



Orman ağaçlarında depolanan karbon miktarının konumsal ve zamansal değişiminin analiz edilmesi: Alara planlama birimi örneği

Yusuf Yaman¹, Sedat Keleş^{2*}

¹ Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendislięi ABD, 18200, Çankırı

² Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendislięi Bölümü, 18200, Çankırı

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 24/02/2023

Kabul Tarihi: 27/03/2023

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1255843>

* Sorumlu yazar:

dr.sedatkeles@gmail.com

ÖZ

Orman ekosistemleri topluma ve çevreye çeşitli ürün ve hizmetler sunan önemli doğal kaynaklarından bir tanesidir. Karbon depolama önemli bir orman fonksiyonu olup, günümüzde en önemli küresel ve ekolojik endişelerden biri olan iklim değişikliğini önleme ve kontrol etme açısından, orman ekosistemleri önemli bir rol ve görev üstlenmektedir. Bu çalışmada öncelikle, Türkiye'nin güneyinde yer alan Alara Orman

Planlama Biriminin, 1997-2018 yılları arası arazi kullanım değişimi ile orman yapı ve kuruluşunda meydana gelen konumsal ve zamansal değişimi analiz edilmiştir. Daha sonra orman ekosisteminde meydana gelen değişimin orman biyokütlesinde depolanan karbon miktarı üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda planlama biriminde 21 yıllık süreçte; orman alanı miktarında %2,3 azalma, boşluklu kapalı orman alanında %62 oranında azalma, yerleşim ve ziraat alanında %6,8 azalma ile normal kapalı orman alanı miktarında %15'lik bir artış olduğu belirlenmiştir. Meşcere gelişim çağı ve kapalılık itibariyle orman yapısında önemli ve olumlu bir gelişimin olduğu gözlenmiştir. Orman yapı ve kuruluşundaki olumlu gelişmelere bağlı olarak, 2018 yılında 1997 yılına göre orman biyokütlesinde depolanan karbon miktarında %10'luk bir artış olduğu tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, coğrafi bilgi sistemleri, karbon depolama, orman yapı ve kuruluşu

Arařtırma Makalesi

Spatial and temporal analysis of the amount of carbon stored in forest trees: A case study in Alara forest planning unit

ABSTRACT

Forest ecosystems are one of the most important natural resources that provide various goods and services to the society. Carbon storage is an important forest function, and forest ecosystems play an important role in preventing and controlling climate change, which is one of the most important global and ecological concerns today. In this study, first of all, the spatial and temporal changes in the forest structure and composition with the land use change between 1997-2018 of the Alara Forest Planning Unit located in the south of Turkey were analyzed. Then, the effects of the change in the forest ecosystem structure and composition on the amount of carbon stored from the forest biomass were investigated. As a result of the study, in the planning unit in the 21-year period; it is found that there is a 2.3% decrease in the amount of forest area, a 62% decrease in the degraded forest area, a 6.8% decrease in the settlement and agricultural areas and a 15% increase in the productive forest area. It has been observed that there is an important and positive development in the forest structure in terms of stand development stage and canopy closure. Depending on the positive developments in forest structure and composition, it was estimated that there was a 10% increase in the amount of carbon stored in forest biomass in 2018 compared to 1997.

Key Words: Biomass, geographical information systems, carbon storage, forest structure and composition

Bu makaleye atf:

Yaman, Y., Keleş, S., 2023. Orman ağalarında depolanan karbon miktarının konumsal ve zamansal değişiminin analiz edilmesi: Alara planlama birimi örneği. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(1), 28-41.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Orman ekosistemleri topluma farklı fonksiyonlar sunmaktadır. Bunlar genel olarak ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel fonksiyonlar adlı başlıklarda toplanmaktadır. Atmosferdeki karbondioksit miktarının artmasının sonucu olarak meydana gelen iklim değişikliği ile ilgili küresel ve çevresel endişeler, orman ağaçları tarafından atmosferden tutulan karbon depolama fonksiyonunun, orman amenajman planlarına bir amaç olarak entegre edilmesine yol açmıştır. Çünkü orman ekosistemleri, karbon havuzunun önemli bir parçasıdır. Diğer taraftan, orman ekosistemleri dinamik bir yapıya sahiptir (Brown et al., 1999; Loque, 2000; Chen et al., 2001; Kennedy and Spies 2004; Echeverria et al., 2006).

Ormanların yapı ve kuruluşunda meydana gelen değişimler ormanların sunmuş olduğu fonksiyonların miktar ve kalitesini etkilemektedir. Orman ekosistemleri, doğal veya insan kaynaklı olarak meydana gelen dışarıdan müdahalelere bağlı olarak zamanla değişim göstermektedir (Matsushita et al., 2006). Ormanların yapı ve kuruluşunda meydana gelen bu değişimin boyutu; müdahalelerin türüne, yoğunluğuna ve etkinliğine bağlı olarak sürekli bir biçimde değişmektedir. Bu önemli karbon havuzunun büyüklüğü ve verimliliğinde yapılacak değişiklikler, orman ekosistemlerinin bir karbondioksit kaynağı veya deposu olarak davranmasına neden olabilmektedir (Turner et al., 1996; Verburg et al., 1999; Wakeel et al., 2005).

Özellikle son yıllarda, kentleşme, arazi kullanım değişikliği, ormansızlaşma ve endüstrileşme gibi nedenlere bağlı olarak sera gazlarının yoğunluğunda gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. Atmosferdeki sera gazlarının artması ise beraberinde birçok sorunun ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapılan bilimsel çalışmalar, yeryüzünün gittikçe ısındığına işaret etmektedir (Turner et al., 1996; Matsushita et al., 2006). Küresel ısınmanın bir sonucu olarak ise gelecekte insanlarla birlikte biyolojik çeşitliliğinin olumsuz olarak etkileneceği belirtilmektedir (Verburg et al., 1999; Wakeel et al., 2005). Bu kapsamda, atmosferdeki sera gazlarının azaltılması ve iklim değişikliğinin önlenmesi veya yavaşlatılmasında ormancılığa önemli görevler düşmektedir. Çünkü orman ekosistemleri atmosferdeki sera gazlarından özellikle karbondioksiti depolayan en önemli karbon havuzunu oluşturmaktadır. Bu yüzden orman ekosistemlerinde depolanan karbon miktarının uygun yöntem veya yaklaşımlarla tahmin edilerek, depolanan karbonun zamansal değişiminin ortaya konulması büyük önem arz etmektedir.

Orman ekosistemlerinin sunmuş olduğu tüm ekolojik, ekonomik ve sosyo-kültürel fonksiyonlardan, toplumun en iyi şekilde yararlandırılması ve orman ekosistem dengesinin korunması orman amenajman planları ile gerçekleştirilmektedir (Keleş ve Başkent 2006; Keleş et al., 2011; Anlar ve ark., 2015; Keleş, 2016). Diğer bir ifadeyle, orman amenajmanı bir düzenleme ve kontrol mekanizması görevini üstlenmektedir. Diğer taraftan, orman amenajman planları, pek çok sektör tarafından ihtiyaç duyulan önemli verileri sayısal olarak içinde barındıran önemli bir bilişim kaynağıdır. Bu planlardan elde edilen sayısal veriler yardımıyla gerek bölgesel gerekse ülke düzeyinde orman kaynaklarında meydana gelen konumsal ve zamansal değişim incelenebilmekte ve geleceğe yönelik kararların alınması sağlanabilmektedir. Ancak tek başlarına

orman kaynaklarının konumsal ve zamansal değişimini incelemek için yeterli değildir. Günümüzde, coğrafi bilgi sistemleri gibi bilişim teknolojileri pek çok alanda olduğu gibi ormancılıkta da yoğun ve etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Orman ekosistemlerinin konumsal ve zamansal değişiminin ortaya konulması ise bu alanlardan sadece bir tanesidir.

Bu doğrultuda hazırlanan makalede, i) Örnek bir devlet orman işletmesinde (Alara Planlama Birimi), 1997-2008-2018 orman amenajman planları yardımıyla, orman ekosistem yapı ve kuruluşunun ortaya konulması ve üç dönem için konumsal ve zamansal değişiminin analiz edilmesi, ii) orman ekosisteminde orman biyokütlesi ve bu biyoküttele depolanan karbon miktarının zamansal olarak hesaplanması ve haritalanması ve iii) Orman ekosisteminin yapı ve kuruluşunda meydana gelen zamansal değişikliklerin, orman biyokütlesi ve karbon depolama miktarları üzerine etkilerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır.

