

Türkiye Ormanlarında Net Birincil Üretim ve Bazı İklim Değişkenleri Arasındaki Zamansal İlişki: 2000-2019

Sinan Bulut^{1,*}

^{1,*} Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 07.09.2023

Kabul: 24.10.2023

Yayın: 15.12.2023

Araştırma Makalesi



Öz – İklim değişikliğinin bitki örtüsü üzerindeki etkilerini araştırmak, aralarındaki etkileşimi yorumlamada faydalı bilgiler sağlamaktadır. Bu tür çalışmalar özellikle karasal ekosistemlerde önemli bir karbon deposu olan ormanlar ile iklim arasındaki karmaşık ilişkileri ortaya çıkarmak için oldukça etkilidir. Bu çalışmada Türkiye ormanlarına odaklanılarak 2000-2019 yılları sürecinde yıllık toplam net birincil üretim (NBÜ) ile ortalama sıcaklık (°C) ve ortalama yağış (mm) parametreleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Çalışmada, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydu görüntüsünden NBÜ haritası, Coordination of Information on the Environment Project (CORINE) sisteminden orman tipleri haritası ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen iklim parametreleri materyal olarak kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgulara göre en düşük yıllık ortalama sıcaklık 12,8 °C (2011), en yüksek ise 15,1 °C (2010, 2018) bulunmuştur. En düşük ve en yüksek yağış miktarı 2008 (493,1 mm) ve 2009 (793,8 mm) yıllarında tespit edilmiştir. 2000-2019 yılları sürecinde Türkiye ormanlarında en yüksek yıllık ortalama NBÜ miktarları 2013 (797,1 gC m² yıl) ve 2019 (795,4 gC m² yıl) yıllarında elde edilmiştir. Orman tipleri arasında 20 yıllık en yüksek ortalama NBÜ geniş yapraklı ormanlar için bulunmuştur (800,7 gC m² yıl). Çalışmanın genel sonucu olarak yıllık ortalama yağış miktarındaki kısmi azalma Türkiye ormanlarının yıllık net üretimini olumsuz yönde etkilememiştir. Yıllık ortalama sıcaklıktaki artış ise ormanların yıllık NBÜ miktarlarına pozitif etki yapmıştır.

Anahtar Kelimeler – Net birincil üretim, iklim, CORINE, MODIS

Temporal Relationship Between Net Primary Production and Some Climate Variables in Türkiye Forests: 2000-2019

^{1,*} Çankırı Karatekin University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Çankırı, Türkiye

Article History

Received: 07.09.2023

Accepted: 24.10.2023

Published: 15.12.2023

Research Article

Abstract – Investigating the effects of climate change on vegetation provides useful information in interpreting the interactions between them. Such studies are particularly effective in revealing the complex relationships between climate and forests, which are an important carbon store in terrestrial ecosystems. In this study, focusing on the forests of Turkey, the relationships between the annual total net primary productivity (NPP), mean temperature (°C) and mean precipitation (mm) parameters during the years 2000-2019 were examined. In the study, the NPP map obtained from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) satellite image, the forest type maps obtained from the Coordination of Information on the Environment Project (CORINE) system and the climate parameters obtained from the General Directorate of Meteorology were used as materials. According to the results obtained in the study, the lowest annual mean temperature was 12.8 °C (2011) and the highest was 15.1 °C (2010, 2018). The lowest and highest precipitation was determined in 2008 (493.1 mm) and 2009 (793.8 mm). During the period 2000-2019, the highest annual mean NPP amounts in Turkish forests were obtained in 2013 (797.1 gC m² year) and 2019 (795.4 gC m² year). Among forest types, the highest 20-year mean NPP was found for broad-leaved forests (800.7 gC m² year). As a general result of the study, the partial decrease in the annual mean precipitation did not negatively affect the annual net production of Turkey's forests. The increase in annual mean temperature had a positive effect on the annual NPP amounts of forests.

Keywords – Net primary productivity, climate, CORINE, MODIS

¹  sbulut@karatekin.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Sinan BULUT

1. Giriş

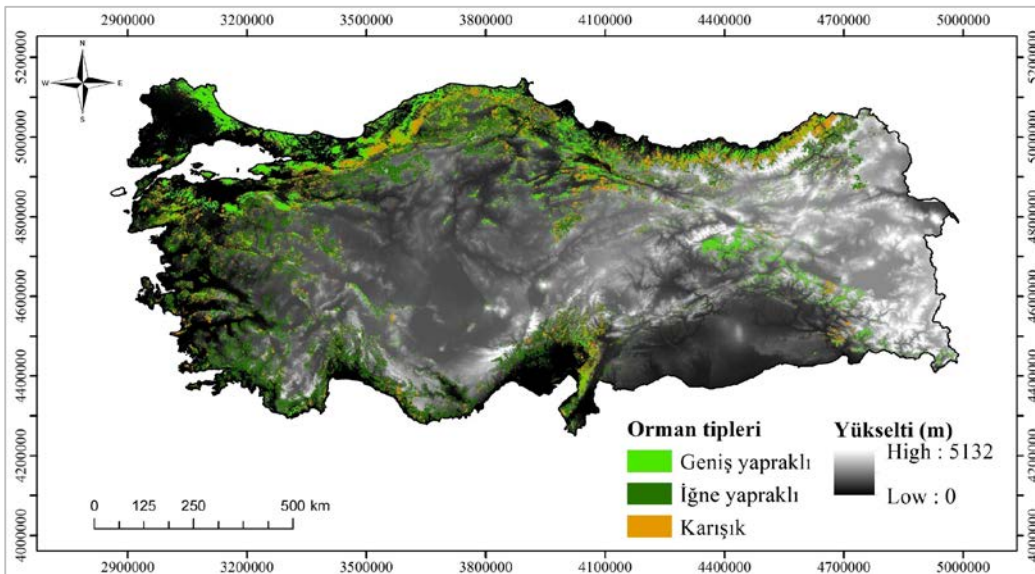
Orman ekosistemleri kereste, yakacak odun, su ve toprağın korunması, karbon tutulması, oksijen üretimi, rekreasyon, estetik, biyolojik çeşitlilik ve yaban hayatı türleri için habitat gibi çeşitli fonksiyonları sağlamaktadır (Başkent ve ark., 2011; Başkent, 2020). Ayrıca karasal ekosistemler içerisinde ormanlar, iklim değişikliği ile mücadele açısından çok önemli işlevlere sahiptir ve orman ekosistemlerinin bu süreçteki rolünü ve etkisini bünyesinde depoladıkları karbon miktarı önemli ölçüde etkilemektedir. Nüfus yoğunluğu, orman yangınları, iklim anormallikleri, böcek zararı ve atmosferik kirleticiler gibi antropojenik ve doğal etkiler, ormanlardaki karbon depolama miktarı üzerinde etkiye sahiptir (Wang ve ark., 2001; Yang ve ark., 2017). Orman ekosistemlerinin bu etkenlere olan tepkisi, bünyesinde depoladıkları net karbon miktarları ile belirlenebilmekte ve değerlendirilebilmektedir (Li ve ark., 2022a; Zhang ve ark., 2023). Ormanların bünyesine kattığı net karbon miktarının zamansal ve konumsal olarak belirlenmesi için net birincil üretim (NBÜ) sıklıkla kullanılan bir parametredir (Bulut, 2021; Chirici ve ark., 2022; Amantai ve ark., 2023).

