

İklim değişikliğinin bitki yetiştiriciliğine etkisi: model bitkiler ile Türkiye durumu

The impact of the climate change to crop cultivation: the case study with model crops for Turkey

Fulya AYDIN¹, Hasan SARPTAŞ^{2*}

^{1,2}Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
fulya_ege_edu@hotmail.com, hasan.sarptas@ege.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 15.03.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 15.06.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.37880

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Dünyamız doğal dengenin insan tarafından bozulduğu ve bozulmalardan kaynaklı olumsuz etkilerin giderek arttığı bir dönemin içindedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin sınırları yoktur ve bu olumsuz etkiler yeterince önemsenmediği sürece her alana hızla yayılmaktadır. Tüm canlılar için önemli olan bitkiler ise iklim değişikliği sebebiyle sıcaklık ve yağış gibi parametrelerin coğrafi değişkenlik göstermesi sonucunda, gelecekte, ölümler, göçler veya adaptasyon zorunlulukları ile karşı karşıya kalacaktır. Bu sebepler iklim değişikliğinin olası etkileri altında bitkilerin gelecekteki coğrafi dağılımlarının tahmin edilmesini gerekli kılmaktadır. Çalışmada, model olarak seçilen mısır, aspir, kanola, pamuk, buğday ve dalı darı bitkilerinin gelecekteki iklimsel değişikliklere uygunluğu incelenmiş ve elde edilen gelecek tahminleri ile günümüz için elde edilen iklimsel uygunluklar karşılaştırılmıştır. Uygulanan adımlar; (1) İklimsel parametrelerin günümüze ait ve 2070 yılı projeksiyonuna ait verilerinin Worldclim veritabanından elde edilmesi, (2) Model bitkilerin büyümeleri için gerekli sıcaklık ve yağış aralıklarının EcoCrop veritabanı ile tespit edilmesi, (3) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama yazılımı olan TerrSet ortamında, Climate Change Adaptation Modeler (CCAM)'in alt modeli olan Crop Climatic Suitability Modeling (CCSM) uygulanarak (4) iklimsel uygunluk haritalarının her bitki için günümüz ve gelecek projeksiyonu şeklinde üretilmesi şeklindedir. Köppen iklim sınıflandırma sistemine göre %41.1 oranında Akdeniz ikliminin hâkim olduğu ülkemizde bitkilerin iklimsel uygunluk değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada, mısır, dalı darı ve pamuk bitkilerinin yetiştirilmesine uygun olan alanların nispeten artsa bile günümüze göre önemli ölçüde değişmeyeceği; aspirin uygunluğunun alansal olarak önemli ölçüde genişleyeceği ve kanolaya yönelik uygun alanların yer değiştireceği tespit edilmiştir. Burada önemli ölçüde kaybeden hem alansal olarak değişikliğe ve daralmaya uğrayacak olan ülkemizin kayda değer tarım ürünü bitkisi buğdaydır. Çalışma, gelecek projeksiyonlarının yapılması, acil durum önlemlerinin veya tarımsal yönetim planlamalarının yapılması açısından önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Bitki İklim Uygunluğu, CBS, İklim Değişikliği, EcoCrop, Worldclim

Abstract

The Earth is in an era, when the natural balance has been deteriorated by the human and the adverse effects have been increased by these deteriorations. The adverse effects of global climate change have no limitations, and if these effects are overlooked by the human, they shall spread to all areas rapidly. The plants, which are so important for all living creatures, shall be faced with deaths, migrations or adaptation challenges in the future because of the climate change-originated geographical alteration on the variables such as air temperature and precipitation. These reasons make essential the estimations of geographical distribution of plants in the future. In the study, the geographic-climatic suitability of maize, safflower, canola (rape), cotton, wheat and switchgrass was projected for 2070, and the current and future conditions were compared. The applied steps in the study are; (1) the climatic data - obtained from Worldclim as current and 2070-projected data, (2) the identification of essential temperature and precipitation intervals for crops' growth from EcoCrop, (3) application of the Climate Change Adaptation Modeler (CCAM)'s sub-model "Crop Climatic Suitability Modeling (CCSM)" in TerrSet, a Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing software by Clark Labs, and finally (4) generation of the climatic suitability maps for each crop for current and future. With this study, the climate-based geographic suitability of plants was evaluated for Turkey where is dominated by Mediterranean climate pattern as 41.1% in Köppen Climate Classification. In the study, the projected areal suitability of maize, switchgrass and cotton shall not change significantly according to current conditions. Safflower's and canola's areal suitability shall expand and displace, respectively. Here, the major loser in areal suitability shall be wheat in Turkey. The methodology may aid for planners and land managers to understand changes in climatic suitability of plants from present to future.

Keywords: Crop Climatic Suitability, GIS, Climate Change, EcoCrop, Worldclim

1 Giriş

İnsan kaynaklı nedenlerin atmosferdeki sera gazı birikimleri ve aerosollerde artış meydana getirerek doğal sera etkisini kuvvetlendirdiği ve bu nedenle küresel boyutta sıcaklık artışına yol açtığı günümüzde bütün iklim/çevre bilimciler tarafından genel kabul gören bir gerçektir [1],[2]. Birleşmiş Milletler Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından ortaya konulan senaryolara göre, küresel sıcaklıkta 2100 yılına kadar ortalama 1-3.5 °C'lik bir artış meydana gelecektir [1],[3]. Maslin [4], 2011 yılında yayınladığı kitapta, 2100 yılına

gelindiğinde bu sıcaklık artışının 1.4 °C ile 5.8 °C civarında-IPCC'nin farklı iklim modellerine göre-olacağını belirtmiştir. Sinn'in yaptığı derlemede (2016) [5] bahsedilen Stern Raporu'nda [6] ise CO₂ derişiminin 750 ppm'in üstüne çıkması durumunda, sıcaklığın, sanayi öncesi dönemin 5 °C üzerine çıkabileceği ifade edilmektedir. Bu sıcaklık artışı, deniz seviyesinin yükselmesi, sıcaklık/yağış rejimlerinin değişmesi ile seller, taşkınlar, kuraklık, çölleşme ve biyolojik kökenli salgınlar gibi afet boyutlarına ulaşan çok değişik sonuçlara neden olacaktır. Bu sorunlar gelecekte daha geniş alanlara yayılacak ve çok daha sık görülecektir [1].

İklim değişikliğinin sınırları olmayan olumsuz etkilerinin yeterince önemsenmemesi, bu etkilerin her alanda hızla artacağı anlamına gelmektedir. Besin zincirinin temel yapı taşı olmaları nedeniyle tüm canlılar için vazgeçilmez olan bitkiler, iklim değişikliğinden oldukça fazla etkilenmektedir. Özellikle değişken ve tahmin edilmesi güç iklim deseni, uç noktadaki (ekstrem) hava olayları, yüksek sıcaklık, kuraklık ve zarar verici seviyede aşırılık gösteren yağışlar sonucunda bitki türlerinin karşı karşıya olduğu %10 azalma riski, bitkilerin hassasiyetini giderek arttırmakta ve bu durum canlılar için ciddi boyutta bir tehdit oluşturmaktadır [7],[8].

İklim değişikliğinin bitkiler üzerinde bazı etkileri olduğu bilinmektedir. Bu etkilerden biri de bitki göçlerinin görülmesi/bitki türlerinin coğrafyalarının değişmesidir [1],[2],[8]. Türlerin iklimdeki değişikliğe ve bozulan iklimsel rejimlere (yağış, buharlaşma ve sıcaklık rejimleri vb.) farklı düzeyde ve farklı biçimde tepki vermesi ekosistemlerin yapısının, üretkenliğinin ve coğrafi dağılışının bozulmasına neden olacaktır [1]. Yağış ve sıcaklık rejimlerinde meydana gelen değişiklikler bu zamana kadar coğrafyalarındaki iklimsel özelliklere uyum sağlamış bitkilerin yeni iklimsel gelişmelerle yüzleşmesine ve baskı altında kalmasına sebep olacaktır. Bu durum bazı bitkilerin uyum sağlayabilmesine; bazılarının ise iklimsel değişiklikler sebebiyle rekabete yenik düşmesine sebep olacaktır [9]. Türkes ve diğ. [10]'nın yaptığı çalışmada belirttiği üzere iklim kuşakları, yer kürenin jeolojik geçmişinde olduğu gibi, ekvatordan kutuplara doğru yüzlerce kilometre kayabileceğinden bu durum iklim kuşaklarına en iyi uyum sağlayan yerli bitkilerin zarar görmesiyle sonuçlanacak; yeni iklim kuşaklarına uyum gösteremeyen flora ve fauna yok olacaktır [9],[10].

