



Yer Sistem Modellerinin Son Buzul Maksimumu İklim Ardgörülerinin Holdridge Biyomları ve Paleobuzul Alanları ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Earth System Models' Last Glacial Maximum climate hindcasts with Holdridge Biomes and paleoglacier areas

Erkan Yılmaz^{*a}, Serdar Yeşilyurt^b

Makale Bilgisi

Araştırma Makalesi

DOI:

10.33688/aucbd.1290590

Makale Geçmişi:

Geliş: 01.05.2023

Kabul: 14.06.2023

Anahtar Kelimeler:

Türkiye

İklim modeli doğruluğu

Son Buzul Dönemi

Öz

Geçmiş dönem iklim koşullarını anlamak için kullanılan yöntemlerden biri olan iklim modeli verileri ile yapılan çalışmalar artmakta, bu çalışmaların hangisinin gerçeği daha iyi yansıttığı konusundaki denkleştirme, sağlama yapma çalışmaları ise daha sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmada, 7 farklı iklim modeli ardgörülerinin, çözünürlüğü artırılmış veri setlerinden, Holdridge biyomlarında bulunan buzul alanları üretilmiş, bu alanlar ile Türkiye'deki paleobuzul alanları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, 1 km çözünürlüklü veri setleri kullanılmış, elde edilen buzul ve soğuk çöl alanları ile farklı kaynaklar kullanılarak üretilen, Türkiye'nin Son Buzul Maksimumu buzul alanları arasındaki benzerlik ve farklılıklar değerlendirilmiştir. Değerlendirme için, Türkiye paleobuzul alanları bölgelere ayrılmış, bu sayede hangi iklim modelinin hangi bölgede daha az hatalı sonuçlar verdiği ortaya koyulmuştur. Sonuç olarak, Türkiye'de MPI-ESM-P ve CCSM4 modellerinin daha geniş alanlar için tutarlı sonuçlar verirken, FGOALS2, IPSL-CM5A-LR, MRI-CGCM3 modellerinin bölgesel bazda anlamlı sonuçlar verdiği görülmüştür. MICRO-ESM ve CNRM-CM5 modellerinin ise Türkiye'deki SBM iklim koşullarını yansıtabilmesi için iyileştirmeler yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Article Info

Research Article

DOI:

10.33688/aucbd.1290590

Article History:

Received: 01.05.2023

Accepted: 14.06.2023

Keywords:

Türkiye

Climate model accuracy

Last Glacial Period

Abstract

Studies with climate model data, which is one of the methods used to understand the climatic conditions of the past, are increasing, while the studies of balancing and validating which of these studies better demonstrate the reality remain more limited. In this study, glacier areas in the Holdridge biomes were produced from the datasets of 7 different climate model escapades with enhanced resolution, and these areas were compared with the paleo glacier areas in Turkey. In the study, 1 km resolution data sets were used, and the similarities and differences between the glacier and cold desert areas obtained and Turkey's Last Glacial Maximum glacier areas produced using different sources were evaluated. For the evaluation, Turkey's paleo glacier areas were divided into regions, thus it was revealed which climate model gave less inaccurate results in which region. As a result, it was seen that the MPI-ESM-P and CCSM4 models gave consistent results for larger areas in Turkey, while the FGOALS2, IPSL-CM5A-LR, MRI-CGCM3 models gave significant results on a regional basis. On the other hand, it has been revealed that MICRO-ESM and CNRM-CM5 models need to be improved in order to represent the LGM climate conditions in Turkey.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: eryilmaz@ankara.edu.tr

^a Ankara Üniversitesi, Ankara/Türkiye, <http://orcid.org/0000-0002-3821-3648>

^b Ankara Üniversitesi, Ankara/Türkiye, <http://orcid.org/0000-0002-2896-9644>

1. Giriş

Günümüzden 23-19 binyıl önce yaşanan Son Buzul Maksimumu (SBM), küresel ölçekte deniz suyu sıcaklıklarının 6,1 °C düşük olduğu (Tierney vd., 2020), buzulların ilerlediği (Gowan vd., 2021), permafrost alanların genişlediği (Braconnot vd., 2012), hidrolojik süreçlerin farklılık gösterdiği (Fritz vd., 2004; Goldsmith vd., 2017), göllerin seviyelerinde değişimlerin yaşandığı (Li ve Morrill, 2013; Prentice vd., 1992), farklı jeolojik, jeomorfolojik, ve pedolojik süreçlerin hakim olduğu bir dönemdir. Bu dönem koşulları genelde oksijen izotop, fosil polen, fosil diyatom, element ve damlataş analizi gibi geçmiş ortamı dolaylı ortaya koyan yöntemlerle incelenebildiği gibi, yer sistem modellerinin (YSM-Earth System Models) ardgörüler¹ ile de araştırılabilmektedir. Bu modeller temelde, hava tahmin modellerinden yola çıkılarak oluşturulan, geçmiş dönemlerdeki çevresel süreçleri tanımlamaya çalışan, hava tahminlerinden farklı olarak, okyanus, buzküre, arazi örtüsü değişimleri ile yer yörünge ve eksenindeki değişimleri de hesaba katan sistemlerdir.

Bir yer sistem modeli, küresel atmosfer modelini, küresel karasal örtü modelini, küresel okyanus ve küresel deniz buzu modellerini içermekte (Flato vd., 2013), birindeki değişimin diğerlerini de etkileyeceği şekilde koordine edilmektedir. Modellerin geleceğe dönük olanlarında ayrıca, farklı sera gazı salınımı miktarlarına bağlı olarak senaryolar üretilmektedir. Modellerin kullandıkları okyanus ve atmosfer katları, tabakalı olarak sisteme girilmekte, teknolojik gelişme ve bilgi birikimi artışına bağlı olarak tabaka sayısı sürekli artırılmaktadır.

YSM değerlendirmeleri, genel olarak, aletli dönem verilerinin modelde doğru bir şekilde elde edilip edilememesine bağlı olarak yapılmakta, daha eski ardgörüler ise, tarihi, paleoiklimsel verilerle yapılmakta, SBM'yi modelleyen YSM değerlendirmeleri ise sadece paleoiklimsel verilerle mümkün olabilmektedir (Braconnot vd., 2012; Ju vd., 2007; Kohn ve McKay, 2012; Li ve Battisti, 2008).

YSM ardgörülerini birçok çalışmada kullanılmakta, dönemlere ait biyom ve tür dağılışı tahminleri yapılabilmektedir (Dury vd., 2017; Fathinia vd., 2020; Lionello ve D'Agostino, 2019). Yine bu modellerle SBM'deki iklim dinamikleri çalışılabilmekte (Hopcroft ve Valdes, 2015; Oster vd., 2015), örtü buzulu modellemeleri yapılabilmektedir (Alder ve Hostetler, 2019). YSM'nin SBM iklim ardgörülerini, Türkiye'de özellikle bitki tür dağılışı analizlerinde (Arslan ve Örcü, 2019; Çoban vd., 2020; Dagtekin vd., 2020; Koç vd., 2021; Koç vd., 2022; Koç vd., 2018; Sarıkaya vd., 2018; Ülker vd., 2018), hayvan türü potansiyel dağılışlarında (Gül vd., 2015; Gür, 2013, 2017; Tarikahya-Hacıoğlu vd., 2014; Vaissi, 2021), yağışların erozif güçleri ile ilgili değişim çalışmalarında (Kilic ve Gunal, 2021) kullanılmış, Türkiye'nin SBM'deki Holdridge ekolojik bölgeleri (HEB) de belirlenmiştir (Yılmaz, 2021a). Sayılan çalışmalarda, genel olarak literatürde kabul gören, daha sık kullanılan modeller seçilmiş (genellikle CCSM modelleri), model doğrulukları ise mümkün olduğunca paleoekoloji sonuçları ile denkleştirilmeye çalışılmıştır.

Yüksek çözünürlüklü veriler, yerel iklim farklılıklarını ortaya koyabilmekte ve daha isabetli sonuçlar verebilmektedir (Palmer, 2014). Bununla beraber, modellerdeki çözünürlük artırılması, büyük veri üretimi sağlarken, hız azalmakta, üretilen verinin depo edilmesi ve analizi zorlaşmakta, bu amaçla yeni işlemciler geliştirilmektedir (Schär vd., 2020). Üretilen model sonuçlarının ölçek küçültme yöntemi (Ekström vd., 2015; Schmidli vd., 2006; Tatli vd., 2004) ya da istatistiksel

modellerle de (Fick ve Hijmans, 2017; Karger vd., 2017) çözünürlüğü artırılabilen, istatistiksel yöntemler, ölçek küçültme yöntemine göre daha yüksek veri çözünürlüğü sunabilmektedir (1 km).

Bu çalışmada, SBM için küresel ölçekte, farklı çözünürlükte üretilen 7 farklı YSM modeli, iklimsel ardgörülerinin, Karger vd. (2020) tarafından çözünürlüğü artırılan verisi kullanılarak Türkiye'ye ait ayrıntılı HEB sınıfları üretilmiştir. HEB sınıflarından elde edilen soğuk çöl ve buzul sahaları ile, manuel olarak çizimi yapılan paleobuzul sahaları karşılaştırılmış, bu iki verinin birbiri ile uyumu ölçüt alınarak, Türkiye'deki buzul alanları için en tutarlı YSM modeli iklim ardgörülerini değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu yöntem küresel ölçekte farklı sahalarda da kullanılabilir özelliktedir. Seçilen modellerin, sadece Türkiye'yi değil, Kafkasya, İran Platosu, Akdeniz ve Ortadoğu için de en tutarlı YSM modellerini göstermesi açısından önemlidir.

2. Veri ve Yöntem

2.1. Veri

Çalışmada, 7 farklı YSM modelinin (

Çizelge 1) Karger vd. (2017) tarafından çözünürlüğü artırılan ardgörülerini kullanılmıştır. Karger vd. (2017) tarafından yapılan modellemelerde, coğrafi (kareli) projeksiyon kullanılmış, veriler standart olarak 30 saniye çözünürlükte üretilmiştir. Bu değer, bir piksel için Türkiye'nin en güneyinde 0,75 (36° enleminde) en kuzeyinde (42° enleminde) ise 0,71 km çözünürlük sunmaktadır. Çalışmada standart bir veri kalitesi ile çalışmak için, veriler önce çift standart paralelli Albers projeksiyonuna çevrilmiş, çözünürlük Türkiye'nin her yeri için 1 km olarak ayarlanmıştır.

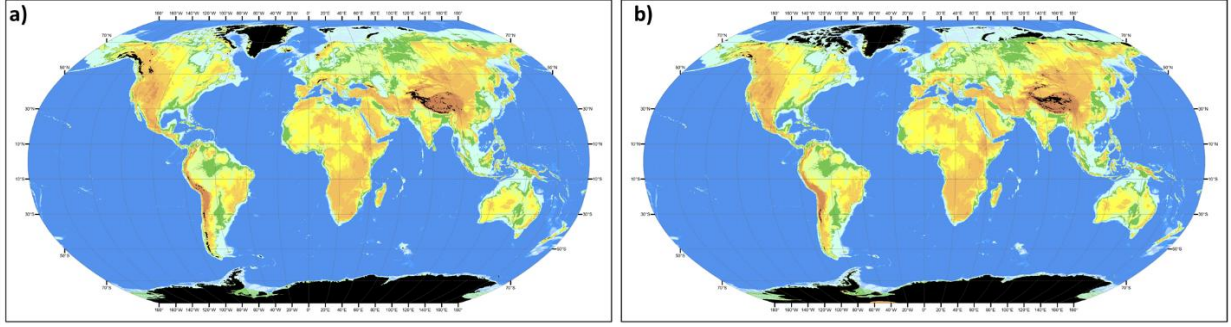
Yüksek çözünürlüklü klimatolojik veri üretimi daha önce istasyon verilerine bağlı olarak çoklu regresyon analizi ve spline (eğri) kestirimi ile yapılmış (Fick ve Hijmans, 2017; Hijmans vd., 2005), Karger vd. (2017) tarafından oluşturulan çözünürlük artırma modelinde, karelenmiş veriler (grid data) ve hakim rüzgar yönleri de hesaba katılmış, yeni bir yöntem kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan SBM iklim modelleri hakkında bilgiler

Model	Açıklama	Yayın
CCSM4	ABD-The Community Climate System Model-Topluluk İklim Sistemi Modeli	(Gent vd., 2011)
CNRM-CM5	Fransa-CentreNational de Recherches Me'orologiques, Coupled Model-Ulusal Meteoroloji Araştırma Merkezi-Birleşik Model	(Voldoire vd., 2013)
FGOALS2	Çin-Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System-Esnek Küresel Okyanus-Atmosfer-Kara Sistemi	(Zheng ve Yu, 2013)
IPSL-CM5A	Fransa-TheInstitut Pierre Simon Laplace-Coupled Model Intercomparison Project- Pierre SimonLaplace Enstitüsü, Birleşik Model Karşılaştırma Projesi	(Dufresne vd., 2013)
MICRO-ESM	Japonya-Model for Interdisciplinary Research on Climate , Earth System Model-İklim Üzerine Disiplinlerarası Araştırmalar için Model, Yer Sistemi Modeli	(Watanabe vd., 2011)
MPI-ESM-P	Almanya-Max- Planck- Institute Earth System Model- Max Planck Enstitüsü Yer Sistem Modeli	(Giorgetta vd., 2013)
MRI-CGCM3	Japonya-Meteorological Research Institute Coupled Global Climate Model Version Three-Meteoroloji Araştırma Enstitüsü, Birleşik Küresel İklim Modeli	(Yukimoto vd., 2012)

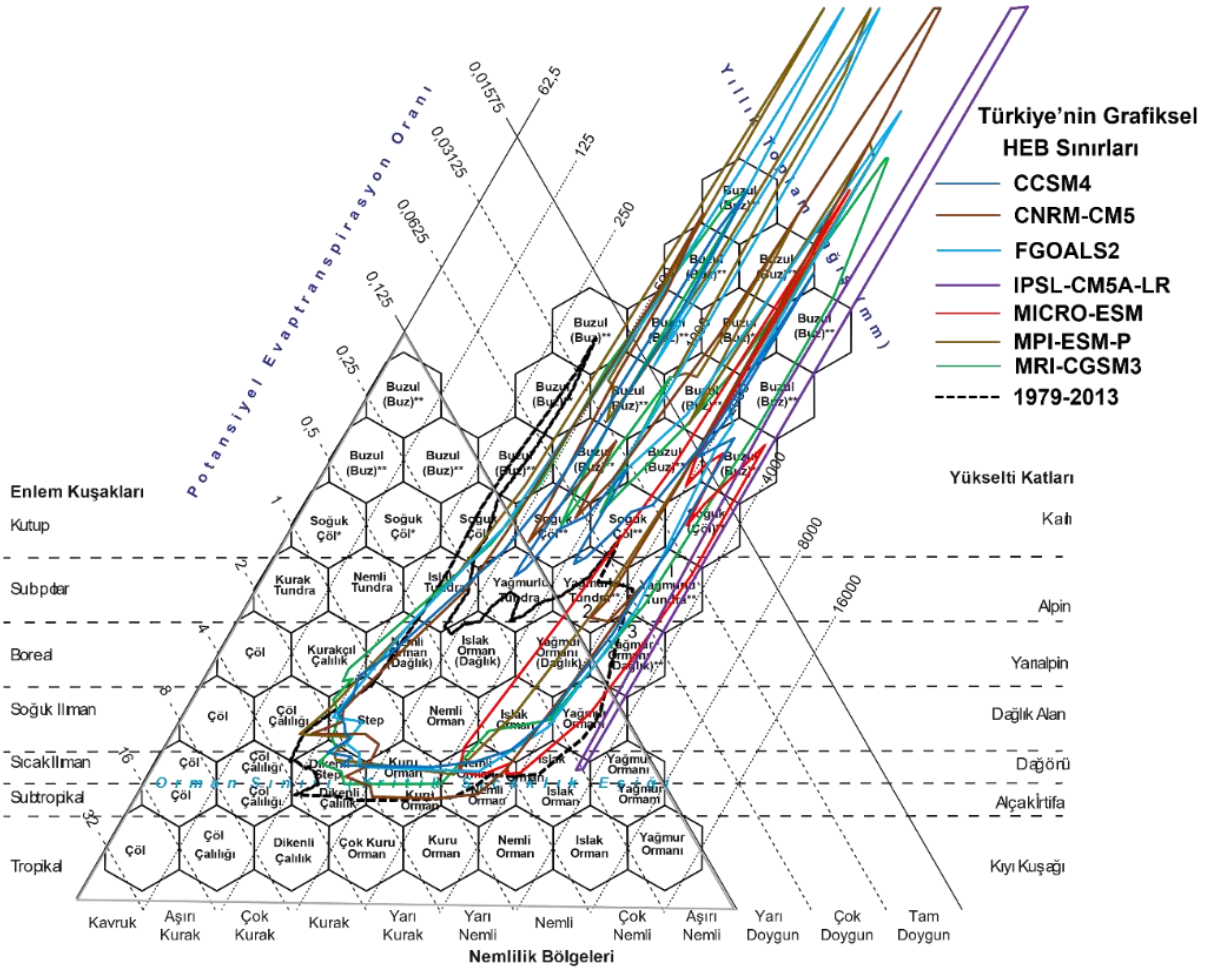
2.2. SBM Buzul Tespit Yöntemi

Geçmiş dönem buzul modellemesi birkaç yolla yapılabilmekte, bunların bir kısmında iklim şartlarının değiştirilmesi ile oluşabilecek buzul sahasını ortaya çıkarmak amaçlanmaktadır (Winkelmann vd., 2011). Bu model Dedegöl Dağı'nda kullanılmış (Candaş vd., 2020), farklı iklimsel değişkenlere göre oluşabilecek buzul alanı belirlenebilmiştir. Bu tür fiziksel modellerin yanında, paleobuzul sınırına göre buzul kütesini oluşturan (Pellitero vd., 2016) ya da kalıcı kar sınırını belirlemeye yönelik modeller de bulunmaktadır (Pellitero vd., 2015). Bu çalışmada hem güncel hem de SBM'deki buzul sahalarının iklimsel ölçütlerle belirlenebilmesi amacıyla, Holdridge ekolojik bölgeleri (HEB) kullanılmıştır. HEB, 1947 yılında geliştirilen, aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri ile belirlenen, pratik bir sınıflandırmadır (Holdridge, 1947). Sınıflandırma, yükselti-enlem ve nemlilik bölgeleri oluşturmasının yanında biyom tanımlaması bulunmakta, bu tanım içerisinde buzul sahalarını karakterize eden soğuk çöl ve buzul alanları yer almaktadır. Sınıflandırma, Leemans (1990) tarafından küresel ölçekte, Yılmaz (2021a) tarafından ise Türkiye için oluşturulmuştur. Bu çalışma öncesinde, Natural Earth sitesinde (NE, 2021) oluşturulan güncel buzul alanları ile yine Karger (2017) tarafından üretilen yağış ve sıcaklık verine göre (10 dakikalık) oluşturulan HEB sınırlarından elde edilen buzul alanları karşılaştırılmış (Şekil 1), tam örtüşme sağlanmasa da iki verinin büyük ölçüde uyum sağladığı görülmüştür.