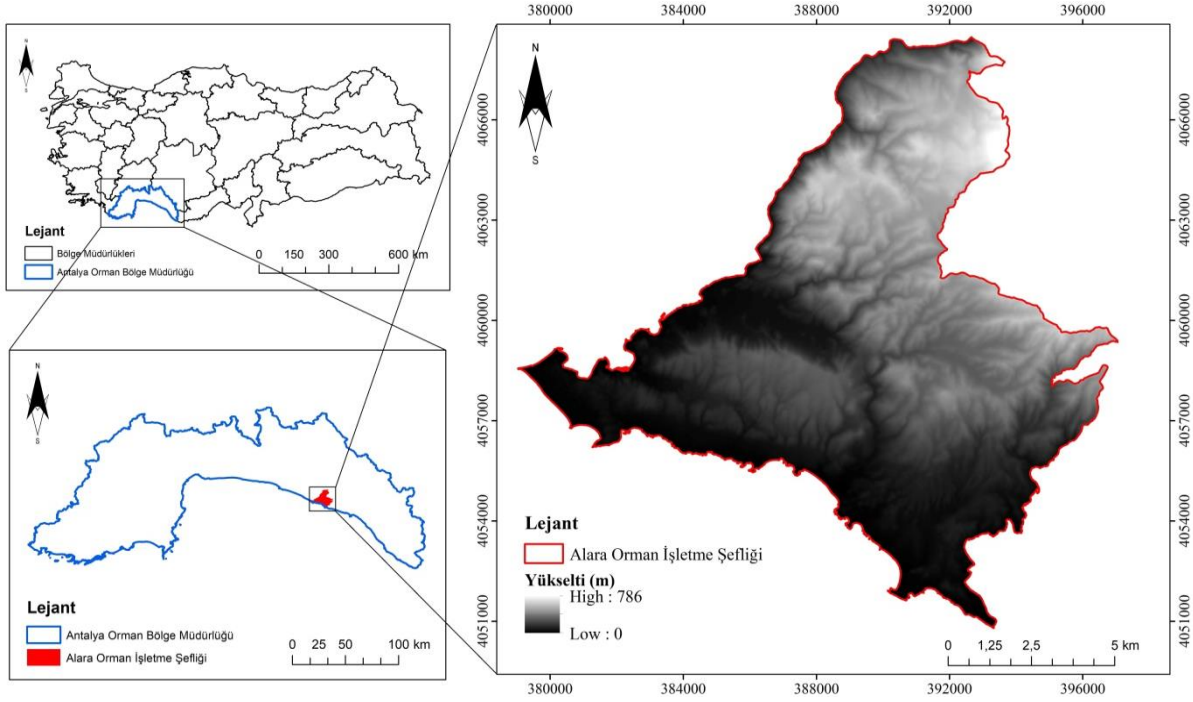
2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı, günümüzde Avsallar ve Alara Orman İşletme Şeflikleri olarak gösterilen 2017 yılında Alara Orman İşletme Şefliği adı altında birleşik olarak planlanmış bölgedir. Antalya ili, Alanya ilçesi sınırları arasında kalmaktadır. İdari açıdan Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Alanya Orman İşletme Müdürlüğüne bağlıdır. Coğrafi olarak ülkemizin Akdeniz Bölgesinde kalmaktadır. Ekvatora göre; 36° 00' 32" - 36° 45' 21" kuzey enlemleri, Greenwich'e göre; 31° 38' 47" - 31° 50' 52" doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanının en yüksek rakımlı yeri; şefliğin kuzey doğusunda bulunan Gaca Tepesi 788 m'dir. En düşük rakımlı yeri ise 0 m ile Akdeniz sahil şerididir. Asli ağaç türü kızılçam olmakla birlikte, 2018 yılı orman amenajman planı verilerine göre kısmi olarak fıstık çamı ve kızılçam ağırlıklı makilik alanlar planlama biriminde yer almaktadır.

2.2 Verilerin elde edilmesi

Antalya Orman Bölge Müdürlüğü Alanya Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Alara Orman İşletme Şefliği (Planlama Birimi) çalışma alanı olarak seçilmiştir. Alan seçiminde, ilgili planlama biriminin sayısal altlıklarının (orman amenajman tabloları, meşcere haritaları, orman fonksiyon haritaları, eş yükselti eğrileri vs.) ilgili kamu kurumlarında kısmen de olsa hazır olarak bulunması ve kolayca elde edilebilir olması belirleyici unsur olmuştur. Planlama biriminin son üç döneme ait (1997, 2008 ve 2018) orman amenajman planları CBS ortamında sayısallaştırılıp konumsal veri tabanı kurulmuştur. Planlama birimindeki orman ekosisteminin yapı ve kuruluşu (arazi kullanımı, yaş sınıfları, ağaç türü karışımı, kapalılık, gelişim çağları vs.) ortaya konulmuştur. Bu aşamada amenajman planlarında yer alan aktüel kuruluş ile ilgili tablolar ve meşcere haritalarından faydalanılmıştır. Her türlü sayısallaştırma, sorgulama, analiz ve haritalama işlerinde ArcGIS Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında veri tabanı kurulurken, yaş sınıfı dağılımı, gelişim çağları ve kapalılık sınıfları belirlenirken orman amenajman yönetmeliğine uygun olarak hareket edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

2.3 Biyokütle ve karbon depolama miktarlarının hesaplanması

Bu çalışmada topraküstü ve toprakaltı ağaç biyokütlelerin hesaplanmasında, ülkemizde biyokütle tahminine yönelik yapılmış bilimsel çalışmaları esas alarak, Tolunay (2011 and 2013) tarafından ağaç türü düzeyinde sunulmuş “Biyokütle Dönüşüm/Genişletme Faktörleri” kullanılmıştır. Bu çalışmaya göre, kızılçam ağaç türü için belirlenmiş firın kurusu ağırlık katsayısı 0.478, biyokütle genişletme faktörü 1.287 kullanılmıştır. Toprakaltı biyokütle ise, toprak üstü biyokütle <50 (t/ha) ise 0.40, 50-150 (t/ha) ise 0.29 ve >150 (t/ha) ise 0.20 olarak alınmıştır. Karbon içeriği ise 0.51 katsayısı kullanılarak hesaplanmıştır.

3. Sonuçlar

Planlama biriminin üç döneme ilişkin arazi kullanım türlerinin konumsal değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Diğer taraftan planlama biriminin 1997-2018 yılları arazi kullanımında meydana gelen değişiklikler Çizelge 1’de sayısal olarak verilmiştir. Planlama biriminin 1997–2008 yılları arasındaki yıllık ormanlaşma yüzdesi 0,18, yıllık ortalama orman artışı ise 14,3 ha olarak gerçekleşmiştir. Planlama biriminin 2008–2018

yılları arasındaki yıllık ormansızlaşma yüzdesi 0,44, yıllık ortalama orman azalışı ise 33,1 ha olarak gerçekleşmiştir. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arasındaki yıllık ormansızlaşma yüzdesi 0,11, yıllık ortalama orman azalışı ise 8,3 ha olarak gerçekleşmiştir. Bu hesaplama Puyravaud (2003) tarafından önerilen yöntemle göre belirlenmiştir. 1997-2018 yılları arasında toplam ormanlık alanda kısmen bir azalma meydana gelmesine rağmen, normal kapalı orman alanında belirgin bir artışın (1997 yılında 5823 hektardan 2018 yılında 6698 hektara) olduğu gözlemlenmiştir. Planlama biriminde yerleşim ve ziraat alanı miktarı, 1997’de 5062 hektardan 2018 yılında 4719 hektara düşmüştür. Diğer alan olarak belirtilen ve içerisinde enerji nakil hatları, mezarlık, kumul alan ve yangın durdurma zonu gibi alanların toplamı son plan dönemi olan 2018 yılında belirgin bir artış göstermiştir. 1997 yılında diğer alan olarak belirtilen bu alanların toplamı, planlama biriminin toplam alanı içerisindeki payı %0,8 iken 2018 yılında %4,9’a çıkmıştır. Planlama biriminin arazi kullanım türlerinde zamansal olarak meydana gelen geçişler Çizelge 2’de sayısal olarak verilmiştir. Çizelge incelendiğinde özellikle boşluklu kapalı orman alanlarından normal kapalı orman alanlarına önemli miktarda bir geçişin (1997-2018 yılları arasında 1049 ha) olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arası ormanlık ve ormansız alanlarındaki zamansal değişimi

