

Bolu (Yaylacık) Bölgesi Karaçam Ağaç Halkalarının
Duraylı İzotop Oranlarının Değişimlerinin İncelenmesi

Duru Aral

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım, 2009

The Investigation of Changes in
Stable Isotope Ratios of Black Pine Tree Rings
in the Bolu (Yaylacık) Region

Duru Aral

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Geological Engineering

November, 2009

Bolu (Yaylacık) Bölgesi
Karaçam Ağaç Halkalarının Duraylı İzotop Oranlarının
Değişimlerinin İncelenmesi

Duru Aral

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Yatakları ve Jeokimya Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Halim MUTLU

Kasım, 2009

ONAY

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Duru ARAL'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Bolu (Yaylacık) Bölgesi Karaçam Ağaç Halkalarının Duraylı İzotop Oranlarının Değişimlerinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Halim Mutlu

İkinci Danışman : _____

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Halim Mutlu

Üye: Prof. Dr. Ünal Akkemik

Üye: Yrd. Doç. Hatice Kutluk

Üye: Yrd. Doç. Dr. Nesibe Köse

Üye: Yrd. Doç. Dr. Fatma Tümsek

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bolu (Mengen) Yaylacık Ormanından yaşları 200–500 yıl arasında olan karaçam ağaçlarından dendrokronolojik ve jeokimyasal çalışmalar yapmak üzere iki farklı yükseltiden ağaç halkası örnekleri alınmıştır. Yıllık halka ölçümleri gerçekleştirilen örnekler beşer yıllık seksiyonlara ayrılarak selüloz saflaştırılmıştır. Elde edilen selüloz örneklerinin karbon ve oksijen izotop oranları ölçülmüştür.

İki farklı yükseltiye ait karbon ($r = 0,753$) ve oksijen ($r = 0,522$) izotop oranları arasında yüksek korelasyonlar hesaplanmıştır. Karbon izotop oranları birbirine oldukça yakın olmasına karşın oksijen izotop oranları arasında yaklaşık 1‰ fark belirlenmiştir. Bu sonuçlar oksijen izotop bileşimlerinin iklimsel koşullar tarafından denetlendiğini karbon izotop oranlarının ise daha çok endüstriyel süreçlerinden etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Bolu yöresi için kaydedilmiş meteorolojik verilerle izotop değerlerinin karşılaştırılmış, sıcaklık ile karbon izotop oranları arasında negatif korelasyonlar elde edilmiştir. Bölgedeki iklim koşullarının fotosentez için uygun olması bu sonucu doğurmuştur. Oksijen izotop oranları ile sıcaklık ve yağış arasındaki ilişkiler her iki yükselti için genellikle negatif yönlü ve zayıftır. Bölgede oksijen izotop oranlarını etkileyen bir başka iklimsel faktör de nemlilikdir. Nem faktörü muhtemelen oksijen izotopları ile sıcaklık ve yağış arasındaki ilişkileri zayıflatmıştır. Bolu bölgesi fazla kar yağışı almaktadır. Kar suyunun düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahip olması korelasyonların negatif yönlü ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Her iki yükseltinin ağaç halkalarından elde edilen karbon izotop oranlarının artan endüstriyel süreçlerle 1950’li yıllardan itibaren sürekli azalan değerler sergilemektedir. Küresel emisyon değerleri ile ağaç halkası karbon izotop değerleri arasındaki yüksek negatif yönlü ilişki (alt ve üst yükselti için sırasıyla $r = -0,918$ ve $r = -0,803$) bunu desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Dendrokronoloji, karaçam ağaç halkası, selüloz saflaştırması, karbon–oksijen izotop oranları.

SUMMARY

Tree ring samples were collected from 200 to 500-year old black pine trees at two different altitudes from the Bolu (Mengen) Yaylacık Forest for dendrocronological and geochemical investigations. Following the annual ring measurements, samples were divided into 5-year blocks from which cellulose was extracted. This was followed by the measurement of carbon and oxygen isotope ratios on cellulose.

High correlation coefficients were calculated between carbon ($r = 0,753$) and oxygen ($r = 0,522$) isotope ratios from two different altitudes. The carbon isotope ratios at both altitudes are close to each other but 1‰ difference was found for the oxygen isotope ratios. These results indicate that oxygen isotope ratios are controlled by climate conditions however carbon isotopes are affected by industrialization processes.

Comparison of meteorological data from the Bolu region with isotope values yields negative correlations between temperature and carbon isotope ratios. This is attributed to climate conditions suitable to photosynthesis and more carbon dioxide uptake by the tree. Oxygen isotope ratios from both altitudes are usually negatively and weakly correlated with rain and temperature. Humidity showing negative responds to temperature and precipitation is another climatic factor affecting isotope ratios recorded in the region. Humidity factor probably weakened the relations between oxygen isotopes and temperature and rain. The Bolu region receives heavy snowfall. Owing to the fact that snow is represented by lower $\delta^{18}\text{O}$ value, negative correlations are obtained for oxygen isotopes and climatic parameters.

It was demonstrated that carbon isotope ratios of tree rings from both elevations have continuous decreasing trends by 1950's due to increasing rate of industrialization which well agree with high negative correlations between global carbon emission values and carbon isotope ratios ($r = -0,918$ and $r = -0,803$ for lower and upper sites).

Key Words: Dendrocronology, black pine tree rings, cellulose extraction, carbon–oxygen isotope ratios.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hayata geçirilmesini sağlayan, her aşamasında desteğini ve katkılarını esirgemeyen, değerli danışman hocam Prof. Dr. Halim Mutlu'ya,

Çalışmanın dendrokronolojik bölümlerinin hazırlanmasında ve yorumlanmasında büyük katkı sağlayan Prof. Dr. Ünal Akkemik, Yrd. Doç. Dr. Nesibe Köse, Ali Kaya ve Tuncay Güner'e,

Tüm çalışma boyunca destekleri için Jeoloji Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Hüseyin Sendir ve Sanem Açıkalın'a,

Çalışma boyunca manevi desteklerini esirgemeyen Mutlu Cesur'a ve aileme teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1.GİRİŞ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	1
1.1.Önceki Çalışmalar.....	2
2.GENEL KISIMLAR	8
2.1.Dendrokronoloji.....	8
2.2.Yıllık Halka	8
2.3. Yıllık Halka Genişliğini Etkileyen Faktörler	10
2.3.1. Fizyolojik faktörler	10
2.3.2.Değişken iklim faktörleri	11
2.3.2.1.Sıcaklığın yıllık halka genişliği üzerindeki etkisi.....	11
2.3.2.2.Yağışın yıllık halka genişliği üzerindeki etkisi.....	14
2.3.3. Sabit fizyografik ve edafik faktörler	16
2.3.3.1.Bakı	16
2.3.3.2.Denizden yükseklik	16
2.3.3.3.Eğim	17
2.3.3.4.Ana kaya ve toprak.....	18
2.3.4. Doğal olmayan faktörler	18
3.MALZEME VE YÖNTEM	19
3.1.Araştırma Alanının Tanımı.....	19

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.Araştırma Malzemesi ve Örneklerin Alınması	21
3.3.Dendrokronolojik Yöntemler	23
3.3.1.Yıllık halka kronolojisinin elde edilmesi	25
3.3.2.Korelasyon katsayıları	26
3.4.Jeokimyasal Yöntemler	27
3.4.1.Odunun kimyasal yapısı.....	27
3.4.2.Selüloz Saflaştırma İşlemi	28
4.DENDROKRONOLOJİK BULGULAR.....	34
4.1.Bolu Yaylacık Alt Yükselti (YAY)	34
4.2.Bolu Yaylacık Üst Yükselti (YAYU)	36
4.3.Yıllık Halka Genişlikleri ile Paleoiklim Değerlendirilmesi	39
5.JEOKİMYASAL BULGULAR	45
5.1.Karbon İzotop Teorisi	45
5.1.1.Karbon izotop ayrışması	55
5.2.Oksijen İzotop Teorisi.....	64
5.2.1.Oksijen izotop ayrışması	67
5.3. Karbon ve Oksijen İzotop Oranları ile İklimsel Değerlendirme	68
5.3.1. Bolu Yaylacık alt yükselti (YAY).....	69
5.3.1. Bolu Yaylacık üst yükselti (YAYU)	76
6.TARTIŞMA VE SONUÇLAR	81
7.KAYNAKLAR DİZİNİ.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ağaç enine kesiti. (a) Öz, özodun (iç kısımda tamamen ölü ücrelerden oluşan koyu renkli tabaka), diri odun (dış kısımda yaşayan hücrelerden oluşan tabaka), kambiyum, kabuk; (b) yıllık halkalar	9
3.1 Bolu-Mengen Yaylacık Araştırma Ormanı'nda ağaç örneklerinin alındığı yeri gösteren harita.....	19
3.2 Mengen Yaylacık Araştırma Ormanı karaçam örnekleme sahasının genel görünümü.....	20
3.3 Türkiye'de karaçam (<i>Pinus nigra</i>) yayılış alanları (OGM).	21
3.4 Karaçam ağaçlarından artım burgusu ile kalem alınması.	22
3.5 12 mm çapındaki bir artım kalemi örneği.	22
3.6 LINTAB-TSAP sisteminde örneklerin yıllık halkalarının ölçülmesi.	24
3.7 Odunun kimyasal bileşikleri (Bozkurt, 1992).	27
3.8 Örnek hazırlanmasında kullanılan araçlar: a) Öğütücü, b) Öğütücü kapsülü.	29
3.9 2000 ve 2006 yıllarında analiz edilen holo-selülozun $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin karşılaştırılması (Wright, 2008).....	30
3.10 Holo-selülozun (2000) ve alfa-selülozun (2000 ve 2006) $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin karşılaştırılması (Wright, 2008).....	31
4.1 Mengen yöresinin alt yükseltisine ait toplam yıllık halka genişlikleri (μm olarak)	34
4.2 Alt yükseltiden alınan 7 adet ağaçtan elde edilen standart kronoloji	37
4.3 Mengen yöresinin üst yükseltisine ait toplam yıllık halka genişlikleri (μm olarak)	37
4.4 Üst yükseltiden alınan 7 adet ağaçtan elde edilen standart kronoloji.	37