Şekil 1. a)NE (2021) verisine göre dünyadaki buzul alanları, b)Holdridge biyomlarına göre soğuk çöl+buzul alanları. Her iki haritada da siyah alanlar buzulları göstermektedir.

HEB sınıflandırması, hem yükselti katları ya da enlem kuşakları, hem nemlilik bölgeleri hem de biyomları göstermeyi amaçlayan bir iklimsel sınıflandırma yöntemidir (Holdridge, 1947; Holdridge ve Joseph, 1967). Aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak oluşturulan buharlaşma ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerine göre sınıflandırma yapılmakta, sınırlar grafiksel olarak belirlenmektedir. Daha evvel Türkiye için güncel HEB sınıflandırmaları ve yöntemi sunulmuştur (Tatlı, 2017; Tekin vd., 2018; Yılmaz, 2021b).



Şekil 2. HEB grafiği ve Türkiye'nin farklı modellere göre grafiksel HEB sınırları

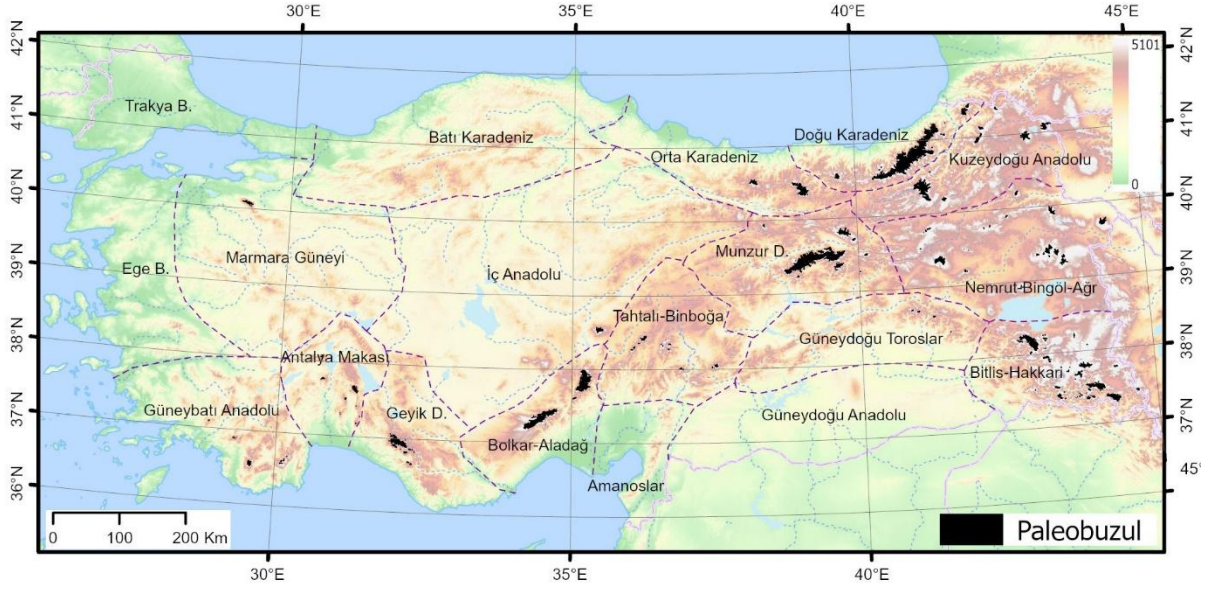
Türkiye için 7 farklı SBM iklim ardgörüsü ile üretilen HEB sınırları incelendiğinde, sınırların potansiyel evapotranspirasyonun azaldığı bölgeye doğru kaydığı görülmektedir (Şekil 2). Yine IPSL-CM5a-LR ve MICRO-ESM modellerinin SBM için çok homojen, farklılıkları göstermeyen bir grafiksel sınır sunduğu ortaya çıkmıştır. Modellere ait vektörel verilere <http://geography.humanity.ankara.edu.tr/turkiye-iklim-arastirmalari/> adresinden ulaşmak mümkündür.

2.3. Türkiye Paleobuzul Alanları ve Buzul Bölgeleri

Dağ buzulları iklim değişikliklerine doğrudan tepki verdikleri için paleobuzulların jeomorfolojik kanıtları ve sınırları geçmiş iklimler hakkında önemli bilgiler sağlayan kayıtlardır (Oerlemans, 1998; Pederson vd., 2004). Bu sınırlar arazi çalışmaları sırasında yapılan sedimantolojik ve jeomorfolojik değerlendirmeler ile uzaktan algılama çalışmaları yardımıyla belirlenir (Boston, 2012; Thorp, 1981). Bu çalışmada buzullaşmanın olduğu dağlarla ilgili eski çalışmalar başta olmak üzere (Akçar vd., 2017; Bilgin, 1972; Doğu vd., 1993; Erinç, 1945; Louis, 1944; Messerli, 1967; Sarıkaya vd., 2017; Tonbul, 1997) eski ve güncel tarihli ortofotolar, uydu görüntüleri, topoğrafya haritaları ve sayısal arazi modelleri altlık olarak kullanılarak buzulların yayılış alanları belirlenmiştir. Özellikle paleobuzul alanlarının belirlenmesinde bu sahaların erime/ablasyon bölgelerindeki buzul sedimanlarının yayılışı dikkate alınmış, buzul birikme alanına karşılık gelen yüksek bölümlerde ise buzul aşındırma izleri temel alınmıştır. Doğu Karadeniz Dağları, Batı ve Orta Toroslar, Uludağ, Doğu Anadolu'daki birçok sıradağ ile volkanlar başta olmak üzere Türkiye'deki çoğu buzullaşma alanında arazi çalışmaları yapılmış ve buzulların yayılış alanları arazide doğrulanmıştır.

Bugüne kadar Türkiye'deki paleobuzullara ait sedimanlar üzerinde yapılan tarihlendirme çalışmaları çoğunlukla vadiler ölçeğinde gerçekleştirilmiştir. Doğu Karadeniz Dağları, Toroslar ve Munzur Dağları gibi çok sayıda buzul vadisinin bulunduğu geniş buzullaşma sahalarında yapılan tarihlendirme çalışmaları, tüm vadilerden örnek alınarak yapılamadığından, bütün sıradağı karakterize etmekten genellikle uzaktır. Yapılan çalışmaların çoğunda maksimum buzul yayılışının SBM'ye tarihlendiği bilinse de bazı vadilerde SBM'den önceye tarihlendiği görülmektedir (Reber vd., 2014, 2022; Sarıkaya vd., 2014; Yeşilyurt, 2017) yüzlerce buzul vadisinin bulunduğu Türkiye'deki dağlarda SBM yayılışı ile SBM öncesi yayılışın sınırları bütün buzullaşma alanlarını karakterize etmekten uzaktır. Bu nedenle bu çalışmada SBM için yapılan modellemede kullanılan buzul yayılışı dağlardaki maksimum yayılışa göre hazırlanmış olup mevcut kronolojilerden bağımsız olarak ele alınmıştır.

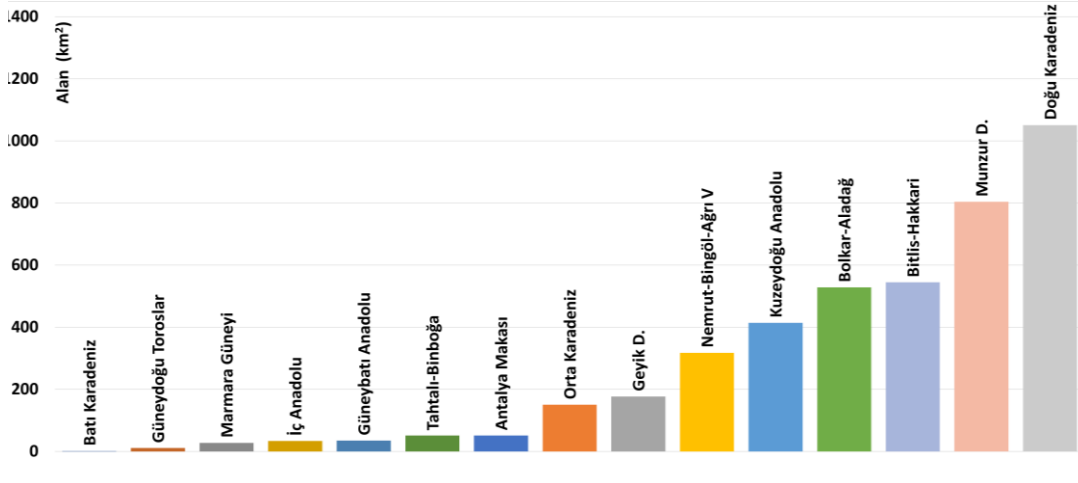
Türkiye'de belirlenen paleobuzul sahalarının toplam alanı, bu çalışmada yapılan güncellemelerle 4200 km² olarak hesap edilmiştir. Bu sonuç, daha evvel Yeşilyurt (2017) tarafından belirlenen 3800 km² ve Yılmaz (2021a) tarafından CCSM4 YSM ardgörüleri ile oluşturulan HEB biyomlarına göre hesap edilen 3700 km² alandan daha geniştir. Bu farklılıkların oluşmasında, yöntem, kullanılan kaynak ve yeni paleobuzul alanlarının tespiti etkili olmuştur.



Şekil 3. Türkiye'de paleobuzul alanları ve çalışmada kullanılan buzul bölgeleri

Çalışmada kullanılan paleobuzul alanları, tek tek değerlendirildiğinde birleşmeler olabileceği düşüncesi ile gruplara ayrılmış, bu gruplama işlemi esnasında bölgeler oluşturulmuştur. Bu buzul bölgeleri oluşturulurken, iklimsel değişkenler ön planda tutulmuş hem bakı hem iklim değişikliğinden benzer şekilde etkilenebilecek sahalar seçilmeye çalışılmıştır. Nihayetinde Türkiye, 19 buzul bölgesine ayrılmış (Şekil 3), bunların üçünde (Trakya, Ege ve Güneydoğu Anadolu) paleobuzul sahası olmadığı görülmüştür.

Türkiye'deki paleobuzul alanları, oluşturulan bölgelere homojen dağılmamakta, yağış, sıcaklık, bulutluluk, enlem, bakı ve yükselti etkisi ile en geniş alana Doğu Karadeniz dağlık alanında (% 25; 1050,7 km²) ulaşmaktadır (Şekil 4). Doğu Karadeniz Dağlarından sonra tüm Türkiye'deki paleobuzul alanlarını en genişten daraya doğru Munzur Dağları (% 19,1; 803,7 km²), Bitlis-Hakkari dağlık alanı (% 13; 544,6 km²) ve Bolkar-Aladağ sahası (% 12,6; 528,3 km²) olarak sıralanmaktadır. En dar paleobuzul alanı Batı Karadeniz'de, Ilgaz Dağlarında karşımıza çıkmaktadır (% 0,028; 1,2 km²).



Şekil 4. Türkiye’deki paleobuzul alanlarının, oluşturulan buzul bölgelerine dağılımı

2.4. Karşılaştırma ve Değerlendirme

Çalışmada, oluşturulan bölgelere göre elde edilen paleobuzul alanları kaynak alınmış, SBM iklim ardgörürleri kullanılarak oluşturulan HEB biyomlarından, soğuk çöl ve buzul alanları toplanarak toplam buzul alanları belirlenmiş ve bu veriler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken, model verisine göre elde edilen buzul alanlarından paleobuzul alanları çıkarılmış, değer 0 ise bire bir uyduğu kabul edilmiş, farkın pozitif olması, model verisinin daha geniş paleobuzul alanı oluşturduğu, fark negatif ise daha dar buzul alanı yarattığı görülmüştür. Elde edilen fark değerinin, paleobuzul alanına bölünüp 100 ile çarpımı ile hata oranı hesaplanmıştır. Metin içinde yorum yapılırken, $\pm\%$ 30 hata gösteren modellerin saha için uygun, bundan daha düşük ve yüksek hata gösteren modellerin kullanılmasının sakıncalı alacağı şeklinde değerlendirilmiştir.

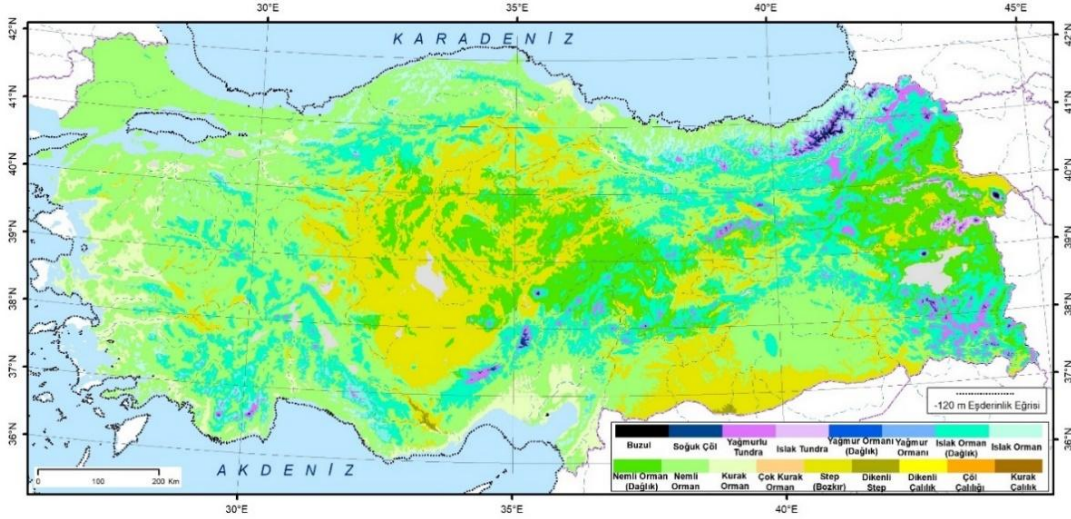
3. Türkiye’de SBM Paleobuzul Alanları ve Model Sonuçları ile Uyumu

Çalışmanın bu bölümünde, önce model verileri ile paleobuzul alanları arasındaki tutarlılıklar değerlendirilmiş ardından da modellerin sunduğu sıcaklık ve yağış değerlerinin değerlendirilmesi amacıyla, 1979-2013 arası dönemi kapsayan, ERA-Interim modeline ait verilerin yine Karger vd. (2017) tarafından çözünürlüğü artırılan versiyonu kullanılmış, SBM model sonuçları ile güncel durumu yansıtan veriler arasındaki farklar, sıcaklık için mutlak fark değerleri, yağış için farkın günümüz yağışına oranı şeklinde hesapları yapılarak değerlendirilmiştir.