NBÜ bitkilerin ürettiği toplam karbon miktarı ile ototrofik solunum ile harcadığı miktarın farkıdır. Bitki örtüsünün gelişimini iklime bağlı olarak değerlendirmede, iklim değişikliğinin orman ekosistemleri üzerindeki etkisini yorumlamada ve ekolojik tabanlı modellerde yardımcı değişken olarak kullanılmaktadır (Potter, 1993; Gower ve ark., 1999; Peng ve ark., 2010; Erşahin ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2019). İklim değişikliği senaryoları ile ekosistemlerdeki NBÜ miktarlarının gelecekteki durumları tahmin edilebilmektedir (Dönmez ve ark., 2016; Berberoğlu ve ark., 2021). Bununla birlikte NBÜ, küresel karbon bütçesinin iklim değişikliğinden nasıl etkileneceğini anlamak açısından kritik bir öneme sahiptir (Shoo ve Ramirez, 2010). Orman ekosistemlerinin NBÜ'sü yersel ölçümler ile doğrudan belirlenebilmekte veya istatistiksel ve süreç tabanlı modeller ile tahmin edilebilmektedir. Yersel ölçümler ağaç kesimi gerektirdiği için iş yükü fazla ve zaman alan bir yöntemdir. İstatistiksel modeller bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi vermektedir ve zaman-konum değişkenliğini yansıtmamaktadırlar. Süreç tabanlı modeller ise süreç modellenmektedir. Model yapısında bağımlı değişkeni etkileyen tüm faktörler yar almakta, süreç modellenmekte ve bağımlı değişken tahmin edilebilmektedir (Bulut, 2021). NBÜ'nün belirlenmesindeki bu metotlara ek olarak Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydu görüntüsü hazır NBÜ ürünü sunmaktadır. MODIS tabanlı elde edilen veriler yıllık ölçekte büyük alanlara ilişkin NBÜ'nün yorumlanmasında sıklıkla kullanılmaktadır (Erşahin ve ark., 2016; Wang ve ark., 2022). Bu çalışmada Türkiye ormanları için MODIS uydu görüntüsü kaynaklı NBÜ verileri kullanılmıştır. 2000-2019 yılları süresince ortalama sıcaklık (°C) ve ortalama yağış (mm) ile yıllık toplam NBÜ (gC m² yıl) arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Çalışmada orman tiplerinin 20 yıllık NBÜ (gC m² yıl), ortalama sıcaklık (°C) ve ortalama yağış (mm) miktarlarının belirlenmesi ve aralarındaki etkileşimin irdelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma, Türkiye'deki ormanlık alanların tamamı için gerçekleştirilmiştir. Mevcut orman alanları iğne yapraklı, geniş yapraklı ve karışık orman türlerinden oluşmakta olup, alan miktarları da sırasıyla 10.969.246, 7.405.972 ve 4.557.782 hektardır. Türkiye ormanlarının %47'si iğne yapraklı ormanlardan oluşmaktadır. Geniş yapraklı ve karışık ormanlar ise toplam orman alanının sırası ile %32 ve %21'ni kaplamaktadır (OGM, 2020).



Şekil 1. Çalışma alanı

Türkiye'nin arazi yapısı çoğunlukla kırsal ve dağlık alanlardan oluşmaktadır. Ortalama yükseklik yaklaşık 1141 m'dir ve arazinin %50'sinden fazlasının yükseltisi 1000 m'nin üzerindedir. Türkiye arazisinin yaklaşık %62,5'inin eğimi %15'ten daha fazladır (URL 1). Türkiye, ılıman ile subtropikal iklim kuşakları arasında yer almaktadır. Coğrafi konumu ve yer şekilleri itibari ile farklı iklim tiplerini içerisinde barındırmaktadır. Türkiye kıyı bölgelerinde ılıman iklim özellikleri görülürken, iç kesimlerde karasal iklim özellikleri görülmektedir (Şensoy ve ark., 2008).

2.2. Çalışmada Kullanılan Materyaller

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için 3 farklı veri kaynağı kullanılmıştır (Tablo 1). Bu veri kaynaklarından net birincil üretim (NBÜ), arazi örtü tipleri ve iklim verileri elde edilmiştir. Çalışmada NBÜ verilerinin temini için Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydu görüntüsü kullanılmıştır (<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/>). Kara ve okyanus bölgeleri için veri sağlayan MODIS sensörü 410 ile 15000 nm aralığında dalga boylarına sahip 36 farklı spektral banttan oluşmaktadır. Spektral bantların her biri farklı ürünler sunmakta ve bu çalışmada da NBÜ verilerini içeren MOD17A3HGF ürünü kullanılmıştır. MOD17A3HGF ürünü 500 m konumsal ve 1 yıl zamansal çözünürlüğe sahip NBÜ haritaları içermektedir ve çalışmada kapsamında kullanılmak üzere 2000-2019 yıllarını kapsayan 20 yıl için ayrı ayrı NBÜ haritaları temin edilmiştir.

Arazi kullanımı ve arazi örtüsünün belirlenmesi için en yaygın şekilde kullanılan veri kaynaklarından biri Coordination of Information on the Environment Project (CORINE) sistemidir. Çalışma alanı içerisindeki arazi örtü tiplerini ayırt etmek ve ormanlık alanları belirlemek için CORINE arazi örtü sınıfları kullanılmıştır (<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>). CORINE, periyodik olarak belirlenmiş arazi örtü sınıfları haritalarını kapsamaktadır. Bu haritalar 2000, 2006, 2012 ve 2018 yılları için elde edilmiştir. Bu veri kaynağı sayesinde ilgili yıllar için Türkiye sınırları içerisindeki iğne yapraklı, geniş yapraklı ve karışık ormanların yayılış alanları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan iklim verileri ise ortalama sıcaklık (°C) ve ortalama yağış (mm) verilerini içermektedir. Bu veriler de 2000-2019 periyodu için temin edilmiştir. İlgili iklim parametreleri 20 yıl için yıllık ve aylık ortalama ölçeğinde hazırlanmıştır.

