



**T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ
BAKANLIĞI**



**ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KLİMATOLOJİ ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ'NÜN
2014 YILINDA DÜZENLENEN
SEMPOZYUMLARDA SUNDUĞU
MAKALELER**

ANKARA, 2014

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

ARAŞTIRMA DAİRESİ BAŞKANLIĞI
KLİMATOLOJİ ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ’NÜN
2014 YILINDA DÜZENLENEN SEMPOZYUMLARDA
SUNDUĞU MAKALELER

ANKARA, 2014

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, lölser, 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 olacağının 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 karbondioksitin atmosferdeki birikimi sanayi öncesi dönemde yaklaşık 280 ppm'den (milyonda bir parçacık) 2014 yılında en son verilere göre 399 ppm'e yükselmiştir. Sanayi öncesi dönemde yaklaşık 715 ppb (milyarda bir parçacık) olan metan 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, bugünü 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; 2014 yılında 8–10 Eylül tarihlerinde İstanbul’da düzenlenen “The Climate Change And Climate Dynamics Conference” ve 23-24 Ekim tarihlerinde “TÜCAUM - VIII. Coğrafya Sempozyumu” ’na katılım sağlamıştır. Adı sayılan çalışmalarda; Türkiye için tarihsel iklim analizleri, iklim çalışmalarında CBS kullanımı, iklim izleme, iklim modelleri ile yeni senaryoların gelecek için analizi ve iklim değişikliği ile Fenolojilerdeki trendler 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
Türkiye’de Yeni Senaryolara Göre İklim Değişikliği Projeksiyonları	1
Yeni Senaryolara Göre Türkiye Akarsu Havzalarında İklim Değişikliği Projeksiyonları	11
Ortalama Sıcaklıklardaki Türdeşlik Kırılmalarının İklim Göstergeleriyle ilişkisi	21
Mevsimlik Sıcaklık Normallerinin (1971-2000) Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Yüksek Çözünürlüklü Veri Setinin Üretilmesi	30
Ankara’da Yağışın Dağılışına Şehirleşmenin Etkisinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yöntemleri ile Analizi	40
Yağışın Parmak İzi ve Paleoklimatoloji’de Kullanımı	50
Türkiye’de İklim Değişikliğinin Meyve Ağaçları Ve Tarla Bitkilerinin Fenolojik Dönemlerine Etkileri	60
Climate Change Projections For Turkey With New Scenarios	72
Phenological Effect Of Climate Change In Turkey	83

Türkiye’de Yeni Senaryolara Göre İklim Değişikliği Projeksiyonları

Climate change projections in Turkey with new scenarios

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

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, ANKARA

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

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

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

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

1. GİRİŞ

İklimin insan hayatındaki önemi, iklimin sosyal ve ekonomik hayatı olumlu ya da olumsuz etkileri ile nasıl etkilediği ile ilgilidir (Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014). İnsanların daha iyi koşullar altında, daha sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmeleri için, gerek ulusal gerekse uluslararası birçok kurum ve kuruluş, organizasyon, merkezi ve yerel yönetimler ile sivil toplum örgütleri iklimde meydana gelebilecek değişimler ve bu değişimlerin etkilerinin doğru saptanabilmesi için farklı şekillerde çaba sarf etmektedirler.

Bu çabalardan en önemlisi modelleme çalışmalarıdır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte ortam koşullarını ifade eden değişkenler, daha detaylı bir şekilde modellerde yer alabilmektedir. 1970’li yıllardan itibaren bilgisayarların bilimsel amaçlı kullanımlarının yaygınlaşması ile iklim modelleri de kullanılmaya başlamıştır. Çalışılan ilk modellerde sadece atmosfer ve atmosferde gözlenen parametrelere göre çalışmalar yapılmış olup gelişmelere paralel olarak kara yüzeyi, okyanuslar, deniz buzları, sülfat, aerosoller, karbon çevrimi, dinamik bitki örtüsü ve atmosferin kimyası gibi etmenler modellere girdi teşkil eden parametreler olmuştur. Teknolojinin gelişimi ile daha da küçülen Dünyamızda iklim değişikliği hakkında yapılan çalışmalar, 1990’lı yıllardan sonra IPCC (Uluslararası İklim değişikliği Paneli) adı altında oluşturulan birliktelik ve oluşumun yönlendirmeleri ile daha anlamlı bir çaba içine girmiştir. Oluşan bu birliğin sinerjisi ve IPCC’nin çalışma sonuçları belirli dönemlerle açıklanmıştır.

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

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

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

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

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

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

2. YÖNTEM

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

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

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

Tablo1. Temsili Konsantrasyon Rotalarının (RCPs) Türleri

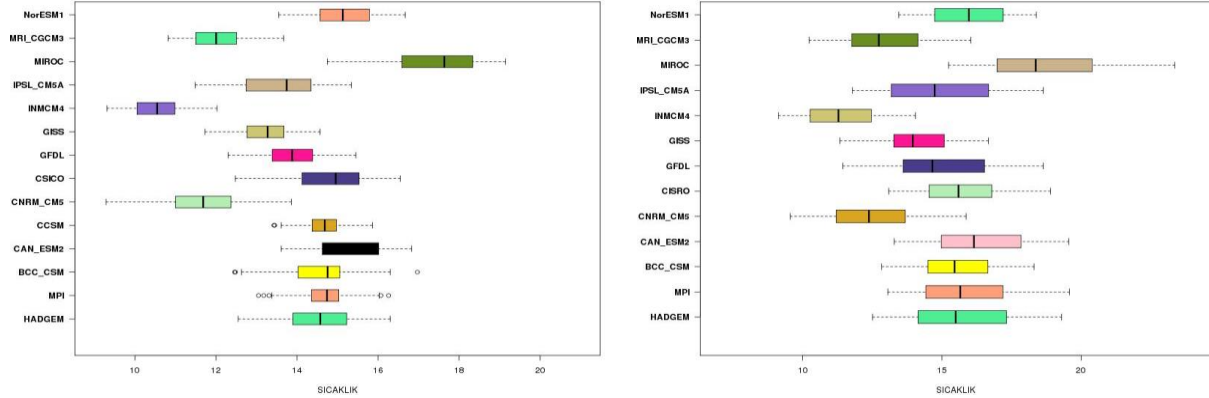
Adı (RCP's)	İşinimsal Zorlama	Zaman	İşinimsal Zorlama Değişimi	Konsantrasyonlar (CO ² eşdeğer)	Emisyonlar (Kyoto Protokolü Sera Gazları)
RCP 8.5	> 8.5 W/m ²	2100'de	Yükselme	> ~1370 (2100'de)	2100'e kadar artış devam ediyor
RCP 6.0	~6.0 W/m ²	2100 sonrası	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 850 ppm (2100'de)	Yüzyılın son çeyreğinde düşüş
RCP 4.5	~4.5 W/m ²	2100 öncesi	Hedefi geçmeden Stabilizasyon	~ 650 ppm (2100'de)	Yüzyılın ortalarından itibaren düşüş
RCP3-PD*	~3.0 W/m ²	2100 öncesi	3.0 W/m ² 'e ulaşmadan zirve ve düşüş	Zirve ~ 490 ppm ve düşüş (2100'de)	Yüzyılın ilk çeyreğinde düşüş

IPCC 2007'ye göre

2.2. Küresel Modeller ve Veri Setleri

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

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



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

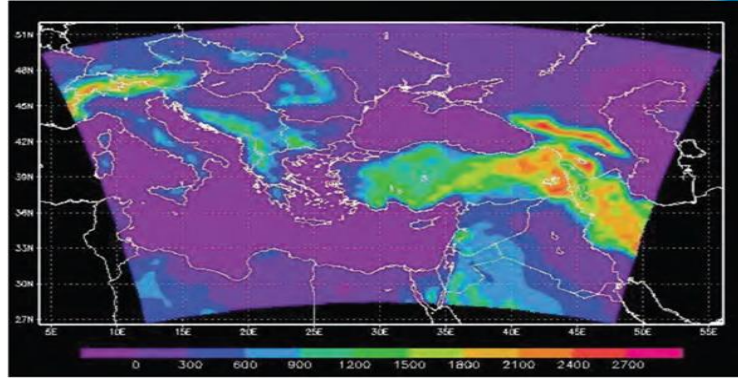
Bu çalışma bağlamında, HadGEM2-ES küresel modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları (2013-2099) ve küresel modelin 30 yıllık referans dönemi (1971-2000) veri setleri kullanılmıştır. Modelin kontrol testinde, RegCM bölgesel modeli 1971-2000 dönemi için çalıştırılarak elde edilen sonuçlar diğer küresel gözlem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

Tablo 2. Veri Setleri (MGM, 2013)

Küresel İklim Modeli (GCM)	Bölgesel İklim Modeli (RCM)	Hassasiyet Analizi için Kullanılan Veri Setleri	Dönem
HadGEM2-ES	RegCM4.3.4	- HadGEM2-ES RF(1971-2000) - CRU (1971-2000) - UDEL (1971-2000) - UDEL-c (1971-2000)	2013-2099

2.3. Dinamik Ölçek Küçültme: RegCM4

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



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

2.4. Hasiyet ve Kontrol Testleri

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

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

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

HadGEM2-ES küresel modelinin 1971-2000 referans periyodu verisinden ölçek küçültme yöntemiyle elde edilen ortalama sıcaklık sonuçları, diğer gözlem verileriyle karşılaştırıldığında özellikle kış ve yaz mevsiminde model sonuçlarının diğer gözlem verileriyle örtüştüğü görülmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ise modelin sıcaklık değerleri gözlem verilerine göre 1.5 °C daha düşüktür. Genel olarak Türkiye ortalamasına bakıldığında model sonuçları CRU ve UDEL gözlem verilerine göre 0.71 - 0.92 °C daha düşüktür.

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

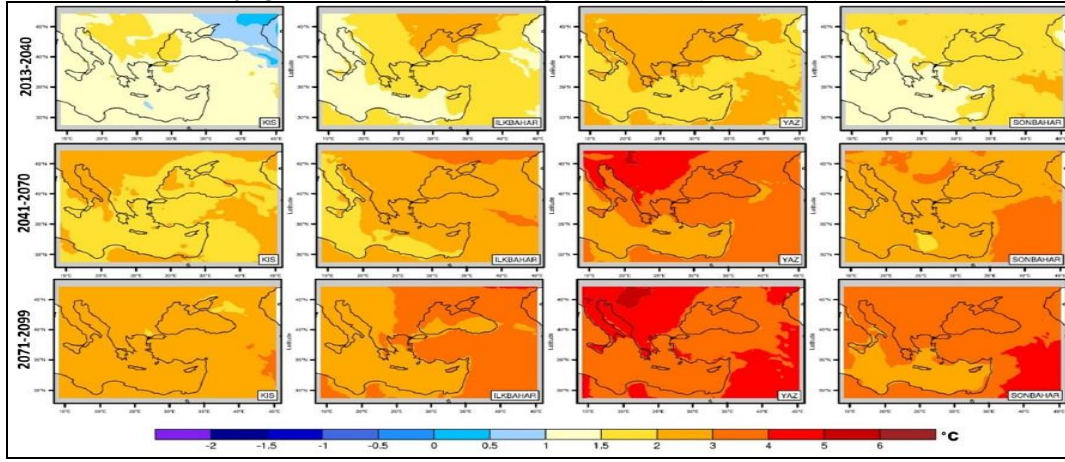
3. Bulgular

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

3.1 RCP4.5 Senaryosuna göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları

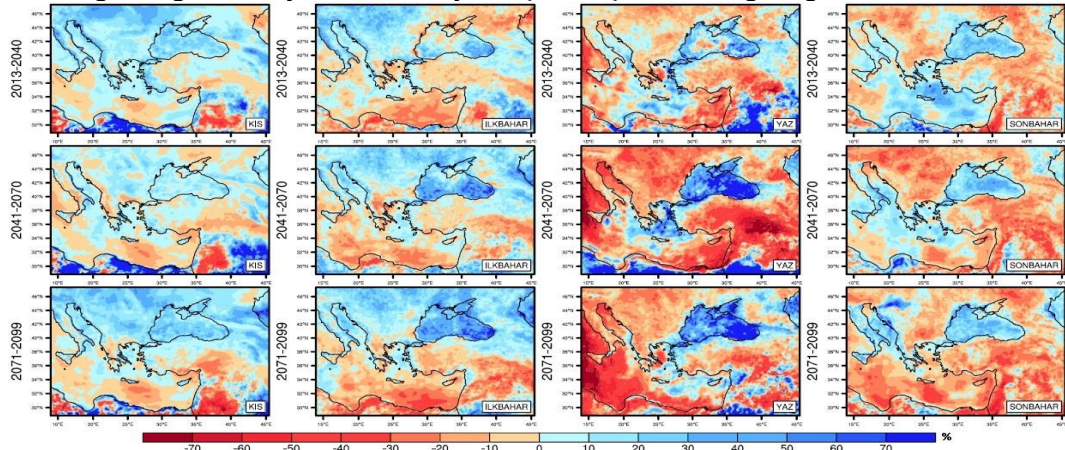
Sıcaklık ve yağış değerleri çalışma alanı için ölçek küçültme yöntemi ile HadGEM2-ES Küresel İklim Modelinin RCP4.5 senaryosundan elde edildi. Sıcaklık ve yağış için referans dönem

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



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

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



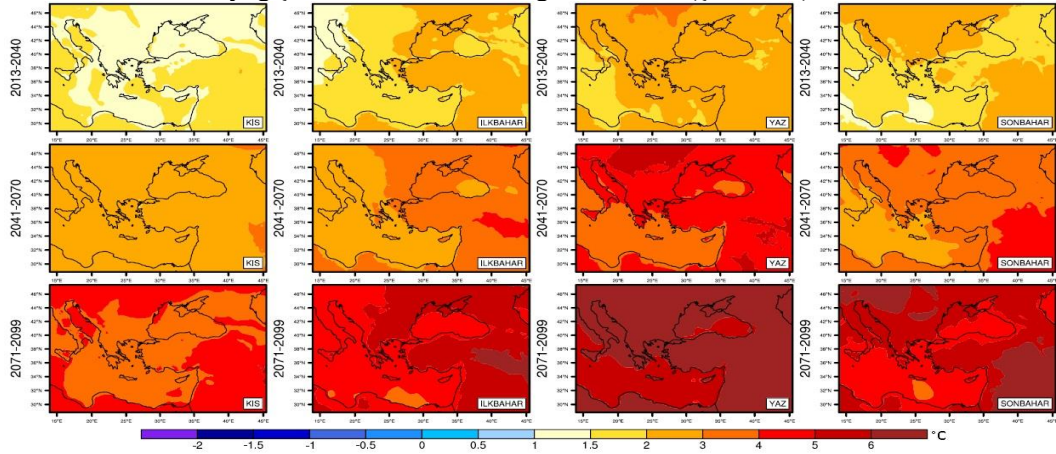
Şekil 4. RCP4.5 Senaryosuna göre yağış projeksiyonlarının referans dönemden farkları.

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

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

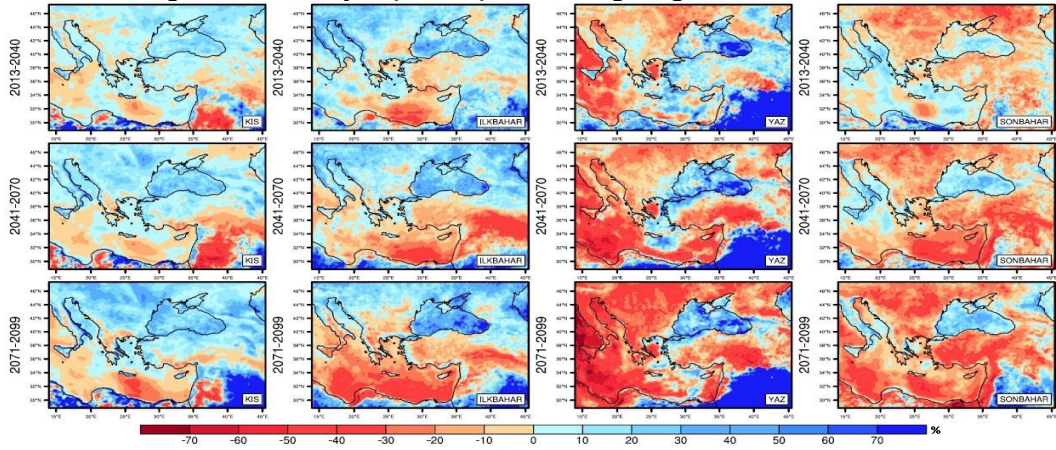
3.2 RCP8.5 Senaryosuna göre Sıcaklık ve Yağış Projeksiyonları

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



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

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



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

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

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

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

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

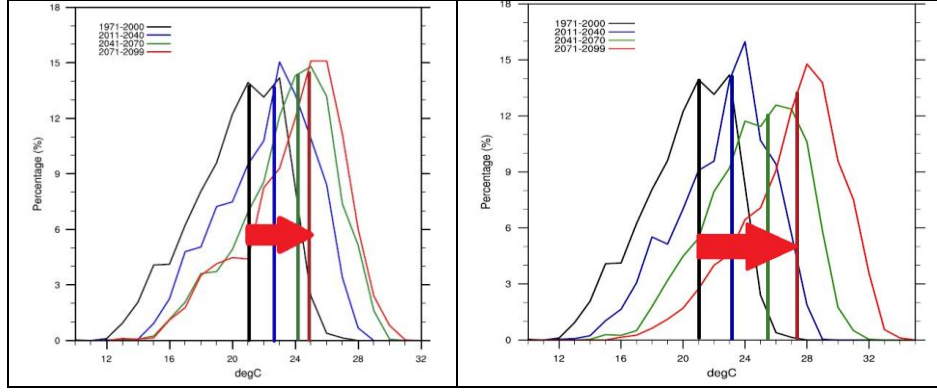
Tablo 4'den de görüleceği üzere her iki senaryoda da sıcaklıklar için artış öngörülmektedir. Bununla birlikte RCP8.5 senaryosunun göstermiş olduğu artış aralığı daha yüksek olup bu artışın yüzyılın sonunda 6°C'ye ulaşabileceği öngörülmektedir. Bu ise ülkemiz açısından önemli bir sıcaklık artışıdır.

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

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

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

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



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

4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

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

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

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

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

Referanslar

1. Anthes, R.A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Mon. Weather Rev.*, 117, 1423-1438
2. CMIP Coupled Model Intercomparison Project, access date:12.09.2013 <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html>
3. DEMİR,Ö., ATAY,H., ESKİOĞLU, O., TÜVAN, A., DEMİRCAN, M. ve AKÇAKAYA, A., “Rcp4.5 Senaryosuna göre Türkiye’de sıcaklık ve yağış projeksiyonları”, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi - TİKDEK 2013, Bildiri Kitabı, 3-5 Haziran 2013, İstanbul, Türkiye
4. Demircan,M, Arabaci, H., Bölük, E., Akçakaya, A., And Ekici, M., “İklim normalleri: üç sıcaklık normalinin ilişkileri ve uzamsal dağılımları”, III. Türkiye İklim Değişikliği Konferansı - TİKDEK 2013, 3-5 Haziran 2013, Bildiri Kitabı, İstanbul, Türkiye
5. DEMİRCAN, M., DEMİR,Ö., ATAY,H., ESKİOĞLU, O., TÜVAN, A. ve AKÇAKAYA, A., “Climate change projections for Turkey with new scenarios”, The Climate Change and Climate Dynamics Conference-2014 – CCCD2014, 8-10 Ekim, İstanbul, Türkiye
6. Dickinson, R., Henderson-Sellers, A. and Kennedy, P., “Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the ncar community climate model”, Technical report, National Center for Atmospheric Research. 1993
7. Emanuel, K.A., and M. Zivkovic-Rothman, “Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models”, *J. Atmos. Sci.*, 56, 1766-1782, 1999.
8. Giorgi, F., M.R. Marinucci, and G.T. Bates, “Development of a second generation regional climate model (RegCM2), I, Boundary layer and radiative transfer processes”, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2794-2813, 1993.
9. Giorgi, F., M.R. Marinucci, G. De Canio, and G.T. Bates, “Development of a second generation regional climate model (RegCM2)”, II, Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions, *Mon. Weather Rev.*, 121, 2814- 2832, 1993.
10. Grell, G., “Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations”, *Mon. Wea. Rev.* Grell, G.A., J. Dudhia and D.R. Stauffer (1995), A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), NCAR/TN-398+STR, pp. 122, 1993.
11. Hsie, E.Y., R.A. Anthes, and D. Keyser, “Numerical simulation of frontogenesis in a moist atmosphere”, *J. Atmos. Sci.*, 41, 2581-2594, 1984.
12. Holtslag, A., de Bruijn, E., and Pan., H. L., “A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting”. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1561–1575, 1990.
13. IPCC, “Definition of Terms Used Within the DDC Pages”, Content last modified: 17 June 2013, <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>
14. IPCC, “Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report”, the Netherlands, September, 2007.
15. IPCC, Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2013, http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
16. Kiehl, J., Hack, J., Bonan, G., Boville, B., Breigleb, B., Williamson, D., and Rasch, P., 1996: Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). NCAR Technical Note, NCAR / TN-420+STR, National Center for Atmospheric Research.
17. Lin, S. J., 2004. A vertically Lagrangian finite-volume dynamical core for global models, *Monthly Weather Review*, 132, 2293-2307.
18. MetOffice, Met Office climate prediction model: HadGEM2 family, Last updated: 24 April 2014, <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>
19. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yeni Senaryolar ile Türkiye için İklim Değişikliği Projeksiyonları, TR2013-CC, 2013,
20. Pal, J., Small, E. and Eltahir, E., 2000: Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM, *J Geophys Res-Atmospheres*.
21. Pal J.S., Giorgi F., Bi X. et al, 2006: The ICTP RegCM3 and RegCNET: regional climate modeling for the developing World. *Bull Am Meteorol Soc*.
22. Önal, B. ve F.H.M. Semazzi, “Regionalization of Climate Change Simulations over Eastern Mediterranean, *Journal of Climate*”, 2007.
23. Tatlı, H., H. N. Dalfes and S. S. Menteş, “A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey”, *International J. Climatology*, 24:161-180, 2004.
24. Zeng, X., Zhao, M. and Dickinson, R. E., “Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using toga coare and tao data”, *Journal of Climate*, 1998
25. Turunçoğlu, U. U.; Önal, B.; Bozkurt D., “Dinamik Modeller İle Bölgesel İklim Değişikliği Projeksiyonları”. *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu*, 13-14 Aralık, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2007

Yeni Senaryolara Göre Türkiye Akarsu Havzalarında İklim Değişikliği Projeksiyonları

Climate Change Projections in Turkey's river basin with new scenarios

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

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, ANKARA

Öz: Dünyada meydana gelen iklim değişikliğinin etkileri, son zamanlarda ülkemizde de hissedilmeye başlanmıştır. Bilindiği üzere ülkemiz, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en fazla etkilenecek bir bölgede, Akdeniz havzasında yer almaktadır. Bu bölgedeki en büyük iklim riskleri yağış azlığı ve buna bağlı kuraklık, su kıtlığı, yer altı sularında azalma; kıyı alanlarının bozulması, buna karşılık ekstrem yağışlarda artışlar, artan sıcaklıklarla birlikte artan buharlaşma, sıcak hava dalgaları ve buna bağlı sağlık riskleri vb. şeklinde kendini gösterecektir (IPCC, SPM, 2014). Dünyadaki sıcaklık artışı, atmosferde dolaşan nem miktarını da artıracaktır. Atmosferdeki bu nem artışı ise yağışların şiddet ve miktarında artışa neden olacaktır. Bununla birlikte yağışların dünya üzerinde ve zaman içindeki dağılışı ve yağışların miktarları her yerde eşit olmayacağı için sorunlara yol açacaktır. Özellikle bizim coğrafyamızdaki gibi iklim tiplerinde çeşitliliğe sahip olan ülkelerde yağışın değişimini incelemek için genel yaklaşımdan çok bölgesel veya havza temelli çalışmalar yapmak yararlı olacaktır. Bu çalışmada, IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda yer alan Temsili Konsantrasyon Yollarına (RCPs: Representative Concentration Pathways) ait RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları kullanılmıştır. Bölgesel iklim modeli (RegCM4.3.4) kullanılarak dinamik ölçek küçültme yöntemi ile Türkiye akarsu havzaları için 20 km çözünürlükte, 2013-2099 yılları için sıcaklık ve yağış projeksiyonları üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, İklim Modelleme, Akarsu havzaları, RCPs, RegCM

Abstract: The effects of climate change occurring in the world, has recently begun to be felt in our country. As is known, our country is located in the Mediterranean Basin and this region will be most affected area from the adverse effects of climate change. The biggest climate risks in this area will show itself in the form of scarcity of precipitation and consequent drought, water scarcity, reduction in groundwater, degradation of coastal areas; in contrast increases in extreme rainfall, increasing evaporation with increasing temperature, heat waves and related health risks and so on (IPCC, SPM, 2014). The world temperature rise will increase the amount of moisture which is circulating in the atmosphere. Due to increase in moisture in the atmosphere will cause to increase in the amount and intensity of rainfall. However, the distribution of rainfall over the world and over time and also its amount will not be equal in everywhere and this will lead to problems. Especially, to examine changes in rainfall in countries which have diversity in the types of climate such as in our geography, it will be to do regional or watershed-based studies rather than general approach. In this study, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios were used that's belongs Representative Concentration Pathways (RCPs) and located in the IPCC 5th Assessment Report. Temperature and precipitation projections were produced with 20 km resolution for Turkey's river basins and for 2013-2099 periods by Regional Climate Model (RegCM4.3.4) and with dynamic downscaling method.

Key words: Climate Change, Climate Modeling, River Basin, RCPs, RegCM

1. GİRİŞ

İklimin insan hayatındaki önemi, iklimin sosyal ve ekonomik hayatı olumlu ya da olumsuz etkileri ile nasıl etkilediği ile ilgilidir (Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014). İnsanların daha iyi

koşullar altında, daha sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürebilmeleri için, gerek ulusal gerekse uluslararası birçok kurum ve kuruluş, organizasyon, merkezi ve yerel yönetimler ile sivil toplum örgütleri iklimde meydana gelebilecek değişimler ve bu değişimlerin etkilerinin doğru saptanabilmesi için farklı şekillerde çaba sarf etmektedirler

İklim modelleri, mevsimselden onyıllık zaman ölçeklerinde iklim öngörülerini ile önümüzdeki yüzyıl boyunca ve ötesinde gelecek iklim projeksiyonları yapmak ve çeşitli zorlamalara iklim sisteminin yanıtını araştırmak için kullanılabilir birincil araçlardır (IPCC, 2013; Demircan vd., 2014). Bölgesel İklim Modelleri (RCMs) genellikle interaktif okyanus ve deniz buz olmadan çalıştırılan, AOGCM'lerden atmosferik ve arazi yüzey bileşenleri ile karşılaştırılabilen, iklim süreçleri temsilleri ile sınırlı alan modellerdir.

Hadley Merkezi Küresel Çevre Modeli 2 (HadGEM2), bir fiziksel çerçeve ile farklı karmaşıklık seviyeleri içeren özel model yapılandırmalarının bir dizisini içermektedir (MetOffice, url; Demircan vd., 2014).

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

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

2. YÖNTEM

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

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

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

2.2. Küresel Modeller ve Veri Setleri

Bu çalışma "Türkiye ve çevresi için İklim Projeksiyonları" isimli halen devam eden bir projeden bugüne kadar elde edilen sonuçları kapsamaktadır (Demircan vd., 2014). Kullanılacak küresel modellerin seçiminde küresel modellerin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının Türkiye için gösterdiği ortalama sıcaklık değerleri (1971-2000 dönemi için) karşılaştırılarak en uygun olan üç tanesi seçilmiştir (Demircan vd., 2013). "Türkiye ve çevresi için İklim Projeksiyonları" projesi farklı küresel modeller ve senaryolar ile hala çalışmaya devam etmektedir.

Bu çalışma bağlamında, HadGEM2-ES küresel modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları (2013-2099) ve küresel modelin 30 yıllık referans dönemi (1971-2000) veri setleri kullanılmıştır. Modelin kontrol testinde, RegCM bölgesel modeli 1971-2000 dönemi için çalıştırılarak elde edilen

sonuçlar diğer küresel gözlem veri setleri ile (İklim Araştırma Birimi'nin - CRU, Delaware Üniversitesi'nin – UDEL ve UDEL-c) karşılaştırılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Veri Setleri (MGM, 2013)

Küresel İklim Modeli (GCM)	Bölgesel İklim Modeli (RCM)	Hassasiyet Analizi için Kullanılan Veri Setleri	Dönem
HadGEM2-ES	RegCM4.3.4	• HadGEM2-ES RF(1971-2000) • CRU (1971-2000) • UDEL (1971-2000) • UDEL-c (1971-2000)	2013-2099

2.3. Dinamik Ölçek Küçültme: RegCM4

Çalışmada, İtalya'daki Uluslararası Teorik Fizik Merkezi (ICTP) tarafından geliştirilen RegCM4 Bölgesel İklim Modeli (Giorgi vd., 1993a,b; Demir vd., 2013; Demircan vd., 2014) kullanılmıştır. Çalışma alanı (domain) olarak yatay çözünürlüğü 20km olan 130x180 gridden ve dikeyde 18 sigma seviyesinden oluşan bir bölge için model koşturulmuştur.

2.4. Hasiyet ve Kontrol Testleri

Tablo-1'de anlatılan referans periyodu ve veri setleri kullanılarak, mevsimlik ve genel ortalamaya göre modelin hassasiyet karşılaştırmaları yapılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. 1971-2000 referans periyodu ortalama sıcaklık ve yağış sonuçlarının mevsimlik olarak, farklı gözlem veri setleriyle karşılaştırılması (MGM, 2013)

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

HadGEM2-ES küresel modelinin 1971-2000 referans periyodu verisinden ölçek küçültme yöntemiyle elde edilen ortalama sıcaklık sonuçları, diğer gözlem verileriyle karşılaştırıldığında özellikle kış ve yaz mevsiminde model sonuçlarının diğer gözlem verileriyle örtüştüğü görülmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ise modelin sıcaklık değerleri gözlem verilerine göre 1.5 °C daha düşüktür. Genel olarak Türkiye ortalamasına bakıldığında model sonuçları CRU ve UDEL gözlem verilerine göre 0.71 - 0.92 °C daha düşüktür.

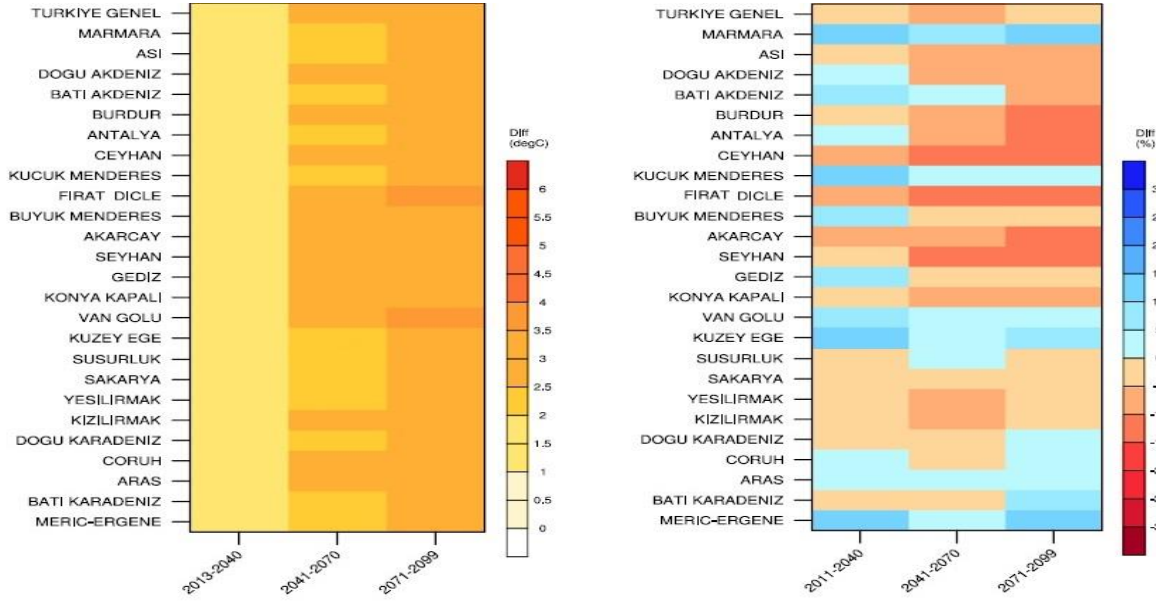
HadGEM2-ES küresel modelinin 1971-2000 referans periyodu verisinden ölçek küçültme yöntemiyle elde edilen günlük yağış sonuçları, diğer gözlem verileriyle karşılaştırıldığında özellikle kış mevsiminde model sonuçlarının diğer gözlem verileriyle örtüştüğü görülmektedir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde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

3. Bulgular

Türkiye için HadGEM-2S projeksiyonları, ülkemizi de içine alan bölgede, bölgesel iklim modeli çalışması ile geleceğe ait iklim değişikliği olasılıkları ortaya konmaya çalışılmıştır. Model çalışmasından elde edilen veriler, bir veri tabanı ortamına aktarılmıştır. Veri tabanındaki koordinatlı nokta (grid) verileri, Türkiye il, bölge, akarsu havzaları, tarım havzaları sınırlarına göre indekslenmişlerdir. Veri tabanından, 2013-2099 yıllarını kapsayan veriler, sırasıyla 2013-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 dönemleri olmak üzere üç dönem için ve 2013-2020, 2021-2030, 2031-2040 ve 2041-2050 dönemleri için dört dönem halinde ortalama sıcaklık ile ortalama toplam yağış setleri oluşturulmuştur. Bu üç dönemin sıcaklık ve yağışları ile referans dönemin (1971-2000) sıcaklık ve yağışları karşılaştırılarak farkları tespit edilmiş ve grafik olarak sunulmuştur (Şekil 3,4). İkinci olarak yakın gelecek için bahsedilen dört dönemin sıcaklık ve yağış verilerinden hazırlanan 1971-2000

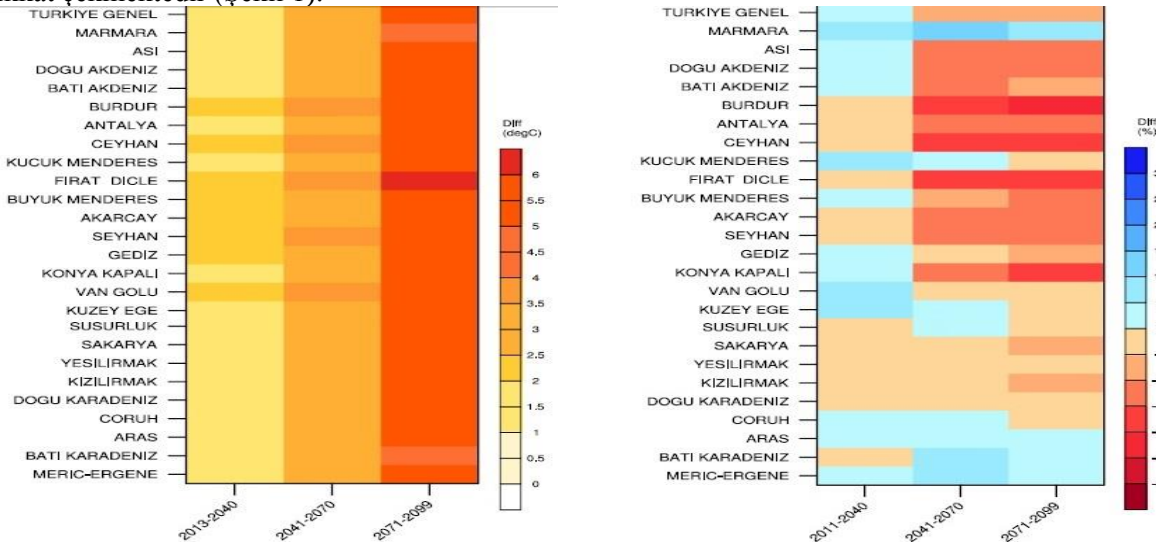
normalleri ile 2013-2020, 2021-2030, 2031-2040 ve 2041-2050 dönemlerine ait ortalama sıcaklık ile ortalama toplam yağış setleri farkları tespit edilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak akarsu havzaları üzerindeki alansal dağılımları elde edilmiştir.

3.1. Akarsu Havzalarının RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryosuna Göre Sıcaklık ve Yağış Öngörülleri



Şekil 1. RCP4.5'e göre havza bazlı sıcaklık ve yağış projeksiyonları (MGM 2014).

RCP4.5 senaryosuna göre sıcaklıklar incelendiğinde bütün havzalarımızda ortalama sıcaklıkların, bütün dönemlerde artış eğiliminde olduğu görülmektedir. En fazla artış ise 3.5-4.0°C artışla, 2071-2099 döneminde Fırat-Dicle ve Van Gölü havzalarında göze çarpmaktadır. Yağışlar incelendiğinde, Türkiye geneli yağış ortalamasında tüm 2013-2099 döneminde azalmalar görülürken, Marmara, Küçük Menderes, Van Gölü, Kuzey Ege, Aras ve Meriç-Ergene havzalarında tüm dönemlerde artışlar görülmektedir. Bazı havzalarda ise ilk dönemde artış diğer dönemlerde azalmalar dikkat çekmektedir (Şekil 1).

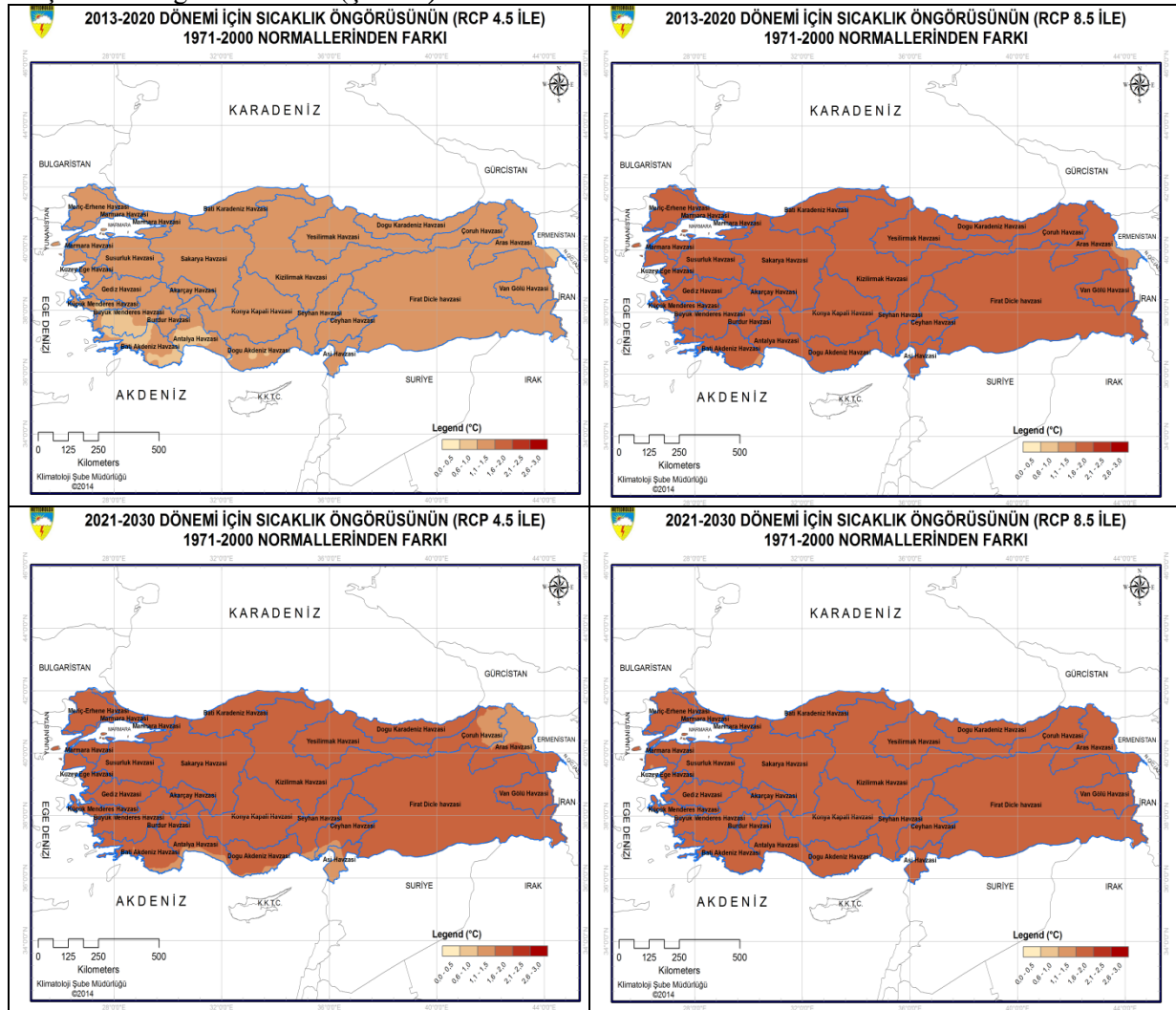


Şekil 2. RCP8.5'e göre havza bazlı sıcaklık ve yağış projeksiyonları (MGM 2014).

