



İklim Değişikliği: Sektörel İklim Ürünleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

Mesut Demircan^{1,*}

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Klimatoloji Şube Müdürlüğü, 06560, Ankara.

Özet

İklim Değişikliği günümüzün en önemli çevre sorunlarından bir tanesidir. İklim Değişikliği, ulusal ve uluslararası tedbirlerin, uyum ve önleme çalışmalarının tüm paydaşlar ve hükümetler tarafından dikkatlice izlenmektedir. Doğru bir iklim izleme yapılması, gerek gözlemlere dayalı olarak gelecek iklim şartlarının ne olacağına modellenmesinde, gerekse uyum ve önleme çalışmalarının başarıya ulaşmasında olmazsa olmaz ilk şarttır. Kamu kurum ve kuruluşları, kendi sektörlerinde iklim değişikliğinin olası etkilerini azaltmak için uyum planları yapmaktadır. Bu çalışmaların en önemli bileşeni literatürdeki adı “Küresel Dolaşım Modelleri” olan iklim değişikliği modelleridir ve bu modellerin emisyon senaryolarıdır. Yeni emisyon senaryoları “Temsili Konsantrasyon Rotaları (RCP)” olarak isimlendirilmekte ve dört senaryodan (3.0, 4.5, 6.0 ve 8.5) oluşmaktadır. RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları, iyimser ve kötümser senaryo olarak, en çok kullanılan senaryolardır. Küresel Dolaşım Modelleri, Bölgesel İklim Modelleri ile dinamik ölçek küçültme yöntemiyle ülkeler tarafından bölgelerine uyarlanmaktadır. Türkiye için Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Küresel Dolaşım Modelleri'nin yeni iklim değişikliği senaryoları (RCP4.5 ve 8.5) ile sonuçlar üretmiştir. Uyum çalışması yapacak kurumlar, sektörel iklim eşik değerlerine bağlı sektörel iklim ürünlerini coğrafi bilgi sistemi ile hazırlayabilir. Bu çalışmada, iklim değişikliği model verilerinin yapısı, iklim değişikliği model sonuçlarının hata kaynakları ve değerlendirirken dikkat edilmesi gereken konular incelenmiştir. İklim ile iklim değişikliği model verilerine ulaşılabilecek kaynaklar ve bu veriler ile coğrafi bilgi sistemlerinde kullanımı anlatılmıştır. Ayrıca, yeni iklim değişikliği model ürünlerinin sektörel olarak, uyum (adaptasyon) amaçlı çalışmalarında kullanımı incelenmiştir. İklim Servisleri için Küresel Çerçeve'nin seçtiği öncelikli alanlar olan “Tarım ve Besin Güvenliği, Su, Sağlık, Enerji, Afet Risk Azaltımı” konuları üzerinden örnekler sunulmuştur. Bu örnekler üzerinden yapılan iklim değişikliği uyum çalışmalarında yöntemlerin doğruluğu ve yanlışlığı incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler

İklim Değişikliği, Sektörel iklim eşik değerleri, Sektörel iklim ürünleri, Coğrafi Bilgi Sistemi, Uyum

1. Giriş

İklim, Dünya üzerinde canlıların yaşayabilmeleri için gerekli olan uygun ortamları tanımlayan bileşenlerden bir tanesidir. İklim, Dünya üzerindeki yaşam için öyle önemlidir ki, canlı türlerinin yeryüzündeki dağılımı ve türler arasındaki farklılar doğrudan iklim kuşakları ile ilgilidir. Yeryüzündeki her bir canlı türü için iklimsel (klimatik) yaşam alanları tanımlanabilir. Ayrıca bunun ötesinde insan eylemleri sonucu ortaya çıkan her bir sektör için de iklimsel eşik değerleri belirlenebilir. İklimin insan hayatındaki önemi ise, sosyal ve ekonomik koşulları; dolaylı ya da doğrudan, olumlu ya da olumsuz etkiler ile şekillendirmesidir (Demircan, 2017).

İklim, geniş zaman dilimlerinde ve daha büyük alanlarda tecrübe edilmiş ortalama hava durumudur. İklim normalleri iklim verilerinden hesaplanan ardışık otuz yılın ortalamasıdır. İklim normallerini kullanmak küresel değerlendirme ve iklim izleme çalışmalarını hazırlamak için standart temel oluşturan çok önemli araçlardır. İklim referans dönemleri; 1961-1990, 1971-2000 ve 1981-2010 iklim normalleri olarak; uluslararası, ulusal ve bölgesel temelli iklim izleme, iklim trendi, iklim değişikliği ve iklim modeli çalışmalarında; bilim adamları, ulusal iklim servisleri, uluslararası enstitüler ve organizasyonlar tarafından kullanılmaktadır (Demircan vd., 2013 [a], [b]).

İklim değişikliğinin Dünya genelinde yarattığı problemlere ek olarak, Ülkemiz ve içinde bulunduğu Akdeniz Havzası, Dünya'da bu değişikliklerden en fazla etkilenecek bölgelerin başında gelmektedir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin dördüncü değerlendirme raporunda (IPCC 2007) değişik senaryolar ile elde ettiği sonuçlara göre Akdeniz Havzası'nda yüzyılım sonlarına doğru sıcaklıkların artışıyla beraber yağışlarda önemli azalmaların meydana geleceği ve dolayısıyla bu bölgenin küresel iklim değişikliğine karşı en kırılgan bölgelerden biri olacağı belirtilmiştir.

IPCC (2013) son raporunda, Akdeniz'i, küresel ısınmanın etkileri için dünyadaki en savunmasız bölgelerden biri olarak vurgulanmaktadır. IPCC tarafından bölge için yayınlanan modeller farklı senaryolar göstermekle birlikte hepsi bazı iklim parametrelerinin desenlerindeki eğilim üzerinde net bir şekilde hemfikirlerdir. Senaryolarda sıcaklıktaki değişimin, 1980-2000 dönemi ortalamasına göre, 2080-2100 dönemi için 2.2 – 5.1°C aralığında ortalama yüzey sıcaklığında bir artış olabileceği ön görülmektedir. Aynı dönemlerde, modeller Akdeniz'de belirgin yağış rejimi değişikliklerini göstermektedir. Bölgedeki yağış miktarında azalma yönünde bir değişimin olabileceği ve bu değişimin ise %4 ile %27 oranı arasında olabileceğini öngörmektedir.

İklim değişikliği, çözümü zor olan ve gerekli önlemler alındığında da etkisi on yıllar boyunca sürebilecek, günümüzün en önemli çevre sorunlarından bir tanesidir. Bu nedenle, iklim değişikliği çalışmaları genel olarak üç başlık altında yürütülmektedir. Bunlar, iklim değişikliğinin belirlenmesi ve anlaşılması için yapılan bilimsel çalışmalar, iklim

* Sorumlu Yazar: Tel: (0312)2032743

E-posta: demircanm@gmail.com (Demircan M.)

değişikliğini azaltmak ya da durdurmak için yapılan önleme ve azaltma çalışmaları ile ortaya çıkacak yeni iklim koşullarına uyum çalışmalarıdır.