Tablo 1

Çalışmada kullanılan materyallerin tanıtımı

Veri seti	Kullanımı	Kaynak
NBÜ veri seti	Yıllık NBÜ verisi (2000-2019)	MODIS, MOD17A3HGF ürünü
Arazi örtü tipleri	Periyodik arazi örtü tipleri (2000, 2006, 2012, 2018)	CORINE
İklim verisi	Ortalama sıcaklık ve toplam ortalama yağış	Meteoroloji Genel Müdürlüğü

2.3. Orman Tipleri için NBÜ Verilerinin Hazırlanması

MODIS ve CORINE veri kaynaklarından temin edilen NBÜ ve orman tipleri elde edildiği yıllar itibari ile birebir uyumlu değildir. NBÜ verileri 1 yıl ölçeğinde elde edilebiliyorken, arazi örtü tipleri 2000 yılı ve sonrasındaki 6 yıl ara ile elde edilebilmektedir. Bundan dolayı elde edilen arazi örtü tipleri için uygun yıllardaki NBÜ verileri eşleştirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2

MODIS ve CORINE'den elde edilen ürünlerin zamansal olarak eşleştirilmesi

Kaynak	Yıl			
MODIS	2000-2003	2004-2009	2010-2015	2016-2019
CORINE	2000	2006	2012	2018

Zamansal olarak eşleştirme işlemi gerçekleştirildikten sonra CORINE arazi sınıfları haritası içeriğinde geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık orman alanları için arazi kod numaraları belirlenmiştir. İlgili arazi sınıfı kod numaraları geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık orman alanları için sırası ile 311, 312 ve 313'tür. Bu kod sınıflarına göre 2000, 2006, 2012 ve 2018 yılları için geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık orman alanlarının konumsal yayılış haritaları elde edilmiştir. Bu işlem ArcMap yazılımı kullanılarak vektör formatında olan arazi örtü tipleri katmanında "select" fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. Her bir yıl ve kod için ayrı ayrı sorgulama yapılmış ve her bir yıl için orman tiplerinin yayılış haritaları üretilmiştir. Sonrasında üst üste çakıştırılan arazi sınıfı ve MODIS NBÜ haritası kullanılarak, orman tiplerine denk gelen yıllık toplam NBÜ değerleri eşleştirilen yıllara göre elde edilmiştir. 2000-2019 süreci için elde edilen NBÜ verileri, ilgili yıllardaki iğne yapraklı, geniş yapraklı ve karışık orman tipleri için hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Türkiye için 2000-2019 yılları süresince en yüksek ortalama sıcaklık 2010 ve 2018 yıllarında 15,1 °C olarak belirlenmiştir (Tablo 3). En düşük ortalama sıcaklık ise 2000 yılında 13,1 °C'dir. En düşük ortalama sıcak değerleri 2008 yılı ocak

ayında (-0,9°C), en yüksek ise 2010 yılı ağustos ayında (26,9°C) tespit edilmiştir. 2000-2019 periyodunu kapsayan 20 yıllık ortalama sıcaklık değeri 13,8°C'dir. En yüksek ortalama sıcaklıklar temmuz ve ağustos aylarında gerçekleşmiştir (25,2°C).

Tablo 3.

Türkiye için 2000-2019 yıllarını kapsayan aylık ve yıllık ortalama sıcaklık (°C) değerleri

Yıl	Ort.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	13,1	-0,1	1,8	5,1	13,5	16,5	21,3	26,4	24,1	20,1	13,7	9,8	4,7
2001	14,2	4,3	5,0	11,4	12,8	15,8	22,1	26,0	25,3	21,1	14,7	8,0	4,1
2002	13,2	-0,5	5,5	8,7	10,9	16,5	21,6	25,2	23,8	20,0	15,3	9,9	1,4
2003	13,2	5,4	1,2	3,9	10,5	18,3	21,9	24,5	25,0	19,4	15,8	8,7	4,2
2004	13,2	2,3	3,4	8,0	11,6	16,0	21,1	24,2	24,1	20,3	16,0	8,5	2,9
2005	13,3	3,2	3,0	7,0	12,3	16,8	20,6	25,3	25,3	19,9	13,1	7,9	5,3
2006	13,3	0,7	3,3	8,0	12,8	17,0	22,6	24,0	26,6	20,0	15,1	7,3	2,8
2007	13,8	2,4	3,5	7,6	9,9	19,0	22,9	25,7	25,6	21,0	15,9	8,3	3,3
2008	13,6	-0,9	1,1	10,3	14,1	16,2	22,2	25,1	25,9	20,4	14,8	10,1	3,7
2009	13,7	3,0	5,1	6,6	11,3	16,6	22,2	24,5	23,5	19,0	16,6	9,1	7,2
2010	15,1	4,9	6,9	9,2	12,4	17,8	22,0	25,8	26,9	22,0	14,5	11,9	7,3
2011	12,8	3,2	3,6	6,9	10,7	15,6	20,9	25,5	24,4	20,8	12,9	5,0	4,1
2012	13,8	1,4	0,3	4,8	13,8	17,1	23,2	26,0	25,0	21,6	16,6	10,8	5,2
2013	13,8	3,5	5,9	8,6	13,2	18,6	22,0	24,5	24,8	19,8	13,0	10,1	1,5
2014	14,5	4,7	5,6	9,0	13,5	17,3	21,4	25,5	26,0	20,4	14,7	8,5	7,1
2015	13,8	2,6	4,6	7,6	10,7	17,3	20,9	25,1	25,5	23,0	15,7	10,0	3,2
2016	14,0	2,1	7,5	9,0	14,7	16,5	22,3	25,0	25,7	20,0	15,3	8,5	1,2
2017	13,7	0,3	3,0	8,3	11,8	16,4	21,6	25,7	25,4	22,5	14,3	8,9	6,5
2018	15,1	4,4	7,2	11,0	14,6	18,2	21,9	25,4	25,3	21,6	16,0	10,0	5,2
2019	14,4	3,2	5,0	7,6	11,0	18,2	23,1	24,0	25,0	20,8	17,1	11,0	6,2
Ort.	13,8	2,5	4,1	7,9	12,3	17,1	21,9	25,2	25,2	20,7	15,1	9,1	4,4

2000-2019 yılları kapsayan süreçte en düşük yıllık ortalama yağış miktarı 493,1 mm ile 2008 yılında belirlenmiştir (Tablo 4). En fazla yağışın olduğu yıl ise 2009 yılıdır (793,8 mm). Aylık ölçekte en düşük yağış 2000 yılı temmuz ayında (4,0 mm), en fazla yağış ise 2001 yılı aralık ayında (184,6 mm) gerçekleşmiştir. 20 yıllık zaman periyodunda yıllık ortalama yağış 630,7 mm'dir. En az ortalama yağış temmuz ayında (16,6 mm), en fazla ortalama yağış ise ocak ayında (88,4 mm) gerçekleşmiştir.

Tablo 4.