3.1. CCSM4 Modeli ve Buzul Sahaları

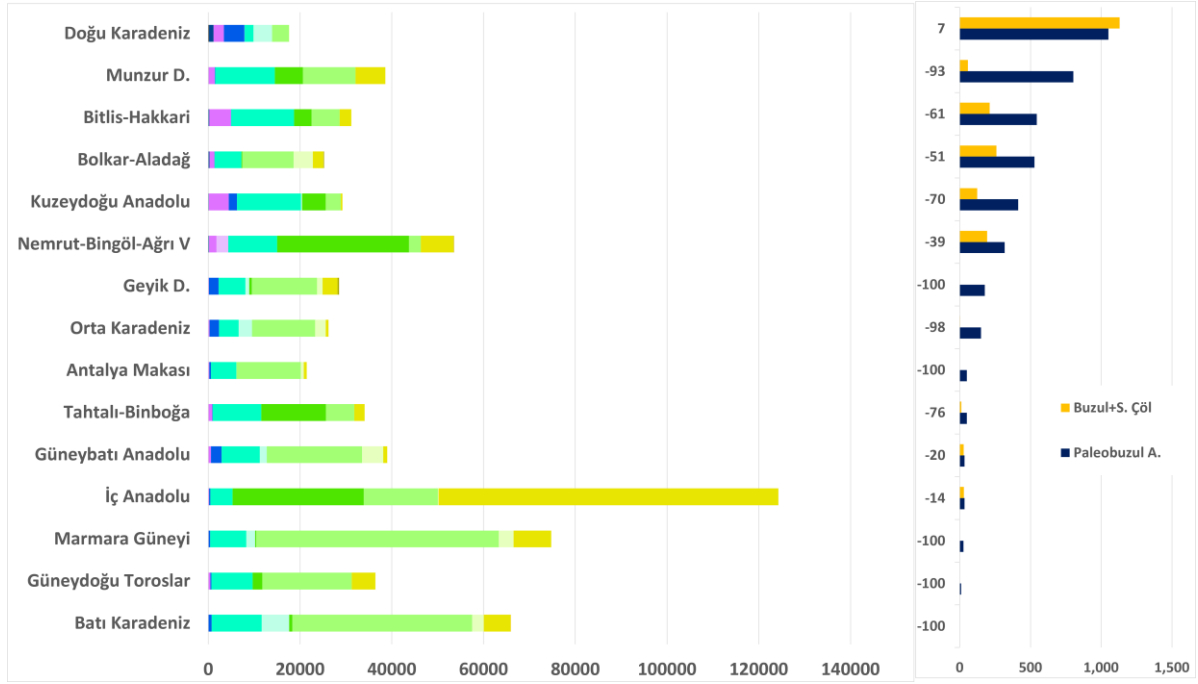
CCSM4 modeli okyanus, kara, atmosfer ve deniz buzu bileşenleri ile çalışmakta (Hoffman vd., 2006), NASA ekiplerince geliştirilen CCSM ailesinden gelmektedir. Model, önceki modellerden farklı olarak 1 derecelik çözünürlükte çalışmakta, Güneyli Salınımı daha iyi yansıtmakta, Büyük Okyanustaki deniz suyu sıcaklıklarını daha iyi göstermektedir (Gent vd., 2011). Model, endüstri öncesi dönemde CCSM3’e benzer şekilde okyanustaki ısı kaybı hatası verirken (Danabasoglu vd., 2012), modelin son 150 yıllık süreç için kullanılabilir olduğu değerlendirilmektedir (Lawrence vd., 2012). Modelin SBM simülasyonu, orta enlem jet rüzgarları ile yağışları günümüz değerlerine göre farklı vermektedir (Lofverstrom, 2020).

CCSM4 modeli verilerine göre oluşturulan HEB bölgeleri daha evvel Yılmaz (2021a) tarafından oluşturulmuş, buna göre Türkiye'nin büyük bir bölümünün stepler ile farklı nemlilik derecelerindeki ormanlardan oluştuğu görülmüştür (Şekil 5). Bu modelde, İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin belli yerlerinde dağlık nemli orman görülmekte, ıslak ormanlara Karadeniz çevresinde rastlanmaktadır. Model verisine göre, Türkiye'nin yüksek kısımlarında, sıcaklığın düştüğü ve yağışın yüksek olduğu sahalarda buzul ve soğuk çöl oluşumları belirlenmiştir.



Şekil 5. CCSM4 model verilerine göre Türkiye'de HEB biyomları (Yılmaz 2021a).

Model verilerinden oluşturulan HEB biyomlarına göre Türkiye'de 10 buzul alanı bulunmaktadır (Şekil 6). Buna rağmen model, Geyik Dağları, Antalya Makası, Uludağ, Güneydoğu Toroslar ve Ilgaz Dağında buzul oluşumuna imkân tanımamaktadır (Şekil 5, Şekil 6). Buzul oluşumuna imkân tanınan alanlarda da, bu buzul sahalarının alanları, oluşturulan paleobuzul alanlarından genel olarak düşük çıkmış, sadece Doğu Karadeniz'de daha geniş buzul alanı belirlenmiştir.



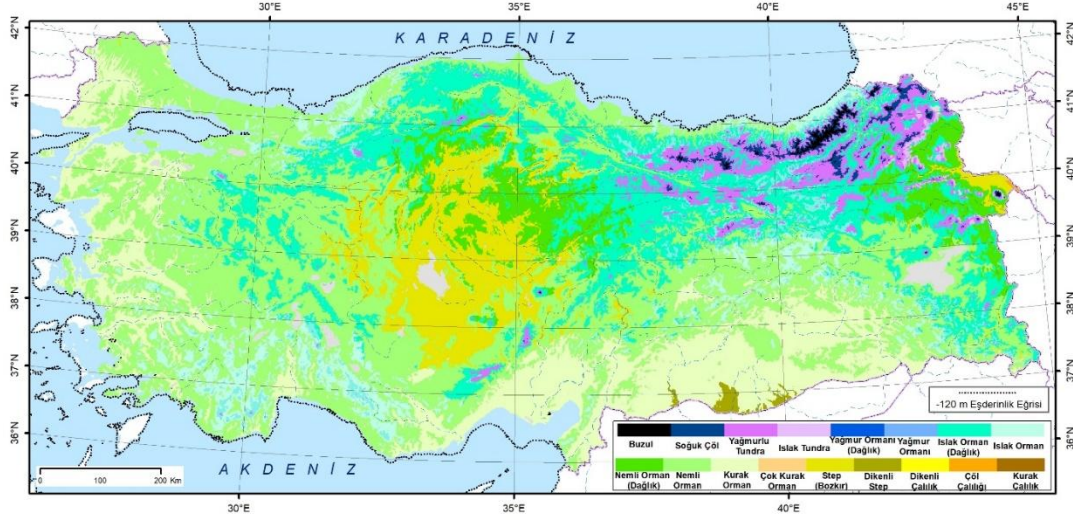
Şekil 6. CCSM4 modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyom alanları ile paleobuzul alanı karşılaştırması (Sol grafikteki renkler, Şekil 5 ile aynıdır). Yatay eksenler, alanları (km²) göstermektedir.

CCSM4 modeli buzul ve soğuk çöl alanları ile paleobuzul alanları karşılaştırıldığında, bu sahaların oranı ancak % 48,8 olmuştur. Model, Doğu Karadeniz paleobuzullarını % 7 geniş gösterirken, Nemrut-Bingöl-Ağrı volkanik sahası paleobuzullarını % 39, Güneybatı Anadolu paleobuzul sahasını % 20, Erciyes paleobuzulunu ise % 14 dar oluşturmakta, Munzur, Bitlis-Hakkari, Ilgaz, Orta Karadeniz paleobuzul sahaslarında ise daha yüksek hata vermektedir. Bu verilere göre modelin, Doğu Karadeniz, Güneybatı Anadolu, İç Anadolu ve Doğu Anadolu’nun bir kısmı için isabetli ardgörüler oluşturduğu anlaşılmaktadır.

3.2. CNRM-CM5 Modeli ve Buzul Sahaları

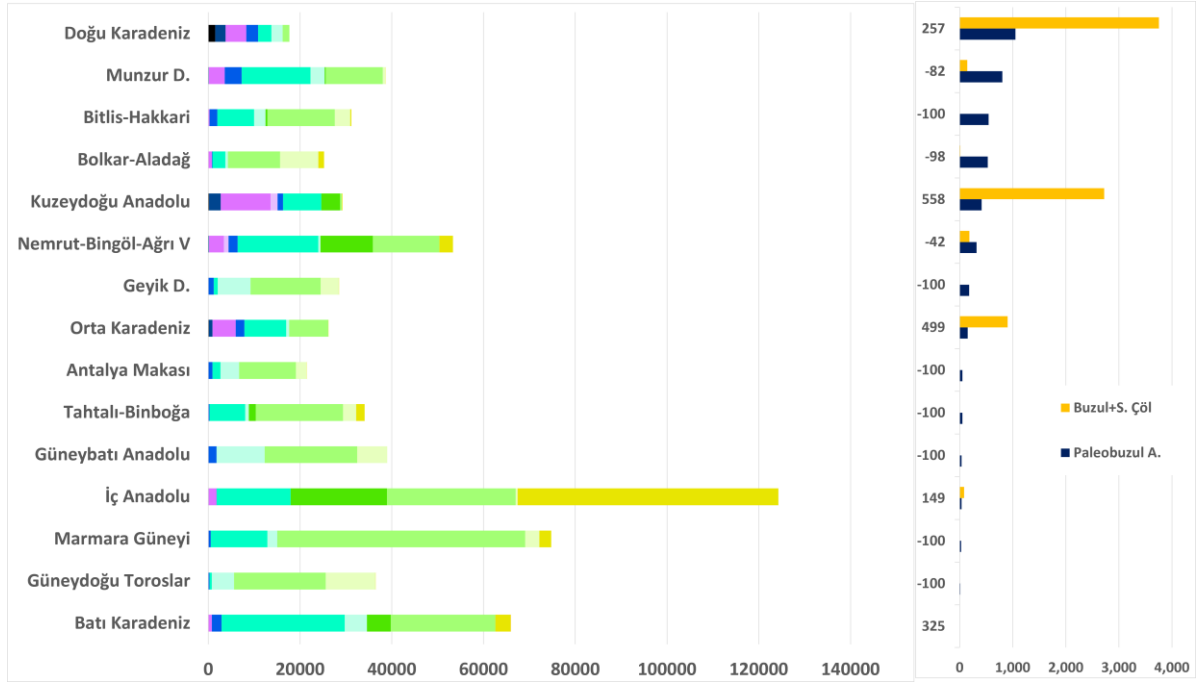
CNRM-CM5 modeli, ARPEGE-Climate (v5.2) atmosferik, NEMO (v3.2) okyanus, ISBA kara yüzeyi ile bileşik GELATO (v5) ve OASIS (v3) deniz buzu modelleri ile oluşturulmuştur (Voldoire vd. 2013). Atmosfer modelindeki yatay çözünürlük 1,4° ile 2,8° arasında değişirken, okyanus modeli çözünürlüğü 2°’dir. CNRM-CM3 versiyonunda 45 olan atmosfer katı, geliştirilmiş olan CNRM-CM5 modelinde 91 kata çıkarılmıştır. Model, 10 farklı grubun çalışmasıyla oluşturulmaktadır (Kamworapan ve Surussavadee, 2019). Tüm modellerde oluşan çift ITCZ (intertropical convergence zone, tropiklerarası yaklaşım kuşağı) problemi, bu modelde de oluşmakta, güneyde oluşan ITCZ hattı kuzeydekine göre zayıf özellik göstermektedir (Oueslati ve Bellon, 2013).

Model verileri ile Türkiye için elde edilen HEB biyomları incelendiğinde, kıyılarda kurak ve nemli ormanların, İç Anadolu Bölgesi ve Iğdır Depresyonunda step alanlarının, yüksek dağlık alanlarda ise dağlık ıslak orman ve yağmurlu tundraların hâkim olduğu görülmektedir (Şekil 7, Şekil 8). Modele göre, paleobuzul alanı bulunan Bitlis-Hakkâri dağlık alanı, Geyik Dağları, Antalya Makası, Tahtalı-Binboğa Dağları, Güneybatı Anadolu, Marmara güneyi ve Güneydoğu Toroslarda buzul sahası ortaya çıkmamıştır.



Şekil 7. CNRM-CM5 modeline göre Türkiye'nin SBM HEB biyomları

CNRM-CM5 modeline göre Türkiye'de, Doğu Karadeniz, Munzur Dağları, Bolkar-Aladağ dağlık alanları, Kuzeydoğu Anadolu, Nemrut-Bingöl-Ağrı volkanik alanı, Orta ve Batı Karadeniz'in yüksek sahaları ile İç Anadolu'da buzul ve soğuk çöl alanları belirlenmiştir (Şekil 7, Şekil 8). Modelin buzul oluşumuna imkân tanımadığı sahalarsa da, buzul oluşturduğu sahalardaki buzulların oldukça geniş olduğu ve tüm Türkiye paleobuzul alanından % 86 daha geniş buzul sahaları oluşturduğu görülmüştür. Bu alanlar ile paleobuzul alanları karşılaştırıldığında, Doğu Karadeniz, Kuzeydoğu Anadolu ve Orta ve Batı Karadeniz dağlık alanlarında modelde belirlenen buzul alanları paleobuzul alanlarından daha geniş, diğer alanlar daha dardır. Hata oranı Kuzeydoğu Anadolu'da % 558, Orta Karadeniz'de % 499, Batı Karadeniz'de % 325'tir. Munzur Dağların da % -82,5, Bolkar ve Aladağlar'da ise % 98,5'tir.



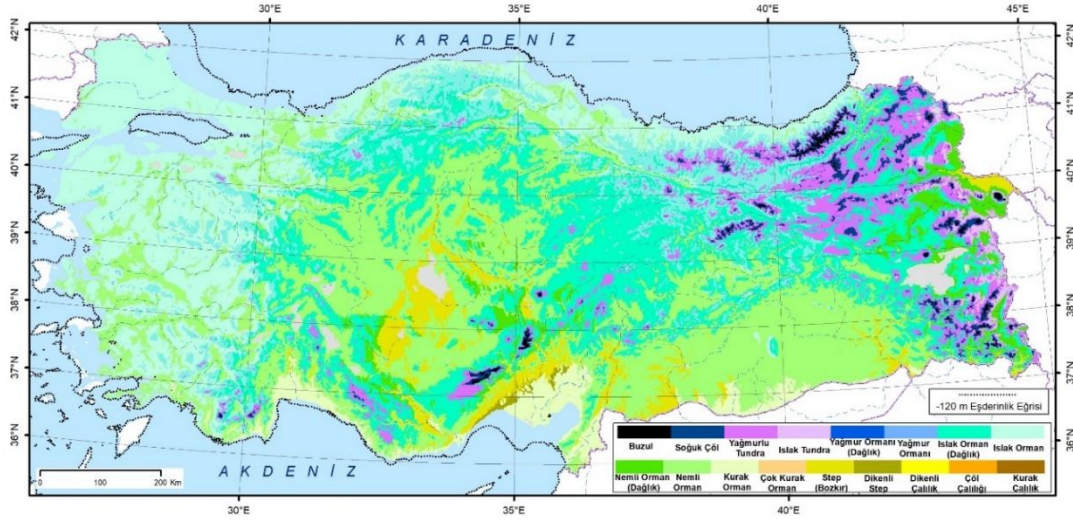
Şekil 8. CNRM-CM5 modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyom alanları ile paleobuzul alanı karşılaştırması (Sol grafikteki renkler, Şekil 7 ile aynıdır). Yatay eksenler, alanları (km²) göstermektedir.

CNRM-CM5 modeli, Erciyes pelebuzul alanından % 148, Ilgaz pelebuzullarından % 325, Doğu Karadeniz pelebuzul alanından % 257, Kuzeydoğu Anadolu pelebuzul alanından % 558, Orta Karadeniz pelebuzul alanından ise % 499 daha geniş, buna rağmen Munzur Dağları pelebuzullarını % 82, Bolkar-Aladağ pelebuzullarını % 98, Nemrut-Bingöl-Ağrı volkanik alanı pelebuzullarını % 42 daha dar oluşturmaktadır. CNRM-CM5 modeli, Türkiye buzul alanlarını göstermekte genel olarak isabetli olmayan sonuçlar vermektedir.

3.3. FGOALS-G2 Modeli ve Buzul Sahaları

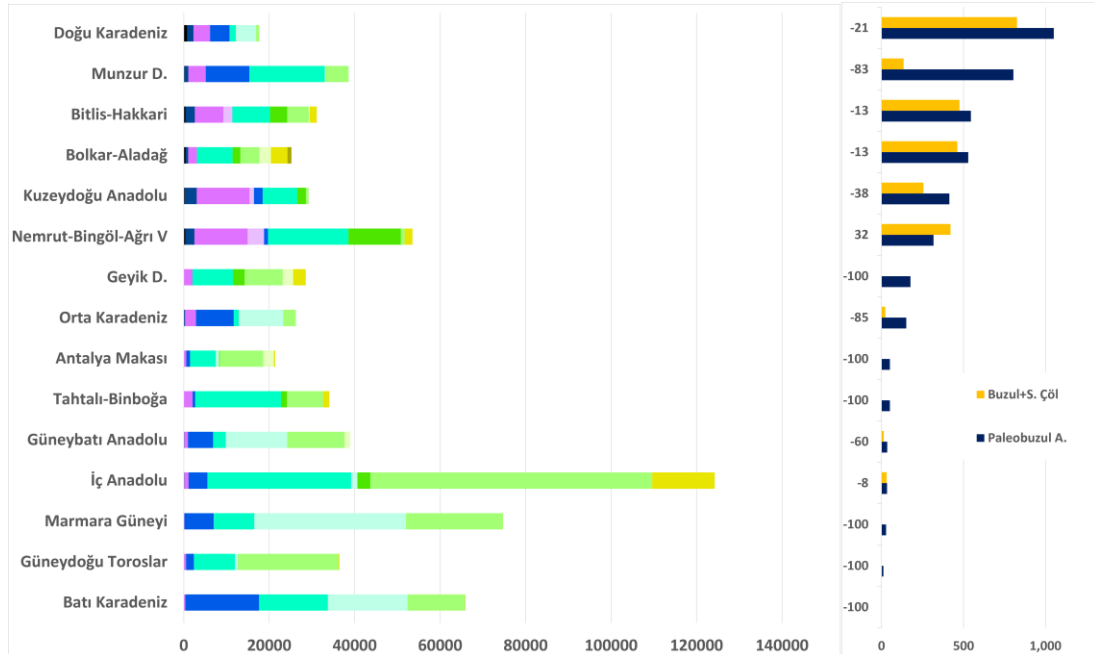
Bulut radyasyonu süreçlerini, Asya musonlarını, Güneyli salınımı, Atlantik Meridyenel Devrik Dolaşımı ve deniz buzlarını daha iyi yansıtması için iyileştirilen FGOALS-G2 iklim modeli (Zhou vd., 2018), 10 yıllık veri setleri ile çalıştırıldığında, Çin’deki hava sıcaklıklarını ve Pasifik deniz suyu sıcaklıklarını daha iyi göstermekte (Wang vd., 2013) buna rağmen antropojenik kaynaklı zorlamaya bağlı olarak deniz buzu albedosu ve su buharı geribildirimini şiddetli yansıtmaktadır (Zhou vd., 2013). Modelin SBM’de dünyayı ortalama 4,6 °C daha serin, yağışı ise % 10 düşük olarak ardgördüğü, Güneyli salınımı da daha zayıf oluşturduğu belirlenmiştir (Zheng ve Yu, 2013).

