_index.html
12. <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/>
13. http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/images/FULLDAY_GLOB.PNG
14. <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/n7sat.md>
15. <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/m3sat.md>
16. <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/epsat.md>
17. http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/qa/faq_omi.md#g_1

TÜRKİYE ÜZERİNE GELEN HAVA KÜTLELERİNİN ANKARA’NIN TOPLAM OZON KALINLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

Yılmaz AÇAR, Serpil YAĞAN, Mithat EKİCİ, Salim ERSOY,

Alper AKÇAKAYA, Osman ESKİOĞLU

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Daire Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara
yacar@mgm.gov.tr, syagan@mgm.gov.tr, mekici@mgm.gov.tr, sersoy@mgm.gov.tr, aakcakaya@mgm.gov.tr,
oeskioglu@mgm.gov.tr

ÖZET

Hava kütleleri oluşum alanlarına göre sınıflandırılır ve farklı coğrafik özelliklere sahip bölgelere atmosferdeki hava hareketleriyle taşınırlar. Türkiye, coğrafik konumu itibariyle kutupsal ve tropikal hava kütlelerinin etkisi altındadır. Ülkemizin hava ve iklim şartları üzerinde de bu hava kütleleri önemli rol oynamaktadır. Ozon, atmosferde troposfer ve stratosfer tabakaları içerisinde değişen oranlarda bulunmaktadır. Troposfer ve stratosferdeki ozon moleküllerinin toplam miktarı ise toplam ozon kalınlığı olarak isimlendirilmektedir. Bu çalışmada, Ankara’da 2007 yılında ölçülen Brewer Spektrofotometresi günlük toplam ozon verileri ile Türkiye’ye değişik yönlerden gelerek etkileyen ve farklı ozon yoğunluğuna sahip hava kütleleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Türkiye’yi 2007 yılı boyunca 86 adet hava kütlesi etkilemiştir. Bu hava kütlelerinden 53 adedi kış-ilkbahar periyodunda, 33 adedi de yaz-sonbahar periyodunda ülkemiz üzerinde etkisini hissettirmiştir. Kutupsal kökenli hava kütleleri Ankara’nın toplam ozon kalınlığı üzerinde yükseltici, tropikal kökenli hava kütleleri ise düşürücü etki göstermişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Hava Kütlesi, Brewer Spektrofotometresi, Toplam Ozon Kalınlığı

THE EFFECT OF AIR MASSES ON THICKNESS OF TOTAL OZONE IN ANKARA ARRIVED ON TURKEY

Yılmaz AÇAR, Serpil YAĞAN, Mithat EKİCİ, Salim ERSOY,

Alper AKÇAKAYA, Osman ESKİOĞLU

Turkish State Meteorological Service, Ankara, Turkey,

yacar@mgm.gov.tr, syagan@mgm.gov.tr, mekici@mgm.gov.tr, sersoy@mgm.gov.tr, aakcakaya@mgm.gov.tr,
oeskioglu@mgm.gov.tr

ABSTRACT

Air masses are classified according to places where they are originated and are carried to regions with different features through atmospheric air movements. Because of its geographical position, Turkey is affected by polar and tropical air masses and definitely effect the weather and climate state of Turkey. Ozone exists in the troposphere and stratosphere with varying concentrations. The total amount of ozone molecules in troposphere and stratosphere is called as the “total thickness of ozone”. In this study, the relationship between daily total ozone data obtained from Brewer Spectrophotometer in Ankara in 2007 and air masses affecting Turkey coming from separate directions with varying ozone concentration is examined. Total number of 86 air masses affected Turkey throughout 2007 where 53 of them took place in winter-spring and 33 of them in summer-autumn. Findings indicated that tropical air masses are observed with the lower ozone concentration while polar air masses with higher concentrations.

Key Words: *Air Mass, Brewer Spectrophotometer, Total Column Ozone*

1. GİRİŞ

Atmosferde sıcaklık ve nemlilik bakımından homojen özelliklere sahip olan ve yatay yönde büyük alanları etkileyen geniş hava parçalarına hava kütleleri denir. Bir hava kütlesi birkaç milyon kilometre karelik alanı örtebilmekte ve dikey olarak da troposfere kadar uzanabilmektedir (1). Hava kütleleri buldukları alanlar üzerine kendilerine özgü belirgin özellikleri getirmekte ve etkilemektedirler. Bu nedenle hava kütlelerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Analiz yapılırken hava kütlelerinin kökeni, kararlılık ve kararsızlık durumları, üzerinde bulunduğu alanın coğrafik yapısı, hareket yönü ve bunun sonucunda uğradıkları değişimlerin bilinmesi oldukça önemlidir (2).

2. HAVA KÜTLELERİNİN OLUŞUMU VE UĞRADIKLARI DEĞİŞİKLİKLER

Hava kütlelerinin oluşumu için sıcaklık bakımından homojen bir yapıya sahip geniş kara ve deniz yüzeyleri ile bu yüzeylerin fiziksel özelliklerini alabilecek kadar yeterli süre bu alanlar üzerinde kalması gereklidir. Bu nedenle dünya üzerinde ancak belirli alanlar kaynak bölgesi (source regions) olmaya uygundur. Ana kaynak bölgeleri olarak, tropikal hava kütlelerinin oluştuğu subtropiklerdeki yüksek basınç kuşağı ile polar hava kütlelerinin oluştuğu kutuplar civarı bilinmektedir (2).

Tablo 1. Sıcaklık bakımından hava kütlelerinin kaynak sahaları.