Türkiye için 2000-2019 yıllarını kapsayan aylık ve yıllık ortalama yağış (mm) değerleri

Yıl	Ort.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2000	581,4	99,8	74,6	62,7	70,4	42,6	25,2	4,0	21,9	29,0	55,0	33,6	62,7
2001	694,2	30,3	70,8	46,6	64,3	74,7	10,0	13,5	23,4	21,5	29,3	125,3	184,6
2002	634,0	74,1	36,6	63,1	89,1	29,4	28,2	32,6	27,7	52,4	47,6	61,7	91,4
2003	664,4	72,0	114,8	72,5	75,8	34,7	17,9	12,4	7,1	33,3	71,0	50,9	102,0
2004	607,4	142,4	63,9	38,3	55,6	46,6	32,5	9,6	24,1	10,4	25,7	107,8	50,5
2005	637,2	76,5	75,9	75,4	53,2	43,0	31,7	19,9	16,7	33,4	62,5	88,0	60,9
2006	607,4	77,1	86,7	73,3	50,7	34,6	23,6	18,2	5,8	47,3	94,2	72,6	23,3
2007	596,7	57,1	53,0	55,5	55,1	37,4	29,4	11,3	20,6	14,6	51,9	111,7	99,1
2008	493,1	46,4	42,9	50,0	36,5	36,1	22,8	10,0	10,3	65,5	43,1	63,0	66,6
2009	793,8	100,0	117,4	89,6	57,8	41,5	25,9	37,6	8,8	56,4	43,5	95,9	119,4
2010	703,0	121,0	94,7	52,6	53,1	39,5	55,9	17,6	7,2	21,4	118,3	15,4	106,4
2011	642,2	78,3	64,9	56,0	93,5	66,6	45,5	14,4	13,9	23,5	76,1	34,8	74,7
2012	695,2	122,2	88,8	48,6	46,4	62,2	20,9	13,7	20,7	11,6	50,4	61,2	148,4
2013	547,0	94,6	73,0	57,4	54,7	39,1	23,7	14,7	9,3	26,4	59,7	56,3	38,1
2014	641,6	59,1	24,3	65,7	42,7	55,0	48,9	21,8	23,7	70,0	65,4	66,1	98,9
2015	637,8	104,0	90,7	89,2	51,6	41,0	54,9	6,2	22,9	25,7	91,9	36,9	22,7
2016	605,7	116,5	50,7	67,1	28,1	69,8	32,6	18,5	23,2	38,4	24,5	53,7	82,6
2017	553,4	87,6	19,1	62,2	60,2	61,3	34,8	10,2	14,2	14,2	56,0	64,9	67,1
2018	639,2	80,8	50,2	66,5	17,9	72,9	45,4	19,0	14,4	25,5	58,9	56,6	131,1
2019	639,7	128,2	62,0	57,3	67,9	31,4	43,4	26,8	21,9	21,2	32,2	38,0	109,5
Ort.	630,7	88,4	67,8	62,5	56,2	48,0	32,7	16,6	16,9	32,1	57,9	64,7	87,0

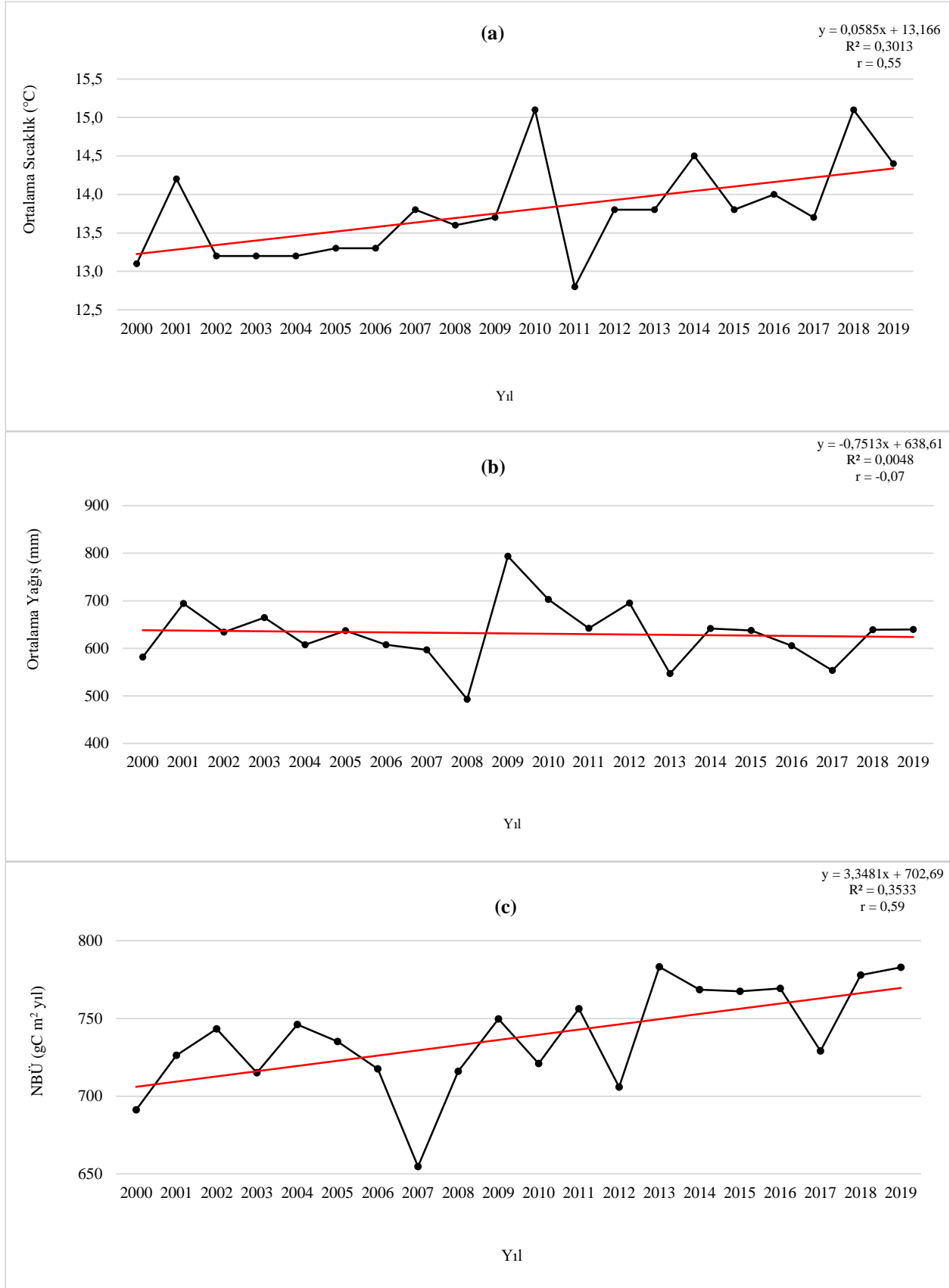
2000-2019 yılları süresince Türkiye'deki geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık ormanların yıllık ortalama NBÜ'sü 668,1 ve 797,1 gC m² yıl arasında değişmektedir (Tablo 5). Türkiye ormanları 2000-2019 yılları sürecinde en düşük yıllık ortalama NBÜ'yü 2007 yılında yapmıştır ve NBÜ miktarları geniş yapraklı, iğne yapraklı ve karışık ormanlar için sırası ile 727,0, 591,2 ve 686,0 gC m² yıl'dır. En yüksek ortalama NBÜ miktarına 2013 (797,1 gC m² yıl) ve 2019 (795,4 gC m² yıl) yıllarında ulaşılmıştır. İlgili orman tipleri içerisinde 20 yıllık süreç için en yüksek NBÜ geniş yapraklı (800,7 gC m² yıl), en düşük NBÜ ise iğne yapraklı (679,2 gC m² yıl) ormanlarda tespit edilmiştir. Türkiye ormanlarındaki yıllık ortalama NBÜ'nün özellikle 2013 yılı ve sonrasında diğer yıllara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.