RCP8.5 senaryosuna göre sıcaklıklar incelendiğinde bütün havzalarımızda ortalama sıcaklıkların, bütün dönemlerde artış eğiliminde olduğu görülmektedir. En fazla artış ise 6.0°C 'yi aşan değerle, 2071-2099 döneminde Fırat-Dicle Havzasında göze çarpmaktadır. Yağışlar incelendiğinde, Türkiye geneli yağış ortalamasında ilk dönemde artış, 2. ve 3. dönemlerde azalmalar görülürken, Marmara, Aras ve Meriç-Ergene havzalarında tüm dönemlerde artışlar görülmektedir. Burdur, Ceyhan ve Fırat-Dicle havzalarında ise tüm dönemler boyunca azalmalar göze çarpmaktadır (Şekil 2).

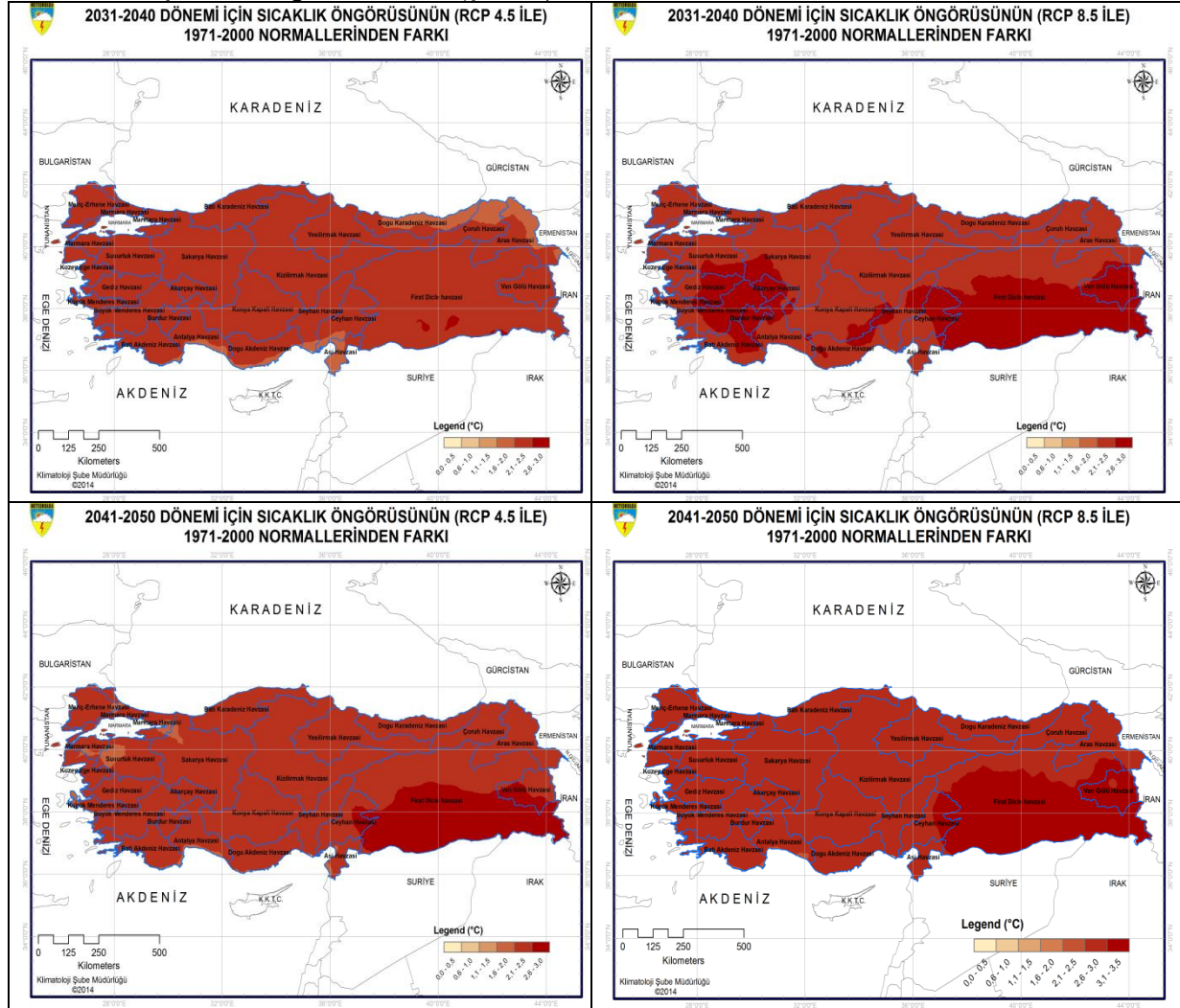
3.2. Akarsu Havzalarının RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryosuna Göre Sıcaklık Öngörülerinin Uzamsal Dağılımı

Her iki senaryo ile elde edilen sıcaklık öngörülerinde de 2013-2020 ortalama sıcaklıkları 1971-2000 normallerinin üzerinde beklenmektedir. Bu artışın, RCP4.5 senaryosuna göre Büyük Menderes, Batı Akdeniz ve Antalya havzasının bazı kesimlerinde $0,6-1,0^{\circ}\text{C}$ diğer havzalarda $1,1-1,5^{\circ}\text{C}$ olması öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise havzalarda $2,1-2,5^{\circ}\text{C}$ artış olması öngörülmektedir (Şekil 3). Her iki senaryo ile elde edilen sıcaklık öngörülerinde de 2021-2030 ortalama sıcaklıkları 1971-2000 normallerinin üzerinde beklenmektedir. Bu artış, RCP4.5 senaryosuna göre Batı Akdeniz, Antalya, Asi, Çoruh ve Aras havzasının bazı kesimlerinde $1,1-1,5^{\circ}\text{C}$, diğer havzalarda $1,6-2,0^{\circ}\text{C}$ olması öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise havzalarda $2,1-2,5^{\circ}\text{C}$ artış olması öngörülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. RCP 4.5 ve 8.5'a göre havza bazlı sıcaklık projeksiyonlarının uzamsal dağılımları (2013 – 2020 ve 2021 - 2030) (MGM 2014).

Her iki senaryo ile elde edilen sıcaklık öngörülerinde de 2031-2040 ortalama sıcaklıkları 1971-2000 normallerinin üzerinde beklenmektedir. Bu artışın, RCP4.5 senaryosuna göre Antalya, Asi, Doğu Karadeniz, Çoruh ve Aras havzasının bazı kesimlerinde 1,6-2,0°C, diğer havzalarda ise 2,1-2,5°C olması öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise genel olarak kuzey ve iç havzalarda 2,1-2,5°C, Akarçay, Burdur, Batı Akdeniz, Büyük-Küçük Menderes, Gediz, Susurluk, Sakarya, Konya, Seyhan, Ceyhan havzalarının bazı kesimlerinde, Dicle-Fırat havzasının büyük kesiminde ve Van Gölü havzasının tamamında 2,6-3,0°C artış olması öngörülmektedir (Şekil 4). Her iki senaryo ile elde edilen sıcaklık öngörülerinde de 2041-2050 ortalama sıcaklıkları 1971-2000 normallerinin üzerinde beklenmektedir. Bu artış, RCP4.5 senaryosuna göre Marmara ve Susurluk havzasında 1,6-2,0°C, Ceyhan - Van Gölü havzasının bir kısmı ile Dicle-Fırat havzasının tamamında 2,6-3,0°C diğer havzalarda 2,1-2,5°C olması öngörülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre ise genel olarak bütün havzalarda 2,5-3,0°C ile Dicle-Fırat havzasının büyük kesiminde ve Van Gölü havzasının tamamında 3,0-3,5°C artış olması öngörülmektedir (Şekil 4).

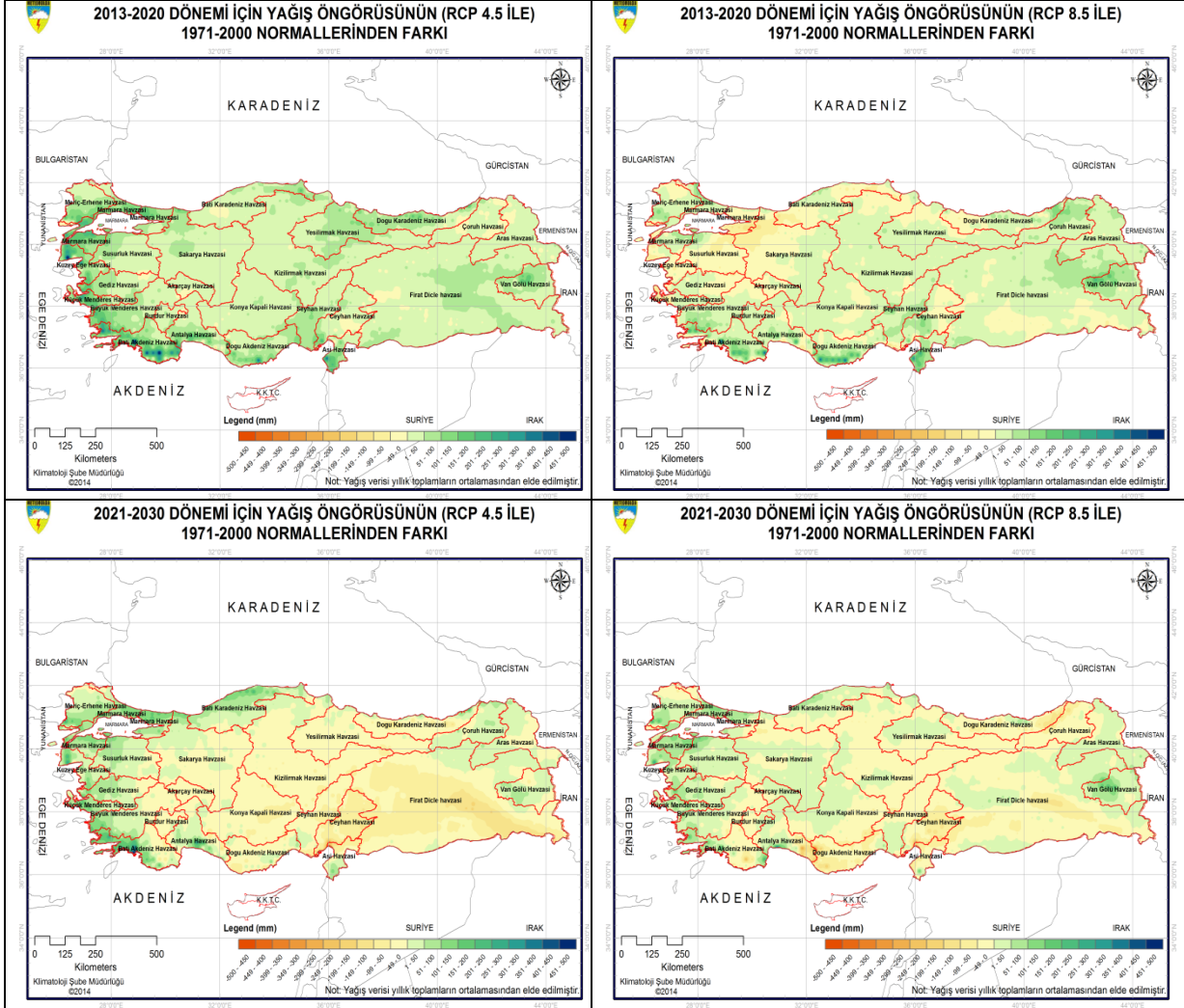


Şekil 4. RCP 4.5 ve 8.5'a göre havza bazlı sıcaklık projeksiyonlarının uzamsal dağılımları (2031 – 2040 ve 2041 - 2050) (MGM 2014).

3.3. Akarsu Havzalarının RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryosuna Göre Yağış Öngörülerinin Uzamsal Dağılımı

RCP4.5 senaryosuna göre elde edilen yağış öngörülerinde 2013-2020 ortalama toplam yağışları genel olarak 1971-2000 normallerinin 50-100mm üzerinde olacağı beklenmektedir. Bununla

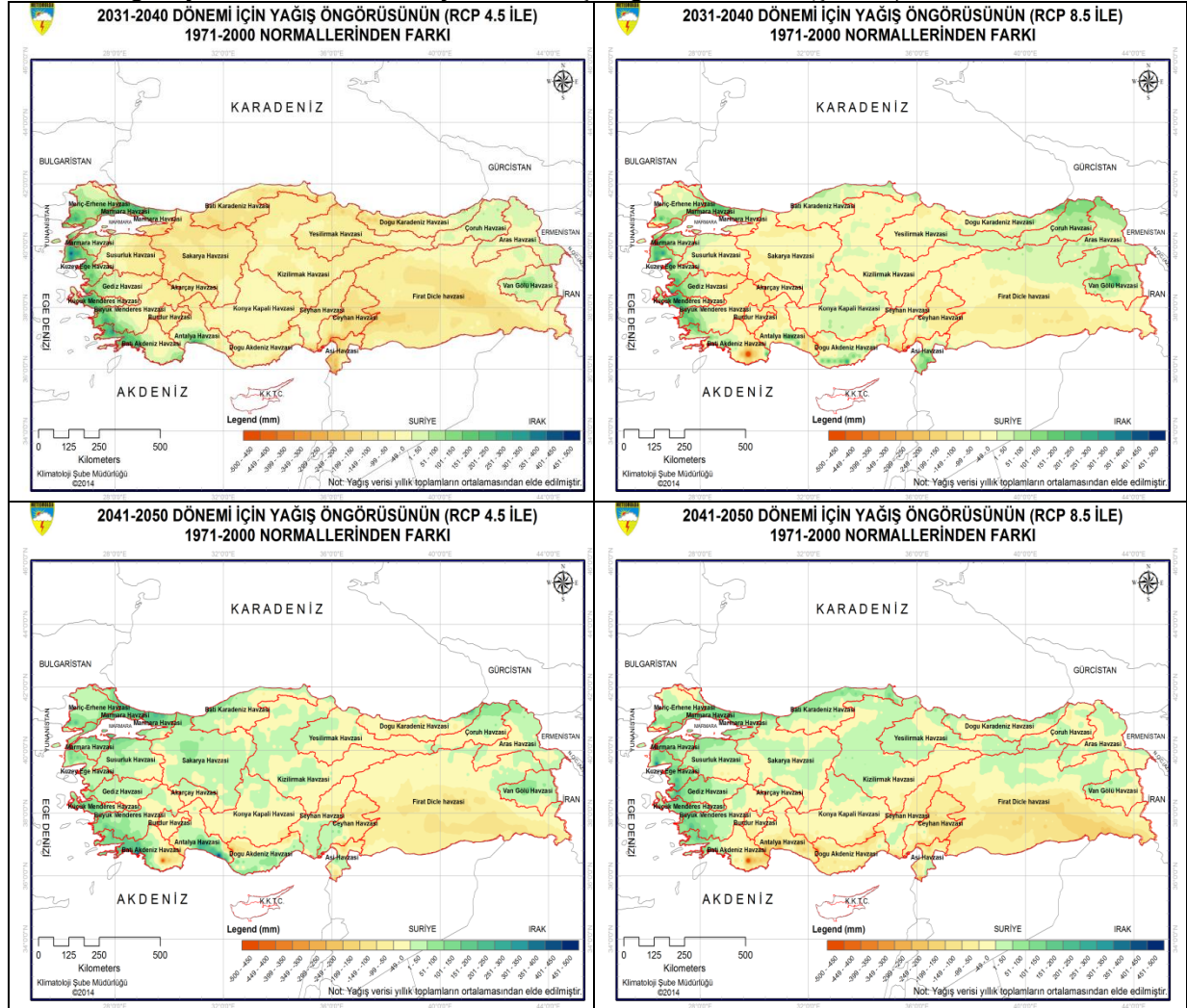
birlikte bazı havzalarda kısmî olarak 100mm'ye varan düşüşler ve Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinin özellikle yüksek kesimlerinde 300mm'ye varan artışlar görülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen yağış öngörülerinde 2013-2020 ortalama toplam yağışları genel olarak 1971-2000 normallerinin 50-100mm üzerinde beklenmektedir. Bununla birlikte bazı havzalarda kısmî olarak düşüşler; özellikle Susurluk, Sakarya, Gediz, Akarçay ve Batı-Doğu Karadeniz havzası arasında 100-150mm'ye varan düşüşler ve Akdeniz bölgelerinin özellikle yüksek kesimlerinde 300mm'ye varan artışlar görülmektedir (Şekil 5). RCP4.5 senaryosuna göre elde edilen yağış öngörülerinde 2021-2030 ortalama toplam yağışları genel olarak 1971-2000 normallerinin 50-150mm altında ve Türkiye'nin batı ve kuzeydoğusundaki havzalarda 100-200mm üzerinde olacağı beklenmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen yağış öngörülerinde ise aynı desen görülmekle birlikte normallerin üzerindeki yağış beklentisi alansal olarak daha fazladır (Şekil 5).



Şekil 5. RCP 4.5 ve 8.5'a göre havza bazlı sıcaklık projeksiyonlarının uzamsal dağılımları (2013 – 2020 ve 2021 - 2030) (MGM 2014).

RCP4.5 senaryosuna göre elde edilen yağış öngörülerinde 2031-2040 ortalama toplam yağışları genel olarak 1971-2000 normallerinin 100-200mm altında olacağı beklenmektedir. Bununla birlikte Çoruh, Aras ile Van Gölü havzasında 50-150mm ve Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinin özellikle kıyı kesimlerinde 300mm'ye varan artışlar görülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen yağış öngörülerinde ise aynı desen görülmekle birlikte normallerin üzerindeki yağış beklentisi alansal olarak daha fazladır. Bununla birlikte Batı Karadeniz, Kızılırmak, Konya ve Doğu Akdeniz havzalarında 50-150mm'ye varan artışlar gözükmemektedir (Şekil 6). RCP4.5 senaryosuna göre elde

edilen yağış öngörülerinde 2041-2050 ortalama toplam yağışları genel olarak 1971-2000 normallerinin 50-150mm üzerinde olacağı beklenmektedir. Bununla birlikte Akarçay, Burdur, Konya K. güneyi, Kızılırmak- Yeşilırmak doğusu, Seyhan-Ceyhan kuzeyi ile Fırat-Dicle havzasında 50-150mm'ye varan azalışlar görülmektedir. RCP8.5 senaryosuna göre elde edilen yağış öngörülerinde ise Akdeniz – Güneydoğu Anadolu ekseninde 50-250mm'ye varan azalışlar geri kalan bölgelerde 50-100mm'ye ve özellikle Ege kıyılarında 100-250mm'ye varan artışlar gözükmemektedir (Şekil 6).



Şekil 6. RCP 4.5 ve 8.5'a göre havza bazlı sıcaklık projeksiyonlarının uzamsal dağılımları (2031 – 2040 ve 2041 - 2050) (MGM 2014).

4. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların uzanışı ve yeryüzü şekillerinin çeşitlilik göstermesi, farklı özellikte iklim tiplerinin oluşmasına yol açmıştır. Yapılan iklim analizlerinde mevsimler ve bölgeler arasındaki büyük farklılıklarla birlikte, Türkiye'mizin yıllık ortalama toplam yağışlarında kurak ve ıslak dönemlerin birbirini izlediği görülmektedir. Yapılan iklim indisi çalışmasında (1961-2010) Türkiye'de yaz günleri, tropik günler, sıcak günler ve sıcak geceler sayılarının artış eğilimi gösterdiği, buna karşılık donlu günler, serin geceler ve serin günler sayılarının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Yıllık toplam yağışlar ülkemizin kuzeyinde artarken Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde azalış eğiliminde olduğu gözlenmektedir (Şensoy vd., 2008, 2013).

Yapılan iklim değişikliği model çalışmalarında şu sonuçlara ulaşılmıştır. Sıcaklıkların iyimser senaryoya göre 2050 yılına kadar 0,5 ila 3,0°C 2100 yılına kadar 0,5 ila 4,0°C, kötümser senaryoya göre ise 2050 yılına kadar 0,9 ila 3,5°C 2100 yılına kadar 0,9 ila 6,3°C artması beklenmektedir. Sıcaklık artışına karşı en hassas havzalar Doğu Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerinde olan havzalardır. Yağış miktarlarında ise iyimser senaryoya göre ülke genelinde 2040-2050 yıllarına kadar pozitif anomaliler beklenirken, kötümser senaryoya göre 2035 yılına kadar pozitif anomaliler beklenmektedir. Bu yıllardan sonra ise ortalama yağış miktarlarında azalışlar beklenmektedir.

Öte yandan, iklim değişikliğine bağlı olarak su döngüsündeki değişim, başta su kaynakları olmak üzere tarım ve gıda güvenliği, halk sağlığı, kara ve deniz ekosistemleri ile kıyı bölgeleri, meteoroloji karakterli afetleri olumsuz etkileyeceği öngörülmektedir. Bu çerçevede öncelikli olarak su kaynaklarına ilişkin çalışmalar yürütülmelidir. Su kaynaklarımızın iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden asgari seviyede etkilenmesi için beklenen etkilerin anlaşılması, sektörel ve bölgesel etkilenebilirlik çalışmalarının tamamlanması ve akabinde de bu etkilere yönelik uyum faaliyetlerinin planlanması gerekmektedir.

Nüfus yoğunluğu hızla artan büyükşehirler ve mevcut büyüme hızı ve su tüketim alışkanlıkları gibi sebepler, hâlihazırda su kaynakları üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Artan su ihtiyacı ve iklim değişikliği dikkate alındığında, gerekli tedbir alınmadığı takdirde sorunların giderek artacağı kesindir. Bu nedenle su kaynaklarının korunmasına, suyun iktisatlı kullanılmasına ve yağmur suları ile bilhassa arıtılmış atık suların yeniden kullanılmasına ağırlık verilmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda, iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkilerinin belirlenmesinde; ülke genelinde, yüksek çözünürlüklü iklim modelleme çalışmalarının geliştirilmesi ve bu modellerle birlikte iklimin ülkemizin su kaynaklarına etkilerinin araştırılması konusu oldukça önem arz etmektedir. Bu kapsamda üniversitelerin, enstitülerin ve kurumların konuyla ilgili Ar-Ge çalışmaları yapmaları teşvik edilmeli ve desteklenmelidir.

İklim izleme ve iklim değişikliği öngörü çalışmaları yukarıda açıklandığı gibi tüm sektörler ana veri girdisi sağlamakta; uyum, azaltma ve önleme çalışmalarında yapılacak planlamalar bu veriler üzerine bina edilmektedir. Bu nedenle ülkemizde iklim izleme ve analiz çalışmaları için gerekli olan gözlem sistemleri, mekânsal dağılımı ve gözlem sistemlerinin mekânlarının korunmasına önem verilmelidir. İklim değişikliği kapsamında gelecek için yapılan farklı küresel iklim değişikliği senaryolarının Türkiye ve çevresi için yüksek çözünürlüklü veri setlerinin oluşturulması, bu verilerin sektörel olarak kullanıma sunulması ve sektörler tarafından kendi planlamalarında temel olarak kullanılması yapılacak uyum, azaltma ve önleme çalışmalarının doğruluğunu ve başarısını artıracaktır.

Referanslar

1. CMIP Coupled Model Intercomparison Project, access date:12.09.2013 <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html>
2. DEMİR,Ö., ATAY,H., ESKİOĞLU, O., TÜVAN, A., DEMİRCAN, M. ve AKÇAKAYA, A., “Rcp4.5 Senaryosuna göre Türkiye’de sıcaklık ve yağış projeksiyonları”, III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi - TİKDEK 2013, Bildiri Kitabı, 3-5 Haziran 2013, İstanbul, Türkiye
3. Demircan,M, Arabaci, H., Bölük, E., Akçakaya, A., And Ekici, M., “İklim normalleri: üç sıcaklık normalinin ilişkileri ve uzamsal dağılımları”, III. Türkiye İklim Değişikliği Konferansı - TİKDEK 2013, 3-5 Haziran 2013, Bildiri Kitabı, İstanbul, Türkiye
4. Demircan, M., Demir,Ö., Atay,H., Eskioğlu, O., Tüvan, A. Ve Akçakaya, A., “Climate change projections for Turkey with new scenarios”, The Climate Change and Climate Dynamics Conference-2014 – CCCD2014, 8-10 Ekim, İstanbul, Türkiye
5. IPCC, “Definition of Terms Used Within the DDC Pages”, Content last modified: 17 June 2013, <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>
6. IPCC, “Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report”, the Netherlands, September, 2007.
7. IPCC, Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2013, http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
8. MetOffice, Met Office climate prediction model: HadGEM2 family, Last updated: 24 April 2014, <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>
9. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Yeni Senaryolar ile Türkiye için İklim Değişikliği Projeksiyonları, TR2013-CC, 2013
10. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İklim projeksiyonlarına göre akarsu havzalarında sıcaklık ve yağış değerlendirmesi, 2014
11. Önal, B. ve F.H.M. Semazzi, “Regionalization of Climate Change Simulations over Eastern Mediterranean, Journal of Climate”, 2007.
12. Sensoy, S., Alan, I. Demircan, M.,2008, 1971 - 2004 Yılları Arası Türkiye İklim İndisleri Trendleri, ITU, IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 25-28 Mart, 2008, İstanbul
13. Sensoy, S., Türkoğlu, N., Akçakaya, A., Ekici, M., Ulupınar, Y., Demircan, M., Atay, H., Tüvan, A., Demirbaş, H., 1960 - 2010 yılları arası Türkiye iklim indisi trendleri, 6. Atmosferik Bilimler Sempozyumu, 24-26 Nisan 2013, İTÜ, İstanbul
14. Tatlı, H., H. N. Dalfes and S. S. Menteş, “A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey”, International J. Climatology, 24:161-180, 2004.
15. Zeng, X., Zhao, M. and Dickinson, R. E., “Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using toga coare and tao data”, Journal of Climate, 1998
16. Turunçoğlu, U. U.; Önal, B.;Bozkurt D., “Dinamik Modeller İle Bölgesel İklim Değişikliği Projeksiyonları”. Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu, 13-14 Aralık, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2007

Ortalama Sıcaklıklardaki Türdeşlik Kırılmalarının İklim Göstergeleriyle İlişkisi

Relationship between homogeneity breaking points in average temperatures and climate index

Mesut DEMİRCAN¹, İhsan ÇİÇEK², Necla TÜRKOĞLU², Mithat EKİCİ¹, Hüseyin ARABACI¹

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara

² A.Ü. DTCF Fakültesi Coğrafya Bölümü, Ankara

Öz: İklim kayıtları, uzun bir dönem boyunca toplanmış meteoroloji verileri üzerine kurulmuştur. İklimin zaman bağımlı davranış izleri olan eğilimini ve değişimini gösteren, iklimsel risk etkileri ve aşırılıkların değerlendirilmesi için verilerdeki süreklilik ve türdeşlik önemlidir. İklim değerlendirmelerini yapabilmek, iklimdeki değişimleri tespit etmek, doğru tahmin ve modelleme yapabilmek için doğru ve tutarlı verilere ihtiyaç vardır. Türdeşliği (homojenliği) sağlamanın en iyi yolu, zor olmakla birlikte, gözlem çevresi ve sistemlerinin uygun yönetimlerle kayıtlarının tutulmasıdır. Veribilgi (metadata), gözlem yöntemlerini de içeren istasyonun tarihi bilgileridir. Önemli ekstrem hava olaylarının kayıtları da tutulmalıdır. Bu bilgiler veri kalitesi, devamlılığı ve türdeşliği çalışmalarında kullanıldığı için önemlidir. İklim değişebilirliği ve değişikliğini belirleme çalışmalarında kaliteli ve devamlılığı olan verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Türkiye üzerinde dağılım gösteren 97 istasyonda yapılan sıcaklık ölçümlerinden, 1961-2010 dönemine için aylık ortalama sıcaklık veri seti 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 türdeşliği incelenmiştir. Sonuç olarak, 8 istasyon için değişik tarihlerde sadece bu istasyonda kırılmıştır ve bu kırılma tarihleri yer değişikliği ile ilişkilidir. Birçok istasyonun türdeşlik testinde ortaya çıkan kırılma tarihleri 1997 (48 istasyon), 1993 (37 istasyon), 1976 (24 istasyon) ve 1971 (11 istasyon) olarak görülmektedir. Bu tarihlerin birçok istasyonda görülmesi, iklim kendi doğal kırılmaları olduğunu düşündürmektedir. Bu neden ile elde edilen tarihlerin uzaketkileşim (teleconnection) desenleri ve diğer iklim göstergeleri ile ilişkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler — İklim, RH-Test, Türdeşlik, Veribilgi, Kırılma tarihleri.

Abstract: Climate records is based on meteorological data collected over a long period. continuity and homogeneity in the data is important due to showing trends and changes which are traces of time-dependent behavior of the climate and to evaluate the effects of climate risks and excesses. There is need for accurate and consistent data to make climate assessments, to identify changes in the climate, to make accurate predictions and modeling. The best way to provide homogeneity, although it is difficult, is keeping records observation's environment and the system with proper management. Metadata is station's historical information which is including the method of observation. Important extreme weather events should be kept as a record. This information is important due to using in data quality, the continuity and homogeneity studies. In determination studies of climate variability and change, data quality and continuity is needed. Mean monthly temperature data set was prepared from temperature measurement of 97 stations of Turkish State Meteorology Service (TSMS) distributed over Turkey for the period 1961-2010. Homogeneity of the stations of the data sets

* İletişim yazarı: M.Demircan , mdemircan@mgm.gov.tr

is examined using RH-test software developed by the joint CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). As a result, some breaking dates are in and only for eight stations on different dates and these breaking dates is related with relocation of observation site. Breaking dates resulting from homogeneity testing in many stations are 1997 (48 stations), 1993 (37 stations), 1976 (24 stations) and 1971 (11 stations). Deemed common breaking dates in many stations suggest that these are natural fractures of climate. For this reason, relationships between obtained breaking dates and teleconnection patterns and also climate indexes were examined.

Key words — Climate, RH-Test, Homogeneity, Metadata, Breaking point.

1. GİRİŞ

İklim kayıtları, uzun bir dönem boyunca toplanmış meteoroloji verileri üzerine kurulmuştur. İklim bilimcilerin bir kısmı, gözlem verilerindeki sürekliliğin, mutlak doğruluğundan (bu çok önemli değilse) daha önemli olduğu konusunu tartışmaktadırlar. Çünkü iklimin zaman bağımlı davranış izleri olan eğilimini ve değişimini gösteren, iklimsel risk etkileri ve ekstremlerin değerlendirilmesi için verilerdeki süreklilik önemlidir. Her durumda da iklim verisi, meteoroloji ve klimatoloji bilimlerini içeren bütün uygulamaların temel taşıdır (Akçakaya vd., 2013). Uzun dönem iklim gözlem sistemlerinin amacı, sürekli ve güvenilir veri ile bilgi toplamaktır. Veri, iklim servisleri uygulamalarındaki; iklim tanımlama, iklim çeşitliliğini gözleme, iklim değişikliğini belirleme, ulusal ekonomik gelişme, iklim araştırmalarını destekleme, modelleme, tahmin ve etkilerin önlenmesini içeren büyük çeşitliliğe hizmet eder. 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.

Eğim analizlerinin ilk basamağı türdeşlik analizleridir. Türdeş olmayan veri setleri istatistik çalışmalarda doğru sonuç vermezler. Türdeşliği bozuk olan veri serilerinde veribilgi (metadata) kullanılarak türdeşliğin sağlanması gereklidir. Veribilgi, veri hakkındaki veridir; yani üretilen veri hakkında gözlem zamanındaki değişimleri, alet veya üretim sistemlerini, algoritmaları, bakımı, değişimi, koordinatlarını ve çevresel koşulları içeren bilgidir. Veribilgi, gözlem yöntemlerini de içeren istasyonun tarihi bilgileridir. Önemli ekstrem hava olaylarının kayıtları da tutulmalıdır. Bu bilgiler veri kalitesi, devamlılığı ve türdeşliği çalışmalarında kullanıldığı için önemlidir. İklim değişebilirliği ve değişikliğini belirleme çalışmalarında kaliteli ve devamlılığı olan verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Akçakaya vd., 2013).

Türdeş iklim zaman serileri, değişimlerin iklimdeki değişimler ile ortaya çıktığı seriler olarak tanımlanır (WMO-TD No. 1186). Türdeşliği (homojenliği) sağlamanın en iyi, zor olmakla birlikte, gözlem çevresi ve sistemlerinin uygun yönetimlerle kayıtlarının tutulmasıdır (WCDMP 53; Akçakaya vd., 2013). Bunun yanı sıra, geçmiş verilerin kalitesi hakkında %100 emin olmak neredeyse imkânsız olduğu için, bir türdeşlik değerlendirmesi her zaman tavsiye edilir. Tavsiye edilebilecek tek bir iyi teknik yoktur. Bununla birlikte, şu dört adım sıkça takip edilmektedir: Veribilgi analizi ve kalite kontrolü, referans zaman serilerinin oluşturulması, kırılma noktasının belirlenmesi ve veri setinin uyarlanmasıdır. Farklı yaklaşımlar ile farklı gruplar tarafından geliştirilmiş ve uygulanan türdeşlik sınamaları şunlardır: Kruskal-Wallis Türdeşlik Sınaması, Buishand Sıralama Testi, Caussinus-Mestre Tekniği, Craddock Sınaması, Uzman Kararı Yöntemleri, Aletlerin Karşılaştırmaları, Türdeşlik İçin Serilerin Çoklu Analizi (MASH), Çoklu Doğrusal Regresyon, Pettit Test, Potter Yöntemi, Sıra-Düzeni Değişim Noktası Sınaması, Standart Normal Türdeşlik Sınaması, Trend-Durdurma Yöntemi ve benzerleridir.

Veribilgileri bir araya koyup istasyon tarihini oluşturarak, veri setinde ortaya çıkabilecek sorunlar ve ne zaman görülebileceği öngörülebilir. Bazı türdeşlik yaklaşımları sadece veribilgide kayıtlı kırılmaları kabul eder. Eğer ilk gözlemden son gözleme, veribilginin kesinlikle tam olduğuna inanılıyorsa, bu gerçekten iyi bir yaklaşımdır. Verideki türdeş olmayan düzensizlikler tespit edilmeye çalışırken, iklim ve hava dışındaki faktörlerin parmak izleri aranmaktadır. Bunun anlamı, herhangi bir türdeşlik sorunu için her zaman bir neden var demektir. Veribilgi mükemmel olursa, her zaman bu

neden tanımlanabilir ve bir zaman serisinde daha fazla kırılma noktası bulmak için herhangi bir istatistiksel yöntem çalışmaya gerek kalmaz (Akçakaya vd., 2013).

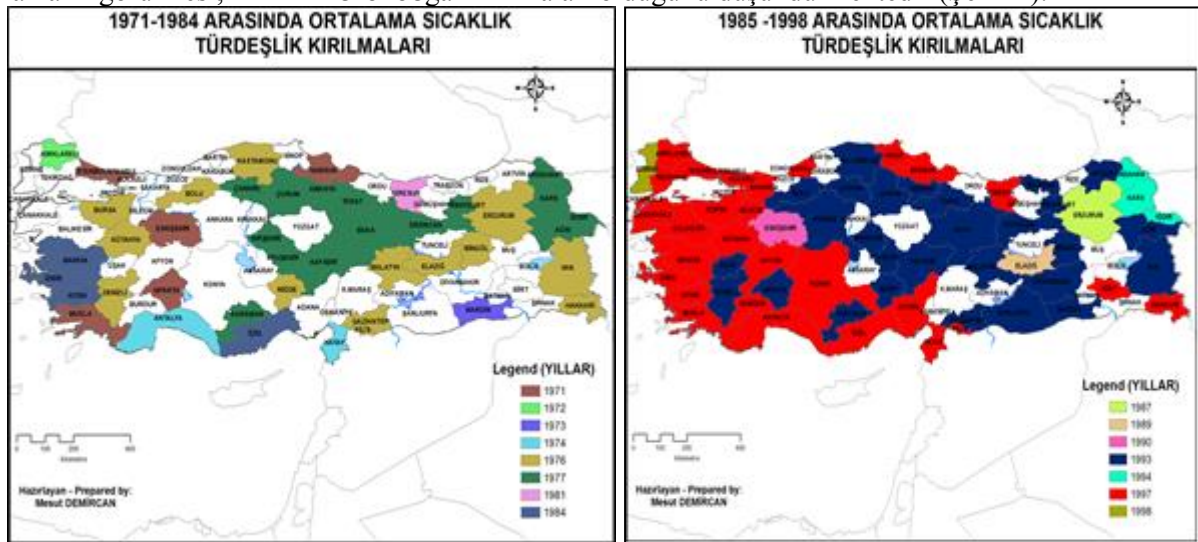
İklim uzun bir süre belli bir yerde yaşanan ortalama hava şartlarıdır. Klimatolojik normaller, iklimsel verilerinden hesaplan 30 yıllık birbirini takip eden dönemlerin ortalamalarıdır (Demircan vd. 2013; Demircan vd., 2014). İklim normallerinin kullanımı, küresel değerlendirme ve iklim izleme çalışmalarını hazırlamak için standart bir temel sağlamak için çok önemli bir araçtır. İklim referans dönemleri olan 1961-1990, 1971-2000 ve özellikle günümüzde 1981-2010 iklim normalleri olarak kullanılmaktadır.

2. METODOLOJİ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait Türkiye üzerinde dağılım gösteren 97 istasyonda yapılan sıcaklık ölçümlerinden, 1961-2010 dönemine için aylık ortalama sıcaklık veri seti 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 (ETCCDI) tarafından iklim indislerini belirlemek için R istatistik paketi altında çalışan RCLimDex ve verilerin türdeşliğini (homojenliğini) belirlemek için RH-Test yazılımları geliştirilmiştir (<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>). Çalışmada ETCCDI tarafından geliştirilen RH-Test yazılımı kullanılarak istasyonların veri setlerinin türdeşliği incelenmiştir. RH-Test yazılımı istasyon bazında, her bir istasyon için tek tek çalışmakta ve sonuçları bir dosya çıktısı olarak vermektedir. RH-Testin üretmiş olduğu dosyalardan elde edilen kırılma tarih verileri koordinatlı istasyon bilgileri olarak MS Office Excel programında sınıflandırılmıştır. Test sonucunda elde edilen tarihler ArcGIS 9.3 kullanılarak haritalanmış aynı zaman da bu tarihlerin iklim göstergeleriyle ilişkisi incelenmiştir. Ayrıca Türkiye ortalama sıcaklığı için Mann-Kendal testi uygulanmıştır.