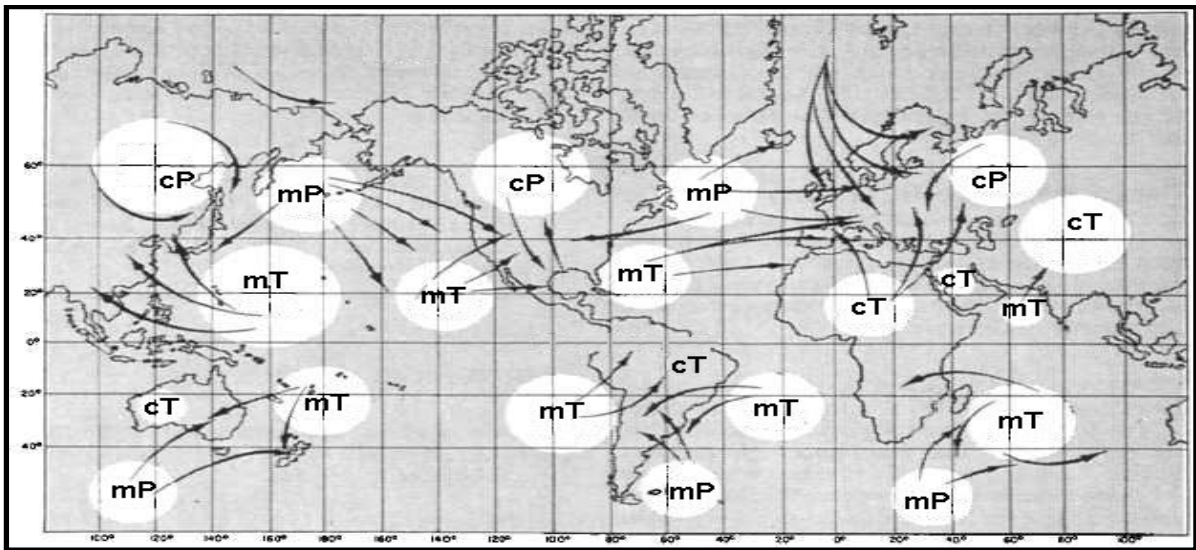
| Sıcak Bölgeler (Tropikal Hava Kütleleri) | Soğuk Bölgeler (Kutupsal Hava Kütleleri) |
|--|--|
| 1. Sahra Çölü (Sıcak ve kuru) | 1. Kuzey Buz Denizi (Soğuk ve nemli) |
| 2. Tropikal Okyanuslar (Sıcak ve nemli) | 2. Sibiryaya (Soğuk ve kuru) |
| | 3. Kuzey Kanada (Soğuk ve kuru) |
| | 4. Güney Okyanus (Soğuk ve nemli) |
| | 5. Antarktika (Soğuk ve kuru) |

Hava kütleleri kaynak bölgelerinden hareket ettikten sonra çeşitli değişimlere uğrarlar. Bu değişiklikler; alttan ısınma, alttan soğuma, buharlaşma ile nem kazanma, yoğuşma ve yağış sonucu nem azalması şeklindeki termodinamik değişiklikler ile türbülansla karışma, alçalma ve yükselme şeklindeki dinamik değişiklikler olarak ifade edilebilir.

3. HAVA KÜTLESİ ÇEŞİTLERİ

Yeryüzünün herhangi bir bölgesindeki hava kütesini sınıflandırırken; kaynak bölgesinin özellikleri, kaynak bölgesini terk ettikten sonra geçirdiği değişiklikler, yüksek atmosferde çeşitli seviyelerdeki yatay özellikler ile sıcaklık, nem ve rüzgârın düşey dağılımı gibi özelliklere dikkat edilmektedir.

Hava kütleleri kaynak bölgelerindeki sıcaklık durumları ve oluştuğu yer dikkate alınarak incelendiğinde, Tropikal (T) ve Kutupsal-Polar (P) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kutupsal hava kütleleri tam kutuplar üzerinde oluşmuşsa Arktik ya da Antarktik (A) hava kütleleri olarak da isimlendirilmektedir. Nem durumu dikkate alındığında ise, hava kütesinin oluşum alanı nemli deniz yüzeyi ise bu hava kütesine denizel (maritime-m), nemi az, kuru kara yüzeyi ise karasal (continental-c) hava kütesi denilmektedir (Şekil 1).



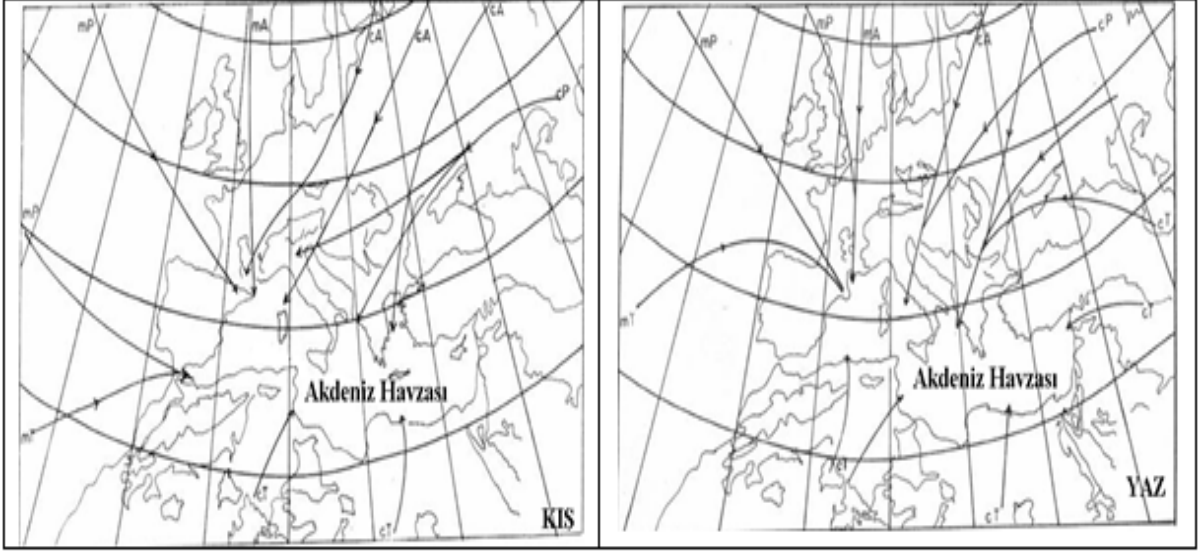
Şekil 1. Hava kütlelerinin kaynak sahaları ve etkiledikleri alanlar