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.5. Bolu- Yaylacık alt yükselti (YAY) yıllık standart kronolojisinin 1930-2005 yılları arası aylık ortalama sıcaklık değerleri ile karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir)..	41
4.6 Bolu-Mengen- Yaylacık alt yükselti (YAY) yıllık standart kronolojisinin 1930-2005 yılları arası aylık ortalama yağış değerleri ile karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir)..	42
4.7 Bolu- Mengen-Yaylacık üst yükselti (YAYU) yıllık standart kronolojisinin 1930-2005 yılları arası aylık ortalama sıcaklık değerleri ile karşılaştırılması('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir)..	43
4.8 Bolu- Mengen Yaylacık üst yükselti (YAYU) yıllık standart kronolojisinin 1930-2005 yılları arası aylık ortalama yağış değerleri ile karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir)..	43
5.1 Bolu Mengen Ormanı'nın alt ve üst yükseltilerinden alınan ağaç halkası örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin karşılaştırılması.....	47
5.2 Fosil yakıtların, C_3 bitkilerinin ve atmosferik CO_2 'nin karbon izotop oranları (Boutton, 1991).....	48
5.3 Sanayileşmenin alt ve üst yükselti $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine yansımaları.....	49
5.4 Küresel (CDIAC) ve Türkiye CO_2 emisyon değerlerinin (1970-2005) (TÜİK) karşılaştırılması	50
5.5 Küresel CO_2 emisyon değerleriyle alt yükselti için elde edilen ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin karşılaştırılması	51
5.6 Küresel CO_2 emisyon değerleriyle üst yükselti için elde edilen ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin karşılaştırılması	52
5.7 Bolu Mengen Yaylacık Alt yükseltinin ağaç halkası selülozu $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ile buz karotu $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin karşılaştırılması.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.8 Bolu Mengen Yaylacık üst yükseltinin ağaç halkası selülozu $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ile buz karotu $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin karşılaştırılması.	54
5.9 Yıllara göre alt yükselti için atmosferdeki (c_a) ve bitkideki (c_i) CO_2 konsantrasyonları.	60
5.10 Yıllara göre üst yükselti için atmosferdeki (c_a) ve bitkideki (c_i) CO_2 konsantrasyonları.	61
5.11 Bitkideki CO_2 konsantrasyonu (c_i), atmosferdeki CO_2 konsantrasyonuna (c_a) oranı.	62
5.12 Kuzey Amerika ağaçlarındaki c_i/c_a oranının zamansal değişimi (Feng, 1998)	63
5.13 Bolu-Mengen Ormanının alt ve üst yükseltilerinden alınan ağaç halkası örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin karşılaştırılması.	66
5.14 Bolu yöresine ait alt yükselti karbon izotop oranları ile ($\delta^{13}\text{C}$) aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin karşılaştırılması ‘★’ işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir)..	70
5.15 Bolu yöresine ait alt yükselti oksijen izotop oranları ile ($\delta^{18}\text{O}$) aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin karşılaştırılması (‘★’ işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir)..	72
5.16 Bolu Yaylacık alt yükseltisinden elde edilen izotop oranlarının 1930-2005 dönemi 5-yıllık aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri ile karşılaştırılması.	75
5.17 Bolu yöresine ait üst yükselti karbon izotop oranları ile ($\delta^{13}\text{C}$) aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin karşılaştırılması (‘★’ işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir)..	77
5.18 Bolu yöresine ait üst yükselti oksijen izotop oranları ile ($\delta^{18}\text{O}$) aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin karşılaştırılması (‘★’ işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir)..	79

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

- 5.19 Bolu Yaylacık üst yükseltisinden elde edilen izotop oranlarının 1930-2005 dönemi 5-yıllık aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri ile karşılaştırılması.....80

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1	Örnek alınan saha, özellikleri ve örnek sayıları. 23
3.2	1 gr odun örneği için holo-selüloz saflaştırılmasında kullanılacak ayırıştırıcıların miktarı (Pawelczyk vd., 2004). 32
4.1	YAY yöresi için oluşturulan standart kronolojilere ait istatistikler (“t”son halkanın oluştuğu yılı ifade etmektedir). 35
4.2	YAY yöresi kronolojileri ortak aralık istatistikleri. 36
4.3	YAYU yöresi için oluşturulan standart kronolojilere ait istatistikler (“t” son halkanın oluştuğu yılı ifade etmektedir). 38
4.4	YAYU yöresi kronolojileri ortak aralık istatistikleri. 38
4.5	Bolu Bölgesi 1931-2005 yılları arası (5 yıllık) aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C) (Bolu Meteoroloji İstasyonu’ndan). 39
4.6	Bolu Bölgesi 1931-2005 yılları arası (5 yıllık) aylık ortalama yağış değerleri (mm) (Bolu Meteoroloji İstasyonu) 40
5.1	Ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ değerleri. 46
5.2	Bolu-Mengen-Yaylacık alt yükseltisi için bitki ve atmosferdeki karbon izotop kompozisyonlarının yıllara göre değişimi. 58
5.3	Bolu-Mengen-Yaylacık üst yükseltisi için bitki ve atmosferdeki karbon izotop kompozisyonlarının yıllara göre değişimi. 59
5.4	Bolu yöresi alt (YAY) ve üst (YAYU) yükseltileri için 200 yıllık ağaç halkası oksijen izotop oranları. 65

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Paleoiklimsel çalışmalar; buz karotları, göl sedimanları ve mağara çökellerinden yapılabileceği gibi, ağaç halkaları üzerinde de yürütülmektedir. Ağaçlar, topraktan su ve mineral maddelerini, havadan ise karbondioksit alan, güneş enerjisini kullanarak organik madde üreten, havaya oksijen vermek, canlılara besin ve barınak sağlamak gibi çok önemli işlevleri olan bitkisel varlıklardır. Aynı zamanda hayatları boyunca iklimsel ve fiziksel olarak çok farklı etkiler altında geliştikleri için, bu etkilerin izlerini taşırlar (OGM). Ağaçların yıllık halka sınırlarının belirgin olması her yılın ayrı ayrı analiz edilebilmesini sağlar. Bu nedenle hassasiyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca, yaygın oluşları ve farklı yükseltilerde yetişebilmeleri, sadece yaşayan değil ölü ve fosil ağaçlardan da veri elde edilebilmesi ağaçların yakın dönem iklimsel analizler için en uygun malzeme olduğunu göstermektedir.

Ağaç halkaları üzerinde iklimsel değerlendirmelerinin yapılabilmesi için halkaların yaşlarının saptanması gerekir. Burada yıllık halkalara dayanarak yaş saptama bilimi olarak tanımlanan dendrokronoloji devreye girer. Dendrokronoloji ile ağaç halkası duraylı izotop analizlerinin değerlendirmelerine yönelik dünyanın farklı bölgelerinde ve farklı ağaç türleri kullanılarak çok sayıda çalışma yapılmıştır (Leavitt ve Long, 1982; Loader vd., 1997; Feng, 1998; February ve Stock, 1999; Edwards vd., 2000; Dangora ve Varrica, 2002; Pawelczyk vd., 2004; Leavitt, 2002; McCarroll ve Loader, 2004; Roig vd., 2006; Skomarkova vd., 2006; Gagen vd., 2006; Voltas vd., 2008; Wright, 2008; Battipaglia vd., 2008; Dodd vd., 2008). Ülkemizde dendrokronolojiye ilişkin yapılmış çalışmalar olmasına karşın (Gassner ve Weniger, 1948; Kuniholm ve Striker 1976; Kuniholm, 1977; Kuniholm ve Striker, 1983; Kuniholm, 1991,1992,1995a,1995b,1996; Kuniholm vd., 1996; Kantay, 1986; Özkan, 1990; Akkemik, 1997; Akkemik, 2000a, 2000b, 2000c; Akkemik ve Dağdeviren, 2000,

Akbulut, 2002; Akkemik ve Demir, 2003; Akkemik, 2004, Akkemik vd., 2005; Akkemik ve Aras, 2005, Köse vd., 2005), dendrokronoloji ve ağaç halkası izotop analizi çalışmaları daha önce bir arada yürütülmemiştir. Bu nedenle bu çalışma dendrokronoloji ve ağaç halkası izotop analizlerinin birlikte değerlendirilmesi açısından Türkiye’de ilk olma özelliğini taşımaktadır.

Bu çalışmada Bolu’nun Mengen ilçesindeki Yaylacık Araştırma Ormanındaki yaşları yaklaşık 200 olan karaçam ağaçlarından örnekler alınarak, bunlarda dendrokronolojik ve jeokimyasal analizler yürütülmüştür. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen veriler birlikte değerlendirilmiş, ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop analiz sonuçları ile paleoiklimsel süreçler ve yine ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ izotop analiz sonuçları ile sanayileşme etkileri ortaya konmuştur.

1.1.Önceki Çalışmalar

Dendrokronoloji ile ağaç halkası izotop çalışmalarının birlikte yürütüldüğü araştırmalardan bazıları aşağıda anlatılmıştır.

Leavitt ve Long (1982) dendrokronolojik çalışmalarda ağaç halkası duraylı izotoplarının geçmiş iklimsel parametrelerin ortaya konmasında oldukça faydalı bir araç olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar Arizona-Prescott Bölgesindeki ardıç ağacının halkalarının tüm odun ve selüloz materyalinden yapılan karbon izotop analiz sonuçlarını karşılaştırmışlar ve ağaç halkası selülozunun $\delta^{13}\text{C}$ oranlarının benzer bir yönelim gösterdiğini belirtmişlerdir. Ancak odundan elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ değerleri selülozdan elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ oranlarına göre yaklaşık ‰ 1,5 daha düşük çıkmıştır. Leavitt ve Long’a göre (1982) bunun sebebi odunun içerisindeki ligninin düşük izotopik karaktere sahip olmasıdır.