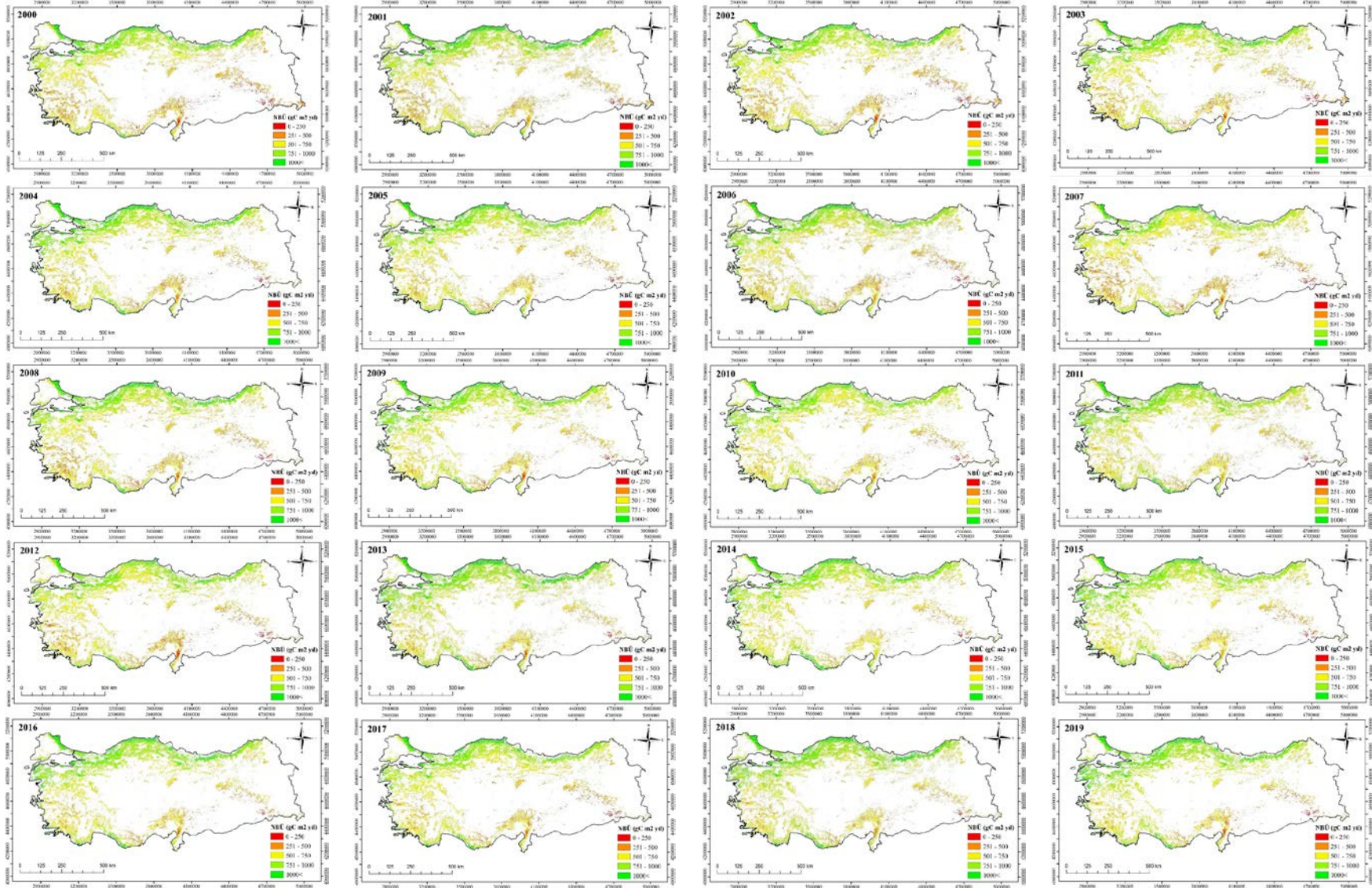
Türkiye orman tipleri için 2000-2019 yılları ortalama NBÜ (gC m² yıl) değerleri

Yıl	Ortalama	Geniş yapraklı orman	İğne yapraklı orman	Karışık orman
2000	698,3	764,4	620,1	710,4
2001	734,7	805,9	644,1	754,2
2002	748,2	790,2	695,6	758,7
2003	722,1	783,3	645,6	737,4
2004	762,3	830,7	670,2	786,0
2005	749,1	806,9	670,5	769,9
2006	731,8	786,5	652,7	756,3
2007	668,1	727,0	591,2	686,0
2008	733,0	798,7	638,7	761,7
2009	763,5	817,4	686,8	786,2
2010	732,9	774,4	670,2	754,0
2011	766,1	805,4	712,0	780,9
2012	719,5	764,9	648,0	745,6
2013	797,1	842,5	724,3	824,5
2014	778,6	813,3	725,5	797,1
2015	786,2	810,4	752,8	795,3
2016	782,7	831,6	709,6	806,8
2017	741,1	786,5	674,9	761,9
2018	790,7	834,9	722,0	815,1
2019	795,4	839,0	728,2	818,9
Ortalama	750,1	800,7	679,2	770,4

Türkiye'nin 2000-2019 yılları süresince ortalama sıcaklık ve yıllık toplam NBÜ miktarlarında artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Yağış miktarında ise zamansal olarak kısmi bir azalış görülmektedir. Ortalama sıcaklık 2001, 2010 2014 ve 2018 yıllarında önceki yıllara göre belirgin şekilde artış göstermiştir. En düşük yıllık ortalama sıcaklık 2011 yılında gerçekleşmiştir (12,8°C). Ortalama toplam yağışın en yüksek olduğu yıl 2009'dur. 2008, 2013 ve 2017 yıllarında ise daha düşük seviyede yağış olduğu belirlenmiştir. En düşük NBÜ 2007 yılında gerçekleşmiştir. NBÜ'nün zamansal seyrinde doğrusal bir artış olsa da 2003, 2007, 2010, 2012 ve 2017 yıllarında NBÜ miktarlarında belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Bu çalışma kapsamında Türkiye geneli yıllık ortalama sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. İlgili yıllardaki NBÜ azalışını genel ortalama veriler ile doğrudan açıklamak mümkün değildir. NBÜ'deki yıllık değişim iklim açısından yıl içerisinde gerçekleşen anormalliklerden veya diğer antropojenik etkenlerden kaynaklı olabilmektedir (Wu ve ark., 2022). Erşahin ve ark. (2016) çalışmalarında Türkiye'de orman NBÜ'sünün 2003 ve 2007 yıllarındaki azalışını tespit etmiş ve bu yıllarda Türkiye'de ciddi bir iklim anormalliğinin yaşandığını raporlamıştır. 2002, 2004 ve 2013 yıllarında ise önceki yıllara göre daha yüksek NBÜ elde edilmiştir. Yıllık toplam NBÜ miktarı 2000'den 2019'a kadar dalgalanmalar göstermiştir. 2011-2019 arasında bitki örtüsüyle kaplı alanların NBÜ'sü artış eğilimi göstermiştir, bu da orman örtüsünün genel büyümesinde iyileşme olduğunu göstermektedir. Türkiye ormanlarının 2000-2019 periyodunda NBÜ'nün konumsal dağılımı Şekil 3'te sunulmuştur. Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz sahil şeridinde iç bölgelere göre yıllık toplam NBÜ'nün daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En düşük NBÜ ise Türkiye'nin güneyinde ve güneydoğusunda yayılmış gösteren ormanlık alanlarda tespit edilmiştir.