4. TÜRKİYE'Yİ ETKİLEYEN HAVA KÜTLELERİ

Türkiye kuzey yarım kürede, Ekvator ile Kuzey Kutbunda ve 36-42 derece enlemleri ve 26-45 doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yurdumuzu genellikle kışın kutupsal-polar (cP ve mP), yazın ise tropikal (mT) oluşumlu hava kütleleri etkilemektedir. Ülkemizi aynı zamanda, Akdeniz'e kendi kaynak sahasının özellikleriyle yönelen ve buradan geçerken veya yerleştikten sonra termik ve dinamik değişikliklere uğrayan hava kütleleri etkilemektedir. Bu hava kütlelerini sıcaklık, nem, lapse rate değişimi, kararlılık, hâlihazır hava durumu ve görüş mesafesine göre Tablo 2'deki gibi sınıflandırabiliriz (3).

Tablo 2. Türkiye'yi etkileyen hava kütleleri ve karakteristik özellikleri

| Türkiye'yi Etkileyen Hava Kütleleri | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Karakteristik Özellikler | Karasal Polar (cP) | | Denizsel Polar (mP) | Karasal Tropikal (cT) | |
| | Kış | Yaz | | Kış | Yaz |
| Kaynak Bölgesi | Kuzey Rusya | Kuzey Rusya | Kuzey Amerika | Kuzey Afrika, Büyük Sahra | Kuzey Afrika, Anadolu |
| Sıcaklık | Çok soğuk | Soğuk | Oldukça Soğuk | Normal | Sıcak veya Aşırı sıcak |
| Nem | Kuru | Alt seviyeleri nemli | Nemli | Oldukça nemli | Nispeten kuru |
| Lapse Rate Değişimi | Hafif değişim | Alttan ısınma | Alttan ısınma | Alttan soğuma | Hafif değişim |
| Kararlılık | Kararlı | Kararsız | Kararsız | Kararlı | Kararsız |
| Hâlihazır Hava | Açık | Yağmur veya Kar sağanağı | Sağanak | Çok yağışlı | Açık, Nadiren sağanak yağışlı |
| Görüş Mesafesi | Orta | İyi | İyi | Orta | Orta |

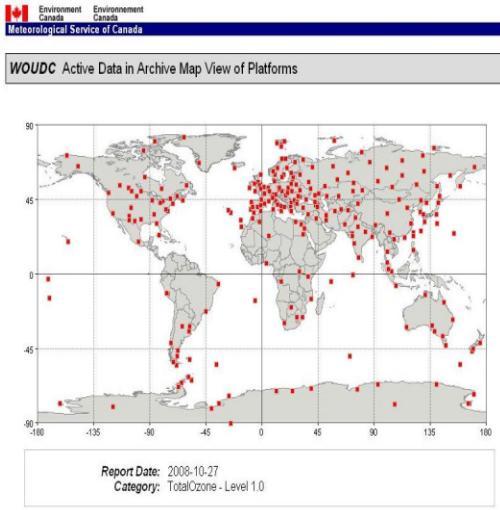


Şekil 2. Kış ve yaz mevsiminde Türkiye'yi etkileyen hava kütleleri (16)

5. VERİ VE METOD

Bu çalışmada, kuzey yarımkürede orta enlemlerde yer alan Ankara istasyonunun (39.95°N, 32.88°E) 2007 yılı Brewer Spektrofotometresi günlük toplam ozon (Dobson Unit-DU) verileri kullanılmıştır.

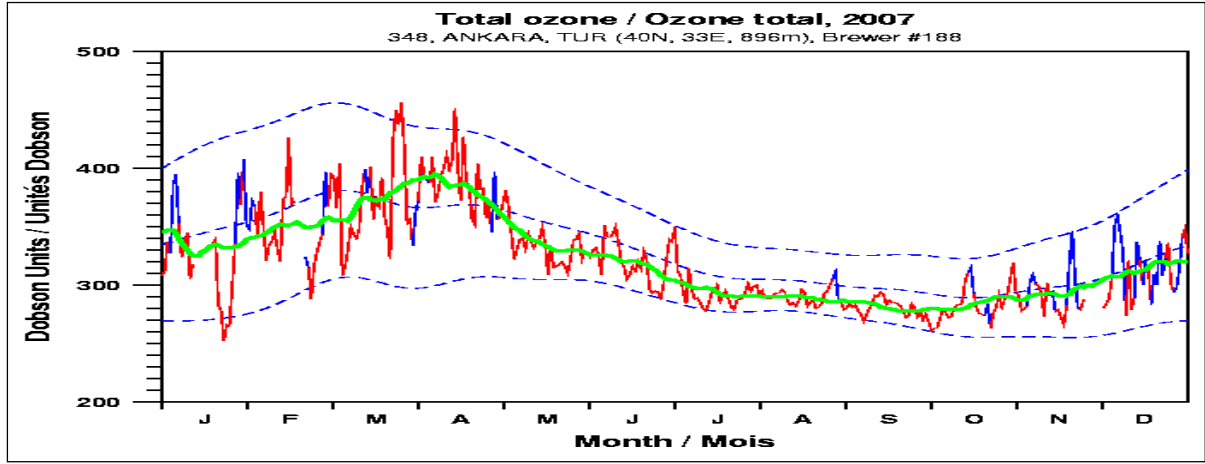
5.1 Brewer Spektrofotometresi



Şekil 3. WOUDC ozon gözlem ağı ve Ankara'da kurulu Brewer Spektrofotometresi (188)