İklimin bitkiler üzerindeki etkileri, gelecekte, tarımsal aktiviteleri de etkileyecektir. İklim, su ve sıcaklık baskısı altında meydana gelen ürün kalitesi değişikliğini ve dolayısıyla üretim potansiyelini etkiler [11]-[13]. Bu nedenle iklim, bölgesel tarımsal üretim uygunluğunun da ana belirleyicilerinden biridir [13]. İklimsel koşulların zaman ve mekâna göre çeşitleniyor olması bitkilerin yetişmesine ve yetiştiği coğrafyaya yönelik iklimsel uygunluğu gündeme getirmektedir. İklimsel uygunluğun analiz edilmesi ise planlamacılar ile arazi sahipleri/yöneticilerinin zaman ve mekâna bağlı iklimsel uygunlukları anlayabilmeleri ve bu farkındalığı; stratejik kaynağı yönetebilmeleri, gelişim planlaması yapabilmeleri ve adaptasyon stratejilerini belirlemede kullanabilmeleri için oldukça gereklidir [13],[14]. Holzkaemper ve diğ. [13]'nün çalışmalarında bahsettikleri üzere, birkaç on yılda, tane mısır ve asma gibi sıcak mevsimlerde yetişen ürün bitkilerinin coğrafi uygunluğunun kuzeye ve merkez Avrupa'ya kaydığına yönelik tahminler bulunmaktadır [13],[15],[16].

Maslin [4] de, iklim değişikliği etkisiyle Robusta kahvesinin yetiştirilmesine uygun toplam alanın çarpıcı şekilde azaldığını ve 2°C düzeyinde sıcaklık artışı sonucunda %10'dan az bir düzeye ineceğini belirtmiştir. Çalışmada ayrıca, geriye yalnızca yükseklerdeki alanların kalacağı; diğer alanların kahve yetiştirilemeyecek kadar ısınacağı da öngörülmüştür. Bu da ekonomisi bir ya da iki tarım ürününe dayanan pek çok gelişmekte olan ülkenin, küresel ısınmanın etkileri karşısındaki hassasiyetini (savunmasızlığını) göstermektedir [4],[17].

Bir diğer çarpıcı örnek ise Jassogne ve diğ. [18]'in yaptığı çalışmadır. Çalışmada, Doğu Afrika'nın kahve uygunluğu hem günümüz hem de 2030 yılı için incelenmiş ve günümüzde uygun alanlar olan Burundi, Uganda ve Ruanda gibi

ülkelerin 2030 yılında kahve yetiştiriciliği için daha fazla çaba harcamaları gerekeceği ortaya konmuştur [18].

Ramirez-Villegas ve diğ. [19] yapmış oldukları çalışmada EcoCrop modeli [20] ile sorgum bitkisinin iklim değişikliğine göre uygunluğu analiz edilmiştir. Bu analizde SRES-A1B iklim senaryosu sonucu elde edilen iklimsel veriler kullanılmış ve senaryo yardımıyla sorgum yetiştiriciliğinin 2030 yılındaki uygunluğu tahmin edilmiştir. Doğruluğu oldukça yüksek olan model ile sorgum yetiştiriciliğinin coğrafi dağılımının nispeten azalacağı tespit edilmiştir. Özellikle hassas alanlar; Batı Sahel Bölgesi, Güney Afrika, Kuzey Hindistan ve Hindistan'ın batı sahilleri olarak belirlenmiştir.

Ceballos ve diğ. [21] ise çalışmalarında Manyok (cassava) adı verilen bitkinin iklim değişikliğine karşı adaptasyonunu incelemiştir. Manyok, tıpkı mısır, şeker kamışı gibi önemli bir enerji kaynağıdır ve anavatanı Güney Amerika'dır. Adaptasyon kapasitesi yüksek olan bu bitkinin tüm yeteneklerine rağmen sıcaklık ve özellikle yağış rejimlerinden etkilendiği belirtilmiştir. Çalışmada uygulanan model ile tropik bölgelerdeki iklimsel gelecek uygunluğunun fark edilir biçimde azalacağı alanların Kuzey Hindistan çevresinde olduğu tespit edilmiştir.

Beebe ve diğ. [22], fasulye bitkisinin iklim değişikliğiyle nasıl mücadele edeceğini incelemiş ve bitkinin genetik iyileştirmelerini analiz etmişlerdir. Çalışmada iklimsel gelecek uygunluğunun belirlenmesi için EcoCrop modeli kullanılmıştır. Günümüz iklimsel verilerine 1960-2000 yılı ortalamaları alınarak ulaşılmış, gelecek verileri (2020) için bir tür iklim modeli olan Küresel Sirkülasyon Modellerinden (KSM) yararlanılmıştır. Gelecek senaryosu olarak SRES-A2 kullanılmıştır. Sonuç olarak, şimdiki iklimsel veriler ve geleceğe ait tahmin edilmiş (2020) veriler yardımıyla fasulye bitkisi yetiştiriciliği için uygun alanlar haritalanmıştır.

Bakkenes ve diğ. [23] ise EUROMOVE adında bir model tasarlamış ve bu modelde IMAGE2 modelinden derlenen 1990'dan 2050'ye kadar olan iklimsel veriler kullanılarak 1400 bitki türü için çoklu lojistik regresyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada oluşturulan iklim projeksiyonunda hangi türlerin hayatta kalıp hangilerinin yok olacağı incelenmiştir. Burada 2050 yılı için biyoçeşitlilikte oldukça çarpıcı değişimler tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında, modellenen alanın %44'ünde 1990 yılına ait türlerin %32'sinin yok olacağı, en dramatik tür yok oluşlarının ise modellenen alanın başlıca İspanya ve güneybatı Fransa ile Karadeniz boyunca bir alanda ve Byelorussia'da olmak üzere %16'sında türlerin %50'si şeklinde meydana geleceği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra Demir [25]'in yaptığı araştırmada 2050 yılı itibarı ile Fransa, Cezayir, İspanya gibi birçok ülkede tür dağılımının büyük oranda etkileneceği ve bu alanların sahip olduğu çeşitliliğin %80'ini kaybedeceği tespiti yapılmıştır.

Hughes [24]'in yaptığı çalışmada yer alan araştırmalarda kayda değer bulunan bilgiler kutup bölgesi ve Alp bölgesi bitki türlerine aittir. Burada özellikle Antarktika'ya özgü damarlı bitki türleri olan *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl (Antarktik mercanotu) ve *Deschampsia antarctica*'da (Antarctic hair grass) 0°C'nin üzerinde bitki büyümesinin sınırlandığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra soğuk enlemlerde sıcaklık artışı ile tohumların hayatta kalması nedeniyle ılıman şartlarda yetişebilen tür sayılarında artış meydana gelmiştir. Alp bölgesinde ise bazı bitki türlerinin özellikle de ağaç türlerinin daha yüksek bölgelere göç ettiği rapor edilmektedir [25].

Günümüzde tespit ve gelecekte de tahmin edildiği üzere artan sıcaklıklar, küresel bazda var olan eşitsizlikleri belirginleştirecek ve dünya çapında tahıl/ekin bölgeleri dağılımı üzerinde etki gösterecektir [9]; bu değişiklikler kazananları ve kaybedenleri gündeme getirecektir. Tarımsal adaptasyon açısından çiftçiler ürettikleri ürünleri değiştirme zorunluluğu yaşayacak; hatta bu durum ürün bitkilerinin ekim ve/veya dikim zamanlarının değişmesine sebep olabilecektir. Özellikle ülkemizde buğday gibi ürünlerin üretiminde verim düşüklükleri yaşanabilecektir [1].

Bu çalışmada, yukarıda özetlenen önceki çalışmalar ile benzer bir yaklaşım izlenmiş ve geçmiş yılların ölçüm sonuçları esas alınmasıyla belirlenen günümüz iklimsel parametreleri ile senaryo ve projeksiyonlardan yararlanılarak tahmin edilen geleceğe ait iklimsel parametreler kullanılarak bitkilerin hem günümüzdeki hem de gelecekteki iklimsel uygunlukları tespit edilmiştir. Geleceğe ait iklimsel verileri elde etmek için küresel atmosfer ve okyanus çevrimini 3-boyutlu olarak temsil eden ve fiziksel iklim sisteminin nümerik modelleri olan KSM'lerden türetilen iklimsel projeksiyonlar kullanılmıştır. Bu modeller, atmosfer, okyanus ve toprak arasındaki fiziksel değişimleri ve terleme, yağış ve bulutlar gibi hidrolojik çevrimleri içerir ve sera gazı emisyonlarından dolayı oluşan iklim değişikliğinin tepkisini simüle etmek için kullanılır [26],[27]. Dünya sisteminde birçok bileşen (senaryo) içeren KSM'ler bulunmaktadır. İklim projeksiyonlarının değişimi ise kullanılan sera gazının türüne bağlı olarak değişim gösterir. IPCC 5. değerlendirmesinde 4 sera gazını (karbondioksit, metan, diazotmonoksit ve diğer florlu gazlar) uyarlaması ve bunu "temsili konsantrasyon yolları" (*Representative Concentration Pathways-RCPs*) olarak adlandırmıştır. RCPs ile salınan sera gazı miktarına göre potansiyel iklim değişikliği tahmin edilebilmektedir [28]. Böylece günümüze ait hesaplanan ve gelecek için projeksiyonu gerçekleştirilen iklimsel parametreler ile ekinlerin/bitkilerin iklimsel uygunluklarının ne olduğu ve gelecekte bu uygunluğun değişip değişmeyeceği incelenebilir.