Arazi Kullanımları		1997		2008		2018	
		ha	%	ha	%	ha	%
Ormanlık Alan	Boşluklu Kapalı Orman	1695	13,4	1327	10,5	646	5,1
	Normal Kapalı Orman	5823	45,9	6348	50,0	6698	52,8
	Toplam	7518	59,3	7675	60,5	7344	57,9
Ormansız Alan	Yerleşim ve Ziraat	5062	39,9	4938	38,9	4719	37,2
	Diğer (Su, Kum vs)	105	0,8	73	0,6	622	4,9
	Toplam	5167	40,7	5011	39,5	5341	42,1
Genel Toplam		12685	100	12685	100	12685	100

Çizelge 2. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arasında arazi kullanım sınıflarında meydana gelen geçişler

		2008				Toplam
		NKO	BKO	YZ	D	
1997	NKO	5533	129	156	5	5823
	BKO	531	988	174	2	1695
	YZ	238	205	4599	21	5062
	D	46	5	9	45	105
	Toplam	6348	1327	4938	73	12685
		2018				
2008	NKO	5826	121	100	301	6348
	BKO	711	414	102	100	1327
	YZ	157	108	4503	170	4938
	D	4	3	15	51	73
	Toplam	6698	646	4719	622	12685
		2018				
1997	NKO	5266	100	161	296	5823
	BKO	1049	373	211	62	1695
	YZ	364	145	4336	220	5062
	D	22	28	11	44	105
	Toplam	6698	646	4719	622	12685

Burada NKO: Normal Kapalı Orman, BKO: Boşluklu Kapalı Orman, YZ: Yerleşim ve Ziraat, D: Diğer (Enerji Hatları, Mezarlık, Su, İzin Verilmiş Alanlar, Kumul Alan, Yangın Durdurma Zonu gibi alanları ifade etmektedir).

Planlama biriminin üç döneme ilişkin gelişim çağlarının konumsal değişimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Diğer taraftan planlama biriminin 1997-2018 yılları gelişim çağlarında meydana gelen değişiklikler Çizelge 3'te sayısal olarak verilmiştir. Çizelge incelendiğinde 1997 yılında planlama biriminde “d” gelişim çağında hiç alan bulunmamasına rağmen

2018 yılında bu çağda alan miktarı 981 hektara çıkmıştır. “d” çağında meydana gelen bu artışın en önemli nedeni ise “c” çağındaki meşcerelerin (yaklaşık 769 ha) bir sonraki plan periyodunda “d” gelişim çağına geçmesi olarak değerlendirilebilir (Çizelge 4).

Çizelge 3. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arası gelişme çağları itibarıyla alansal dağılımı

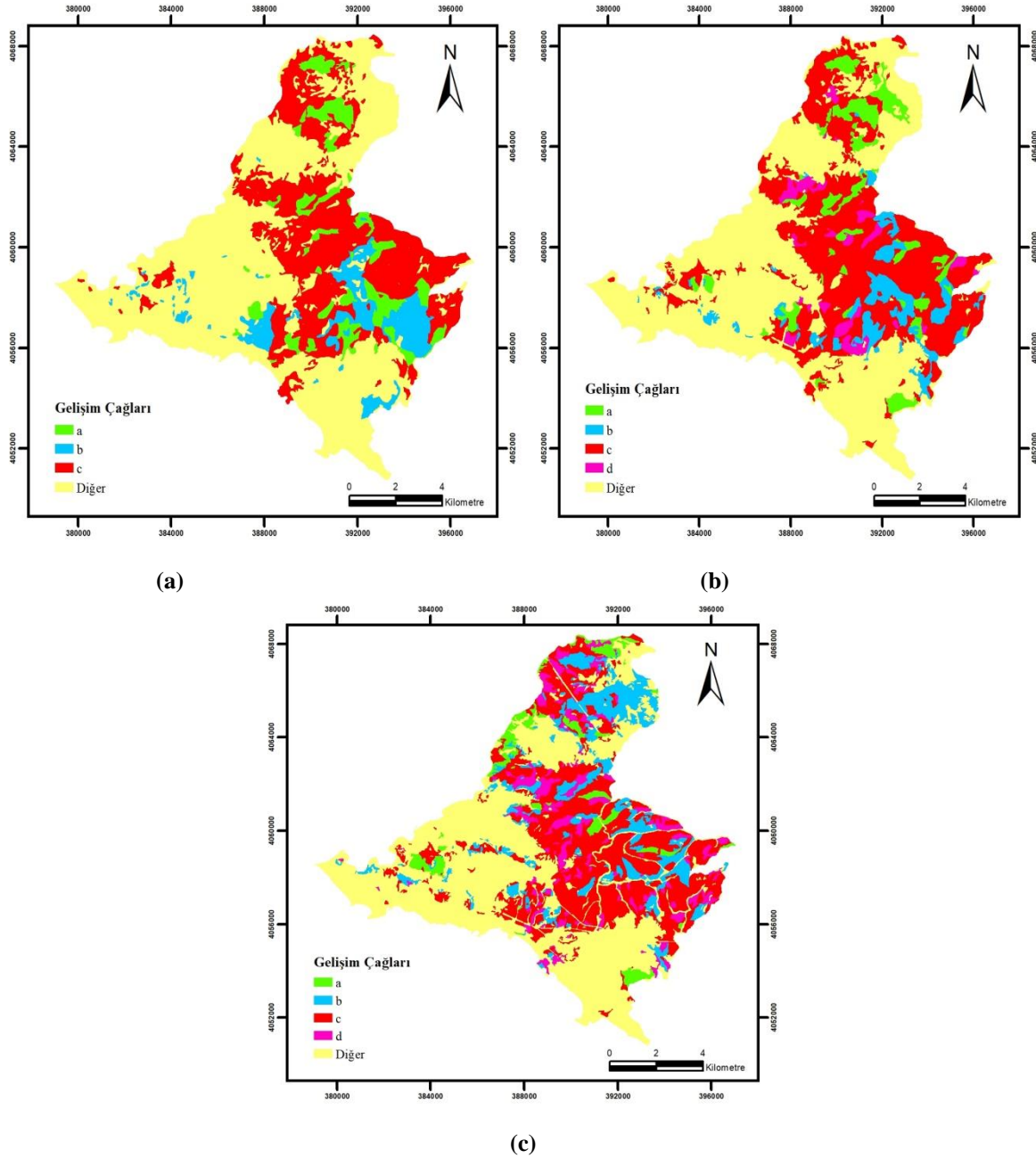
Gelişme Çağları	1997		2008		2018		
	ha	%	ha	%	ha	%	
a	978	7,7	906	7,1	567	4,5	
b	985	7,8	802	6,3	1520	12,0	
c	3861	30,4	4230	33,3	3630	28,6	
d	0	0	410	3,2	981	7,7	
Toplam	5824	45,9	6348	50	6698	52,8	
Çağı Olmayan	Toplam	6861	54,1	6337	50	5987	47,2
	Genel Toplam	12685	100	12685	100	12685	100

Çizelge 4. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arasında gelişme çağlarında meydana gelen geçişler