Brewer Spektrofotometresi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) - İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ortak TÜBİTAK projesi kapsamında, MGM tarafından 2006 yılı Kasım ayında Ankara'ya kurulmuş ve halen günlük ozon ölçümüne devam etmektedir (4). Ankara istasyonu, 348 istasyon numarası ile Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO), Küresel Atmosfer İzleme Programı (GAW) gözlem ağı içerisinde yer almaktadır. Ozon ölçüm verileri ise merkezi Kanada'da bulunan Dünya Ozon ve Ultraviyole Radyasyon Veri Merkezi (World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre-WOUDC) tarafından 348 istasyon numarası (STN 348) ile yayınlanmaktadır. 2007 yılı ozon değişimi Şekil 4'te verilmiştir (5,6). Şekilde kırmızı çizgi direkt güneş ölçümlerini, mavi diğer ölçümleri, ortadaki kesik mavi çizgi normal

ozonu, alt ve üsttekiler ise standart sapmaları temsil etmekte, kalın yeşil çizgi ise ölçülen ozona ait 31 günlük hareketli ortalamayı ifade etmektedir.

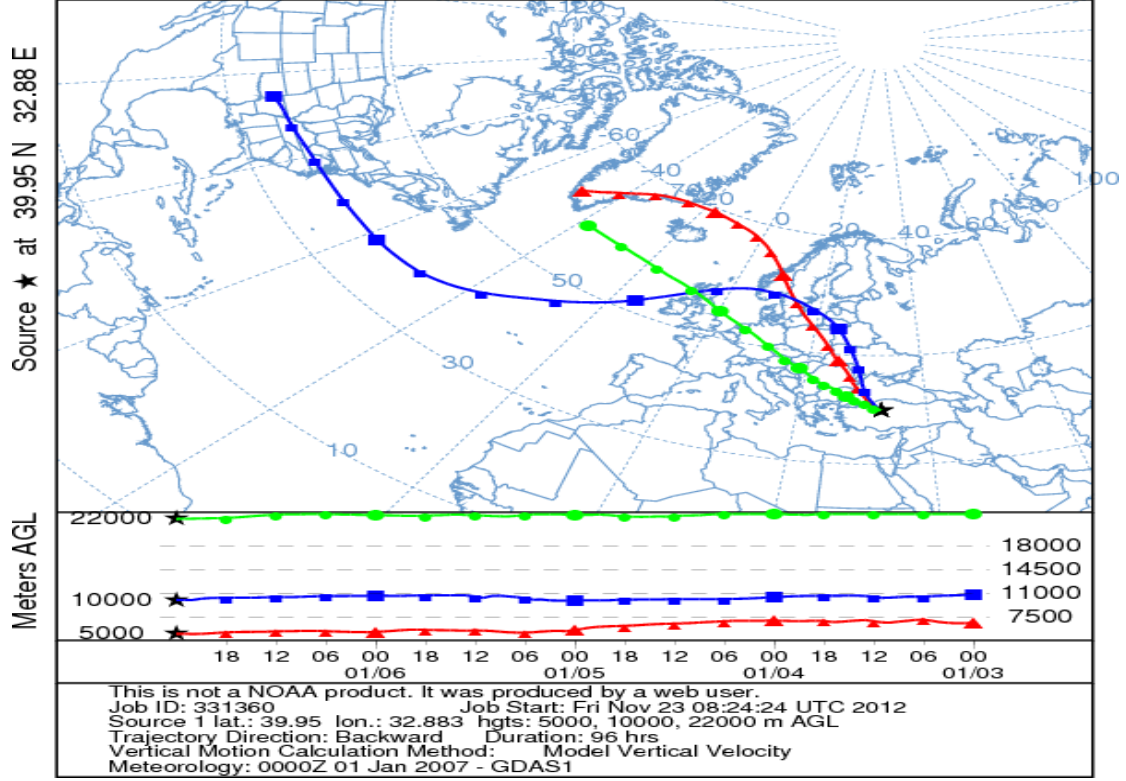


Şekil 4. WOUDC, Brewer (188) Spektrofotometresi 2007 yılı toplam ozon grafiği

5.2 Hysplit Geri Yörünge Tayini

Örnekleme yapılan tüm günler için hava kütlelerinin nereden ve hangi yollarla geldiğini belirlemek amacıyla, geri yörüngelerin tayininde sıklıkla kullanılan NOAA Hysplit Backward Trajectory (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Modeli, READY web kullanıcı ara yüzü kullanılmıştır (7). HYSPLIT modelinde eski yörüngeler dörder günlük (96 saat) ve 6 saatlik aralıklarla hesaplatılmış ve Ankara üzerine geliş yönlerine bakılmıştır. Ozonun atmosferdeki dikey dağılımı göz önünde bulundurularak, her bir örnekleme için troposferde 5000 m (yaklaşık 500 hPa) ve 10000 m (yaklaşık 300 hPa), stratosferde ise orta enlemlerde ozonun en yoğun bulunduğu 22000 m (yaklaşık 40 hPa) yüksekliği seçilmiş ve geri yörüngeler hesaplatılarak harita üzerinde çizdirilmiştir. Haritalar üzerinde dünya koordinat sistemine göre x ve y eksenleri baz alınarak eski yörüngeler çizilirken, haritanın alt kısmındaki grafikte ise hava parsellerinin düşey konumları belirtilmiştir. Bu metotla hava parsellerinin üç boyutlu eski yörüngelerinin grafik olarak ifade edilmesi sağlanmıştır (Şekil 5).