İklim modelleme çalışmaları, bilim ve teknolojideki gelişmeler ile doğru orantılı olarak, iklimi etkileyen koşulları tanımlayan değişkenlerin daha detaylı bir şekilde modellerde yer alabilmesi ve bu karmaşık model yapıları ile modele girdi olan büyük verilerin bilgisayar ortamında hesaplanabilmesinden oluşmaktadır. 1970'li yıllardan itibaren bilgisayarların bilimsel amaçlı kullanımlarının yaygınlaşması sonucunda, bilgisayarlar iklim modelleri için de kullanılmaya başlamıştır. Çalışılan ilk modellerde sadece atmosfer ve atmosferde gözlenen parametrelere göre çalışmalar yapılmıştır. Bilgisayarların hesaplama güçlerine, sürelerine ve model çıktılarında elde edilen verilerin depolanma alanlarındaki gelişmelere paralel olarak; kara yüzeyi, okyanuslar, deniz buzları, sülfat, aerosoller, karbon çevrimi, dinamik bitki örtüsü ve atmosferin kimyası gibi etmenler ile modellere veri girdisi oluşturan diğer parametreler kullanılarak modellerin doğruluğu ve çözünürlüğü geliştirilmektedir.

2006 yılından bu yana, Türkiye (alt bölgeleri veya çevresi) üzerinde çeşitli bölgesel iklim simülasyon çalışmaları yürütülmektedir. SRES senaryolarına dayalı bölgesel iklim değişikliği simülasyonları; Krichak vd. (2007), Gao ve Giorgi (2008), Turunçoğlu vd. (2007), Önal ve Semazzi (2009), Zanis vd. (2009), Black et al. (2010), Sen vd. (2011), Demir (2011), Özdoğan (2011), Bozkurt ve Sen (2011), Önal (2012), Bozkurt vd. (2012), Önal ve Ünal (2012), Bozkurt ve Sen (2013), Önal vd. (2013) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda, genel olarak çalışma bölgesinde sıcaklık artışı ve yıllık yağış oranında bir düşüş bulmuşlardır (TİDAUB, 2016).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Birleşik Model Karşılaştırma Projesi Aşaması 5 (CMIP5) kapsamındaki küresel modelleri kullanarak ölçek azaltma yöntemi ile iklim projeksiyonları üretmiştir (Akçakaya, vd. TR2015-CC, 2015). İklim projeksiyonları için, IPCC AR5'in (Temsili Konsantrasyon Yolları, RCP) yeni nesil konsantrasyon senaryoları kullanılmıştır. MGM (TR2015-CC, 2015), Türkiye'yi içine alan bir bölge için gelecekteki iklim değişikliğinin muhtemel sonuçları ortaya konmaya çalışılmıştır. HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M Küresel Dolaşım Modellerinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarının sonuçları kullanılmıştır. Bu çıktılardan, Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonları; RegCM4.3.4 bölgesel iklim modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanılarak, 20 km çözünürlükte ve 2016-2099 yıllarını kapsayan bir dönem için üretilmiştir. Çalışma sonuçları rapor ve makaleler ile kamuoyu ile paylaşılmış olup ayrıca Türkiye İklim Değişikliği 6. ve 7. Ulusal Bildiriminde de yer almıştır. Ayrıca çalışma sonucunda elde edilen veriler ilgili kamu kuruluşu ile üniversiteler ve özel sektörle de düzenlenmiş bir yönetmelik kapsamında paylaşılmaktadır. Diğer bir çalışma da, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) tarafından "İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkileri Projesi" başlıklı bir proje yapılmıştır (İDSKEP, 2016).

RCP4.5; Hedefi geçmeden 2100 öncesi sabitlik ile yüzyılın ortalarından itibaren düşüş sonucunda 2100'de CO₂'nin yaklaşık 650ppm ve ışınım zorlamasının yaklaşık 4.5 W/m² olacağını öngörmektedir. Bu nedenle iyiser senaryo olarak da adlandırılmaktadır. RCP8.5 ise; 2100'e kadar artışın devam etmesini, 2100'de CO₂'nin 1370ppm ve ışınım zorlamasının 8.5 W/m² olacağını öngörmektedir ve kötümser senaryo olarak da anılmaktadır.

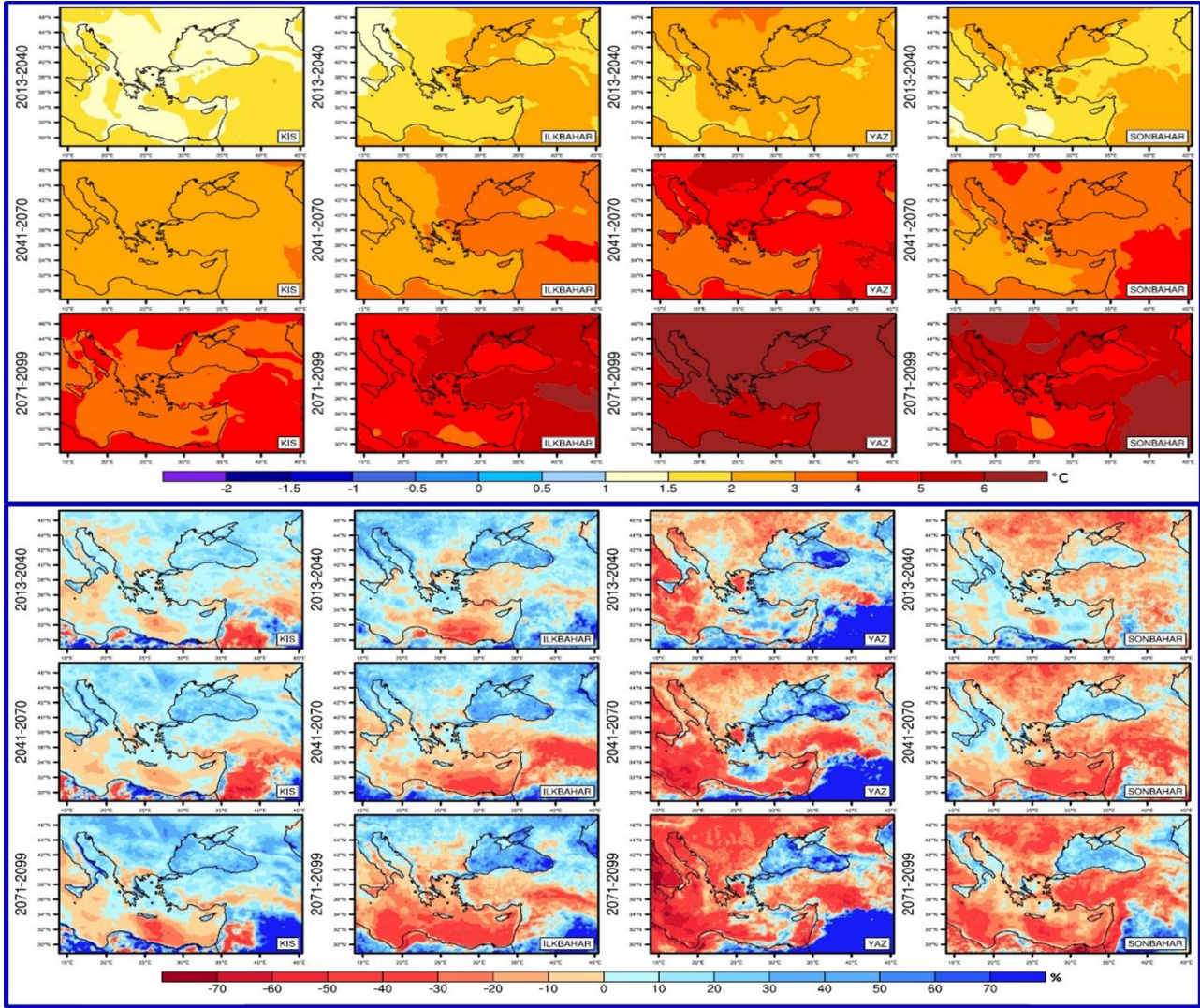
2010 yılından bu yana, Türkiye (alt bölgeleri veya çevresi) için yeni senaryolarla bir dizi bölgesel iklim simülasyonu çalışması yapılmıştır. RCP senaryolarına dayalı bölgesel iklim değişikliği simülasyonları; Demir vd. (2013), Demircan vd. (2014 [a], [b], [c]), Öztürk vd. (2014), Turp vd. (2014), Ünal vd. (2015), Gürkan vd. (2015), Yıldırım vd. (2015, 2016), Öztürk vd. (2016), Gürkan vd. (2016 [a][b]), Demiroğlu (2016), Coşkun vd. (2016), Öztürk vd. (2017), Demircan vd. (2017), Güser vd. (2017) ve Eskioğlu (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, bölge genelinde bir sıcaklık artışı ve genel olarak yıllık yağış miktarında azalma tespit etmişlerdir.