February ve Stock (1999) ağaç halkası selülozunu kullanılarak oluşturulan karbon izotop zaman serilerinin geçmiş iklimsel ve çevresel değişikliklerinin aydınlatılmasında oldukça faydalı olduğunu belirtmişlerdir. Güney Afrika’da

Cedarberg dağlarındaki 6 *Widdringtonia* sedir ağacından 77 yıllık halka örneklerinde $\delta^{13}\text{C}$ analizi yaparak ağaçlardaki karbon izotop değişimleri ortaya koymuşlardır. *Widdringtonia* ağaç halkalarından elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, buz karotlarından ve direk hava ölçümlerinden elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ değerleriyle karşılaştırılmış ve önemli korelasyonlar elde edilmiştir.

Feng (1998) atmosferdeki CO_2 konsantrasyonunun artışını göstermek için Kuzeybatı Amerika'da yaşları 100 ila 200 yıl arasında değişen ağaçlardan elde ettiği halkalarda $\delta^{13}\text{C}$ analizi yürüterek ve c_i/c_a (bitkideki CO_2 birikimi / atmosferdeki CO_2 birikimi) oranları hesaplamıştır. Sonuçlar bu oranın 20. yüzyıldan önce sabit olduğunu veya çok az oranda yükseldiğini, ancak 20. yüzyıldaki c_i/c_a oranındaki değişimin ise oldukça hızlı olduğunu göstermiştir.

Dangora ve Varrica (2002) Palermo-İtalya bölgesindeki ağaç halkalarındaki $\delta^{13}\text{C}$ değişikliğini inceleyerek hava kalitesinin şiddetli değişimini ortaya koymuşlardır. Söz konusu çalışmada üç farklı bölgeden alınan ağaç halkası örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin 1880'den 1998'e kadar yaklaşık % -3,6 civarında azaldığı belirlenmiştir. Ağaç halkalarındaki $\delta^{13}\text{C}$ 'daki azalma atmosferik CO_2 artışına paralellik göstermiştir.

Pawelczyk vd. (2004) Polonya Augustow Willderness'daki çamların yaz odunu ve alfa selüloz malzemelerinde $\delta^{13}\text{C}$ analizini yapmışlardır. $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ile yağış ve sıcaklık arasında kurulan ilişkide yaz odununun oluşum ayları (Temmuz-Ağustos) için sıcaklık ile $\delta^{13}\text{C}$ değerleri yüksek korelasyon vermiştir. Ancak yağışla ilgili önemli bir korelasyon saptanamamıştır.

McCarroll ve Loader (2004) duraylı izotop analizlerinin sığ göl veya bataklıklar içerisindeki devrilmiş ağaçlardan veya göl çakıllarına gömülmüş ağaçlarda da iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Aynı çalışmada ağacın duraylı izotoplarının özellikleri ve ayırılma faktörleri de açıklanmıştır.

Wright (2008) ağaçların izotopik analizinde kullanılması en uygun materyali bulmak için çalışmalar yapmıştır. Odundan saflaştırılan holoselüloz ve alfa-selülozun 2000 ve 2006 yıllarına ait $\delta^{18}\text{O}$ izotop analizini yaparak saklama süresi boyunca oksijen atomlarının izotopik değişime uğrayıp uğramadığını incelemiştir. 2000 yılına ait

halkaların alfa-selüloz ve holo-selüloz materyali oldukça benzer $\delta^{18}\text{O}$ değerleri vermiştir. Ancak 2006 yılı halkası holo-selülozunda 2000 yılına göre farklı $\delta^{18}\text{O}$ değerler bulunmuştur. Alfa-selüloza ait $\delta^{18}\text{O}$ izotop oranları ise 6 yıllık dönemde önemli bir farklılık göstermemiştir. Bunun nedeni alfa-selülozda karbon bağları bulunmamasıdır. Odundaki karbon bağlarının varlığı saklama sırasında izotopik değişim olasılığını arttırmaktadır.

Ülkemizde dendrokronoloji ile ilgili yapılan bazı önemli çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Dendrokronolojinin bir alt dalı olan ve yıllık halkalara dayanarak geçmiş dönemlerin iklimsel özelliklerini belirleme bilimi olarak tanımlanan dendroklimaloji ile ilgili ülkemizdeki ilk çalışma Grasner ve Ghristiansen-Weniger (1948) tarafından yapılmış ve Anadolu çamlarındaki yıllık halka gelişimlerine dayanarak kurak ve yağışlı yıllar belirlenmiştir.

Kuniholm ve Striker (1976) St. Irene Klisesi'nin kubbe altı kemer krişlerinin bağlantısını konu alan dendrokronolojik çalışma yapmışlardır.

Kuniholm (1977) "Gordion ve Anadolu Platosunda Dendrokronolojik Çalışmalar" konulu doktora tezinde 806 yıl uzunluğunda ardıç kronolojisi oluşturmuştur.

Kantay (1986) tarafından yapılan "Çoruh Meşesi (*Quercus dschorochensis* K.Koch.)'inde Dendrokronolojik Araştırmalar" isimli doktora tezinde yağış ve sıcaklığın meşeler üzerinde önemli bir etkisi olmadığını ortaya koymuştur.

Özkan (1990) "Türkiye'deki Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) üzerinde Dendrokronolojik Araştırmalar" isimli doktora tezinde ladin ağaçlarının çevre koşullarına karşı duyarsız olduklarını saptamıştır.

Akkemik (2000a), Antalya civarındaki karaçamlar üzerine yaptığı çalışmada Alanya ve Cevizli civarından aldığı örneklerle 417 yıl uzunluğunda bir ana kronoloji oluşturmuştur. Bu kronoloji, Kuniholm tarafından oluşturulan Çatacık kronoloji ile karşılaştırılmış ve aralarında % 65.75 (0,999 güven düzeyinde anlamlı) uyum

bulunmuştur. Araştırmada tepki fonksiyonu yöntemini kullanarak yıllık halka gelişimi ile iklim arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Yıllık halka gelişimi üzerinde ocak ve şubat sıcaklığının negatif, yağışın özellikle bahar ve yaz aylarında pozitif etkisi olduğunu belirlemiştir.

Akkemik (2000b), İstanbul Alemdağ'daki fıstık çamları üzerinde yaptığı dendroklimatolojik araştırmada, tepki fonksiyonu yöntemini kullanarak yıllık halkalar ile yağış ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Halka oluşum yılındaki yağış ile büyüme periyodunun başlangıcındaki sıcaklığın yıllık halka gelişimi üzerinde anlamlı bir pozitif etkisi olduğunu belirlemiştir. Ortalama duyarlılık katsayısını 0,291 olarak hesaplamış ve *Pinus pinea* L.'nin dendroklimatolojik açıdan duyarlı bir tür olduğu sonucuna varmıştır.

Akkemik (2000c), Toros Dağlarında geniş bir yayılışı olan Toros göknarı için 1845-1999 yıllarını kapsayan bir ana kronoloji oluşturulmuştur. Ortalama duyarlılık katsayısını 0,178 olarak hesaplamış ve ağaçların iklim faktörlerine düşük bir tepkisinin olduğunu belirtmiştir. Yaz aylarındaki yüksek sıcaklıklar, bahar ve erken yaz aylarındaki düşük yağışlar ile bir önceki yılda gerçekleşen düşük büyümenin yıllık halka genişliğini, sınırlayan faktörler olduğunu belirlemiştir.

Akkemik ve Dağdeviren (2000), Belgrad Ormanı'ndaki (İstanbul) *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.'nin yıllık halka gelişimini sınırlayıcı faktörleri tepki fonksiyonu yöntemini kullanarak ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada yıllık halka gelişimini etkileyen en önemli faktör önceki yılda meydana gelen büyüme olduğu belirlenmiştir. Araştırma alanının türün yayılışının alt sınırında olması nedeniyle, yağışın yıllık halka gelişimi üzerindeki etkisinin genel olarak pozitif ve mayıs ayında anlamlı olduğu saptanmıştır.

Akkemik ve Demir (2003), Belgrad Ormanı'ndaki asli ağaç türlerinden doğu Kayınının 1921-2000 yıllarını kapsayan bir kronolojisini oluşturmuşlar ve aylık ortalama sıcaklık, toplam yağış ile yıllık halka gelişimi arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Bu değişkenlerin ağaç gelişimi üzerindeki etkisinin %32 olduğunu ve ekstrem yıllar dışında iklim faktörlerinin yıllık halka gelişimini belirgin şekilde etkilemediğini saptamışlardır. Yapılan dendroklimatolojik çalışmalar, Anadolu'da

ağaçların yıllık halka genişliğini sınırlayıcı en önemli faktörün vejetasyon dönemindeki yağış olduğunu ortaya koymuştur. Bu aylardaki toplam yağış, bazı meteoroloji istasyonları ve gridler için tahmin edilerek o yöredeki kurak ve yağışlı yıllar belirlenmiştir.

Hughes vd. (2001), Ege Havzasının 1880-1980 yılları arasındaki karakteristik yıllarını saptayarak, önemli kurak ve yağışlı yılları belirtmişlerdir.

D'Arrigo ve Cullen (2001), Sivas meteoroloji istasyonunun 350 yıllık (1628-1980) Şubat- Ağustos toplam yağışını tahmin etmiş, bu dönemde yaşanan kurak ve yağışlı yılları ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlara göre, 1660, 1746 ve 1887 ekstrem kurak, 1689, 1709 ve 1960 yılları da ekstrem yağışlı olarak belirlenmiştir.