Tüm dünya ekonomilerinde iklim değişikliğine karşı en hassas sektörlerden biri olan tarım, gıda güvenliği ve ekonomik sürdürülebilirlik için temel oluşturmakta ve ekonomik durumlarına bakılmaksızın tüm insanların beslenmesi için gerekli girdiyi sağlamaktadır [19]. Tüm bu sebeplerden ötürü, bu alandaki referans çalışmalarının ne denli önemli olduğunu göstermiştir ve çalışmaların sonuçları oldukça etkileyicidir.

Ülkemiz orta enlemlerde yer alması nedeni ile iklimsel çeşitliliğe sahiptir. Köppen İklim Sınıflandırma Sistemine göre Türkiye'de yer alan iklim sınıfları şunlardır [29]:

- İç Anadolu Bölgesi'nin orta bölümü ve Doğu Anadolu'nun en doğusundaki Van-Iğdır bölümünde Subtropikal step,
- Batısı dışında Karadeniz Bölgesi'nde Kurak mevsimi olmayan nemli subtropikal,
- Marmara, Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri ile İç Anadolu'nun batı ve güney bölümlerinde Akdeniz,
- İç ve Doğu Anadolu Bölgelerinin genel olarak orta-kuzey bölümlerinde uzanan geniş bir kuşakta Yazı kurak nemli karasal,

- Kuzeydoğu Anadolu'nun (Erzurum-Kars bölümü) ve İç Anadolu'nun kuzeyindeki görece dar bir alanda ise Kurak mevsimi olmayan nemli karasal.

Farklı coğrafyalarda farklı iklim sistemlerinin yaşandığı ülkemizde çok eski tarihlerden beri tarım yapılmaktadır. Ancak 19. yüzyılın sonlarından itibaren yaşanan küresel sıcaklık artışı günümüzde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizdeki florayı da etkilemiştir. Bitki türlerinde ve topluluklarında meydana gelen değişimler birincil olarak alansal dağılımlarda kendini göstermektedir [2]. Küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında gözlenen ısınma eğiliminin fazla olduğu enlemlerde yer alan ülkemiz, iklim projeksiyonlarına göre gelecekte karmaşık bir iklim yapısına sahip olacaktır [10],[25],[30]. Artan ısınma eğilimi, ülkemizde su, tarım, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem gibi alanlarda zamanla köklü değişikliklere yol açabilecektir [25]. 1990'lı yıllarda 0.3 °C-0.5 °C olan ve günümüzde 1 °C'ye ulaşan küresel yüzey sıcaklığı artışının 2100 yılı tahminlerine göre 1.4 °C-5.8 °C'ye çıkacak olması [25],[31], tüm dünya ülkeleri gibi Türkiye'nin de bitki yetiştiriciliğinde ciddi sorunlarla karşı karşıya kalacağını ortaya koymaktadır. İklim değişikliği ile mücadelede en önemli adımlardan biri, değişen iklim koşullarının ülkemizin bitki yetiştiriciliğine (tarımsal ürün desenine) etkisinin kestirimidir. Bu, iklim değişikliğine zamanında ve etkin tepki verme için önemli bir gerekliliktir. Bu gerekliliği dikkate alan bu çalışmada, ülkemiz için geçmişten beri değerlendirilen ve yakın zamanda değerlendirilmesi enerji tarımı için gerekli olan bitkilerin hem günümüz hem de gelecek iklimsel uygunluğunun incelenmesi amaçlanmıştır.

2 Veri ve yöntem

2.1 Veriler

2.1.1 Model bitkiler

Çalışmada günümüzün önemli enerji ekinlerinden de olan mısır, aspir, kanola, pamuk, buğday ve dallı darı bitkileri model bitkiler olarak seçilmiştir. Bunun yanı sıra buğday ve mısır dünyadaki önemli gıda ürün bitkilerindedir. Bu bitkilerin gelecek uygunluğunun ülkemiz açısından önemi oldukça büyüktür. Çünkü bu bitkiler (hâlihazırda dallı darı hariç) ülkemizde önemli yetiştirme alanlarına sahiptirler.

2.1.2 İklimsel veriler

Çalışmada ihtiyaç duyulan iklimsel veriler, küresel iklimsel verileri konumsal veri katmanları olarak sağlayan Worldclim (www.worldclim.org) veritabanından alınmıştır. Bunlar mevcut duruma ait gözlem verileri ve geleceğe yönelik kestirimlerdir:

- Mevcut durum:
 - 1950-2000 ortalama hava sıcaklığı (t_{ort}),
 - 1950-2000 minimum hava sıcaklığı (t_{min}),
 - 1950-2000 ortalama yağış yüksekliği,
- Gelecek durum kestirimi:
 - 2061-2080 ortalama sıcaklık,
 - 2061-2080 minimum sıcaklık,
 - 2061-2080 ortalama yağış.

Worldclim'den elde edilen gelecek kestiriminde HadGEM2-ES olarak tanımlanan KSM kullanılmıştır. Bu KSM, Hadley Meteoroloji Merkezi tarafından üretilmiştir. Kullanılan senaryo ise RCP8.5 olarak adlandırılmaktadır ve sera gazı konsantrasyonunun aşırı şekilde arttığını benzeştirmektedir

[32]. RCP8.5, yüksek ışınımsal zorlama ve konsantrasyon rotası olmasının yanı sıra CO₂ konsantrasyonunun 2000 ppm civarında ancak 2250 yılında sabitleneceğini öngörmektedir ve bu seviye endüstri öncesi seviyenin neredeyse 7 katı kadardır [27].

2.1.3 Bitki ekolojik parametreleri

Bitkilerin yetişmesi için uygun (*optimal*) iklim koşullarını ortaya koyan sıcaklık ve yağış sınırları olarak tanımlanabilecek bitki ekolojik parametreleri Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (*Food and Agricultural Organization-FAO*) tarafından oluşturulan ve uzman-tabanlı ekolojik sınır verileri içeren EcoCrop (<http://ecocrop.fao.org>) veritabanından temin edilmiştir. Çalışmada ele alınan tüm model bitkiler için tek tek elde edilen bu parametreler şunlardır:

- Bitkinin öldüğü sıcaklık (KTMP),
- Bitkinin büyüdüğü minimum sıcaklık (TMIN),
- Optimal minimum sıcaklık (TOPMIN),
- Optimal maksimum sıcaklık (TOPMAK),
- Bitkinin büyümeyi durdurduğu maksimum sıcaklık (TMAK),
- Minimum yağış miktarı (RMIN),
- Optimal minimum yağış miktarı (ROPMIN),
- Optimal maksimum yağış miktarı (ROPMAK),
- Maksimum yağış miktarı (RMAK).

2.1.4 Konumsal veriler

Çalışma kapsamında kullanılan Türkiye idari sınırlarına ait konumsal veri vektör formatında Global Administrative Areas (GADM) veritabanından elde edilmiştir.

2.2 Yöntem

2.2.1 Bitki ekolojik parametrelerinin belirlenmesi

Seçilen model bitkiler için bitki yetiştiriciliği uygunluk haritalarının üretilmesi için bitkilerin yetiştirilmesi için uygun sıcaklık ve yağış aralıkları EcoCrop veritabanından temin edilmiştir.

2.2.2 Bitkiler için iklimsel uygunlukların tespiti

Uygunluk haritalarının belirlenmesinde Clark Labs tarafından geliştirilen TerrSet CBS/Uzaktan Algılama yazılımdaki Climate Change Adaptation Modeler (CCAM)'in bir alt modülü olan Bitki Sürdürülebilirliği Modelinden (*Crop Climate Suitability Modeling-CCSM*) yararlanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan TerrSet Bitki Sürdürülebilirliği Modeli'nin de esas aldığı ve aşağıda açıklanan İklimsel Bitki Uygunluğu Modeli uygulanmıştır.