2. Yöntem

Bu çalışmada MGM'nin yaptığı bölgesel iklim modelleri çalışmalarının sonuçları; iklim değişikliği projeksiyonları ile veri setlerine erişim ve sektörel kullanımı ele alınmaya çalışılacaktır. Çalışmada, sektörel kullanım için iklim gözlem verileri ile HadGEM2S modelinin RCP 8.5 senaryosunun verilerinin, sektörel iklim eşik değeri ile CBS ortamında kullanılmasını örnek çalışmalar ile anlatılacaktır (Şekil 1).

Hadley Merkezi Küresel Çevre Modeli 2 (HadGEM2) ailesi ortak bir fiziksel çerçeve ile farklı karmaşıklık seviyeleri içeren özel model yapılandırmalarının bir dizisini içermektedir (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. Standart atmosferik bileşeni, 1.875° boylam ve 1.25° enlem aralığı ile yatay çözünürlüğünden meydana gelen 192 x 145 grid hücrelerinden oluşan küresel bir grid (karelej) yapısı ve yaklaşık 40km yüksekliğe uzanan 38 seviyeye sahiptir.

Bölgesel iklim modellerinin yanlılık testlerinde ise küresel gözlem veri setleri ile (İklim Araştırma Birimi'nin - CRU, Delaware Üniversitesi'nin - UDEL, ve Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF)'nin ERA-40 reanaliz verileri, vb.) karşılaştırılması yapılmaktadır.



Şekil 1. HadGEM2S Modeli RCP 8.5 Senaryosu sıcaklık ve yağış projeksiyonları (MGM, 2015)

2.1. İklim Model Verilerine Erişim

İklim model verilerine, internet siteleri üzerinden erişmek de mümkündür. Bu sitelerden bazıları; Asya-Pasific Veri Araştırma Merkezinin (Asia-Pacific Data Research Center) "<http://apdrc.soest.hawaii.edu/data/data.php>", Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) "http://www.ipcc-data.org/sim/gcm_monthly/AR5/WG1-Archive.html", Dünya İklim Araştırma Programı (WCRP) Eşgüdümlü Bölgesel Ölçekkültürme Deneyi (CORDEX) "<http://www.cordex.org/>" ve Akdeniz bölgesi için "<https://www.medcordex.eu/>", Çevresel veri Analizi Merkezi (CEDA) "<http://data.ceda.ac.uk/badc/>", Küresel İklim Verileri (WorldClim) "<http://www.worldclim.org/>" ve Hollanda Meteoroloji Servsinin (KNMI) İklim Araştırması, Avrupa İklim Değerlendirmesi ve Verileri "<https://climexp.knmi.nl/>" internet siteleri sayılabilir. Bu sitelerden iklim modellerine erişim sağlanabilmekle birlikte, bu verilerin gerek veri setlerinin çözünürlüğü ve çözünürlüklerinden kaynaklanan sorunlar ile ve gerekse yanlış testlerinden kaynaklanan hataları barındıracağı akılda tutulmalıdır.

2.2. Model Verilerindeki Sistemik Hata kaynakları

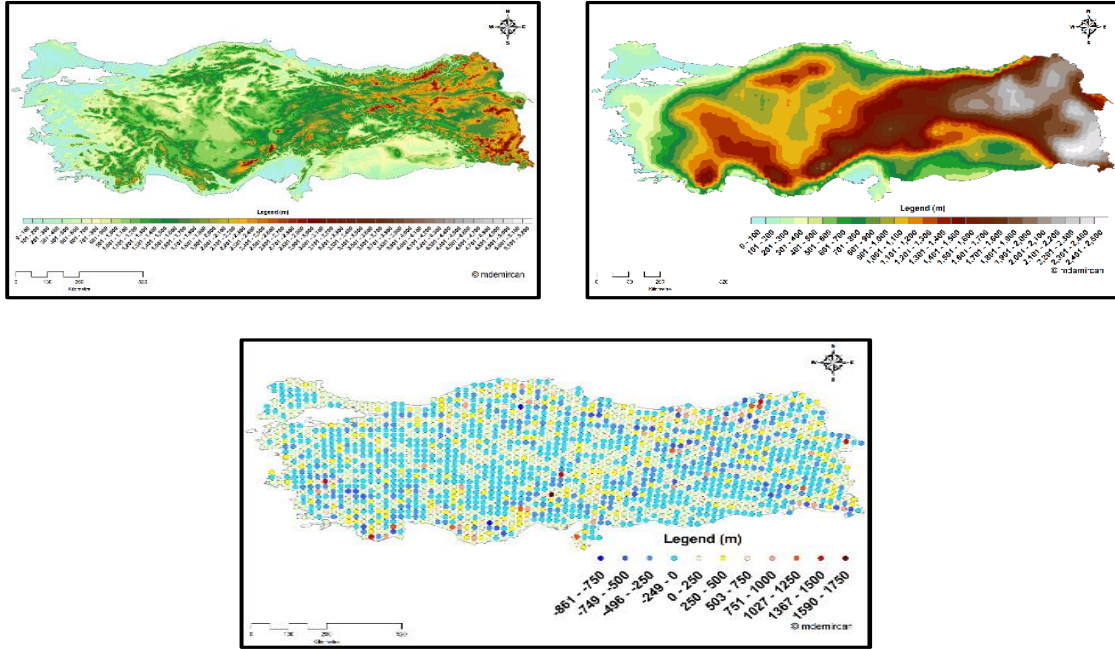
Küresel iklim değişikliği (Küresel Sirkülasyon Modeli) veri setleri, günümüzde teknik kapasiteden dolayı yaklaşık 100-200km ölçeğinde üretilmektedir. Bu veri setlerinden daha yüksek çözünürlükte veri setleri oluşturmak için bölgesel iklim değişikliği modelleme çalışmaları yürütülmektedir. Parametrizasyon için bulutlar (cumulus convection), sınır tabaka (turbulans, PBL), dağlar (mountain drag), radyasyon ve yüzey-atmosfer etkileşimi (Land-surface parameterization) parametreleri seçilmektedir. Bölgesel iklim modelleme çalışmalarında, yanlış düzeltmeleri yapmak için model geriye doğru 30 yıl koşuturulmakta ve küresel gridli iklim veri setleri ile karşılaştırılmaktadır. En uygun parametrizasyon ayarlarına ulaşıldığında, yani gözlem veri setleri ile modelin uyduğu ayarlar ile model geleceğe doğru koşuturulmaktadır. Buradaki sakınca ise parametrizasyon ayarlarının bölgesel olarak yapılamaması, tüm çalışma alanına uygulanmasıdır. Bu