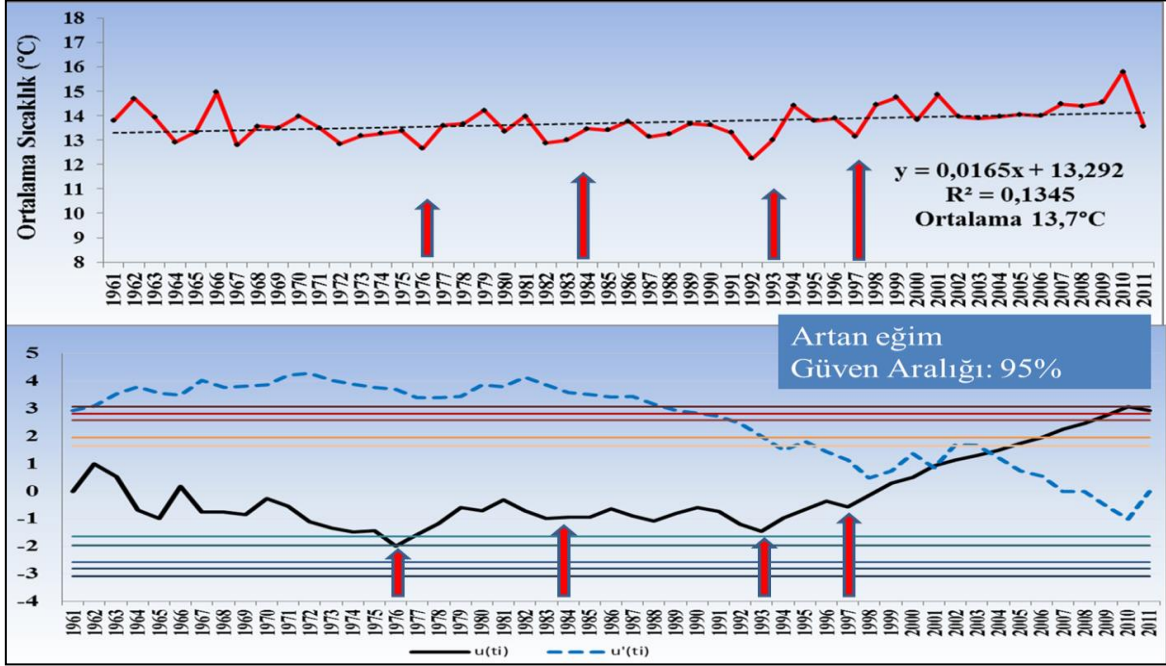
2. BULGULAR

RH-Test yazılımı kullanılarak istasyonların veri setlerinin türdeşliği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar istasyonların veribilgileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; istasyonların veri setlerindeki türdeşlik kırılma tarihleri (TKT), 9 istasyon için değişik tarihlerde sadece bu istasyonda kırılmış olup bu kırılma yer değişikliği ile ilişkilidir. Birçok istasyonun veri setinde yıllık bazda ortaya çıkan TKT'ler; 1971 (11 istasyon), 1973 (2 istasyon), 1974 (2 istasyon), 1976 (24 istasyon), 1977 (15 istasyon), 1984 (7 istasyon), 1987 (2 istasyon), 1993 (37 istasyon), 1994 (3 istasyon) ve 1997 (48 istasyon) olarak görülmektedir. Veri setlerinde görülen bu kırılma tarihlerinin birçok istasyonda eş zamanlı görülmesi, iklimin kendi doğal kırılmaları olduğunu düşündürmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. İstasyon veri setlerinin türdeşlik kırılma tarihleri dağılımı.

Veri setinden elde edilen Türkiye ortalama sıcaklığı için Mann-Kendal testi uygulandığında özellikle 1997 yılı ülkemiz için ortalama sıcaklıklardaki artışların başlangıç yılı olması dikkat çekicidir. Ortalama sıcaklık ve Mann-Kendal grafiklerinde test sonucu elde edilen ve bir çok istasyonun birlikte göstermiş olduğu TKT'lerin iz düşümlerini görmek mümkündür (Şekil 2).



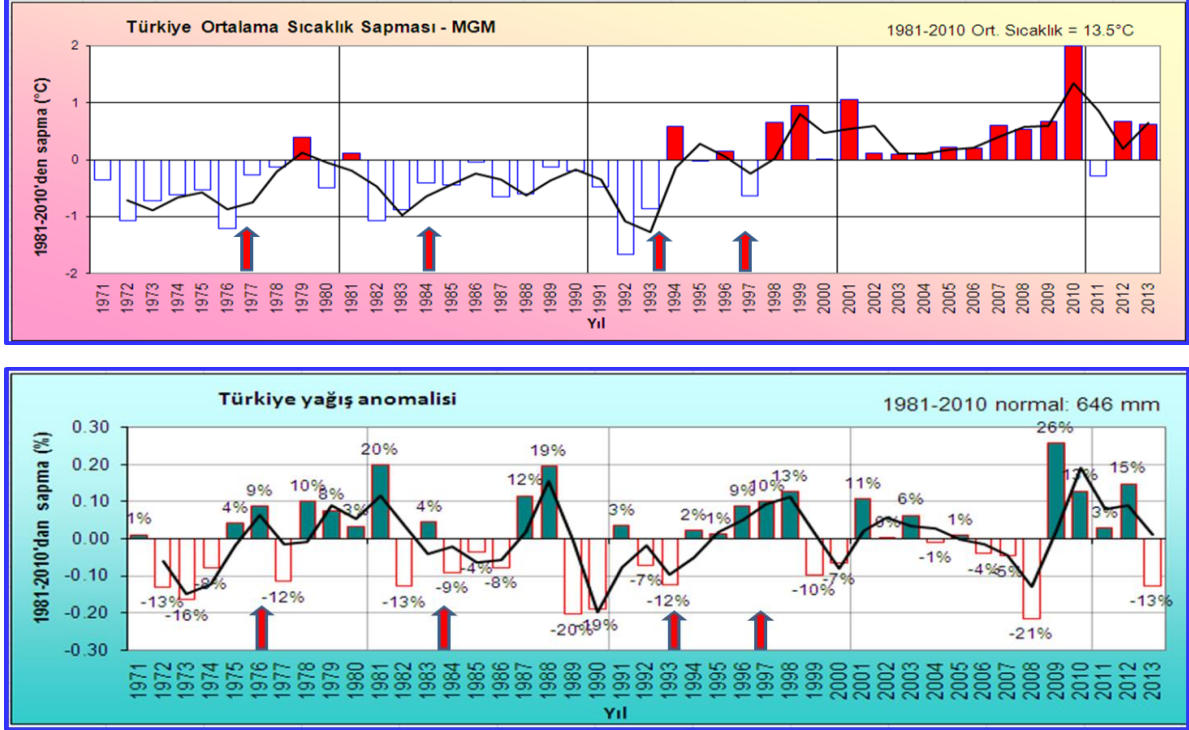
Şekil 2. Ortalama sıcaklık ve Mann-Kendal grafikleri (Demircan,M. vd.,2013).

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

Şekil 3. Ortalama sıcaklık normalleri ve 1961-2010 serisinin Mann-Kendal eğimleri 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.) (Demircan,M. vd.,2013).

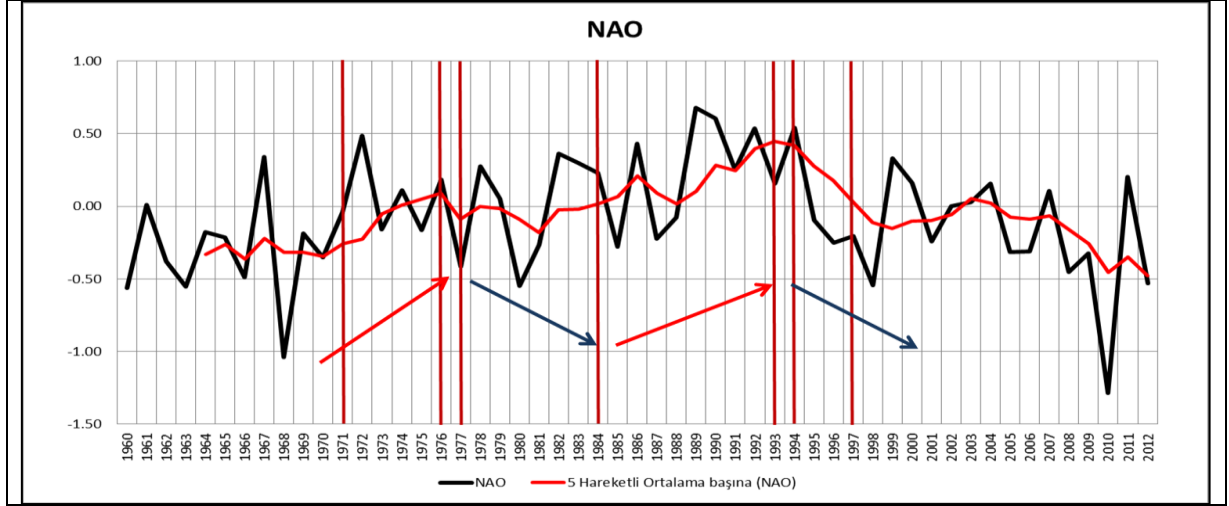
Demircan vd. 2013 yılında yapmış oldukları çalışmada 1976 yılına kadar bir soğuma (Şekil 2), 1961-1990 sıcaklık normalinde de anlamlı olmasa da bir azalış eğilimi (Şekil 3) gözlenmektedir. 1961-2010 serisi ve 1981-2010 normalinde kış mevsimi hariç tüm mevsim ile yıllık serilerinde ve 1971-2000 normalinde ise yaz ile yıllık serilerinde anlamlı artış eğilimi gözükmektedir.

Aynı şekilde 1981-2010 normallerine göre hazırlanan uzun yıllar ortalama sıcaklık ve yağış anomali grafiklerinde de TKT'lerin iz düşümleri görülmektedir (Şekil 4). Yukarıda anlatılan ile uyumlu olarak, 1981-2010 normaline göre yapılan değerlendirmede de 1971-1978 ve 1982-1993 yılları arasında ve 1997 yılında negatif anomaliler gözlenmektedir. Yağış grafiğinde TKT tarihlerine karşılık gelen anomalilerde pozitiften negatif anomaliye (yada tam tersi) geçişler ise dikkat çekicidir.



Şekil 4. Ortalama sıcaklık ve yağış anomali grafikleri (1981-2010 normallerine göre).

Uzak etkileşim (Teleconnection) atmosferik sirkülasyon desenleri için eğilimi ifade eder ve büyük ve uzamsal bitişik olmayan alanlar üzerinde doğrudan veya dolaylı hava koşulları ilişkili değişimlerdir. Uzak etkileşim zamanın uzun dönemleri boyunca devam edebilen iyi tanımlanmış uzamsal desenler ile karakterize edilir. Uzak etkileşimin kalıcı ve yinelenen doğası sebebiyle bazen "düşük frekanslı sirkülasyon değişkenlik modları" denir (Oliver, 2005). Kuzey Atlantik ve Batı Avrupa'da atmosferik dolaşımdaki yıllararası değişkenliğin önemli bir kaynağı, okyanus yüzeyinin batısındaki gücündeki değişiklikler ile bağlantılı olan, Kuzey Atlantik Salınımı (NOA) olarak adlandırılır (Marshall vd., 2001; Oliver, 2005). NOA'nın etkisi, Kuzey Atlantik ve Avrupa'nın içleri boyunca uzanır ve orta troposfer yüksekliği alanlarında görülmesine rağmen genellikle bölgesel deniz seviyesi basınç alanı üzerinden tanımlanır. NOA'nın genlik ve fazları, mevsimler arası ve on yıllararası zaman aralığı ölçeğinde değişim gösterir. NOA, tüm kuzey yarımküre dolaşımı, yani Arktik Salınımının (AO) değişiminin modunun liderliğine derinden bağlıdır. NOA'nın TKT'lerdeki değerleri; 1971 (0,01), 1973 (-0,09), 1974 (0,19), 1976 (0,19), 1977 (-0,34), 1984 (0,25), 1987 (-0,12), 1993 (0,18), 1994 (0,58) ve 1997 (-0,16)'dir (Şekil 5). Genel olarak NOA'nın pozitif – negatif (yada tam tersi) faz geçişlerin TKT ile uyumlu olduğu ve özellikle 1993 (37 istasyon) Anadolu'nun iç kesimlerinde, 1994 (3 istasyon) Kuzeydoğu Anadolu'da ve 1997 (48 istasyon) Anadolu'nun sahil kesimlerinde olduğu görülmektedir. Arktik Salınımında da aynı ilişki bulunmuş ancak NOA ile aynı özelliği göstermesi açısından grafiği konulmamıştır.



Şekil 5. Kuzey Atlantik Salınımı (NOA) yıllık değişimi.

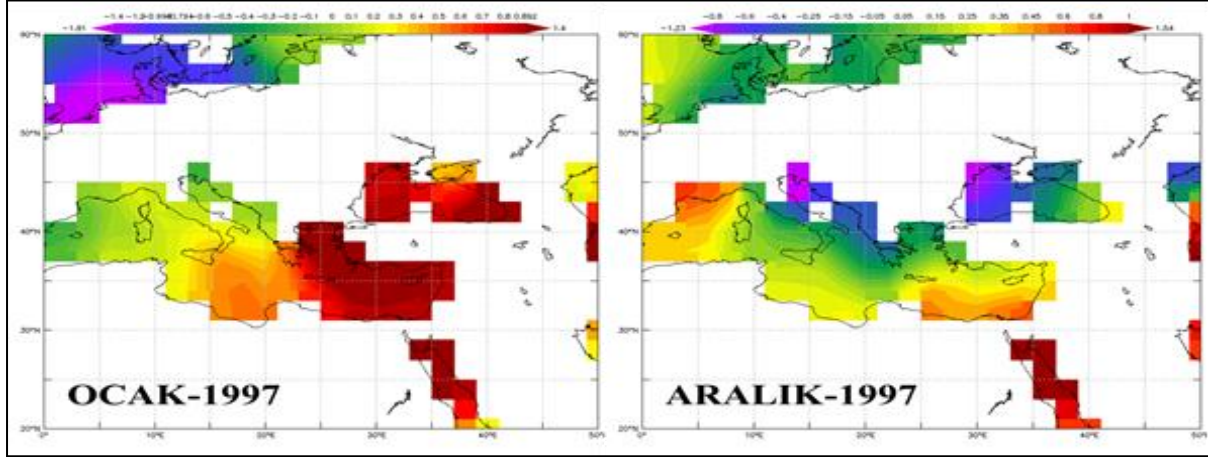
Güneyli Salınım ve sıcak El Niño suları, ENSO (El Niño-Güneyli Salınım) olarak nitelendirilen aynı iklim olayının bir parçasıdır. ENSO olayları, normal ya da soğuk (La Niña) koşullarda yüksek basıncın güneydoğu Pasifik üzerinde ve alçak basıncın Endonezya üzerinde yerleşmesi ve El Niño koşullarında Endonezya alçak basıncına bağlı yükselici hareketlerin orta Pasifik'e kayması ile tanınmaktadır. Normal ve El Niño koşullarındaki basınç dağılışı, bölgesel ortalama sıcaklık ve yağış koşullarındaki değişiklikleri yönlendirerek, rüzgar ve okyanus dalgalanmalarının değişimi ile sonuçlanmaktadır. 1982-1983 El Niño olayı, tarihsel kayıtlara göre ekonomik etkisi en büyük olan ENSO olayıdır. 1990'lı yıllarda (1990-1998) oluşan sıcak olayların ve özellikle 1997-1998 şiddetli El Niño'sunun da, en az 1982-1983 olayı kadar can ve mal kayıplarına ve ekolojik yıkımlara neden olduğu öngörülmektedir. Genel olarak ENSO yıllarına bakıldığında El Niño / La Niña faz geçişlerinde TKT ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bahsedilen 1982-1983 olayında TKT'de bir kırılma gözükmezken sonrasında 1984 yılında Türkiye'nin güneybatısında yer alan 7 istasyonda kırılma gözükmemektedir. Ayrıca, 1987 (2 istasyon) Konya ve Erzurum'da, 1993 (37 istasyon) Anadolu'nun iç kesimlerinde, 1994 (3 istasyon) Kuzeydoğu Anadolu'da ve 1997 (48 istasyon) Anadolu'nun sahil kesimlerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 1. El Nino ve La Nina yılları ile Türdeşlik Kırılma Tarihleri

Türdeşlik Kırılma Tarihleri	El Nino Yılları	La Nina Yılları
	1969-1970	
1971		1970-1971
		1971-1972
1973	1972-1973	
1974		1973-1974
1976		1975-1976
1977	1976-1977	
	1982-1983	
1984		
1987	1986-1987	
		1988-1989
1993	1991-1992	
1994	1994-1995	
1997		1995-1996
	1997-1998	

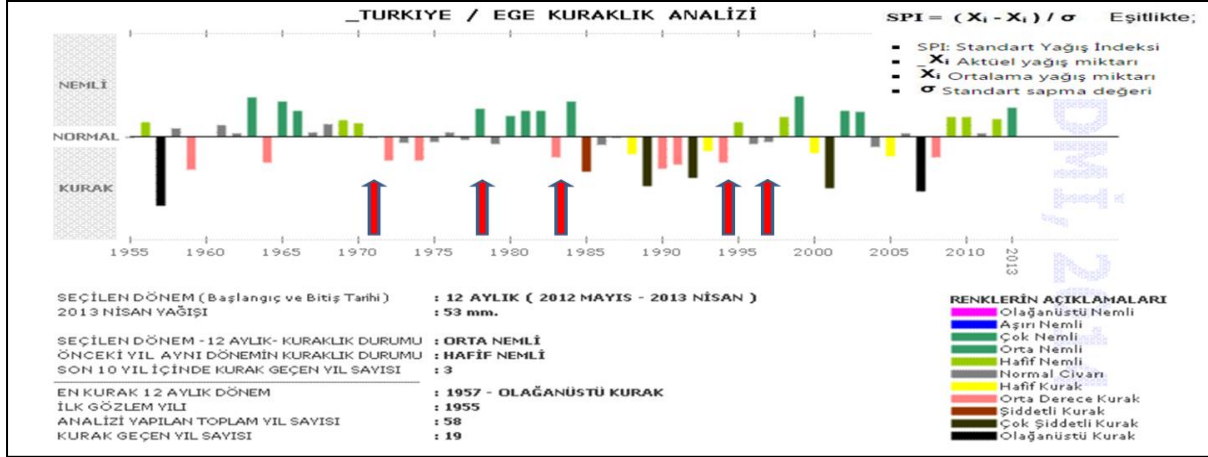
Bilindiği gibi iklim etkileyen etmenlerden bir tanesi de deniz suyu sıcaklıklarıdır. Ülkemizin ise üç tarafının denizlerle çevrili olması farklı iklim tiplerinin ortaya çıkmasının bir nedenidir. Bu nedenden dolayı deniz suyu sıcaklıkları ile TKT arasındaki ilişki de incelenmiştir. TKT'ler içindeki

desen farklılıklarının TKT'nin 1993 yılında karasal istasyonlarda, 1997 yılında ise kıyı kesimlerinde ortaya çıkmasının bir nedeni olduğu düşünülmektedir.



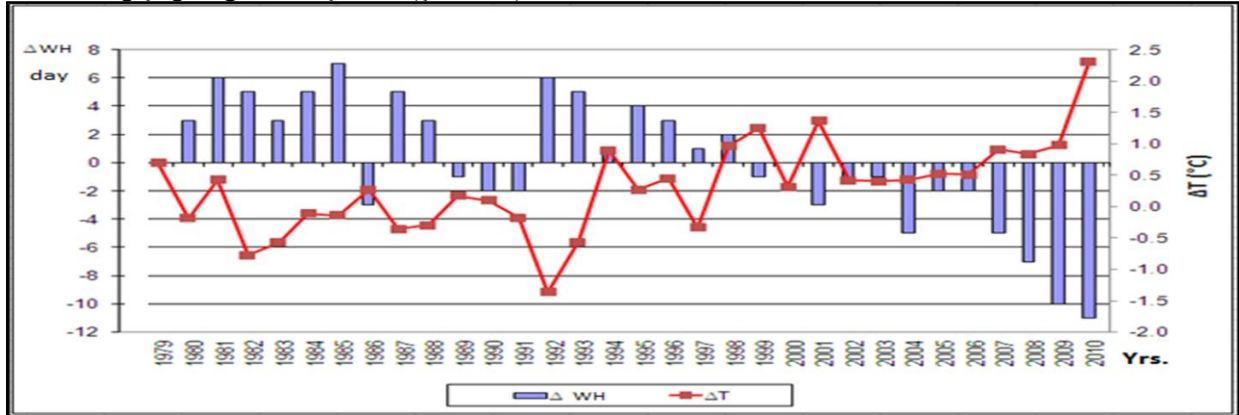
Şekil 8. 1997 yılı deniz suyu sıcaklıkları.

Standart Yağış İndeksi (SPI) ile yapılan kuraklık analizindeki yağışlı dönemlerden yağışsız dönemlere geçiş zamanları ile TKT'lerinin örtüşmesinin anlamlı olduğu düşünülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Standart Yağış İndeksi (SPI) kuraklık analizi (MGM).

Şensoy vd. 2014'te yapılan çalışmada iklim değişikliğinin bitkilerin fenolojik safhalarına olan etkileri incelenmiştir. Buğday başaklanma tarihleri ve ortalama sıcaklıkların sapması arasında ilişkiyi göstermişler ve buğday başaklanma tarihleri 1994'ten sonra değişen pozitif sıcaklık anomalileri ile aniden değiştiğini göstermişlerdir (Şekil 10).



Şekil 9. Türkiye'de buğday başaklanma tarihleri (BBT) ve ortalama sıcaklıkların sapması

3. TARTIŞMA VE SONUÇ:

İklim çalışmalarında iklim verilerinin eğim (trend) analizleri oldukça yer kaplamakta değişik istatistiki yöntemler kullanılarak yürütülmektedir. İklimin zaman bağımlı davranış izlerini gösteren bu çalışmalarda türdeşlik ve süreklilik önemlidir. Eğim analizlerinin ilk basamağı türdeşlik analizleridir. Türdeş olamayan veri setleri istatistik çalışmalarda doğru sonuç vermezler. Türdeşliği bozuk olan veri serilerinde veribilgi (metadata) kullanılarak türdeşliğin sağlanması gereklidir.

İklim verileri toplanırken ya da alınırken veribilgi setleriyle birlikte sağlanmalıdır. Böylelikle verideki değişimin iklimden mi yoksa gözlemnden mi kaynaklandığı anlaşılabilir. Aksi durumda veri setleri ile yapılan istatistik çalışmalarından yanlış çıkarımlar yapılması olasıdır.

Çalışmada türdeşlik testlerinin sadece veri setlerindeki bozuklukları değil aynı zamanda iklimde meydana gelen değişimleri de gösterebildiği sunulmuştur.

Bu tarihlerin başta ortalama sıcaklık ile yağış normalleri (1981-2010), uzak-etkileşim (teleconnection) salınımları, denizsuyu sıcaklıkları gibi iklim göstergeleri ve SPS kuraklık indisi, buğday başaklanma tarihleri gibi indisler ile incelenmiş ve uyumluluk gösterdikleri anlaşılmıştır.

Ortalama sıcaklıklarda elde edilen kırılma tarihleri yaklaşık son yarım asırda meydana gelen ve özellikle son yirmi yılda kendini belirgin bir şekilde gösteren sıcaklık artışında değişimin mihenk taşlarıdır.

İklim Değişikliği ile ilişkilendirilen sıcaklık artışlarının diğer iklim göstergeleri ile ilişkilendirilmesi ve bu ilişkilerin sonuçlarının detaylı incelenmesi gelecekte meydana gelebilecek artışların oluşturacağı değişimleri anlamamıza yardımcı olacaktır.

Referanslar

1. Akçakaya, A., Demircan, M., Sümer, M.U. ve Şensoy, S., İklim gözlemlerinin doğruluğu ile devamlılığını etkileyen faktörler ve türdeşlik testleri, 2013, Ankara
2. THE WCDMP "GUIDELINES" SERIES, WCDMP 52, Neil Plummer, (Terry Allsopp, José Antonio Lopez, ve Neil Plummer'ın katkılarıyla; Düzenleyen: Paul Llansó), WMO/TD No. 1185, WMO, 2003
3. THE WCDMP "GUIDELINES" SERIES, WCDMP 53, Enric Aguilar, (Enric Aguilar, Inge Auer, Manola Brunet, Thomas C. Peterson, and Jon Wieringa katkılarıyla; Düzenleyen: Paul Llansó), WMO/TD No. 1186, WMO, 2003
4. Demircan, M., Arabacı, H., Bölük, E., Akçakaya, A., And Ekici, M., "İklim normalleri: üç sıcaklık normalinin ilişkileri ve uzamsal dağılımları", III. Türkiye İklim Değişikliği Konferansı - TİKDEK 2013, 3-5 Haziran 2013, Bildiri Kitabı, İstanbul, Türkiye
5. Oliver J. E., Encyclopedia of World Climatology, 2005, Springer, (e-book) Berlin, syf:707, 132,
6. Eken, M., Ceylan, A., Taştekin, A.T., Şahin, H., ve Şensoy, S., Klimatoloji II, DMİ Yayınları Yayın No: 2008/4, 2008, Ankara, syf: 166-167.
7. Taştan, F., Türkiye Çevresindeki Denizlerin Su Sıcaklıkları Parametresinin İstatistiksel Analizi Raporu (1970-2012), MGM, 2013, Ankara
8. MGM, <http://212.175.180.197/bitkidon/kuraklikizleme.aspx>
9. Şensoy, S., Türkoğlu, N., Çiçek, İ., Phenological effects of climate change in Turkey, CCCD, 2014, İstanbul

Mevsimlik Sıcaklık Normallerinin (1971-2000) Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Yüksek Çözünürlüklü Veri Setinin Üretilmesi

Producing of high resolution data set of seasonal temperature normals (1971-2000) by using geographic information systems (GIS)

Mesut DEMİRCAN^{1*}, Necla TÜRKOĞLU², İhsan ÇİÇEK²

¹ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara

² A.Ü. DTCF Fakültesi Coğrafya Bölümü, Ankara

Öz: 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 1971-2000 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 tahmincileri olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, Türkiye genelinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 228 meteoroloji istasyonunda ölçülen yıllık ortalama sıcaklık değerleri, mekânsal dağılım, görselleştirilme ve enterpolasyonda kullanılmıştır. Ortalama sıcaklık normalleri, 1971-2000 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. 228 meteoroloji istasyonundan, 103 istasyonun sıcaklık verileri seçilerek ve çalışma sırasında kullanılmıştır. 125 istasyon doğrulama için ayrılmıştır. Yıllık ortalama sıcaklık (125 istasyon) gözlemleri ve tahmin edilen sıcaklık değerleri için maksimum minimum ve ortalama hatalar sırasıyla, 2.64, -3.17 ve -0.18°C ve ortalama karekök hatası (RMSE) 0,868 ve regresyon katsayısı (R^2) 0.94 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: 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; 1971-2000) 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 228 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 1971-2000 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 103 stations have been selected from 228 meteorological stations and used during the study. 125 stations were retained for validation. For observations and predicted temperature values of yearly mean temperature (125 stations); maximum, minimum and mean errors are respectively, 2.64, -3.17 and -0.18°C and root-mean-square-error (RMSE) is 0,868 and regression coefficient (R^2) is 0.94.

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

1.Giriş

* İletişim yazarı: M.Demircan , mdemircan@mgm.gov.tr

İklim oldukça geniş bir bölge içinde ve uzun yıllar değişmeyen ortalama hava koşullarıdır (Yalçın, G., vd., 2005; Eken, M., vd., 2008; Demircan, M., vd., 2013). Bir yerin iklimi, temel olarak enlemi, deniz seviyesinden olan yüksekliği ve okyanusa olan mesafesi ile belirlenir (Şensoy, S., ve Demircan, M., 2010; Demircan, M., vd., 2013). 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 (WMO No:100, 2011; Demircan, M., vd., 2013). 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; Demircan, M., vd., 2013) 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; Demircan, M., vd., 2013). 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; Demircan, M., vd., 2013). Bununla beraber, birçok eğilim bilgilerinin şu anda 1961-1990 normaline göre sunulmasına bakılmaksızın, 1971-2000 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: 1971-2000) (Wright, W., 2012; Demircan, M., vd., 2013). 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; Demircan, M., vd., 2013). 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. 1971-2000 döneminin tamamlanmasıyla birlikte ülkeler bu dönemi normaller için kullanmaya başlamışlardır.

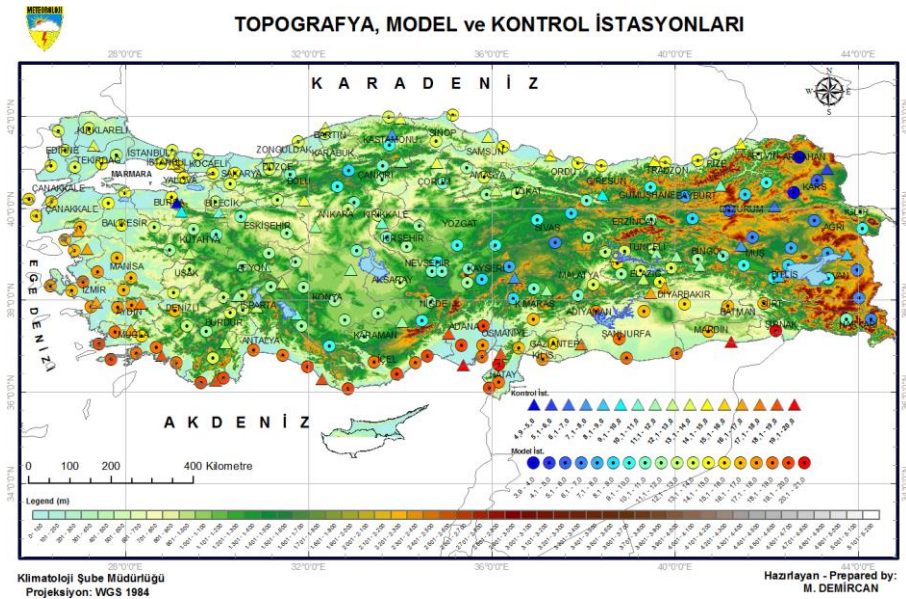
Meteorolojik veriler, gözlem maliyetleri ve topografyadan kaynaklanan sorunlar nedeni ile her yerde ölçülemezler. Bununla birlikte birçok sektör tarafından yapılan çalışma, analiz ve projelerde ise bu verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Demircan, M., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013). Geniş ve dağlık coğrafyası olan ülkelerde, gözlem istasyonları genellikle tüm ülkeyi kapsayamaz (Demircan, M., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013). 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 Geo-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., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013). 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. Bu amaçla sıcaklık ve yükseklik arasındaki ilişki kullanılabilir (Demircan, M., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013). 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 228 istasyonda yapılan ölçümlerden elde edilen mevsimlik ortalama sıcaklık verileri; mekânsal dağılımını ortaya çıkarmak, görselleştirme ve enterpolasyon için kullanılmıştır. Ortalama sıcaklık verileri, 1971-2000 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., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013). 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., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013). Serbest atmosferde dikey lapse rate ortalaması, mevsimlere ve coğrafi durumlara göre değişiklikler olmakla birlikte, 6°CKm-1'dir (Agnew ve Palutikof, 2000; Demircan, M., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013).

LR, yükseklik/rakım ile ilgili olarak hava sıcaklığını tahmin etmek için geliştirilmiştir (Li, L., ve Heap, A., D., 2008; Demircan, M., vd., 2013). 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; Demircan, M., vd., 2013). Bu, LR'nin çalışma bölgesi boyunca sabit olduğu varsayımına dayanır (Collins ve Bolstad, 1996; Li, L., ve Heap, A., D., 2008; Demircan, M., vd., 2013). LR'nin çeşitli varyantları hava sıcaklığı için öne sürülmüştür (Stahl vd., 2006; Li, L., ve Heap, A., D., 2008; Demircan, M., vd.,

2013). 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., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013). 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., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013);

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

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

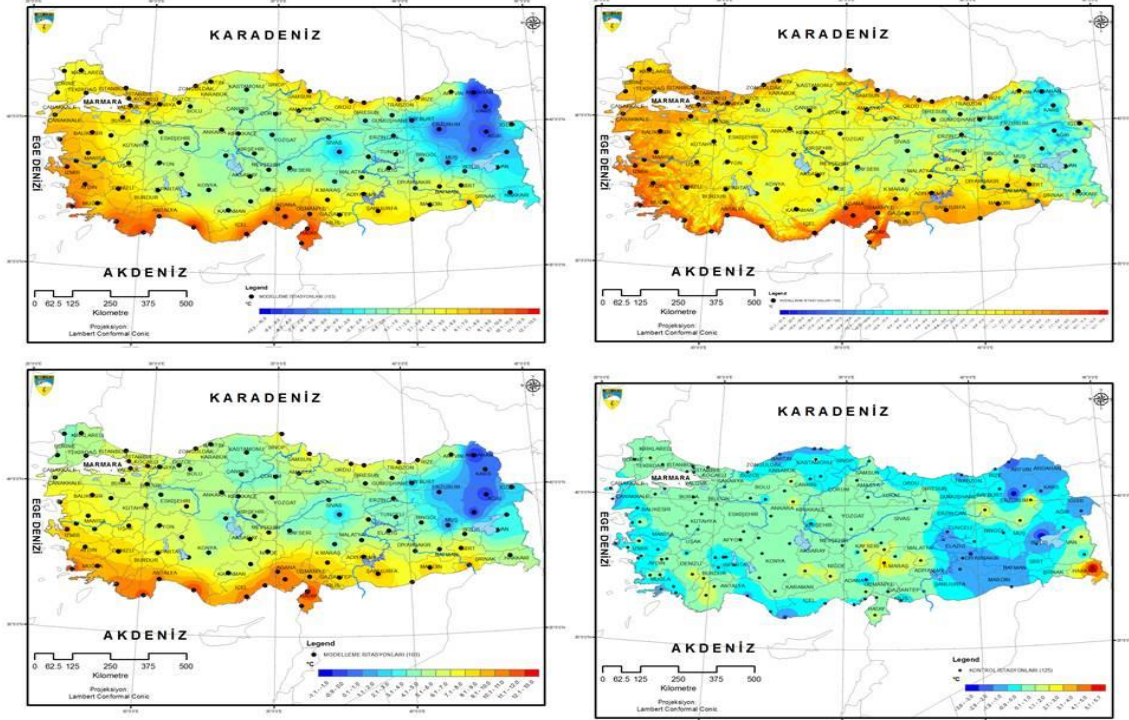
3. Bulgular

Uludağ ve çevresindeki istasyonların değişik zaman aralıklı sıcaklık verilerinin yükseklik ile değişim ilişkisine bakılarak kullanılacak LR oranı tespit edilmiştir (Demircan, M., vd., 2011; Demircan, M., vd., 2013). LR, regresyon katsayısı (R^2) 0.97 ile ortalama 5°CKm^{-1} olarak bulunmuştur. Çalışmada LR için bu değer kullanılmıştır.

1971-2000 periyodunda sıcaklık verileri olan 228 meteoroloji istasyonunun uzun yıllar, mevsimlik ortalamaları hesaplanmıştır. 228 meteoroloji istasyonundan 103 istasyon modelleme için kullanılmış, haritalandırılmış (Şekil 2,3,4,5) ve seçilen 125 istasyon doğrulama amaçlı olarak modelleme dışında bırakılmıştır. IDW yöntemi düzlemsel enterpolasyon yapmaktadır. Bu nedenden, seçilen istasyonların mevsimlik 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 (Şekil 2,3,4,5). 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 (Şekil 2,3,4,5). Elde edilen bu haritalardan, doğrulama için ayrılmış istasyonlara modellenmiş sıcaklık verileri yukarıda bahsedilen şekilde alınarak, bu istasyonların gözlemlenmiş sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış, farkları bulunmuş ve bu işlem

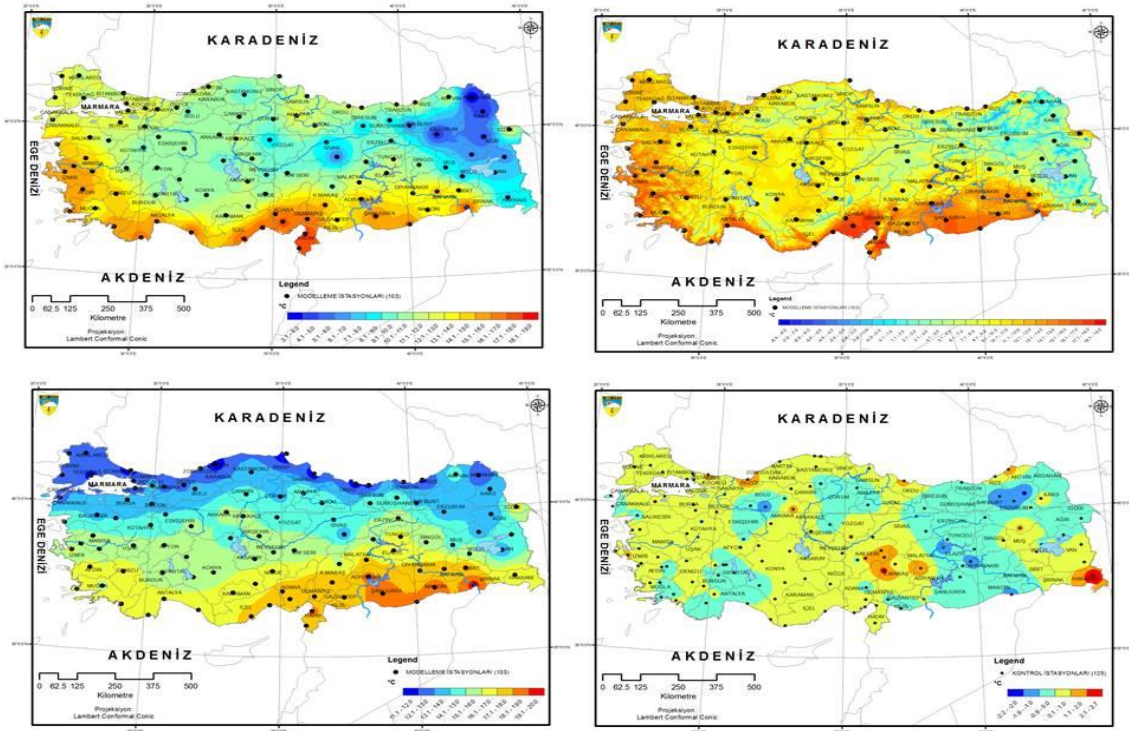
mevsimler için tekrarlanmış sıcaklıklardaki yıllık değişimin görülebilmesi için aynı gösteri kullanılarak haritalanmıştır (Şekil 2,3,4,5). Ortalama Karesel Hataları (RMSE) ve regresyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 1, Şekil 6).

Ortalama sıcaklıklar deniz seviyesine indirildiğinde sıcaklıkların şekillenmesindeki en büyük etken olan enlem etkisi ortaya çıkar ve sıcaklıklar enlemlere paralel kuşaklar oluşturur. Kış mevsimi modelleme çalışmasında ortalama sıcaklıklar deniz seviyesine indirildiğinde bu kuşakların belirgin bir şekilde oluşmamıştır (Şekil 2). Kış döneminde bu kuşakların oluşmaması ortalama sıcaklıkların şekillenmesinde baskın karakteri yurdumuzu bu dönemde sıkça ziyaret eden siklonların oluşturduğunu düşündürmektedir. Kış ortalama sıcaklıklarının modellenmesinde maksimum hata 5.70°C ile Yüksekova'da, minimum hata -3.60°C ile Ahlat'ta görülmüştür. Modellemenin ortalama hatası 0.03°C ile R^2 'si 0.94 ve modellemenin ortalama karesel hatası (RMSE) 1.24'tür (Tablo 1). Maksimum hatanın bu kadar yüksek çıkması modelleme de kullanılan Hakkâri'deki istasyon ile Yüksekova'daki istasyonun bu mevsimde farklı etkilere maruz kalmasından meydana geldiği düşünülmektedir.