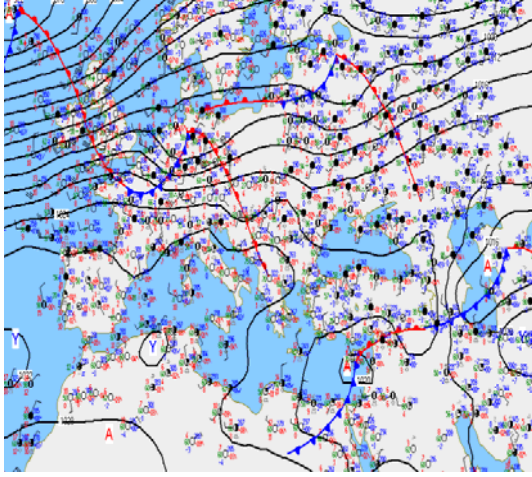
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 07 Jan 07
GDAS Meteorological Data



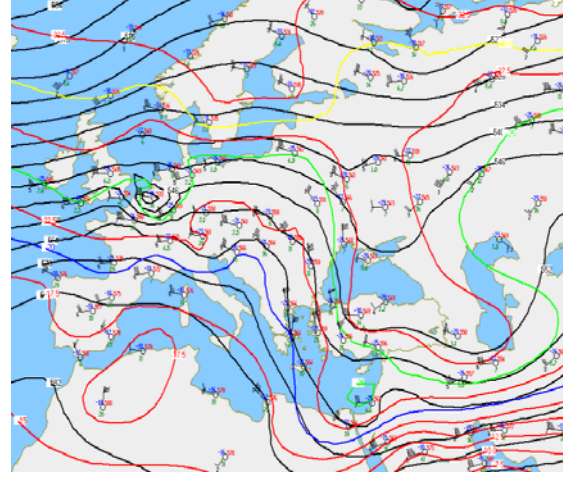
Şekil 5. 07.01.2007 tarihli hava örneğine ait HYSPLIT model eski yörünge sonuçları

5.3 MGM Sinoptik Haritalar

Örnekleme yapılan günler için hava kütlelerinin karakteristik özelliklerini detaylı belirleyebilmek amacıyla, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Tahminler Dairesi Başkanlığınca üretilen günlük sinoptik haritalar kullanılmıştır. Bu haritalardan yer seviyesindeki siklon ve antisislon gibi özellikleri belirlemek için yer kartı ve 5000 m seviyesindeki geopotansiyel yükseklik, sıcaklık, adveksiyon ve rüzgâr yönü bilgilerini belirlemek için de 500 hPa haritası kullanılmıştır (Şekil 6).



Yer Kartı 07.01.2007



500 hPa Haritası 07.01.2007

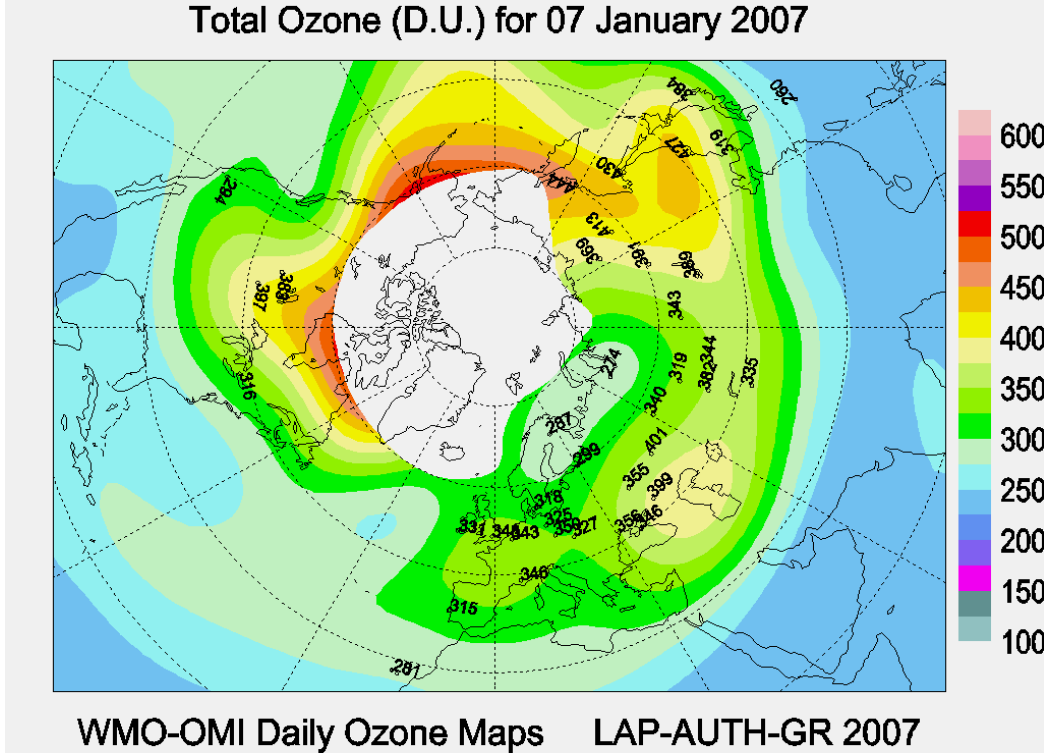
Şekil 6. 07.01.2007 tarihli yer kartı ve 500 hPa haritası

5.4 Ozon Haritaları

Ankara üzerinde yüksek ve düşük ozon değerlerinin görüldüğü örnekleme günlerinde, Türkiye üzerine gelen ve toplam ozon miktarı üzerinde etkili olan hava kütlelerinin kaynak bölgeleri, geliş istikametleri ve sahip olduğu ozon miktarlarını belirleyebilmek için kuzey yarımküreye ait toplam ozon haritaları kullanılmıştır.

Toplam Ozon Haritaları, Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) Ozon Harita Merkezi tarafından, gerçek zamana yakın yer tabanlı ölçümler esas alınarak günlük ve otomatik olarak elde edilmektedir. Haritadaki toplam ozon miktarı Dobson Birimi (Dobson Unit-DU) cinsinden verilmektedir. Haritalar, uydular üzerine yerleştirilmiş TOMS (2005'e kadar), OMI ve SCIMACY sensörleri kullanılarak ölçülen toplam ozon verilerinden oluşmaktadır (8).