ise bazı bölgelerde daha doğru sonuçlar elde edilirken diğer bölgelerde ise hata oranının artmasına neden olmaktadır. Diğer bir sorun ise kullanılan küresel veri setlerinin çözünürlüğü nedeniyle bünyesinde taşımış oldukları hatalardır. Demircan vd. (2011), yaptıkları çalışmada Türkiye için ECMWF'nin ERA40 tekrar-analiz veri setinden 1971-2000 uzun yıllar ortalama sıcaklık veri seti ile istatistiksel modelleme yapmışlardır. Bu çalışmada veri setinin sıcaklık aralığı 5-18.5°C iken modelleme sonrasında 13-20.5°C aralığı ile aynı dönem için Türkiye gözlem değerlerine ulaşmışlardır. Aradaki farkın ise ERA40 gridlerinin yükseklik ve topografya farklılıklarından kaynaklandığını belirtmişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF)'nin ERA40 yeniden analiz veri seti 1.125 ° (~ 125km) çözünürlük ve yaklaşık 50m ila 2500m arasındaki yüksekliğe sahiptir (Türkiye, 1971-2000 dönemi için) (Demircan vd. 2011)

MGM'nin 20km çözünürlükle oluşturduğu model çalışmasında model gridlerinin oluşturulan yüksekliği 0 – 2458m arasında değişmektedir (Şekil 3). USGS SRTM 90m verisinden elde edilen yükseklik haritasında ise 0 – 5200m arasında değişmektedir. İklim değişikliği projeksiyonları RegCM iklim modeli içerisindeki formüller ile grid verisinin yüksekliği ve coğrafi özelliklerine göre hesaplanmaktadır. İklim parametrelerinin değerlerindeki değişimi etkileyen en önemli coğrafi özelliklerden bir tanesi ise yüksekliktir. Projeksiyon gridlerinin yüksekliği ile USGS SRTM 90m yükseklik veri seti arasındaki farklar ise -861 ile 1750m arasında değişmektedir. Bu yükseklik farkı ise sistematik hatalara yol açmaktadır.



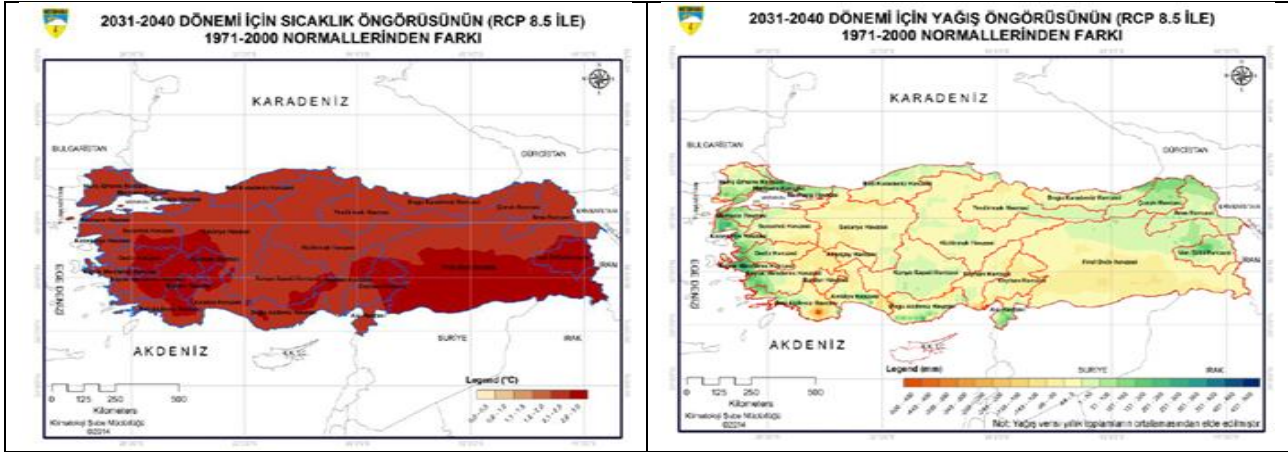
Şekil 3. Model grid yüksekliklerinin gerçek yükseklik değerlerinden farkları (Demircan vd. 2017i).

2.3. İklim Değişikliği Model Sonuçlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Sektörel Olarak kullanılması:

İklim değişikliği projeksiyonlarının çıktıları, genel olarak sayısal veri formatında olup sektörler tarafından doğrudan kullanılamamaktadır. Sektörel çalışmalar için bu veriler uygun formata (Network Common Data Form (NetCDF), tablo veri formatına) dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle sektörel çalışmalar, çoğunlukla iklim projeksiyonları raporlarından elde edilen sonuçlar üzerine geliştirilmektedir. Bu ise sektörel çalışmaların derinlik kazanmasını engellemektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) farklı katmanların analiz edilmesini sağlayan bir araçtır (Şekil 4). Sektörlerin iklim değişikliği çalışmalarında bu özelliği ile, iklim ve iklim değişikliği projeksiyon verileri, bunlardan sektörler için belirlenen

iklimsel eşik değerleri ve sektörel verilerin birlikte analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu şekilde daha etkili iklim değişikliği uyum planları hazırlanabilecektir.