FGOALS-G2 modeli sonuçların göre oluşturulan HEB biyomlarında, İç ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri nemli orman, Türkiye’nin dağlık alanları genel olarak dağlık ıslak ormanlar ile kaplıyken, Marmara ve Ege bölgelerinde ıslak orman hakimdir (Şekil 9, Şekil 10). Antalya çevresinde ve Çukurova’da kurak orman, Iğdır Ovası’nda ise step bulunmaktadır. FGOALS-G2 modelinde, Türkiye’de paleobuzul alanı belirlenen, Geyik Dağları, Antalya Makası, Tahtalı-Binboğa Dağları, Marmara Güneyi, Güneydoğu Toroslar ve Ilgaz Dağları’nda buzul ya da soğuk çöl alanı belirlenememiş, bu alanlarda model ardgörülerinin isabetsiz olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 9. FGOALS-G2 modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyomları

FGOALS-G2 modeli tüm Türkiye’de buzul sahalarını paleobuzul alanlarından daha dar göstermekte, buzulların ancak % 63’ünün oluşumuna imkan vermektedir. FGOALS-G2 modeli, Munzur Dağları buzullarının % 83’ünü, Kuzeydoğu Anadolu buzullarının % 38’ini, Orta Karadeniz buzullarının % 85’ini, Güneybatı Anadolu buzullarının % 60’ının oluşumunu sağlamakta, dar göstermekte, Nemrut-Bingöl-Ağrı volkanik alanlarındaki buzulları ise % 32 daha geniş oluşturmaktadır (Şekil 9, Şekil 10).



Şekil 10. FGOALS-G2 modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyom alanları ile paleobuzul alanı karşılaştırması (Sol grafikteki renkler, Şekil 9 ile aynıdır). Yatay eksenler, alanları (km2) göstermektedir

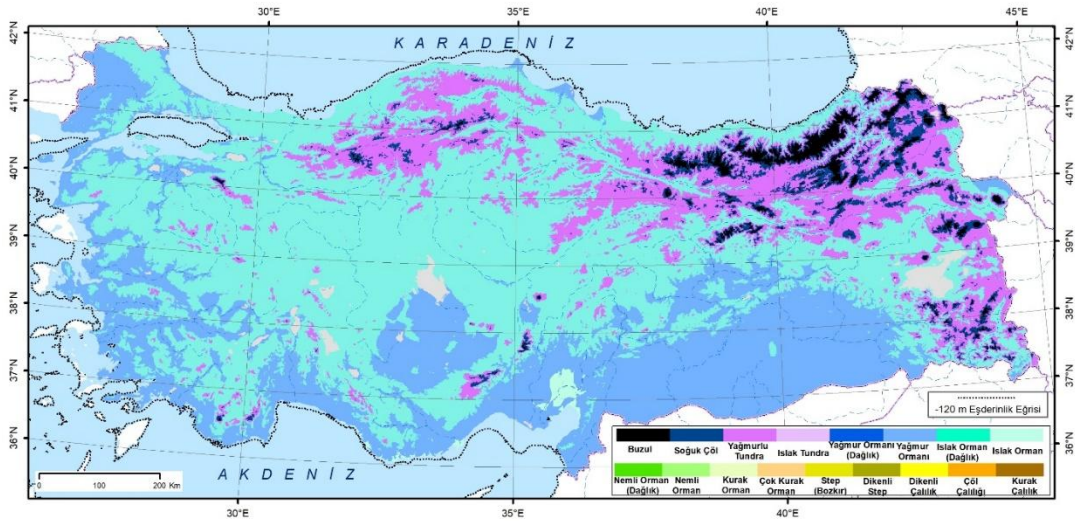
FGOALS-G2 modeli, Doğu Karadeniz buzullarını % 21, Bitlis-Hakkari Dağları ile Bolkar-Aladağ buzullarını % 13, İç Anadolu’daki buzulları ise % 8 hata ile göstermekte, bu

değerlendirmelerle modelin İç Anadolu ile Toroslar ve Doğu Karadeniz Dağlarını daha az hata ile yansıttığı ve bu alanlardaki ardgörülerinin kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

3.4. IPSL-CM5A-LR Modeli ve Buzul Sahaları

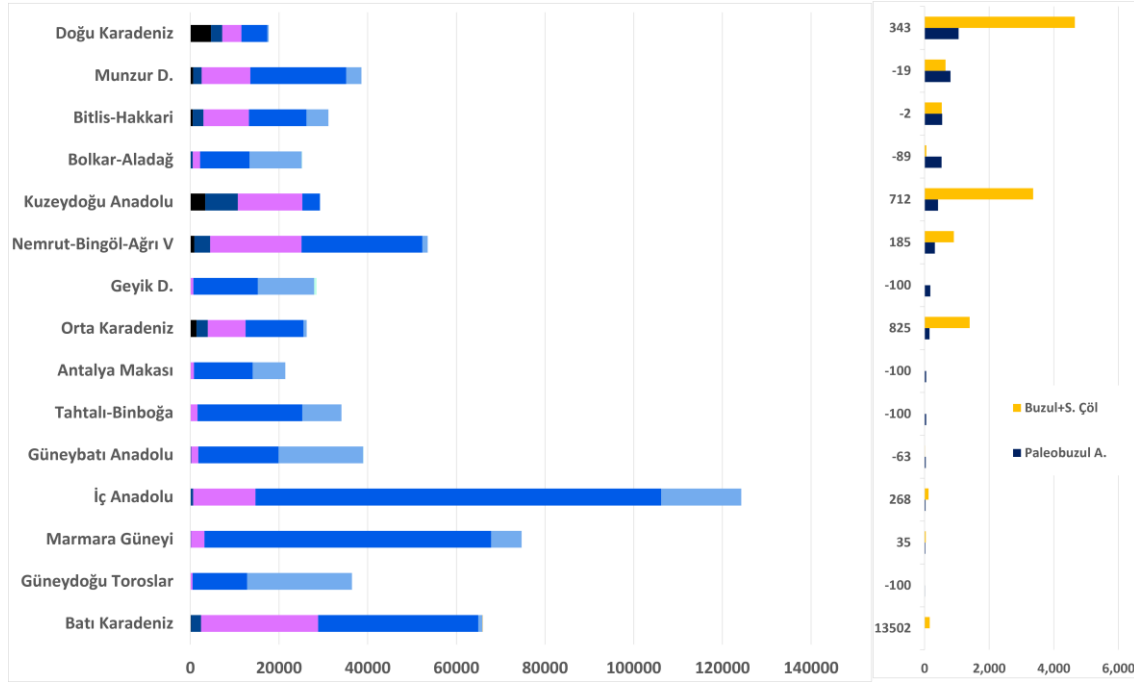
Pierre Simon Laplace Enstitüsü tarafından geliştirilen modelin daha evvelki sürümlerinde 19 atmosfer katı olmasına rağmen, yeni sürümünde atmosfer, 15'i Stratosferde olmak üzere toplam 39 katmanla gösterilmiştir (Hourdin vd., 2013). Modelin Orta Pliyoseni kapsayan ardgörülerini de bulunmakta, bu ardgörülerle Muson yağışları incelenmiş ve yüzey sıcaklığındaki artışın, buharlaşmayı ve yağışı artırdığı görülmüştür (Sun vd., 2016). Model ardgörülerini ile SBM'deki nehir akışlarını araştıran çalışmalar da bulunmaktadır (Alkama vd., 2008).

Model, Türkiye genelinde oldukça homojen biyom dağılışı göstermekte, kıyılarda yağmur ormanı ve ıslak ormanlar, yükseklerde ise yağmurlu tundralar ve soğuk çöllere, buzul alanları oluşmaktadır. Bunun nedeni, modelin Türkiye yağışlarını oldukça yüksek ardgörmesidir (Aylık ortalama yağış 300 mm'den yüksektir). Model, yüksek yağışa bağlı geniş buzul alanları gösterse de sıcaklığın yüksek olduğu, güneyde yer alan Geyik Dağları, Antalya Makası, Tahtalı-Binboğa Dağlık Alanı ve Güneydoğu Toroslarda soğuk çöl ve buzul alanı oluşumuna imkân vermemektedir (Şekil 11, Şekil 12).



Şekil 11. IPSL-CM5A-LR modeline göre Türkiye'de SBM Holdridge biyomları

IPSL-CM5A-LR modeline göre Türkiye'deki buzul ve soğuk çöl alanları, paleobuzul alanlarının yaklaşık üç katıdır (% 283). Bu alanların Türkiye'deki buzul sahalarına dağılışı da homojen değildir. Model ardgörülerine göre Ilgaz paleobuzul alanından % 13502, Orta Karadeniz paleobuzul alanlarından % 825, Kuzeydoğu Anadolu paleobuzul alanlarından % 712, Doğu Karadeniz paleobuzul alanlarından % 343, Nemrut-Bingöl-Ağrı paleobuzul alanlarından % 185, Uludağ paleobuzul alanından ise % 35 daha geniş buzul alanı oluşmuştur. Ilgaz dağındaki yüksek değer, buradaki paleobuzul alanının gerçekte çok dar olmasından kaynaklanmaktadır.



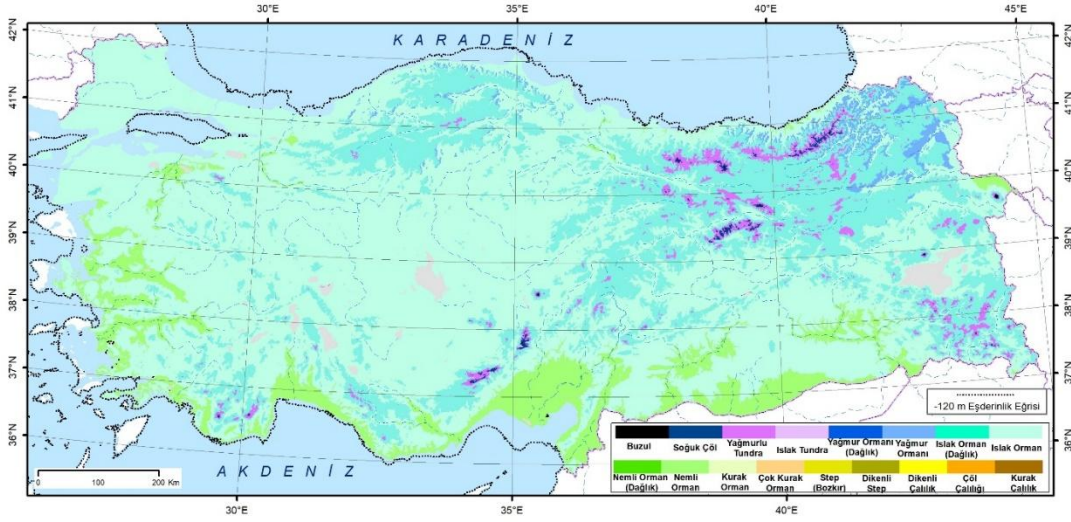
Şekil 12. İPSL-CM5A-LR modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyom alanları ile paleobuzul alanı karşılaştırması (Sol grafikteki renkler, Şekil 11 ile aynıdır). Yatay eksenler alanları (km²) göstermektedir.

Model ardgörürleri, Bitlis-Hakkâri Dağlarındaki paleobuzul alanlarının % 2, Munzur Dağlarındaki paleobuzul alanlarının ise % 19 daha dar oluşmasına imkan tanımaktadır. Bu değerlere göre model, Türkiye’nin Bitlis-Hakkari Dağlık alanı ile Munzur Dağlarında düşük hata vermekte, bu alanlar için yaklaşık eskiortam koşullarını yansıtmaktadır.

3.5. MICRO-ESM Modeli ve Buzul Sahaları

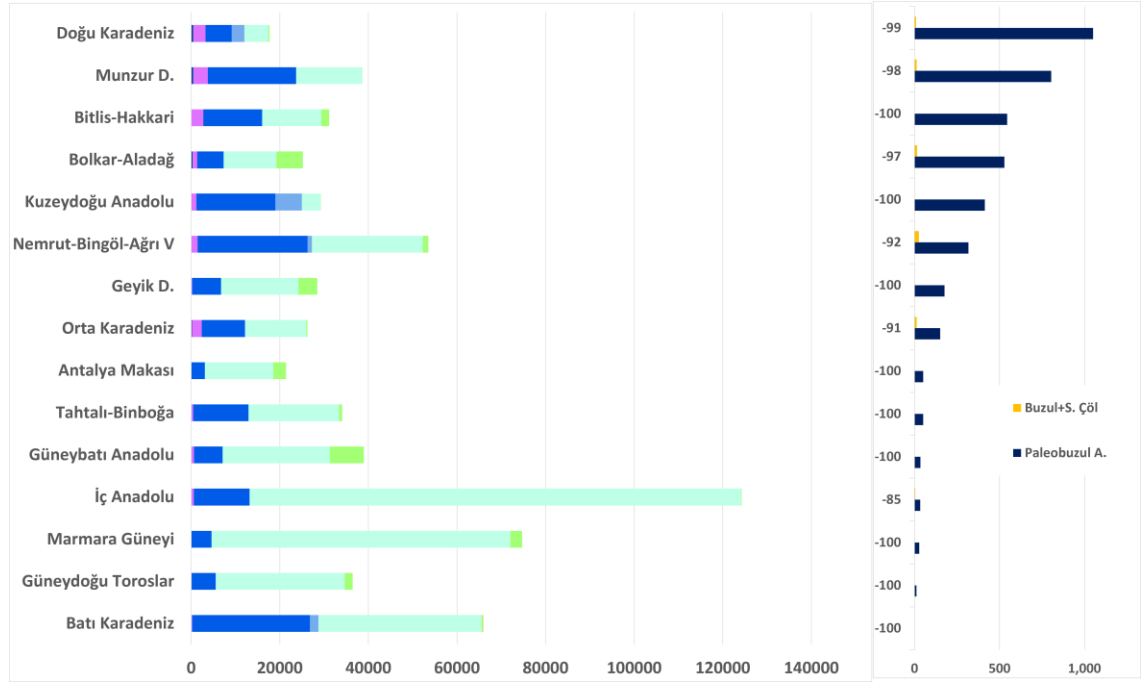
Model, Arktik deniz buzu değişim modellemelerinde (Peng vd., 2020), gelecekteki bitki tür dağılışı (Koo vd., 2017) ve SBM’deki bitki göç koridorları çalışmalarında (Chala vd., 2017) kullanılmıştır. Atmosfer modeli içerisine Mezosfer’i dahil eden model, 80 atmosfer tabakası ile çalışmakta ve farklı zamansal ölçeklerde çalıştırılabilmektedir (Watanabe vd., 2011).

Model ardgörülerine göre Türkiye kıyılarındaki nemli ormanlar, yükseklerle çıkıldıkça ıslak ve dağlık ıslak orman alanlara dönüşmektedir. Paleobuzul alanlarında yağmurlu tundralar ve yağmur ormanları hakim durumdayken Türkiye’de step ya da diğer kurak biyomlara rastlanmamıştır (Şekil 13, Şekil 14). MICRO-ESM modeline göre Türkiye’de Bitlis-Hakkâri dağlık alanında, Kuzeydoğu Anadolu’da, Geyik Dağlarında, Antalya Makası, Tahtalı-Binboğa dağlık alanında, Güneybatı Anadolu’da, Marmara güneyinde, Güneydoğu Toroslar ve Batı Karadeniz’de buzul ya da soğuk çöl alanları belirlenememiştir.



Şekil 13. MICRO-ESM modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyomları

MICRO-ESM modeli Türkiye genelinde düşük buzullaşma oranı oluşturmakta, paleobuzul alanlarının ancak % 2’si kadar buzul sahası vermektedir. HEB biyomlarına göre model, Doğu Karadeniz ve Munzur Dağları, Bolkar-Aladağ buzul bölgesi, Nemrut-Bingöl-Ağrı volkanik dağları ile Orta Karadeniz buzul bölgesi ve Erciyes Dağında, paleobuzul alanının % 10’undan az buzul oluşumuna imkan tanımaktadır (Şekil 14). Bu nedenle modelin Türkiye’yi temsil etme imkânı çok sınırlıdır.