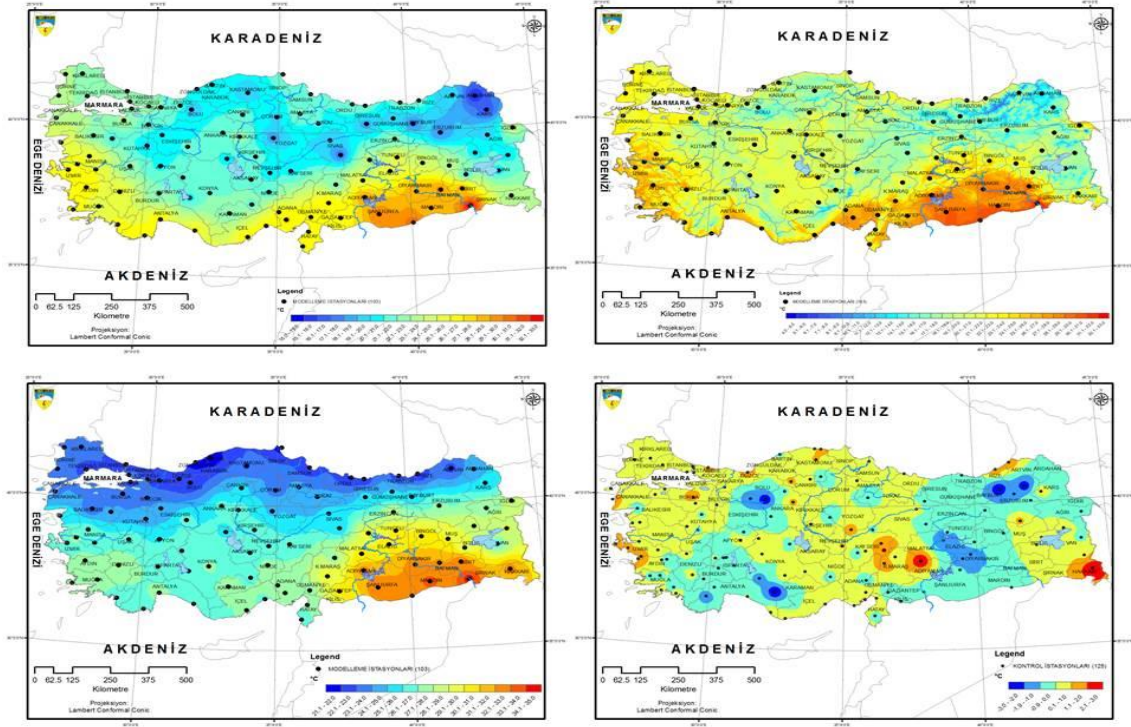
Şekil 2 Kış mevsimi ortalama sıcaklık normalleri dağılımı (sol üst). Kış mevsimi deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık dağılımı (sol alt). Kış mevsimi modellenmiş sıcaklık dağılımı (Sağ üst). Kış mevsimi modelleme hata dağılımı (Sağ alt).

İlkbahar döneminde enlemlere paralel kuşakların oluştuğu görülmektedir (Şekil 3). İlkbahar ortalama sıcaklıklarının modellenmesinde maksimum hata 2.65°C ile Yüksekova'da, minimum hata -2.15°C ile Oltu'da görülmüştür. Modellemenin ortalama hatası 0.18°C ile R^2 'si 0.94 ve modellemenin ortalama karesel hatası (RMSE) 0.85'tir (Tablo 1). İlkbahar mevsiminin hatalarının azaldığı ve kış mevsimine göre daha iyi modellendiği görülmüştür.



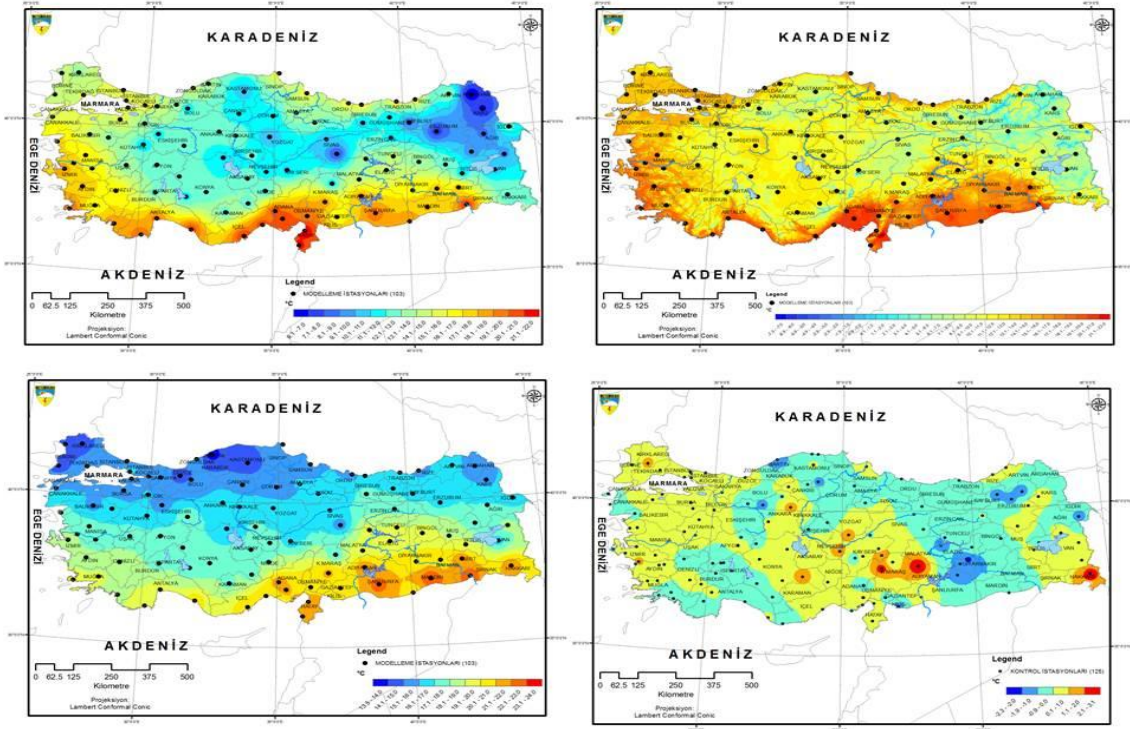
Şekil 3 İlkbahar mevsimi ortalama sıcaklık normalleri dağılımı (sol üst). İlkbahar mevsimi deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık dağılımı (sol alt). İlkbahar mevsimi modellenmiş sıcaklık dağılımı (Sağ üst). İlkbahar mevsimi modelleme hata dağılımı (Sağ alt).

Yaz döneminde enlemlere paralel kuşakların daha çok kuzeyde olduğu, güneyde ise ülkemize güneyden sokulan sıcak havanın (Karasal Tropik – cT) etkilediği ve bu kuşakları bozduğu görülmektedir (Şekil 4). Yaz ortalama sıcaklıklarının modellenmesinde maksimum hata 2.97°C ile Doğanşehir’de, minimum hata -2.96°C ile İspir’de görülmüştür. Modellemenin ortalama hatası 0.16°C ile R^2 ’si 0.89 ve modellemenin ortalama karesel hatası (RMSE) 1.09’dur (Tablo 1). Yaz mevsiminin de hatalarının azaldığı ve kış mevsimine göre daha iyi modellendiği görülmüştür.



Şekil 4 Yaz mevsimi ortalama sıcaklık normalleri dağılımı (sol üst). Yaz mevsimi deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık dağılımı (sol alt). Yaz mevsimi modellenmiş sıcaklık dağılımı (Sağ üst). Yaz mevsimi modelleme hata dağılımı (Sağ alt).

Sonbahar döneminde enlemlere paralel kuşakların oluştuğu görülmektedir (Şekil 5). Sonbahar ortalama sıcaklıklarının modellenmesinde maksimum hata 3.09°C ile Doğanşehir’de, minimum hata -2.29°C ile İspir’de görülmüştür. Modellemenin ortalama hatası 0.07°C ile R^2 ’si 0.94 ve modellemenin ortalama karesel hatası (RMSE) 0.96’dır (Tablo 1). Sonbahar mevsiminin de hatalarının azaldığı ve kış mevsimine göre daha iyi modellendiği görülmüştür.

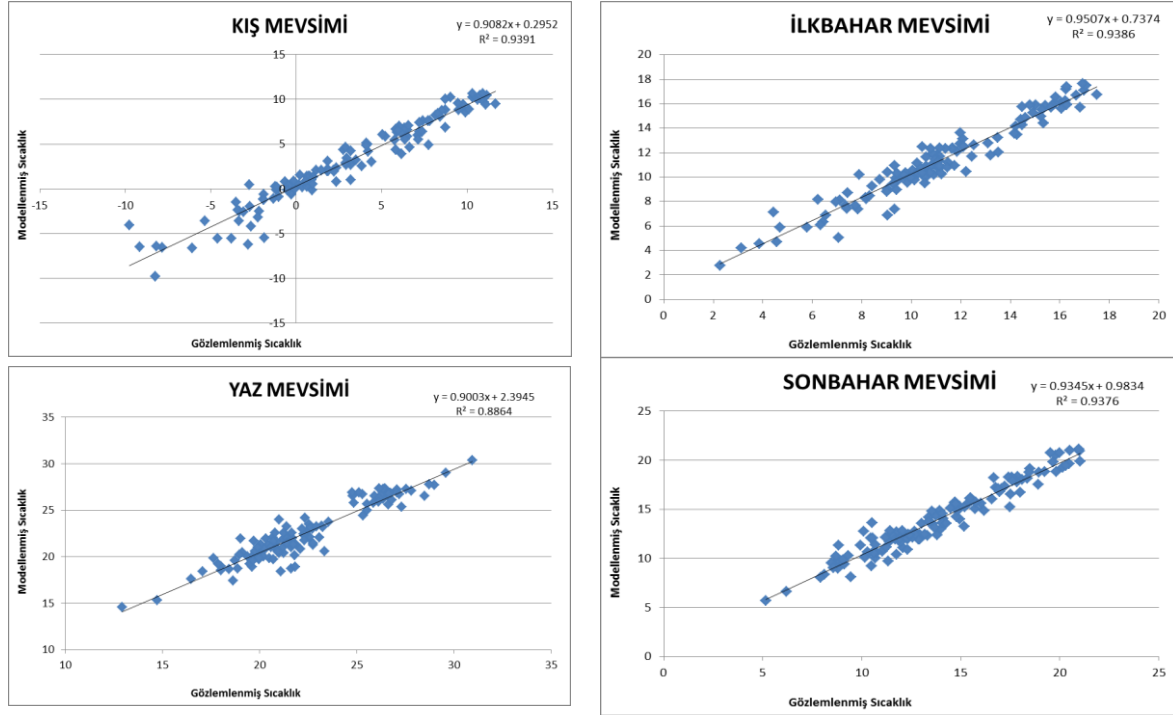


Şekil 5 Sonbahar mevsimi ortalama sıcaklık normalleri dağılımı (sol üst). Sonbahar mevsimi deniz seviyesine indirgenmiş sıcaklık dağılımı (sol alt). Sonbahar mevsimi modellenmiş sıcaklık dağılımı (Sağ üst). Sonbahar mevsimi modelleme hata dağılımı (Sağ alt).

Sonuçlara bakıldığında bahar mevsimleri ortalama sıcaklıklarının, kış ve yaz mevsimi ortalama sıcaklıklarına göre daha iyi modellendiği görülmüştür (Tablo 1). Bu durumun gerek kış gerek yaz mevsiminde Türkiye'yi etkileyen hava kütleleri ve sistemlerinin bu mevsimlerde daha kuvvetli ve baskın karakter oluşturması ile açıklanabileceği düşünülmektedir.

Tablo 1 RMSE, R^2 ve hata değerleri

1971-2000 Ortalama Sıcaklık Normalleri	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Maksimum Hata	5.70	2.65	2.97	3.09
Minimum Hata	-3.60	-2.15	-2.96	-2.29
Ortalama Hata	0.03	0.18	0.16	0.07
Ortalama Karesel Hata (RMSE)	1.24	0.85	1.09	0.90
R^2	0.94	0.94	0.89	0.94



Şekil 6 Gözlem sıcaklık ve model sıcaklık verilerinin ilişkisi

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu tür çalışmaların hepsinin başarısı doğru ve sık veriye dayanır (Demircan, M., vd., 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 1971-2000 sıcaklık normalleri atlas çalışmasında kullanılması planlanmaktadır.

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

Referanslar

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 Sensoy, 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, İ., 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, İ., and Sensoy, S., “Increasing resolution of temperature maps by using Geographic Information Systems (GIS) 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. Demircan, M., Arabacı, H., Bölük, E., Akçakaya, A., Şensoy, S., And Ekici, M., “İklim normalleri ve 1981-2010 sıcaklık normallerinin coğrafi bilgi sistemleri ile topografya kullanarak yüksek çözünürlüklü grid veri setinin üretilmesi”, 6. Atmosferik Bilimler Sempozyumu, 24-26 Nisan 2013, İTÜ, İstanbul – Türkiye. <http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/cbs-topografya.pdf>
14. Demircan, M., Arabacı, H., Bölük, E., Akçakaya, A., And Ekici, M., “İklim normalleri: üç sıcaklık normalinin ilişkileri ve uzamsal dağılımları”, III. Türkiye İklim Değişikliği Konferansı - TİKDEK 2013, 3 - 5 Haziran, 2013, İTÜ - Süleyman Demirel Kültür Merkezi, İstanbul – Türkiye. <http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim-normalleri.pdf>
15. 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
16. J.E.Oliver, R.W.Fairbridge at all, Encyclopedia of World Climate, 2005, Sayfa 448
17. 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>
18. C.D.Lloyd, Local Models for Spatial Analysis, 2007, Sayfa 98

Ankara'da Yağışın Dağılışının Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleriyle Analizi

Analysing of rainfall distribution in Ankara by Remote Sensing and Geographic Information Systems

Mesut DEMİRCAN¹, İhsan ÇİÇEK², Necla TÜRKOĞLU², Murat ARSLAN¹, Volkan C. DARENDE¹

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara

²A.Ü. DTCF Fakültesi Coğrafya Bölümü, Ankara

Öz: Bu çalışma ile yağışın, şehir içerisindeki dağılımını etkileyen etmenlerin araştırılmasında günümüz teknolojisinde sıklıkla kullanılan izleme araçlarından Uzaktan Algılama Yöntemi (UAY) araçlarından uydu ve RADAR görüntülerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları yardımıyla sayısal altlıklar haline getirilmesi amaçlanmıştır. İkincil olarak; yersel yağış ölçümleri ile uydu ve Radar'dan elde edilen ölçümler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Son olarak; bu ilişkilerin şehir altlığı üzerinde incelenerek, şehirleşmenin yağışın şehir üzerindeki dağılımını nasıl etkilediğini ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu çalışma sonuçları; başta şehir plancıları tarafından şehirlerin doğru geliştirilmesinde ve planlanması için, ayrıca günümüzde iklim ilişkili ve özellikle yağışa bağlı doğasal afetleri azaltma – önleme çalışmalarında bir girdi olacağı ön görülmektedir. Ayrıca yüz yolumuzun sorunu haline gelen iklim değişikliği ile mücadele kapsamında; önleme – azaltma – uyum üçlemesi ile yapılan çalışmalarda da etkin analiz yöntemleri için de bir altlık oluşturacaktır. Çalışma için 2010 yılı içindeki 18 Şubat, 6 Haziran, 7 Haziran, 28 Ekim ve 16 Aralık tarihlerinde meydana gelen yağış hadisesi Ankara için incelenmiştir. 6 Haziran 2010 tarihi için sinoptik durum, sayısal tahmin modelleri çıktıları, yersel gözlemler ve Radar PPI verileri elde edilmiş olup, ECMWF modeli çıktısı, Radar PPI verileri ve yersel gözlemler CBS ortamında haritalanmış ve analiz edilmiştir. 18 Şubat, 7 Haziran, 28 Ekim ve 16 Aralık tarihleri ise sayısal model çıktıları ve Radar PPI volüme çıktı haritaları ile analiz edilmiştir. Yapılan örnekleme analizlerde yağış bölgelerinin cephe sisteminin hareketine göre ilerlediği özellikle Ankara'nın doğusunda yoğunlaşmadığı görülmüştür. Örnekleme tarihlerindeki yağışı getiren sistemlerle birlikte Atmosferik Toz Tahmin Sistemi çıktılarındaki görülen toz taşınımı dikkat çekicidir. Yağışların oluşumunda yağışa neden olan sistemlerin, şehrin topografik yapısının ve Sahra Çölünden taşınan tozların daha etkin olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Uzaktan Algılama Yöntemi, Radar, Sayısal Model, Coğrafi Bilgi Sistemleri

Abstract: In this study, it is intended to investigate factors that is affecting distribution of rainfall within the city and Geographic Information Systems (GIS) tools are used to make digital layer from products of satellite and Radar which are today's commonly used monitoring tools in Remote Sensing Method (RSM). Secondly; it is intended to determine the relationship between surface rainfall measurements and remote sensing measurements which are obtained from satellite and radar. Finally; it is aimed to determine how urbanization is affected the distribution of rainfall over the city by examining these relationships on city base. It is proposed that results of this study can be primarily an input for city planners for correctly improving and planning of cities and also for reduction - prevention studies against to natural disasters which are related to the climate and especially depending on rainfall. Furthermore, it can be provided a base within the scope of coping studies which are made with the trilogy of prevention, mitigation and adaptation against to climate change that has

* İletişim yazarı: M.Demircan , mdemircan@mgm.gov.tr

become a problem in our century. For the study, precipitation events which are occurred in Ankara are examined on February 18, June 6, June 7, October 28 and December 16 in the year 2010. For the date of June 6 in 2010, synoptic situation, output of numerical prediction models, surface observations and Radar PPI data have been obtained and ECMWF model outputs, Radar PPI data and surface observations have been mapped in the GIS and analyzed. For February 18, June 7, October 28 and December 16, numerical model and Radar PPI volume output maps have been analyzed. In the sample analysis it is observed that rainfall zones have moved according to the movement of the frontal system and they are not concentrated especially in the east parts of Ankara. In sampling dates, it is interesting to consider that the dust transportation along with frontal systems which are brings rainfall is observed in Atmospheric Dust Forecasting System maps. It is thought that the systems which are cause precipitation, topographical structure of the city and dust transportation from the Saharan Desert have been more effective in the formation of precipitation. It is thought that this study can be a base and roadmap for these and similar types of studies in respect of revealed by the methodology in data sources, data access and arranging data.

Keywords: Remote Sensing Method, Radar, Numerical Model, Geographical Information Systems

1. GİRİŞ

Nüfus artışına bağlı olarak giderek artan şehirleşme, şehir ve yakın çevresindeki meteorolojik koşullar ile iklim üzerinde önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Şehirlerde ısıtma, trafik, sanayi sebebiyle artan enerji tüketimi, asfalt, beton gibi yapay örtüler, yüksek binaların ve bunlar arasında kalan caddelerin oluşturduğu şehir kanyonları, azalan yeşil alanlar, iklim farklılaşmalarına neden olmaktadır (Çiçek, İ., 2004).

Chadler (1965) şehirlerin yağış üzerindeki olası etkisini artan yüzey engebeliliği nedeniyle oluşan mekanik türbülans, şehir ısı adasından kaynaklanan ek hissedilebilir ısı ve şehir havasındaki yoğunlaşma çekirdeklerinin fazlalığı olmak üzere üç ana başlık altında toplamıştır. Benzer bulgular Büyükşehir Meteoroloji Deneyi (Metropolitan Meteorological Experiment, METROMEX) projesi kapsamında yapılan çalışmalarda da saptanmıştır (Changnon vd., 1976). Şehir klimatolojisi üzerine yapılan en ayrıntılı araştırmalardan biri olan METROMEX projesi kapsamında yapılan çalışmalarda, St. Louis'de, şehir etkisinin yaz yağışlarında, şiddetli sağanak yağışlarda (>25 mm), oraj ve dolu yağışlarında istatistiksel olarak anlamlı artışlar gösterdiği saptanmıştır (Changnon vd., 1976). METROMEX verilerinin analizi sonucunda sağanak yağışların şehir merkezinde özellikle rüzgâr altı alanlarda yoğunlaştığı ortaya çıkmıştır. Londra'da 1950 yıllarda kurulan 200 civarındaki yağışölçer ve Radar gözlemleri ile şehirlerin konveksiyonel bulutların gelişimi üzerindeki etkisi ve bu bulutların izlediği yol Atkinson (1971) tarafından da tespit edilmiştir. Bu çalışmada da konveksiyonel bulutların şehir merkezinde hızla geliştiği ancak konveksiyonel yağışların Londra'nın daha çok doğu kesimlerinde düştüğü belirlenmiştir.

İklim değişimi birçok atmosfer bileşeninin karşılıklı etkileşimi sonucunda meydana gelmektedir (KARAKUYU, M., 2002). Bileşenlerden birinde meydana gelen bir değişiklik zamanla diğerine sıçramakta ve bu etki, bir zincirin halkaları gibi, bir süre sonra ekosistemin tüm bileşenlerine yayılmaktadır. İnsanoğlu bu zincirin halkaları ile daha yakından ilişkili olduğu için çok daha önceleri başlayan bu iklim değişimini fark edememiştir. Ancak özellikle son 50 yılda, iklimin diğer yıllara göre anormal olarak değiştiğini gösteren pek çok gösterge ortaya çıkmıştır. Küresel boyutta ortalama hava sıcaklığındaki artışlar, kutuplar ve kara içlerinde yüksek alanlardaki daimi buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, kuraklık, taşkınların ve aşırı yağışların sıklıklarında ve büyüklüklerinde artışların görülmesi bu göstergelerin en önemlileridir.

Son yıllardaki ülkemize ait yağış verileri incelendiğinde, düzensiz bir dağılışı görülmektedir. Diğer taraftan yıllar itibariyle günümüze yaklaştıkça taşkınlardan dolayı meydana gelen can ve mal kayıplarında da artışlar gözlenmektedir. Bunun temel sebepleri ise yıllara göre artan nüfus yoğunluğu, yanlış yerleşim ve çarpık yapılaşma olarak gösterilebilir.

Birçok şehir plancısı ve şehir coğrafyacısı yağmur sularının ve yüzey sularının şehir hayatına ve şehir alt yapısına verdiği zararları ve bunlardan korunma yollarını araştırmaktadırlar. Bunun yanında şehir içindeki suyun hareketliliği ve akarsulara nasıl karıştığı şehrin kurulması sırasında

dikkat edilecek en önemli faktörlerdir. Şehir çevresindeki akarsu havzası ve kanalizasyon sistemi planlanırken, sağanak yağışların, su baskınlarının ve sellerin olabileceği ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Şehir alanında sağanak yağışlardan sonra akım 2,5 kat artarken, buna kanalizasyon sularının da eklenmesiyle akarsuyun akımındaki artış yaklaşık 8 kata ulaşmaktadır.

Birincil amaç; yağışın, şehir içerisindeki dağılımını etkileyen etmenlerin araştırılmasında günümüz teknolojisinde sıklıkla kullanılan izleme araçlarından Uzaktan Algılama Yöntemi (UAY) araçlarından uydu ve Radar görüntülerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları yardımıyla sayısal altlıklar haline getirilmesidir. İkincil olarak; bu altlıkların şehir imar planı, şehir topografyası, yersel yağış ölçümleri ile uydu ve Radar'dan elde edilen ölçümler arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Son olarak; bu ilişkilerin şehir altlığı üzerinde incelenerek, şehirleşmenin yağışın şehir üzerindeki dağılımını nasıl etkilediğini ortaya koymak amaçlanmıştır.

Bu çalışma sonuçları; başta şehir plancıları tarafından şehirlerin doğru geliştirilmesinde ve planlanması için, ayrıca günümüzde iklim ilişkili ve özellikle yağışa bağlı doğasal afetleri azaltma – önleme çalışmalarında bir girdi olacağı ön görülmektedir. Ayrıca yüz yılımızın sorunu haline gelen iklim değişikliği ile mücadele kapsamında; önleme – azaltma – uyum üçlemesi ile yapılan çalışmalarda da etkin analiz yöntemleri için de bir altlık oluşturacaktır. Bu çalışma ile birbirinden farklı ölçüm, izleme ve değerlendirme sistemlerinin birlikte kullanılabilmesi için bir örnek çalışma da geliştirilmiş olacaktır.

2. METODOLOJİ

Çalışma bölgesi olarak Ankara ili ve örnek olay için 6 Haziran 2010 tarihi seçilmiştir. Ankara il sınırları içerisindeki ve yapılacak yersel ölçümlerin (YÖ) alansal enterpolasyon haritalarının daha sağlıklı olması için Ankara'yı çevreleyen illerdeki gözlem istasyonlarına ait meteorolojik parametrelerden yağış, sıcaklık, nem verileri saatlik ve aylık olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi (TÜMAS)'nden elde edilmiştir.

Çalışma bölgesi içerisinde yer alan MGM'nin Elmadağ Radarına ait PPI verileri TÜMAS'dan elde edilmiştir. Bu veriler ham formatta olduğu için bu verilerin alfa-sayısal veri (.txt) formatındaki dosyalara dönüştürülmesi için MGM Tahminler Dairesi Başkanlığı Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü personeli Yük. Bilgisayar Müh. Murat Arslan tarafından yazılan bir program kullanılmıştır. Ayrıca text formatındaki dosyaların MS Ofis Excel formatındaki dosyalara dönüştürülmesi için MGM Gözlem Sistemleri Dairesi Başkanlığı Etüd Planlama Şube Müdürlüğü personeli Yük. Ziraat Müh. Volkan C. Darande tarafından bir program yazılmıştır.

Çalışmada kullanılan sinoptik kartlar linkteki siteden elde edilmiştir “<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>”.

Çalışma alanında meydana gelen yağışın sınırlarını ve tahmin modeli sonuçlarının gerçekleşen gözlemler ile ilişkisini incelemek için Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF)'nin tahmin ürünü indirilmiştir. Bu ürünler veri boyutlarının çok büyük olması sebebiyle sayısal grip yada netcdf formatında elde edilebilmektedir. Bu verinin kullanılabilmesi için grip veri formatı Integrated Data Viewer (IDV) programı (<http://www.unidata.ucar.edu/software/idv/>) kullanılarak MS Ofis Excel formatına dönüştürülmüştür.

Çalışma alanında meydana gelen yağışın oluşumuna etki edecek toz etkileşimini incelemek için Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8b iki versiyonu (BSC-DREAM8bv2.0 Atmospheric Dust Forecast System) modelinin çıktıları resim olarak indirilerek kullanılmıştır.

Çalışma alanında meydana gelen yağışın kaynağını irdeleyebilmek için Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'nın Hava Kaynakları Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş Hibrid Tek Parçacık Lagrange Entegre Yörünge Modeli (HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) kullanılmıştır. HYSPLIT modeli, “http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php” internet adresinde istasyon koordinatı verilerek geçmiş yörünge (backtrajectory) koşturulmuş ve sonuçlar indirilmiştir.

Çalışma alanı ve seçilen örnek olay için YÖ'den alınan meteorolojik parametreler, Uzaktan Algılama (UA) radar ürünlerinden PPI ürünü, ECMWF'den alınan tahmin, HYSPLIT modelinden eski yörünge sonuçları ArcGIS9.3 ile haritalandırılmıştır.

3. ANALİZLER

3.1 Örnek Çalışma Tarihine Ait Sinoptik Durum ve Tahminler

2010 yılı ekstrem hava olayları incelenmiş ve 18 Şubat 2010'da Beypazarı'nda dolu, 6 Haziran 2010'da Güvercinlik, Esenboğa ve Ankara Bölge Müdürlüğü'nde dolu, 7 Haziran 2010'da Polatlı'da yağış ve sel, 28 Ekim 2010'da Ankara Bölge Müdürlüğü'nde yağış ve sel ile 16 Aralık 2010'da Kızılcahamam'da yağış ve sel hadiseleri gözlemlendiği görülmüştür. Çalışma alanı içerisinde üç merkezde birden dolu kaydı olması ile haziran ayının daha çok kararsızlık yağışların görüldüğü bir ay olması ve kararsızlık yağışların bölgesel etkileri daha iyi göstermesi nedeni 6 Haziran 2010 çalışma tarihi olarak seçilmiştir.

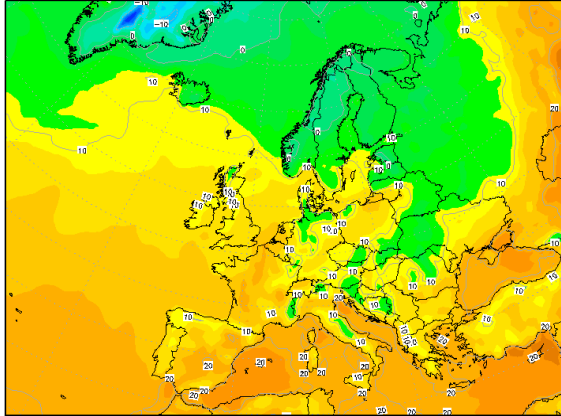
Örnek çalışma tarihi 6 Haziran 2010 tarihindeki atmosferin sinoptik durumu ortaya koymak için "http://www.wetterzentrale.de/topkarten/" internet adresinden indirilen yer 2m sıcaklığı, yağış, 850mb ile yer basıncı ve 500mb bütünleşik kartları incelenmiştir.

Yer 2m Sıcaklık kartları incelendiğinde;

04:00 (01Z) saatinde Ankara-Konya üzerinde merkezlenen 15-18°C sıcak hava girişi, Ankara'nın batısında Eskişehir-Afyon'a doğru Karadeniz'den 10°C soğuk hava akışı görülmektedir (Şekil 1). 10:00 (07Z) saatinde Ankara-Konya üzerinde merkezlenen sıcak hava girişi 24-27°C aralığına, Ankara'nın batısında Eskişehir-Afyon'daki soğuk hava ise 18-21°C aralığına yükselmiştir. 16:00 (13Z) saatinde Ankara-Konya üzerinde merkezlenen sıcak hava girişi 30°C'ye yükselmişken, Ankara'nın batısında Eskişehir-Afyon'daki soğuk hava ise 20°C' de kalmıştır (Şekil 3). 22:00 (19Z) saatinde Ankara-Konya üzerinde merkezlenen sıcak hava Konya üzerine doğru geri çekilerek merkezlenmiş ve Konya'da 18-21, Ankara'da 18-21°C aralığına ve Ankara'nın batısında Eskişehir-Afyon'daki soğuk hava ise 9-12°C aralığına gerilemiştir (Şekil 2).

06JUN2010 01Z

2m Temperatur (Grad C)

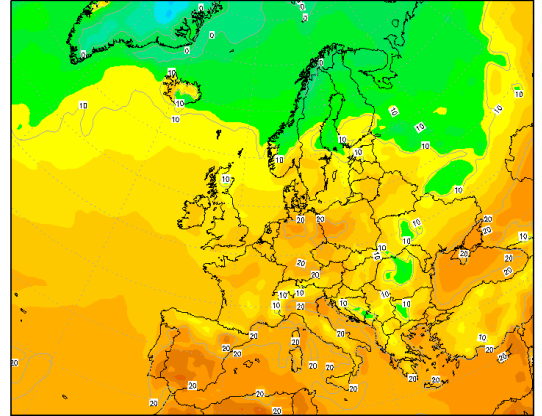


Daten: CFS Reanalysis
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Şekil 1. 04:00 (01Z) 2m sıcaklık dağılımı.

06JUN2010 19Z

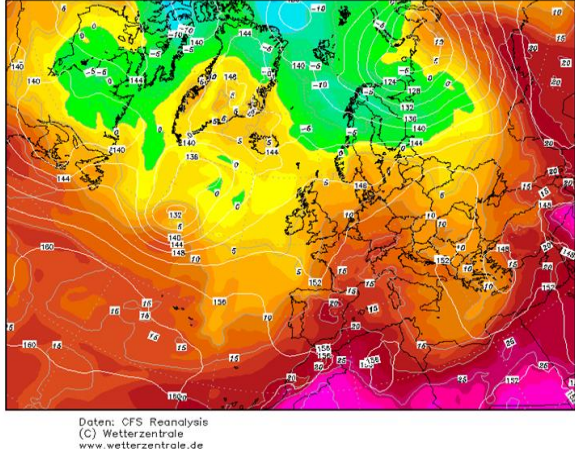
2m Temperatur (Grad C)



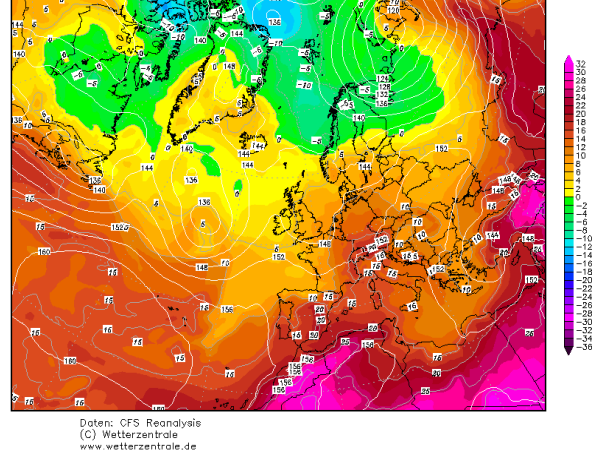
Daten: CFS Reanalysis
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Şekil 2. 22:00 (19Z) 2m sıcaklık dağılımı.

850mb seviyesi yüksekliği ve sıcaklığı incelendiğinde; 03:00 (00Z) 850mb kartında Ege bölgesi üzerinde 1480m yüksekliğinde ve 10°C sıcaklığında bir alçak merkez yer almakta, Kıbrıs, Anamur üzerinden Ankara'ya kadar bir sırt girişi 20°C sıcaklık ile yer almakta ve Ankara'nın doğusunda 12°C Karadeniz'den bir soğuk hava akışı ile alçak merkez uzanmakta ayrıca Güneydoğu Anadolu Bölgesi üzerinden 26°C sıcaklık girişi mevcuttur (Şekil 5). 09:00 (06Z) 850mb kartında 03:00 (00Z)'e göre hava kütlelerinin konuşlanmasında bir değişiklik olmazken sıcaklıklarda 1-2°C artış söz konusudur (Şekil 3). 00Z'te Türkiye'nin doğusundan giren sıcak hava ve alçak basınç Anadolu'nun şeklini alarak Ege'ye kadar uzanmıştır (Şekil 2).

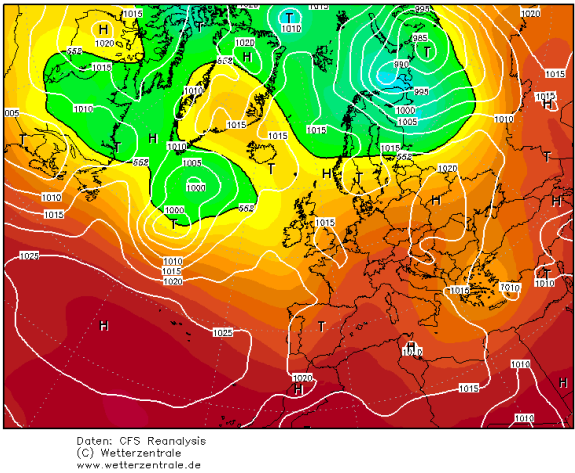
06JUN2010 00Z
850 hPa Geopot. (gpdam) und Temperatur (Grad C)

Şekil 3. 03:00 (00Z) 850mb seviyesi yüksekliği ve sıcaklığı.

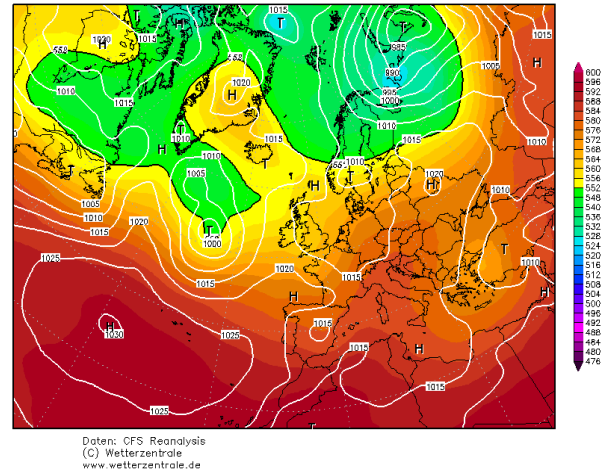
06JUN2010 12Z
850 hPa Geopot. (gpdam) und Temperatur (Grad C)

Şekil 4. 15:00 (12Z) 850mb seviyesi yüksekliği ve sıcaklığı.

500mb seviyesi yüksekliği ve birleştirilmiş yer seviyesi basınç haritası incelendiğinde; 03:00 (00Z) Yer basınç eğrilerinde Karadeniz'in batısında Balkanlar üzerinde bir yüksek basınç merkezi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden alçak basınç kuşağı girişi görülmektedir. 500mb'da Ege Denizi üzerinde Baltık Denizi'nden sarkarak merkezlenen alçak basınç, İtalya üzerinden Orta Avrupa'ya ve Doğu Anadolu üzerinden Kafkaslara uzanan bir yüksek basınç girişi mevcuttur (Şekil 5). 15:00 (12Z) Yer basınç eğrilerinde yukarıda bahsedilen yüksek basınç merkezi zayıflamış ve alçak basınç kuşağı Marmara Bölgesi hariç Türkiye'yi kaplamış ama 500mb'da önemli bir değişiklik görülmemektedir (Şekil 6).

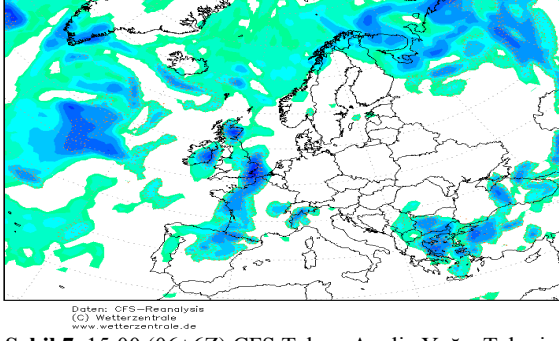
06JUN2010 00Z
500hPa Geopotential (gpdam), Bodendruck (hPa)

Şekil 5. 03:00(00Z) 500mb seviye yüksekliği ve yer seviyesi basıncı.

06JUN2010 12Z
500hPa Geopotential (gpdam), Bodendruck (hPa)

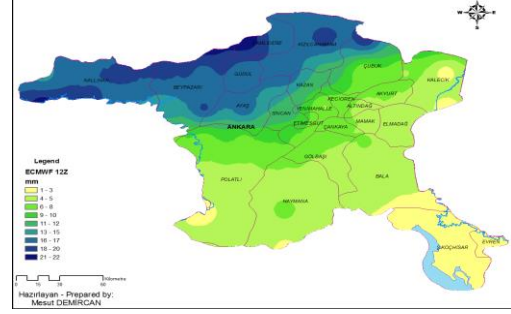
Şekil 6. 15:00(12Z) 500mb seviye yüksekliği ve yer seviyesi basıncı.

CFS Tekrar Analiz Yağış Tahmini incelendiğinde; 09:00 (00+6Z) tahmininde Ege Denizi'nde yağışın merkezlendiği ve Selanik ve Çanakkale arasında ise etkili olacağı görülmektedir. Çalışma bölgesinin ise kuzey ve kuzey batısında yağış beklentisi görülmektedir. 15:00 (06+6Z) tahmininde Bursa ve çevresinde yağışın etkisinin arttığı ve çalışma bölgesi üzerinde yağış beklentisi görülmektedir (Şekil 7). 06.06.2010 tarihi 15:00 (12Z) ve 21:00 (18Z) için ECMWF tarafından üretilen tahmin Türkiye için indirilerek Birleştirilmiş Veri Görüntüleyici (IDW) aracılığıyla grip formatından MS Ofis Excel formatına dönüştürülüp ArcGIS 9.3 programı ile Ankara için üretilmiştir. Yağış tahminine göre; Ankara'nın kuzey yarısında etkili olacak yağış beklenilmektedir (Şekil 8).