Ozon haritaları kullanılarak, Ankara üzerinde etkili olan hava kütlelerinin kaynak bölgesi, geliş istikameti ve toplam ozon miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 7. 07.01.2007 tarihli WMO-OMI toplam ozon haritası

5.5 Toplam Ozon ve Atmosferdeki Dağılımı

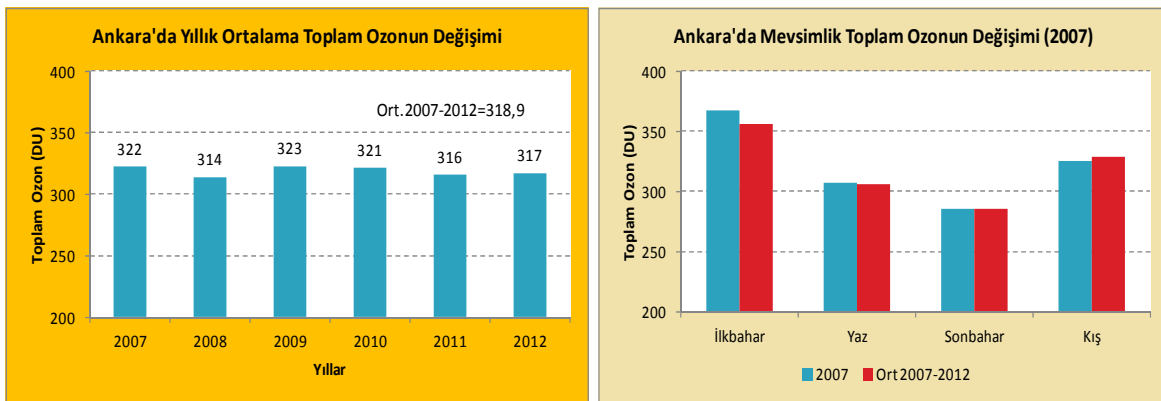
Toplam Ozon, atmosferde yerden itibaren atmosferin üst sınırına kadar dikey olarak dağılmış halde bulunan ozon moleküllerinin toplam miktarıdır. Özellikle troposfer ve stratosferdeki ozon moleküllerinin miktarı toplam ozon kalınlığı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (13). Ozon dağılımı genel olarak tropiklerden kutup bölgelerine doğru olan büyük ölçekli taşınım ile kontrol edilmektedir. Tropikal aşağı stratosferik hava yukarı doğru hareket ederek, toplam ozonu stratosferik polar bölgelere taşımaktadır (9). Toplam ozon miktarı, ekvator kuşağı üzerinde 240 DU ile en düşük ortalamaya sahip olup, ekvatorдан kutuplara doğru gidildikçe 400 DU'e kadar artış göstermektedir. Toplam ozonun Dünya ortalaması 300 Dobson Birimi (Dobson Unit) civarında olup, coğrafik olarak 230 ile 500 Dobson Birimi arasında değişmektedir (10, 11).

5.5.1 Toplam Ozonun Kuzey Yarımküredeki Değişimi

2006-2009 yılları arasında ortalama toplam ozon değerleri 90°S-90°N ve 60°S-60°N enlemleri için sırasıyla yaklaşık % 3,5 ve % 2,5 oranında 1964-1980 ortalamalarının altında, son on yıldır ise aynı düzeyde kalmıştır. Kuzey Yarımküre orta enlemlerde (35°N-60°N) yıllık ortalama toplam ozon miktarı 1998-2005 periyodu süresince, 2006-2009 periyodunun üzerinde, 1964-1980 ortalamasının yaklaşık % 3,5 altında kalmıştır (12).

5.5.2 Toplam Ozonun Türkiye Üzerindeki Değişimi

Ankara'da Brewer Spektrofotometresiyle ölçülen günlük toplam ozon verilerinden elde edilen yıllık ortalama ozon değerlerinin yıllara göre değişimi Şekil 8a'da görülmektedir. 2007 yılı ortalama toplam ozon verisinin (322 DU) Brewer Spektrofotometresi (318,9 DU) ve TOMS (OMI) uydusu (316,5 DU) uzun yıllar ortalamalarının üzerinde olduğu belirlenmiştir (13). Ankara'nın 2007-2011 periyodundaki TOMS (OMI) uydu verileri ile Brewer Spektrofotometre toplam ozon verileri incelenmiş, her iki ölçüm sistemine ait verilerin birbirine oldukça yakın olduğu ve aralarında istatistikî olarak kuvvetli bir ilişki ($R=0,98$) bulunduğu belirlenmiştir (13).



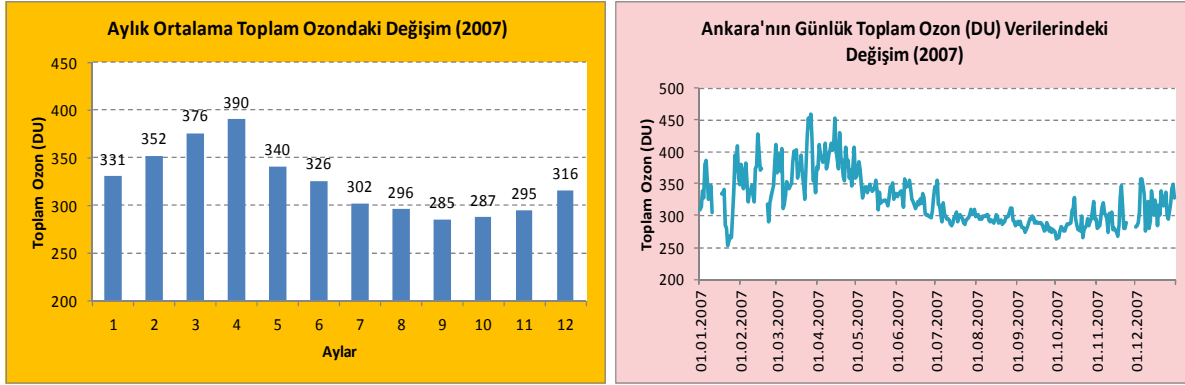
a) Yıllık

b) Mevsimlik

Şekil 8. a) Ankara'nın yıllık (2007) ve b) mevsimlik ortalama toplam ozon (DU) değerlerindeki değişim