Touchan vd. (2003) tarafından, Akdeniz Bölgesi'nin yaklaşık son 700 yıllık Mayıs- Haziran yağışı bu çalışmayla ortaya konmuştur. Bu çalışmayla tek yıl süreli tek kurak dönemin 1476-1479 yıllarında yaşandığı saptanmıştır. Bu çalışmada saptanan kurak ve yağışlı yılların bir çoğu, D' Arrigo ve Cullen (2001) tarafından belirtilen yıllarla da büyük benzerlikler göstermiştir.

Touchan vd. (2005b), 1251-1998 döneminde Batı Anadolu'yu da içine alan bölge için Mayıs-Haziran standart yağış indeksini (SPI) belirlemiştir. Art arda gelen kurak yılların en fazla 2 yıl süreli olduğunu belirtmiştir.

Akkemik vd. (2005) tarafından Kastamonu civarından alınan meşe örneklerine dayanılarak yapılan çalışmada, Kastamonu Meteoroloji İstasyonunun 1635-2000 yıllarını kapsayan Mart-Haziran dönemi yağışlarının tahminleri yapılmış ve 1687, 1692, 1696, 1701, 1725, 1757, 1887 ve 1927-28 yıllarını ekstrem kurak, 1638, 1641, 1689,1709, 1723 ve 1877 yıllarının da ekstrem yağışlı geçtiğini saptamıştır.

Akkemik ve Aras (2005) tarafından yapılan çalışmada da Toros Dağlarından alınan karaçam örnekleri ile oluşturulan kronoloji kullanılarak, Konya Meteoroloji İstasyonunun 1689-1994 yıllarını kapsayan Mayıs-Ağustos dönemi yağış tahmini yapılmıştır. Çalışma ile, son 300 yıllık dönemde, kurak yılların en fazla 3 yıl süreli olduğu ve bunun da çok seyrek olduğu belirlenmiştir.

Köse vd. (2005) tarafından, Eskişehir ve Ankara civarındaki dört yöreden alınan örneklerle Eskişehir Meteoroloji İstasyonu Mayıs-Ağustos toplam yağış tahmini yapılmıştır. 1757-2002 yıllarını kapsayan dönemde 3 yıl süreli kuraklığın bir kez (1870-80), 2 yıl süreli kuraklığın bir kez (1886-87) ve 1 yıl süreli kuraklığın yirmi üç kez yaşandığı belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

GENEL KISIMLAR

2.1.Dendrokronoloji

Dendrokronoloji, yıllık halkalara dayanarak yaş saptama bilimi olarak tanımlanmaktadır. Eski Yunanca'da, '*Dendro*' odun, '*Chronos*' tarih ve '*Logos*' bilim anlamına gelmektedir. Yıllık halka genişlikleri ölçülerek elde edilen 'ana kronolojiler' başlangıç ve bitiş yılları belli olan kronolojilerdir. Hangi yıllara ait olduğu bilinmeyen hareketli kronolojiler elde edildikten sonra, bunlar takvim yılları belli olan ana kronoloji üzerinde gezdirilmekte ve çakıştığı yıllar belirlenmektedir. Bu şekilde bir yandan ana kronoloji geriye uzatılmakta, diğer yandan da tarih belirleme çalışmaları gerçekleştirilmektedir (Akkemik, 2004).

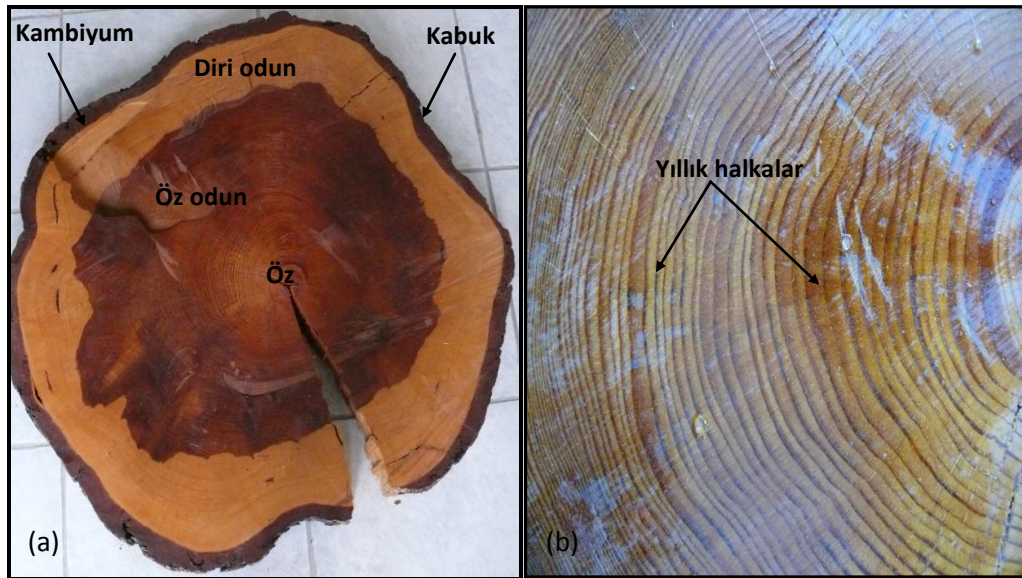
Dendrokronoloji, 'dendro' ön takısı birçok bilim dalının başına konarak çeşitli alt dallara ayrılmaktadır. Günümüz ve geçmiş iklim koşullarının belirlenmesine hizmet eden dendroklimatoloji, günümüz ve geçmiş dönemlerin iklim haritalarının yapılmasına hizmet eden dendroklimatografi; benzer şekilde ekoloji, hidroloji ve jeomorfolojiye hizmet eden dendroekoloji, dendrohidroloji ve dendrojeomorfoloji gibi alt dallara ayrılmıştır (Fritts, 1976; Akkemik, 2004).

2.2.Yıllık Halka

Yıllık halkalar, kambiyum tabakasının bir vejetasyon dönemi içerisindeki faaliyeti sonucunda oluşan yıllık odun kısımlarıdır. Kambiyum, yapı maddeleri, enerji dengesi, hormonlar ve su gibi maddelerin işlendiği bir fabrika olarak değerlendirilebilir. Bu maddelerin elde edilmesini sınırlayan herhangi bir faktör, büyümeyi de sınırlar (Akkemik, 2004). Yıllık halkalar büyümenin kesikli olması nedeniyle oluşmaktadırlar. Kış döneminde büyümenin durduğu tüm iklim bölgelerinde yetişen ağaçlar belirgin

halkalar meydana getirirler (Bozkurt, 1992). Ülkemizin içinde bulunduğu ılıman iklim kuşağında kambiyum tabakası ilkbahar ile sonbahar arasında gelişir. Bu nedenle, her yıl sınırları belirgin bir halka oluşturmaktadır. Tropikal iklim kuşağında ise kambiyum yıl boyu faaliyette olmasına karşın fazla belirgin olmayan bir durağan dönem geçirmektedir. Bu nedenle halka sınırları belirgin değildir (Akkemik, 2004).

Bir yıllık halkada, vejetasyon periyodunun başında ve sonunda oluşan hücreler, çeşit, büyüklük, sayı ve dağılım bakımından birtakım farklılıklar gösterirler. Böylece yıllık halkalar ilkbahar ve yaz odunu olmak üzere iki tabakadan oluşmaktadır. İlkbahar odunu tabakası vejetasyon periyodu başında oluşmakta, su iletimini sağlamakta, yaz odunu tabakası ise vejetasyon periyodu sonunda oluşmakta ve destekleme görevini üstlenmektedir. İğne yapraklı ağaçlarda ilkbahar odunu hücreleri geniş lümenli ve ince çeperlidir. Buna karşılık yaz odunu hücreleri dar lümenli ve kalın çeperlidir. Bu nedenle yıllık halkalarda ilkbahar odunu tabakası açık renkte, yaz odunu tabakası ise koyu renkte görülür (Bozkurt, 1992). Bu durumda bir açık ve bir koyu renkli halka bir yıllık bir büyümeye karşılık gelir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Ağaç enine kesiti. (a) ÖZ, özodun (iç kısımda tamamen ölü hücrelerden oluşan koyu renkli tabaka), diri odun (dış kısımda yaşayan hücrelerden oluşan tabaka), kambiyum, kabuk; (b) yıllık halkalar.

Yıllık halkaların şekli ve genişliği büyüme şartlarına bağlı olarak yıldan yıla değişir. Genellikle geniş halkalar büyümek için bereketli topraklar, su ve güneş ışığı gibi çok iyi şartların olduğunu gösterir. Dar halkalar ise kuraklık, soğuk gibi daha az elverişli koşulları işaret eder.

2.3. Yıllık Halka Genişliğini Etkileyen Faktörler

Yıllık halka genişliği başta genetik yapı olmak üzere, çok sayıda faktör tarafından denetlenmektedir. Bu faktörleri 4 ana grup altında toplamak mümkündür (Akkemik, 2004):

- 1) Fizyolojik faktörler (karbonhidratlar, mineral maddeler, bitkisel hormonlar vb.);
- 2) Değişken iklim faktörleri (sıcaklık, yağış, rüzgar vb.);
- 3) Sabit fizyografik (bakı, rakım, eğim vb.) ve edafik (toprak özellikleri ve ana kaya) faktörler;
- 4) Doğal olmayan faktörler (yaralama, budama, gübreleme ve en önemlisi de hava kirliliği).

2.3.1. Fizyolojik faktörler

Karbonhidratlar, yapraklarda üretildikten sonra büyümede kullanılan, odunsu bitkilerin en önemli yapı maddelerinden biridir. Yapraklarda fotosentez yoluyla üretilen karbonhidratlar, fotosentez-solunum ilişkisine bağlı olarak gövdenin daha alt kısımlarına gönderilirler (Akkemik, 2004).