2.2.3 İklimsel bitki uygunluğu modeli

Bitkilerin iklimsel uygunluğu Hijman ve diğ. [20] tarafından 2001 yılında geliştirilmiş bir yöntem/model DIVA-GIS'te uygulanmış [19],[33]; Ramirez-Villegas ve diğ. [19] ise 2011 yılında bu modelin kalibrasyonunu gerçekleştirmiştir [28],[32]-[35]. Modelin çalışma prensibi, alansal ya da coğrafi (*spatial*) bazda hem sıcaklık hem de yağış uygunluğunun bitkinin yetişme uygunluğuna göre ayrı ayrı tespit edilmesi ve sonuç olarak bölgenin iklimsel uygunluğunun, belirlenen sıcaklık-yağış uygunluğuna göre hesaplanması şeklindedir.

Bir bölgenin aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış miktarı (bir büyüme sezonunda düşen toplam yağış miktarı) bitkinin yetişebileceği uygunluktaki sıcaklık ve yağış aralığına göre belirlenen optimum aralıkta kalıyorsa, bölge yetiştiricilik için uygun kabul edilmektedir. Sıcaklık ve yağış değerleri uç alanlarda kalıyorsa bitki zor da olsa yetişebilmektedir.

Bu modelde bir yıl, her biri ayrı bir ay ile başlayan 12 potansiyel büyüme sezonuna (çevrim) ayrılmaktadır. Bitkinin iklimsel uygunluğu, bitkinin özelliklerine göre ve her aya ait sıcaklık ve yağış verileri ile incelenir. Modelde istenen ve EcoCrop veri tabanı ile entegre edilebilen veriler, sıcaklık ve yağış için KTMP, TMIN, TOPMIN, TOPMAK, TMAK, RMIN, ROPMIN, ROPMAK, RMAK değerleridir [28].

Bir bitkinin iklimsel uygunluk değeri, sıcaklık uygunluğu ve yağış uygunluğu değerleri kullanılarak, aşağıdaki adımlar izlenerek belirlenebilir.

(a) Çevrim uzunluğunun bulunması: Yıl, bitkinin büyüme sezonu uzunluğunda 12 çevrime ayrılır. Her çevrim, yılın bir ayı ile başlar. Büyüme sezonunun (çevrimin) uzunluğu bitki büyüme döngüsünde belirtilen minimum gün sayısı ile maksimum gün sayısının ortalamasıdır [28],[32]-[35],

(b) Sıcaklık uygunluk değerinin bulunması: Bunun için Tablo 1'deki koşullar dikkate alınır.

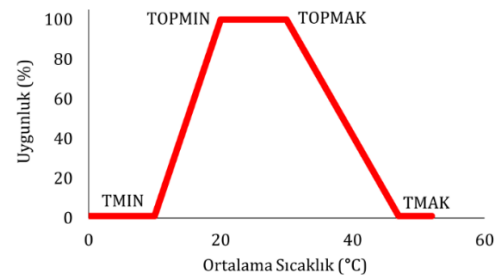
Tablo 1: Sıcaklık koşullarına göre uygunluk değeri.

	Uygunluk	Koşullar
	0	$t_{\min} < TKILL$
	0	$t_{\text{ort}} < TMIN$
$T_{\text{uygun}}(\text{ay})$	$a_{t1} + m_{t1} * t_{\text{ort}}$	$TMIN < t_{\text{ort}} < TOPMIN$
	100	$TOPMIN < t_{\text{ort}} < TOPMAK$
	$a_{t2} + m_{t2} * t_{\text{ort}}$	$TOPMAK < t_{\text{ort}} < TMAK$
	0	$t_{\text{ort}} > TMAK$

Tablo 1'de bahsedilen t_{ort} bugüne kadar olan sıcaklık verilerinin ortalaması ve t_{\min} bugüne kadar olan minimum sıcaklık değerini temsil etmektedir. Yine aynı tabloda verilen TKILL değeri, bitkinin biyolojik öldürücü sıcaklığına geçiş yapabilecek eşik sıcaklığıdır [33]-[35].

Tablo 1'de ayrıca bahsedilen değerlerden a_{t1} ve m_{t1} , sırasıyla, [TMIN,0] ve [TOPMIN, 100] arasındaki regresyon eğrisinin kesişim ve eğimini; a_{t2} ve m_{t2} ise sırasıyla, [TOPMAK,100] ve [TMAK,0] arasındaki regresyon eğrisinin kesişim ve eğimini vermektedir [33],[34].

Sıcaklık açısından bitki ekolojik sınırları ve bitki yetiştirme uygunluğu değişimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Sıcaklık verileri yardımıyla oluşturulan ve ortalama sıcaklıklara karşılık gelen uygunluk grafiği [34].

(c) Yağış uygunluk değerinin bulunması: Bu değer bulunması içinse Tablo 2'deki koşullar dikkate alınır. Tablo 2'deki $y_{küm}$, her çevrimin sahip olduğu ayların yağış değerlerinin toplamıdır.

Tablo 2'deki a_{r1} ve m_{r1} , sırasıyla, $[YMIN,0]$ ve $[YOPMIN, 100]$ arasındaki regresyon eğrisinin keşişim ve eğimini; a_{r2} ve m_{r2} ise sırasıyla, $[YOPMAK,100]$ ve $[YMAK,0]$ arasındaki regresyon eğrisinin keşişim ve eğimini vermektedir [33],[34].

Tablo 2: Yağış koşullarına göre uygunluk değeri.

	Uygunluk	Koşullar
$Y_{uygun}(\text{çevrim})$	0	$y_{küm} < YMIN$
	$a_{r1} + m_{r1} * y_{küm}$	$YMIN < y_{küm} < YOPMIN$
	100	$YOPMIN < y_{küm} < YOPMAK$
	$a_{r2} + m_{r2} * y_{küm}$	$YOPMAK < y_{küm} < YMAK$

(d) İklimsel uygunluk değerinin hesaplanması: Belirtilen tüm bu basamaklar ve Tablo 1 ile Tablo 2'deki değerler kullanıldığında her ayın sıcaklık uygunluk değeri olan $T_{uygun}(\text{ay})$ ve çevrimin yağış uygunluk değeri olan $Y_{uygun}(\text{çevrim})$ ile çevrimde yer alan en düşük $T_{uygun}(\text{ay})$ değeri ile belirlenen $T_{uygun}(\text{çevrim})$ bulunur. Daha sonra ise iklimsel uygunluk, $T_{uygun}(\text{çevrim})$ ile $Y_{uygun}(\text{çevrim})$ değerlerinin çarpımıyla elde edilir.

2.2.4 İklimsel uygunluk haritalarının oluşturulması

Seçilen model bitkilerin iklimsel uygunluklarının alansal dağılımları ile ilgili konumsal analizler ve haritalama ArcGIS 10.3.1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Alansal uygunluk dağılımları, GCS küresel koordinat sistemi ve WGS 84 datumu esas alınarak haritalandırılmıştır.

Uygunluk haritalarında iklimsel uygunluk değerleri 0 (uygun değil) ile 1 (%100 uygun) arasında değişmektedir. Bitkisel yetiştiricilik uygunluğu 5 sınıfa ayrılmış olup puanlarına göre uygunluk sınıfları aşağıdaki gibi kabul edilmiştir:

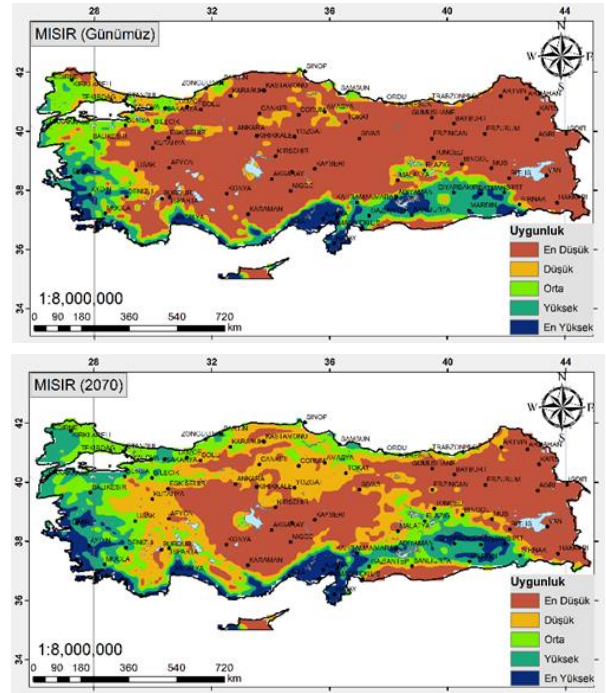
- 0.0 - 0.2 : En düşük
- 0.2 - 0.4 : Düşük
- 0.4 - 0.6 : Orta
- 0.6 - 0.7 : Yüksek
- 0.7 - 1.0 : En yüksek

Ayrıca, bitki yetiştiriciliği için alansal uygunluğun zamanla değişimini daha iyi çözümlenmek için sonuç haritaların histogramları R programlama dili (RStudio) ile hazırlanmıştır.