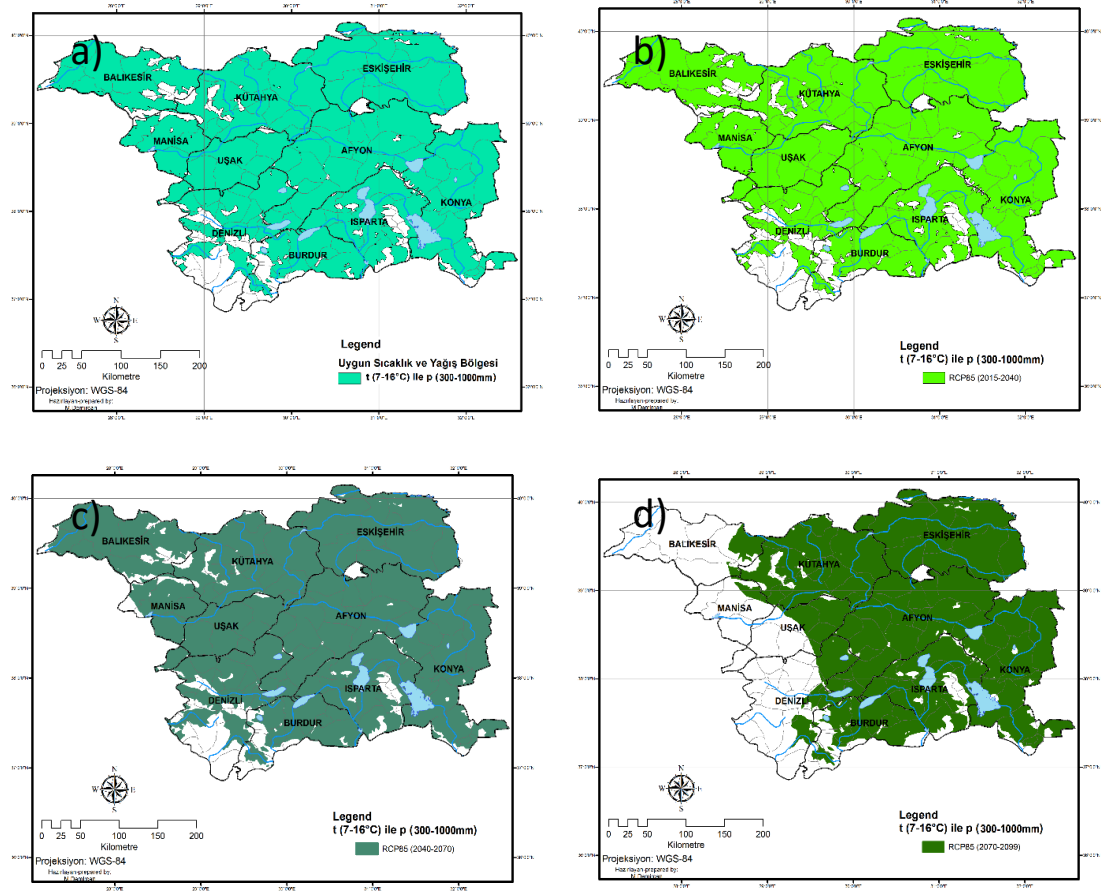
Şekil 4. Model sonuçlarının CBS ile analizi

Sektörel iklim ürünleri diğer bir ismiyle özel iklim ürünleri, iklim parametreleri için eşik değerlere (bitki ve hayvanların iklimsel yaşam alanı, hastalığa neden olan zararlılar için uygun iklim ortamı, aşırı olaylar vb.) dayanır. Bu eşik değerleri, sektörel kullanım ile ilişkilidir ve sektörel amaç için kritik değerlerdir. Eşik değerleri, uyum planlarında iklim değişikliği ile mücadele etmek için yapılacak sektörel planlama için özellikle önemlidir. İklim değişikliği uyum planlarının sadece iklim değişikliği projeksiyonlarının genel sonuçları (sıcaklık ve yağış değişimi vb.) üzerinden hazırlanması uyum planlarının başarı, verim ve etkinliğini azaltırken maliyetlerini artırabilecektir. Bu neden ile eşik değerlerin kullanılması uyum planlarının öznellesmesine, sektör ve bölge bazında ayrı ayrı, daha doğru ve daha az maliyetli önlemler alınmasına yardımcı olacaktır (Demircan vd. 2017i).

Sektörel iklim değişikliği uyum çalışmaları yapılırken şu adımlar izlenmelidir;

1. Model parametrelerinden ilgili tüm parametrelerin analiz edilmesi
2. Model parametrelerinde topografik düzeltmelerin yapılması
3. İklimsel (klimatik) eşik değerlerinin tanımlanması
4. Diğer eşik değerleri (topografik, sosyolojik, altyapı vb.)
5. CBS’de eşik değerlerine ilişkin katmanların hazırlanması
6. Katmanlar arasındaki ilişkinin kurgulanması
7. Sonuç çıktının elde edilmesi
8. Sonuçların ilgili uzmanlar tarafından yorumlanması
9. Sektörel uyum çalışmalarının planlanması.

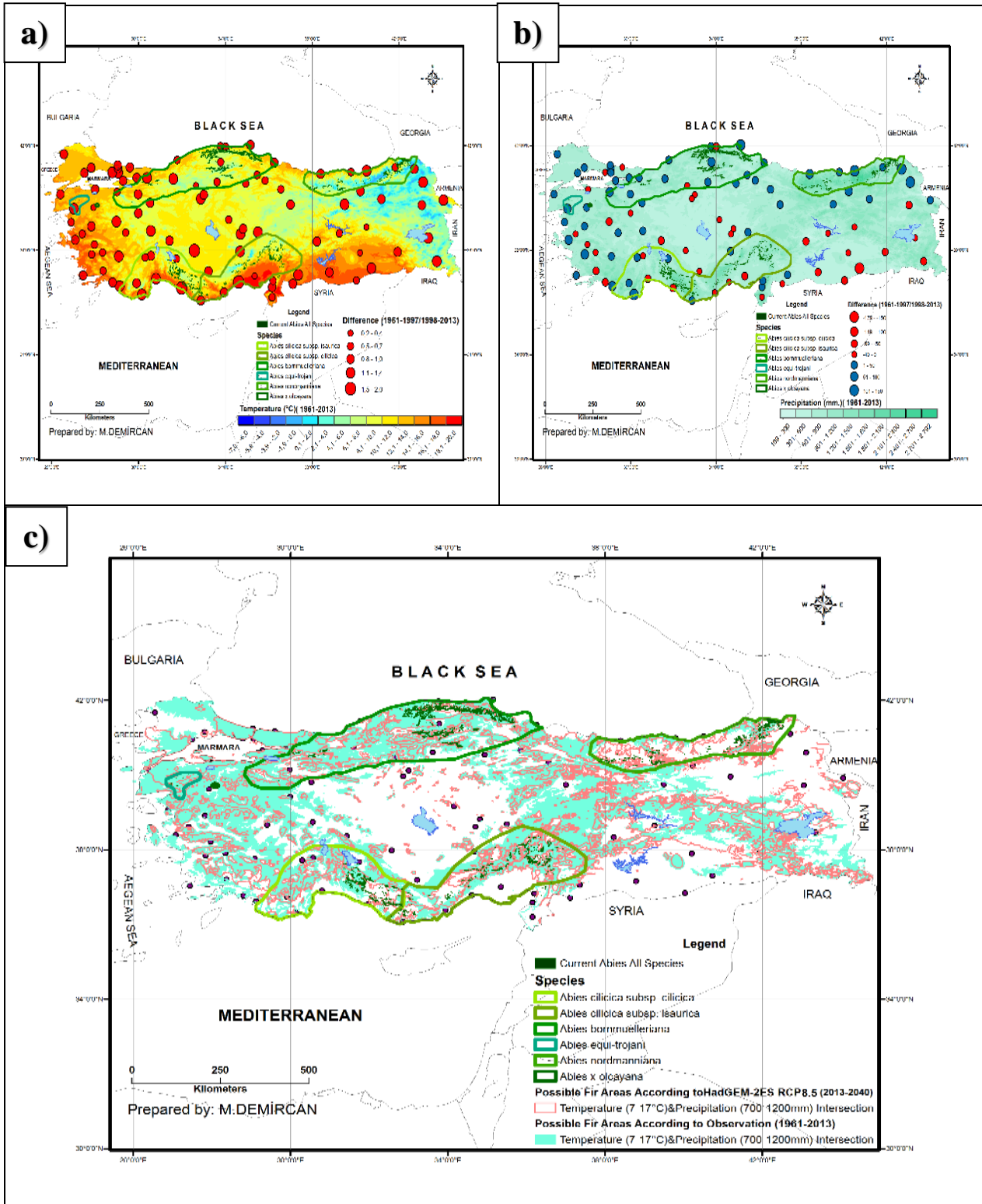
Yıldırım vd. (2016, 2017), çalışmalarında mevcut iklim verileri ve iklim projeksiyonu verileri ile Haşhaşın iklimik yaşam alanı belirlemiştir. Haşhaş için yıllık ortalama sıcaklık için 7-16°C ve yıllık toplam yağış için 300-1000 mm. aralığını eşik değer olarak belirlemiştir. Demircan vd. (2011) yöntemiyle sıcaklık verilerini ve Schreiber’e atfedilen (Ardel vd., 1969) yöntemle yağış verilerini kullanarak yükseklikle modellemiştir. Haşhaş bitkisinin günümüz ve gelecekteki (HadGEM-2ES RCP8.5 senaryosuna göre) iklimik yaşam alanı ve değişimini ortaya koymuşlardır (Şekil 5).