Fotosentez ve solunum: Yıllık halkaların oluşumunda kullanılan organik maddeler, bir dizi kimyasal reaksiyon sonucu yapraklarda üretilir. Özellikle ilkbahar döneminde, yaprakların oluşmasıyla beraber, fotosentez hızlı bir şekilde gerçekleşmekte ve yıllık halka oluşumu için gerekli olan organik maddeler üretilmektedir. Bu

dönemde, fotosentez ve solunum arasındaki denge fotosentez lehinde olup, karbonhidratların önemli bir kısmı, odunsu dokuların yapımında kullanılmaktadır. Bu durum yaz ortalarına doğru sıcaklığın artması ve yağışların azalmasıyla beraber giderek dengelenmekte ve yaz döneminde üretilen karbonhidratların önemli bir kısmı solunumda tüketilmektedir. Bu durumda büyüme için yeterli karbonhidrat iletimi gerçekleşemediği için, yaz döneminde çap artımı minimum seviyeye inmektedir (Akkemik, 2004).

Mineral maddeler, odunsu bitkilerin gelişiminde çok önemli bir yere sahiptir. Osmatik basıncın düzenlenmesi, hücre bölünmesi, hücre çeperinde gerginlik boy büyümesi ve çap artımı gibi çok sayıda fizyolojik faaliyetin gerçekleşmesinden sorumludurlar (Akkemik, 2004).

2.3.2. Değişken iklim faktörleri

Sıcaklık ve yağış faktörleri yıllık halka genişliğinde bir yıldan diğerine meydana gelen değişikliklerde önemli rol oynarlar. Sıcaklık ve yağış değerlerinin sayısal olarak ifade edilmesi ile yıllık halka genişlikleriyle sıcaklık ve yağış arasındaki ilişkiler incelenebilir. Benzer iklim koşullarının etkisi altında yetişen ağaçlar, iklimde meydana gelen değişimlere benzer tepki vermektedirler. Buna bağlı olarak, ağaçların yıllık halka genişlikleri birbirini takip eden yıllarda aynı yönde seyretmektedir. Yıllık halkaların bu özelliği dendrokronoloji bilim dalının temelini oluşturmaktadır (Akkemik, 2004).

2.3.2.1. Sıcaklığın yıllık halka genişliği üzerindeki etkisi

Sıcaklık, bitkilerin yayılışından büyümesine kadar, çok önemli etkilere sahiptir. Ekvatordan kutuplara doğru bitki türlerinin çeşitliliği ve yayılışı değişmektedir. Hatta yükseltiye bağlı olarak da yayılış oldukça değişkenlik göstermektedir. Örneğin, Anadolu karaçamı (*Pinus nigra*) ağaçları ülkemizde oldukça geniş bir yayılıma sahiptir.

Karadeniz bölgesinde tek tek bireyler halinde deniz seviyesine kadar inerken, Akdeniz bölgesinde 1000 m'nin altında görülmezler (Akkemik, 2004).

Sıcaklık, çap artımı üzerine farklı dönemlerde farklı şekillerde etkili olmaktadır. Yüksek sıcaklık, kambiyum faaliyetinin başladığı ilkbaharda ve durma dönemi olan sonbaharda olumlu etki yaparken, yaz aylarında düşük yağış ve kuraklık nedeni ile olumsuz yönde etki yapmaktadır. Ancak yüksek yetiştirme ortamlarında ve yağış probleminin olmadığı alanlarda yaz aylarındaki yüksek sıcaklıkların olumlu yönde etkisi de bulunmaktadır. Çap artımı, tropik kuşakta yıl boyu devam ederken, ılıman kuşakta kış aylarında oldukça sınırlıdır. Kambiyum tabakasının faaliyetsiz kalmasının ana nedeni düşük sıcaklıklardır. Örneğin bir doğu ladininin (*Picea orientalis* (L.)Link.) yayılış alanının alt sınırında belirli bir yılda 6 mm çap artımı yaparken aynı türün üst orman sınırında yetişen başka bireylerin aynı yıldaki çap artımı 3 mm olarak gerçekleşmiştir. Bunun nedeni alt kuşaklarda vejetasyon süresinin daha uzun olmasıdır. Üst kuşaklarda sıcaklık düşük olduğundan vejetasyon süresi oldukça kısadır (Akkemik, 2004).

Sıcaklık değişimlerinin dönemsel etkileri yanında yıllık hatta günlük değişimler de ağaçların fizyolojik faaliyetleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Günümüzde endüstriyel faaliyetlerle sıcaklığın ve özellikle karbondioksit miktarının artması büyüme üzerinde etkilidir. Ağaçlar belirli karbondioksit konsantrasyonlarında (yaklaşık 400-500 ppm) yüksek oranda fotosentez yapabilmektedir. Ancak artan karbondioksit boy büyümesi ve çap artışını azaltmaktadır (Akkemik, 2004).

Sıcaklık, 30-35°C ye kadar fotosentez üzerinde olumlu etki yapmakta ve fazla miktarda karbonhidrat üretilmektedir. Bu arada solunum da artmakta ve üretilen besin maddelerinin bir kısmı tüketilmektedir. Solunumla besin maddesi tüketilirken, aynı zamanda ağaçların diğer fizyolojik faaliyetleri için enerji açığa çıkmaktadır. Sıcaklığın daha fazla artması ile (>35°C) fotosentez miktarında azalma, solunum miktarında da artış meydana gelmektedir. Böylece üretilen karbonhidratların solunumla tüketimi artmakta ve ağaçların büyümeleri için gerekli olan karbonhidratların önemli bir kısmı tüketilmektedir. Bunun sonucunda da, yüksek sıcaklıklar büyümeyi olumsuz yönde etkilemektedir (Akkemik, 2004).

Ilıman kuşaktaki odunsu bitkiler, ilkbahar sıcaklığına bağlı olarak büyüme ve gelişmesine başlamakta ve sonbaharda da düşük sıcaklıklara bağlı olarak faaliyetlerini zorunlu olarak durdurmaktadır. Bu nedenle, sıcaklık büyümenin başladığı dönemde pozitif bir etkiye sahiptir. İlkbahar başındaki yüksek sıcaklık, toprakta yeterli su ile birlikte, vejetasyon döneminin erken başlamasına ve böylece bitkilerin uzun bir büyüme dönemi geçirmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, geç sonbahar aylarında sıcaklıkların yüksek olması büyüme döneminin uzamasını ve daha fazla büyümeyi sağlamaktadır. Yaz aylarında ise, yüksek sıcaklıklar kuraklığa sebep olduğundan halka gelişimi üzerinde olumsuz etki yapmaktadır (Schweingruber, 1996; Akkemik, 2004).

Sıcaklık etkisi, ağaçların bulunduğu ortamın şartlarına göre değişmektedir. Yüksek sıcaklıklar, bir türün alt yetiştirme ortamlarında kuraklığa ve halkaların dar olmasına sebep olurken (negatif etki), aynı türün üst yetiştirme sınırlarında pozitif bir etkiye sahiptir. Sıcaklığa bağlı olarak bitkilerin gelişmesi üzerinde rol oynayan en önemli faktör, normal gelişimi sağlayan sıcaklığın bulunduğu dönemin uzunluğudur. Bu devreye 'vejetasyon dönemi veya büyüme dönemi' denmektedir. Bu dönem ne kadar uzun olursa ağaç gelişimi ve dolayısıyla halka genişliği o oranda fazla olacaktır. Bu dönemin başlaması için kesin bir sıcaklık değeri olmamakla birlikte ülkemiz koşullarında +10 °C'lik bir sıcaklık başlangıç olarak kabul edilmektedir. Bu dönem Akdeniz Bölgesi'nde çok uzunken, daha serin bölgelerde ve üst orman zonunda daha kısadır (Akkemik, 2004).

Sıcaklık diğer bir iklim değişkeni olan yağışla beraber fakat tersi yönde etki yapan önemli bir faktördür. Ağaçların büyüme ve gelişmesinde yaşanan fizyolojik süreçlerin büyük bir kısmında (suyun alınması, iletilmesi, solunum, transpirasyon, hücre bölünmesi ve genişlemesi gibi), faaliyetin hızını ve miktarını doğrudan etkilemektedir (Akkemik, 2004).

Ağaç gelişiminde sıcaklığın etkisi, yetiştirme yerine, mevsime ve ağaçların özelliklerine göre değişmektedir. Hem yüksek, hem de düşük sıcaklıklar ağaç gelişiminde farklı şekillerde etkili olmaktadır. Üst kuşaklarda yüksek sıcaklıklar ağaç gelişimini hızlandırırken alt kuşaklarda da olumsuz yönde etki yapmaktadır. Benzer şekilde ilbaharda yüksek sıcaklıklar büyüme ve gelişmeyi hızlandırırken, yazın

engelleyici yönde etki yapmaktadır. Bundan dolayı, sıcaklığın etkisi yağışla beraber ve ters yönlü olduğundan oldukça karmaşıktır (Kozłowski ve Pallary, 1997; Akkemik, 2004).

2.3.2.2.Yağışın yıllık halka genişliği üzerindeki etkisi

Orman ağaçlarının büyümesi ve gelişmesi diğer ekolojik faktörlere kıyasla özellikle ılıman iklim koşullarında en fazla su tarafından etkilenmektedir. Suyun sağlanması, ağaç türlerinin yayılışı ve tür bileşimini etkilediği gibi, tek tek bireylerin fizyolojik faaliyetlerini de doğrudan etkilemektedir. Su noksanlığının etkisi, hücrelerin genişlemesi sırasında hücre bölünmesine göre daha fazladır. Hücre genişlemesi sırasında turgor basıncına (hücre içindeki suyun hücre zarına yaptığı basınç) büyük ihtiyaç duyulmaktadır. Hücrelerin su ile dolu olması da, hücrenin genişlemesindeki fizyolojik faaliyetleri etkilemektedir (Akkemik, 2004).