06JUN2010 06Z
T+6h-Niederschlag in mm (rot = Konvektion)

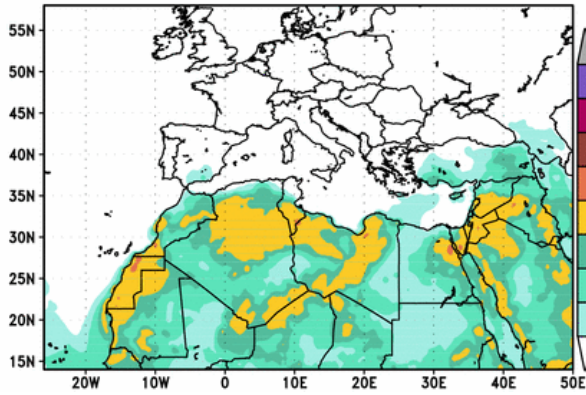
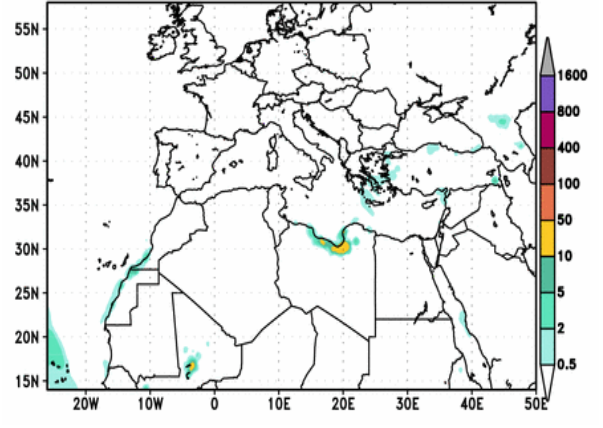
Şekil 7. 15:00 (06+6Z) CFS Tekrar Analiz Yağış Tahmini.

ECMWF TOPLAM YAĞIŞ TAHMİNİ (12Z)



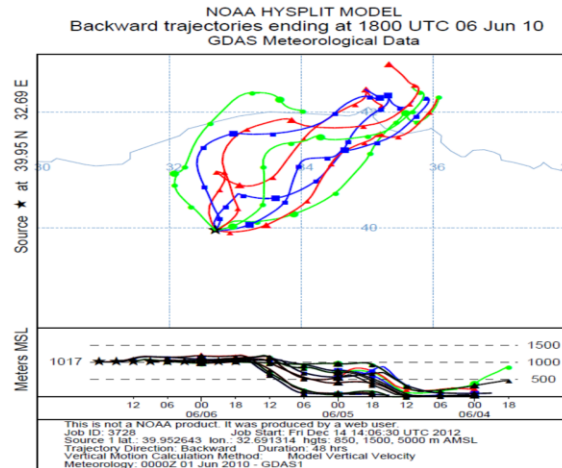
Şekil 8. 15:00 (12Z) için ECMWF tarafından üretilen yağış tahmininden Ankara için üretilen yağış tahmin haritası.

15:00 (12Z) Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8b2v modelinin kuru toz birikimi çıktısında, Sahra çölünden gelen toz taşınımının Türkiye'nin güneyinden Antalya ve Diyarbakır üzerinden Türkiye girdiği ve yağışla birlikte Ankara üzerine yöneldiği görülmektedir. Islak toz birikimi çıktısında; İzmir, Sinop, Hatay ve Hakkari çevresinde birikim gözükmemektedir (Şekil 16).

http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM
BSC-DREAM8b Dry Dust Deposition (mg/m²)
24h forecast for 12z 06 JUN 10BSC-DREAM8b Wet Dust Deposition (mg/m²)
24h forecast for 12z 06 JUN 10

Şekil 9. 15:00 (12Z) için kuru ve ıslak toz birikimi.

06.06.2010 tarihli için üretilen 21:00 (18Z)'den geriye doğru çalıştırılan HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde belirtilen tarihte Ankara'da yağışa neden olan nem ve aerosollerin Ankara'ya Karadeniz'den geldiği görülmektedir (Şekil 10).

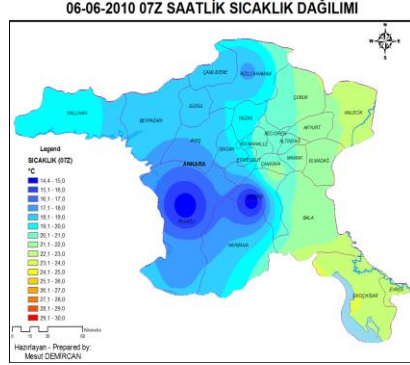


Şekil 10. 15:00 (12Z) için kuru ve ıslak toz birikimi.

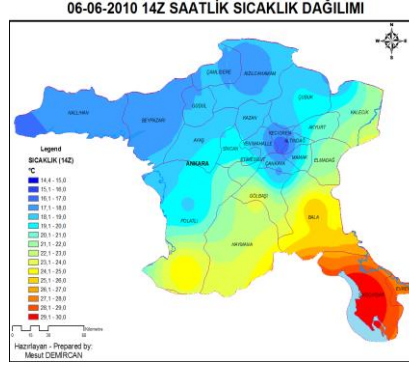
3.2 Örnek Çalışma Tarihin Ait Yersel ve Uzaktan Algılama Gözlemleri

Bu ön analizlerden sonra ilgili tarih çalışma için seçilmiş ve veriler elde edilerek sıcaklık, yağış, nem ve radar PPI ürünleri ArcGIS 9.3 ile üretilerek analiz edilmiştir.

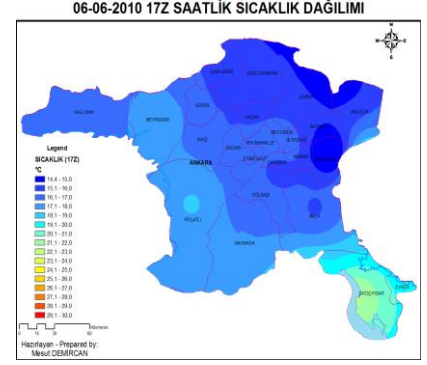
Saatlik sıcaklık analizinde saat 10:00 sıcaklıklarında Ankara'nın batısının daha soğuk olduğu özellikle Polatlı ve Gölbaşı'nın bu saat itibarı ile en soğuk bölgesi olduğu görülmektedir (Şekil 11). Saat 17:00 sıcaklıklarında Ankara'nın kuzey doğu – güney batı çizgisinin üzerinin soğuk olduğu özellikle Nallıhan, Beypazarı, Kızılcahamam ve Keçiören'in bu saat itibarı ile en soğuk bölgesi olduğu görülmektedir (Şekil 12). Saat 20:00 sıcaklıklarında soğumanın Ankara'nın kuzey doğusuna kaydığı görülmektedir (Şekil 13).



Şekil 11. 10:00 (07Z) sıcaklık haritası.

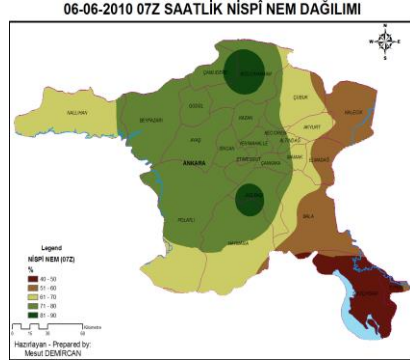


Şekil 12. 17:00 (14Z) sıcaklık haritası.

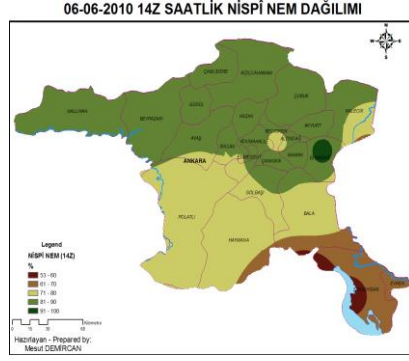


Şekil 13. 20:00 (17Z) sıcaklık haritası.

Saatlik nispi nem analizinde saat 10:00 nispi nem durumunda Ankara'nın doğu kesimi hariç nem dağılımının %60 ve üzeri olduğu, özellikle Gölbaşı ve Kızılcahamam'da %80'in üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 14). Saat 10:00 nispi nem durumunda Ankara'nın Şereflikoçhisar ve çevresi hariç nem dağılımının %60 ve üzeri olduğu, özellikle kuzey yarısında %80'in ve Elmadağ'da %90'ın üzerinde olduğu görülmektedir (Şekil 15). Saat 20:00 nispi nem durumunun saat 17 durumu ile aynı olduğu görülmektedir (Şekil 16).



Şekil 14. 10:00 (07Z) nispi nem haritası.



Şekil 15. 17:00 (14Z) nispi nem haritası.

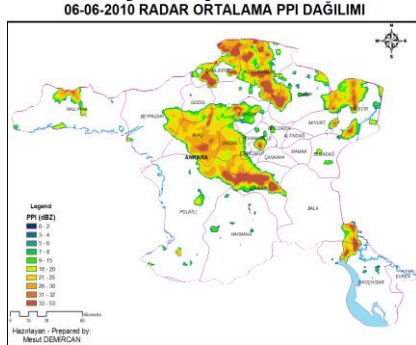


Şekil 16. 20:00 (17Z) nispi nem haritası.

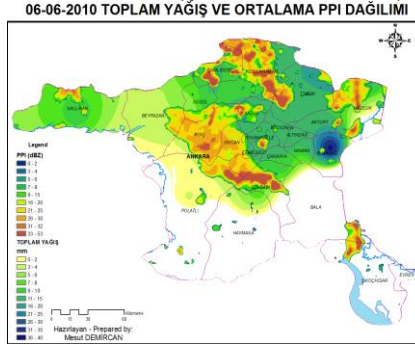
Saatlik yağış analizinde saat 10:00 yağışlarında Polatlı ve Gölbaşı'nda yağış olduğu görülmektedir (Şekil 15). Saat 17:00 yağışlarında Nallıhan, Beypazarı, Keçiören ve Kızılcahamam'da yağış olduğu görülmektedir (Şekil 16). Saat 20:00 yağışlarında Elmadağ ve Ankara'nın kuzeydoğu sınırında yağış olduğu görülmektedir (Şekil 17).



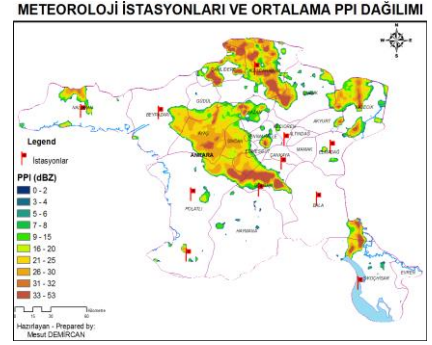
06.06.2010 tarihine ait ortalama PPI dağılımı, günlük toplam yağış ile ortalama PPI ve Meteoroloji istasyonları ile ortalama PPI haritaları (Şekil 24, 25 ve 26).



Şekil 24. Radar ortalama PPI haritası.



Şekil 25.Toplam yağış ve ortalama PPI haritası.



Şekil 26. Meteoroloji istasyonları ve tarihli ortalama PPI haritası.

3.3 Diğer Tarihler için Radar ve Model Çıktıları

18 Şubat 2010 tarihine ait Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8bv2 çıktısı incelendiğinde Türkiye'nin batısında ve üzerinde batılı rüzgârlar ile Sahra çölünden kaynaklanan toz taşınımı olduğu görülmektedir. HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde ise yağış neminin bölgeye Akdeniz'den Ankara'ya güneybatılı bir akışla taşındığı görülmektedir. Radar PPI ürünleri incelendiğinde Ankara üzerine gelen yağış sistemi ve bulutlar batılı akışlar doğrultusunda hareket etmektedir.

7 Haziran 2010 tarihine ait Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8bv2 çıktısı incelendiğinde Türkiye'nin batısında kuzeydoğulu, doğusunda ise güneybatılı rüzgâr akışı mevcuttur ve Türkiye'nin güneyinde toz taşınımı görülmektedir. HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde ise yağış neminin bölgeye Karadeniz'den taşındığı görülmektedir. Radar PPI ürünleri incelendiğinde Ankara üzerine gelen yağış sistemi ve bulutlar güneydoğu ve kuzeybatı doğrultusunda hareket etmektedir.

28 Ekim 2010 tarihine ait Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8bv2 çıktısı incelendiğinde Türkiye'nin batısında Ege Denizi üzerinde bir siklon dönüş ve Akdeniz Bölgesi üzerinden İç Anadolu'ya doğru güneybatılı rüzgâr akışı mevcuttur ve Türkiye'nin batı ve güneyinden Anadolu içlerine doğru toz taşınımı görülmektedir. HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde ise yağış neminin bölgeye Akdeniz'den taşındığı görülmektedir. Radar PPI ürünleri incelendiğinde Ankara üzerine gelen yağış sistemi ve bulutlar güneybatı ve kuzeydoğu doğrultusunda hareket etmektedir.

16 Aralık 2010 tarihine ait Atmosferik Toz Tahmin Sistemi BSC-DREAM8bv2 çıktısı incelendiğinde Türkiye'ye Akdeniz Bölgesi üzerinden İç Anadolu'ya doğru güneybatılı rüzgâr akışı mevcuttur ve Türkiye'nin batı ve güneyinden Anadolu içlerine doğru, özellikle Libya üzerinde aşırı miktarda toz yükü ile toz taşınımı görülmektedir. HYSPLIT Modeli geçmiş yörünge analizinde ise yağış neminin bölgeye Mısır'a kadar uzanan bir yörünge ile Akdeniz üzerinden taşındığı görülmektedir. Radar PPI ürünleri incelendiğinde Ankara üzerine gelen yağış sistemi ve bulutlar güneybatı ve kuzeydoğu doğrultusunda hareket etmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ:

Çalışma için 2010 yılı içindeki 18 Şubat, 6 Haziran, 7 Haziran, 28 Ekim ve 16 Aralık tarihlerinde meydana gelen yağış hadisesi Ankara için incelenmiştir. 6 Haziran 2010 tarihi için sinoptik durum, sayısal tahmin modelleri çıktıları, yersel gözlemler ve Radar PPI verileri elde edilmiş olup, ECMWF modeli çıktısı, Radar PPI verileri ve yersel gözlemler CBS ortamında haritalanmış ve analiz edilmiştir. 18 Şubat, 7 Haziran, 28 Ekim ve 16 Aralık tarihleri ise sayısal model çıktıları ve Radar PPI volüme çıktı haritaları ile analiz edilmiştir.

Yapılan örnekleme analizlerde yağış bölgelerinin cephe sisteminin hareketine göre ilerlediği özellikle Ankara'nın doğusunda yoğunlaşmadığı görülmüştür. Örnekleme tarihlerindeki yağışı getiren sistemlerle birlikte Atmosferik Toz Tahmin Sistemi çıktılarındaki görülen toz taşınımı dikkat çekicidir. Yağışların oluşumunda yağışa neden olan sistemlerin, şehrin topografik yapısının ve Sahra Çölünden taşınan tozların daha etkin olduğu düşünülmektedir.

Bu tür çalışmalarda olan ve olabilecek zorluklar;

- A) Yersel gözlem ağına yetersizliği sebebiyle Ankara'nın ilçeleri ile topografyasına ait meteorolojik gözlemlere ve ekstrem hava olayları ile zararlarının etki alanı ve noktasına ulaşamaması analizleri zayıflatmıştır. Bu durum CBS ile yapılan interpolasyon haritalarının topografyayı temsilini zayıflatmıştır.
- B) Radar verilerindeki zamansal eksiklikler yağış bölge ve şiddetinin gözden kaçırılmasına neden olabilmektedir.
- C) Model çıktılarının gridlenmiş ikilik kod sistemi (Gridded Binary "GRIB") veya ağ ortak veri formatı NetCDF ("NetCDF" network Common Data Form) şeklinde elde edilebilmesi ve radar verilerinin de ham olarak ya da GRIB2, hdf5 formatında sunulması MS Windows ortamında ve CBS tabanlı programlarda kullanımını zorlaştırmaktadır.

Çalışmanın daha iyi sonuç vermesi ve geliştirilmesi için birkaç günlük uzun süreli yağış dönemlerinin incelenmesinin, yağışla ilgili yersel ölçüm, radar verisi ve model çıktılarının yağış sonrası hemen derlenmesinin, şehre ait aerosol, toz ve kirletici kaynaklarının incelenmesinin ve bu verilere ait gözlemlerin de toplanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmanın veri kaynakları, verilere erişim ve verilerin düzenlenmesi konusunda ortaya koyduğu metodolojinin, yapılacak bu ve benzeri türde çalışmalar için bir yol haritası, bir kaynak oluşturabileceği düşünülmektedir.

5. REFERANSLAR:

1. ÇİÇEK, İ., Ankara'da Şehirleşmenin Yağış Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt: 14, Sayı: 1, Sayfa: 1-17, Elazığ-2004
2. Kadioğlu, M., Şehirleşmenin Marmara Bölgesindeki Yağışlara Etkisi, Su ve Çevre Sempozyumu, İstanbul, Haziran 1997
3. Cicek, I., and Turkoglu N., Urban effects on Precipitation in Ankara, Atmosfera, 18(3), 173-187, 2005
4. KARAKUYU, M., Şehirleşmenin Küresel İklim Sapmaları Ve Taşkınlar Üzerindeki Etkisi, Marmara Coğrafya Dergisi Sayı:6, Temmuz-2002, İstanbul
5. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) Kurs Notu, Uydu ve Radar Ürünleri, 2009, Ankara
6. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ) Kurs Notu, Sayısal Hava Tahmini, 2008, Ankara
7. Stensrud, David J., Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models. Cambridge University Press. p. 56. ISBN 978-0-521-86540-1. Retrieved 2011-02-15.
8. Pielke, Roger A., Mesoscale Meteorological Modeling. Academic Press. pp. 48-49. ISBN 0-12-554766-8, 2002

Yağışın Parmak İzi ve Paleoklimatoloji’de Kullanımı

Precipitation's fingerprint and it's usage in paleoclimatology

Mesut DEMİRCAN¹, Hakan YİĞİTBAŞIOĞLU²

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, mdemircan@mgm.gov.tr

²A.Ü. DTCF Fakültesi Coğrafya Bölümü, Ankara

Öz: Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), şu anda yaklaşık 220 aktif izleme istasyonundan oluşan 1961’li yıllardan beri devam eden Yağışın İzotop İçeriği Küresel Şebekesi (GNIP) programını yürütmektedir. GNIP, Dünya genelinde, yağışın oksijen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) ve hidrojen ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^3\text{H}/^1\text{H}$) içeriklerinin zamansal ve uzamsal kayıtlarını sağlamaktadır. İzotop içerikleri çoğunlukla aylık yağış örneklerinden ölçülmektedir. Su her yerde aynı görünüyor olsa da, kökeni ve yaşını belirlemek için kullanılan izotop “parmak izi” taşır. İzotoplar, aynı elementin farklı ağırlıklardaki atomlarıdır. Dünya genelinde, yağıştaki su moleküllerinin izotoplarının oranları, buharlaşma ve yoğunlaşmanın doğal aşamaları sonucunda, sıcaklık ve yükseklik etkileri nedeni ile değişir. Sonuç olarak, her yerel yağış kendi izotop “imzası” veya “parmak izi”ne sahiptir. Bu izotopik “parmak izi” yeraltı suyu içine taşınmaktadır ve yeraltı sularının akış hızlarını, dolma-boşalma oranlarını ve yaşını, belirlemek için kullanılabilir. Kutuplardaki buzulların, göl çökelleri ve yeraltı sularındaki izotopların “doğal arşivlerinin” çalışması sayesinde, geçmiş hidrolojik koşulları yeniden canlandırılabilir. Geçmiş hidrolojik ve iklim sistemlerinin zamanla nasıl değiştiğini anlamak gelecekteki değişimleri – geleceğe bakış için – tahmin etmek ve dünyanın değişen iklimin olumsuz etkilerini en aza indirme tedbirleri geliştirmek için bir anahtardır. Çalışmada Türkiye için izotop ölçümlerinin zamansal ve uzamsal dağılımları incelenecektir.

Anahtar kelimeler: İklim, Yağış, İzotop, ^{18}O , ^{16}O , ^2H , ^1H .

Abstract: The Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) programme is operated by the IAEA in cooperation with the World Meteorological Organization (WMO), and currently is comprised of about 220 active monitoring stations since 1961. GNIP provides spatial and temporal records of oxygen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) and hydrogen ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^3\text{H}/^1\text{H}$) contents in precipitation around the world. Isotope contents are mostly measured in composite samples of monthly precipitation. While water looks the same everywhere, it carries isotopic ‘fingerprints’ which can be used to determine its origin and age. Isotopes are atoms of the same element with different weights. Across the globe, proportions of isotopes in water molecules in precipitation vary as a result of natural processes of evaporation and condensation, and because of the effects of temperature and altitude. Consequently, precipitation in each location has its own isotopic ‘signature’ or ‘fingerprint’. These isotopic ‘fingerprints’ are carried into groundwater and can be used to determine the age, recharge rates, and flow velocities of groundwater. Through study of water isotopes ‘naturally archived’ in polar ice caps, lake sediments, and groundwater, past hydrological conditions can be reconstructed. Understanding how past hydrological and climate systems have changed over time holds the key to predicting future change— looking ‘back to the future’ — to develop options for minimizing the adverse effects of the world’s changing climate. In this study, isotope measurements for Turkey will be examined as temporal and spatial distributions.

Keywords: Climate, Precipitation, Isotop, ^{18}O , ^{16}O , ^2H , ^1H .

1. GİRİŞ

Su, dünya hidrosferinde yer alır ve yenilenebilen kısıtlı bir kaynağa sahiptir. Bu suyun miktarı ise 1 400 000 km³ olarak tahmin edilmektedir. Dünyanın üçte ikisi sularla kaplı olmasına rağmen, tuzlu sular toplam su miktarının %97.5’ini, tatlı sular ise ancak %2.5’ini oluşturmaktadır. Su

* İletişim yazarı: M.Demircan , mdemircan@mgm.gov.tr

kaynakları, günümüzde dünya üzerindeki bazı bölgeler için yetersiz, bazı bölgelerde de ancak yetmektedir. Bununla birlikte nüfus artışı, su kaynaklarının kirlenmesi gibi sebepler göz önüne alındığında, su kaynaklarının zamanla tüm bölgelerde yetersiz kalacağı açıktır. Ülkemiz ise su kaynakları açısından küresel değerlendirmelere bakıldığında, su kıtlığı çeken ülkeler arasında gösterilmemektedir. Bununla birlikte nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme gibi nedenlerle artan su tüketimi, yenilenebilir tatlı su kaynaklarımızda miktar olarak bir azalmaya sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra su kaynaklarında aşırı çekim sonucu yeraltısuyu tuzlanması, tarımsal faaliyetlerde kullanılan kimyasallar ile evsel ve endüstriyel atıklar nedeniyle kirlenme yaşanmakta ve su kaynaklarının nitelik açısından korunması gereği ortaya çıkmış bulunmaktadır (Çifter, C. ve Sayın, M., 2002; Demircan, M., 2006). Bu çerçevede, sürekli artan endüstriyel gelişim ve artan nüfus baskısı altında kalan su kaynaklarının geliştirilerek verimli ve sürdürülebilir olarak kullanılabilmesi için pek çok projenin etüdünün gerekliliği ve bu etütlerde de klasik incelemelerin dışında ileri tekniklerin kullanılması zorunlu hale gelmeye başlamıştır. İzotop hidrolojisi çalışmaları bu tekniklerin başında gelmektedir.

Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) dünya üzerinde seçilmiş olan yağış istasyonlarından 60'lı yıllardan beri çevresel izotop içeriklerini belirlemek için örnekler toplamaktadır. Bu istasyonlardan elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu Oksijen-18 ve Döteryum verileri arasındaki ilişki küresel ölçekte belirlenmiş ve $\delta D = 8\delta 18O + 10$ doğrusu Global Meteorik Su Doğrusu (GMWL) olarak verilmektedir. Ancak bu doğru küresel ölçekte yerel iklime ve topografya koşullarına göre farklılıklar göstermektedir (Schotterer, vd., 1996; Demircan, M., 2006).

IAEA ve WMO tarafından işbirliği içerisinde işletilen GNIP şebekesinde bulunan Ankara, Antalya ve Adana istasyonlarında 1960'lı yıllardan beri yağış örneği toplanarak analiz için Viyena'ya gönderilmiştir. Bunlardan başka Sinop ve Diyarbakır istasyonları da 1966-1967 yılları arasında bu şebekede görev yapmışlardır. GNIP şebekesinde çalışmayan eski istasyonların aktif hale getirilmiş ve şebekeye yeni istasyonların eklenmiştir. Şebekede yağış örneği toplanan istasyonlar şunlardır; Edirne, Sinop, Rize, İzmir, Ankara, Erzurum, Antalya, Adana ve Diyarbakır meteoroloji istasyonlarıdır (Demircan, M., 2006).

2. YAĞIŞIN İZOTOP İÇERİĞİ

2.1. İzotop Nedir?

Bir elementin atom numarası aynı fakat farklı kütle numarasına sahip atomlarına, diğer bir deyişle proton sayıları aynı, ancak nötron sayıları farklı olan atom çekirdeklerine “izotop” denir. Bir elementin farklı sayılarda izotopları olabilir. Bu izotoplar, nötron sayıları farklı olduğundan, farklı kütle numaralarına sahiptirler. Örneğin, Hidrojen elementinin 3 izotopu vardır (Şekil 1.1). Oksijenin ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O olmak üzere üç tane doğal izotopu vardır. Bir elementin bütün izotopları aynı kimyasal özellikleri gösterir. Ancak fiziksel özellikleri farklıdır.



Şekil 1. Hidrojen elementinin izotopları

İzotoplar kararlı ve radyoaktif izotoplar olmak üzere olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kararlı izotoplar kararlı bir çekirdek yapısına sahiptirler, kapalı bir sistemde kararlı izotopların atomik konsantrasyonlarında hiçbir değişiklik olmaz. Radyoaktif izotopların çekirdekleri ise kararsız bir yapıya sahiptir ve zamanla parçalanarak başka elementlerin izotoplarına dönüşürler (Çifter, C. ve Sayın, M., 2002; Demircan, M., 2006).

2.2. Kararlı İzotoplar

Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. Ayrıca azot, klorür, kükürt, asal gazlar, uranyum ve toryum ve benzeri elementlerin

izotopları da yüzey ve yeraltısuyu sistemlerinde kirleticinin kökenlerinin belirlenmesi, hareketinin saptanması ve benzeri çalışmalarda etkin olarak kullanılmaktadır.

H elementinin kütle numarası 1 olan ^1H -hidrojen izotopu %99.985 ile doğada en fazla bulunma oranına sahiptir. Hidrojen elementinin kütle numarası 2 olan ağır izotopu ^2H -döteryum ise daha az bulunmaktadır. Oksijen elementinin üç adet kararlı izotopu (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) mevcuttur.

Oksijen ve hidrojenin kararlı izotopları hidrolojik çalışmalarda genellikle izleyici olarak kullanılmaktadır. Su numunesi içerisindeki izotopların bolluğu onların $^2\text{H}/^1\text{H}$ veya $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ gibi izotopik bolluk oranlarıyla verilebilir. Oranlardaki bu değişimler ancak kütle spektrometreleriyle saptanabilir.

Hidrolojik çevrim içerisinde deniz ve okyanuslardan oluşan su buharının bir kısmı daha düşük sıcaklığa sahip kara içlerine geldiğinde yoğunlaşma nedeniyle yağmur haline dönüşür. Geri kalan su buharı kara içlerine doğru hareketlerine devam ederken yer yer soğuyarak yoğunlaşır(Sayın, M. ve Eyüpoğlu, S.Ö., 2005; Demircan, M., 2006).

Yeraltısularının izotopik kompozisyonu hidrolojik çevrimin başlangıcı olan yağışların izotopik kompozisyonu ile ilgilidir. Hidrolojik çevrimdeki tabii sular farklı oranlarda Oksijen-18 (^{18}O) ve Döteryum ihtiva etmektedir. İzotopik çevrimde yeraltısuyunun en büyük kaynağı okyanuslar olup kararlı izotop konsantrasyonu sabittir. Diğer bütün suların izotop değerleri, δ değeri sıfır kabul edilen SMOW (Standard Mean Ocean Water)'a göre ölçülmektedir. Numunenin ağır izotop içeriği, bir referansın ağır izotop içeriğinden olan bağıl farkla, yani numunenin referansa göre izotopik konsantrasyonunu ifade eden δ değeri ile gösterilmektedir. Matematiksel olarak gösterecek olursak;

$$\delta (\text{‰}) = \frac{R_{\text{numune}} - R_{\text{referans}}}{R_{\text{referans}}} \times 1000$$

Bilindiği gibi doğal sularda $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ve D/H izotopik oranlarının değişimi buharlaşma ve yoğunlaşma sonucu olur. Su, yoğunlaşma ve buharlaşma durumuna geçtiği zaman suyun farklı izotopik gruplarında hava içerisindeki buhar basınçları ve difüzyon hızlarındaki farklılık nedeni ile izotopik ayrışma meydana gelir. Sıcaklık yağışlardaki izotopik ayrışmayı kontrol eder. Su molekülünde bulunan hidrojen ve oksijen izotopları, küresel döngü içinde hem geçmişteki değişiklikleri hem de gelecekteki davranışları anlamak açısından mükemmel bir izleyicilerdir. Meteorik suların izotopik kompozisyonundaki en önemli değişiklikler troposferde gerçekleşir. Meteorik sularda kararlı izotop dağılımının karakterize edilmesi yeraltısularının incelenmesi açısından çok önemlidir.

Atmosferik buharın yoğunlaşması ve soğuması sonucu ardı ardına meydana gelen yağışın ağır izotop kompozisyonu, meydana geldiği buhar fazının ağır izotop kompozisyonuna göre zenginleşmiş ancak kendisinden önceki yağışın ağır izotop içeriğine göre fakirleşmiştir. Buhar ve sıvı dönüşümleri sırasında oluşan izotopik ayrımın derecesi sıcaklık faktörü ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle sıcaklık ile izotopik kompozisyon arasında pozitif bir ilişki vardır.

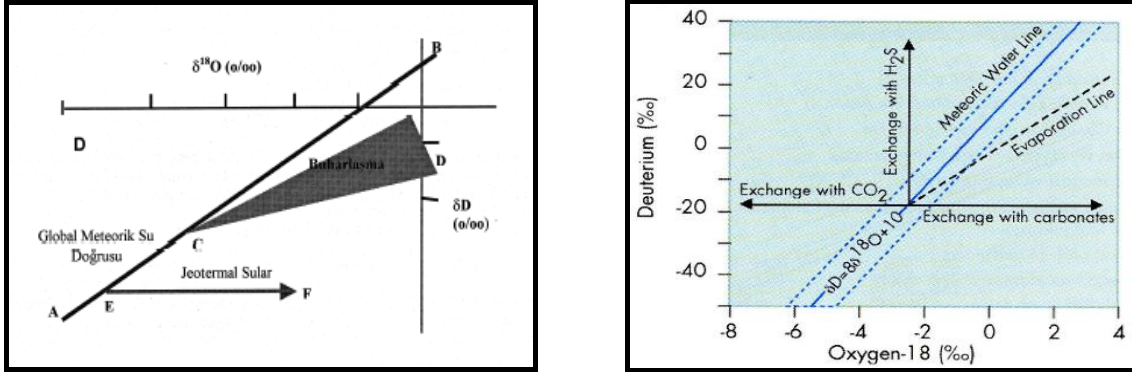
Okyanuslardan meydana gelen atmosferik su buharı O-18 için -12 ve -15, döteryum için -90 ile -110 aralığında değişen $\delta\text{‰}$ izotop kompozisyonuna sahiptir. Ters olarak yağışlar geniş bir aralıkta kararlı izotop değişimi gösterir. Okyanuslardan oluşan su buharı O-18 ve D ağır izotopları bakımından dar bir limit içinde değerlere sahip olmalarına karşılık yoğunlaşma prosesi ile oluşan yağışlar geniş bir limit içerisinde kararlı izotop değişimleri göstermektedir.

IAEA ve WMO tarafından organize edilen şebeke istasyonlarına ait yağışların kararlı izotop içerikleri periyodik olarak ortalama ve ağırlıklı ortalama δ değerleri alınarak yayınlanmaktadır. Ortalama değerler aritmetik ortalama alınarak hesaplanmıştır. Ağırlıklı ortalama değerler ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{\delta}_w = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \delta_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

Bu eşitlikte P_1 aylık yağış miktarını, δ_1 ise ait olduğu yağışın ağır izotop içeriğini göstermektedir. Şebeke istasyonlarına ait yağışlar ağırlıklı ortalama değerleri olarak ^{18}O için -1.2 ‰ ile -25.17 ‰ değerleri arasında döteryum için +1 ‰ ile 185.9 ‰ değerleri arasında ağır, izotop içeriği göstermektedirler.

Meteorik sulara D ile ^{18}O arasındaki ilişki birçok hidrolojik ve klimatolojik uygulamalarda temel oluşturmaktadır. $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ doğrusu Global Meteorik Su Doğrusu (GMWL) olarak bilinmektedir. GMWL'dan sapmalar yağış kaynak bölgesinin özel atmosferik koşullarını işaret eder. Döteryum fazlası kavramı ilk olarak Dansgaard tarafından $d = 8\text{D} - 8*\delta^{18}\text{O}$ şeklinde tanımlanmıştır. Döteryum fazlalığı (d) rüzgar hızı ve buharlaşma boyunca deniz yüzeyi sıcaklığının yanında en fazla yerel nemden etkilenir. Bu ilişki şu anda çok iyi anlaşılmış ve Raighleigh yaklaşımına dayalı olarak açıklık kazanmıştır. Denge koşullarında faz değişimine ek olarak, kinetik etki havadaki su moleküllerin izotopik farklılığı sonucu farklı difüzyon hızlarına sahip olmalarından kaynaklanır. H^{16}O 'nun difüzyon hızının H^{18}O 'dan fazla olması sonucu daha fazla döteryum fazlasına sahip olacaktır. Ortalama 85% nem ile GMWL değeri 10 olan döteryum fazlasına sahiptir.



Şekil 2. Global Meteorik Su Doğrusu

2.3. Radyoaktif İzotoplar

İzotop hidrolojisi çalışmalarında kullanılan radyoaktif izotopların başında hidrojen elementinin kütle numarası 3 olan Trityum (^3H) ve karbon elementinin kütle numarası 14 olan Karbon-14 (^{14}C) izotopları gelmektedir (Çifter, C. ve Sayın, M., 2002; Demircan, M., 2006).

Yarı ömrü 12.32 yıl (4500 ± 8 gün) olan ve beta bozunması veren trityum, atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluştuğu gibi, termonükleer denemeler sonucunda da oluşmaktadır. Trityum atomları doğada 1.10^{-15} oranında bulunur. Su içerisindeki trityum konsantrasyonu trityum birimi (TU) olarak verilmektedir. Yani 10^{18} hidrojen atomuna karşı bir trityum atomunun bulunması "1 Trityum Birimi (TU)" olarak tanımlanır. Radyoaktif olmasından dolayı uğradığı zamansal değişim nedeniyle yeraltı sularının bağlı yaşının (eskilik derecesi) belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. Ayrıca yeraltı sularının rezervuarda yenilenme sürelerinin tahmini yapılmaktadır. Yenilenme süresinin tahmini yeraltı suyu hareket hızının belirlenmesinde rol oynamaktadır.

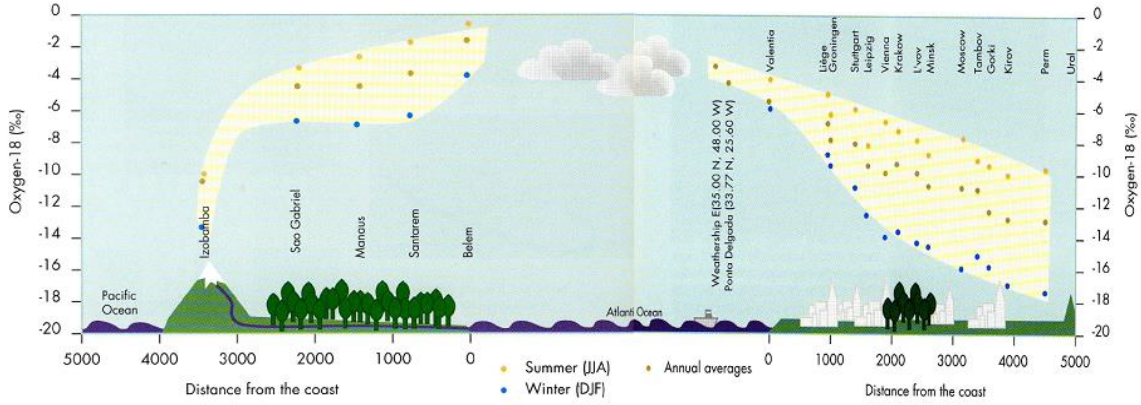
Radyoaktif izotopların bir başkası ise karbon-14'dür. Karbon -14, 5730 yıl yarı ömre sahiptir ve 156 keV maksimum beta enerjisi verir. Doğada 1.10^{-12} bolluğunda bulunan bu izotop da trityum izotopu gibi atmosferde doğal olarak ve nükleer denemelerle oluşarak hidrolojik çevrime girer. Karbon-14 genelde yeraltı suyu yaşının belirlenmesi amacıyla kullanılır.

2.4. Yağışların Kararlı İzotop İçeriğini Etkileyen Faktörler

2.4.1. Karasal etki

Yağışların kararlı izotop içerikleri üzerine etki eden faktörlerden biri de yağışların ait oldukları istasyonların okyanusa olan mesafeleridir. Benzer enlemlerde bulunan kıyı ve ada istasyonları yağışları ile kara istasyonlarına ait yağışların kararlı izotop değerleri karşılaştırıldığı zaman kıyı ve ada istasyonlarının ağır izotop bakımından daha zengin olduğu görülmektedir. Bu etkinin nedeni daha önce

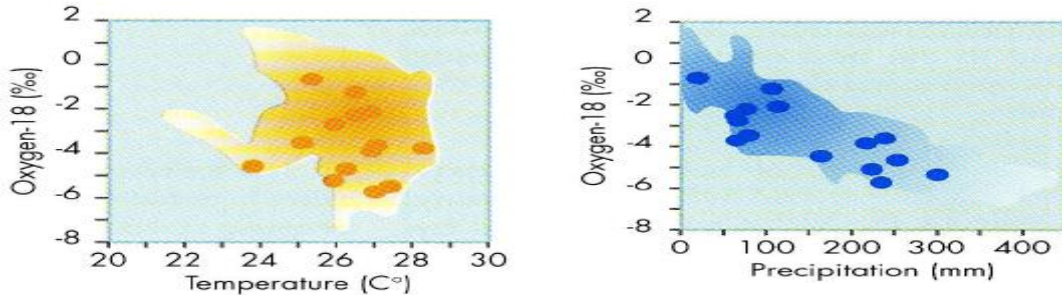
açıklandığı gibi okyanuslardan oluşan su buharının daha soğuk olan kara üzerine hareketleri esnasında ardi ardına yoğunlaşması sonucu oluşan yağmurların ağır izotop içeriklerinin kendini oluşturan atmosferik buhara göre zenginleşmesine karşılık kendisinden önceki yağışa göre ağır izotop içeriği bakımından fakirleşmesidir(Schotterer, vd., 1996; Sayın, M. ve Eyüpoğlu, S.Ö., 2005; Demircan, M., 2006).



Şekil 3. Oksijen-18 değerlerinin karasallığa bağlı olarak değişimi.