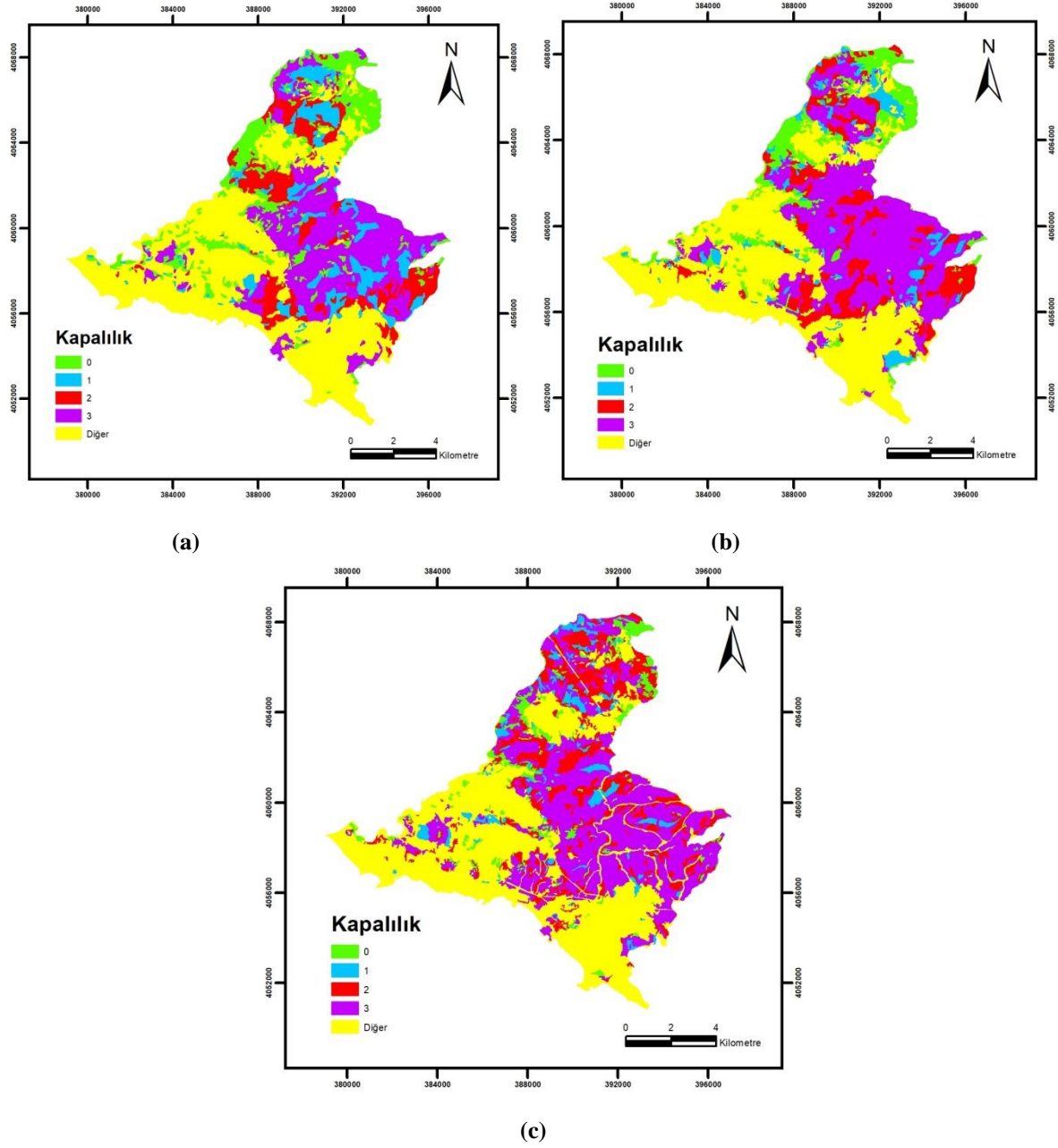
		2008					Toplam
		a	b	c	d	Diğer	
1997	a	449	392	101	5	31	978
	b	131	233	509	45	67	985
	c	128	59	3160	333	181	3861
	d	0	0	0	0	0	0
	Diğer	202	118	467	28	6046	6861
	Toplam	909	802	4233	411	6330	12685
		2018					
2008	a	104	625	77	13	87	906
	b	4	308	397	11	81	801
	c	167	267	2675	789	321	4229
	d	27	9	231	111	33	411
	Diğer	265	311	250	57	5464	6340
	Toplam	567	1520	3630	981	5987	12685

Çizelge 4. Devam,

		2018					
1997	a	6	612	243	20	97	978
	b	67	77	599	85	157	985
	c	192	327	2270	769	303	3861
	d	0	0	0	0	0	0
	Diğer	304	534	518	106	5402	6861
	Toplam	568	1521	3630	980	5986	12685



Şekil 3. Planlama biriminin a) 1997, b) 2008 ve c) 2018 yıllarındaki gelişim çağlarının konumsal dağılımı



Şekil 4. Planlama biriminin a) 1997, b) 2008 ve c) 2018 yıllarındaki meşcere kapalılığı

Çizelge 5. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arası kapalılık itibarıyla alansal dağılımı

Kapalılık Sınıfları	1997		2008		2018	
	ha	%	ha	%	ha	%
0	1697	13,4	1327	10,5	646	5,1
1	1194	9,4	693	5,5	559	4,4
2	1464	11,6	1662	13,1	1923	15,2
3	3165	25,0	3992	31,5	4217	33,2
Toplam	7520	59,3	7674	60,5	7345	57,9
Kapalılığı Olmayan	5165	40,7	5010	39,5	5340	42,1
Genel Toplam	12685	100	12685	100	12685	100

Çizelge 6. Planlama biriminin 1997–2018 yılları kapalılıkta meydana gelen geçişler

		2008					Toplam
		0	1	2	3	Diğer	
1997	0	998	227	125	169	179	1697
	1	26	147	86	897	39	1194
	2	43	105	763	505	49	1464
	3	50	158	632	2249	77	3165
	Diğer	209	60	56	178	4662	5165
	Toplam	1327	694	1662	3993	5009	12685
		2018					Toplam
		0	1	2	3	Diğer	
2008	0	418	97	289	336	187	1327
	1	47	102	254	237	54	694
	2	27	150	470	906	109	1662
	3	47	175	843	2689	238	3992
	Diğer	107	35	67	51	4750	5010
	Toplam	646	559	1923	4218	5340	12685
		2018					Toplam
		0	1	2	3	Diğer	
1997	0	394	137	378	533	255	1697
	1	37	54	416	591	93	1194
	2	41	108	444	768	103	1464
	3	22	206	523	2154	260	3165
	Diğer	151	54	163	171	4626	5165
	Toplam	646	559	1924	4217	5339	12685

Planlama biriminin 1997-2018 yılları yaş sınıfları dağılımında meydana gelen değişiklikler Çizelge 7’de sayısal olarak verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, planlama biriminin yaş sınıflarında plan dönemlerine bağlı olarak oldukça farklılıklar görülmektedir. 1997 yılında planlama biriminde özellikle VI.

yaş sınıfında büyük bir miktar alan varken, 2018 yılında yaş sınıflarına dağılım belirli oranlarda dağılım göstermiştir. Çizelgede en göze çarpan ise, 1997 yılına göre 2018 yılında yaş sınıfı hesaplanan alan miktarının daha fazla (1997 yılında 5803 ha 2018 yılında 6698 ha) olduğudur.

Çizelge 7. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arası yaş sınıfları itibariyle alansal dağılımı

Yaş Sınıfları	1997		2008		2018		
	ha	%	ha	%	ha	%	
I	988	7,8	374	3,0	569	4,5	
II	0	0	973	7,7	758	6,0	
III	100	0,8	40	0,3	1217	9,6	
IV	1092	8,6	86	0,7	1070	8,4	
V	318	2,5	867	6,8	749	5,9	
VI	3326	26,1	276	2,2	646	5,1	
VII	0	0	2047	16,1	1011	8,0	
VIII	0	0	1521	12,0	678	5,3	
IX	0	0	127	1,0	0	0	
X	0	0	38	0,3	0	0	
	Toplam	5803	45,8	6332	50,0	6698	52,8
Yaş Sınıfı Olmayan	Toplam	6861	54,2	6337	50,0	5987	47,2
	Genel Toplam	12685	100	12685	100	12685	100

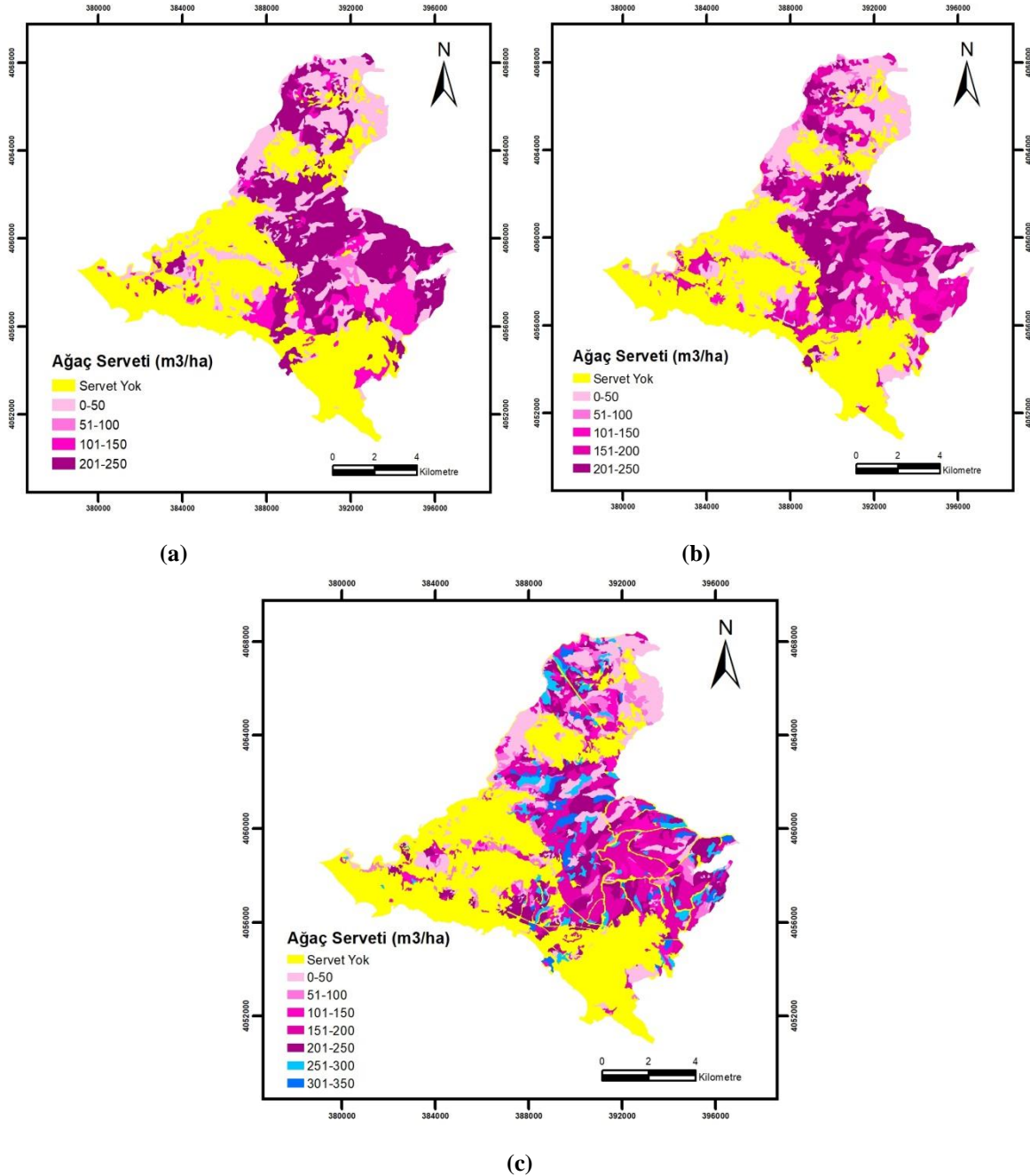
Planlama biriminin 1997-2018 yılları ağaç serveti dağılımı, sınıflandırılmış olarak Çizelge 8’de sayısal olarak verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere, 1997 plan dönemi ile kıyaslandığında, 2008 ve 2018 yılında hektardaki serveti yüksek olan alan miktarlarında bir artışın olduğu görülmektedir. Hem