Ağaçlardaki su noksanlığı, değişik türlerde farklı şekilde etkili olmaktadır. Özellikle kuraklık etkilerine dayanıklı olan ağaçlarda su noksanlığı etkisi daha az olurken, nemli iklimlerin ağaçları su noksanlığına karşı dayanıksızdır. Tomurcuk faaliyeti, sürgün uzaması ve yaprak büyümesi gibi fizyolojik faaliyetleri etkileyen su, yıllık halka genişliği üzerinde de büyük etkiye sahiptir. Su noksanlığı, kambiyum faaliyetinin değişik aşamalarında olumsuz etkiler yapmaktadır. Kambiyum hücrelerinin bölünmesi, floem (fotosentez sonucu üretilen organik maddeleri yeni sürgün oluşumunda kullanmak üzere veya depo organlarında biriktirmek üzere ileten borucuklar) ve ksilem (bitkilerde inorganik maddelerin (su, mineraller vb.) taşınmasını sağlayan yapı) ana hücrelerinin farklılaşması ve genişlemesi aşamasında hücre boyutlarını ve sayılarını etkilemektedir. Yıllık olarak üretilen ksilem miktarı, yaz odunu oluşumu ve süresi, dokularda bulunan su miktarı ile değişmektedir. Su noksanlığı kambiyum faaliyeti üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı olarak olumsuz etki yapmaktadır (Fritts, 1976; Akkemik, 2004).

Kambiyal zondaki su noksanlığı, hücre gelişmesi için gerekli olan turgor basıncının düşük kalmasına neden olur ve kambiyum faaliyetini etkiler. Aşırı su noksanlığı, yapraklar tarafından üretilen ve büyüme noktalarına iletilen karbonhidratların miktarını azalttığından, özellikle ksilem tabakasındaki hücre zarlarının oluşmasında olumsuz etkiler yapmaktadır. Çünkü ksilem hücreleri selüloz ve lignin gibi bazı organik maddelerle hücre çeperlerini genişletmekte ve oduna sertlik kazandırmaktadır. Su noksanlığı olduğunda, oduna sertlik kazandıran bu elemanlar azalmaktadır (Fritts, 1976). Yaz aylarındaki aşırı kuraklık, açık renkli ve ince zarlı traheidlerden (hücreler arası su iletimi görevini yapan iletim dokuları) oluşan halka oluşumuna yol açar. Kurak periyotlar sonunda oluşan hücrelerin çeperleri daha ince olurken, lümenleri de daralmaktadır. Bir başka ifade ile, hücre çapları daha küçük olmaktadır. Ülkemizin değişik bölgelerinde su noksanlığının etkileri aynı değildir. Kuraklık etkisi özellikle Akdeniz Bölgesinde görülürken, Karadeniz Bölgesinin yüksek kesimlerinde ise yok denecek kadar azdır (Akkemik, 2004).

Alt yetişme ortamlarında, düşük yağış büyüme doğrudan sınırlandırmaktadır; yağışın az olduğu dönemlerde sıcaklık fazla olduğundan, kuraklık etkisi ortaya çıkmakta ve yıllık halka gelişimi olumsuz yönde etkilenmektedir. Yağışın dolaylı veya doğrudan halka gelişimi üzerine yaptığı etkiyi incelemek için ormanın alt sınırlarından örnek alınması daha güvenilir sonuçlar vermektedir; buna karşılık, yağışların yüksek olması güneşli ve sıcak günlerin daha az olmasına, başka bir deyişle, düşük sıcaklığa neden olduğundan sınırlayıcı bir etkisi bulunmaktadır. Yıl içerisinde, özellikle vejetasyon döneminin başlangıcında, toprakta genellikle yeterli miktarda su bulunduğundan, yüksek ve uzun süreli yağışların güneşlenmeyi ve bir miktar sıcaklığı düşürmesinden dolayı olumsuz etkisi vardır. Ülkemizin çok nemli yöreleri dışında, yaz aylarında yağışın azalması ve dolayısıyla topraktaki alınabilir su miktarının minimum seviyeye düşmesiyle yağışın önemi artmaktadır. Bu dönemde toprağa inen her yağış damlası, bitki kökleri tarafından alınmaya çalışıldığından yağış miktarı ile halka gelişimi arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Genel olarak yağışın yüksek olduğu yıllarda halkalar geniş, düşük olduğu yıllarda ise dar olmaktadır (Akkemik, 2004).

2.3.3. Sabit fizyografik ve edafik faktörler

2.3.3.1. Bakı

Bakı, ağaç türlerinin yayılış alanlarını sınırlayan ve yıllık halka genişliğini etkileyen bir faktördür. Ülkemizde kuzey bakılar, güney bakılara kıyasla daha az güneşlenme süresine sahiptir ve güneş ışınlarının daha eğik gelmesiyle, güney bakılara göre daha soğuktur. Örneğin, yüksek dağlık kesimlerde yağın karlar, güney bakılarda ilkbahar başlarında erirken, kuzey bakılarda bazen yaz sonlarına kadar erimemektedir. Ağaçların büyüme ve gelişme faaliyetleri üzerinde sıcaklığın ve güneşlenme süresinin önemli bir etkisi bulunduğundan, özellikle yüksek kesimlerde güney bakılardaki ağaçlar, daha geniş yıllık halkalar oluşturmaktadır. Yüksek kesimlerin kuzey bakılarında ise yıllık halka gelişimi daha az olmaktadır (Akkemik, 1997).

Bakı, yıllık halka genişliği üzerinde genel bir etkiye sahip olup, ülkemiz koşullarında ağaçların duyarlı veya duyarsız halka oluşumunu etkilemektedir. Güney bakıların alt yetişme ortamlarında güneşlenme süresi ve ısınmaya bağlı olarak artan evapotranspirasyon, su kaybını artırmakta ve su açığının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yağışların yüksek olduğu yıllarda güney bakılardaki ağaçlar iyi gelişme gösterirken, yağışın düşük olduğu yıllarda halka genişliği dar olmaktadır. Bir başka deyişle duyarlı halkalar oluşur. Kuzey bakılarda da, eğer toprak koşulları da uygun ise büyümede genel olarak belirgin bir değişkenlik görülmez ve duyarsız halkalar oluşur. Buna karşın, toprak koşullarının elverişsiz olduğu kuzey bakılarda da duyarlı halkalar görülmektedir (Akkemik, 2004).

2.3.3.2. Rakım

Denizden yüksekliğin az olduğu alt yetişme ortamlarında düşük yağış ve yüksek sıcaklık, üst sınırlarda da yüksek yağış ve düşük sıcaklık ile bazı sınırlayıcı etkiler ortaya çıkmaktadır (Akkemik, 2004).

Her orman ağacının belirli bir optimum yayılış alanı bulunmaktadır. Yayılış alanlarının alt ve üst sınırlarında, yani denizden yüksekliğin az ve fazla olduğu alanlarda orman ağaçları, gerçek formlarından uzaklaşmaktadır. Gövde şekilleri bozulmakta, özellikle üst yetiştirme ortamlarında boyları kısalmaktadır; yani elverişsiz koşulların etkilerini yapılarına yansıtmaktadırlar. Optimum koşullarda ise örneğin sarıçamlar silindirik, düzgün ve yaklaşık 40 metreye kadar boy yapmaktadır. Buna bağlı olarak alt ve üst yetiştirme ortamlarında yıllık halkalar daha duyarlıdır. Bu nedenle, dendrokronolojik çalışmalarda örneklerin optimum koşullardan değil, yetiştirme ortamının alt ve üst sınırlarından alınması daha güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlar (Akkemik, 2004).

2.3.3.3.Eğim

Eğim ağaç gelişimini etkileyen bir diğer önemli faktördür. Eğimli arazilerdeki ağaçlarda, eğim miktarına bağlı olarak gövdenin alt kısmında bir kalınlaşma görülür. Kambiyum hücreleri, gövdenin toprağa yakın kısımlarında daha fazla bölünmektedir. Bu nedenle eğimin fazla olduğu arazilerde gövdeler, bazen tabanda çok geniş ve üst kısımlarda çok dar olmaktadır; yani silindirik gövde oluşumundan uzaklaşmaktadır. Eğim ayrıca ağaçların toprağa yakın kısımlarında eksantrik gövde oluşumuna da sebep olmaktadır (Akkemik, 2004).

Eğim miktarının artmasına bağlı olarak, toprak derinliği ve dolayısıyla toprakta depolanan su miktarı azalmaktadır. Özellikle seyrek ormanlarda ve diri örtünün az olduğu fazla eğimli alanlarda, çoğunlukla ana kaya yüzeye kadar çıkmaktadır. Toprak derinliğinin ve tutulan suyun az olması ağaç gelişimi için önemli bir sınırlayıcı faktördür. Dendroklimatolojik çalışmalarda, yağış etkisinin ortaya konmasında eğimli ve sığ topraklarda bulunan ağaçlar çok çarpıcı sonuçlar vermektedir (Akkemik, 2004).

2.3.3.4.Ana kaya ve toprak

Ana kaya, toprak türü, toprak derinliği, toprak tipi ve taşlılık gibi özellikler, ağaç gelişimini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Ana kayanın yapısı köklerin gelişmesi için elverişli ortam oluşturma açısından çok önemlidir. Örneğin, ana kayanın kireçtaşı olduğu durumda metrelerce derinliğe giden çatlaklar, fizyolojik derinlik oluştururlar. (Akkemik, 2004).

Toprak derinliği ve türü ile taşlılığı, bitkiler için gerekli olan besin maddelerinin miktarını ve faydalanılabilir su kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Derin ve balçık türündeki topraklarda faydalanılabilir su kapasitesi ve topraktaki depo edilen su miktarı oldukça yüksek iken sığ ve özellikle kumlu topraklarda çok düşüktür. Çok killi topraklarda faydalanılabilir su miktarı oldukça azdır (Akkemik, 2004).