Ankara'nın Brewer Spektrofotometresi mevsimlik toplam ozon verileri incelendiğinde; ilkbahar mevsiminin en yüksek, sonbahar mevsiminin ise en düşük toplam ozon verisine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 8b). Atmosferdeki toplam ozonun yıllık değişimleri incelendiğinde, özellikle kış ve bahar aylarında orta enlemlerde ve kutup bölgelerinde ozonun fazlalaştığı, tropiklerde ise azaldığı görülmektedir. Bu durum ozonun tropik bölgelerden kutuplara doğru büyük ölçekli planeter dalgalarla taşınması sonucu gerçekleşmektedir (11).

Ankara'da ise genel olarak en yüksek toplam ozon değerlerine kış-ilkbahar dönemindeki aylarda ve günlerde, en düşük toplam ozon değerlerine de yaz-sonbahar dönemindeki aylarda ve günlerde rastlanılmaktadır (Şekil 9a ve 9b). Fakat Şekil 9b'de görüldüğü gibi, 2007 yılında minimum (253,8 DU-23.01.2007) ozon değerine kış mevsiminde rastlanılmıştır (14). Bu durum, normal şartlarda yaz ve sonbahar mevsimlerinde Afrika, doğu Akdeniz üzerinden güney-güneybatılı rüzgârlarla gelerek Türkiye'yi etkileyen karasal tropikal kökenli (cT) hava kütesinin ülkemizi nadiren de olsa kış mevsiminde etkilemesi ve ozonca fakir havayı ülkemize getirmesiyle açıklanabilir.



a) Aylık

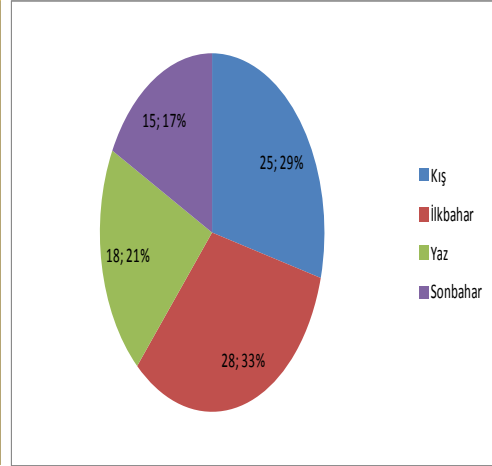
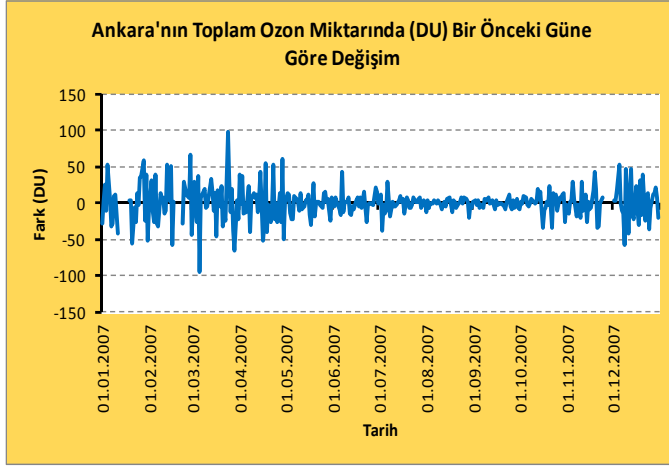
b) Günlük

Şekil 9. a) Ankara'nın aylık ve b) günlük ortalama toplam ozon (DU) değerlerindeki değişim

5.6 Yüksek ve Düşük Ozonlu Günler Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında, günlük toplam ozon verilerindeki değişimler (Şekil 9b) göz önünde bulundurularak ozon verilerinin birbirine göre farkları alınmış ($Fark = Ozon_{(bugün)} -$

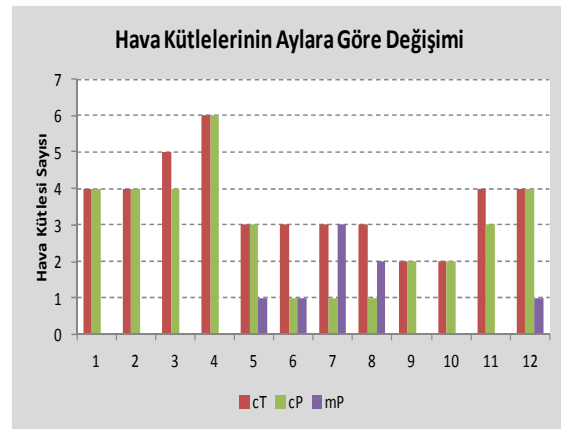
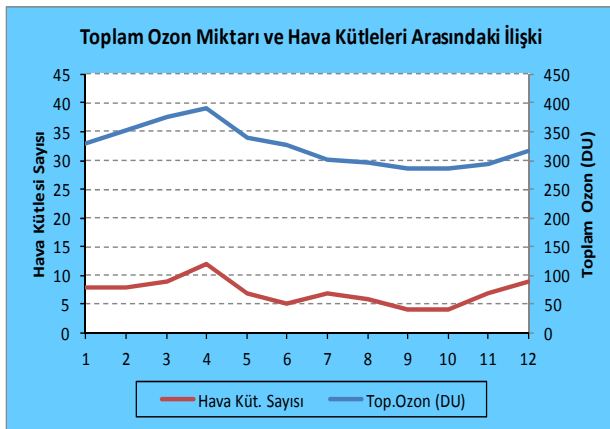
Ozon_(dün), yüksek ve düşük ozonlu günler için ayrı ayrı örnekleme yapılmıştır (Şekil 10). İncelemeye değer toplam 86 gün belirlenmiş, yüksek (43 gün) ve düşük (43 gün) ozonlu günler tabloları oluşturulmuştur.