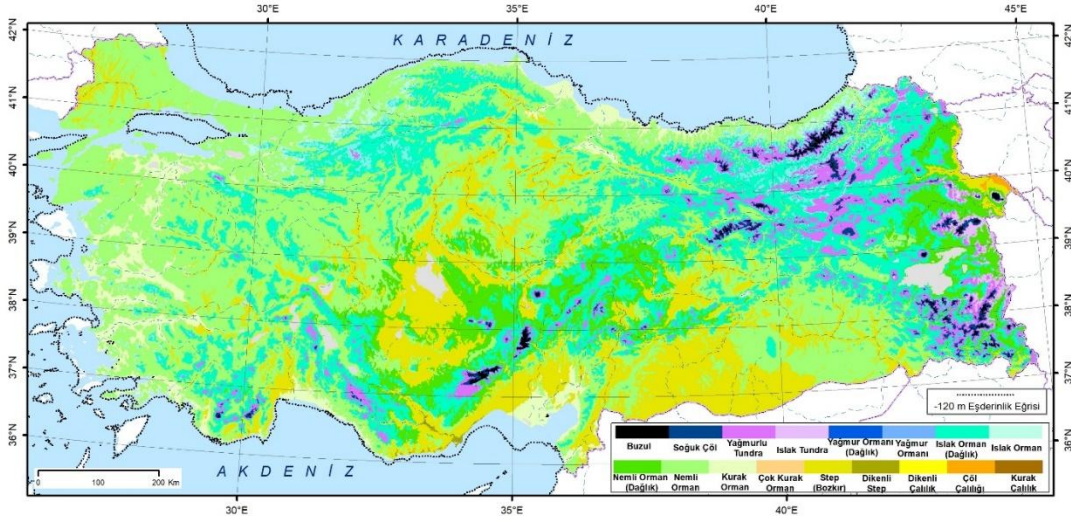


Şekil 14. MICRO-ESM modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyom alanları ile paleobuzul alanı karşılaştırması (Sol grafikteki renkler, Şekil 13 ile aynıdır). Yatay eksenler alanları (km²) göstermektedir.

3.6. MPI-ESM-P Modeli ve Buzul Sahaları

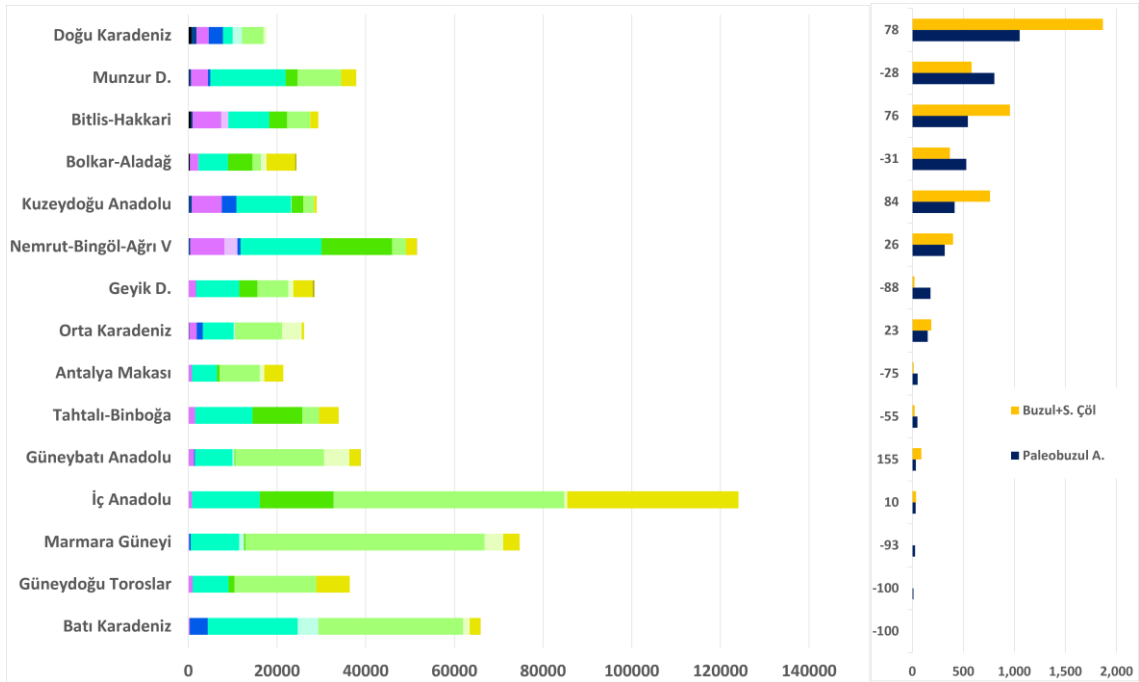
Max Planck Meteoroloji Enstitüsü tarafından geliştirilen MPI-ESM-P, ilk başta son binyıldaki karbon döngüsü için hazırlanmıştır (Jungclaus vd. 2010, 2013). MPI-ESM-P, JSBACH yer modeli ile ilişkili ECHAM atmosferik modelini, MPIOM okyanus sirkülasyon modelini ve HAMOCC biyojeokimyasal modelini içeren bir YSM modelidir (Giorgetta vd., 2013). Modelin bitki örtüsünü kuzey yarım kürede daha iyi simüle ettiğine dair günceli araştırılan çalışma bulunmaktadır (Brovkin vd., 2013; Reick vd., 2013). Model, eğrisel regresyon modelleriyle tahmin yapmakta, diğer modellere benzer şekilde endüstri öncesi dönemi 4-5 °C daha serin göstermektedir (Block ve Mauritsen, 2013).

MPI-ESM-P modeli iklim ardgörülerinden SBM için üretilen HEB biyomlarına göre Türkiye'nin kıyılarında farklı biyomlar görülmekte, kurak, nemli ormanlara ve steplere rastlanmaktadır (Şekil 15, Şekil 16). Stepler, İç ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri ile depresyon alanlarda karşımıza çıkmakta, yükselere çıkıldıkça dağlık nemli ormanlar ile ıslak ormanlar yoğunlaşmaktadır. Modele göre, Güneydoğu Toroslar ile Batı Karadeniz buzul bölgesi haricindeki dağlık alanlarda buzullar oluşabilmektedir.



Şekil 15. MPI-ESM-P modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyomları

MPI-ESM-P modeline göre Türkiye’deki paleobuzul alanlarından % 26 daha fazla soğuk çöl ve buzul alanı belirlenmiş, model, gerçekten daha yüksek buzullaşma oranı vermiştir. Bu sahalara, belirlenen bölgelere göre değerlendirildiğinde, Güneybatı Anadolu paleobuzul alanından % 155, Kuzeydoğu Anadolu paleobuzullarından % 84, Doğu Karadeniz paleobuzul alanından % 78, Bitlis Hakkari paleobuzullarından % 76, Nemrut-Bingöl-Ağrı paleobuzul alanından % 26 daha geniş buzul oluştuğu görülmektedir (Şekil 16).



Şekil 16. MPI-ESM-P modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyom alanları ile paleobuzul alanı karşılaştırması (Sol grafikteki renkler, Şekil 15 ile aynıdır). Yatay eksenler alanları (km²) göstermektedir.

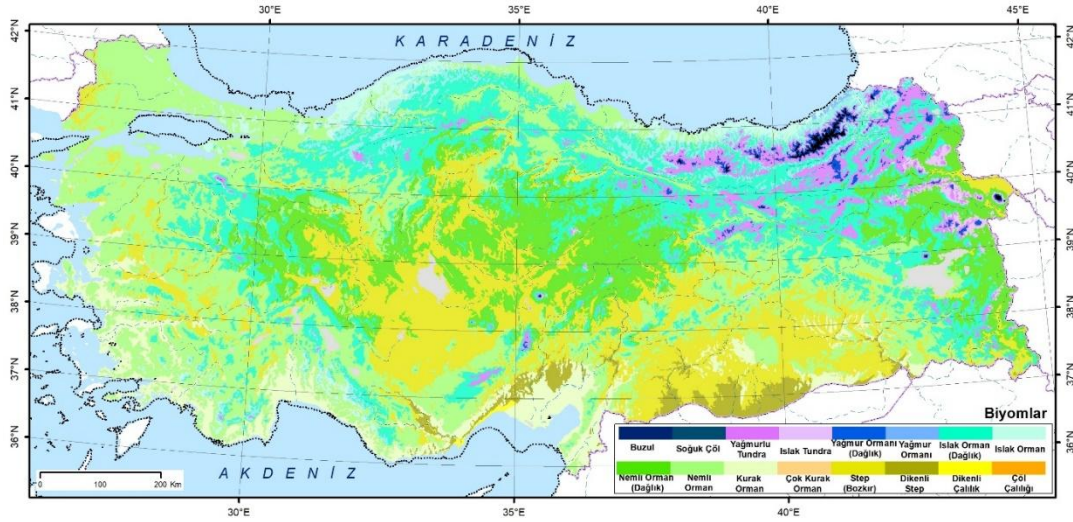
Model ardgörülerine göre, Munzur Dağları paleobuzul alanında % 28, Bolkar-Aladağ paleobuzullarından % 31 daha dar, Nemrut-Bingöl-Ağrı volkanik alanı paleobuzullarından % 26, Orta Karadeniz paleobuzul alanından % 23, İç Anadolu paleobuzul alanından ise % 10 daha geniş buzul

sahası oluşmaktadır. Bu değerlere göre model, İç Anadolu, Orta Karadeniz ve Doğu Anadolu'nun bir kısmında ve Doğu Akdeniz çevresinde isabetli sonuçlar vermektedir.

3.7. MRI-CGCM3 Modeli ve Buzul Sahaları

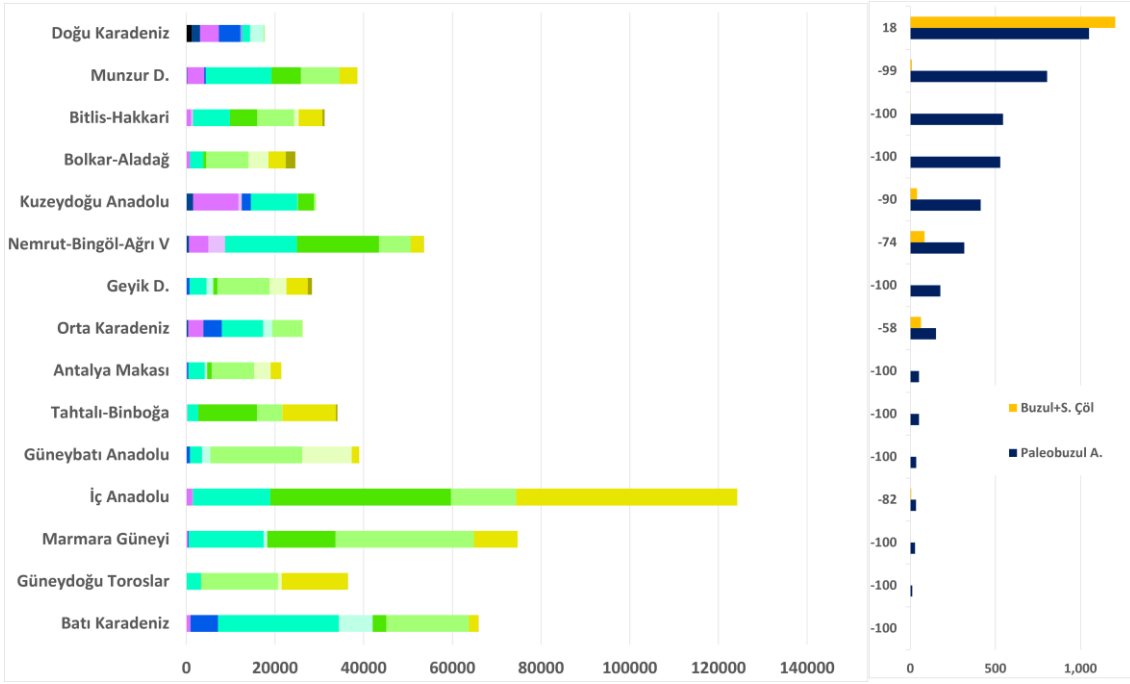
MRI-CGCM3 iklim modeli, Güneyli, Arktik ve Antarktik salınımlarını gerçekçi yansıtmaktadır. Modeldeki sıcaklık sapmaları, kuzey yarıkürede negatif, güney yarıkürede pozitif yönde ardgörmekte, buna bağlı olarak kuzey yarıküre deniz buzlarını daha geniş modellemektedir (Yukimoto vd., 2012). Modele göre bulut geribildirimleri (Kawai vd., 2015), SBM'de tropikal bölgelerin hidrolojik döngüsü (Khon vd., 2014), Antarktika'daki deniz buzu genişlemesi ile batı rüzgarları ilişkisi (Liu vd., 2015) incelenmiştir.

Model ardgörülerinden oluşturulan HEB biyomlarına göre Türkiye'nin kıyılarında kurak, nemli ve ıslak ormanlar yer alırken, iç bölgelerde stepler ve nemli ormanlarla dağlık ıslak ormanlar bulunmaktadır (Şekil 17). Çukurova, Mut Havzası ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde dikenli stepler bulunmakta, yüksek dağlık alanlarda ise tundra ve yağmurlu tundralar hâkim durumdadır. Model ardgörülerini, Türkiye'de paleobuzul alanı belirlenen Bitlis-Hakkâri dağlık alanı, Bolkar-Aladağ buzul bölgesi, Geyik Dağları, Antalya Makası, Tahtalı-Binboğa Dağları, Güneybatı Anadolu, Uludağ, Ilgaz Dağı ve Güneydoğu Toroslarda buzul oluşumuna imkân vermemektedir (Şekil 18).



Şekil 17. MRI-CGCM3 modeline göre Türkiye'de SBM Holdridge biyomları

Model, Türkiye'deki paleobuzul alanlarının ancak % 34'ünde buzul oluşumuna imkan tanımakta, buzullaşma oranını düşük tahmin etmektedir. MRI-CGCM3 modeli çıktıklarına göre paleobuzul alanları Doğu Karadeniz düşük hata ile belirlenmiş (% 82 doğruluk), Kuzeydoğu Anadolu (%10 doğruluk), İç Anadolu (% 12 doğruluk) ve Orta Karadeniz buzul bölgelerinde (% 42 doğruluk) ise bu oran artmıştır. Bu sonuçlara göre model Türkiye'de sadece Doğu Karadeniz'i temsil etmekte, diğer alanlarda yüksek hatalar vermektedir.

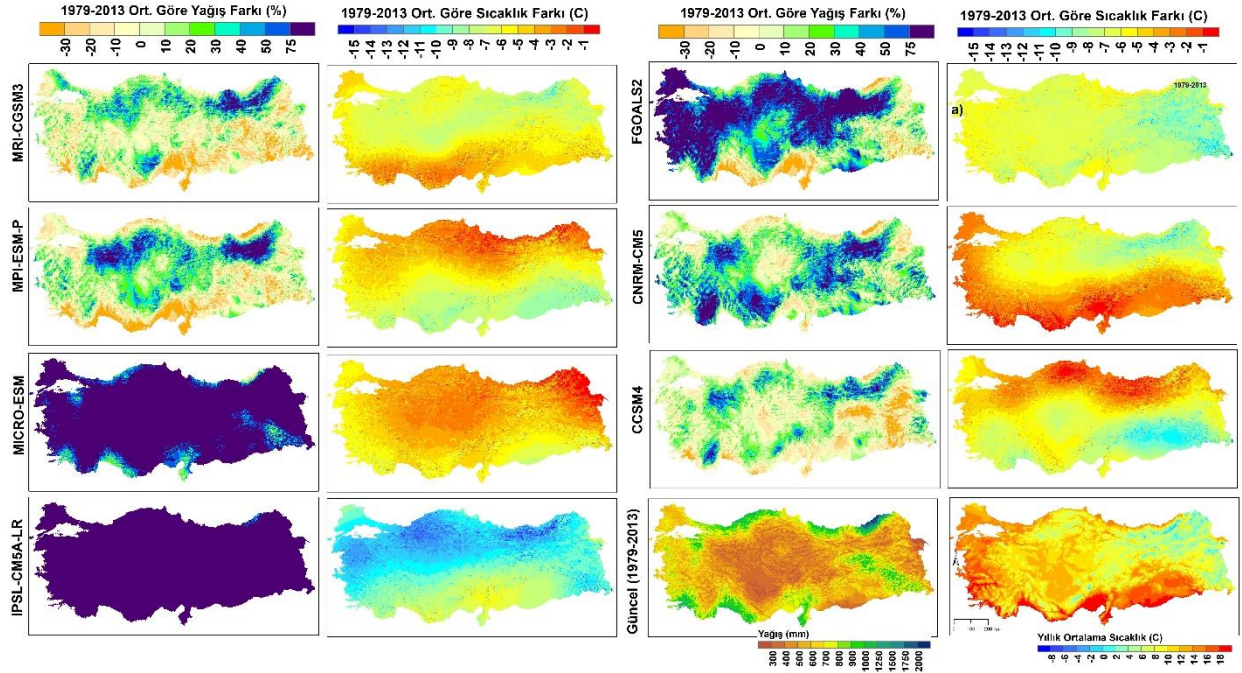


Şekil 18. MRI-CGCM3 modeline göre Türkiye’de SBM Holdridge biyom alanları ile paleobuzul alanı karşılaştırması (Sol grafikteki renkler, Şekil 17 ile aynıdır). Yatay eksenler alanları (km²) göstermektedir.

4. Genel Değerlendirme

Paleobuzul alanları ile model ardgörülerine göre oluşturulan HEB biyomlarından elde edilen buzul alanları karşılaştırıldığında, FGOALS-G2 (% 63), CCSM4 (% 49), MRI-CGCM3 (% 34) ve MICRO-ESM (% 2) modellerinin Türkiye paleobuzul alanlarını eksik tahmin ederken, MPI-ESM-P (% 126), CNRM-CM5 (% 186) ve IPSL-CM5A (% 283) modellerinin ise daha geniş tahmin ettiği görülmektedir. Genel değerlendirmedeki sapmalar, buzul bölgelerine göre de farklılık göstermekte, bazı modeller Türkiye’nin kuzey yarısını, bazıları doğusunu daha iyi ardgörmektedir.