ağaç serveti hem de ağaç serveti artımı orman biyokütlesi ve bu biyoküttelede depolanan karbon miktarının tayininde oldukça önemli parametreler olarak ortaya çıkmaktadır. Planlama biriminin farklı dönemlere ilişki ağaç serveti dağılımı Şekil 5’te konumsal olarak gösterilmiştir.

Çizelge 8. Planlama biriminin 1997–2018 yılları sınıflandırılmış ağaç serveti alansal dağılımı

Ağaç Serveti (m3/ha)	1997	2008	2018
Serveti Olmayan	5167	5010	5340
0–50	2672	2682	1764
51–100	130	368	659
101–150	1125	420	645

Ağaç Serveti (m ³ /ha)	1997	2008	2018
151–200	0	2230	2007
201–250	3591	1975	1385
251–300	0	0	550
301–350	0	0	334
Toplam Alan (ha)	12685	12685	12685



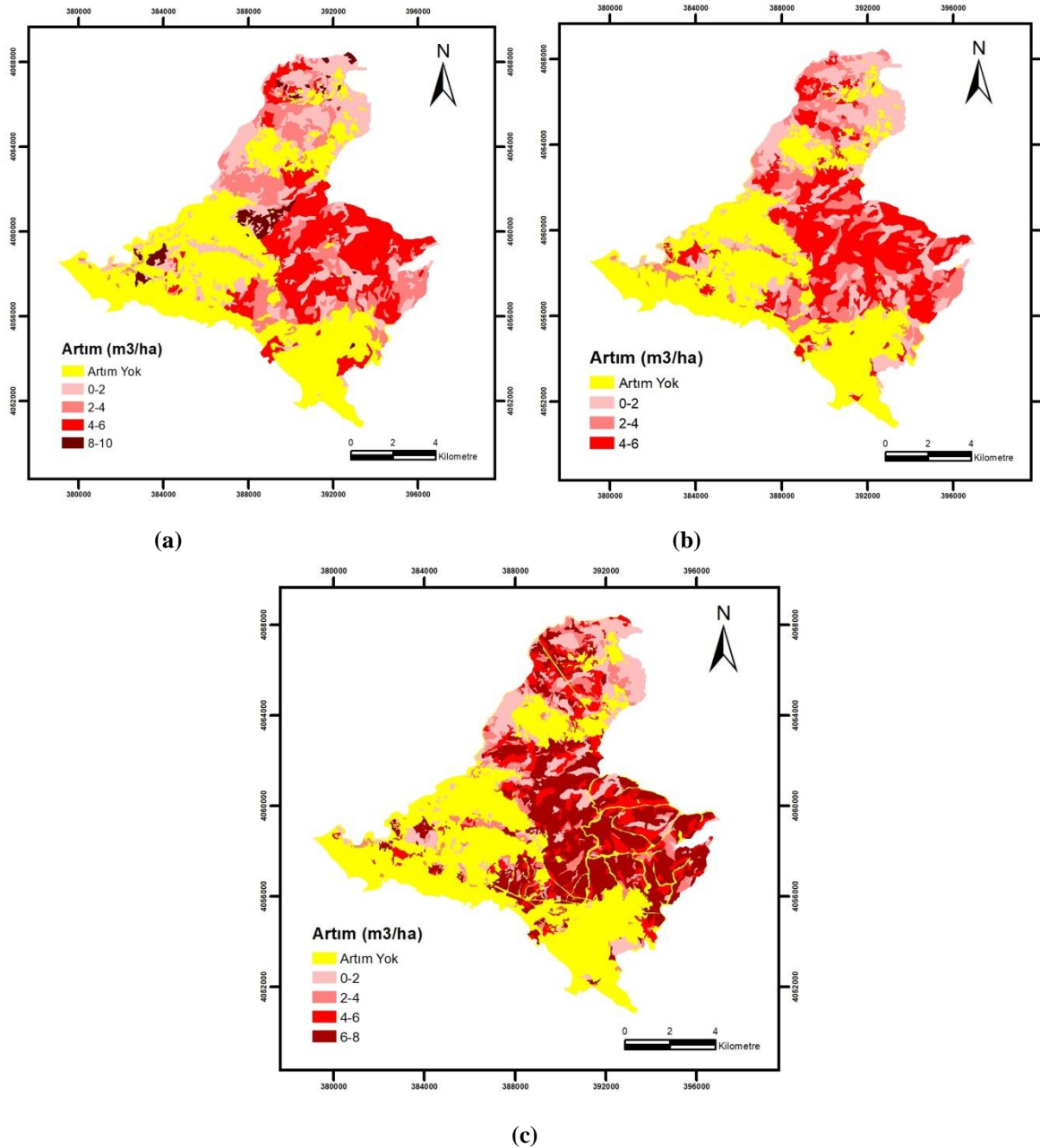
Şekil 5. Planlama biriminin a) 1997, b) 2008 ve c) 2018 yıllarındaki sınıflandırılmış ağaç serveti dağılımı

Planlama biriminin 1997-2018 yılları ağaç serveti artımının dağılımı, sınıflandırılmış olarak Çizelge 9'da sayısal olarak verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere, 1997 plan dönemi ile kıyaslandığında, 2018 yılında hektardaki artımı yüksek olan alan miktarlarında önemli bir artışın (yıllık hektardaki artımı 6-8 m³ olan alan miktarı 3118 ha) olduğu görülmektedir. Hem

ağaç serveti hem de ağaç serveti artımı orman biyokütlesi ve bu biyoküttele depolanan karbon miktarının tayininde oldukça önemli parametreler olarak ortaya çıkmaktadır. Planlama biriminin farklı dönemlere ilişkin ağaç serveti artımının dağılımı Şekil 6'da konumsal olarak gösterilmiştir.

Çizelge 9. Planlama biriminin 1997–2018 yılları sınıflandırılmış ağaç serveti artımının alansal dağılımı

Artım (m ³ /ha/yıl)	1997	2008	2018
Artımı Olmayan	5167	5010	5340
0–2	2672	2682	1760
2–4	1781	1904	913
4–6	2746	3088	1554
6–8	0	0	3118
8–10	309	0	0
Toplam Alan (ha)	12685	12685	12685

**Şekil 6.** Planlama biriminin a) 1997, b) 2008 ve c) 2018 yıllarındaki sınıflandırılmış ağaç serveti artımı dağılımı

Planlama biriminde 1997 yılında topraküstü ve toprakaltı toplam biyokütle miktarı 776210 ton olarak hesaplanmıştır. 2008 yılında toplam biyokütle 1997 yılına göre %0,8 oranında azalış göstermesine rağmen, 2018 yılında 1997 yılına göre %10

civarında bir artış göstermektedir. Orman biyokütle bileşenleri farklı dönemlere göre Çizelge 10'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelge 11'de ise planlama biriminin 1997–2018 yılları arası toplam biyokütle dağılımı sayısal olarak verilmiştir.