2.4.2. Sıcaklık etkisi

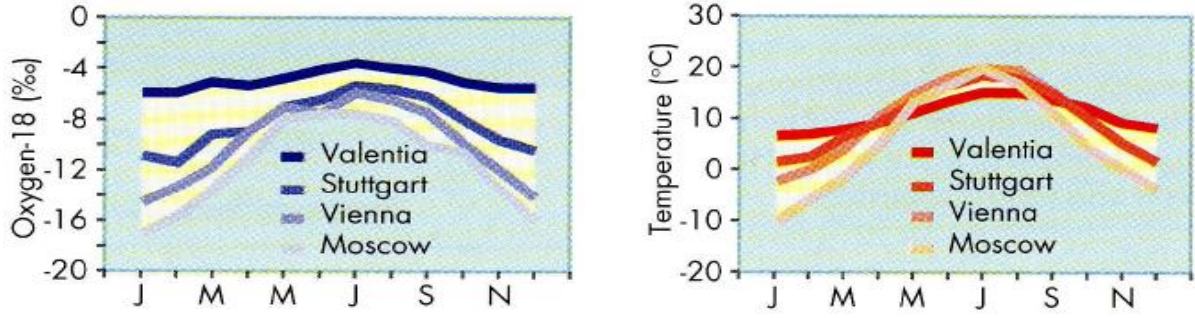
1964 yılında Dansgaard global olarak yıllık ortalama yağışın $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ile sıcaklık arasında lineer bir ilişki olduğunu göstermiştir. İzotopik ayrımın derecesi doğrudan sıcaklık ile orantılıdır. Sıcaklık gradyentinin olduğu yerde $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ gradyenti de olacaktır. Sıcaklık değişiminin az olduğu bölgelerde (tropik bölgeler) $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değişiminin de az olduğu çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir(Schotterer, vd., 1996; Sayın, M. ve Eyüpoğlu, S.Ö., 2005; Demircan, M., 2006).



Şekil 4. Tropik ada istasyonları için yağışın oksijen-18 içeriğinin aylık uzun dönem (gölgeli) ve yıllık ortalama (noktalı) değerlerinin sıcaklık ve yağış (yıllık ortalamalar 12'ye bölünmüştür) ile karşılaştırılması. Dışarıdaki yağışlar sıcaklık etkisini maskeler.

2.4.3. Mevsim etkisi

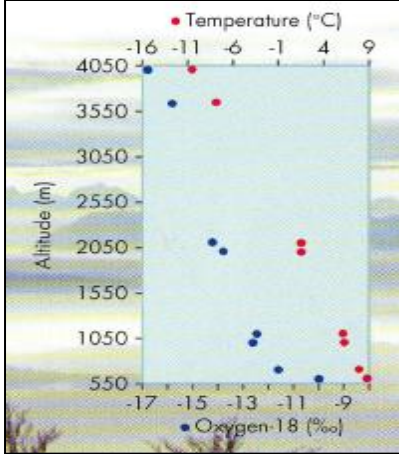
Sıcaklıktaki aşırı mevsimsel etki yağışın izotopik içeriğinin değişmesine neden olur. Yani, izotopik ayrımın derecesi doğrudan sıcaklıkla orantılıdır. Zenginleşmenin derecesi sıcaklığa olduğu kadar atmosferin rölatif nemine ve yüzey su büyüklüğünün hidrolojik dengesine de bağlıdır. Bu nedenle yağışların izotopik kompozisyonunda mevsimsel bir değişim vardır. Yapılan çalışmalar yaz yağmurlarının kış yağmurlarından daha fazla ağır izotop içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. Yağışların ağır izotop içerikleri meydana geldikleri buharın ağır izotop içeriğine göre yüksektir. Sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda ağır izotop zenginleşmesi daha fazladır. Sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda yağmur damlalarının yeryüzüne düşme esnasında yeniden buharlaşması söz konusu olacaktır. Buharlaşma esnasında hafif izotopik grupların öncelikle buharlaşması, düşen yağmur damlalarının ağır izotop zenginleşmesini artırır. Bu nedenle kış aylarındaki yağışlar, yaz aylarındaki yağışlara göre ağır izotop bakımından fakirdir. Bu etki kış ve yaz aylarının sıcaklıkları arasındaki farkın yüksek olduğu yerlerde yağışların ağır izotop içeriklerini etkileyen bir faktördür(Schotterer, vd., 1996; Sayın, M. ve Eyüpoğlu, S.Ö., 2005; Demircan, M., 2006).



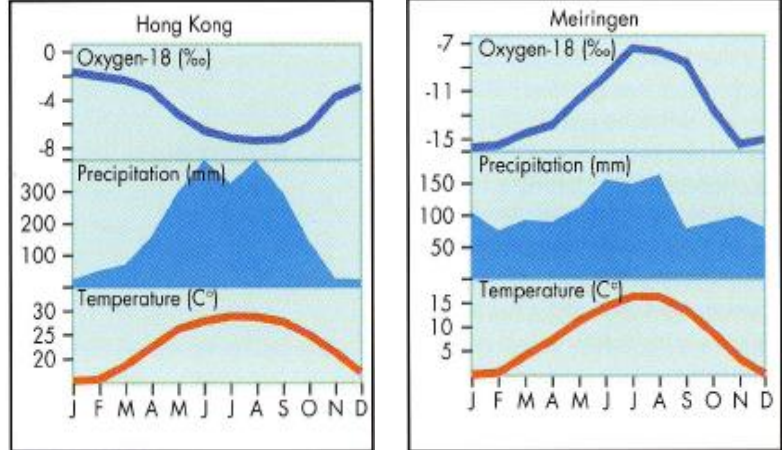
Şekil 5. Oksijen-18 ve sıcaklığın bazı istasyonlar için aylık değişimi

2.4.4. Yükseklik etkisi

Verilen bir bölgede ağır izotop içeriğinin yükseklikle değiştiğini, şebeke istasyonları yağışlarının kararlı izotop değerlerinden de görülebileceğini yapılan çalışmalar göstermiştir. Daha yüksek yerlere düşen yağışlar, alçak yerlere düşen yağışlara nazaran ağır izotop içeriği bakımından daha fakirdir. Yükseklik arttıkça yağışlardaki ağır izotop içeriği azalmaktadır. Daha düşük kotlara düşen yağış daha yüksek kotlara düşen yağışa göre daha uzun mesafe kat ederlerken daha fazla buharlaşma etkisine maruz kalırlar. Daha uzun süre buharlaşmaya maruz kalan yağmur ağır izotop içeriği bakımından zenginleşir. Bu zenginleşmenin derecesi sıcaklık ile yakın ilişki göstermektedir. Sıcaklığın düşük olduğu yüksek bölgelerde yağışlar izotopik olarak fakir olacaktır. Örneğin ^{18}O için bu değişim yerel iklim ve topografyaya bağlı olarak her 100 m için -0.15 ve -0.5 ‰ arasında, ^2H için ise bu azalma -1 ve -4 ‰ arasında olacaktır. Herhangi bir yeraltısuyunun hangi kottan beslendiğini bilmek açısından yükseklik etkisi önem kazanır. Yükseklik etkisine en güzel örnek Bortolami ve arkadaşlarının 1979 yılında İtalyan Alplerinde yaptıkları çalışmadır. İki farklı dönemde yedi farklı yükseklikten yağış numuneleri alınmış ve yükseklik arttıkça $\delta^{18}\text{O}$ 'nun daha negatif değerler aldığını göstermişlerdir (Schotterer, vd., 1996; Sayın, M. ve Eyüpoğlu, S.Ö., 2005; Demircan, M., 2006).



Şekil 6. Sıcaklık ve Oksijen-18'in yükseklikle değişimi



Şekil 7. Hon Kong ve Meiringen: farklı enlemler ve iklimlerde, farklı oksijen-18 ve sıcaklık ilişkisi gözlemlenir.

2.4.5. Enlem etkisi

Şebeke istasyonları incelendiği zaman her iki yarımkürede ekvatora yakın istasyonlara ait yağışların, yüksek enlemlerde yer alan istasyon yağışlarına göre daha pozitif kararlı izotop içeriğine sahip oldukları görülmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu yüksek enlemlere gidildikçe $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin daha negatif olacağı gösterilmiştir. Bununla birlikte kutup bölgelerine gidildikçe T - $\delta^{18}\text{O}$ değişimi çok daha hızlı olacaktır. Bu değişimin nedeni sıcaklık farklılıkları ile açıklanmaktadır. Örneğin; Kuzey Amerika kıtası yağışları için bu etkinin enlem derecesi başına -0.5 ‰ olduğu saptanmıştır (Schotterer, vd., 1996; Sayın, M. ve Eyüpoğlu, S.Ö., 2005; Demircan, M., 2006).

2.4.6. Miktar etkisi

Yağışların izotopik kompozisyonu üzerindeki etkilerden bir diğeri de miktar etkisidir. Yoğun yağışlar daha hafif olan yağışlara göre daha az ağır izotop içeriğine sahiptir. Özellikle kuvvetli yağışlar tropikal kuşakta ve orta enlem bölgelerinde görülmektedir (Şekil 1.4). Yoğun yağışlar esnasında bu yağışların meydana geldiği atmosferik buharın büyük bir kısmının yağışa dönüşmesi, yağışların düşme esnasında yeniden buharlaşması ve atmosferik buhar ile oluşan izotopik yer değiştirme bu etkinin oluşumuna neden olan etkenlerdir. Özellikle yoğun olmayan yağışların görüldüğü kurak ve yarı kurak alanlarda yağışların ağır izotop içerikleri üzerinde etkili olmaktadır. Şebeke istasyonlarından alınan yağışların kararlı izotop analiz sonuçları ile coğrafi ve iklimsel parametreler arasındaki ilişki çeşitli çalışmalar ile araştırılmıştır (Schotterer, vd., 1996; Sayın, M. ve Eyüpoğlu, S.Ö., 2005; Demircan, M., 2006).

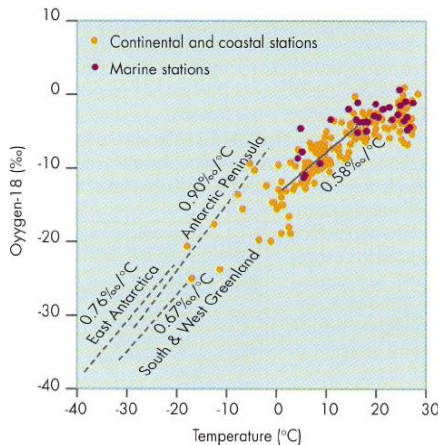
Kararlı izotop içeriklerini etkileyen bu faktörlerin büyüklüğü yerel iklime ve topografyaya bağlıdır. Yağışların ortalama izotopik kompozisyonu ile coğrafi ve iklimsel parametreler arasındaki ilişki çoklu regresyon analizi ile belirlenmiştir.

$$\delta^{18}\text{O} = a_0 + a_1T + a_2P + a_3L + a_4A$$

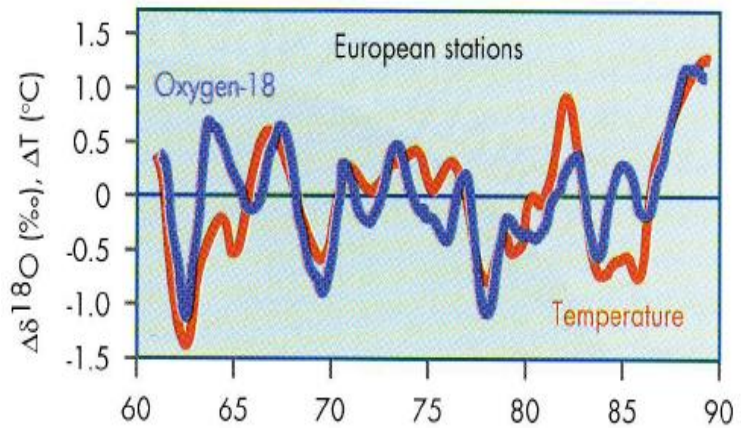
T_0 : Ortalama aylık sıcaklık (°C), P : Ortalama aylık yağış (mm), L : Enlem derecesi (derece), A : Deniz seviyesinden yükseklik (m) ve a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 regresyon sabitleri olmak üzere bu denklem genel bir denklemdir. Bu etkiler yağışlardaki izotop içeriğini bazen aynı doğrultuda, bazen de ters doğrultuda etkilerler. Bazı durumlarda da yerel iklim ve topografyaya bağlı olarak bir veya daha fazla etki önem kazanabilir. Mevsimsel etkinin miktar etkisinden baskın olması daha çok karasal istasyonlarda görülmektedir. Tropikal olan okyanus istasyonlarında ise yağışların izotopik kompozisyon değişimlerini miktar etkisi belirler Bunun nedeni ise okyanus istasyonlarında yıl boyunca ısı değişiminin olmamasıdır.

2.5. İzotop Termometre

Bir yerde yüzey hava sıcaklığı ve yağışların izotop içeriklerindeki uzun dönem değişiklikleri arasındaki bağlantı, paleo-klimatolojik uygulamalara göre muhtemelen çok önemli bir ilişkidir. GNIP işletimsel olduktan hemen sonra, yarı-deneysel sıcaklık/kararlı izotop ilişkisi, orta ve yüksek kuzey enlemlerindeki karasal istasyonlar için kuruldu. Santigrad derece (°C) başına 0.69‰ eğimi, geçmiş sıcaklıkları canlandırmak için pek çok iklim çalışmasında kullanılmıştır. Buradan gördüğümüz, bu ilişki geniş bir aralık üzerinde değişebilir şöyle ki; yerel sıcaklık, verilen yerdeki yağışın izotopik içeriği için her zaman en iyi ölçüt değildir (Schotterer, vd., 1996; Demircan, M., 2006).



Şekil 8. Kararlı İzotop termometre dünyanın değişik bölgelerinde farklı gösterir.



Şekil 9. Seçilmiş Avrupa GNIP istasyonlarından oksijen-18 ve atmosferik sıcaklık bileşik trend grafiği (mevsimlik trend ayrıldıktan sonraki uzun yıllık ortalamalardan sapmaları ifade eder). Grafikteki yakın ilişki, mevsimselliğin veya yağış paternlerindeki değişikliğin az öneminli olduğunu gösteriyor.

Sıcaklığın etkin olduğu rejimlerde, üç farklı izotop/sıcaklık ilişkisi GNIP veri tabanından kurulabilir. Birincisi sıcaklığın ve kararlı izotopların uzun dönem yıllık ortalamaları arasındaki konumsal tutarlı ilişki, ikincisi bunların arasındaki daha çok yerel zamansal ilişki ve sonuncusu yerel veya daha çok bölgesel ölçekte, sıcaklık ve kararlı izotoplardaki mevsimsel değişiklikler arasındaki kısa dönemli zamansal bağlantıdır.

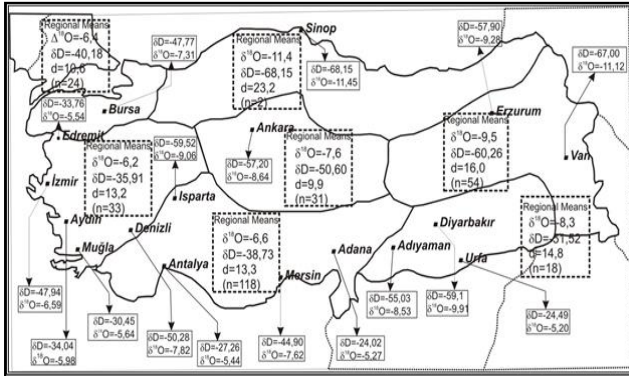
Veri nerede bir ilişki eksikliği veya $\delta^{18}\text{O}/T$ gradyentindeki kuvvetli değişim gösteriyorsa, bu izotop yaklaşımını geçersiz kılmaz. Bunun sebebi yağış, yağış miktarı ve kaynağı veya karasallık göz önüne alınmadan termometre ile yapılan ölçümlerin direkt olarak değerlendirilmesinden kaynaklanabilir.

Yağış içerisindeki kararlı izotopların günümüzdeki davranışlarının modellenmesi, paleo-verinin yorumuna yardım etmek ve geçmiş izotop dağılımlarını canlandırmak için temelleri açıklar. Küresel sirkülasyon modelleri, genellikle, küresel ölçekteki izotopların ana karakteristiklerini doğru üretir. Yerel ve bölgesel ölçekte farklılıklar gösterebilir. Konvektif süreç gösteren tropikler buna güzel bir örnektir. Özel yerlerdeki deneysel canlandırmalarla türetilen paleo-veriler, model testleri için yer doğruluğu ile ilgili katkı sağlar. Bu bağlamda, İzotop verileri, tamamen göze çarpan önemi olduğunu ispatlar.

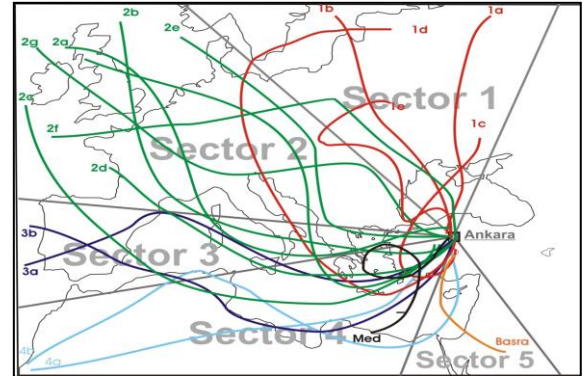
4. TÜRKİYE’DE YAĞIŞIN İZOTOP İÇERİĞİ ANALİZLERİ

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), IAEA ve WMO arasındaki işbirliği dahilinde düzenlenen protokolle yağışların kararlı izotop içeriklerinin belirlenmesi çalışmalarına 1960’lı yıllardan beri Ankara, Adana ve Antalya istasyonlarında toplanan yağış örnekleri ile destek vermektedir. Halen bu üç istasyonumuz GNIP şebekesi içerisinde yer almaktadır. 1960’lı yılların sonlarında Sinop ve Diyarbakır istasyonumuzda bu şebeke içerisinde görev yapmıştır. GNIP şebekesi genişletme çalışmaları sonucunda; Edirne, Sinop, Rize, İzmir, Erzurum ve Diyarbakır istasyonları da GNIP şebekesine katılmış olup 2008 Temmuz ayından itibaren yağış örnekleri toplamaya başlamıştır (Demircan, M., 2006). Türkiye, GNIP şebekesinde 9 istasyon ile yer almaktadır.

Türkiye’de 26 istasyonda, değişik zaman aralıklarında (bir aydan 38 yıla kadar değişen periyotlarda) aylık yağış örnekleri toplanmıştır (Dirican, A., vd., 2005). Bu verilerden Türkiye’nin değişik bölgelerine ait yağışlardan elde edilen izotop değerlerine (^{18}O ve ^2H) ait ortalamalar çıkarılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Türkiye’deki yağışların kararlı izotopik kompozisyonu (Dirican,A., vd., 2005)



Şekil 11. Günlük yağışın, izotopik içeriklerine ve geliş istikametlerine (hava akımı yörüngelerine) göre sınıflandırılması (Dirican,A., vd., 2005)

2001 yılında MGM ve Türkiye Atom Enerji Kurumu ile birlikte IAEA’nın Koordineli Araştırma Projeleri (CRP) kapsamında “Akdeniz Havzasın Hava Sirkülasyon Modelleri ve İklim ile İlişkili Yağışın İzotopik Bileşimi” projesinin bir parçası olarak hazırlanan “Ankara’da Günlük/Olay bazlı Yağışın ve Su Buharının İzotopik Bileşenlerinin Saptanması” isimli projeyi gerçekleştirmiştir. 2003 yılı sonu ile proje sonlandırılmış ve Ekim 2005 yılında IAEA tarafından sonuçlar teknik doküman olarak yayınlanmıştır. Bu proje kapsamında olay bazlı yağışların geliş yörüngesi ve yağışın izotopik

içeriği sınıflandırılmıştır (Şekil 11, Tablo 1). Yağışın izotopik değerlerinin sıcaklık ile ilişkisi incelendiğinde; aylık yağışın izotopik değerlerinin olay bazlı yağışın izotopik değerlerine, ^{18}O izotopunun ^2H izotopuna ve karasal istasyonların denizel istasyonlara göre daha iyi bir ilişki gösterdiği görülmektedir (Tablo 2). MGM'ye ait 9 istasyonun IAEA veri tabanından alınan izotop, sıcaklık ve yağış miktarı verilerinden 2009 yılı için haritalar üretilmiştir (Şekil 12).

Tablo 1. Günlük yağışın sektörlere göre izotopik değerleri,

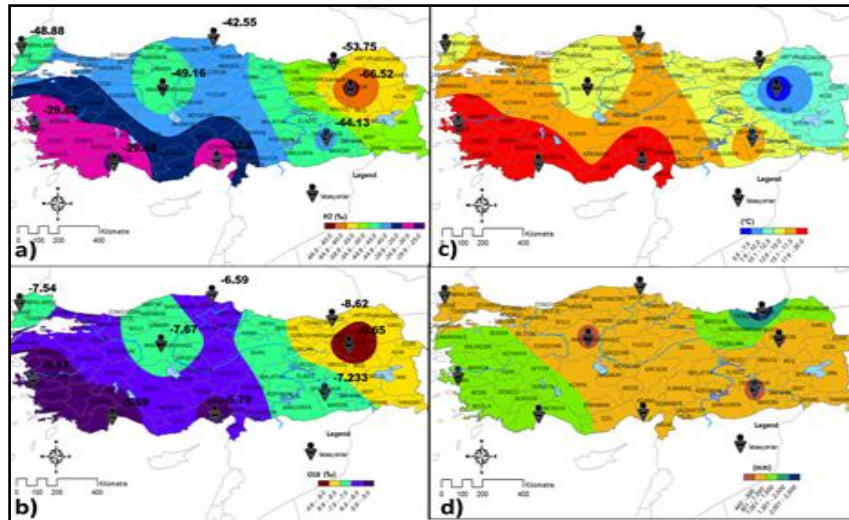
Sektörler	$d^{18}\text{O}_{\text{ortalama}}$ (‰)	$d^2\text{H}_{\text{ortalama}}$ (‰)	Örnek		
			Toplam Sayısı	2001 (%)	2002 (%)
Sektör 1	-8,14	-56,77	27	25	26,2
Sektör 2	-9,14	-63,13	51	55	36,9
Sektör 3	-7,27	-51,68	14	5	16,9
Sektör 4	-8,12	-53,52	12	10	12,3
Sektör 5	-4,58	-33,38	5	0	7,7
Sektör 6	-13,92	-96,87	3	5	36,9

(Dirican,A., vd., 2005) düzenlenerek.

Tablo 2. Yağışın izotopik değerleri ve sıcaklık (T) arasındaki ilişki,

İstasyonlar	Aylık Yağış	Günlük Yağış	Olay Bazlı Yağış
Ankara	$d^{18}\text{O}=0,357\text{T}-11,565$ ($r=0,798$) $d^2\text{H}=2,527\text{T}-79,503$ ($r=0,776$)	$d^{18}\text{O}=0,377\text{T}-12,95$ ($r=0,636$) $d^2\text{H}=2,740\text{T}-90,751$ ($r=0,635$)	$d^{18}\text{O}=-0,284\text{T}-5,43$ ($r=0,544$) $d^2\text{H}=-2,183\text{T}-33,008$ ($r=0,549$)
Antalya	$d^{18}\text{O}=0,164\text{T}-7,511$ ($r=0,3945$) $d^2\text{H}=0,707\text{T}-36,746$ ($r=0,237$)		
Adana	$d^{18}\text{O}=0,222\text{T}-8,466$ ($r=0,606$) $d^2\text{H}=1,223\text{T}-43,296$ ($r=0,497$)		

(Dirican,A., vd., 2005) düzenlenerek.



Şekil 12. Yağışın izotopik içeriği ve meteorolojik parametrelerinin (9 istasyondan) 2009 yılı değerlerinin dağılımı; a) Döteryum (^2H), b) ^{18}O ksijen, c) sıcaklık ve d) yağış miktarı.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Günümüzde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Ankara, Antalya, Adana, Edirne, Sinop, Rize, İzmir, Erzurum ve Diyarbakır istasyonları tarafından toplanan yağış örneklerini toplam yağış miktarı ve cinsi, aylık ortalama sıcaklık ve atmosferik su buharı basıncı bilgileri ile birlikte Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA)'nın laboratuvarlarında analiz yapmak üzere Viyana'ya göndermektedir. Bu güne kadar yapılan analiz sonuçları IAEA'nın teknik rapor serileri olarak yayınlanmıştır. Ayrıca Yağışın İzotop İçeriği Küresel Ağı (GNIP)'ndan gelen ve tüm dünyadan toplanıp analiz edilen verileri "http://www-naweb.iaea.org/naweb/ih/IHS_resources_isohis.html" adresinde tüm kullanıcılara sunulmaktadır. Bu veriler üretildiği istasyon ve bölge için Meteorik su denklemini ve grafiğini oluşturmak için kullanıldığı için çok önemlidir. MGM'nin toplayıp IAEA'nın analiz ettiği bu veriler DSİ ve üniversiteler başta olmak üzere diğer kuruluşlar tarafından kullanılmaktadır. Yine bu konuda çalışan kuruluşlar, uzun yıllık verilerin olmadığı diğer bölgelerde, kısa süreli örnek toplayarak çalışmalarını sürdürmektedirler.

Başlıca çalışma alanları; jeoloji, hidroloji, yeraltı suları, termal sular, yağış paternlerinin belirlenmesi, geçmiş iklim verilerinin canlandırılması ve benzerleridir. Sayılan bu çalışmaların yapılabilmesi için bu çalışmalar için elde edilen izotop verilerinin genel anlamda küresel, daha doğru anlamda bölgesel meteorik su denklemleri ile değerlendirilmesi gerekmektedir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin her ortamda konuşulduğu günümüzde, izotop verileri geçmiş sıcaklık verilerinin canlandırılmasında ve iklim değişikliği çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Yeraltı sularının, buz çekirdeklerinin, göl ve okyanus sedimentlerinin, mercanların vb. yaşları karbon-14 izotopu ve oluştukları dönemdeki sıcaklıklar Oksijen-18 yada Döteryum izotopu ile belirlenmektedir.

Kararlı izotop verileri iklim değişikliği modellerinde girdi olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde gerek yağışın doğal izotop verilerine, gerekse paleo-coğrafya/hidroloji/klimatoloji çalışmalarından elde edilen verilere ulaşımın zor olduğu düşünülürse paleo çalışmaları yaygınlaştırabilmek ve bu konuda çalışan araştırmacıların sayısını artırabilmek için ülkemizde yapılan bu çalışmaların ve verilerin sunulduğu, desteklendiği bir veri bankasına ihtiyaç vardır.

Anadolu'nun geçmişte geçirdiği değişimleri, iklimde meydana gelen değişikliklere verdiği tepkiyi anlamadan geleceği modellemek ve gelecekte meydana gelmesi olası değişiklikleri doğru anlamak ve doğru çözümler üretmek zor olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Çifter, C. ve Sayın, M., "İzotopların hidrolojide kullanılması", Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, Adana, 2002
2. Demircan, M., Yağışın İzotop İçeriğinin Gözlemlenmesi için Ulusal Şebekenin Kurulması Danışma Toplantısı Raporu, Ankara, 2006
3. Sayın, M. ve Eyüpoğlu, Ö., S., "Türkiye'deki yağışların kararlı izotop içeriklerini kullanarak yerel meteorik doğruların belirlenmesi", II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, Gümüşhanev - İzmir, 2005
4. Schotterer, U., Oldfield, F. ve Frohlich, "Global Network for Isotopes in Precipitation", IAEA - WMO, Bern - İsviçre, 1996
5. CRP, "Isotopic composition of precipitation in the Mediterranean Basin in relation to air circulation patterns and climate", IAEA - TECDOC - 1453, Avusturya, 2005
6. Dirican, A., Ünal, S., Acar, Y., Demircan, M., "The temporal and seasonal variation of H-2 and O-18 in atmospheric water vapour and precipitation from Ankara, Turkey in relation to air mass trajectories at Mediterranean Basin", 2005, IAEA-TECDOC-1453
7. R.S.ÇELİK, M.ALİŞAN, M.SAYIN, "Doğubeyazıt ve Çevresi Hidrojeolojisinin Çevresel İzotoplarla İncelenmesi", DSİ Yayınları (Y.No: İZ-961), Ankara, 2003
8. KURTTAŞ, T., Hidrolojik çalışmalarda İzotop Hidroloji Uygulamaları", III. ULUSAL HİDROLOJİDE İZOTOP TEKNİKLERİ SEMPOZYUMU, İSTANBUL, 2008
9. <http://www.iaea.org/water>

Türkiye’de iklim değişikliğinin meyve ağaçları ve tarla bitkilerinin fenolojik dönemlerine etkileri

Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crop in Turkey

N.Türkoğlu^{1*}, İ. Çiçek¹, S. Şensoy²

¹⁾ Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara

²⁾ Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara

Öz: Bu çalışmada Türkiye’de iklim değişikliği ile bitkilerin fenolojik dönemlerindeki değişiklikler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bunun için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden 1971-2012 yıllarına ait iklim verileri ile fenolojik veriler temin edilmiştir. Veriler Excel ortamında düzenlenerek her bitkinin fenolojik dönemleri için gerekli gün sayıları hesaplanmıştır. Yöntem olarak sıcaklık verisi ile fenolojik veriler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmış ve Mann Kendall trend analizi ile eğilimlerine bakılmıştır. Türkiye’de 1994 yılından bu yana pozitif sıcaklık anomalileri bulunmuştur. Elma, kiraz ve buğdayın fenolojik dönemleri ile bitki gelişiminin fazla olduğu şubat-mayıs ortalama sıcaklıkları arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. Bu durum bitkilerinin artan sıcaklıklarına tepki olarak fenolojik dönemlerini erkene kaydırdıklarını göstermektedir. Elma, kiraz ve buğdayın hasat tarihleri için hesaplanan trend sırasıyla -25, -22, -40 gün/100 yıl şeklindedir. Şubat-mayıs arası sıcaklıklarda 1.0°C’lik artışın anılan bitkilerin hasat tarihlerini sırasıyla 5, 4 ve 8 gün erkene kaydıracağı hesaplanmıştır. 21. yüzyıldaki iklim değişikliği projeksiyonlarına göre bitkilerin fenolojik devrelerinde daha fazla değişiklikler olacağı beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Fenoloji, elma, kiraz, buğday, Türkiye

Abstract: In this study we tried to find relationships between changes in temperature and phenological stages of fruit trees and field crops. Climatic and phenological data for 1971-2012 periods have been obtained from Turkish State Meteorological Service. After the data arranged in Excel, correlation coefficients between temperature and phenological stages have been calculated. Mann Kendall trend analyses have been used in order to detect trends in temperature and phenological data. Negative correlation between apple, cherry and wheat phenophases and February-May temperature have been found. This is shows that plants responds to increasing temperature as shift of their phenophases early. Calculated trends for apple, cherry and wheat are -25, -22, -40 days/100 years respectively. The regression coefficients show that an increase in air temperature between February and May of 1°C lead to an advanced harvesting date of respective plants by about 5, 4, and 8days respectively. Climate projections for the end of the 21st century indicate more increase than observed. Accordingly, great changes in plant phenophases are expected.

Keywords: Phenology, apple, cherry, wheat, Turkey

* İletişim yazarı: N. Türkoğlu, e-posta: Necla.Turkoglu@ankara.edu.tr

1. Giriş

Orta kuşakta bitki gelişimi büyük oranda hava sıcaklığına bağlıdır. İlkbaharda kış uykusundan sonra ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar, fenolojik fazların erkene kaymasına neden olmaktadır. Dünyada 1980'lerden sonra meydana gelen belirgin sıcaklık artışları bitki fenolojileri üzerine net yanıtlar sunmaktadır (Chmielewski vd., 2002).

Türkiye'de 1990'lardan sonra görülen belirgin sıcaklık artışlarının tarla ve bahçe bitkilerinin fenolojik dönemlerini öne kaydırıldığı düşünülmektedir. 1°C'lik sıcaklık artışı insanların günlük yaşamlarında çok büyük değişikliklere neden olmazken, bitki gelişiminde bu değer 2 ayda 60 gün-dereceye karşılık gelmekte ve fenolojik dönemleri kaydırma kapasitesine sahip olabilmektedir.

Gerçekleştirilen bir iklim indisi çalışmasında Türkiye'de büyüme sezonu uzunluğunun yüz yılda ortalama 21 gün arttığı tespit edilmiştir (Şensoy vd., 2013). Artan sıcaklıklar orta kuzey enlemlerde bitki gelişimini hızlandırmaktadır (Kadioğlu, Şaylan, 2000).

Büyüme sezonu uzunluğunun artmasının, tarla bitkileri ve bağcılıkta tür seçimi, münavebe gibi pozitif etkileri olabileceği gibi, kısalan gelişme döneminin, tahıllarda tane doluluğu ve yoğunluğu, başak başına tane sayısı ve tane ağırlığı üzerine negatif etkileri olacaktır. Meyve ağaçlarının erken çiçek açması geç don zararlarını artıracaktır (Chmielewski vd., 2002).

1.1. Çalışmanın Amacı

Küresel iklim değişikliği 21. yüzyılda insanoğlunun yüz yüze kaldığı en büyük problemlerden biridir. İklim değişikliği hem hava patenlerindeki değişikliği arttıracak hem de ekstrem olayların frekansı ve şiddetinde artışlara neden olacaktır. Sağlık, su kaynakları, tarım ve afet risk azaltım sektörleri iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek öncelikli sektörler arasında yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, küresel iklim değişikliğine paralel olarak Türkiye ikliminde gözlenen değişikliklerin, tarla bitkileri ve bahçe bitkilerinin fenolojik dönemleri üzerine yapacağı olası etkilerin neler olacağını araştırmaktır.

Çalışmada tarla bitkilerinden, ülkemizin beslenmesinde önemli bir yere ve stratejik öneme sahip buğday bitkisi seçilmiştir. Meyve ağaçlarından ise yine ülkemizin büyük bir bölümünde üretimi yapılan ekonomik değeri yüksek kiraz ve elma ağaçları ele alınmıştır.

21. Yüzyılda beklenen sıcaklık projeksiyonları, 20. Yüzyılda gözlenenden çok daha fazladır. Eğer sıcaklıkta gözlenen değişiklikler bitkilerin fenolojik safhalarında değişikliğe sebep olmuş ise 21. Yüzyıl sonları için beklenen sıcaklık artışları bitki fenolojik safhalarını daha da fazla etkileyecektir. Bu da bize yüzyılın sonlarına doğru bitkilerin fenolojik dönemlerinde önemli kaymalar olacağının sinyallerini vermektedir.

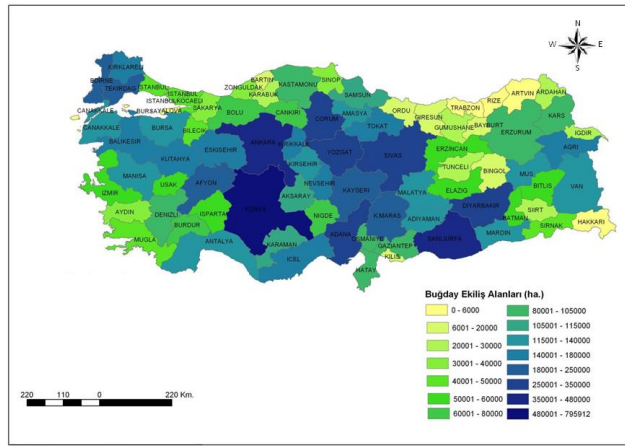
2. Genel Bilgiler

2.1. Fenoloji: Bitki ve hayvanların büyüme ve gelişme dönemlerindeki değişik safhaları ve bu safhaların iklimle olan ilişkilerini inceleyen bilim dalıdır (DMİ, 2005). Sözcük, eski Yunancada ‘Phainestai’den gelmekte ve göstermek ya da görünmek anlamlarına gelmektedir (Koch vd., 2007).

2.2. Önceki çalışmalar: Çalışmaya ışık tutması açısından literatür taraması yapılmış ve benzer konularda on iki adet yayın incelenmiştir. Bu yayınlarda genel olarak son yıllarda artan sıcaklıklara ters orantılı olarak bitkilerin gelişme safhalarını erkene kaydırması tespit edilmiştir.

2.3. Bitkilerin iklim istekleri ve fenolojik dönemleri: Bu bölümde buğday, kiraz ve elmanın iklim istekleri, yayılış alanları ve fenolojik safhaları incelenmiştir.

2.3.1. Buğdayın iklim istekleri ve fenolojik dönemleri



Buğday bitkisi yetiştirme döneminin ilk devrelerinde düşük sıcaklık ve bol nemli hava istemektedir. Özellikle çıkış ve kardeşlenme sırasında buğday 5-10°C sıcaklık ve %60 nispi neme ihtiyaç duymaktadır. Sapa kalkma döneminde ise 10-15°C sıcaklık ve %65 nispi nem isteği olmaktadır. Serin iklim tahıllarından olan buğday kışa oldukça dayanıklıdır (Süzer, 2007). Türkiye’de ağırlıklı olarak İç Anadolu, Trakya ve Güneydoğu Anadolu’da olmak üzere ülkemizin tamamında buğday tarımı yapılmaktadır (Şekil 1).

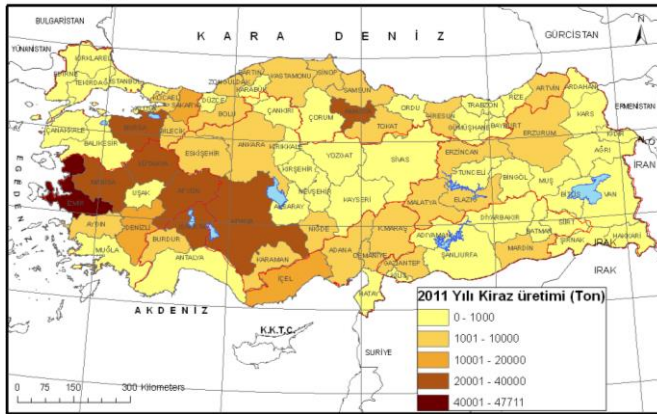
Şekil 1. Türkiye buğday ekim alanları



Şekil 2. Buğdayın fenolojik dönemlerinden görüntüler (DMİ, 2005)

Buğdayın fenolojik dönemleri ekim, çıkış, yapraklanma, kardeşlenme, sapa kalkma, başaklanma, çiçeklenme, olgunlaşma ve hasat şeklindedir (DMİ, 2005).

2.3.2. Kiraz'ın iklim istekleri ve fenolojik dönemleri



Kiraz kış mevsiminde belli bir süre dinlenmeye, iklim bakımından sıcak bir büyüme sezonuna ve yağmursuz bir hasat dönemine ihtiyaç duyar. Kiraz ağaçlarının gövde ve ana dalları -26 - 28°C'ye dayanabildiği halde çiçeklenme döneminde bu sınır -2.0°C'dir. İlkbaharın geç donları kirazlarda zararlara sebep olabilir. Kirazlarda çiçeklenme ve meyve teşekkülü sırasındaki yağış, döllemeyi olumsuz yönde etkilediğinden istenmez.

Şekil 3. Türkiye'de 2011 yılında illere göre kiraz üretim miktarları (veri: TÜİK, 2012)

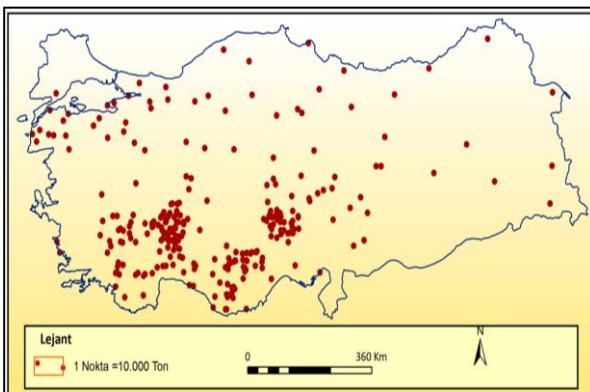
Türkiye'de ağırlıklı olarak Ege, Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Bölgeleri olmak üzere tüm yurttaki kiraz yetiştiriciliği yapılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 4. Kirazın fenolojik dönemleri (DMİ, 2005)

Kirazın fenolojik dönemleri tomurcukların kabarması, çiçek tomurcuklarının açılması, çiçeklenme, yapraklanma, meyve teşekkülü, olgunlaşma ve hasat şeklinde belirtilmektedir.

2.3.3. Elmanın iklim istekleri ve fenolojik dönemleri



Elma ağacı soğuk ılıman iklimin en önemli meyvesidir. Kışın çok düşük sıcaklıklara dayanıklı olmasına rağmen, gelişimini yavaşlattığı için yüksek yaz sıcaklıklarından hoşlanmaz. Soğuklama isteği 7°C'nin altında 2300-2700 saattir. İlkbaharda 9°C'den sonra çiçek açmaya başlar. Soğuğa dayanım, ilkbahar aylarda azalır ve tomurcukların kabarma devresinde bitki soğuğa en duyarlı halini alır. Yüksek ışık yoğunluğu elmada çok iyi renk oluşumunu sağlar

Şekil 5. Türkiye'de illere göre elma üretimi

Türkiye’de başta İç Batı Anadolu, Göller Yöresi, Güney Marmara, Taşeli Platosu, Amasya ve Niğde olmak üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesi hariç yurdumuzun birçok yerinde elma üretimi yapılmaktadır (Şekil 5).