İncelenen modeller içerisinde Doğu Karadeniz buzul bölgesi için en uygun ardgörüler CCSM4 ve MRI-CGSM3 modelleri tarafından sağlanmıştır. CCSM4 modeli, SBM’deki yağışın bu dağlık alanda günümüze göre % 50, MRI-CGSM3 modeline göre ise % 100’den fazla ardgörmektedir (Şekil 19). Benzer şekilde, CCSM4 modeli SBM’de 5-6 °C, MRI-CGSM3 ise 8-10 °C daha soğuk koşullar oluşturmaktadır. Yine CCSM4 modeli paleobuzul alanlarında % 7 dar, MRI-CGSM3 modeli ise % 18 daha geniş buzul alanı oluşturmaktadır. Bu değerlendirmelere göre, CCSM4 modelindeki yağış miktarının biraz daha yüksek olması ya da yine CCSM4 modelindeki sıcaklıkların 1-2 °C daha düşük olması durumunda hata oranının ortadan kalkacağı, modelin daha uygun sonuçlar vereceği anlaşılmaktadır. Bunlarla beraber, saha için incelenen iki modeldeki sıcaklık farkları Türkiye için ters dağılım vermekte, CCSM4 modeli, günümüz nemli sahalarında düşük sıcaklık farkları ardgörürken, MRI-CGSM3 modelindeki farklar genel olarak kuzeyden güneye artmaktadır.



Şekil 19. Farklı iklim modellerinin, günümüz yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklıklarının SBM'deki değerlerine göre oranları ve farkları

Orta Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesinin büyük bölümünde tutarlı sonuçlar veren MPI-ESM-P YSM iklim ardgörülerine göre, Orta Karadeniz SBM'de günümüze göre 1-3 °C, Doğu Anadolu Bölgesi ise doğusu ve depresyon alanları daha az sıcak olacak şekilde 1-6 °C daha soğuk özellik göstermektedir (Şekil 19). MPI-ESM-P modeli, Orta Karadeniz ve Çoruh Vadisi çevresinde günümüze göre % 75'i aşan yağış artışı, Doğu Anadolu Bölgesinin güney yarısında ise % 30'a varan yağış azalmaları ardgörmektedir.

Munzur Dağları buzul bölgesi için en uygun sonuçlar, IPSL-CM5A-LR ve MPI-ESM-P modelleri ardgörülerinden elde edilmiştir. Bu bölge SBM'de, IPSL-CM5A-LR modeline göre 10-13 °C, MPI-ESM-P modeline göre ise 1-5 °C daha soğukken, yağış açısından değişken bir özellik sergilemektedir. IPSL-CM5A-LR modeline göre bölgede SBM'deki yağış günümüz yağışlarının iki katını geçerken, MPI-ESM-P modelinde paleobuzul alanının kuzey ve güneyi farklı yağış değişimi göstermekte, kuzeyinde % 30'a varan artışlar, güneyinde ise azalışlar ortaya çıkmaktadır. MPI-ESM-P modeli, günümüze göre % 28, IPSL-CM5A-LR % 19 daha dar buzul sahası oluşturmakta, bu değerlendirmelere göre sahada, SBM'deki yağış miktarının günümüzden daha yüksek olması gerektiği ortaya çıkmakta, her iki model verisinden de farklı iklimsel şartların hüküm sürmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Bitlis-Hakkâri dağlık alanı, incelenen modellerde, çevresine göre nispeten düşük yağış alan bir sahadır (Şekil 19). Bu saha için en uygun model ardgörülerini, FGOALS2 ve IPSL-CM5A-LR modelleri vermektedir. Her iki model de SBM'de günümüze göre 8-11 °C düşük sıcaklıklar vermekteyken, IPSL-CM5A-LR günümüze göre 2 kat yüksek, FGOALS modeli ise % 10-30 arasında yağış azalmaları ardgörmektedir. Bununla beraber, IPSL-CM5A-LR % 2, FGOALS-G2 ise % 13 daha dar buzul alanı oluşturmaktadır. Bu değerlendirmelere bağlı olarak, sahanın SBM'de 8-11 °C daha soğuk

olması beklenmekte, yağışın ise günümüzdekinden yüksek olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Tabii burada, FGOALS-G2 modelindeki hatanın yüksek olmasını, yağış azlığından kaynakladığı düşünülse de, sıcaklık daha da düşürülmesi, model hatasını giderebilecektir.

İç Anadolu Bölgesi için tutarlı sonuçlar veren CCSM4, MPI-ESM-P ve FGOALS-G2 modelleri ardgörülerine göre bölgede sıcaklık SBM’de günümüze göre 5-8 °C daha düşük, yağış ise günümüzden % 10-30 ve hatta bölgeyi çevreleyen dağlık alanlarda % 50’den daha yüksek olması gerekmektedir (Şekil 19). Günümüzde bu saha, kış, bahar ve yaz yağışları almakta, polar cephelerden etkilenmektedir. Yağışın bölgedeki artışı, tüm Türkiye’de olduğu gibi, SBM’de polar cephenin kuvvetlenmesi, genişlemesi, dolayısıyla cephe sistemlerinin daha fazla yağış bırakmasıyla ilişkili olmalıdır. Yine de bu bölge için yapılan değerlendirmelerde, paleobuzul alanı darlığının yarattığı dezavantajlar da söz konusudur. Bu tür bir çalışmada, sağlama yapmak için kullanılan alan daraldıkça, değerlendirmenin güvenilirliği de azalmaktadır.

Aladağlar ve Bolkar Dağları çevresinde en tutarlı sonuçlar veren FGOALS-G2 ve MPI-ESM-P YSM iklim ardgörülerine göre bu alanda SBM’deki sıcaklıklar 8-10 °C daha düşük, yağış ise günümüzden % 30-50 daha yüksektir. MPI-ESM-P modeli buzul alanını % 31, FGOALS-G2 modeli ise % 13 dar belirlemiştir. Bu değerlere göre, dağlık alanın SBM’de günümüzdekine göre 10 °C daha düşük sıcaklığa sahip olduğu ve bu alandaki yağışın ise günümüzdekinin 2 katına yakın olduğu söylenebilir.

Güneybatı Anadolu’daki buzul alanları için CCSM4 verileri daha tutarlı sonuçlar verse de buzulları % 20 dar oluşturmuştur. Modele göre SBM’de günümüze göre 5-8 °C daha düşük sıcaklık yaşanmış, yağış özellikleri günümüze göre farklı özellik göstermiştir. CCSM4 modeline göre, kıyılarda % 30’u aşan yağış azalmaları, Teke Platosu ve Bey Dağları çevresinde ise günümüzün iki katına varan yağış artışları ortaya çıkmaktadır. Bu duruma göre, Güneybatı Anadolu’nun SBM’de sıcaklığın 8 °C civarında düşük, yağışın ise günümüzdekinin 2 katına yakın olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu değerlendirme, Türkiye’nin güneyinde buzul alanı oluşmasının ya sıcaklıkların çok fazla düşmesi ya da yağışın birkaç katı kadar artmasıyla mümkün olabildiğini göstermektedir.

Tüm YSM iklim modelleri değerlendirildiğinde, Türkiye geneli için en uygun ardgörüler, MPI-ESM-P (6 buzul bölgesi) tarafından sağlanmakta bunu CCSM4 modeli (3 buzul bölgesi) takip etmektedir. Bunun yanında, buzul bölgelerinin bazıları, hiçbir iklim ardgörüsü ile temsil edilememiştir. Bu bölgeler, Antalya Makası, Geyik Dağları, Tahtalı-Binboğa Dağları, Güneydoğu Toroslar, Marmara güneyi (Uludağ) ve Ilgaz Dağları olarak sıralanabilir. Marmara Denizi ve Karadeniz’in SBM’de göl olması, bu göller çevresindeki sahalardaki iklim ardgörülerinin isabet derecesini düşürmekte, modellerin bu alanları temsiliyet kabiliyetleri azalmaktadır.

YSM modelleri, çok sayıda farklı alt modelden oluşmakta, farklı zamansal ve mekânsal çözünürlükte çalıştırılmaktadır. Her iklim modeli aynı zamanda bir deniz buzu ve arazi örtüsü modeli içermekte, bu modeller dinamik olarak değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla modelin doğruluğu, modelde kullanılan alt modellerin ve kullanılan algoritmaların doğruluğuna bağlıdır. Günümüzde kullanılan YSM modelleri, oldukça düşük çözünürlük sunmakta bu da bu modellerin kullanımını zorlaştırmakta, ancak ölçek küçültme ya da istatistiksel yöntemlerle model çözünürlükleri

artırılmaktadır. Bu işlem esnasında da kullanılan yöntemle bağlı hatalar da oluşabilmektedir. Örneğin, (Fick ve Hijmans, 2017) tarafından kullanılan yöntemle yapılan çözünürlük artırma işleminde sadece çoklu regresyon kullanmakta ve tüm küre aynı parametre tahminleriyle modellenmektedir. Buna rağmen, (Karger vd., 2017) tarafından oluşturulan model de temelde regresyon mantığına dayansa da değişken sayısı artmakta ve bölgesel olarak farklı parametre tahminleri yapabilmektedir. Bu da hatanın bir nebze olsun azalmasında etkili olmaktadır. Dolayısıyla, çalışmada kullanılan verilerin bir kısım hatası YSM modelinden bir kısmı ise kullanılan çözünürlük artırma yönteminden kaynaklanmaktadır.

Çalışmanın doğruluğunu etkileyen bir diğer etmen ise paleobuzul alanlarının doğruluğudur. Çalışmada kullanılan ve mekânsal çözünürlüğü yer yer 1/10.000 ölçeğine ulaşan bu verilerin ilerideki değerlendirmelerle değişeceği ve fakat paleobuzul alanlarının daha da genişleyeceği düşünülmektedir. Bu nedenle, yapılan analizlerde bu alanlardan kaynaklı, düşük de olsa hatalar bulunmaktadır. Bir diğer hata kaynağı ise, HEB bölgelerindeki buzul ve soğuk çöl alanlarının, gerçekte buzul alanlarına karşılık gelip gelmediği hususudur. Bu konuda çalışma olmasa da küresel ölçekte yapılan karşılaştırma, bu alanların birbiri ile uyumlu olsa da tam örtüşmediğini göstermektedir.

En nihayetinde, yukarıda anlatılan 4 farklı hata kaynağının yanında, iklim modeli, buzul modeli, jeomorfolojik model farklılığı da ayrı bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. YSM modeli, iklim verisi üretirken, bu veriye göre oluşabilecek buzul sahası genel olarak zirve ve sırtlardan başlamakta, bu da yağışın, gelen enerji ile hal değiştirmesi ve buharlaşması ile şekillenmektedir. Buzulun, zirve ve sırtlardan başlaması, jeomorfolojik olarak tezatlar oluşturmaktadır. Bu tür farklılıkların, daha yüksek çözünürlüklü veriler kullanılarak, dinamik, jeomorfolojik süreçleri dahil eden modellerle giderilebileceği düşünülmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, 7 farklı YSM iklim ardgörüsünün, çözünürlüğü artırılmış veriler ile HEB biyomları üretilmiş, bu biyomlardaki buzul alanları ile, Türkiye'deki paleobuzul alanları karşılaştırılmış ve aralarındaki uyumlar değerlendirilmiştir. Neticede, Tüm Türkiye'yi karakterize edebilecek tek bir iklim modelinin olmadığı, model tutarlılıklarının bölgesel olarak değiştiği anlaşılmıştır.

HEB biyomlarından elde edilen buzul alanları ile paleobuzul alanları arasındaki farkı % ± 30 hata değeri ölçüt alınarak değerlendirildiğinde;

- Doğu Karadeniz buzul bölgesinde CCSM4 ve MRI-CGSM3,
- Orta Karadeniz, Kuzeydoğu Anadolu ve Nemrut-Bingöl-Ağrı volkanik sahalarında MPI-ESM-P
- Munzur Dağları'nda MPI-ESM-P,
- Bitlis-Hakkâri dağlık alanında FGOALS2,
- Bolkar-Aladağ buzul bölgesinde FGOALS-G2 ve MPI-ESM-P,

- Güneybatı Anadolu’da CCSM4,
- İç Anadolu Bölgesinde ise CCSM4, FGOALS-G2 ve MPI-ESM-P modellerinin isabetli sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

IPSL-CM5A-LR modeli, Bitlis-Hakkâri ve Munzur Dağları’nda isabetli sonuçlar vermiş, buna rağmen, yağış öngörülerinin çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle, bu modellerin kullanımında daha temkinli olunması gerekmektedir.

Türkiye geneli için tek model kullanılmak istendiğinde, en az hatalı değerler MPI-ESM-P ve CCSM4 modelleri ile elde edilmiş, bu modellerin tek başlarına Türkiye’yi temsil etme kabiliyetlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Notlar

¹Türkiye’de “*tahmin (estimation)*”, evrene ait bir parametre için önerilen tahmin ediciyken, “*kestirim (prediction)*”, bir değişken için seçilen bir model parametrelerinin tahmin değerleri yerine konulduğunda elde edilen değer, “*öngörü (forecasting)*” ise tahmin ve kestirim kavramlarından farklı olarak, model parametrelerinin tahmin edilmesi ile rasgele değişkenin gelecekte alacağı değer için önceden kestirim için kullanılmaktadır (Akdi, 2003:94). Bu çalışmada, geçmiş dönemin kestirimi için “*ardgörü (hindcasting)*” terimi önerilmiş ve kullanılmıştır. Bu terim, geçmiş dönemi modelleyen sistemin, geçmiş dönem için sağladığı çıktılar, sonuçlar ve sayısal veriler için kullanılmıştır. Terim hem isim hem de fiil olarak kullanılabilir özelliktedir.



Evaluation of Earth System Models' Last Glacial Maximum Climate Hindcasts with Holdridge Biomes and Paleoglacier Areas

Erkan Yılmaz*^a, Serdar Yeşilyurt^b

Submitted: 01.05.2023

Accepted: 14.06.2023

EXTENDED ABSTRACT

1. Introduction

During the Last Glacial Maximum (LGM) 23000–19000 years ago, global sea water temperatures were 6.1 °C lower (Tierney et al., 2020), glaciers advanced (Gowan et al., 2021), permafrost areas expanded (Braconnot et al., 2012), hydrological processes differed (Fritz et al., 2004; Goldsmith et al., 2017), lake levels changed (Li and Morrill, 2013; Prentice et al., 1992), and different geological, geomorphological, and pedological processes dominated. Reconstruction of the LGM can be indirectly revealed using oxygen isotope, fossil pollen, fossil diatom, element, and stalactite analyses. Earth system models (ESM-Earth System) can also be performed to gain insights. These models are basically created based on weather forecast models and used to describe the past environmental processes and changes in the oceans, ice spheres, land cover, and ground perspective and axis, unlike weather forecasts.

In this work, seven different ESM models produced for the LGM on a global scale with increased resolution developed by Karger et al. (2020) were examined, and detailed Holdridge ecological zones (HEZs) in Turkey were produced. The cold desert and glacier areas obtained from the HEZs were compared with the manually drawn paleoglacial areas, and the most consistent ESM model climate history evaluations were made for the glacial areas in Turkey considering the compatibility of these two data as criteria. This method can also be used for different fields on a global scale. The selected models are show the most consistent LSM models not only for Turkey but also for the Caucasus, Iranian Plateau, the Mediterranean, and the Middle East, which is an important insight.

2. Data and Methods

Seven different ESM models developed by Karger et al. (2017) at increased resolutions were employed. Geographic (square) projection was used, and data were generated with a standard resolution of 30 s. This value provides a resolution of 0.75 km in the south of Turkey (at 36° latitude) and 0.71 km in the northernmost (42° latitude) for a pixel. Data were first converted to a two-standard parallel Albers projection, and the resolution was set to 1 km for all parts of Turkey.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: erylilmaz@ankara.edu.tr

^a Ankara Üniversitesi, Ankara/Türkiye, <http://orcid.org/0000-0002-3821-3648>

^b Ankara Üniversitesi, Ankara/Türkiye, <http://orcid.org/0000-0002-2896-9644>

3. Results and Discussion

The paleoglacial and the glacial areas obtained from HEZ biomes, which were generated based on model histories: FGOALS-G2 (63%), CCSM4 (49%), MRI-CGCM3 (34%), and MICRO-ESM (2%), underestimated the paleoglacial areas of Turkey, while MPI-ESM-P (126%), CNRM-CM5 (186%), and IPSL-CM5A (283%) overestimated the areas. Additionally, the deviations in the overall assessment differed based on the glacial regions, with some models better overestimating the northern half of Turkey while the others overestimating the eastern half.

Among the models explored, the most suitable escape model for the Eastern Black Sea glacier region was provided using the CCSM4 and MRI-CGSM3 models. The CCSM4 model overestimated the precipitation in the LGM by 50% compared to present day and by more than 100% compared to the MRI-CGSM3 model in this mountainous area. Similarly, the CCSM4 model predicted 5 °C–6 °C cooler conditions in the LGM, while the MRI-CGSM3 generated 8 °C–10 °C colder conditions. Again, the CCSM4 model created a 7% narrower glacial area in the paleo glacial areas and the MRI-CGSM3 model created an 18% wider glacier area. From these evaluations, if the precipitation amount is slightly higher or the temperatures in the CCSM4 model are 1 °C–2 °C lower, the error rate would disappear, and the model would yield more appropriate results. Moreover, the temperature differences in the CCSM4 and MRI-CGSM3 models examined for the field gave an inverse distribution for Turkey: the CCSM4 model followed low temperature differences in present day's humid areas, while the MRI-CGSM3 model generally had increased temperature from north to south.

From the MPI-ESM-P YSM climate forecasts, which generated consistent results in most of the Central Black Sea and Eastern Anatolia Regions, the temperature was 1 °C–3 °C lower in the Central Black Sea in the LGM compared to the present and 1 °C–6 °C less warm in the Eastern Anatolia Region, with its eastern and depression areas. The MPI-ESM-P model presented an increase in precipitation exceeding 75% in the Central Black Sea and Çoruh Valley and a decrease in precipitation of up to 30% in the southern half of the Eastern Anatolia Region in the LGM.