Çizelge 10. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arası topraküstü ve toprakaltı biyokütle miktarları (ton)

Plan Dönemi	Topraküstü Biyokütle	Toprakaltı Biyokütle	Toplam Biyokütle
1997	600641	175569	776210
2008	595711	174545	770256
2018	684987	169100	854088

Çizelge 11. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arası toplam biyokütle sıklık dağılımı

Toplam Biyokütle (ton/ha)	1997	2008	2018
0–50	2802	2767	2006
51–100	270	340	914
101–150	855	370	2155
151–200	3591	4198	1935
201–250	0	0	0
251–300	0	0	334
Diğer	5167	5010	5340
Toplam	12685	12685	12685

Planlama biriminde 1997 yılında topraküstü ve toprakaltı toplam biyokütüde depolanan karbon miktarı 395867 ton olarak hesaplanmıştır. 2008 yılında toplam karbon miktarı 1997 yılına göre %0,8 oranında azalış göstermesine rağmen, 2018 yılında 1997 yılına göre %10 civarında bir artış göstermektedir. Topraküstü ve toprakaltı biyokütüde depolanan karbon

miktarları farklı dönemlere göre Çizelge 12’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çizelge 13’te ise planlama biriminin 1997–2018 yılları arası toplam biyokütüde depolanan karbonun dağılımı sayısal olarak verilmiştir. Orman biyokütlesinde depolanan karbon miktarının daha iyi anlaşılabilmesi için oluşturulmuş karbon dağılımı haritası Şekil 7’de gösterilmektedir.

Çizelge 12. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arası topraküstü ve toprakaltı biyokütüde depolanan karbon miktarı (ton)

Plan Dönemi	Topraküstü Karbon	Toprakaltı Karbon	Toplam Karbon
1997	306327	89540	395867
2008	303813	89018	392831
2018	349343	86241	435585

Çizelge 13. Planlama biriminin 1997–2018 yılları arası biyokütüde depolanan karbon sıklık dağılımı

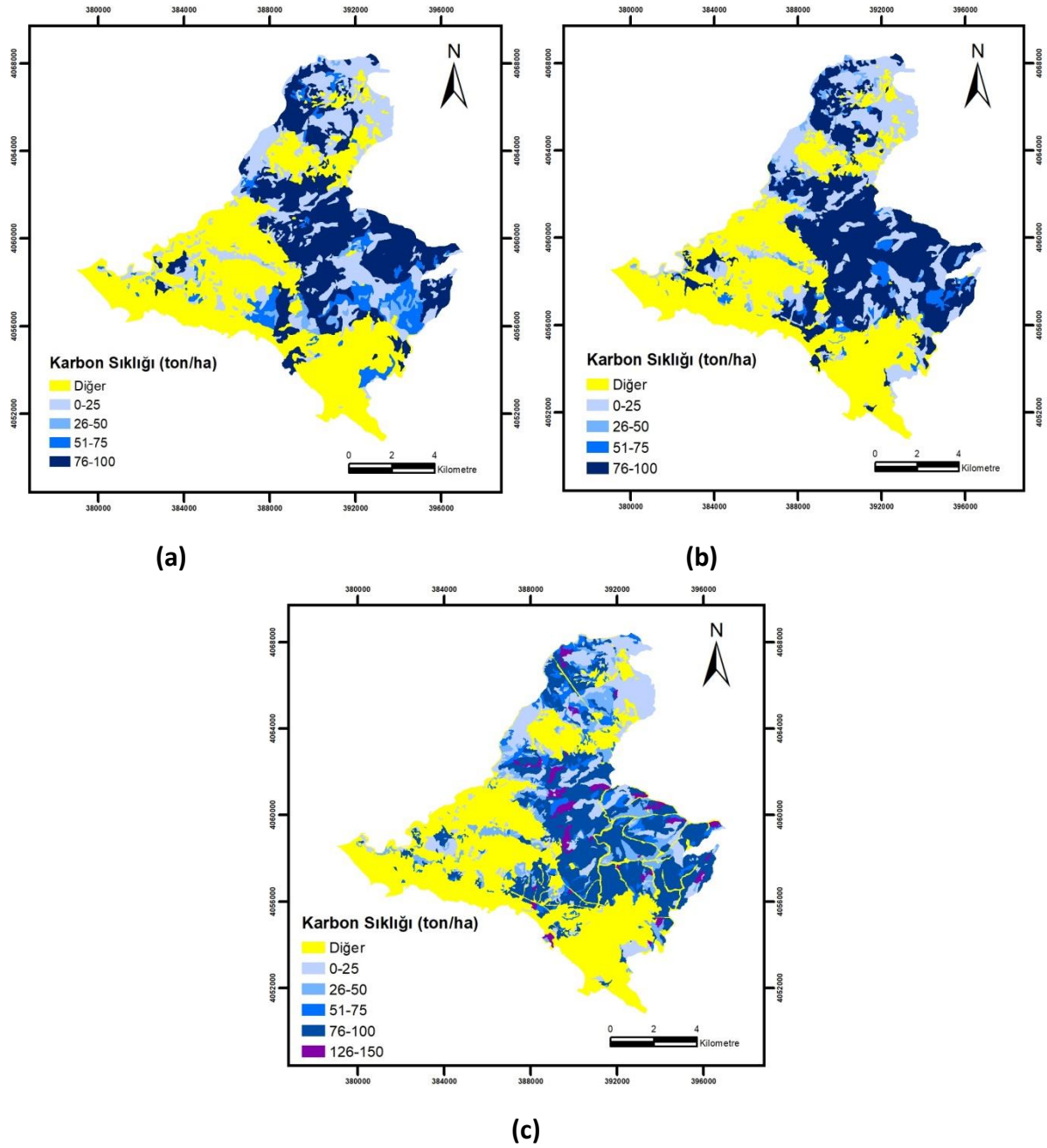
Toplam Karbon (ton/ha)	1997	2008	2018
0–25	2802	2767	2006
26–50	270	340	914
51–75	855	370	760
76–100	3591	4198	3330
101–125	0	0	0
126–150	0	0	334
Diğer	5167	5010	5340
Toplam	12685	12685	12685

4. Tartışma

Bulgular topluca değerlendirildiğinde; 1997-2018 yılları arasında planlama biriminde toplam orman alanında az da olsa bir azalma olmasına rağmen (%2,3), boşluklu kapalı orman alanlarında bir azalma (%62), normal kapalı orman alanında bir artış (%15) ve yine yerleşim-ziraat alanlarında önemli bir azalışın (%6,8) olması, orman ekosistemi açısından önemli ve olumlu gelişmelerin olduğunu göstermektedir. Gelişim çağları açısından farklı dönemlere ilişkin veriler incelendiğinde, kalın çaglı meşcere alanlarının arttığı (“d” çağında 981 ha artış) görülmektedir. Yine gelişim çağı hesaplanan alan 1997’de 5824 hektardan 2018 yılında 6698 hektara çıkmıştır. Orman ekosistemi kapalılık itibarıyla değerlendirildiğinde hem “2” kapalı (% 31 artış) hem de “3” kapalı (% 33 artış) meşcere alanının 21 yıllık süreçte arttığı görülmektedir. Diğer taraftan

ağaç serveti ve artımı da yine bu zaman sürecinde birim alana göre hesaplandığında pozitif yönde iyileşme yaptığı görülmüştür. Orman ekosistem yapı ve kuruluşunda meydana gelen bu gelişme ve iyileşmelere bağlı olarak, planlama biriminde 2018 yılında ağaç biyokütlesinde depolanan karbon miktarında, 1997 yılına göre gözle görülür bir artış olduğu ortaya çıkmıştır (% 10 artış). Bu çalışma konusuna benzer literatür çalışmaları incelendiğinde de benzer sonuçların elde edildiği ve çalışmayı desteklediği görülmektedir.