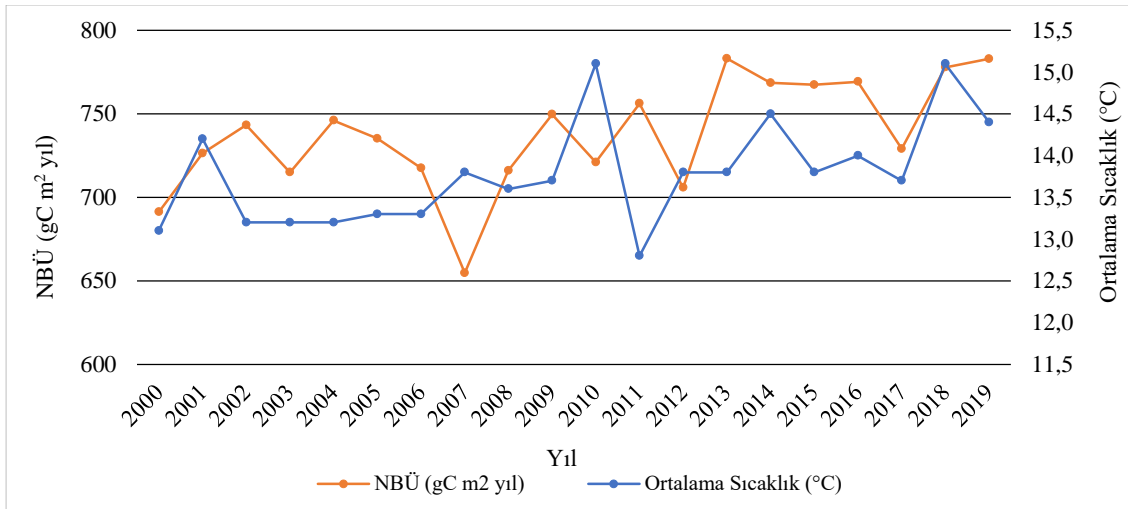


Şekil 2. Türkiye’de 2000-2019 yılları arasında a) ortalama sıcaklık (°C), b) ortalama yağış (mm) ve c) NBÜ (gC m² yıl) değerleri



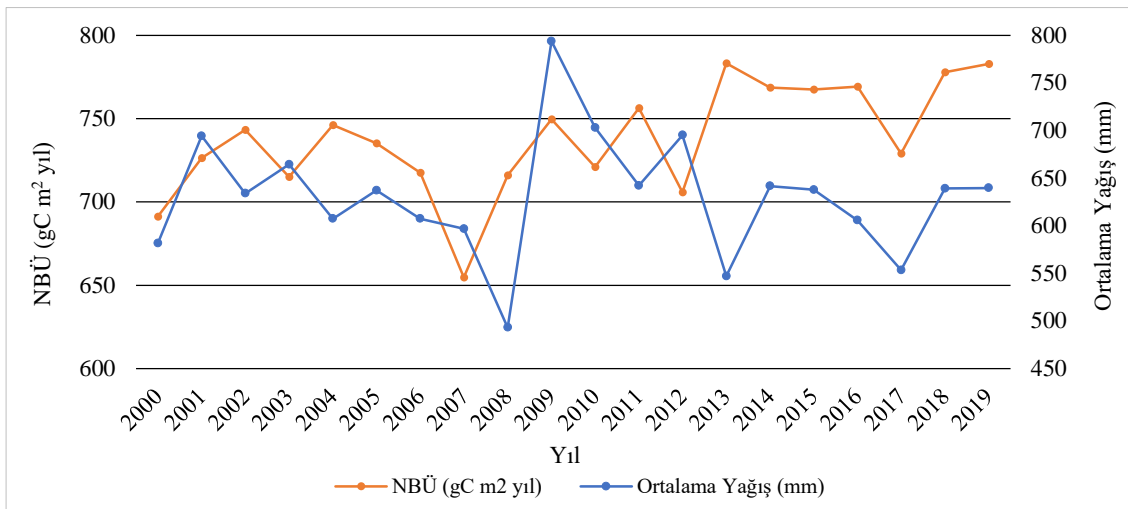
Şekil 3. Türkiye ormanlarının 2000-2019 yılları sürecinde yıllık toplam NBÜ ($\text{gC m}^{-2} \text{yıl}^{-1}$) miktarlarının konumsal dağılımı

2007, 2010, 2011, 2012 ve 2014 yıllarında ortalama sıcaklık ve NBÜ değerleri arasında negatif bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4). Bu yıllarda ortalama sıcaklık artarken NBÜ miktarında azalma meydana gelmiştir. Fakat 2000-2019 sürecinde her iki değişken içinde doğrusal bir artış eğilimi gözlemlenmiştir ($r=0,29$). Özellikle 2012 ve sonraki yıllarda ortalama sıcaklık ile NBÜ arasında daha uyumlu bir zamansal seyir bulunmaktadır. Türkiye’de yıllar itibari ile ortalama sıcaklık artışı, orman ekosisteminde NBÜ’ye artırıcı etki yapmıştır. Sıcaklık artışı NBÜ’ye pozitif etki yapan bir parametre olmakla birlikte optimal fotosentez sıcaklığının aşılması ile negatif etkiler de meydana gelebilmektedir (Bulut, 2021). Nemli bölgelerde sıcaklık artışı NBÜ’yü artırırken, kurak bölgelerde ise azalmasına neden olabilmektedir (Bulut ve ark., 2023). Clark ve ark., (2003) tropikal ormanlarda sıcaklık artışının NBÜ’yü azalttığını bulmuşlardır. Sullivan (2020) maksimum sıcaklığın odun verimliliğini azaltabileceğini ve tropikal ormanlarda toprak-üstü biyokütleyle etkileyen en önemli faktör haline gelebileceğini bulmuştur. Bitkilerin fotosentez yapabileceği sıcaklık değerleri, ürettikleri katı madde miktarları ile ilişkilidir. Optimal sıcaklık değerine kadar artan bir üretim miktarı meydana gelirken, eşik değeri aşıldığında üretim miktarında azalmalar başlar ve sonucunda yıkım meydana gelebilmektedir (Taiz ve Zieger, 2008).