Optimal results for the Munzur Mountains glacial region were obtained with the IPSL-CM5A-LR and MPI-ESM-P models. While this region was 10 °C–13 °C colder than the IPSL-CM5A-LR model and 1 °C–5 °C colder than the MPI-ESM-P model in the LGM, it showed variable characteristics regarding precipitation. Based on the IPSL-CM5A-LR model, the precipitation in the LGM in the region exceeded twice the current precipitation, while in the MPI-ESM-P model, the north and south of the paleoglacial area had different precipitation changes, that is, an increase up to 30% in the north and a decrease in the south. The MPI-ESM-P model produced a 28% narrower glacier area, and IPSL-CM5A-LR predicted a 19% narrower glacier area than today. It is understood that conditions must prevail.

The Bitlis-Hakkari mountainous area is an area that received relatively low precipitation compared to its surroundings in the models examined. The FGOALS2 and IPSL-CM5A-LR models obtained the most suitable escape model for this field. While both models gave –11 °C lower temperatures in the LGM compared to today, IPSL-CM5A-LR presented twice higher than today and

FGOALS exhibited precipitation decreases of 10%–30%. However, IPSL-CM5A-LR predicted a 2% narrower glacier area and FGOALS-G2 showed 13% narrower glacier area. Based on the above, it is suggested that the site is 8 °C–11 °C colder in the LGM and the precipitation is higher than it is today. Of course, although it is thought that the high error in the FGOALS-G2 model is due to the lack of precipitation, lowering the temperature further would eliminate the model error.

For the CCSM4, MPI-ESM-P, and FGOALS-G2 models, which gave consistent results for the Central Anatolia Region, the temperature in the region was 5 °C–8 °C lower than present in the LGM, the precipitation was 10%–30%, and even in the mountainous areas surrounding the region, it was higher than 50%. Today, this area receives winter, spring, and summer precipitation and is affected by polar fronts. The increase in precipitation in the region may be associated with the strengthening and enlargement of the polar front in the LGM, as is the case in all of Turkey, and thus, the front systems release more precipitation. However, there are also disadvantages created by the narrowness of the paleoglacial area in the evaluations made for this region. In this type of study, the credibility of the assessment diminishes as the field used for verification shrinks.

The FGOALS-G2 and MPI-ESM-P YSM climate hindcasts obtained the most consistent results around the Aladağlar and Bolkar Mountains: the temperatures in the LGM were 8 °C–10 °C lower and precipitation was 30%–50% higher than present in this area. The MPI-ESM-P model determined the glacier area to be 31% narrow, while the FGOALS-G2 model predicted it to be 13% narrow. From these values, it is suggested that the mountainous area has a 10 °C lower temperature in the LGM than present and the precipitation in this area is close to twice what it is currently.

Although the CCSM4 data for the glacier areas in Southwest Anatolia gave more consistent results, they formed 20% narrow glaciers. Based on the model, the temperature was 5 °C–8 °C lower than today in the LGM and the precipitation exhibited different characteristics compared to today. In addition, precipitation decreased greater than 30%, which took place on the coasts, while precipitation increased up to twice compared to today's around the Teke Plateau and the Bey Mountains. Based on the above results, it is suggested that the temperature is around 8 °C low and the precipitation is close to twice what it is today in the LGM of Southwest Anatolia. This assessment reveals that the formation of a glacier area in the south of Turkey is possible either when the temperatures drop too much or the precipitation increases several times.

Evaluating all the ESM climate models, the most appropriate escape model for Turkey in general is provided by the MPI-ESM-P (six glacial regions), followed by the CCSM4 model (three glacial regions). These regions are Antalya Makası, the Geyik Mountains, the Tahtalı-Binboğa Mountains, the Southeast Taurus Mountains, the south of Marmara (Uludağ), and the Ilgaz Mountains. The fact that the Marmara Sea and the Black Sea are lakes in the LGM reduces the accuracy of climate forecasting in the areas around these lakes and, therefore, the ability of the models to represent these areas decreases.

4. Conclusions

In this work, HEZ biomes were generated from the increased resolution data of seven different ESM climate shunts, comparison of the glacier areas in these biomes and the paleo glacial areas in Turkey was performed, and the compatibility between them was evaluated. Consequently, it is acknowledged that no single climate model can characterize the whole of Turkey and the consistency of the models varies in each region.

Evaluating the difference between the glacial areas obtained from HEZ biomes and the paleo glacial areas by taking a $\pm 30\%$ error value as a criterion,

- CCSM4 and MRI-CGSM3 provided the most plausible modeling results in the Eastern Black Sea glacier region.
- MPI-ESM-P offered the most plausible modeling results in the Central Black Sea, Northeast Anatolia, and Nemrut-Bingöl-Ağrı volcanic fields.
- MPI-ESM-P gave accurate results in the Munzur Mountains.
- FGOALS 2 obtained consistent results in the Bitlis-Hakkari mountainous area.
- FGOALS-G2 and MPI-ESM-P provided consistent results in the Bolkar-Aladağ glacier region.
- CCSM4 offered accurate results in Southwest Anatolia.
- The CCSM4, FGOALS-G2, and MPI-ESM-P models gave accurate results in the Central Anatolia Region.

The IPSL-CM5A-LR model gave accurate results of Bitlis-Hakkari and the Munzur Mountains, albeit predicted very high precipitation. Thus, it is necessary to be more cautious in using this model.

If a single model is desired to be used for Turkey, the MPI-ESM-P and CCSM4 models can be utilized, because they obtained the least erroneous values in this work and thus they can represent Turkey accurately.

Referanslar/References

- Akçar, N., Yavuz, V., Yeşilyurt, S., Ivy-Ochs, S., Reber, R., Bayrakdar, C., Kubik, P.W., Zahno, C., Schlunegger, F., Schlüchter, C. (2017). Synchronous last glacial maximum across the Anatolian peninsula. *Geological Society, London, Special Publications*, 433 (1), 251-269. doi: 10.1144/SP433.7
- Akdi, Y. (2003). *Zaman Serileri, Birim Kökkler ve Kointegrasyon*. Ankara: Bıçaklar Kitabevi.,
- Alder, J. R., Hostetler, S. W. (2019). Applying the Community Ice Sheet Model to evaluate PMIP3 LGM climatologies over the North American ice sheets. *Climate Dynamics*, 53 (5-6), 2807-2824. doi: 10.1007/s00382-019-04663-x
- Alkama, R., Kageyama, M., Ramstein, G., Marti, O., Ribstein, P., Swingedouw, D. (2008). Impact of a realistic river routing in coupled ocean-atmosphere simulations of the Last Glacial Maximum climate. *Climate dynamics*, 30 (7), 855-869. doi: 10.1007/s00382-007-0330-1
- Arslan, E. S., Örüçü, Ö.K. (2019). Present and future potential distribution of the *Pinus Nigra* Arnold. and *Pinus Sylvestris* L. using Maxent model. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)* 9 (4), 787-98. doi: 10.31407/ijeec9425

- Bilgin, T. (1972). *Munzur Dağları Doğu Kısmının Glasiyal ve Periglasiyal Morfolojisi*. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Matbaası.
- Block, K., Mauritsen, T. (2013). Forcing and feedback in the MPI-ESM-LR coupled model under abruptly quadrupled CO₂. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (4), 676-691. doi: 10.1002/jame.20041
- Boston, C. M. (2012). A glacial geomorphological map of the Monadhliath Mountains, Central Scottish Highlands. *Journal of Maps*, 8 (4), 437-444. doi: 10.1080/17445647.2012.743865
- Braconnot, P., Harrison, S. P., Kageyama, M., Bartlein, P. J., Masson-Delmotte, V., Abe-Ouchi, A., Otto-Bliesner, B., Zhao, Y. (2012). Evaluation of climate models using palaeoclimatic data. *Nature Climate Change*, 2 (6), 417-424. doi: 10.1038/nclimate1456
- Brovkin, V., Boysen, L., Raddatz, T., Gayler, V., Loew, A., Claussen, M. (2013). Evaluation of vegetation cover and land-surface albedo in MPI-ESM CMIP5 simulations. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (1), 48-57. doi: 10.1029/2012MS000169
- Candaş, A., Sarıkaya, M. A., Köse, O., Şen, Ö. L., Ciner, A. (2020). Modelling Last Glacial Maximum ice cap with the Parallel Ice Sheet Model to infer palaeoclimate in south-west Turkey. *Journal of Quaternary Science*, 35 (7), 935-950. doi: 10.1002/JQS.3239
- Chala, D., Zimmermann, N. E., Brochmann, C., Bakkestuen, V. (2017). Migration corridors for alpine plants among the 'sky islands' of eastern Africa: do they, or did they exist?. *Alpine Botany*, 127 (2), 133-144. doi: 10.1007/s00035-017-0184-z
- Çoban, H. O., Örcü, Ö. K., Arslan, E. S. (2020). MaxEnt modeling for predicting the current and future potential geographical distribution of *Quercus libani* Olivier. *Sustainability*, 12 (7), 1-17. doi: 10.3390/su12072671
- Dagtekin, D., Şahan, E. A., Denk, T., Köse, N., Dalfes, H. N. (2020). Past, present and future distributions of Oriental beech (*Fagus orientalis*) under climate change projections. *PLoS One*, 15 (11), 1-19. doi: 10.1371/journal.pone.0242280
- Danabasoglu, G., Bates, S. C., Briegleb, B. P., Jayne, S. R., Jochum, M., Large, W. G., Peacock, S., Yeager, S. G. (2012). The CCSM4 ocean component. *Journal of Climate*, 25 (5), 1361-1389. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00091.1
- Doğu, A. F., Somuncu, M., Çiçek, İ., Tunçel, H., Gürgen, G. (1993). Kaçkar Dağında buzul şekilleri, yaylalar ve turizm. *Türkiye Coğrafyası Ar. ve Uyg. Mer. Der. 2*, 157-84.
- Dufresne, J. L., Foujols, M. A., Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O., Balkanski, Y., Bekki, S., Bellenger, H., Benshila, R., Bony, S., Bopp, L., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P., Cheruy, F., Codron, F., Cozic, A., Cugnet, D., de Noblet, N., Duvel, J. P., Ethé, C., Fairhead, L., Fichefet, T., Flavoni, S., Friedlingstein, P., Grandpeix, J. Y., Guez, L., Guilyardi, E., Hauglustaine, D., Hourdin, F., Idelkadi, A., Ghattas, J., Joussaume, S., Kageyama, M., Krinner, G., Labetoulle, S., Lahellec, A., Lefebvre, M. P., Lefevre, F., Levy, C., Li, Z. X., Lloyd, J., Lott, F., Madec, G., Mancip, M., Marchand, M., Masson, S., Meurdesoif, Y., Mignot, J., Musat, I., Parouty, S., Polcher, J., Rio, C., Schulz, M., Swingedouw, D., Szopa, S., Talandier, C., Terray, P., Viovy, N., Vuichard, N. (2013). Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*, 40, 2123-2165. doi: 10.1007/s00382-012-1636-1
- Dury, M., Doutreloup, S., Hardy, O., Fayolle, A., Fettweis, X., Hambuckers, A., Gallée, H., François, L. (2017). Modelling past and present distributions of tropical African biomes and species using a dynamic vegetation model. İçinde: *European Conference of Tropical Ecology*. Brussels, Belgium. <https://hdl.handle.net/2268/227208> adresinden alınmıştır.
- Ekström, M., Grose, M. R., Whetton, P. H. (2015). An appraisal of downscaling methods used in climate change research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6 (3), 301-319. doi: 10.1002/wcc.339
- Erinç, S. (1945). *Doğu Karadeniz Dağlarında Glasiyal Morfoloji Araştırmaları*. İst. Üniv. Ed. Fak. Coğ. Enst. Doktora Tezi, Seri No:1, İstanbul.
- Fathinia, B., Rödder, D., Rastegar-Pouyani, N., Rastegar-Pouyani, E., Hosseinzadeh, M. S., Kazemi, S. M. (2020). The past, current and future habitat range of the Spider-tailed Viper, *Pseudocerastes urarachnoides* (Serpentes: Viperidae) in western Iran and eastern Iraq as revealed by habitat modelling. *Zoology in the Middle East*, 66 (3), 197-205. doi: 10.1080/09397140.2020.1757910
- Fick, S. E., Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37 (12), 4302-4315. doi: 10.1002/joc.5086
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S. C., Collins, W., Cox, P., Driouech, F., Emori, S., Eyring, V., Forest, C., Gleckler, P., Guilyardi, E., Jakob, C., Kattsov, V., Reason, C., Rummukainen, M. (2013). Evaluation of climate models. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y.,

- Bex, V., Midgley, P.M. (ed.). *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. C. 9781107057, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 741–866.
- Fritz, S. C., Baker, P. A., Lowenstein, T. K., Seltzer, G. O., Rigsby, C. A., Dwyer, G. S., Tapia, P.M., Arnold, K.K, Ku, T.L., Luo, S. (2004). Hydrologic variation during the last 170,000 years in the southern hemisphere tropics of South America. *Quaternary Research*, 61(1), 95-104. doi: 10.1016/J.YQRES.2003.08.007
- Gent, P. R., Danabasoglu, G., Donner, L. J., Holland, M. M., Hunke, E. C., Jayne, S. R., Lawrence, D.M., Neale, R.B., Rasch, P.J., Vertenstein, M., Worley, P.H., Yang, Z.L., Zhang, M. (2011). The community climate system model version 4. *Journal of climate*, 24 (19), 4973-4991. doi: 10.1175/2011JCLI4083.1
- Giorgetta, M.A., Jungclaus, J., Reick, C.H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Brovkin, V., Crueger, T., Esch, M., Fieg, K., Glushak, K., Gayler, V., Haak, H., Hollweg, H.D., Ilyina, T., Kinne, S., Kornblueh, L., Matei, D., Mauritsen, T., Mikolajewicz, U., Mueller, W., Notz, D., Pithan, F., Raddatz, T., Rast, S., Redler, R., Roeckner, E., Schmidt, H., Schnur, R., Segschneider, J., Six, K.D., Stockhause, M., Timmreck, C., Wegner, J., Widmann, H., Wieners, K.H., Claussen, M., Marotzke, J., Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 5 (3), 572–97. doi: 10.1002/JAME.20038.
- Goldsmith, Y., Polissar, P. J., Ayalon, A., Bar-Matthews, M., DeMenocal, P. B., Broecker, W. S. (2017). The modern and Last Glacial Maximum hydrological cycles of the Eastern Mediterranean and the Levant from a water isotope perspective. *Earth and Planetary Science Letters*, 457, 302-312. doi: 10.1016/J.EPSL.2016.10.017
- Gowan, E. J., Zhang, X., Khosravi, S., Rovere, A., Stocchi, P., Hughes, A. L., Gyllencreutz, R., Mangerud, J., Svendsen, J.I., Lohmann, G. (2021). A new global ice sheet reconstruction for the past 80 000 years. *Nature Communications*, 12 (1), 1–9. doi: 10.1038/s41467-021-21469-w
- Gül, S., Kumlucaş, Y., Ilgaz, Ç. (2015). Climatic preferences and distribution of 6 evolutionary lineages of *Typhlops vermicularis* Merrem, 1820 in Turkey using ecological niche modeling. *Turkish Journal of Zoology*, 39 (2), 235-243. doi: 10.3906/zoo-1311-9
- Gür, H. (2013). The effects of the Late Quaternary glacial–interglacial cycles on Anatolian ground squirrels: range expansion during the glacial periods?. *Biological Journal of the Linnean Society*, 109 (1), 19-32. doi: 10.1111/bij.12026
- Gür, H. (2017). Geç Kuvaterner buzul buzullararası döngülerinin Anadolu'nun biyolojik çeşitliliği üzerine etkileri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60 (4), 507-528. doi: 10.25288/tjb.363813
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25 (15), 1965-1978. doi: 10.1002/joc.1276
- Hoffman, F., Fung, I., Randerson, J., Thornton, P., Foley, J., Covey, C., John, J., Levis, S., Post, W.M., Vertenstein, M., Stöckli, R., Running, S., Heinsch, F.A., Erickson, D., Drake, J. (2006). Terrestrial biogeochemistry in the community climate system model (CCSM). *Journal of Physics: Conference Series*, 46 (1), 363–69. doi: 10.1088/1742-6596/46/1/051
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105 (2727), 367–68. doi: 10.1126/science.105.2727.367
- Holdridge, L. R., Joseph, A.T. (1967). *Life Zone Ecology with Photographic Supplement Prepared*. Costa Rica.
- Hopcroft, P. O., Valdes, P. J. (2015). How well do simulated last glacial maximum tropical temperatures constrain equilibrium climate sensitivity?. *Geophysical Research Letters*, 42 (13), 5533-5539. doi: 10.1002/2015GL064903
- Hourdin, F., Foujols, M. A., Codron, F., Guemas, V., Dufresne, J. L., Bony, S., Denvil, S., Guez, L., Lott, F., Ghattas, J., Braconnot, P., Marti, O., Meurdesoif, Y., Bopp, L. (2013). Impact of the LMDZ atmospheric grid configuration on the climate and sensitivity of the IPSL-CM5A coupled model. *Climate Dynamics*, 40 (9-10), 2167-2192. doi: 10.1007/s00382-012-1411-3
- Ju, L., Wang, H., Jiang, D. (2007). Simulation of the Last Glacial Maximum climate over East Asia with a regional climate model nested in a general circulation model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 248 (3-4), 376-390. doi: 10.1016/J.PALAEO.2006.12.012
- Jungclaus, J. H., Fischer, N., Haak, H., Lohmann, K., Marotzke, J., Matei, D., Mikolajewicz, U., Notz, D., Von Storch, J. S. (2013). Characteristics of the ocean simulations in the Max Planck Institute Ocean Model (MPIOM) the ocean component of the MPI-Earth system model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5 (2), 422-446. doi: 10.1002/jame.20023
- Jungclaus, J. H., Lorenz, S. J., Timmreck, C., Reick, C. H., Brovkin, V., Six, K., Segschneider, J., Giorgetta, M.A., Crowley,