Derin ve ağaç gelişimi için elverişli olan alanlardaki ağaçlar, geniş yıllık halkalar oluşturmaktadır. Toprakta yeterli miktarda besin maddesi ve su olduğundan, iklim değişimleri yıllık halkaların yıllık değişimlerini fazla etkilemeyecek ve duyarsız halkalar oluşacaktır. Buna karşılık, yamaç arazilerde, sığ ve taşlı topraklar üzerinde bulunan ağaçlar su noksanlığını yıllık halka genişliğine daha belirgin şekilde yansıtmaktadır. Bu tür alanlarda, toprağa düşen her yağmur damlası ağaçlar için önem taşıdığından, yıllık halkalar bol yağışlı yıllarda daha geniş az yağışlı yıllarda daha dardır (Akkemik, 2004).

2.3.4.Doğal olmayan faktörler

Orman ağaçlarında meydana gelen doğal olmayan etkileri yaralanma, budama, gübreleme ve hava kirliliği olarak sıralamak mümkündür. Özellikle yaralama ve budama etkisinin büyüklüğüne bağlı olarak, yıllık halka genişliğinde önemli azalmalar meydana gelmektedir (Akkemik, 2004).

BÖLÜM 3

MALZEME VE YÖNTEM

3.1.Araştırma Alanının Tanımı

Araştırma alanını oluşturan Yaylacık Araştırma Ormanı Kuzeybatı Anadolu'da Bolu-Mengen ile Karabük-Yenice ilçeleri arasında yer almaktadır (Şekil 3.1). Yaylacık Araştırma Ormanı Mengen ilçesine 24 km, Yenice ilçesine 37 km ve Ankara'ya 197 km. uzaklıktadır.



Şekil 3.1. Bolu-Mengen Yaylacık Araştırma Ormanı'nda ağaç örneklerinin alındığı yerleri gösteren harita.

Yaylacık Ormanı 75 bölmeden oluşan 5.304 ha'lık bir alanı kapsamaktadır. Bu ormanda bulunan ana ağaç türleri Kayın (*Fagus orientalis*), Meşe (*Quercus*), Gökknar (*Abies bornmülleriana*), Karaçam (*Pinus nigra*) ve Sarıçam (*Pinus silvestris*)'dır (Şekil 3.2).

Örnek alanında iklim nemli olup, genel olarak tipik Karadeniz Florası bulunmaktadır. Yukarı kesimlerde sarıçam ve karaçam, aşağı kesimlerde yerini yapraklı ağaçlara bırakmaktadır. Kayın ağacının hâkim olduğu yapraklı orman içerisinde meşe türleri, gürgen, dişbudak, karaağaç, kiraz, kavak, söğüt gibi türler ormanın karışımına girmektedir.



Şekil 3.2. Mengen Yaylacık Araştırma Ormanı karaçam örnekleme sahasının genel görünümü.

Alt örnek alanı, bölgede karaçamların inebildiği en alt sınırdadır. Yukarı kesimde ise büyük oranda karaçam orman oluştururken, sarıçam da önemli oranda karışıma girmektedir.

3.2.Araştırma Malzemesi ve Örneklerin Alınması

Bolu–Mengen Yaylacık Araştırma Ormanında 04–09 Ağustos 2008 tarihinde gerçekleştirilen arazi çalışmasında en az 200 yaşında olan karaçam ağaçlarından artım kalemleri alınmıştır. Karaçam tercih edilmesinin sebebi halkalarının belirgin olması, farklı yükseltilerde ve çok geniş bir yayılış alanında yetişebilmesidir.

Karaçam: Bütün kıyı bölgelerimizin dağlık kesimlerinde saf ya da karışık ormanlar kurar, hatta steppe kadar sokulur (Şekil 3.3). Ülkemizde 2.527.685 hektar saf karaçam ormanı bulunmaktadır. Gövdesinin ve dallarının kalınlığı, gri ve derin çatlaklı kabuğu, iğne yapraklarının koyu yeşil rengi ile diğer çam türlerinden ayrılır. 30-35 m'ye kadar boylanabilir. Doğal olarak yetişen dört alt türü; Anadolu karaçamı (*Pinus nigra subsp.pallasiana.var.pallasiana*), Ehlami karaçam (*Pinus nigra subsp.pallasiana.var.pyramidata*), Ebe çamı (*Pinus nigra subsp.pallasiana.var.seneriana*) ve büyük kozalaklı karaçam (*Pinus nigra subsp.pallasiana.var.yaltırıkiana*) dır (OGM).



Şekil 3.3. Türkiye’de karaçam (*Pinus nigra*) yayılış alanları (OGM).

Örnekler, canlı ağaçlardan 12 mm çapında ve 50 cm boyundaki artım burgularıyla (Şekil 3.4) artım kalemleri (Şekil 3.5) şeklinde alınmıştır. Artım burgusu; yaşı ölçülecek ağacın gövdesinin yerden 1.30 m yüksekliğindeki bölgesinde, ağacın gövdesine çevirmek suretiyle sokulur. Daha sonra artım burgusu kaşığı yardımı ile

ağaca zarar vermeden bir kalem dışarıya çıkarılır. Bu kalem üzerinden ağacın yıllık halkaları kolayca sayılır.



Şekil 3.4. Karaçam ağaçlarından artım burgusu ile kalem alınması.



Şekil 3.5. 12 mm çapındaki bir artım kalemi örneği.

Alınan artım kalemleri henüz nemliyken etiketlenmiş ve üzerine alan kodu, ağaç numarası ve kalem numarası bilgileri yazılmıştır. Artım kalemleri zarar görmemesi için gazete kağıtlarına sarılmıştır. Halka örnekleri Bolu-Mengen-Yaylacık Araştırma Ormanından alındığı için, alçak rakımdakiler YAY, üst rakımdakiler de YAYU olarak kodlanmıştır (Çizelge 3.1). Arazi defterine yöre, yükseklik ve bakı bilgileri ile örnek alınan bölgenin koordinatları kaydedilmiş ve alanlar fotoğraflanmıştır.

Çizelge 3.1. Örnek alınan saha, özellikleri ve örnek sayıları.

İL	İLÇE	MEVKİİ	BÖLGE KODU	AĞAÇ SAYISI / KALEM SAYISI	BAKI	RAKIM (m)	ENLEM- BOYLAM
BOLU	MENGEN	YAYLACIK ARAŞTIRMA ORMANI (ALT YÜKSELTİ)	YAY	7/12	KBB	830	41°01'233" 32°15'456"
		YAYLACIK ARAŞTIRMA ORMANI (ÜST YÜKSELTİ)	YAYU	7/12	KBB	1315	40°59'885" 32°15'449"

3.3.Dendrokronolojik Yöntemler

Alınan artım kalemlerinin üst yüzeyleri genellikle pürüzlüdür. Bu şekilde halkaların analiz edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle yıllık halkaların belirgin bir şekilde görülebilmesi için artım kalemlerinin enine yüzeyleri zımparalanmış ve 5'er yıllık seksiyonlara ayrılmıştır. Artım kalemlerinin seksiyonlara ayırma işlemi tamamlandıktan sonra İstanbul Üniversitesi Orman Botaniği Anabilim Dalındaki LINTAB-TSAP ölçüm sisteminde 0.01 mm duyarlılıkta yıllık halka ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Ölçüm sonuçları TSAP-WIN programında *.fh uzantılı dosyalar halinde kaydedilmiştir.

Örnekler ayrı ayrı ölçüldükten sonra eşleştirme yapılmıştır. Ağaçların çoğu olumsuz çevre koşullarının çok etkin olduğu yıllarda, ya hiç halka oluşturmamakta, ya çok dar ya da sadece ağacın bir tarafında halka oluşturmaktadır. Çevresel koşulların elverişli olduğu bazı yıllarda genç ağaçların ikinci bir halka oluşturduğu görülmektedir (Akkemik, 2004). Özellikle yaşlı ağaçlarda eksik halka problemine sık rastlanmaktadır. Benzer şekilde yaşam süresi içerisinde ağaçların bazılarında çeşitli sebeplerle küçük veya büyük yaralar meydana gelebilmektedir. Bu yaralar meydana geldikleri yıllarda yıllık halkaların ya geniş, ya çok dar olmasına ya da oluşmamasına neden olmaktadır.



Şekil 3.6. LINTAB-TSAP sisteminde örneklerin yıllık halkalarının ölçülmesi.

Eşleştirme, yıllık halka serilerinde eksik ve yalancı halkaların belirlenmesine ve varsa ölçüm hatalarının giderilmesine olanak sağlamaktadır. Eşleştirme işlemi COFECHA programı (Holmes, 1983) kullanılarak yapılmıştır. COFECHA, Dendrokronoloji Program Kütüphanesi'ndeki (DPL) diğer programlar gibi, birkaç ASCII formatındaki veriyi okuyabilen bir program olup, yıllık halka serilerindeki eksik ve yalancı halkaların yerlerini belirlemeye yardımcı olmaktadır. COFECHA, veri dosyalarını 0,01 veya 0,001 mm doğrulukta okuyabilmektedir. Ölçüm sonuçları her bir yöre için *.RWL uzantılı bir dosyada toplanarak bu dosya, programın tarihi bilinen halka serileri sorgulamasında veri olarak girilir. Bütün işlemler seçildikten sonra COFECHA çalıştırılır (Köse, 2007).

COFECHA, korelasyon katsayılarına dayanarak eşleştirme yapmaktadır. Dönüştürülmüş her seri daha sonra, seçilen segment uzunluğu ve örtüşme kullanılarak yapılan korelasyon analizi ile ortalama kronolojiye karşı test edilmektedir. Her bir segment için ortalama kronolojiye karşı test edilen serilerdeki değerler kullanılarak bir korelasyon katsayısı hesaplanmaktadır. Korelasyon katsayısı seçilen güven düzeyinde anlamlı ve pozitif olduğunda doğrulanmaktadır. Korelasyon katsayısı ayrıca

tarikhlendirilen yıldan 10 yıl önce (-10) ve 10 yıl sonrasına kadar (+10) alternatif pozisyonlarda yüksek korelasyon olup olmasına bakarak da denetlenmektedir. Bu tarikhlendirilen pozisyonun iki yanındaki 10 yıllık kısımlar bir çok çakıştırma hatasının yerini belirlemek ve ayrıca ölçüm sırasında atlanarak veya tekrarlanarak yapılan hataları (10 yıla kadar) yakalamaktadır (Köse, 2007).