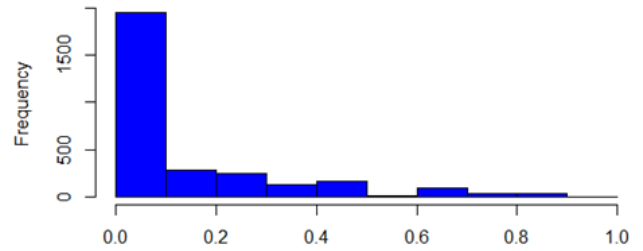
3 Bulgular ve tartışma

3.1 Mısır

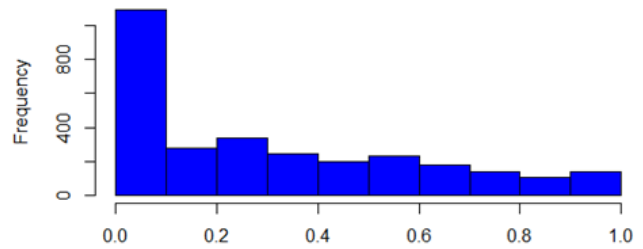
Türkiye'nin mısır yetiştiriciliğine yönelik günümüz ve tahminlenen 2070 yılı iklimsel uygunluklarının alansal dağılımı Şekil 2'de görülmektedir. Ülkemizdeki yetiştiricilik alanlarının uygunluklarının hangi sınıflarda toplandığını gösteren uygunluk değerlerinin frekansları ise, mısır bitkisi için Şekil 3'te mevcut ve gelecek durum için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 2: Mısır bitkisi için uygunluk; (a): Mevcut; (b): 2070.



(a): Mevcut.



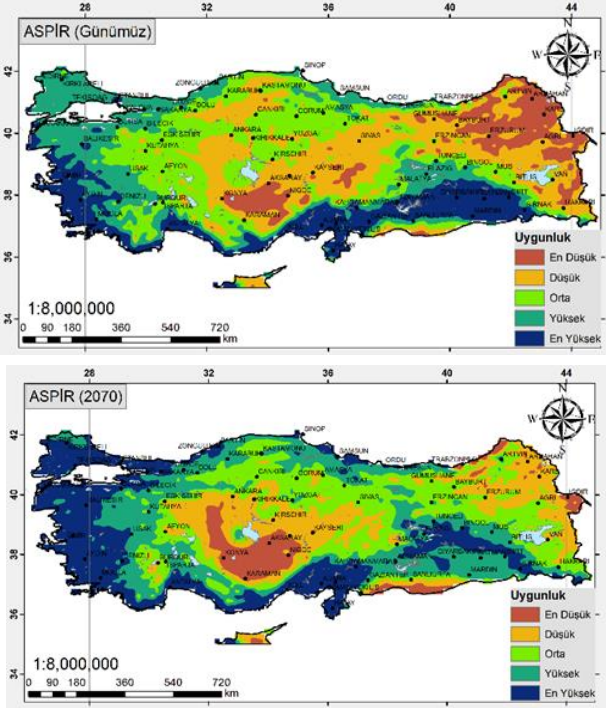
(b): 2070.

Şekil 3: Mısır için uygunluk değerlerinin frekansları.

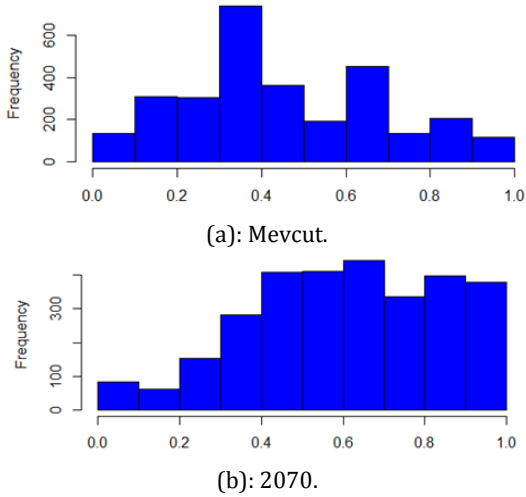
Burada uygunluk frekanslarının az da olsa **en uygun** değer aralığına doğru kaydığı görülmektedir. Günümüzde **en uygun** yetiştirme alanları (0.7-1) İçel, Adana ve Hatay çevresinde iken; 2070 yılında bu alanlara İzmir ve Aydın ile Güneydoğu Anadolu'nun orta kesimleri de eklenmiştir. Yine günümüzde yetiştiriciliğe **uygun olmayan** (0) İç Ege, İç Anadolu'nun kuzeyi gibi alanlar 2070 yılında **en düşük** uygunluk (0-0.2) değerine kaymıştır. Günümüzde ülkenin mısır yetiştiriciliğine uygun olmayan bazı bölgelerinin 2070 yılında mısır yetiştirebilecek iklimsel koşullara sahip olacağı kestirilmektedir.

3.2 Aspir

Aspir bitkisi yetiştiriciliğine yönelik günümüz ve tahminlenen 2070 yılı iklimsel uygunlukları Şekil 4'te; uygunluk değerlerinin frekansları ise mevcut ve gelecek durum için karşılaştırılmaları olarak Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4: Aspir bitkisi için uygunluk; (a): Mevcut; (b): 2070.

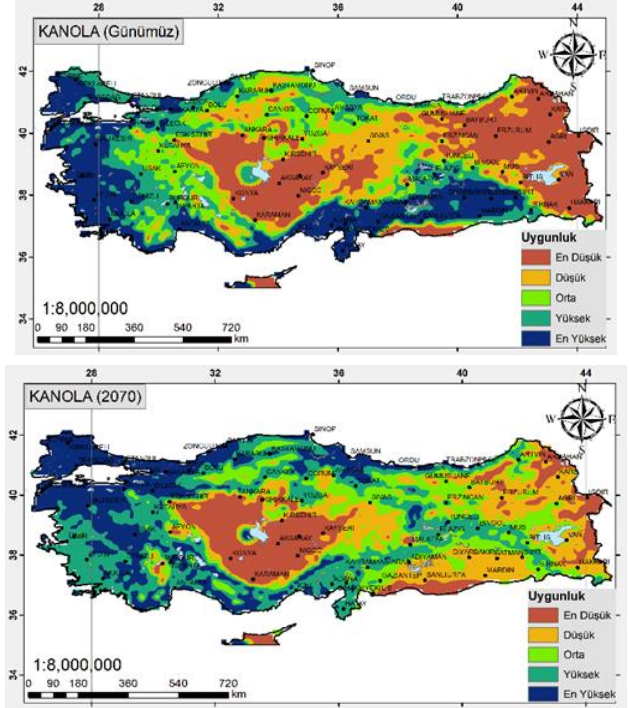


Şekil 5: Aspir için uygunluk değerlerinin frekansları.

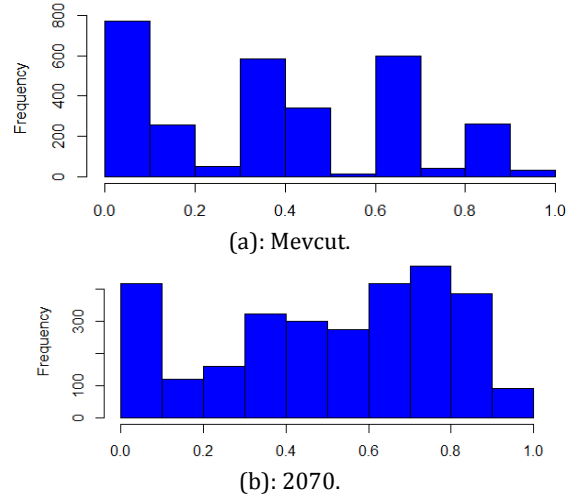
Aspir bitkisi için alansal uygunluk ve uygunluk değışim frekansları için yapılan tahminlerde, günümüzden 2070 yılına kadar **düşük** uygunluktan **orta ve üstü** uygunluk değerlerine doğru bir değışim olacağı görülmektedir. Günümüzde aspir yetiştiriciliği açısından **en yüksek** uygunluktaki (0.7-1) alanlar olan Kıyı Ege, Akdeniz'in kıyısı, İçel, Adana ve Güneydoğu Anadolu'ya (sınıra yakın bölgeler ile Hakkâri hariç), 2070 yılında, Marmara ve Orta Karadeniz'in kıyısı da katılacaktır. Günümüzde yetiştiriciliğe **uygun olmayan** (0) Kars, Ardahan, Artvin gibi bölgeler 2070 yılında **düşük uygunluğa** (0-0.2) sahip olacaktır.