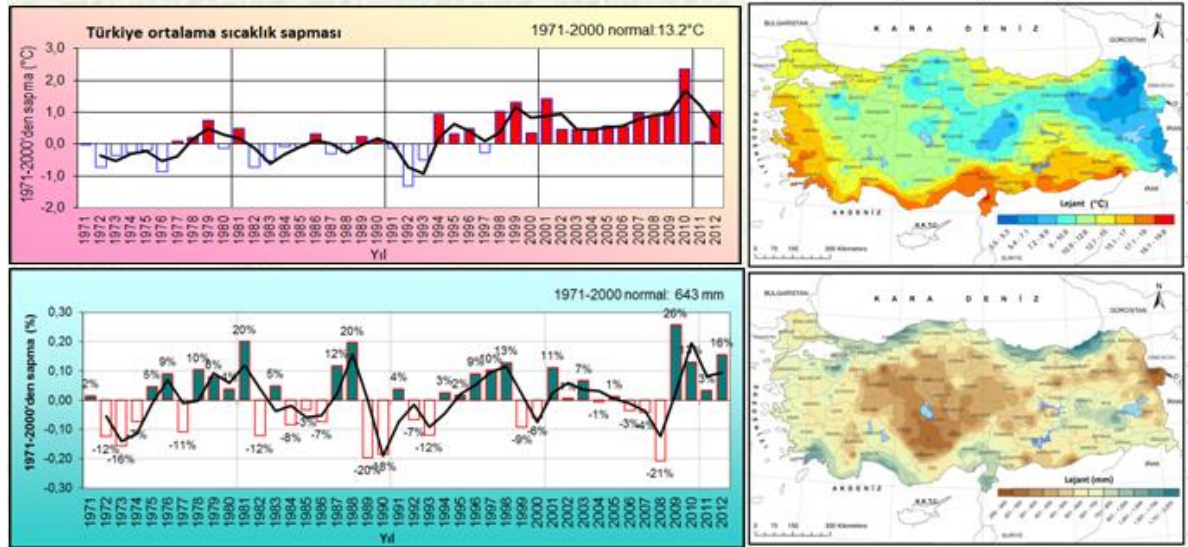


Şekil 6. Elmanın fenolojik dönemleri ((DMİ, 2005).

Elmanın fenolojik dönemleri tomurcukların kabarması, tomurcuklarının açılması, yapraklanma, çiçeklenme, meyve bağlama, olgunlaşma ve hasat şeklinde belirtilmektedir.

2.4. Türkiye iklim değerlendirmesi

Türkiye ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer alır. Üç tarafının denizlerle çevrili olması, dağların uzanışı ve yeryüzü şekillerinin çeşitlilik göstermesi, ülkede farklı özellikte iklim tiplerinin oluşmasına neden olmaktadır. Ülkemizin kıyı bölgelerinde denizlerin etkisiyle daha ılıman iklim özellikleri görülürken; kuzey Anadolu ve Toros sıradağlarının deniz etkilerini engellemesi sonucu iç kesimlerde karasal iklim özellikleri görülür

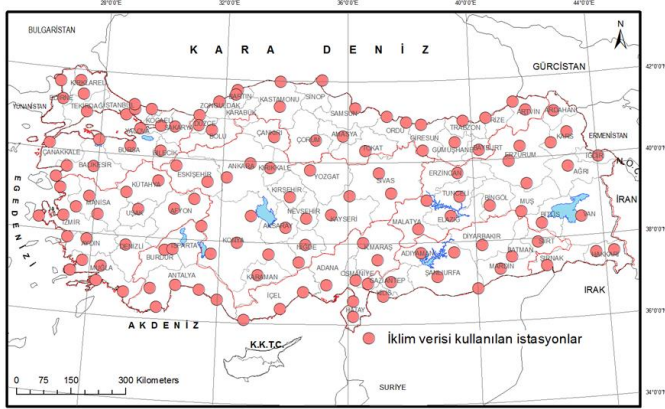


Şekil 7. Sıcaklık ve yağışların zamansal ve alansal değişimi (Şensoy vd, 2008’den güncellenerek)

Türkiye’nin 1971-2000 iklim periyoduna ait uzun yıllık ortalama sıcaklığı 13.2°C’dir. Türkiye ortalama sıcaklıklarında 1994 yılından bu yana (1997 yılı hariç) pozitif sıcaklık anomalileri ve artış trendi izlenmektedir. Türkiye’nin 1971-2000 iklim periyoduna ait ortalama yıllık toplam yağışı 643 mm’dir. Türkiye yağışlarının zaman serisi ve anomalisi incelendiğinde kurak ve ıslak periyotların birbirini izlediği görülmektedir (Şekil 7).

3. Kullanılan Veriler

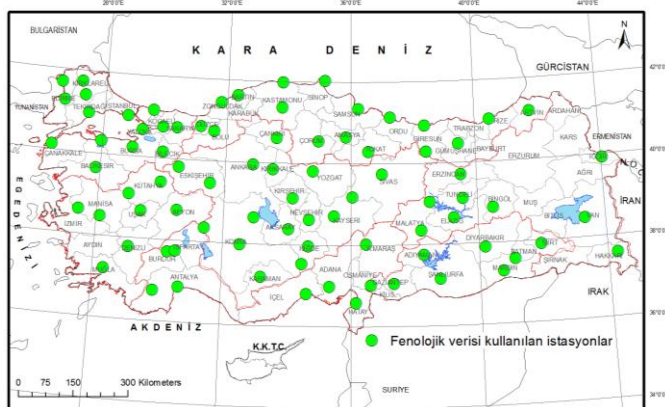
3.1. İklim verileri



Çalışma için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) 1971-2012 yıllarını kapsayan ve il merkezleri ile büyük ilçelerden oluşan 130 istasyonun ortalama sıcaklık ve yağış verileri temin edilmiştir. İklim verisi kullanılan istasyonlar tüm il merkezlerini ve büyük ilçeleri içermekte olup Türkiye'yi temsil edecek şekilde dağılmışlardır.

Şekil 8. İklim verisi kullanılan istasyonlarının coğrafi dağılımı

3.2. Fenolojik veriler



Çalışma için MGM'den 1979 - 2010 yılları arası verisi bulunan buğday için 77, elma için 70 ve kiraz için 83 istasyona ait fenolojik veriler temin edilmiştir. Fenolojik verisi kullanılan istasyonlar Erzurum, Kars, Ardahan, Ağrı ve Muş dışında Türkiye'yi temsil edecek şekilde dağılmışlardır.

Şekil 9. Çalışmada fenolojik verisi kullanılan istasyonların coğrafi dağılımı

4. Analiz ve Bulguların Yorumlanması

4.1. Veri Analiz Yöntemi

İklim verileri ve fenolojik veriler işlenip analiz edilerek aralarındaki ilişki ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır. Veriler Excel ortamında düzenlenip her fenolojik dönem için gereken gün sayıları hesaplanmış ve yılın günü şeklinde kaydedilmiştir. Trend analizi 'Mann Kendall trend analiz yöntemi' ile, eğim tahminleri ise 'Sen eğim tahminleri' ile yapılmıştır (Salmi vd, 2002). Doğrulanmış ve ilişkilendirilmiş veri setlerinin grafikleri ve haritaları hazırlanmıştır. Haritalar Surfer ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları kullanılarak üretilmiştir.

4.2. Verilerin ilişkilendirilmesi

Büyümenin gerçekleştiği şubat-mayıs arası ortalama sıcaklıklar ile fenolojik veriler arasındaki korelasyon katsayıları Pearson çarpım-moment korelasyon katsayısı ile aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (URL 11).

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n - 1)s_x s_y}$$

Burada; $\bar{x}$ ve $\bar{y}$, x_i ve y_i için örneklem (sıcaklık ve fenolojik veriler) aritmetik ortalamaları; s_x ve s_y x_i ve y_i için örneklem standart sapmaları ve toplam $\sum i=1$ ile n arasındadır.

Tablo 1. İlişki düzeyi ve yönü (URL 1)

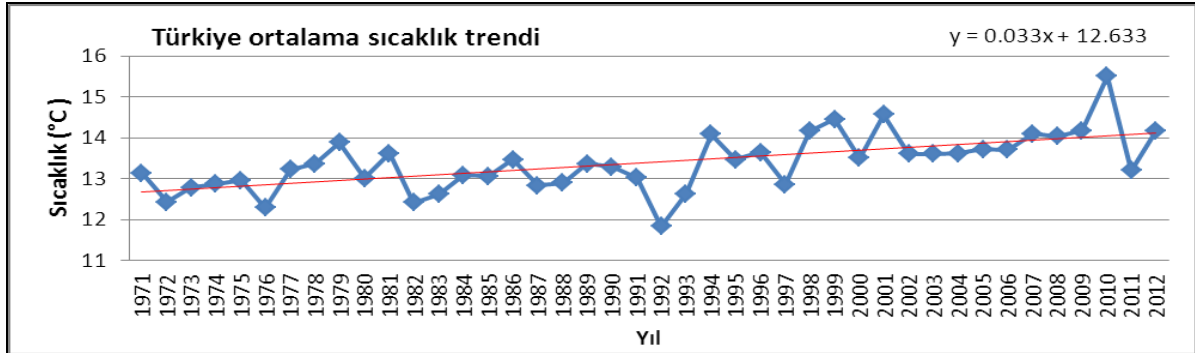
Korelasyon	Negatif	Pozitif
Düşük	-0,29 - -0,10	0,10 - 0,29
Orta derecede	-0,49 - -0,30	0,30 - 0,49
Yüksek	-0,50 - -1,00	0,50 - 1,00

Hem noktasal hem Türkiye geneli Korelasyon katsayıları (r) hesaplanmıştır. Korelasyonun açıklaması Tablo 1'e göre yapılmıştır.

Kaynak: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon>

4.3. Türkiye ortalama sıcaklıklarındaki değişimler

Sıcaklıkların fenolojik dönemleri nasıl etkilediğini değerlendirebilmek için öncelikle Türkiye ortalama sıcaklıklarındaki değişimler sorgulanmıştır.



Şekil 10. Türkiye'nin yıllık ortalama sıcaklıkları ve trendleri

Türkiye'de 1971 – 2012 periyodunda sıcaklıklar artmaya devam etmiştir. Artış trendi 3.3°C/ yüzyıl şeklindedir ve bunun 1.3°C'lik kısmı (14.1-12.8) zaten gerçekleşmiştir (Şekil 10).

Tablo 2. Türkiye 1971-2012 ortalama sıcaklıklarının eğim istatistikleri

Zaman serisi	İlk yıl	Son yıl	n	Mann-Kendall trend		Sen eğim tahminleri				
				Test Z	Önemlilik	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Ocak	1971	2012	42	1.15		0.037	-0.04	0.11	-0.02	0.08
Şubat	1971	2012	42	0.61		0.017	-0.06	0.09	-0.04	0.07
Mart	1971	2012	42	0.76		0.019	-0.04	0.08	-0.02	0.07
Nisan	1971	2012	42	1.19		0.021	-0.03	0.07	-0.02	0.06
Mayıs	1971	2012	42	1.86	+	0.024	-0.01	0.06	0.00	0.05
Haziran	1971	2012	42	4.64	***	0.048	0.02	0.07	0.03	0.06
Temmuz	1971	2012	42	4.25	***	0.052	0.03	0.08	0.03	0.07
Ağustos	1971	2012	42	4.60	***	0.065	0.03	0.10	0.04	0.09
Eylül	1971	2012	42	2.41	*	0.031	0.00	0.06	0.01	0.05
Ekim	1971	2012	42	2.04	*	0.038	-0.01	0.09	0.00	0.07
Kasım	1971	2012	42	1.24		0.027	-0.03	0.09	-0.02	0.07
Aralık	1971	2012	42	1.69	+	0.043	-0.02	0.10	0.00	0.08
Yıllık	1971	2012	42	4.53	***	0.033	0.02	0.05	0.02	0.05

Trendlerdeki önemlilik düzeyleri: ***p<0,001, **p<0,01, *p<0,05, +p<0,1

Mann-Kendall trend analizi ile yapılan çalışmada Türkiye’de tüm aylardaki sıcaklık eğilimlerinin pozitif olduğu izlenmektedir (Tablo 6). Özellikle yaz mevsimi ile yıllık sıcaklıklardaki artış eğilimlerinin %99.9 seviyesinde önemli olduğu görülmüştür. (p<0.001). Eylül ve ekim ayı sıcaklık trendlerinin %95 seviyesinde önemli olduğu görülmüştür. Bunun yanında mayıs ve aralık ayı sıcaklık trendlerinin %90 seviyesinde önemli olduğu görülmüştür. Yıllık sıcaklık verisindeki doğrusal trend 0.33°C/onyıl şeklindedir. Çalışmada ele alınan 1971 - 2012 yılları boyunca ortalama sıcaklıklar yaklaşık 1.3°C artmıştır. Türkiye sıcaklıklarındaki bu değişiklikler, küresel sıcaklık değişimleri ile de uyumludur (Şensoy vd., 2007).

4.4. İklim ve fenolojik veriler arası ilişki katsayıları

Tablo 3. İstasyonların fenolojileri ile şubat-mayıs ortama sıcaklıkları arası ilişki katsayıları

Boylam	Enlem	İSTASYON	Buğday başak	Buğday hasat	Kiraz çiçek	Kiraz meyve	Kiraz hasat	Elma çiçek	Elma meyve	Elma hasat
35,35	36,98	ADANA	-0,11	-0,18						
38,28	37,75	ADIYAMAN	0,19	0,39						
30,53	38,75	AFYONKARAHİSAR	-0,33	0,12	-0,28	-0,33	-0,96	0,33	-0,04	0,08
34,05	38,38	AKSARAY	-0,37	-0,37				0,34	0,20	-0,04
35,85	40,65	AMASYA	-0,77	-0,05	-0,84	-0,43	-0,98	-0,80	-0,82	0,09
32,88	39,95	ANKARA	-0,34	-0,46	-0,84	-0,83	-0,82	-0,20	0,08	-0,59
30,70	36,87	ANTALYA	-0,13	0,41						
41,82	41,18	ARTVİN	-0,02	0,54	0,75	0,23	-0,04	-0,16	-0,09	0,20
27,87	39,65	BALIKESİR	0,20	-0,27				0,08	0,29	0,10
32,33	41,63	BARTIN	-0,36	-0,56				0,03	-0,82	-0,42
29,98	40,15	BİLECİK	-0,09	-0,07	-0,59	-0,51	-0,66	0,15	-0,12	0,65
40,50	38,87	BİNGÖL	-0,20	-0,37				-0,22	-0,44	-0,28
31,60	40,73	BOLU	-0,10	-0,06	0,23	0,35	0,49	-0,17	-0,03	0,19
30,30	37,72	BURDUR	-0,13	-0,20	0,10	-0,54	-0,36	0,56	0,79	-0,41
29,00	40,22	BURSA	-0,51	-0,64	-0,26	-0,16	-0,43			
26,40	40,13	ÇANAKKALE	-0,28	-0,17	-0,41	-0,59	-0,43	0,07	0,20	-0,05
33,62	40,62	ÇANKIRI	-0,39	-0,13				0,22	-0,02	-0,05

Pozitif ilişkiler **kırmızı**, negatif ilişkiler **mavi** renkte gösterilmiştir. İlişkinin derecesi ise 0.10-0.29 düşük, 0.30-0.49 orta derecede, 0.50-1.00 yüksek ilişki şeklindedir (Tablo 3).

Noktasal ilişkilerin yanında Türkiye geneli olarak büyümenin gerçekleştiği şubat-mayıs arası ortalama sıcaklıkları ile fenolojik veriler arasında negatif ilişkiler bulunmuştur. Hem noktasal hem de Türkiye geneli olarak kirazın meyve ve hasat dönemleri ile sıcaklıklar arasında yüksek negatif ilişkiler söz konusudur (r=0.98, Amasya).

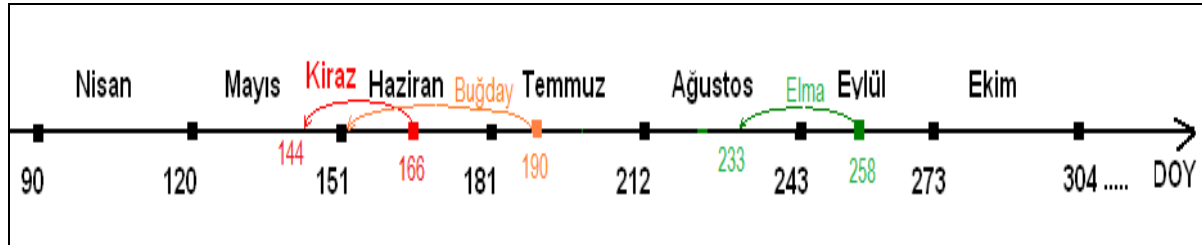
4.5. Fenolojik dönemlerle ilgili trendler ve eğim tahminleri

Tablo 4. Türkiye’de fenolojik dönemlerle ilgili trendler ve eğim tahminleri

Fenolojik dönemler	İlk yıl	Son yıl	n	Mann-Kendall trend		Sen eğim tahminleri				
				Test Z	Önemlilik	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
Kış uykusu uzunluğu	1979	2010	32	-1,41		-0,38	-1,13	0,31	-0,95	0,13
elma çiçek	1979	2010	32	-1,76	+	-0,20	-0,47	0,10	-0,41	0,00
elma meyve	1979	2010	32	-1,22		-0,13	-0,46	0,17	-0,36	0,08
elma hasat	1989	2010	22	-2,02	*	-0,25	-0,59	0,10	-0,50	0,00
kiraz çiçek	1991	2010	20	-0,52		-0,26	-1,09	0,68	-0,89	0,40
kiraz meyve	1980	2010	31	-1,70	+	-0,12	-0,33	0,07	-0,29	0,01
kiraz hasat	1987	2010	24	-1,36		-0,22	-0,60	0,31	-0,53	0,14
buğday başak	1979	2009	31	-4,58	***	-0,40	-0,58	-0,24	-0,53	-0,29
buğday hasat	1979	2009	31	-4,52	***	-0,40	-0,56	-0,20	-0,53	-0,25
Şubat-mayıs ort. sic.	1979	2010	32	2,29	*	0,05	0,00	0,09	0,01	0,09

Trendlerin önemlilik düzeyleri ***p<0,001, **p<0,01, *p<0,05, +p<0,1

Gerçekleştirilen Mann-Kendall trend analizine göre bitki gelişiminin başladığı şubat-mayıs dönemi sıcaklıklarındaki 0.5°C/on yıl şeklindeki artış (%95 seviyesinde önemli) fenolojik olayların tarihlerinde fark edilir bir şekilde negatif trend olarak adlandırılabilir ve erkene kayma ile sonuçlanacak değişikliklere sebep olmuştur. Özellikle kışlık buğdayın başaklanma ve hasat tarihlerinde yüz yılda 40 gün öne kayma eğilimi hesaplanmıştır ve bu trend %99.9 seviyesinde önemlidir. Elmanın hasat tarihinde 25 gün/100 yıl şeklinde erkene kayma eğilimi bulunmuştur. Bu trend de %95 seviyesinde önemlidir. Ayrıca elmanın çiçeklenme ve kirazın meyve oluşumu tarihlerinde de sırasıyla 20 ve 12 gün/100 yıl olmak üzere erkene kayma eğilimi bulunmuştur. Bu iki trend de %90 seviyesinde önemlidir. Diğer fenolojik dönemlerde de erkene kaymanın arttığı görülmüştür fakat bunlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 4).

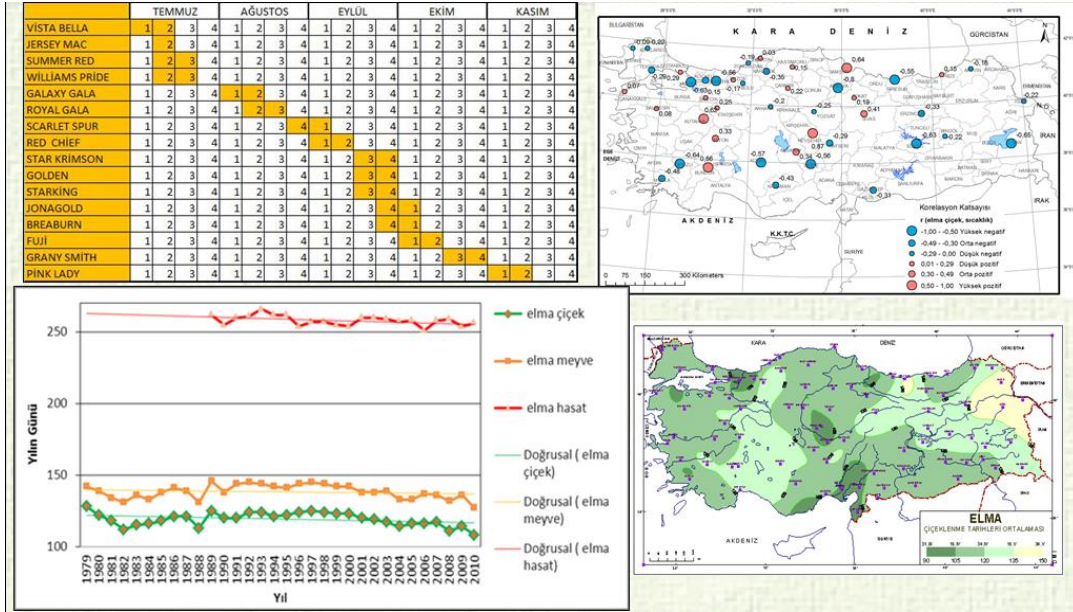
**Şekil 11.** Yılın günleri ile kiraz, buğday ve elmanın hasat tarihlerindeki değişimler

Elma, kiraz ve buğdayın hasat tarihlerinde beklenen trend sırasıyla -25,-22,-40 gün/100 yıldır.

4.6. Fenolojik Dönemlerin Hava Sıcaklığına Hassasiyeti

Bulunan regresyon katsayısı şubat-mayıs arası ortalama sıcaklıklarda 1.0°C'lik artışın Elmanın çiçeklenme, meyve ve hasat tarihlerini sırasıyla 2, 2.6 ve 5 gün, kirazın çiçeklenme, meyve ve hasat tarihlerini sırasıyla 5.2, 2.4 ve 4.4 gün; buğdayın başaklanma ve hasat tarihlerini ise 8 gün erkene kaydıracağını göstermektedir.

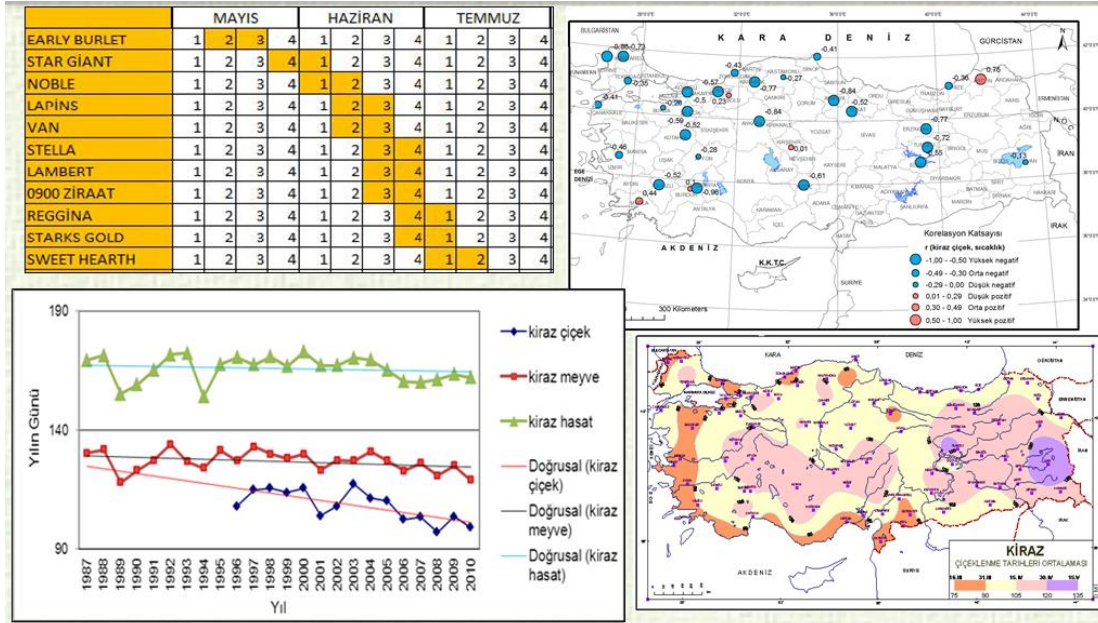
4.7. Elmanın fenolojik dönemlerindeki değişimler



Şekil 12. Elma türleri ve hasat tarihleri (sol üst) sıcaklık ve elma çiçeklenme tarihi arasındaki ilişki (sağ üst) elma fenolojik dönemlerinin trendleri (sol alt) ve elma çiçeklenme tarihleri haritası (sağ alt)

Elmanın çiçeklenme, meyve oluşumu ve hasat olmak üzere her 3 fenolojik döneminde de sırasıyla 20, 13 ve 25 gün/100 yıl şeklinde erkene kayma eğilimi gözlenmiştir.

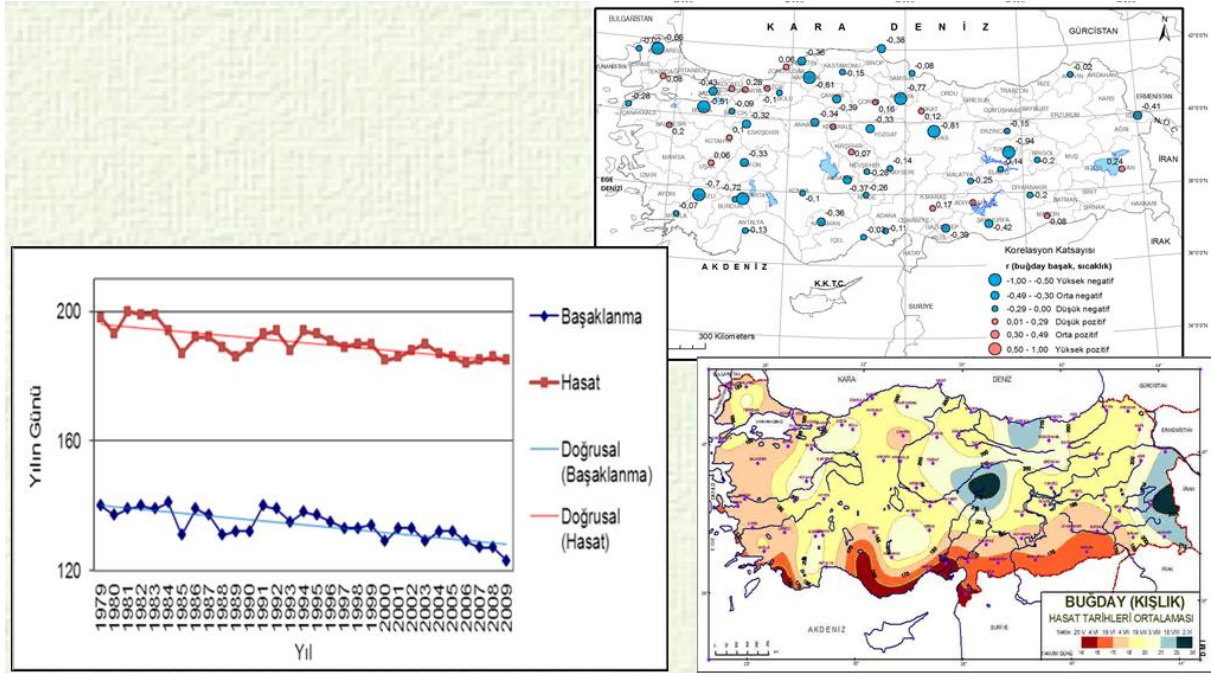
4.8. Kirazın fenolojik dönemlerindeki değişimler



Şekil 13. Kiraz türleri ve hasat tarihleri (sol üst) sıcaklık ve kiraz çiçeklenme tarihi arasındaki ilişki (sağ üst) kiraz fenolojik dönemlerinin trendleri (sol alt) ve kiraz çiçeklenme tarihleri haritası (sağ alt)

Kirazın çiçeklenme, meyve oluşumu ve hasat olmak üzere her 3 fenolojik döneminde de sırasıyla 26, 12 ve 22 gün/100 yıl şeklinde erkene kayma eğilimi gözlenmiştir.

4.9. Buğdayın fenolojik dönemlerindeki değişimler



Şekil 14. Sıcaklık ile buğday başaklanma tarihi arasındaki ilişki (sağ üst) buğday fenolojik dönemlerinin trendleri (sol alt) ve buğday hasat tarihleri haritası (sağ alt)

Buğdayın başaklanma ve hasat olmak üzere her iki fenolojik döneminde de 40 gün/100 yıl şeklinde erkene kayma eğilimi gözlenmiştir.

5. Sonuç

Türkiye’de 1994 yılından bu yana pozitif sıcaklık anomalileri bulunmuştur. Elma, kiraz ve buğdayın fenolojik dönemleri ile bitki gelişiminin fazla olduğu şubat-mayıs ortalama sıcaklıkları arasında negatif bir ilişki bulunmuştur. Bu durum bitkilerinin artan sıcaklıklarına tepki olarak fenolojik dönemlerini erkene kaydardıklarını göstermektedir. Elma, kiraz ve buğdayın hasat tarihleri için hesaplanan trend sırasıyla -25, -22, -40 gün/100 yıl şeklindedir. Şubat-mayıs arası sıcaklıklarda 1.0°C’lik artışın anılan bitkilerin hasat tarihlerini sırasıyla 5, 4 ve 8 gün erkene kaydıracağı hesaplanmıştır.

21. yüzyıldaki iklim değişikliği 20. yüzyılda gözlenenden daha geniş ve daha kuvvetli olacaktır. Türkiye için beklenen sıcaklık projeksiyonları 3-4°C/100 yıldır (RCP 4.5), (Demir vd., 2013). Buna bağlı olarak yüzyılın sonlarına doğru bitkilerin fenolojik devrelerinde önemli değişiklikler olacağı beklenmektedir.

Türkiye için gerçekleştirilen iklim indisi çalışmasında sıcaklıkla ilişkili yaz günleri, tropik geceler, sıcak günler ve geceler ile büyüme sezonu uzunluğu indislerinde artış trendleri bulunmuştur.

Kısalan gelişme döneminin tahıllarda tane doluluğu, başak başına tane sayısı ve tane ağırlığı üzerine negatif etkileri olacaktır. Meyve ağaçlarının erken çiçek açması da geç don zararını artıracaktır, erken olgunlaşan ürünlerin kalitesi bozulacak ve pazar değerleri düşecektir.

Referanslar

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.

Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Tüvan, A., Demircan, M., Akçakaya A., 2013, Yeni senaryolarla Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları, TİKDEK 2013, url: <http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/rcp-45.pdf>

DMİ, 2005, Fenolojik Gözlemler, Meteoroloji memurlarının el kitabı, Teknik Seri No. 6.

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

Koch, E., Bruns, E., 2, Chmielewski, F.M., 3, Defila, C., Lipa, W., Menzel, A., 2007, Guidelines for plant phenological observations, World Meteorological Organization, url:

Salmi, T., Maatta, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T., 2002, Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by The Mann-Kendall, FMI, Helsinki

Şensoy, 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

Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y., Balta, İ., 2008, Türkiye iklimi, D.M.İ., Ankara
Url: http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/turkiye_iklimi.pdf

Şensoy S., Türkoğlu N., Akçakaya A., Ulupınar Y., Ekici M., Demircan M., Atay H., Tüvan A., Demirbaş H., 2013: Trends in Turkey Climate Indices From 1960 to 2010, 6th Atmospheric Science Symposium, 24-26 April 2013, ITU, Istanbul, Turkey.

TÜİK, 2012, Türkiye istatistik yılı 2012, Türkiye tarım istatistikleri, url: <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>

URL 1: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon> 3 Mart 2014

CLIMATE CHANGE PROJECTIONS FOR TURKEY WITH NEW SCENARIOS

Mesut DEMİRCAN¹, Ömer DEMİR², Hakkı ATAY³, Başak YAZICI⁴, Osman ESKİOĞLU⁵, Arzu TUVAN⁶,
Alper AKÇAKAYA⁷

Turkey State Meteorological Service, Research Department, Climatological Service, Ankara, Turkey
mdemircan@mgm.gov.tr¹, omerdemir@mgm.gov.tr², hatay@mgm.gov.tr³, byazici@mgm.gov.tr⁴,
oeskioglu@mgm.gov.tr⁵, atuvan@mgm.gov.tr⁶, aakcakaya@mgm.gov.tr⁷

Abstract: A scenario is a coherent, internally consistent and plausible description of a possible future state of the world. It is not a forecast; rather, each scenario is one alternative image of how the future can unfold. A projection may serve as the raw material for a scenario, but scenarios often require additional information (e.g., about baseline conditions). A set of scenarios is often adopted to reflect, as well as possible, the range of uncertainty in projections. Other terms that have been used as synonyms for scenario are "characterisation", "storyline" and "construction" (IPCC, URL). Scenarios of potential future anthropogenic climate change, underlying driving forces, and response options have always been an important component of the work of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). They should not be considered forecasts or absolute bounds. RCPs are representative of plausible alternative scenarios for the future but are not predictions or forecasts of future outcomes. No RCP is intended as a "best guess," most likely, or most plausible projection (IPCC, 2007). The name "representative concentration pathways - RCP's" was chosen to emphasize the rationale behind their use. RCPs are referred to as pathways in order to emphasize that their primary purpose is to provide time-dependent projections of atmospheric greenhouse gas (GHG) concentrations. In addition, the term pathway is meant to emphasize that it is not only a specific long-term concentration or radiative forcing outcome, such as a stabilization level, which is of interest, but also the trajectory that is taken over time to reach that outcome. They are representative in that they are one of several different scenarios that have similar radiative forcing and emissions characteristics. In this study, we tried to reveal the possibilities of future climate change for Turkey in a region encompassing our country with the regional climate model. HadGEM2-ES Global Circulation Model outputs which is produced with RCP4.5 and RCP8.5 concentration scenarios have been used in the study, which are used CMIP5 project and situated in the IPCC 5th Assessment Report. Temperature and precipitation projections for Turkey have been produced from these outputs, for a domain with 20 km resolution that is include our country and for a period between the years 2013-2099, using by RegCM4.3.4 regional climate model and with dynamic downscaling method.

Keywords: IPCC, RCP, HadGEM2-ES, RegCM, Climate Change

1. INTRODUCTION

The importance of climate in human life is associated with positive or negative effects of the climate in social and economic life and how it affects (Demir et al., 2013). To sustain the lives of people under better conditions and more soundly, many institutions and organizations, both as national and international, central and local governments and non-governmental organizations have made efforts in different ways in order to determine changes that may occur in climate and the impact of these changes correctly.

The most important of these efforts are climate modelling studies. Variables representing environmental conditions may include in the model in more detail in conjunction with the

development of technology. From the 1970s climate models began to be used with the proliferation of the use of computers for scientific purposes. In the first climate model studies, climate was modelled according to only the atmosphere and observed parameters in the atmosphere. In parallel with technological and scientific developments, land surface, oceans, sea ice, sulphate aerosols, carbon cycle, atmospheric chemistry and dynamics of vegetation and other factors have been new parameters that are important inputs to climate models.

With the development of science and technology studies on climate change has been put into a more meaningful effort with the guidance of the IPCC which is created association under the name of International Panel on Climate Change after 1990 years. Synergy of this association, IPCC studies results, was carried out with a certain period.

Under the World Climate Research Programme (WCRP) the Working Group on Coupled Modelling (WGCM) established the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) as a standard experimental protocol for studying the output of coupled atmosphere-ocean general circulation models (AOGCMs)(CMIP,URL). CMIP provides a community-based infrastructure in support of climate model diagnosis, validation, intercomparison, documentation and data access. This framework enables a diverse community of scientists to analyse GCMs in a systematic fashion, a process which serves to facilitate model improvement. Virtually the entire international climate modelling community has participated in this project since its inception in 1995.

Climate models are the primary tools available for investigating the response of the climate system to various forcings, for making climate predictions on seasonal to decadal time scales and for making projections of future climate over the coming century and beyond (IPCC,2013). RCMs are limited-area models with representations of climate processes comparable to those in the atmospheric and land surface components of AOGCMs, though typically run without interactive ocean and sea ice. Regional Climate Models (RCMs) are applied over a limited-area domain with boundary conditions either from global reanalyses or global climate model output. RCMs are often used to dynamically ‘downscale’ global model simulations for some particular geographical region to provide more detailed information (IPCC, 2013; Laprise, 2008; Rummukainen, 2010). By contrast, empirical and statistical downscaling methods constitute a range of techniques to provide similar regional or local detail. Parameterizations are included in all model components to represent processes that cannot be explicitly resolved; they are evaluated both in isolation and in the context of the full model. Atmospheric models must parameterize a wide range of processes, including those associated with atmospheric convection and clouds, cloud-microphysical and aerosol processes and their interaction, boundary layer processes, as well as radiation and the treatment of unresolved gravity waves.

HadGEM2 stands for the Hadley Centre Global Environment Model version 2. The HadGEM2 family of models comprises a range of specific model configurations incorporating different levels of complexity but with a common physical framework. The HadGEM2 family includes a coupled atmosphere-ocean configuration, with or without a vertical extension in the atmosphere to include a well-resolved stratosphere, and an Earth-System configuration which includes dynamic vegetation, ocean biology and atmospheric chemistry. Members of the HadGEM2 family will be used in the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. The ENSEMBLES project also uses members of this model family. The standard atmospheric component has 38 levels extending to -40km height, with a horizontal resolution of 1.25 degrees of latitude by 1.875 degrees of longitude, which produces a global grid of 192 x 145 grid cells. This is equivalent to a surface resolution of about 208 km x 139 km at the Equator, reducing to 120 km x 139 km at 55 degrees of latitude. A vertically-extended version, with 60 levels extending to 85km height, is also used for investigating stratospheric processes and their influence on global climate. The oceanic component utilizes a latitude-longitude grid with a longitudinal resolution of 1 degree, and latitudinal resolution of 1 degree between the poles and 30 degrees North/South, from which it increases smoothly to one third of a degree at the equator, giving 360 x 216 grid points in total, and 40 unevenly spaced levels in the vertical (a resolution of 10m near the surface)(MetOffice, URL).

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 (Demircan et al. 2013). Using climate normals are very important tool to provide a standard base for preparing global assessment and climate monitoring studies. The reference period of Climate; 1961-1990, 1971-2000 and 1981-2010 as climate normals are used by scientists, national climate services and international institutions and organizations in international, national and regional-based climate monitoring, climate trends, climate change and climate modelling studies.

Climate change prediction studies provide the main data input in all sectors to be made in planning for adaptation, mitigation and prevention efforts ie. future planning of stakeholders must be based on climate and climate model outputs. Under climate change context, different scenarios of global climate models to be made for future must be downscaled to form a high resolution data set for Turkey and vicinity. These data are become available as sectorial and are used as the basis by sector for their planning in adaptation, mitigation and prevention activities will improve the accuracy and success of their studies.

2. METHODS

The work presented involves the reproduction of climate parameters with a higher resolution by using a regional climate model (RegCM4.3.4) and downscaling method from outputs of HadGEM2-ES Global Circulation Model which is prepared for the IPCC 5th Assessment Report and produced on the basis of RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

2.1 Representative Concentration Pathways - RCP's

"Experts Meeting" with broad participation was organized by the IPCC in September 2007 for a new approach for climate change scenarios to be used in the IPCC 5th Assessment Report and in this context; it has been decided to be created a set of new emission/concentration scenarios. In accordance with this decision, 4 pcs of Representative Concentration Pathways (RCP's) were determined which have specified characteristics (Table 1).