Şekil 4. Türkiye için 2000-2019 yılları arası NBÜ (gC m² yıl) değerleri ile yıllık ortalama sıcaklık (°C) arasındaki ilişkiler

2000-2019 periyodunda genel olarak yağışın kısmen azaldığı ve NBÜ miktarında ise yükselişin meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 5). 2002, 2003, 2004, 2005, 2011, 2012 ve 2013 yılları için yağış ve NBÜ arasında negatif yönlü ilişkiler tespit edilmiştir. 2000-2019 yılları süresince yağış ve NBÜ’nün değişiminde önemli düzeyde bir benzerlik bulunmamıştır ($r=0,08$). Araştırmanın yapıldığı son 5 yılı kapsayan periyotta ise zamansal değişimleri benzerdir. 2014 ve 2019 yılları arasında yağış miktarı ve NBÜ arasında oldukça uyumlu bir zamansal seyir belirlenmiştir. Özellikle bu periyotta ortalama sıcaklık değerlerindeki artış sonrasında yağışlar orman örtüsündeki net üretimi yönlendirmiştir. Ji ve ark., (2020) yaptıkları çalışmada orman ekosistem NBÜ’sünün 2000-2018 yılları için zamansal değişimini incelemiştir. Bulgulara göre NBÜ yıllara göre artış göstermiş ve meydana gelen bu artışta en önemli faktörün yağış olduğu belirlenmiştir. Yağış faktörü NBÜ üzerinde oldukça önemli ve bitkisel üretim sürecine etki eden bir parametredir.



Şekil 5. Türkiye için 2000-2019 yılları arası NBÜ (gC m² yıl) değerleri ile ortalama yağış (mm) arasındaki ilişkiler

Sıcaklık ve yağış faktörleri NBÜ'ye etki eden en önemli iklim değişkenleri arasında yer almaktadır. NBÜ'nün sıcaklık ve yağış ile arasındaki ilişkiler, bitki örtüsünün iklime verdiği tepkiyi değerlendirmek için oldukça önemlidir. Erşahin ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada 2000-2010 yılları süresince MODIS kaynaklı NBÜ verisi kullanarak Anadolu ormanlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında, Türkiye'de meydana gelen iklimsel anormalliklerin orman ekosisteminde gerçekleşen NBÜ'yü kısa vadede etkilediğini bulmuşlardır. Chen (2015) çalışmasında Batı Kanada'nın kuzey ormanlarında net toprak-üstü biyokütlesi üzerindeki iklim değişikliği etkilerini incelemiştir. Sıcaklığın sürekli artmasının ve su varlığındaki azalmanın orman biyokütlesi üzerinde derin olumsuz etkilerinin olduğunu bulunmuştur. Li ve ark., (2022b) yapmış olduğu çalışmada ormansızlaşmanın neden olduğu ısınma ve kurumanın Amazon'da %5,1 ila %3,7 oranında toprak-üstü biyokütle kaybına neden olduğunu bulunmuştur. Sıcaklık ve yağış birlikte değerlendirildiğinde sıcaklığın optimal fotosentez sıcaklığına kadar artması ve yağışın yeterli miktarlarda devam ederek su açığının oluşmaması NBÜ'yü pozitif yönde etkilemektedir. Bu şartlar sağlanmadığı takdirde NBÜ'de azalmalar meydana gelebilmektedir.

NBÜ sadece sıcaklık ve yağıştan etkilenen bir değişken değildir, NBÜ'ye etki eden çok sayıda faktör bulunmaktadır. NBÜ'ye etki eden iklim parametreleri arasında en yaygın olanlar sıcaklık ve yağışın yanında solar radyasyondur (Wu ve ark., 2022). Bunlara ek olarak NBÜ, topografik ve antropojenik faktörlerden de etkilenmektedir. Dönmez ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada yükselti ve NBÜ arasında ilişkinin negatif yönlü olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Bulut (2021) çalışmasında yükselti artışı ile NBÜ miktarlarında azalma meydana geldiğini, yükseltinin fazla olduğu bölgelerde bitkisel üretim kabiliyetlerinin zayıfladığını raporlamıştır. Meşcere yaşı, kapalılığı ve gelişim çağı gibi özellikler de ormanlarda meşcerelerin NBÜ'sünü önemli ölçüde etkilemektedir (Bilgili ve ark., 2020; Bulut ve ark., 2019). Wang ve ark. (2011) çalışmalarında farklı orman tipleri için meşcere yaşına göre NBÜ'nün değişimini araştırmışlardır. Meşcerelerin ortalama 50 yaşına kadar en yüksek NBÜ miktarına ulaştığı ve daha sonraki yaşlarda NBÜ'nün azaldığını bulmuşlardır. Ryan ve ark., (2004) NBÜ miktarının yaşlı meşcerelerde yarıya kadar, Luysaert ve ark., (2008) ise üçte birine kadar düşebileceğini raporlamıştır. Orman ekosistemlerinde NBÜ toprak, bitki özellikleri, bir dizi doğal ve insan kaynaklı faktörler dahil olmak üzere birçok etkene karşı da duyarlıdır (Field et al., 1995).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye ormanlarındaki NBÜ'nün 2000-2019 yılları sürecinde zamansal değişimi incelenmiştir. Ayrıca bu süreçteki yıllık ortalama sıcaklık ve yağış ile NBÜ'nün zamansal değişimi ortaya konmuştur. Araştırmanın yapıldığı 20 yıllık süreçte sıcaklığın ve NBÜ'nün artış gösterdiği, yağışın ise kısmen azaldığı belirlenmiştir. Türkiye ormanlarında yıllar arasında en yüksek NBÜ miktarı (797,1 gC m² yıl) 2013 yılında gerçekleşmiştir. Orman tipleri arasında ise en yüksek ortalama NBÜ geniş yapraklı ormanlarda 800,7 gC m² yıl olarak belirlenmiştir. Türkiye'deki sıcaklık ve yağış şartları ilgili periyotta ormanların NBÜ'süne pozitif yönde katkı sağlamıştır. Elde edilen bulgular NBÜ'nin 20 yıllık periyottaki zamansal değişimini, sıcaklık ve yağış ile olan etkileşimini ve ilişkisini sunmaktadır. Yıllık değişimleri incelendiğinde NBÜ ile sıcaklık arasında 0,29 ve yağış ile arasında 0,07 korelasyon bulunmaktadır. Bu ilişkilerin düşük seviyede olması NBÜ'yü etkileyen ve kontrol eden daha birçok faktörün olduğunu göstermektedir. NBÜ dinamiklerinin ve etkileşimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için solar radyasyon gibi diğer iklim parametrelerinin, arazi kullanım değişiklikleri ve yönetim şekilleri gibi antropojenik etkenlerin de araştırılması önem arz etmektedir. Bu tür çalışmaların çeşitlenerek iklim senaryoları ile gelecekteki NBÜ ve iklim parametreleri arasındaki ilişkilerin anlaşılması, Türkiye ormanlarının iklim değişikliğinden ne derece etkileneceği ve net karbon bütçelerinin nasıl olacağı hakkında bilgi edinilmesi literatüre ve araştırmacılara katkı sağlayacaktır.

Teşekkür

Meteoroloji Genel Müdürlüğüne veri temini için teşekkür ederiz.