3.3 Kanola

Kanola bitkisi yetiştiriciliğinin günümüz ve 2070 yılı için iklimsel uygunluklarının alansal dağılımı ve uygunluk değerlerinin frekans dağılımları Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 6: Kanola bitkisi için uygunluk; (a): Mevcut; (b): 2070.



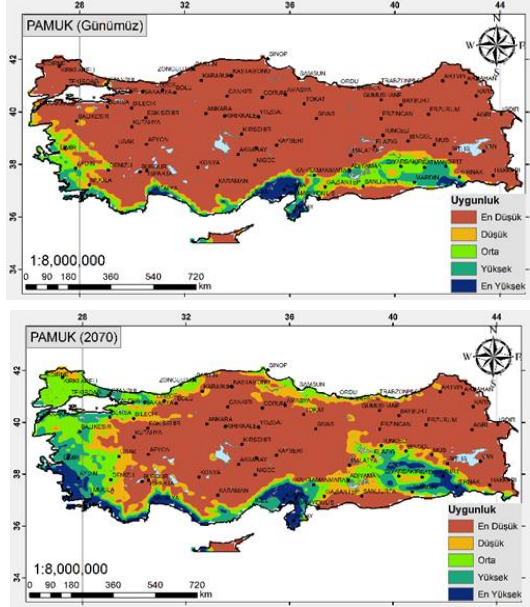
Şekil 7: Kanola için uygunluk değerlerinin frekansları.

Burada günümüz ve gelecekteki iklimsel yetiştirilme uygunluğuna bakıldığında tespit edilen ilk durum, piksellerde yer alan uygunluk değerlerinin giderek **yüksek uygunluk** değerine kaydığıdır (Şekil 7). Bitkinin **en uygun** (0.7-1) yetiştirilme oranına sahip olduğu yerler günümüzde Kıyı Ege, Akdeniz kıyısı, İçel, Adana ve Güneydoğu Anadolu (sınıra yakın bölgeler ile Hakkâri hariç) iken; 2070 yılında özellikle Güneydoğu Anadolu'da uygunluğu 0.7-1 (**yüksek uygunluk**) arasında olan yerlerin, 0.3-0.5 (**orta uygunluk**) uygunluk aralığına sahip olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca Marmara Bölgesi'nin 0.4-0.7 (**orta üstü uygunluk**) arasında olan uygunluk değerinin 2070'de 0.8-0.9'a (**yüksek uygunluk**)

ulaşacağı da öngörülmektedir (Şekil 6). Kanola ile ilgili ulaşılan sonuç, yetiştiriciliğe uygun bölgelerin gelecekte farklılaşacağı şeklindedir.

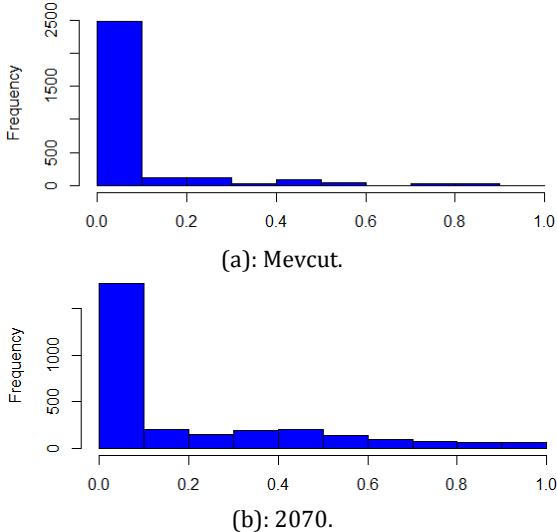
3.4 Pamuk

Pamuk bitkisi yetiştiriciliği için günümüz ve 2070 yılı iklimsel uygunluklarının alansal dağılımı Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 9'da ise, günümüz ve gelecek durum için uygunluk değerlerinin frekansları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 8: Pamuk bitkisi için uygunluk; (a): Mevcut; (b): 2070.

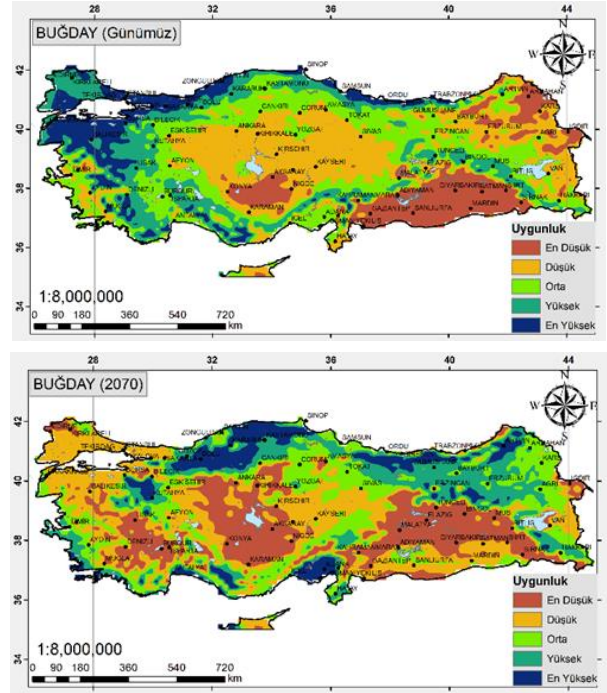
Ülkemizde endüstride oldukça önemli bir yeri olan pamuk bitkisinin günümüzde iklimsel uygunluğa sahip alanları oldukça az iken 2070 yılında bu alanların çarpıcı bir şekilde olmasa da genişleyeceği tespit edilmiştir (Şekil 9). Günümüzde **en uygun** (0.7-1) yetiştiricilik alanlarına sahip bölgeler İçel, Adana ve Hatay'da iken; günümüze göre yetiştiriciliği orta uygunlukta olan Kıyı Ege, Siirt, Batman illerinin yetiştiriciliği de **en uygun** hale gelecektir (Şekil 8). Pamuk bitkisinde, ayrıca, günümüzde yetiştiriciliğe **uygun olmayan** (0) Marmara Bölgesi 2070 yılında 0.3-0.5 (**orta uygun**) arasında uygunluğa ulaşacaktır.



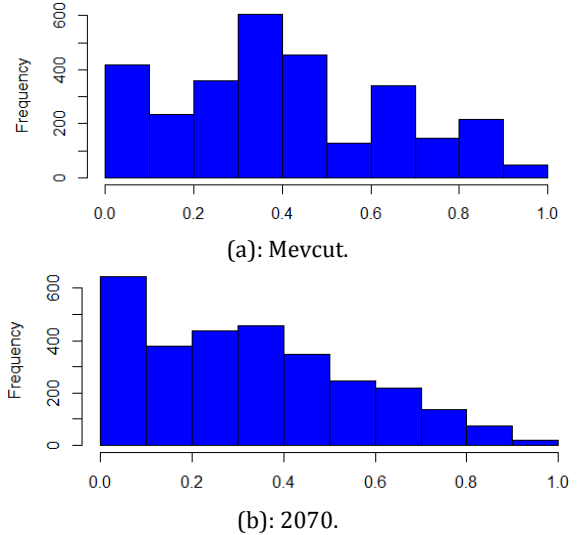
Şekil 9: Pamuk için uygunluk değerlerinin frekansları.

3.5 Buğday

Ülkemizin en önemli gıda ekinlerinden olan buğday için de yetiştiricilik alanlarının günümüz ve 2070 yılı için iklimsel uygunluklarının alansal dağılımı Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 11'de ise, günümüz ve gelecek durum için uygunluk değerlerinin frekansları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Şekil 10 ve Şekil 11'den de açıkça görülebildiği gibi, buğday bitkisi için günümüzdeki mevcut yüksek iklimsel uygunluk 2070 yılında önemli düzeyde azalacaktır.



Şekil 10: Buğday bitkisi için uygunluk; (a): Mevcut; (b): 2070.