Prasad et al. (2000), Hindistan’da yaptıkları çalışmada, 1996-1998 arası kısa dönemde dahi arazi kullanımında önemli değişiklikler olduğunu saptamışlardır. 1996 yılında orman ekosisteminde tutulan karbon miktarının 75975 ton olduğunu, 1998 yılında ise bu değer 502 ton azalarak 75473 tona düştüğünü belirlemişlerdir. Prasad et al. (2002), Hindistan’da



Şekil 7. Planlama biriminin a) 1997, b) 2008 ve c) 2018 yıllarındaki orman biyokütlesinde depolanan karbon sıklık dağılımı

yaptıkları çalışmada, 1986-1994 yılları arasında, arazi kullanım türlerinde meydana gelen önemli değişikliklere bağlı olarak (örneğin; yoğun orman ve çalılık/makilik orman alanlarından, tarım alanlarına büyük değişim) ormanlık alanlarda depolanan karbon miktarında yaklaşık 48 milyon ton karbonun kaybolduğunu saptamışlardır. Woomeer et al. (2004), Afrika'da Senegal'de yaptıkları çalışmada, 1965-2000 yılları arasında orman ekosisteminde depolanan karbon miktarlarında, 35 yıllık süreç içerisinde 292 milyon ton karbon azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Karbon stoğunda meydana gelen azalmaların nedenleri olarak, bu süreçte orman ekosistemine uygulanan olumsuz insan müdahalesi ve yine bu süreçte yaşanan kuraklığın önemli etkenler olduğunu belirtmişlerdir.

Liu et al. (2006), ABD'de Appalachian ormanlarında 1972-2000 yılları arasını kapsayan zamansal ve konumsal analizde,

orman biyokütlesinde depolanan karbonun inişli çıkışlı bir yapı sergilediği ve sonunda başlangıç dönemine göre daha az karbon tutulduğunu belirlemişlerdir. Bonino (2006) Arjantin'de yaptığı çalışmada 30 yıllık bir süreçte arazi kullanımında çok önemli değişikliklerin olduğunu ve hemen bütün karbon stok elemanlarında, depolanan karbon miktarlarında çok ciddi azalmaların olduğunu saptamıştır. Sivrikaya et al. (2007) yaptıkları çalışmada, Artvin Orman İşletme Şefliğinde yer alan ormanlarda depolanan toplam karbon miktarının, 1972-2002 yılları arası 30 yıllık süreçte yaklaşık 105000 ton arttığını bulmuşlardır. Diğer taraftan, Camili Orman İşletme Şefliğinde yer alan ormanlarda depolanan toplam karbon miktarının, 1984-2005 yılları arasını kapsayan 21 yıllık süreçte yaklaşık 22000 ton arttığını belirlemişlerdir. Her iki işletme şefliğinde, ormanlarda depolanan karbon miktarının artmasını, orman

ekosistem yapı ve kuruluşunun olumlu yönde değişmesi ile açıklamışlardır.

Hu and Wang (2008), yaptıkları çalışmada ABD Piedmont bölgesinde yer alan ormanların 1936-2005 yılları arasında hem alan olarak hem de ağaç serveti artımı itibarıyla pozitif yönde değişip geliştiğini belirlemiştir. Orman yapı ve kuruluşundaki bu olumlu gelişmeye bağlı olarak orman ekosisteminde depolanan karbon miktarının 70 yıllık süreçte %128 oranında arttığını tespit etmişlerdir. Tommervik et al. (2009) yaptıkları çalışmada, huş ormanlarının topraküstü biyokütle miktarlarının 1957-2006 yılları arasında kapsayan 49 yıllık süreçte, iki katına çıktığını belirlemiştir. Böyle büyük bir artışın nedenleri olarak, üretim ormanlarının bu süreçte azalması ve dolayısıyla ağaç serveti artımının bu süreçte azalması olarak tespit etmişlerdir. Yolasiğmaz and Keleş (2009) Türkiye’de örnek bir devlet orman işletmesinde yaptıkları çalışmada, orman ekosistemlerinde depolanan karbon miktarının 1984-2006 yılları arasındaki 22 yıllık süreçte, %18 oranında artış göstermiş olduğunu bulmuşlardır. Artışın nedenleri olarak, orman yapı ve kuruluşundaki iyi yöndeki gelişmelere bağlı olarak, özellikle ağaç türlerinin hektardaki ağaç serveti ve artım miktarlarının artmasıyla ilişkilendirmişlerdir.

Li et al. (2010), Güney Kore’de tüm orman ekosistemlerini kapsayacak şekilde yaptıkları çalışmada, 1954-2007 yılları arasında, 53 yıllık süreçte toplam orman biyokütlesi miktarının %1042, orman biyokütlesinde depolanan karbon miktarının %1052 oranında artış gösterdiğini belirlemiştir. Böyle büyük bir artışın nedenleri olarak, ülkede yapılan ağaçlandırma faaliyetleri ile ormanlara uygun silvikültürel müdahalelerin uygulanması olduğunu vurgulamışlardır. Kauppi et al. (2010), Finlandiya’da belirli bir orman ekosisteminde yaptıkları çalışma sonucunda, orman ekosisteminin 93 yıllık süreçte ağaç serveti miktarının 1912’de 1,62 milyon m³’den 2005 yılında 3,49 milyon m³’e çıktığını tespit etmişlerdir. Orman ekosistem yapısındaki bu olumlu değişime paralel olarak, orman biyokütlesinde depolanan karbon miktarının 93 yıllık süreçte %116 olarak arttığını belirlemiştir. Zheng et al. (2011), ABD’nin kuzeyinde yer alan orman ekosistemlerinde yaptıkları çalışmada 1992-2001 yıllarını kapsayan 9 yıllık süreçte, orman alanında yaklaşık 7620 km²’lik bir azalmanın olduğu bulmuşlardır. Yani yıllık %0,13’lük bir orman kaybı belirlemiştir. Hem arazi kullanımı hem de üretim faaliyetlerinin orman biyokütlesi ve bu biyoküttele depolanan karbon miktarı üzerinde önemli etkileri olduğunu saptamışlardır. Net karbon birikiminde 9 yıllık süreçte %3 civarı bir azalma tespit etmişlerdir.

Keleş et al. (2011) yaptıkları çalışmada, 1984-2005 yılları arasında orman ekosisteminde depolanan toplam karbon miktarının %47 oranında arttığını bulmuşlardır. Bu artışın nedenleri olarak hem orman alanındaki artışa hem de ormanlık alanların yapısının (gelişim çağı, kapalılık vs.) kalite itibarıyla artmasına bağlamışlardır. Sivrikaya ve Bozali (2012) yaptıkları çalışmada, örnek planlama biriminde 1991-2002 yılları arasında kapsayan 11 yıllık süreçte, orman biyokütlesi ve bu biyoküttele depolanan karbon miktarının yaklaşık %20 oranında arttığını bulmuşlardır. Bu artışta en önemli nedenler olarak, boşluklu kapalı ormanların normal kapalı ormana dönüşmesi ve ormanlık alanda meydana gelen artış olarak tespit etmişlerdir. Sivrikaya et al. (2013), Türkiye’de örnek bir planlama biriminde yapmış

oldukları çalışmada, 1991-2002 yılları arasında kapsayan 11 yıllık süreçte, orman alanında %2’lik bir artışın, orman biyokütlesinde depolanan karbon miktarında ise %10’luk bir artışın olduğunu belirlemiştir. Cartisano et al. (2013), kavak ağacının hakim olduğu su kenarı ormanında topraküstü biyokütle miktarının yaklaşık iki kat arttığını (1989’da 5945 Mg’dan 2006 yılında 11650 Mg’a) belirlemiştir. Bu artışın nedeni olarak, alanda kavak orman alanı miktarının 81 ha ve yıllık ortalama artım miktarının %4.6 artması olduğunu göstermişlerdir. Zhang et al. (2014), Çin’de ibrelili ağaçların hakim olduğu orman ekosistemlerinde, 1989-2008 yılları arasında, ağaç türlerinin yıllık ağaç serveti miktarında yaklaşık 20 yıllık süreçte, %4-11’lik bir artışın olduğunu belirlemiştir. Orman alanında ise %23’lük bir artışın olduğunu ortaya koymuşlardır. Uygulanan silvikültürel müdahalelerin biyokütle ve karbon üzerinde olumlu etkileri olduğunu ve sonuçta ormanlarda depolanan karbon miktarında 20 yıllık süreçte bir artışın olduğunu tespit etmişlerdir.

Li et al. (2016), yaptıkları çalışmada 1977-2008 yılları arası 30 yıllık süreçte hem doğal hem de plantasyon ormanlarının gerek alan gerekse ağaç serveti artımı itibarıyla %40-60 arasında artış gösterdiğini belirlemiştir. Buna bağlı olarak orman ekosistemlerinde depolanan karbon miktarının da yüksek miktarda arttığını ve ilerleyen yıllarda bu artışın süreceğini öngörmüşlerdir. Keleş and Durusoy (2017), dört OİŞ’nden oluşan Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğünde yürüttükleri çalışmada, 1986-2011 yılları arasında kapsayan 26 yıllık süreçte, orman ekosistemlerinin toplam biyokütle miktarlarının %28 oranında artış gösterdiğini bulmuşlardır. Artışın en önemli nedenleri olarak, yıllık ormanlaşma oranında artış (%0,44), ağaç servetinde artış (% 27) olarak tespit etmişlerdir.