Table 1. Types of Representative Concentration Pathways (RCP's).

Name of RCP's	Radiative Forcing	Time	Pathway shape	Concentration (ppm)	Emissions (Kyoto Protocol's greenhouse gases)
RCP 8.5	> 8.5 W/m ²	in 2100	Rising	> ~1370 CO ₂ -eq in 2100	Rising continues until 2100.
RCP 6.0	~6.0 W/m ²	at stabilization after 2100	Stabilization without overshoot	~850 CO ₂ -eq (at stabilization after 2100)	Decline in the last quarter of century
RCP 4.5	~4.5 W/m ²	at stabilization after 2100	Stabilization without overshoot	~650 CO ₂ -eq (at stabilization after 2100)	Decline from the mid-century
RCP3-PD*	~3.0 W/m ²	peak at before 2100 and then decline	Peak and decline	peak at ~490 CO ₂ -eq before 2100 and then decline	Decline in the first quarter of century

Based on IPCC, 2007

2.2 Global Models and Data Sets

This study covers obtained results until now from a project which name is "Climate Projections for in and around of Turkey" and is still on-going. In this regard, "Climate Projections for Turkey" with different global models and scenarios has still been continued to study. In this context, RCP4.5 and

RCP8.5 scenarios (2013-2099) and the 30-year reference period (1971-2000) of the global model HadGEM2-ES's data were used. In model's control test, regional model was run for the period of 1971-2000 and output's result was compared with other global observation data sets (CRI, Udel, Udel-c) (Table 2).

Table 2. Data Sets.

GCM	RCM	Sensitivity Analysis Data	Period
HadGEM2-ES	RegCM4.3.4	• HadGEM2-ES RF(1971-2000) • CRU (1971-2000) • UDEL (1971-2000) • UDEL-c (1971-2000)	2013-2099

2.3 Dynamic Downscaling: RegCM4

RegCM4 were used in the study which is developed by International Centre for Theoretical Physics in Italy (ICTP)(Giorgi et al 1993a,b). This model is a limited area atmospheric models that is consisting of the basic equation, hydrostatic, compressible and sigma pressure levels. RegCM4's model physic uses BATS ground surface model (Dickinson et al. 1993), non-local boundary layer diagram (Holtslag et al. 1990), the radiation scheme of the NCAR CCM3 (Kiehl et al. 1996), parameterizations for ocean surface fluxes (Zeng et al., 1998), the explicit moisture scheme of (Hsie et al. 1984), a large-scale cloud and precipitation scheme which accounts for the subgrid-scale variability of clouds (Pal et al., 2000) and various options for cumulus convection (Anthes, 1977; Grella, 1993; Emanuel and Zivkovic-Rothman, 1999).

For projection study has been used cumulus convection parameterization of Emanuel on the land and Grell (1993) on the sea as convective precipitation scheme. A domain with 20 km horizontal resolution which has 130x180 grid-scale and 18 pcs sigma level has been used for model simulations (Figure 1).

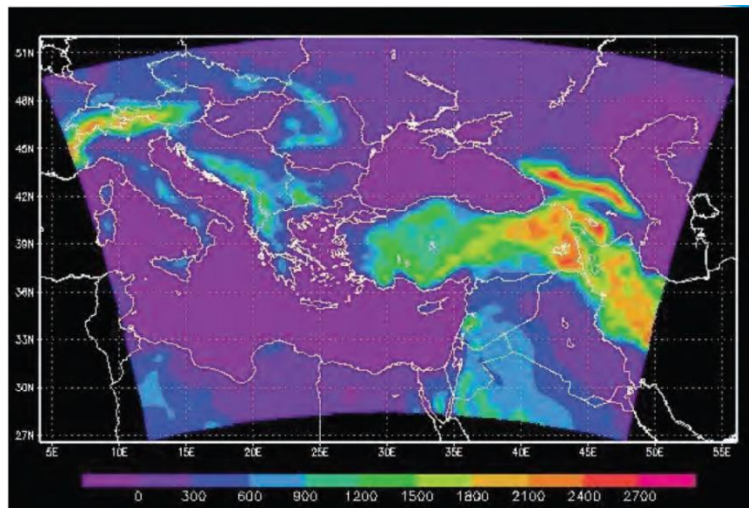


Figure 1. Topography image of domain area in RCM (RegCM4.3.4)

2.4 The Sensitivity and Control Tests

Using of reference period data sets referred to in Table 1, the sensitivity of the model was compared based on seasonal and general average (Table 3, Table 4).

Table 3. Comparing of the average temperature of the reference period (1971-2000) and different observation data sets as seasonal basis.

Temperature (°C)	RCM	CRU	UDEL	RAW
WINTER	<u>0.436</u>	0.561	0.258	1.762
SPRING	<u>8.294</u>	9.712	9.503	9.867
SUMMER	<u>20.792</u>	20.859	20.834	20.763
AUTUMN	<u>10.412</u>	12.480	12.177	12.349
AVERAGE	<u>9.987</u>	10.906	10.694	11.190

When average temperature results that is obtained by downscaling from HadGEM2-ES global model reference period (1971 to 2000) data has compared with other observation data sets, in particular results of winter and summer, model's data are seen that overlap with observation data. Temperature values of model are lower about 1.5°C according to observation data sets in spring and autumn. Considering the overall average in Turkey, model's result is lower about 0.71-0.92°C according to CRU and UDEL's observation data sets.

Table 4. Comparing of the daily precipitation of the reference period (1971-2000) and different observation data sets as seasonal basis.

Precipitation (mm/gün)	RCM	CRU	UDEL	UDEL-C	RAW
WINTER	<u>2.159</u>	2.126	2.064	2.452	2.764
SPRING	<u>2.622</u>	1.974	1.881	2.101	2.874
SUMMER	<u>0.947</u>	0.686	0.653	0.733	0.952
AUTUMN	<u>1.830</u>	1.333	1.347	1.497	1.858
AVERAGE	<u>1.886</u>	1.531	1.487	1.697	2.107

When daily precipitation results that is obtained by downscaling from HadGEM2-ES global model reference period (1971 to 2000) data has compared with other observation data sets, in particular the result of winter, model's data is seen that overlap with observation data. Daily precipitation results of model are higher than observation data sets in spring and autumn. Considering the overall average in Turkey, model's result is higher about 23% according to other observation data sets.

3. HadGEM2-ES PROJECTIONS RESULTS FOR TURKEY

In this study, we tried to reveal the possibilities of future climate change for Turkey in a region encompassing our country with the regional climate model. HadGEM2-ES Global Circulation Model outputs which is produced with RCP4.5 and RCP8.5 concentration scenarios have been used in the study, which are used CMIP5 project and situated in the IPCC 5th Assessment Report. Temperature and precipitation projections for Turkey have been produced from these outputs, for a domain with 20 km resolution that is include our country and for a period between the years 2013-2099, using by RegCM4.3.4 regional climate model and with dynamic downscaling method. The future time period 2013-2099 is separated three groups respectively 2013-2040, 2041-2070 and 2071-2099. Seasonal mean values were obtained for these three periods. Differences between reference period (1971-2000) and these periods were calculated for temperature and precipitation.

3.1 Temperature and Precipitation Projections According to RCP4.5 Scenario

Temperature and precipitation values were obtained from RCP4.5 scenario of HadGEM2-ES global climate model with dynamic downscaling method for project domain. Then differences between reference period (1971-2000) and these periods were calculated for temperature and precipitation. Differences values of temperature and precipitation are visualized as seasonally for all periods. In generally, temperature difference values tend to increase and precipitation difference values tend to decrease from now to until the end of the century (Figure 2, 3).

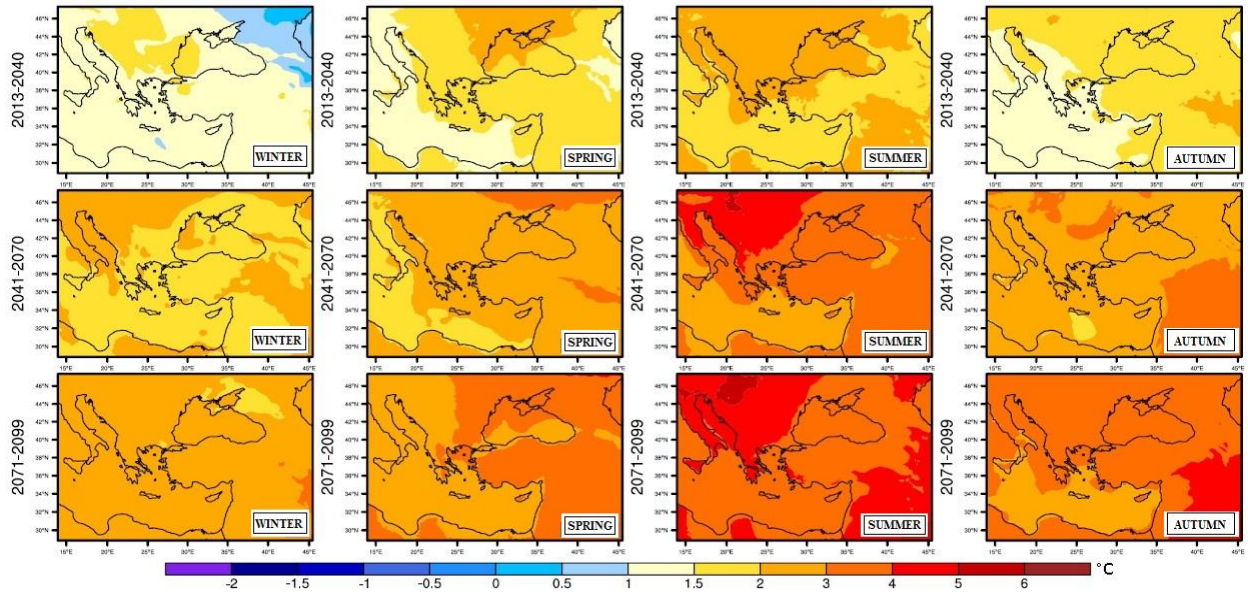


Figure 2. Temperature projections according to RCP4.5

In the first period (2013-2040), it would be an increase in generally about 1.5-2°C in temperatures. It would be an increase about 2-3°C in summer temperature, especially in Marmara and west of Black Sea Region. In second period (2041-2070), It would be an increase about 2-3°C in spring and autumn temperatures. It would be an increase up to 4°C in the summer temperature. In last period (2071-2099), it would be an increase about 2°C in winter temperature and 3°C in spring and autumn temperatures. It would be an increase up to 5°C in summer temperature in the Southeast Anatolia Region and coastal part of the Aegean Region.

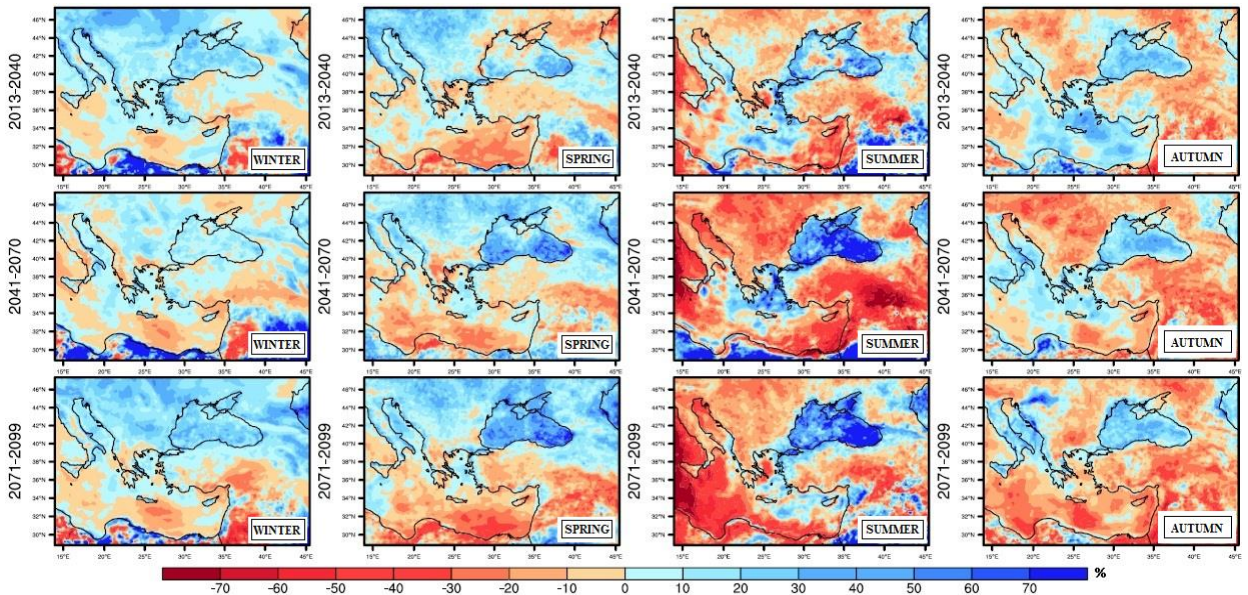


Figure 3. Precipitation projections according to RCP4.5

In first period (2013-2040), it would be an increase in precipitation during the winter months in the coast part of the Aegean, middle part of the Black Sea and East Anatolia Regions; unfortunately it is expected to decrease about 20% in the precipitation in the spring in a large part of the country. In second period (2041-2070), it would be a decrease about 20% in winter precipitation in East Anatolia, Southeast Anatolia and central and eastern parts of Mediterranean region. It would be a decrease around 30% in summer season in Eastern Anatolia where summer rainfall is important. In the autumn precipitation, it would be a decrease except coastal part of the Aegean Region and a

small part of Central Anatolia Region. In last period (2071-2099), it would be an increase about 10% especially along coastal line except South East Anatolia Region. It would be a decrease about 20% in spring precipitation except coastal part of the Aegean Region, west and east part of Black Sea Region and northern part of East Anatolia Region. It would be a decrease up to 40% in summer precipitation except coastal part of the Aegean, the Marmara and the Black Sea Regions. It would be a decrease in autumn precipitation throughout the country.

3.2 Temperature and Precipitation Projections According to RCP8.5 Scenario

Temperature and precipitation values were obtained from RCP8.5 scenario of HadGEM2-ES global climate model with dynamic downscaling method for project domain. Then differences between reference period (1971-2000) and these periods were calculated for temperature and precipitation. Differences values of temperature and precipitation are visualized as seasonally for all periods. In generally, temperature difference values tend to increase and precipitation difference values tend to decrease from now to until the end of the century (Figure 2, 3).

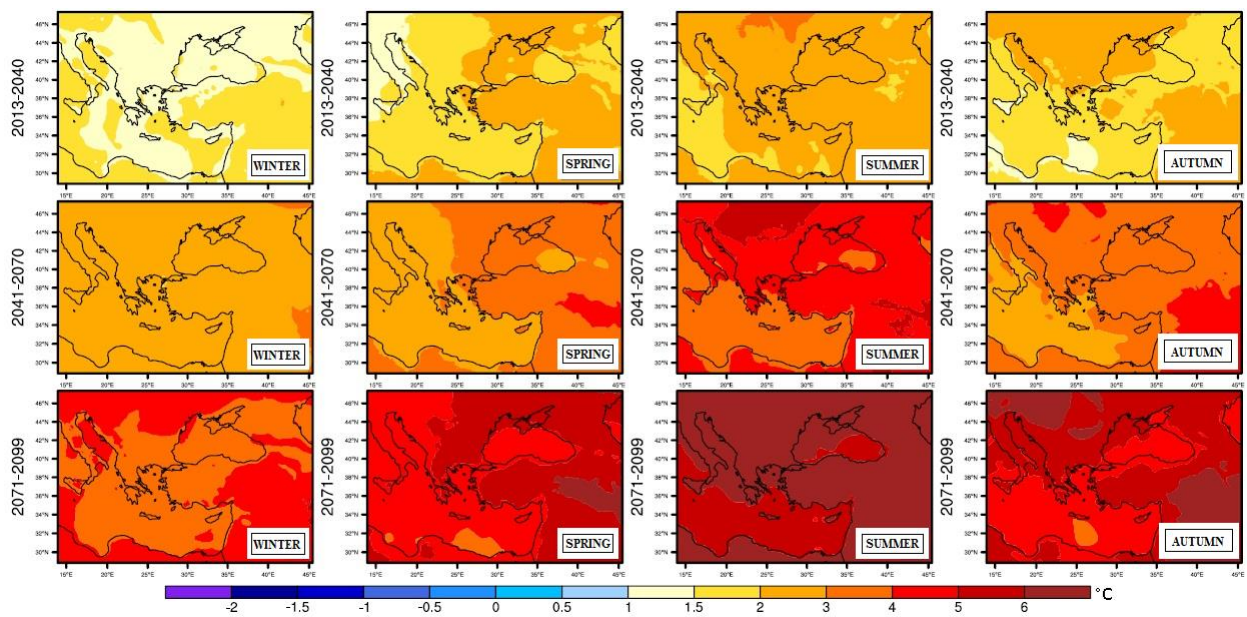


Figure 4. Temperature projections according to RCP8.5

In the first period (2013-2040), it would be an increase about 3°C especially in spring and summer temperatures. In the second period (2041-2070), it would be an increase about 2-3°C in the winter temperature, about 3-4°C in autumn and spring temperatures and about 5°C in summer temperature. In the last period (2071-2099), it would be an increase about 3-4°C in west of Trabzon and Mersin line, about 4-5°C in east of Trabzon and Mersin line in winter temperature. It would be an increase about 6°C in spring and autumn temperatures especially in South East Anatolia Region. It would be an increase exceeding 6°C in summer temperature throughout the country.

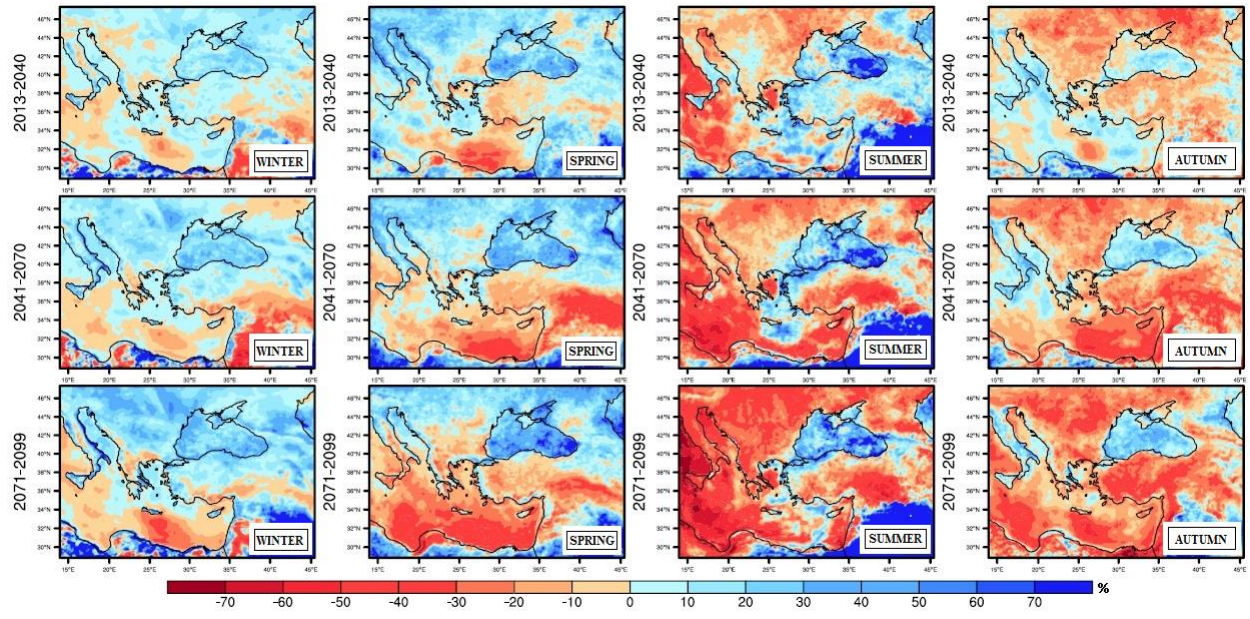


Figure 5. Precipitation projections according to RCP8.5

In first period (2013-2040), it would be an increase in precipitation during the winter months except west part of the Marmara, east part of the Mediterranean, southeast part of the Central Anatolia and west part of the Southeast Anatolia Regions. It would be a decrease in spring precipitation in west of Mersin-Ordu line. It would be an increase about 40% in summer precipitation except west part of the Mediterranean Region. It would be a decrease in autumn precipitation throughout the country. In second period (2041-2070), it would be an increase in precipitation during the winter months except south part of Anatolia. It would be a decrease in spring season except west part of the Aegean, west and east part of the Black Sea and northern part of East Anatolian Regions. It would be a decrease about 50% in summer precipitation throughout the country except west and east part of the Black Sea, coastal part of the Aegean and the Marmara Regions. In the autumn precipitation, it would be a decrease throughout the country in generally. In last period (2071-2099), it would be an increase in precipitation during the winter months except south part of Anatolia. It would be a decrease about 20% in spring precipitation except coastal part of the Aegean Region, west and east part of Black Sea Region and northern part of East Anatolia Region. It would be a decrease in summer precipitation except coastal part of the Aegean, the Marmara and the Black Sea Regions. It would be a decrease up to 50% in autumn precipitation throughout the country.

Table 5. Summary table: Comparing of temperature projections range between RCP4.5 and RCP8.5 Scenario.

	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85
Period	Winter		Spring		Summer		Autumn	
2013-2040	1,5-2	1-2	1,5-2	2-3	2-3	1,5-3	1,5-2	1,5-3
2041-2071	1,5-3	2-3	2-3	3-5	2-4	4-5	2-4	3-5
2071-2099	2-3	3-5	2-4	4-6	3-5	5-6	3-5	4-6

Table 6. Summary table: Comparing of precipitation projections range between RCP4.5 and RCP8.5 Scenario.

	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85	RCP45	RCP85
Period	Winter		Spring		Summer		Autumn	
2013-2040	-10 - +20	-10 - +30	-20 - +20	-20 - +30	-30 - +40	-40 - +40	-30 - +10	-30 - +10
2041-2071	-30 - +30	-30 - +40	-40 - +20	-40 - +30	-50 - +60	-50 - +60	-40 - +10	-40 - +10
2071-2099	-20 - +30	-30 - +50	-50 - +20	-50 - +30	-50 - +50	-50 - +60	-50 - +10	-50 - +10

4. CONCLUSIONS

According to the outputs obtained from the projections; the temperature increase is limited up to 3°C in the first period of 2013-2099 years. Especially in the last period (2070-2099), it is noteworthy increase in summer temperatures about 4-5°C in Aegean coast and South Eastern Anatolia according to RCP4.5 and up to 6°C in summer season throughout the country according to RCP8.5. For precipitation, it is noted increase in winter precipitation in most of country according to both RCP in all periods. It would be a decrease in generally in spring precipitation except coastal and north-eastern part of country according to both RCP in all periods. It would be a decrease in generally in summer precipitation except coastal and north-eastern part of country and first period of RCP8.5 according to both RCP in all periods. It would be a decrease in generally in autumn precipitation except some part of country according to both RCP in all periods.

"Climate Projections for Turkey" is a project which is made by an official institution with its own resources and personnel for the first time in Turkey for new models and scenarios. This study covers obtained results until now from a project is still on-going. In this regard, "Climate Projections for Turkey" with different global models and scenarios has still been continued to study. In this context, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios (2013-2099) of two different models will be downscaled in this project. It is initiated to get six different models output at end of the project.

Climate change prediction studies provide the main data input in all sectors to be made in planning for adaptation, mitigation and prevention efforts ie. future planning of stakeholders must be based on climate and climate model outputs. Under climate change context, different scenarios of global climate change to be made for future must be downscaled to form a high resolution data set for Turkey and vicinity. These data are become available as sectorial and are used as the basis by sector for their planning in adaptation, mitigation and prevention activities will improve the accuracy and success of their studies.

REFERENCES

1. Anthes, R.A., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Mon. Weather Rev.*, 117, 1423-1438
2. CMIP Coupled Model Intercomparison Project, access date:12.09.2013 <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html>
3. DEMİR,Ö., ATAY,H., ESKİOĞLU, O., TÜVAN, A., DEMİRCAN, M. ve AKÇAKAYA, A., 2013: Rcp4.5 Senaryosuna Göre Türkiye’de Sıcaklık Ve Yağış Projeksiyonları, III. TÜRKİYE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KONGRESİ - TİKDEK 2013, Bildiri Kitabı, 3 - 5 Haziran, İstanbul, Türkiye
4. Demircan,M, Arabaci, H., Bölük, E., Akçakaya, A., And Ekici, M., 2013: İklim Normalleri: Üç Sıcaklık Normalinin İlişkileri Ve Uzamsal Dağılımları, III. Türkiye İklim Değişikliği Konferansı - TİKDEK 2013, 3 - 5 Haziran, Bildiri Kitabı, İstanbul, Türkiye
5. Dickinson, R., Henderson-Sellers, A. and Kennedy, P.,1993: Biosphere-atmosphere transfer scheme (bats) version 1e as coupled to the ncar community climate model, Technical report, National Center for Atmospheric Research.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Hsie, E.Y., R.A. Anthes, and D. Keyser, 1984: Numerical simulation of frontogenesis in a moist atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 41, 2581-2594.
11. Holtlag, 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.
12. IPCC, “Definition of Terms Used Within the DDC Pages”, Content last modified: 17 June 2013, <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>
13. IPCC, “Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, impacts, and Response Strategies: IPCC Expert Meeting Report”, the Netherlands, September, 2007.
14. IPCC, Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2013, http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
15. 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.
16. Lin, S. J., 2004. A vertically Lagrangian finite-volume dynamical core for global models, *Monthly Weather Review*, 132, 2293-2307.
17. MetOficce, Met Office climate prediction model: HadGEM2 family, Last updated: 24 April 2014, <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>
18. 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*.
19. 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*.
20. Öno, B. ve F.H.M. Semazzi, 2007: Regionalization of Climate Change Simulations over Eastern Mediterranean, *Journal of Climate*.
21. 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.
22. 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*
23. Turunçoğlu, U. U.; Öno, 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

PHENOLOGICAL EFFECT OF CLIMATE CHANGE IN TURKEY

Serhat Sensoy¹, Necla Türkoğlu², İhsan Çiçek²

¹ Turkish State Meteorological Service

ssensoy@mgm.gov.tr

² Ankara University Faculty of Languages History and Geography

Necla.Turkoglu@ankara.edu.tr, ihsan.cicek@ankara.edu.tr

Abstract: In this study we tried to find relationships between changes in temperature and phenological stages of fruit trees and field crops. Climatic and phenological data for 1971-2012 periods have been obtained from Turkish State Meteorological Service. After the data arranged in Excel, correlation coefficients between temperature and phenological stages have been calculated. Mann Kendall trend analyses have been used in order to detect trends in temperature and phenological data. Negative correlation between apple, cherry and wheat phenophases and February-May temperature have been found. This is shows that plants responds to increasing temperature as shift of their phenophases early. Calculated trends for apple, cherry and wheat harvesting are -25, -22, -40 days/100 years respectively. The regression coefficients show that an increase in air temperature between February and May of 1°C, lead to an advanced harvesting date of respective plants by about 5, 4, and 8 days. Climate projections for the end of the 21st century indicate more increase than observed. Accordingly, great changes in plant phenophases are expected.

Keywords: Phenology, apple, cherry, wheat, Turkey.

INTRODUCTION

In mid- and high latitudes, after the winter dormancy plant phenology is strongly depends on air temperature. The extension of growing season could have some positive effects for agriculture and horticulture (Chmielewski et al, 2002). Warmer temperatures promote increases in plant growth in mid-northern latitudes (Kadioğlu et al, 2000).

The distinct increase in air temperature in Turkey since 1994 and the demand for indicators of climate change impacts caused a growing interest in phenological data. Although 1°C temperature anomaly doesn't appears as big changes in daily life, it means 60 degree-days in two months for the plant growth and has capacity to change phenological phases.

Changes in the timing of phenophases of fruit trees or field crops could be of great economical importance, because they could have direct impacts on yield formation processes.

METHODS

In order to describe the relationships between air temperature and plant development, 130 station's data of air temperature from 1971-2012 and approximately 80 phenological observation stations data of fruit trees (apple and cherry) and field crops (winter wheat) from 1979 to 2010 were used.

Between the air temperature from February to May which growth occurred and phenological data, correlation coefficients with Pearson product-moment correlation coefficients were calculated using the following formula (URL 1).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y}$$

Where; $\bar{x}$ and $\bar{y}$ are mean for X_i and Y_i ; s_x and s_y are Standard deviation for X_i and Y_i and Σ = total from 1 to n (URL 1).

It assumes that if r is in between ± 0.10 -0.29 correlation is weak, ± 0.30 -0.49 it's moderate and ± 0.50 -1.00 its high. $\pm$ shows the direction of correlation (positive or negative). Both the point (station) and annual average correlation coefficient for Turkey were calculated. Trends for temperature and phenological phases were calculated via **Mann-Kendall** trend analysis method.

FINDINGS AND ARGUMENT

Mean temperature changes in Turkey

For the standard climatic period 1971-2000, the average annual air temperature in Turkey is 13.2°C. In the period 1971-2012 the temperature increased continuously.

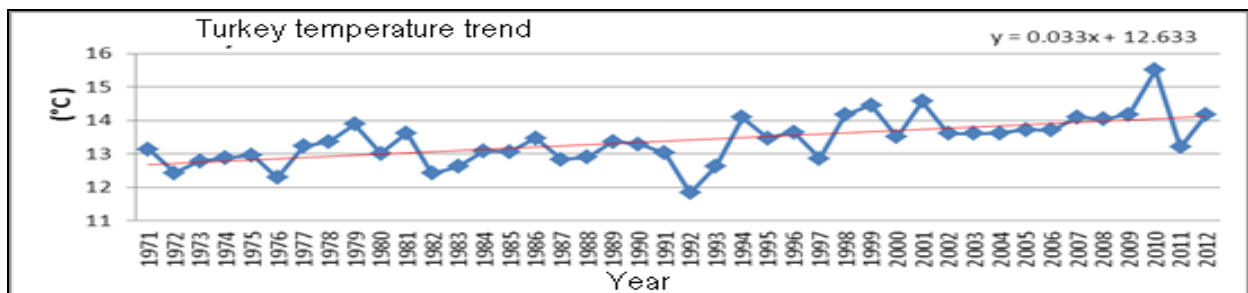


Figure 1. Mean annual temperature and its trend for Turkey, (1971-2012)

The linear trend in the data is 0.3°C/decade (Figure 1). This means that for the whole 42 years, the observed warming is 1.3°C (14.1-12.8 red line). The most interesting feature in this time series is the relatively strong change in air temperature since 1994, which corresponds well to similar trends in many parts of the world (Houghton et al., 2001). Since then nearly all years were warm except 1997.

Table 1. Trend Statistics of average monthly and annual air temperature in Turkey, 1971-2012

Time series	Begin year	Last Year	n	Mann-Kendall trend		Sen's slope estimate				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
January	1971	2012	42	1,15		0,037	-0,04	0,11	-0,02	0,08
February	1971	2012	42	0,61		0,017	-0,06	0,09	-0,04	0,07
March	1971	2012	42	0,76		0,019	-0,04	0,08	-0,02	0,07
April	1971	2012	42	1,19		0,021	-0,03	0,07	-0,02	0,06
May	1971	2012	42	1,86	+	0,024	-0,01	0,06	0,00	0,05
June	1971	2012	42	4,64	***	0,048	0,02	0,07	0,03	0,06
July	1971	2012	42	4,25	***	0,052	0,03	0,08	0,03	0,07
August	1971	2012	42	4,60	***	0,065	0,03	0,10	0,04	0,09
September	1971	2012	42	2,41	*	0,031	0,00	0,06	0,01	0,05
October	1971	2012	42	2,04	*	0,038	-0,01	0,09	0,00	0,07
November	1971	2012	42	1,24		0,027	-0,03	0,09	-0,02	0,07
December	1971	2012	42	1,69	+	0,043	-0,02	0,10	0,00	0,08
Annual	1971	2012	42	4,53	***	0,033	0,02	0,05	0,02	0,05

Trend Significance level: ***p<0,001, **p<0,01, *p<0,05, +p<0,1

According to analysis carried out via Mann-Kendall trend analysis (Salmi et al, 2002) it's been found that in all the months, temperature trends are positive. Especially summer and annual temperature

trends are significant at 99.9% level ($p < 0.001$). It's occurred that September and October temperature trend are significant at 95% level. Also May and December temperature trends found significant at 90% level. Mann-Kendall trend in annual temperature is $0.33^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ (Table 1). These changes are consisted with the other regions in the world (Sensoy et al., 2007).

Changes in timing of phenological phases

Winter dormancy which is the first span of at least 6 days with $T > 5^{\circ}\text{C}$, (Sensoy et al, 2013), flowering, fruiting, harvesting of apple and cherry, heading and harvesting of wheat were investigated.

Table 2. Statistical parameters for the timing of different phenophases in Turkey

Phenological stages	Begin year	Last year	n	Mann-Kendall trend		Sen's slope estimate				
				Test Z	Signific.	Q	Qmin99	Qmax99	Qmin95	Qmax95
winter dormancy	1979	2010	32	-1,41		-0,38	-1,13	0,31	-0,95	0,13
apple flowering	1979	2010	32	-1,76	+	-0,20	-0,47	0,10	-0,41	0,00
apple fruiting	1979	2010	32	-1,22		-0,13	-0,46	0,17	-0,36	0,08
apple harvesting	1989	2010	22	-2,02	*	-0,25	-0,59	0,10	-0,50	0,00
cherry blossoming	1996	2010	15	-2,43	*	-1,08	-1,92	0,05	-1,67	-0,38
cherry fruiting	1980	2010	31	-1,70	+	-0,12	-0,33	0,07	-0,29	0,01
cherry harvesting	1987	2010	24	-1,36		-0,22	-0,60	0,31	-0,53	0,14
wheat heading	1979	2009	31	-4,58	***	-0,40	-0,58	-0,24	-0,53	-0,29
wheat harvesting	1979	2009	31	-4,52	***	-0,40	-0,56	-0,20	-0,53	-0,25
Feb-May mean temp.	1979	2010	32	2,29	*	0,05	0,00	0,09	0,01	0,09

Trend significance level: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, + $p < 0.1$ (Salmi vd, 2002)

According to analysis carried out via Mann-Kendall trend analysis (Salmi et al, 2002) it's been found that in all the phenophases trends are negative. Especially wheat heading and wheat harvesting trends are found as 4 days/decade and significant at 99.9% level ($p < 0.001$). Also it's occurred that apple harvesting, cherry blossoming and February-May temperature trend are significant at 95% level. Also apple flowering and cherry fruiting trends were found significant at 90% level (Table 2).

Correlations coefficients between climate and phenological data

The correlation coefficients (r) between the February-May temperature and individual phenophases ranges between -0.18 r (apple flowering, T) and -0.71 r (cherry blossom, T). Both the Turkey and station level, cherry phenophases show strong correlation ($r = -0.98$ Amasya). Toward the last decade, clear changes in the phenophases are remarkable which explains the negative trends.

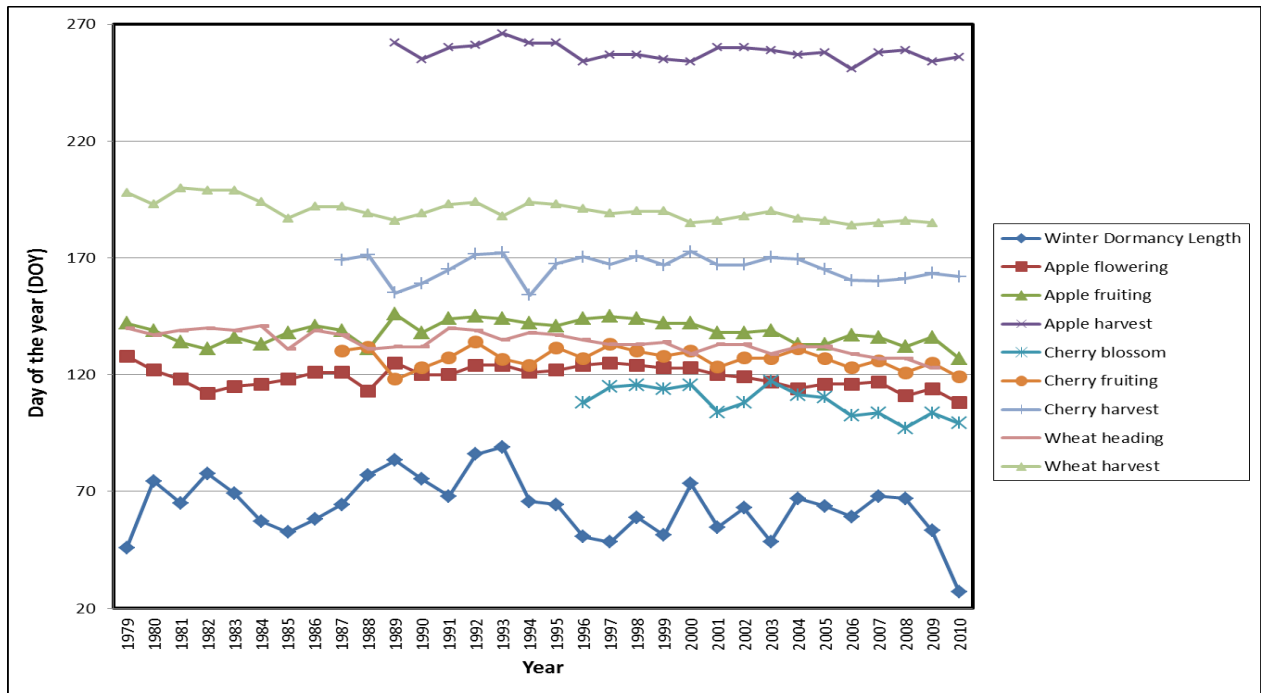


Figure 2. Day of the year (DOY) of phenological stages of apple, cherry, wheat and winter dormancy

It is been found that earliness is increasing in all phenophases consistent with rising temperatures. Plants respond to increasing temperature as shift of their phenophases early. Calculated trends for apple, cherry and wheat harvesting date are -25, -22, -40 days/100 years respectively.

CONCLUSIONS

There is a negative correlation between apple, cherry and wheat phenophases and February-May mean temperature. This shows that plants respond to increasing temperature as shift of their phenophases early.

Calculated trends for apple, cherry and wheat harvesting are -25, -22, -40 days/100 years respectively. The regression coefficients show that an increase in air temperature between February and May of 1°C lead to an advanced harvesting date of respective plants by about 5, 4, and 8 days.

Shorter developmental periods for field crop and fruit trees could have rather negative effects on the formation of individual yield components, as for cereals: the crop density, the kernel number per ear, and the kernel weight. Advanced blossom of fruit trees can increase the risk of late-frost damages (Chmielewski et al, 2002).

According to result from climate indices study, there are increasing trends in temperature related indices such as summer days, tropical nights, warm days and nights and growing season length. (Sensoy et al, 2013).

Climate projections for the end of the 21st century indicate more increase than observed in the 20th century. In Turkey $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ temperature increase are expected according to RCP 4.5 scenario (Demir et al, 2013). Accordingly, great changes in plant phenophases are expected towards the end of the century. Assessment of many studies covering a wide range of regions and crops shows that negative impacts of climate change on crop yields have been more common than positive impacts (IPCC SYR).

REFERENCES

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

Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Tüvan, A., Demircan, M., Akçakaya A., 2013, Yeni senaryolarla Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları, TİKDEK 2013, url: <http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/rcp-45.pdf>

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

Salmi, T., Maatta, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T., Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by The Mann-Kendall, FMI, Helsinki, 2002

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

Şensoy S., Türkoğlu N., Akçakaya A., Ulupınar Y., Ekici M., Demircan M., Atay H., Tüvan A., Demirbaş H., Trends in Turkey Climate Indices From 1960 to 2010, 6th Atmospheric Science Symposium, 24-26 April 2013, ITU, Istanbul, Turkey, 2013.

URL 1: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Korelasyon> 16 September 2014