Yazar Katkıları

Sinan Bulut: Makaleyi tasarlamış, veri toplamış, analizi yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Amantai, N., Meng, Y., Song, S., Li, Z., Hou, B., and Tang, Z. (2023). Spatial-temporal patterns of interannual variability in planted forests: NPP time-series analysis on the Loess Plateau. *Remote Sensing*, 15(13), 3380.
- Başkent, E.Z., Keleş, S., Kadioğulları, A.İ., and Bingöl, Ö. (2011). Quantifying the effects of forest management strategies on the production of forest values: timber, carbon, oxygen, water, and soil. *Environmental Modeling & Assessment*, 16, 145-152.

- Başkent, E.Z. (2020). A framework for characterizing and regulating ecosystem services in a management planning context. *Forests*, 11(1), 102.
- Berberoglu, S., Donmez, C., and Cilek, A. (2021). Modelling climate change impacts on regional net primary productivity in Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 193, 1-15.
- Bilgili, B.C., Erşahin, S., Kavaklıgil, S.S. and Öner, N. (2020). Net primary productivity of a mountain forest ecosystem as affected by climate and topography. *CERNE*, v. 26, n. 3, p.356-368.
- Bulut, S., Şatır, O. and Günlü, A. (2019). Determining the interactions of black pine net primary productivity and forest stand parameters in northern Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*.
- Bulut, S. (2021). Ankara Orman Bölge Müdürlüğü saf Karaçam meşcerelerinde net birincil üretim ve yaprak alan indeksinin uzaktan algılama teknikleri ile modellenmesi. Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 148 s.
- Bulut, S., Günlü, A., and Şatır, O. (2023). Estimating net primary productivity of semi-arid Crimean pine stands using biogeochemical modelling, remote sensing, and machine learning. *Ecological Informatics*, 76, 102137.
- Chen, H.Y.H. and Luo, Y. (2015). Net aboveground biomass declines of four major forest types with forest ageing and climate change in western Canada's boreal forests. *Glob. Chang. Biol.* 21, 3675–3684.
- Chen, Y., Wang, J., Xiong, N., Sun, L., and Xu, J. (2022). Impacts of land use changes on net primary productivity in urban agglomerations under multi-scenarios simulation. *Remote Sensing*, 14(7), 1755.
- Chirici, G., Chiesi, M., Fibbi, L., Giannetti, F., Corona, P., and Maselli, F. (2022). High spatial resolution modelling of net forest carbon fluxes based on ground and remote sensing data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 316, 108866.
- Dönmez, C. Berberoglu, S. and Cilek, A. (2015). Spatial variations of NPP in different altitudes at a mediterranean watershed. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(7); 2264–2274.
- Dönmez, C. Berberoglu, S. Cilek, A. and Evrendilek, F. (2016). Spatiotemporal modeling of net primary productivity of eastern mediterranean biomes under different regional climate change scenarios. *International Journal of Environmental Research*, 10(2); 341–356.
- Erşahin, S., Bilgili, B.C., Dikmen, Ü. and Ercanlı, İ. (2016). Net primary productivity of Anatolian forests in relation to climate, 2000–2010. *Forest Science*, 62(6), 698-709.
- Field, C.B., Randerson, J.T., and Malmström, C.M. (1995). Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote sensing of Environment*, 51(1), 74-88.
- Gower, S.T., Kucharik, C.J. and Norman, J.M. (1999). Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote sensing of environment*, 70(1), 29-51.
- Ji, Y., Zhou, G., Luo, T., Dan, Y., Zhou, L. and Lv, X. (2020). Variation of net primary productivity and its drivers in China's forests during 2000–2018. *Forest Ecosystems*, 7(1), 1-11.
- Li, T., Li, M., Ren, F., and Tian, L. (2022a). Estimation and spatio-temporal change analysis of NPP in subtropical forests: A case study of Shaoguan, Guangdong, China. *Remote Sensing*, 14(11), 2541.
- Li, Y., Brando, P.M., Morton, D.C., Lawrence, D.M., Yang, H., and Randerson, J.T. (2022b). Deforestation-induced climate change reduces carbon storage in remaining tropical forests. *Nat. Commun.* 2022, 13, 1–13.
- Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P. and Grace, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*, 455(7210), 213-215.
- Peng, D., J. Huang, A.R. Huete, T. Yang, P. Gao, Y. Chen, H. Chen, J. Li, and Z. Liu. (2010). Spatial and seasonal characterization of net primary productivity and climate variables in southeastern China using MODIS data. *Journal of Zhejiang University (Science B)*, 11(4):275–285.
- Potter, C.S., Randerson, J.T., Field, C.B., Matson, P.A., Vitousek, P.M., Mooney, H.A. and Klooster, S.A. (1993). Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles*, 7, 811–841.
- Ryan, M.G., Binkley, D., Fownes, J.H., Giardina, C.P. and Senock, R.S. (2004). An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. *Ecological Monographs*, 74(3), 393-414.
- Shoo, L.P., and Ramirez, V.V. (2010). Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature: comment. *Ecology*, 91(3), 921-923.
- Sullivan, M.J.P., Lewis, S.L., Affum-Baffoe, K., Castilho, C., Costa, F., Sanchez, A.C., Ewango, C.E.N., Hubau, W., Marimon, B., Monteagudo-Mendoza, A., ..., and Vargas, P.N. (2020). Long-term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science* 2020, 368, 869–874.
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U. ve Balta, I. (2008). Türkiye iklimi. Turkish State Meteorological Service (DMİ), Ankara.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2008). *Plant physiology*. Sinauer Associates, Inc., Publishers, ISBN: 0-87893-823-0.
- URL 1. Erişim adresi https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye_co%C4%9Frafyas%C4%B1.
- Wang, X.K., Feng, Z.W. and Ouyang, Z.Y. (2001). The impact of human disturbance on vegetative carbon storage in forest ecosystems in China. *For. Ecol. Manag.*, 148, 117–123.
- Wang, S., Zhou, L., Chen, J., Ju, W., Feng, X. and Wu, W. (2011). Relationships between net primary productivity and stand age for several forest types and their influence on China's carbon balance. *Journal of Environmental Management*, 92(6), 1651-1662.

- Wang, Z., Wang, H., Wang, T., Wang, L., Huang, X., Zheng, K., and Liu, X. (2022). Effects of environmental factors on the changes in MODIS NPP along DEM in global terrestrial ecosystems over the last two decades. *Remote Sensing*, 14(3), 713.
- Wu, Y., Luo, Z., and Wu, Z. (2022). The different impacts of climate variability and human activities on NPP in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. *Remote Sensing*, 14(12), 2929.
- Yang, J., Ji, X., Deane, D. C., Wu, L., and Chen, S. (2017). Spatiotemporal distribution and driving factors of forest biomass carbon storage in China: 1977–2013. *Forests*, 8(7), 263.
- Zhang, M., Lin, H., Wang, G., Sun, H. and Cai, Y. (2019). Estimation of vegetation productivity using a Landsat 8 time series in a heavily urbanized area, Central China. *Remote Sensing*, 11(2), 133.
- Zhang, W., Yang, Y., Hu, C., Zhang, L., Hou, B., Wang, W., ... and Li, Y. (2023). NPP and carbon emissions under forest fire disturbance in Southwest and Northeast China from 2001 to 2020. *Forests*, 14(5), 999.