Orman ekosistemlerinde gerek ağaç biyokütlesi gerekse bu biyoküttele depolanan karbon miktarlarının sayısal olarak belirlenmesi ve konumsal/zamansal değişiminin analiz edilmesi son yıllarda ormancılıkla ilgili öncelikli çalışma alanları arasında yer almaktadır. Burada, tüm dünyada en önemli ekolojik sorunlardan biri olarak bilinen iklim değişikliğinin ön plana çıkması önemli rol oynamaktadır. Çünkü orman ekosistemleri küresel ekosistemler içerisinde en önemli karbon depolama havuzlarından birini oluşturmaktadır. Orman ekosistemlerinin alanlarının artması veya yapı ve kuruluşlarının iyileşmesi ile birlikte, küresel iklim değişikliğine neden olan atmosferdeki en önemli gazlardan biri olan karbon, orman biyokütlesinde tutulmakta ve bu da iklim değişikliğini önleme ve kontrol etmede en uygun araçlardan biri olarak ön plana çıkmaktadır.

Teşekkür

Bu makale, Prof. Dr. Sedat KELEŞ danışmanlığında yürütülen ve Yusuf YAMAN tarafından 2022’de Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünde yapılan “Orman Ağaçlarında Depolanan Karbon Miktarının Farklı Biyokütle Tahmin Yöntemleri İle Belirlenerek Zamansal Değişiminin Analiz Edilmesi: Alara Planlama Birimi Örneği” adlı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Çalışma verilerinin elde edilmesini sağlayan Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Anlar, H.C., Günlü, A., Keleş, S., Bulut, S., 2015. SPOT-4 uydu görüntüsü yardımıyla bazı meşcere parametreleri (gelişim çağı ve kapalılık) ce arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi: Devrez planlama birimi örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 1 (1-2), 33-40.
- Bonino, E.E., 2006. Changes in carbon pools associated with a land-use gradient in the Dry Chaco, Argentina. *Forest Ecology and Management*, 223 (1), 183-189.
- Brown, S., Schroeder, P., Kern, J., 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, 123, 81-90.
- Cartisano, R., Mattioli, W., Corona, P., Mugnozza, G.S., Sabatti, M., Ferrari, B., Cimini, D., Giuliarelli, D., 2013. Assessing and mapping biomass potential productivity from poplar-dominated riparian forests: a case study. *Biomass and Bioenergy*, 54, 293-302.
- Chen, L. J., Wang, B. F., Qiu, Y., 2001. Land use change in a small catchment of Northern Loess Plateau, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 86, 163-172.
- Echeverria, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J. M., Lara, A., Newton, A., 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forests. *Biological Conservation*, 130, 481-494.
- Hu, H., Wang, G.G., 2008. Changes in forest biomass carbon storage in the South Carolina Piedmont between 1936 and 2005. *Forest Ecology and Management*, 255 (5-6), 1400-1408.
- Kauppi, P.E., Rautiainen, A., Korhonen, K.T., Lehtonen, A., Liski, J., Nöjd, P., Tuominen, S., Haakana, M., Virtanen, T., 2010. Changing stock of biomass carbon in a boreal forest over 93 years. *Forest Ecology and Management*, 259, 1239-1244.
- Keleş, S., Başkent, E. Z., 2006. Orman ekosistemlerindeki karbon değişiminin orman amenajman planlarına yansıtılması: kavramsal çerçeve ve bir örnek uygulama. *Orman ve Av Dergisi*, 83(3), 9-16.
- Keleş, S., Kadioğulları, A.İ., Başkent, E.Z., 2011. The effects of land-use and land-cover changes on carbon storage in forest timber biomass: a case study in Torul, Turkey. *Journal of Land Use Science*, 7 (2), 125-133.
- Keleş, S., 2016. Comparison of alternative approaches of estimating above-ground tree biomass in a forest ecosystem of Turkey. *International Journal of Global Warming*, 9 (3), 397-406.
- Keleş, S., Durusoy, İ., 2017. Spatially explicit estimates and temporal changes of forest tree biomass in a typical department of forest management, Turkey. *International Journal of Global Warming*, 12 (1), 50-65.
- Kennedy, R. S. H., Spies, T. A., 2004. Forest Cover Changes in the Oregon Coast Range form 1939 to 1993. *Forest Ecology and Management*, 200, 129-147.
- Li, X., Yi, M.J., Son, Y., Jin, G., Han, S.S., 2010. Forest biomass carbon accumulation in Korea from 1954 to 2007. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25 (6), 554-563.
- Li, P., Zhu, J., Hu, H., Guo, Z., Pan, Y., Birdsey, R., Fang, J., 2016. The relative contributions of forest growth and areal expansion to forest biomass carbon. *Biogeosciences*, 13, 375-388.
- Liu, J., Liu, S., Loveland, T.R. 2006. Temporal evolution of carbon budgets of the Appalachian forests in the U.S. from 1972 to 2000. *Forest Ecology and Management*, 222, 191-201.
- Luque, S. S., 2000. Evaluating temporal changes using multispectral scanner and thematic mapper data on the landscape of a natural reserve: The New Jersey Pine Barrens, A case study. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 2589-2611.
- Matsushita, B., Xu, M., Fukushima, T., 2006. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset. *Landscape and Urban Planning*, 78(3), 241-250.
- Prasad, V.K., Kant, Y., Badarinath, K.V.S., 2000. Quantifying short-term carbon Dynamics from land use changes using satellite data- a case study from Rampa Forests (Eastern Ghats) India. *Geocarto International*, 15 (2), 71-78.
- Prasad, V.K., Kant, Y., Badarinath, K.V.S., 2002. Land use changes and modeling carbon fluxes from satellite data. *Advances in Space Research*, 30 (11), 2511-2516.
- Puyravaud, J.P., 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177 (1-3), 593-596.
- Sivrikaya, F., Keleş, S., Çakır, G., 2007. Spatial distribution and temporal change of carbon storage in timber biomass of two different forest management units. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132, 429-438.
- Sivrikaya, F., Bozali, N., 2012. Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi: Türkoğlu planlama birimi örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14, 69-76.
- Sivrikaya, F., Baskent, E.Z., Bozali, N., 2013. Spatial Dynamics of carbon storage: a case study from Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 9403-9412.
- Tommervik, H., Johansen, B., Riseth, J.A., Karlsen, S.R., Solberg, B., Hogda, K.A., 2009. Above ground biomass changes in the mountain birch forests and mountain heaths of Finnmarksvidda, northern Norway, in the period 1957-2006. *Forest Ecology and Management*, 257 (1), 244-257.
- Tolunay, D., 2011. Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35 (3), 265-279.
- Tolunay, D., 2013. Coefficients that can be used to calculate biomass and carbon amounts from increment and growing stock in Turkey. *Proceedings of the International Symposium for the 50th Anniversary of the Forestry Sector Planning in Turkey, Antalya, Turkey*, pp.240-251.
- Turner, M. G., Wear, D. N., Flamm, R. O., 1996. Land ownership and land-cover change in the Southern Appalachian Highlands and the Olympic Peninsula. *Ecological Applications*, 6, 1150-1172.
- Verburg, P. H., Veldkamp, A., Bouma, J., 1999. Land-use change under conditions of high population pressure: The case of Java. *Global Environmental Change*, 9, 303-312.
- Wakeel, A., Rao, K. S., Maikhuri, R. K., Saxena, K. G., 2005. Forest management and land-use/cover changes in a typical micro watershed in the mid-elevation zone of Central Himalaya, India. *Forest Ecology and Management*, 213, 229-242.

- Woomer, P.L., Tieszen, L.L., Tappan, G., Toure, A., Sall, M., 2004. Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59, 625-642.
- Yolaşığmaz, H.A., Keleş, S., 2009. Changes in carbon storage and oxygen production in forest timber biomass of Balçı Forest Management Unit in Turkey between 1984 and 2006. *African Journal of Biotechnology*, 8 (19), 4872-4883.
- Zhang, Y., Song, W., Irland, L., 2014. Forest carbon stocks change and silvicultural investment in China- the case of coniferous forests. *International Journal of Environmental Studies*, 72 (1), 166-178.
- Zheng, D., Heath, L.S., Ducey, M.J., Smith, J.E., 2011. Effects of land use/cover change and harvests on forest carbon dynamics in Northern States of the United States from remote sensing and inventory data: 1992-2001. *Forest Science*, 57 (6), 525-534.