Şekil 10. Ozon (DU) farkları değişimi

Şekil 11. Hava kütlelerinin mevsimlik değişimi

Hava kütleleriyle düşük ve yüksek ozonlu günlerin ilişkisini araştırmak için 2007 yılı boyunca ülkemizi etkileyen 86 adet hava kütesinin yıl içerisindeki dağılımına bakılmıştır. Mevsimlere göre incelendiğinde; kışın 25, ilkbaharda 28, yazın 18 ve sonbaharda da 15 hava kütesinin ülkemizi etkilediği tespit edilmiştir (Şekil 11). Başka bir deyişle kış-ilkbahar döneminde 53 adet, yaz-sonbahar döneminde de 33 adet hava kütesi ülkemiz üzerinde etkin olmuştur.



Şekil 12. Toplam ozon ve hava kütle ilişkisi

Şekil 13. Hava kütlelerinin aylık değişimi

Aylara göre incelendiğinde ise en fazla hava kütlesinin Nisan ayında, en az hava kütlesinin de Eylül ve Ekim aylarında ülkemizi etkilediği görülmüştür. Toplam ozon miktarının aylık değişiminde de paralel bir durum söz konusudur (Şekil 12). Yıl boyunca Türkiye'yi etkileyen hava kütlesi çeşitlerinin aylık değişimlerine bakıldığında, cP ve cT hava kütlelerinin sayıca en fazla Nisan ayında, mP hava kütlesinin de Temmuz ayında etkin oldukları görülmektedir (Şekil 13).

6. SONUÇLAR

Ülkemize farklı yönlerden gelen hava kütlelerinin en fazla ilkbahar ve kış mevsimlerinde Türkiye'yi etkiledikleri görülmüştür.

Ankara'nın toplam ozon kalınlığı üzerinde; kutupsal kökenli hava kütleleri soğuk ve ozonca zengin havayı ülkemize getirmesi nedeniyle yükseltici, tropikal kökenli hava kütleleri ise sıcak ve ozonca fakir havayı getirmesi nedeniyle düşürücü etki göstermiştir.

Karasal Polar (cP) hava kütlesi, tüm yıl boyunca ülkemizi etkilemekte, aylık ortalama toplam ozonda kış-ilkbahar döneminde 21-156 DU (%6,5-48,0) ve yaz sonbahar döneminde de 13-70 DU (% 4,5-24,5) aralığında artışa neden olmaktadır. Bu artışın kış mevsiminde diğer mevsimlere göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Denizsel Kutbi (mP) hava kütlesi, Mayıs-Ağustos ayları arasında ve Aralık ayında Kuzey Atlantik üzerinden Avrupa'ya ve buradan ülkemize kadar gelmekte, toplam ozonda kış-ilkbahar döneminde 36-75 DU (%9,8-20,4) ve yaz döneminde de 7-58 DU (%2,3-18,8) aralığında artışa neden olmaktadır.

Karasal Tropikal (cT) hava kütlesi, tüm yıl boyunca ülkemizi etkilemekte, aylık ortalama toplam ozonda kış-ilkbahar döneminde 22-138 DU (%6,0-42,5) ve yaz-sonbahar döneminde de 14-67 DU (% 4,5-23,4) aralığında düşüğe neden olmaktadır. Bu düşüşün ilkbahar mevsiminde kışa göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Yaz ve sonbahar döneminde ise düşüşün mevsimsel etki nedeniyle daha sınırlı olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. URL: http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/5/e/Fact_sheet_No_10.pdf 28.02.2013 1.
2. Erinç S. 1969. Klimatoloji ve Metodları. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları No: 994, İstanbul.
3. MGM, (2009). Analiz ve Tahmin Teknikleri Ders Notları, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Hava Tahminleri Dairesi Başkanlığı, Analiz ve Tahminler Şube Müdürlüğü, Ankara, 2009.
4. URL: <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/ozon-ve-uv.aspx?s=olcumler> 25.03.2013
5. URL: http://www.woudc.org/data/Metadata/platform_e.html 25.03.2013
6. URL: <http://www.woudc.org/data/Metadata/SearchMapPM.jpg> 25.03.2013
7. URL: <http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajasrc.pl> 28.02.2013
8. URL: <http://lap.physics.auth.gr/ozonemaps2/archive.php?gType=perDate> 25.03.2013
9. Crutzen, P.J., (1971). Ozone production rates in an oxygen-hydrogen-nitrogen oxide atmosphere, Geophysical Research Letters, 76, 7311-7327.
10. URL: <http://www.mgm.gov.tr/arastirma/ozon-ve-uv.aspx#sfU> 25.03.2013
11. Demirhan Bari, D., Topçu, H S., (2011). Kuzey yarıküredeki toplam ozon değişiminin sıcaklık ve girdap ısı akışı ile etkileşimi, İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 3, 116-124
12. WMO, (2010). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 52, Geneva World Meteorological Organization.
13. Acar, Y., Ekici, M., ve Yağan, S., (2012) Ozon ve Ultraviyole Radyasyon Veri Analizi, Teknik Rapor, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2012.
14. URL: <http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/ozondegerlendirmesi-2012.pdf> 25.03.2013
15. URL: <http://www.theozonehole.com/ozone.htm> 25.03.2013
16. URL: 80.251.40.59/agri.ankara.edu.tr/sonmez/havakut.ppt 25.03.2013