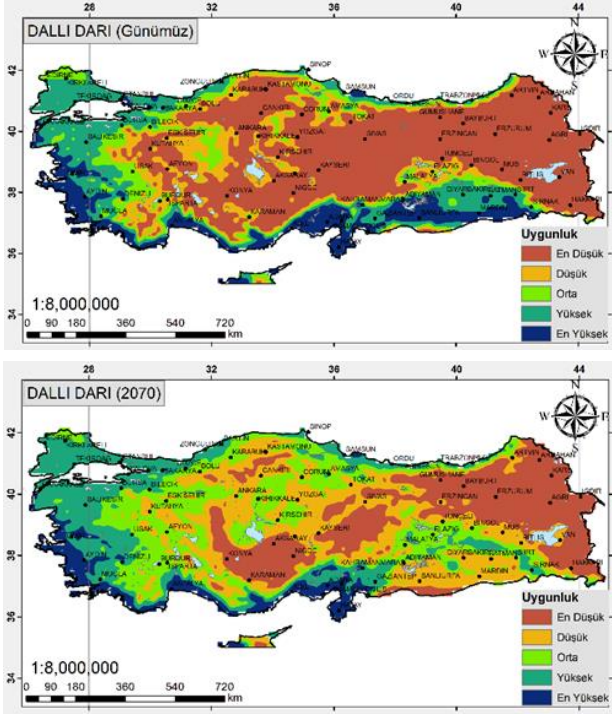


Şekil 11: Buğday için uygunluk değerlerinin frekansları.

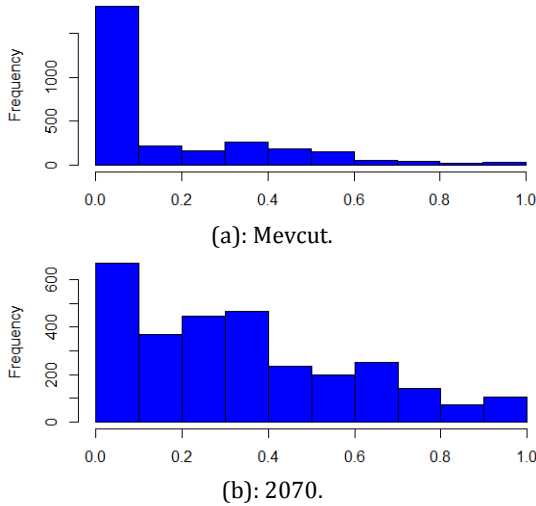
Günümüzde **en uygun** (0.7-1) yetiştiricilik alanlarına sahip bölgeler Marmara, Uşak, Afyon, Antalya, Konya'nın batı kesimi ve Karadeniz kıyıları iken; 2070 yılında bahsedilen bu alanların büyük bir bölümünde uygunluk 0.1-0.3 (**az uygun**) aralığına gerileyecektir. 2070 yılı için öngörülen **en uygun** alanlar ise İçel, Adana, Batı Karadeniz ve Doğu Karadeniz ile Doğu Anadolu'nun kuzeyi olarak tespit edilmiştir (Şekil 10).

3.6 Dalı darı

Çalışmada son olarak incelenen ve ümit vadeden bir enerji bitkisi olan dalı darı bitkisinin ise günümüzde iklimsel uygunluğa sahip alanlarının 2070'de nispeten genişleyeceği öngörülmektedir (Şekil 12 ve Şekil 13).



Şekil 12: Dalı darı bitkisi için uygunluk; (a): Mevcut; (b): 2070.



Şekil 13: Dalı darı için uygunluk değerlerinin frekansları.

Dalı darı bitkisi için **en uygun** (0.7-1) yetiştiricilik alanları çoğunlukla İçel, Adana, Kıy Ege, Güneydoğu Anadolu'nun sınır kesimleri ve Akdeniz kıyısında iken; 2070 yılında bu alanlardan Güneydoğu Anadolu'nun sınır kesimlerinin yetiştiricilik uygunluğu azalacaktır. Kıy Ege'nin Uşak iline kadar olan bölgesi ile İç Anadolu'nun iç kesimlerinin ise yetiştiricilik uygunluğu artacaktır.

4 Sonuçlar

Ülkemiz, topografik yapısının çeşitliliği ve yarı kurak, yarı nemli orta enlem bölgesinde yer alması dolayısıyla tarım ürünü

açısından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Bu nedenle tarım sektörü ülkenin "iklimsel uygun tarımı" sayesinde büyük gelişmeler elde etmiştir.

Tarım ürünlerindeki bu bolluk ve çeşitlilik iklimsel parametrelerden oldukça etkilenmektedir. Bir ekin veya bitki uygun sıcaklık ve yağış değerlerinde büyüyebilmektedir. Bu sıcaklık ve yağış uygunluk aralıkları bitkiden bitkiye değişkenlik gösterir. Bu sebepten ötürü çalışmada mısır, aspir, kanola, pamuk, buğday ve dalı darı bitkileri seçilmiş ve bu bitkilerin hem bugünkü hem de gelecekteki iklimsel verilere tepkisi (uygunluğu) incelenmiştir.

Sonuç haritalardan görüldüğü üzere her bitkinin iklimsel parametrelerin değişimine verdiği tepki farklıdır ve bu parametrelerin değişiminin devam etmesi ile bitkinin göç etmesi veya adaptasyon zorunluluğu yaşaması kaçınılmaz olacaktır.

Çalışmada, mısır, dalı darı ve pamuk bitkilerinin yetiştirilmesine uygun olan alanların nispeten artsa bile günümüze göre önemli ölçüde değişmeyeceği; aspirin uygunluğunun alansal olarak önemli ölçüde genişleyeceği ve kanolaya yönelik uygun alanların yer değiştireceği tespit edilmiştir. Burada önemli ölçüde kaybeden hem alansal olarak değişikliğe ve daralmaya uğrayacak olan ülkemizin başlıca tarım ürünü bitkisi buğdaydır. Öztürk (2002) de gelecekte buğdayın iklim değişikliği nedeniyle zafiyet yaşayacağını belirtmektedir. Bunun yanı sıra buğday ile ilgili çalışmada yapılan tespitlerin yerel olarak yapılan bazı projelerde de doğrulandığı görülmektedir. Soylu ve Sade (2012) tarafından gerçekleştirilen Konya-Karapınar projesinde, buğdayın kurak alanlarda yıllarca ön planda bir çeşit olmasına ve erkencilik özelliğinin de bu durumda büyük bir payı bulunmasına rağmen özellikle 2011-2012 Mart ve Nisan aylarının çok kurak geçmesi sebebi ile veriminin düştüğü belirtilmektedir. Aynı projede iklim değişikliğinin buğday için analiz edilmesinin ve iklim takibinin zorunlu olduğunun da altı çizilmektedir [36]. Ziraat Mühendisleri Odası'nın 2014 yılında buğday tarımı ile ilgili yaptığı değerlendirmelerde de buğdayın gelecekte önemli sorunlar yaşayabileceğinin altı çizilmiştir. Burada yapılan değerlendirmelerde, işlenen tarım alanlarının %56'lık kısmında tahıl ekiminin yapıldığı ve bu alanların %67.4'ünde buğday tarımının gerçekleştirildiği belirtilmiş; üretimin %63'ünün kuru tarım yapılan arazilerden elde edilmesi nedeniyle bu bitkinin yetiştirilebilmesinde yağışın oldukça önemli olduğu ifade edilmiştir. Bu da gelecekte buğdayın yağış miktarındaki azalmadan dolayı zafiyet yaşayacağını bir göstergesidir [37].

Devlet Planlama Teşkilatı'ndan Kıymaz ve Saçlı [38]'nin 2008 yılında tarım ve gıda ürünleri fiyatlarında yaşanan sorunların tespitine ve bu sorunların çözümüne yönelik gerçekleştirdiği çalışmada "hububat ambarı" olarak nitelendirdiği İç Anadolu bölgesinde yaşanan kuraklık ve aşırı sıcakların hububat rekoltesinde önemli kayıplar ortaya çıkardığı ve gelecekte de hava koşullarına bağlı olarak yaşanabilecek bu tip sorunların tarımsal piyasalarda olumsuzluklar yaratacağı endişesi hakimdir [38].

Bu çalışmada, sıcaklık ve yağış deseninin iklim değişikliği sebebiyle değişmesinden ötürü bazı ürün bitkilerinin günümüzde yetiştirilebileceği alanların gelecekte uygun hale gelebileceği; uygun olmayan bölgelerin ise gelecekte uygun hale gelebileceği tespit edilmiştir. Bu durum Başoğlu ve Telatar [39]'ın iklim değişikliğinin etkilerini ekonomik yönden incelediği çalışmasında da doğrulanmaktadır. İncelenen

çalışmada, yağış rejiminde görülecek değişikliklerin tarımsal üretimin azalmasına neden olacağı, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yağışlarda nispeten görülecek artışların ise ürün miktarında artışlara yol açabileceği belirtilmektedir. Çalışmaya göre, ayrıca, orta ve yüksek enlemlerde bazı ürünlerde üretim miktarının artma olasılığı da bulunmaktadır [39].