- T.J., Pongratz, J., Krivova, N.A., Vieira, L.E., Solanki, S.K., Klocke, D., Botzel, M., Esch, M., Gayler, V., Haak, H., Raddatz, T.J., Roeckner, E., Schnur, R., Widdmann, H., Claussenn, M., Stevens, B., Marotzke, J. (2010). Climate and carbon-cycle variability over the last millennium. *Climate of the Past*, 6 (5), 723-737. doi: 10.5194/cp-6-723-2010
- Kamworapan, S., Surussavadee, C. (2019). Evaluation of CMIP5 global climate models for simulating climatological temperature and precipitation for Southeast Asia. *Advances in Meteorology*, 1-18. doi: 10.1155/2019/1067365
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N.E., Linder, H.P., Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4 (1), 1-20. doi: 10.1038/sdata.2017.122
- Kawai, H., Koshiro, T., Webb, M., Yukimoto, S., Tanaka, T. (2015). Cloud feedbacks in MRI-CGCM3. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO*, 45, 7-11.
- Khon, V., Wang, Y., Schneider, B. (2014). Variations of the tropical hydrological cycle during the last glacial-interglacial period: a model-data intercomparison. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 16,1538
- Kilic, O. M., Gunal, H. (2021). Spatial-temporal changes in rainfall erosivity in Turkey using CMIP5 global climate change scenario. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (12). doi: 10.1007/s12517-021-07184-2
- Koç, D. E., Biltekin, D., Ustaoglu, B. (2021). Modelling potential distribution of *Carpinus betulus* in Anatolia and its surroundings from the Last Glacial Maximum to the future. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (12). doi: 10.1007/s12517-021-07444-1
- Koç, D. E., Dalfes, H. N., Avcı, M. (2022). Anadolu'da Konifer Ağaçların Yayılış Alanlarındaki Değişimler. *Coğrafya Dergisi, Journal of Geograph* (44), 81-95. doi: 10.26650/JGEOG2022-974433
- Koc, D. E., Svenning, J. C., Avcı, M. (2018). Climate change impacts on the potential distribution of *Taxus baccata* L. in the Eastern Mediterranean and the Bolkar Mountains (Turkey) from last glacial maximum to the future. *Eurasian Journal of Forest Science*, 6 (3), 69-82. doi: 10.31195/ejfs.435962
- Kohn, M. J., McKay, M. P. (2012). Paleocology of late Pleistocene–Holocene faunas of eastern and central Wyoming, USA, with implications for LGM climate models. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 326, 42-53. doi: 10.1016/J.PALAEO.2012.01.037
- Koo, K. A., Park, S. U., Kong, W. S., Hong, S., Jang, I., Seo, C. (2017). Potential climate change effects on tree distributions in the Korean Peninsula: Understanding model & climate uncertainties. *Ecological Modelling*, 353, 17-27. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.10.007
- Lawrence, D. M., Oleson, K. W., Flanner, M. G., Fletcher, C. G., Lawrence, P. J., Levis, S., Swenson, S.C., Bonan, G. B. (2012). The CCSM4 land simulation, 1850–2005: Assessment of surface climate and new capabilities. *Journal of Climate*, 25 (7), 2240-2260. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00103.1
- Leemans, R. (1990). *Possible changes in natural vegetation due to a global warming. Global data sets collected and compiled by the Biosphere Project*. C. Working Pa., Laxenburg, Austria: IIASA.
- Li, C., Battisti, D. S. (2008). Reduced Atlantic storminess during Last Glacial Maximum: Evidence from a coupled climate model. *Journal of Climate*, 21 (14), 3561-3579. doi: 10.1175/2007JCLI2166.1
- Li, Y., Morrill, C. (2013). Lake levels in Asia at the Last Glacial Maximum as indicators of hydrologic sensitivity to greenhouse gas concentrations. *Quaternary Science Reviews*, 60, 1-12. doi: 10.1016/J.QUASCIREV.2012.10.045
- Lionello, P., D'Agostino, R. (2019). Consensus and disagreement among models on Mediterranean climate changes from the last glacial maximum to future high emission scenarios. In *Geophysical Research Abstracts*, 21.
- Liu, W., Lu, J., Leung, L. R., Xie, S. P., Liu, Z., Zhu, J. (2015). The de-correlation of westerly winds and westerly-wind stress over the Southern Ocean during the Last Glacial Maximum. *Climate Dynamics*, 45 (11–12), 3157–3168. doi: 10.1007/s00382-015-2530-4
- Lofverstrom, M. (2020). A dynamic link between high-intensity precipitation events in southwestern North America and Europe at the Last Glacial Maximum. *Earth and Planetary Science Letters*, 534, 116081. doi: 10.1016/j.epsl.2020.116081
- Louis, H. (1944). Die Spuren eiszeitlicher Vergletscherung in Anatolien. *Geologische Rundschau*, 34 (7-8), 447-481. doi: 10.1007/BF01803099
- Messerli, B. (1967). Die eiszeitliche und die gegenwärtige Vergletscherung im Mittelmeerraum. *Geographica Helvetica*, 22 (3), 105-228. doi: 10.5194/gh-22-105-1967
- NE. (2021). Natural Earth. 13 Aralık 2022 tarihinde <https://www.naturalearthdata.com/downloads/> adresinden alınmıştır.

- Oerlemans, J. (1998). Modelling glacier fluctuations. In *Into the Second Century of Worldwide Glacier Monitoring: Prospects and Strategies*. 85–96.
- Oster, J. L., Ibarra, D. E., Winnick, M. J., Maher, K. (2015). Steering of westerly storms over western North America at the Last Glacial Maximum. *Nature Geoscience*, 8 (3), 201-205. doi: 10.1038/ngeo2365
- Oueslati, B., Bellon, G. (2013). Convective entrainment and large-scale organization of tropical precipitation: Sensitivity of the CNRM-CM5 hierarchy of models. *Journal of Climate*, 26 (9), 2931-2946. doi: 10.1175/JCLI-D-12-00314.1
- Palmer, T. (2014). Climate forecasting: Build high-resolution global climate models. *Nature*, 515(7527), 338-339. doi: 10.1038/515338a
- Pederson, G. T., Fagre, D. B., Gray, S. T., Graumlich, L. J. (2004). Decadal-scale climate drivers for glacial dynamics in Glacier National Park, Montana, USA. *Geophysical Research Letters*, 31 (12). doi: 10.1029/2004GL019770
- Pellitero, R., Rea, B. R., Spagnolo, M., Bakke, J., Hughes, P., Ivy-Ochs, S., Lukas, S., Ribolini, A. (2015). A GIS tool for automatic calculation of glacier equilibrium-line altitudes. *Computers & Geosciences*, 82, 55-62. doi: 10.1016/J.CAGEO.2015.05.005
- Pellitero, R., Rea, B. R., Spagnolo, M., Bakke, J., Ivy-Ochs, S., Frew, C. R., Hughes, P., Ribolini, A., Lukas, S., Renssen, H. (2016). GlaRe, a GIS tool to reconstruct the 3D surface of palaeoglaciers. *Computers & Geosciences*, 94, 77-85. doi: 10.1016/j.cageo.2016.06.008
- Peng, G., Matthews, J. L., Wang, M., Vose, R., Sun, L. (2020). What do global climate models tell us about future Arctic sea ice coverage changes? *Climate*, 8 (1). doi: 10.3390/cli8010015
- Prentice, I. C., Guiot, J., Harrison, S. P. (1992). Mediterranean vegetation, lake levels and palaeoclimate at the Last Glacial Maximum. *Nature*, 360(6405), 658-660. doi: 10.1038/360658a0
- Reber, R., Akçar, N., Tikhomirov, D., Yesilyurt, S., Vockenhuber, C., Yavuz, V., Ivy-Ochs, S., Schlüchter, C. (2022). LGM glaciations in the northeastern anatolian mountains: new insights. *Geosciences*, 12 (7). doi: 10.3390/geosciences12070257
- Reber, R., Akçar, N., Yesilyurt, S., Yavuz, V., Tikhomirov, D., Kubik, P. W., Schlüchter, C. (2014). Glacier advances in northeastern Turkey before and during the global Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 101, 177-192. doi: 10.1016/j.quascirev.2014.07.014
- Reick, C. H., Raddatz, T., Brovkin, V., Gayler, V. (2013). Representation of natural and anthropogenic land cover change in MPI-ESM. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(3), 459-482. doi: 10.1002/jame.20022
- Sarikaya, M. A., Çiner, A., Haybat, H., Zreda, M. (2014). An early advance of glaciers on Mount Akdağ, SW Turkey, before the global Last Glacial Maximum; insights from cosmogenic nuclides and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, 88, 96-109. doi: 10.1016/j.quascirev.2014.01.016
- Sarikaya, M. A., Çiner, A., Yıldırım, C. (2017). Cosmogenic ³⁶Cl glacial chronologies of the Late Quaternary glaciers on Mount Geyikdağ in the Eastern Mediterranean. *Quaternary Geochronology*, 39, 189-204. doi: 10.1016/j.quageo.2017.03.003
- Sarikaya, O., Karaceylan, I. B., Sen, I. (2018). Maximum entropy modeling (maxent) of current and future distributions of *Ips mannsfeldi* (Wachtl, 1879) (Curculionidae: Scolytinae) in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (3), 2527–2535. doi: 10.15666/aeer/1603_25272535
- Schär, C., Fuhrer, O., Arteaga, A., Ban, N., Charpiloz, C., Di Girolamo, S., Hentgen, L., Hoefler, T., Lapillonne, X., Leutwyler, D., Osterried, K., Panosetti, D., Rüdüsühli, S., Schlemmer, L., Schulthess, T. C., Sprenger, M., Ubbiali, S., Wernli, H. (2020). Kilometer-scale climate models: Prospects and challenges. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101 (5), 567-587. doi: 10.1175/BAMS-D-18-0167.1
- Schmidli, J., Frei, C., Vidale, P. L. (2006). Downscaling from GCM precipitation: a benchmark for dynamical and statistical downscaling methods. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26 (5), 679-689. doi: 10.1002/joc.1287
- Sun, Y., Zhou, T., Ramstein, G., Contoux, C., Zhang, Z. (2016). Drivers and mechanisms for enhanced summer monsoon precipitation over East Asia during the mid-Pliocene in the IPSL-CM5A. *Climate Dynamics*, 46 (5-6), 1437-1457. doi: 10.1007/s00382-015-2656-4
- Tarikahya-Hacıoğlu, B., Karacaoğlu, Ç., Özüdoğru, B. (2014). The speciation history and systematics of *Carthamus* (Asteraceae) with special emphasis on Turkish species by integrating phylogenetic and Ecological Niche Modelling data. *Plant systematics and evolution*, 300 (6), 1349-1359. doi: 10.1007/s00606-013-0966-8
- Tatli, H., Dalfes, H.N., Menteş, Ş.S. (2004). A statistical downscaling method for monthly total precipitation over

- Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24 (2), 161-180. doi: 10.1002/joc.997
- Tatlı, H. (2017). Classification of the Köppen and Holdridge life zones with respect to the climate scenarios-Rcp4. 5 over Turkey. In *8th Atmospheric Sciences Symposium-01-04 November 2017*, 651-657.
- Tekin, M. K., Tatlı, H., Koç, T. (2018). Türkiye'deki yaşam-bölgelerinin Holdridge yaşam-zon yöntemi ile belirlenmesi. *TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, 30, 713-722.
- Thorp, P. W. (1981). A trimline method for defining the upper limit of Loch Lomond Advance glaciers: examples from the Loch Leven and Glen Coe areas. *Scottish Journal of Geology*, 17 (1), 49-64. doi: 10.1144/sjg17010049
- Tierney, J. E., Zhu, J., King, J., Malevich, S. B., Hakim, G. J., Poulsen, C. J. (2020). Glacial cooling and climate sensitivity revisited. *Nature*, 584 (7822), 569-573. doi: 10.1038/s41586-020-2617-x
- Tonbul, S. (1997). Bingöl Dağında buzul şekilleri. *Türkiye Coğrafyası Ar. ve Uy. Mer. Der.*, 6, 347-374.
- Ülker, E. D., Tavşanoğlu, Ç., Perктаş, U. (2018). Ecological niche modelling of pedunculate oak (*Quercus robur*) supports the 'expansion-contraction' model of Pleistocene biogeography. *Biological Journal of the Linnean Society*, 123 (2), 338-347. doi: 10.1093/biolinnean/blx154
- Vaissi, S. (2021). Potential changes in the distributions of Near Eastern fire salamander (*Salamandra infraimmaculata*) in response to historical, recent and future climate change in the Near and Middle East: Implication for conservation and management. *Global Ecology and Conservation*, 29, e01730. doi: 10.1016/j.gecco.2021.e01730
- Voldoire, A., Sanchez-Gomez, E., Salas y Mélia, D., Decharme, B., Cassou, C., Sénési, S., Valcke, S., Beau, I., Alias, A., Chevallier, M., Deque, M., Deshayes, J., Douville, H., Fernandez, E., Madec, G., Maisonnave, E., Moine, M.P., Planton, S., Saint-Martin, D., Szopa, S., Tyteca, S., Alkama, R., Belamari, S., Braun, A., Coquart, L., Chauvin, F. (2013). The CNRM-CM5. 1 global climate model: description and basic evaluation. *Climate Dynamics*, 40 (9-10), 2091-2121. doi: 10.1007/s00382-011-1259-y
- Wang, B., Liu, M., Yu, Y., Li, L., Lin, P., Dong, L., Liu, L., Liu, J., Huang, W., Xu, S., Shen, S., Pu, Y., Xue, W., Xia, K., Wang, Y., Sun, W., Hu, N., Huang, X., Liu, H., Zheng, W., Wu, B., Zhou, T., Yang, G. (2013). Preliminary evaluations of FGOALS-g2 for decadal predictions. *Advances in Atmospheric Sciences*, 30 (3), 674-683. doi: 10.1007/s00376-012-2084-x
- Watanabe, S., Hajima, T., Sudo, K., Nagashima, T., Takemura, T., Okajima, H., Nozawa, T., Kawase, H., Abe, M., Yokohata, T., Ise, T., Sato, H., Kato, E., Takata, K., Emori, S., Kawamiya, M. (2011). MIROC-ESM 2010: Model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. *Geoscientific Model Development*, 4 (4), 845-872. doi: 10.5194/gmd-4-845-2011
- Winkelmann, R., Martin, M. A., Haseloff, M., Albrecht, T., Bueler, E., Khroulev, C., Levermann, A. (2011). The Potsdam parallel ice sheet model (PISM-PIK)-Part 1: Model description. *The Cryosphere*, 5 (3), 715-726. doi: 10.5194/tc-5-715-2011
- Yeşilyurt, S. (2017). Kavuşşahap Dağları'nda (Van) Geç Kuvaterner Buzullaşması: Bölgesel Paleoiklim Açısından Değerlendirme. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü (Yayımlanmamış Doktora Tezi).
- Yılmaz, E. (2021a). Yüksek çözünürlüklü CCSM4 model verilerine göre Son Buzul Maksimumunda (SBM) Türkiye'nin Holdridge Ekolojik Bölgeleri ve günümüz iklim şartlarıyla karşılaştırılması. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 19(2), 331-67. doi: 10.33688/aucbd.880675
- Yılmaz, E. (2021b). Yüksek çözünürlüklü ERA-Interim ve HadGEM2-CC model verilerine göre Türkiye'nin güncel ve gelecekteki Holdridge ekolojik bölgeleri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 19(1), 29-60. doi: 10.33688/aucbd.778259
- Yukimoto, S., Adachi, Y., Hosaka, M., Sakami, T., Yoshimura, H., Hirabara, M., Tanaka, T.Y., Shindo, E., Tsujino, H., Deushi, M., Mizuta, R., Yabu, S., Obata, A., Nakano, H., Koshiro, T., Ose, T., Kitoh, A. (2012). A new global climate model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3: -Model description and basic performance-. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90(A), 23-64. doi: 10.2151/jmsj.2012-A02
- Zheng, W., Yu, Y. (2013). Paleoclimate simulations of the mid-Holocene and Last Glacial Maximum by FGOALS. *Advances in Atmospheric Sciences*, 30 (3), 684-698. doi: 10.1007/s00376-012-2177-6
- Zhou, T., Song, F., Chen, X. (2013). Historical evolution of global and regional surface air temperature simulated by FGOALS-s2 and FGOALS-g2: How reliable are the model results?. *Advances in Atmospheric Sciences*, 30(3), 638-657. doi: 10.1007/s00376-013-2205-1
- Zhou, T., Wang, B., Yu, Y., Liu, Y., Zheng, W., Li, L., Wu, B., Lin, P., Guo, Z., Man, W., Bao, Q., Duan, A., Liu, H., Chen, X., He, B., Li, J., Zou, L., Wang, X., Zhang, L., Sun, Y., Zhang, W. (2018). The FGOALS climate system model as a modeling tool for supporting climate sciences: An overview. *Earth and Planetary Physics*, 2 (4), 276-291. doi: 10.26464/epp2018026