Şekil 5. a) Haşhaş'ın yaşam alanı için uygun iklim bölgesi b) HadGEM-2ES RCP8.5 2015-2040 dönemi c) HadGEM-2ES RCP8.5 2041-2070 dönemi d) HadGEM-2ES RCP8.5 2071-2099 dönemi

Tarım sektörü için yapılacak uyum çalışmaları; tarım havzalarındaki her bitki türü ve her tarım zararlısı için iklimik yaşam eşik değerleri ayrı ayrı ele alınarak yapılmalıdır. Yeni iklim şartlarına uyum sağlaması zor olan bir ürünü o bölgede yaşatmak zor ve maliyetli olacaktır. Bitkilerin yaşam alanlarındaki değişim ve coğrafik kaymalar belirlenmeli, tarım havzalarında oluşacak yeni iklim şartlarına uygun ürünler belirlenmelidir. Böylelikle uyum maliyetleri de azalacaktır. Ayrıca tarım zararlılarının olası iklimik yaşam alanlarının belirlenmesi, daha ortaya çıkmadan bu bölgelerin takibi ve önleme çalışmaları için bir altlık hazırlayacaktır.

Ormanlık sektörü için yapılacak iklim uyum çalışmalarında da ağaç türü bazında iklimik yaşam alanları ve orman zararlılarının olası iklimik yaşam alanları belirlenmelidir. Örneğin, köknar türlerinin olası dağılım alanları için iklimik eşik değerleri olarak; sıcaklık için 7-17°C ve yağış için 700-1200 mm değer aralığı kullanılabilir. Gözlem verileri (1961-2013 dönemi 96 istasyon ile) ile yükseklik verisi ve Demircan vd. (2011) ile Schreiber'e yöntemleri kullanılarak elde edilen kesişim katmanı köknarın Türkiye üzerindeki dağılımını gösterebilmektedir. Bu eşik değerlerinin HadGEM-2ES RCP8.5 (2013-2040 dönemi) kullanılarak da gelecekteki değişimi gösterilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. a, b, c, Köknarın Türkiye üzerindeki dağılımını, olası yaşam alanları ve gelecekteki olası değişimi (Demircan vd. 2017i).

2. Sonuçlar

Türkiye için yapılan iklim değişikliği projeksiyon çalışmaları sonuçlarında, Türkiye’de yıllık ortalama sıcaklık artışının; 2016-2040 dönemi için 1.0 °C - 2.0 °C arasında; 2041-2070 dönemi için 1.5 °C - 4.0 °C arasında ve son dönem olan 2071-2099 dönemi 1.5 °C - 5 °C arasında olması öngörülmektedir. Bazı senaryolarda 21 yy. son otuz yılında (2071-2100) sıcaklık artışının kış mevsiminde 3.0 °C ve yaz mevsiminde 8.0 °C’ye ulaşması da öngörülmektedir. Yağışlarda; tüm

dönemlerde kış mevsimi için ülke genelinde yağış miktarında artışlar, ilkbahar mevsiminde tüm dönemlerde ülkenin sahil ve kuzeydoğu kesimleri haricinde yağış miktarında azalışlar, yaz mevsiminde tüm dönemlerde ülkenin batı sahilleri ve kuzeydoğu bölümleri haricinde yağış miktarında azalışlar ve sonbahar mevsiminde genel olarak yağış miktarında bir azalma öngörülmektedir. Her ne kadar projeksiyon dönemi boyunca (2016-2099) yağış miktarında düzenli bir artış ve azalış eğilimi olmasa da, yağış rejiminin düzensizliği dikkat çekicidir (Demircan vd. 2017i).

İklim değişikliği bağlamında, yeni iklim şartlarında Türkiye nehir havzalarında ciddi risklerin oluşması öngörülmektedir. Bunlardan bir tanesi, özellikle Fırat-Dicle havzası olmak üzere, Anadolu'nun iç kesimleri ve güneyindeki havzalarda yağış miktarındaki azalıştır. İkincisi ise artan sıcaklıkların yağış cinsi değişikliklerine neden olması ve kış mevsimindeki yağın karın yağmura dönüşmesidir. Kar, yıl boyunca su tedarik eden önemli su kaynağıdır. Ve ayrıca sıcaklık artışı ilkbaharda erken kar erimesine neden olabilir. Bozkurt et. ark. (2013) ve Bozkurt et. ark. (2015), Erken Erime ve Fırtına-Dicle Havzasındaki kar erimesi akışındaki zamansal değişimler sonucuna varmıştır. Üçüncü sorun ise, özellikle yaz mevsiminde ve özellikle Anadolu'nun batı ve kuzey sahil kesimlerinde aşırı yağışların oluşma riskidir. Bu aşırı yağışlar son yıllarda olduğu gibi sellere neden olabilecektir. Ayrıca artan sıcaklıklar; fırtına, dolu ve hortum gibi aşırı hava olaylarının sayısında ve şiddetinde artışa yol açabilecektir. SYGM'nin (2016) projesinde de 2015-2100 döneminde Marmara ve Karadeniz bölgelerinde aşırı yağış ve sel baskını olasılıklarının artabileceği sonucuna varılmıştır (Demircan vd. 2017i).

İklim değişikliği öngörü çalışmaları bütün sektörlerle uyum planı çalışmalarında, yani paydaşların gelecek planlarında -ki bunlar iklim ve iklim model çıktıları temelli yapılmalıdır- esas veri ve temel altlığı sağlamaktadır. İklim değişikliği çalışmaları kapsamında farklı iklim modellerinin senaryoları, Türkiye ve çevresi için ölçek küçültme yöntemi ile üretilmelidir. Böylelikle gelecekte muhtemel olması öngörülen iklim değişikliği ihtimallerini daha detaylı görmek mümkün olacaktır. İklim değişikliği uyum çalışmalarının ikinci adımı ise sektörlerle özel iklim ürünlerinin hazırlanmasıdır. Bu ürünler hazırlanırken modelleme çalışmasından kaynaklanabilecek hatalar göz önünde bulundurulmalıdır (Demircan vd. 2017i).