İklim değişikliği ve muhtemel etkileri tüm dünyada farklı sonuçlar meydana getirebilecektir. Buna örnek olarak Brezilya'nın şeker kamışı tarımı verilebilir. Bugün Brezilya gibi şeker kamışı tarımında önde gelen ülkeler, gelecekte yetiştiriciliğin yapıldığı bölgelerde önemli kuraklık sorunları ile karşılaşabilecektir. Bu durum Brezilya'nın sadece gıda tarımını değil biyoetanol üretimini de etkileyebilecektir [40]. Bunun yanı sıra, Korkmaz [41] Brezilya'da 2050 yılında hava sıcaklığının 3-5°C azalacağını ve yağışlarda ise %11'lik bir artış gerçekleşeceğini belirtmiştir. Bu durum ise buğday (%30) ve mısır (%16) üretiminde artışa; ancak soya üretiminde (%21) azalmaya neden olacaktır [41].

Görüldüğü üzere insanın şiddetlendirdiği iklim değişikliği yine insanın kendisine zarar vermektedir. Yapılan bu ve bunun gibi çalışmaların gelecekte yaşanabilecek sorunlara ışık tutmakla birlikte insanın bu doğanın sahibi değil onun bir parçası olduğu bilincini geliştirmesi de beklentiler arasındadır.

5 Kaynaklar

- [1] Öztürk K. "Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri". *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1), 47-65, 2002.
- [2] Erlat E. *İklim Sistemi ve İklim Değişimleri*. 5. Baskı, İzmir, Türkiye, Ege Üniversitesi Yayınları, 2014.
- [3] IPCC. "Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)". Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2001.
- [4] Maslin M. *Küresel Isınma*. Ankara, Türkiye, Dost Yayınları, 2011.
- [5] Sinn HW. *Yeşil Paradoks: Küresel Isınmaya Karşı Arz Yanlı Yaklaşım*. İstanbul, Türkiye, Koç Üniversitesi Yayınları, 2016.
- [6] Stern N. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge, UK, 2006.
- [7] Lane A, Jarvis A. "Changes in climate will modify the geography of crop suitability: Agricultural biodiversity can help with adaptation". *SAT eJournal*, 4(1), 1-12, 2007.
- [8] Haşlak O. "Küresel ısınmanın toprak ve bitkiler üzerine etkileri". *Üniversite Öğrencileri 2. Çevre Sorunları Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 16-18 Mayıs 2007.
- [9] Denhez F. *Küresel Isınma Atlası*. İstanbul, Türkiye, NTV Yayınları, 2007.
- [10] Türkeş M, Sümer UM, Çetiner G. "Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri". *Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları*, İstanbul, Türkiye, 13 Nisan 2000.
- [11] Kassam AH, van Velthuizen HT, Fischer GW, Shah MM. "Agro-ecological Land Resources Assessment for Agricultural Development Planning-A Case Study of Kenya: Resources Data Base and Land Productivity Main Report". ISBN 92-5103303-X. FAO, Rome, Italy, 1993.
- [12] Olesen JE, Bindi M. "Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy". *European Journal of Agronomy*, 16(4), 239-262, 2002.
- [13] Holzkaemper A, Calanca P, Fuhrer J. "Analyzing climate effects on agriculture in time and space". *Procedia Environmental Sciences*, 3, 58-62, 2011.
- [14] Salinger MJ, Stigter CJ, Das HP. "Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change". *Agricultural and Forest Meteorology*, 103(1-2), 167-184, 2000.
- [15] Kenny GJ, Harrison PA, Olesen JE, Parry ML. "The effects of climate change on land suitability of grain maize, winter wheat and cauliflower in Europe". *European Journal of Agronomy*, 2, 325-338, 1993.
- [16] Kenny GJ, Harrison PA, "The effects of climate variability and change on grape suitability in Europe". *Journal of Wine Research*, 3, 163-183, 1992.
- [17] GRID Arendal. "A Centre collaborating with UNEP". <http://www.grida.no/publications/vg/climate/page/3090.aspx> (12.10.2014).
- [18] Jassogne L, Laderach P, Van Asten P. "The Impact Of Climate Change On Coffee In Uganda: Lessons from a case study in the Rwenzori Mountains". <https://www.oxfamblogs.org/eastafrica/wp-content/uploads/2010/09/rr-impact-climate-change-coffee-uganda-030413-en.pdf> (12.06.2018).
- [19] Ramirez-Villegas J, Jarvis A, Laderach P. "Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum". *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 67-78, 2013.
- [20] Hijmans RJ, Guarino L, Cruz M, Rojas E. "Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS". *Plant Genetic Resources Newsletter*, 127, 15-19, 2001.
- [21] Ceballos H, Ramirez J, Bellotti AC, Jarvis A, Alvarez E. *Adaptation of Cassava to Changing Climates*, Editors: Yadav SS, Redden RJ, Hatfield JL, Lotze-Campen H, Hall AE. Crop Adaptation to Climate Change. First Edition. John Wiley & Sons, Ltd. Blackwell Publishing Ltd., Aptara Inc., New Delhi, India, 2011.
- [22] Beebe S, Ramirez J, Jarvis A, Rao IM, Mosquera G, Bueno JM, Blair MW. *Genetic Improvement of Common Beans and the Challenges of Climate Change*. Editors: Yadav SS, Redden RJ, Hatfield JL, Lotze-Campen H, Hall AE. Crop Adaptation to Climate Change. First Edition. John Wiley & Sons, Ltd. Blackwell Publishing Ltd., Aptara Inc., New Delhi, India, 2011.
- [23] Bakkenes M, Alkemade JRM, Ihle F, Leemans R, Latour JB. 'Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050'. *Global Change Biology*, 8, 390-407, 2002.
- [24] Hughes L. "Biological consequences of global warming: Is the signal already". *TREE*, 15(2), 56-61, 2000.
- [25] Demir A. "Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi". *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 37-54, 2009.
- [26] Prentice IC, Williams S, Friedlingstein P. "Biosphere feedbacks and climate change". <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/grantham-institute/public/publications/briefing-papers/Biosphere-feedbacks-and-climate-change-Briefing-Paper-No-12v2.pdf>, (11.06.2018).

- [27] Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. "Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği". Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2015.
- [28] Eastman JR. *TerrSet Manual*. Clark University, Worcester, MA, USA, 2015.
- [29] Türkeş M. *Genel Klimatoloji: Atmosfer, Hava ve İklimin Temelleri*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye, Kriter Yayınları, 2016.
- [30] Türkeş M. "Küresel iklim değişikliği nedir? temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler". 1. *Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 07-13 Nisan 2007.
- [31] Türkeş M. *İklim Değişikliği ve Küresel Isınma Olgusu: Bilimsel Değerlendirme*. Editör: Karakaya E, Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi. 21-57. İstanbul, Türkiye, Bağlam Yayınları, 2008.
- [32] Eastman JR. *TerrSet Tutorial*. Clark University, Worcester, MA, USA, 2015.
- [33] Aydın F. Enerji Bitkisi Yetiştirilebilecek Alanların Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Desteği ile Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2015.
- [34] Laderach P, Eitzinger A. "Ecocrop suitability modeling". *Data Analysis Workshop and Adaptation Strategy Development*, Arusha, Tanzania, 04-06 June, 2013.
- [35] Eitzinger A, Carmona S, Argote K, Laderach P, Jarvis A. "Climate impacts and resilience in Caribbean agriculture: Assessing the consequences of climate change on cocoa and tomato production in Trinidad & Tobago and Jamaica (CIRCA)". <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/56980/circawp2presentacionjamaica.pdf?sequence=3&isAllowed=y> (12.06.2018).
- [36] Soylu S, Sade B. "İklim Değişikliğinin Tarımsal Ürünlere Etkisi Üzerine Bir Araştırma Projesi". Karapınar Ziraat Odası, Konya, Türkiye, 2012.
- [37] Ziraat Mühendisleri Odası. "Kuraklık ve İklim Değişikliğinin Tarıma Etkisi". http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=21472&tipi=3&sube=13, (14.06.2017).
- [38] Kıymaz T, Saçlı Y. "Tarım ve Gıda Ürünleri Fiyatlarında Yaşanan Sorunlar ve Öneriler". Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Ankara, Türkiye, Yayın No: DPT: 2767, 2008.
- [39] Başoğlu A, Telatar OM. "İklim değişikliğinin etkileri: tarım sektörü üzerine ekonometrik bir uygulama". *Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6, 8-25, 2013.
- [40] Montgomery SL. *Küresel Enerjiye Yön Veren Güçler: 21. Yüzyıl ve Sonrası*. 1. Baskı, Ankara, Türkiye, Tübitak Yayınları, 2010.
- [41] Korkmaz K. "Küresel Isınma ve Tarımsal Uygulamalara Etkisi". *Alatarım*, 6(2), 43-49, 2007.