İklim değişikliği projeksiyonlarının çıktıları, genel olarak sayısal veri formatında olup sektörler tarafından doğrudan kullanılamamaktadır. Sektörel çalışmalar için bu veriler uygun formata (Network Common Data Form (NetCDF), tablo veri formatına) dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle sektörel çalışmalar, çoğunlukla iklim projeksiyonları raporlarından elde edilen sonuçlar üzerine geliştirilmektedir. Bu ise sektörel çalışmaların derinlik kazanmasını engellemektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) farklı katmanların analiz edilmesini sağlayan bir araçtır. Sektörlerin iklim değişikliği çalışmalarında bu özelliği ile, iklim ve iklim değişikliği projeksiyon verileri, bunlardan sektörler için belirlenen iklimsel eşik değerleri ve sektörel verilerin birlikte analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu şekilde daha etkili iklim değişikliği uyum planları hazırlanabilecektir.

Sektörel iklim ürünleri diğer bir ismiyle özel iklim ürünleri, iklim parametreleri için eşik değerlere (bitki ve hayvanların iklimsel yaşam alanı, hastalık için iklim eşiği, aşırı olaylar vb.) dayanır. Bu eşik değerleri, sektörel kullanım ile ilişkilidir ve sektörel amaç için kritik değerlerdir. Eşik değerler, uyum planlarında iklim değişikliği ile mücadele etmek için ileride yapılacak sektörel planlama için özellikle önemlidir. İklim değişikliği uyum planlarının sadece iklim değişikliği projeksiyonlarının genel sonuçları (sıcaklık ve yağış değişimi vb.) üzerinden hazırlanması uyum planlarının başarı, verim ve etkinliğini azaltırken maliyetlerini artıracaktır. Bu neden ile eşik değerlerin kullanılması uyum planlarının öznellesmesine, sektör ve bölge bazında ayrı ayrı, daha doğru ve daha az maliyetli önlemler alınmasına yardımcı olacaktır.

Sektörel iklim ürünleri, sadece sektörün kendi başına hazırlayabileceği bir ürün değildir. Bu ürünler bir ekip işi olmalıdır. Ekip ise sektör uzmanı, iklim uzmanı, iklim model uzmanı, meteoroloji uzmanı, Coğrafi Bilgi Sistemleri uzmanı, jeomorfoloj ve ilişkisinin olduğu diğer dalların uzmanlarından oluşmalıdır.

Harita Mühendisleri, CBS uzmanları olarak, projeksiyon verileri ile sektörel verilerin CBS platformu içerisindeki işlenmesi (koordinat ile projeksiyon dönüşümü, uydu verileri vb.) ve geo-istatistik teknikler konusunda iklim değişikliği çalışmalarında yer alabilirler.

Kaynaklar

- Akçakaya, A., Sümer, U.M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F. (2015) Yeni senaryolarla Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği (TR2015-CC). Meteoroloji Genel Müdürlüğü yayını, Ankara.
- Bozkurt D. and Sen O.L., 2013, Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *J Hydrol* 480:149–161.
- Bozkurt D. and Sen O.L., 2011, Precipitation in the Anatolian Peninsula: sensitivity to increased SSTs in the surrounding seas. *Clim Dyn* 36 (3–4):711–726.
- Bozkurt D., Turuncoglu U., Sen O.L., Onol B. and Dalfes H.N., 2012, Downscaled simulations of the ECHAM5, CCSM3 and HadCM3global models for the eastern Mediterranean–Black Sea region: evaluation of the reference period. *Clim Dyn* 39(1–2):207–225.

- Bozkurt D., Sen O.L. and Hagemann, S., 2015, Projected river discharge in the Euphrates–Tigris Basin from a hydrological discharge model forced with RCM and GCM outputs. *Clim Res*, Vol. 62: 131–147, 2015, doi: 10.3354/cr01268.
- Coşkun, M., Gürkan, H., Arabacı, H., Demircan, M., Eskioglu, O., Şensoy, S., ve Yazıcı, B., 2016, İklim değişikliğinin enerji tüketimine etkisi, 10. Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu (UTES), 24-26 Ekim, İstanbul.
- Demir, Ö., Atay, H., Eskioglu, O., Tüvan, A., Demircan, M. and Akçakaya, A., 2013, RCP4.5 senaryosuna göre Türkiye’de sıcaklık ve yağış projeksiyonları, III. Türkiye İklim Değişikliği Konferansı - TİKDEK 2013, 3 - 5 Haziran, 2013, İTÜ - Süleyman Demirel Kültür Merkezi, İstanbul – Türkiye.
- Demircan, M., Alan, İ., ve Şensoy, S., 2011, Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak sıcaklık haritalarının çözünürlüğünün artırılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara, (a)
- Demircan, M., Alan, I., and Sensoy, S., 2011, Increasing resolution of temperature maps by using Geographic Information Systems (GIS) and topography information, 5th Atmospheric Science Symposium, 27-29 April 2011, İstanbul Technical University, İstanbul – Turkey, Sayfa 423, (b)
- Demircan, M., Alan, I., and Sensoy, S., 2011, 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, (c)
- Demircan, M., Arabacı, H., Bölük, E., Akçakaya, A., Şensoy, S., And Ekici, M., 2013, 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. (a)
- Demircan, M., Arabacı, H., Bölük, E., Akçakaya, A., And Ekici, M., 2013, 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. (b)
- Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioglu, O., Tüvan, A. ve Akçakaya, A., 2014, Climate change projections for Turkey with new scenarios, The Climate Change And Climate Dynamics Conference-2014 – CCCD2014, 8-10 October 2014, İstanbul, Turkey (a).
- Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioglu, O., Tüvan, A., Gürkan, H. ve Akçakaya, A., 2014, Türkiye’de yeni senaryolara göre iklim değişikliği projeksiyonları, TÜCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu, Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi, 23-24 Ekim 2014, Ankara, Türkiye (b).
- Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioglu, O., Tüvan, A., Gürkan, H. ve Akçakaya, A., 2014, Yeni senaryolara göre Türkiye akarsu havzalarında iklim değişikliği projeksiyonları, TÜCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu, Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi, 23-24 Ekim 2014, Ankara, Türkiye (c).
- Demircan, M., Türkiye için İklim Değişikliği Senaryoları, TC Sağlık Bakanlığı, 2016, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu, 19-22 Nisan 2016 Bursa karbonmonoksit zehirlenmeleri, İklim Değişikliği, Çevresel Risk Değerlendirmesi ve Beyaz Bayrak Eğitim Toplantısı Programı, Bursa
- Demircan, M., 2016, İklim ve ülkemizi bekleyen iklim değişikliği, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Türk Tarım Dergisi, Temmuz-Ağustos 2016, Sayı:230
- Demircan, M., Arabacı, H., Coşkun, M., Türkoğlu, N., Çiçek, İ., 2017, Climate change: monthly patterns of minimum temperatures and their change, 8th Atmospheric Sciences Symposium - ATMOS2017, 1-4 November 2017, İstanbul, Turkey, (g)
- Demircan, M., Arabacı, H., Akçakaya, A., Şensoy, S., Bölük, E., Kömüşçü, A.Ü., Coşkun, M., 2017, climate change and urbanization: minimum temperature trends, 8th Atmospheric Sciences Symposium - ATMOS2017, 1-4 November 2017, İstanbul, Turkey, (h)
- Demircan, M., Türkoğlu, N., Çiçek, İ., 2017, iklim değişikliği: modelden sektörel uygulamalara (climate change: from model to sectoral applications), Türk Coğrafya Kurumu 75. Yıl Uluslararası Kongresi, 8-10 Kasım 2017, Ankara, (i)
- Demircan, M., Arabacı, H., Gürkan, H., Eskioglu, O., Coşkun, M., 2017, Climate change projections for Turkey: Three models and two scenarios, Türkiye Su Bilimi ve Yönetimi Dergisi (Turkish Journal Of Water Science & Management), ISSN:2536 474X Publication number:6777, Volume: 1 Issue: 1, January 2017, Ankara (j).
- Demircan, M., Arabacı, H., Coşkun, M., Türkoğlu, N., Çiçek, İ., 2018, Sıcaklıklardaki Türdeşlik kırıklıklarının Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ile ilişkisi, Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran, 2018, İzmir (a)
- Demircan, M., Soydam, M., Çetin, S., Gürkan, H., Arabacı, H., Coşkun, M., Türkoğlu, N., Çiçek, İ., 2018, Türkiye’de sel afetinin aylık eğilimleri, Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi, 30 Mayıs-2 Haziran, 2018, İzmir (b)
- Demircan, M., Gürkan, H., Türkoğlu, N., and Çiçek, İ., 2018, Sıcaklıklardaki türdeşlik kırıklıklarının Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) İndisi ile ilişkisi, Ankara Üniversitesi, Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi (TÜCAUM), “TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu”, 3-6 Ekim 2018, Ankara, Türkiye (c)
- Demircan, M., 2019, Sıcaklık verilerindeki kırılma tarihleriyle iklim indekslerinin ilişkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Fiziki Coğrafya Bilim Dalı, Ankara.
- Eskioglu, O., Gürkan H., Arabacı, H., Demircan, M., Şensoy, S., Yazıcı, Y., Kocatürk, A., Sümer, U.M., Coşkun, M., 2017, İklim değişikliğinin GFDL-ESM2M Modeline göre nispi nem üzerine olası etkisi, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK’2017 5-7 Temmuz 2017, İstanbul
- Gürkan, H., Bayraktar, N., Bulut, h., Koçak, N., Eskioglu, O., ve Demircan, M., 2016, Marmara Bölgesi’nde İklim Faktörlerinin ve İklim Değişikliğinin Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Bitkisinin Verimi Üzerine Etkisi, 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, Volume: 13, 12-15 Nisan 2016, Antalya, Türkiye (a).
- Gürkan, H., Arabacı, H., Demircan, M., Eskioglu, O., Şensoy, S., ve Yazıcı, B., 2016, GFDL-ESM2M Modeli Temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına göre Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonları, TUCAUM 2016 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 13-14 Ekim 2016, Ankara (b).
- Gürkan, H., Arabacı, H., Demircan, M., Eskioglu, O., Şensoy, S., ve Yazıcı, B., 2016, GFDL-ESM2M Modeli Temelinde RCP4.5 ve RCP8.5 Senaryolarına göre Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonları, Coğrafi Bilimler Dergisi (Turkish Journal of Geographical Sciences), Basılı ISSN: 1303-5851, e-ISSN: 1308-9765, DOI: 10.1501/Cogbil_0000000174, 14(2): 077-088, 2016, Ankara (c).
- Güser, Y., Demircan, M., Arabacı, H., Coşkun, M., 2017, Don afetinin iklim değişikli projeksiyonlarına göre incelenmesi, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK’2017 5-7 Temmuz 2017, İstanbul

- IPCC, 2007, Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies: IPCC expert meeting report, September, Netherlands.
- IPCC 2013, 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.
- Ozdoğan M., 2011, Climate change impacts on snow water availability in the Euphrates–Tigris basin. *Hydrol Earth Syst Sci* 15:2789–2803 Pal JS.
- Önol, B. and Semazzi FHM., 2009, Regionalization of climate change simulations over the eastern Mediterranean. *J Climate* 2009; 22, 1944–61.
- Önol, B., 2012, Understanding the coastal effects on climate by using high resolution regional climate simulation. *Clim Res* 52:159–174.
- Önol B and Unal YS., 2012, Assessment of climate change simulations over climate zones of Turkey. *Reg Environ Change*. doi:10.1007/s10113-012-0335-0.
- Önol B., 2012, Effects of coastal topography on climate: high-resolution simulation with a regional climate model. *Clim. Research*, doi: 10.3354/cr01077.
- Önol, B., Bozkurt, D., Turuncoglu, U.U., Sen, O.L., and Dalfes H.N., 2013, Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean–Black Sea region, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, *Clim Dyn* (2014) 42:1949–1965, DOI 10.1007/s00382-013-1966-7.
- Ozturk, T., Türkeş M. and Kurnaz, M.L., 2014, analysing projected changes in future air temperature and precipitation climatology of Turkey by Using RegCM4.3.5 Climate Simulations, *Aegean Geographical Journal*, 20/1, Izmir, Turkey
- Ozturk, T., Turp, M.T., Türkeş M., Kurnaz, M.L., 2017, Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5, *Atmospheric Research* 183 (2017) 296–307.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016, İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi (İDSKEP), Haziran 2016, Ankara
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013, Türkiye İklim Değişikliği 5. Bildirimi (TİDBB), Ankara, Türkiye
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016, Türkiye İklim Değişikliği 6. Ulusal Bildirimi (TİDAUB), Ankara, Türkiye
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018, Türkiye İklim Değişikliği 7. Ulusal Bildirimi (TİDAUB), Ankara, Türkiye
- Turp, M.T., Ozturk, T., Türkeş M. and Kurnaz, M.L., 2014, Investigation of projected changes for near future air temperature and precipitation climatology of Turkey and surrounding regions by using the regional climate model RegCM4.3.5, *Aegean Geographical Journal*, 23/1 (2014), 1-24, Izmir, Turkey
- Ünal, Y., Acar, M., Çağlar, F. and Incecik S., 2015, Comparing high resolution climate simulations driven by HadGEM2-ES and MPI-ES-MR over Turkey for present and future, 5th International Conference on Meteorology and Climatology of the Mediterranean, March 2 - 4, Istanbul, Turkey.
- Yıldırım, M., U., Demircan, M., Özdemir, F., A. ve Sarihan, E., O., 2015, İklim değişikliğinin Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) üretim alanlarına etkisi, 11. Tarla Bitkileri Kongresi, 7 - 10 Eylül 2015 – Troia Kültür Merkezi, Çanakkale
- Yıldırım, M., U., Demircan, M., Özdemir, F., A. ve Sarihan, E., O., 2015, İklim değişikliğinin Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) üretim alanlarına etkisi, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, Cilt 25, SAYI: ÖZEL SAYI-2, ISSN: 1302-4310, E-ISSN: 2146-8176, DOI: 10.21566/tarbitderg.282851, sayfa:289-295, 2016, Ankara.