3.3.1.Yıllık halka kronolojisinin elde edilmesi

Dendrokronolojik grafiklerin elde edilmesinde 4 yöntem kullanılmaktadır: 1- İskelet noktalama, 2- Mutlak halka genişliklerinin bir grafikte gösterilmesi, 3-Yıllık halka genişliklerinin yarı-logaritmik olarak gösterilmesi 4- Yıllık halka serilerinin standart hale dönüştürülmesi (Trenard, 1982; Schweingruber, 1988). Bu çalışmada mutlak halka genişliklerinin bir grafikte gösterilmesi ve yıllık halka serilerinin standart hale dönüştürülmesi yöntemi kullanılmıştır (Akkemik, 2004).

Ölçüm sonucunda elde edilen yıllık halka genişlikleri y ekseninde, bu değerlere karşılık gelen yıllar x ekseninde yer alacak şekilde mutlak halka genişliklerine ait grafikler çizilmektedir.

Ağacın büyüme ve gelişmeleri ile çevresi arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle, yıllık halka oluşumları sırasında, ağacın yaşına bulunduğu ortamın toprak koşullarına, bakısına, eğimine ve kapalılık durumuna göre yıllık halka genişliklerinde uzun dönem eğilimleri görülmektedir. Bu eğilimlerin ortadan kaldırılması ve kronolojilerin standart hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Standartlaştırma işlemi için mutlak halka genişlikleri grafiğine en uygun regresyon eğrisi geçirilir. Daha sonra indis değerleri elde edilir. İndis değerleri iki şekilde elde edilmektedir: Birincisinde gerçek değerlerin, regresyondan elde edilen değerlere bölünmesiyle, ikincisinde de gerçek değerlerden regresyondan elde edilen değerlerin çıkarılmasıyla indis değerleri elde edilmekte ve kronoloji standart hale dönüştürülmektedir (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988; Akkemik, 2004):

$$I_t = W_t / y_t \quad (\text{Bölme yöntemi})$$

$$I_t = W_t - y_t \quad (\text{Fark yöntemi})$$

I_t = t yılındaki halka genişliği indisi,

W_t = t yılında ölçülen yıllık halka genişliği,

y_t = regresyondan elde edilen t yılındaki değer.

İndis değerleri kullanılarak çizilen kronolojilere standart kronolojiler denmektedir (Köse, 2007).

3.3.2. Korelasyon katsayıları

Korelasyon katsayıları grafikler arasındaki uyumu incelemek için kullanılır. Bu yöntemde iki grafik arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığı incelenir. Katsayılar en çok +1 ve -1 değerlerini almaktadır; +1 mükemmel bir pozitif ilişkiyi -1 de mükemmel bir ters ilişkiyi göstermektedir. Katsayıların 0 değerine yaklaşması ilişkinin zayıfladığını yansıtmaktadır (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988; Akkemik, 2004).

$$r_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} (x_t - m_x)(y_t - m_y)}{(n-1) S_x S_y}$$

Hesaplanan korelasyon katsayılarının istatistik olarak anlamlı olup olmadıklarını denetlemek için t testi kullanılmaktadır. t değerleri aşağıdaki formülle hesaplanmakta ve standart istatistik kitaplarında verilen t dağılım tablosundaki sınır değerleri ile karşılaştırılarak anlamlılık düzeyi belirlenmektedir.

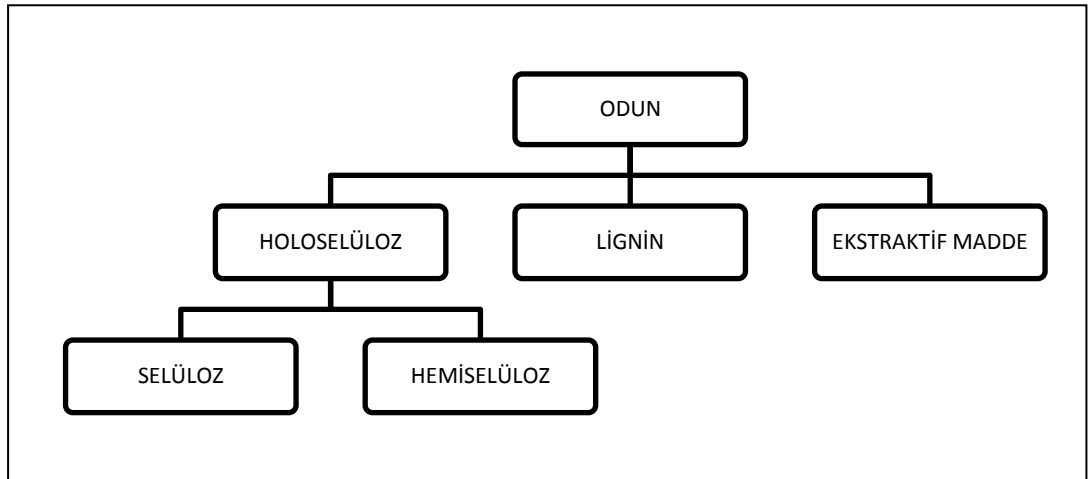
$$t = |r| \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

3.4. Jeokimyasal Yöntemler

3.4.1. Odunun kimyasal yapısı

Odunun kimyasal yapısı büyük oranda içerdiği bileşiklerle yakından ilişkilidir. Hücre çeperinin kimyasal bileşimindeki maddeleri primer ve sekonder olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Primer maddeler, çeperin esas yapısını teşkil eden maddeler olarak kabul edilir, sekonder maddeler ise biyolojik etkenlere karşı koruyucu, renk ve koku veren maddeler olarak tanımlanır (Bozkurt, 1992).

Primer maddeler holo-selüloz ve lignindir. Odundaki holoselüloz miktarı % 60-85 oranları arasındadır. Holoselüloz, selüloz ve hemiselüloz olarak ikiye ayrılır. Lignin miktarı ise % 15-25 civarındadır. İğne yapraklı ağaçlarda ise bu oran % 30 ± 4 'a kadar çıkabilir. Sekonder maddeler ise taneler, yağlar, reçineler, sakız, lateks, alkaloidler ile renkli maddeleri bulunduran diğer bileşiklerdir (Bozkurt, 1992) (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Odunun kimyasal bileşikleri (Bozkurt, 1992).

Selüloz hücre çeperinin en önemli maddesi olup, çeper maddelerinin yaklaşık yarısı oluşturur. Hem iğne yapraklı hem de yapraklı ağaçlardaki selüloz miktarı 42 ± 2 civarındadır. İğne yapraklı ağaçların hemiselüloz bolluğu ise %15-20 arasındadır (Bozkurt, 1992).

Ekstraktif maddeler hücre çeperinde ve hücre lümeninde bulunan, ancak hücre yapısının esas kısmını teşkil etmeyen maddelerdir. Bunlar ya hücre çeperine tamamen nüfuz etmişlerdir, ya da yüzeysel olarak yerleşmiş veya hücre lümenini doldurmuşlardır. Bunlar esas (örneğin reçine gibi) organik bileşiklerdir. Odundaki ekstraktif madde miktarı genelde azdır, ancak bazı ağaç türlerinde %40'a kadar yükselebilir (Bozkurt, 1992).

3.4.2.Selüloz Saflaştırma İşlemi

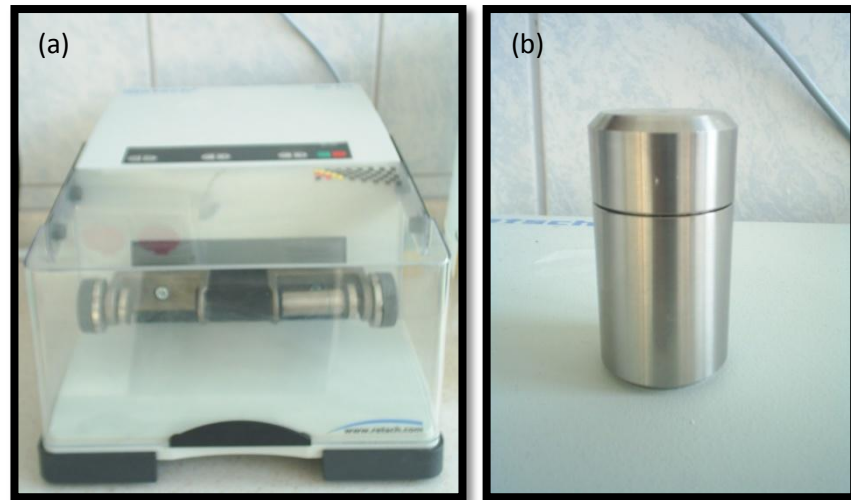
İzotop analizleri tüm odundan veya selülozdan yapılabilir. Leavitt ve Long (1982) Arizona'dan örneklendirdikleri ardıç ağaçlarının 1978 ve 1979 halkalarındaki tüm odun ve selülozdan elde ettikleri $\delta^{13}\text{C}$ değerleri karşılaştırmışlardır. Oduna ait karbon izotop değerleri selüloza göre yaklaşık % 1.5 daha düşük bulunmuştur. Bu farklılığın nedeni odun yapısında bulunan lignindir. Lignin düşük izotopik karaktere sahip olduğundan tüm odundan yapılan izotop ölçümleri normalden düşük değerler vermiştir. Böylece karbon ve oksijen izotop analizlerinin tüm odun yerine selüloz üzerinde yapılması tercih edilmiştir.

Odun örneklerinden selüloz elde etmek için laboratuarda çok sayıda deneme yapılmıştır. Odun örnekleri ilk olarak Retsch MM 200 marka öğütücü (Şekil 3.8a) yardımıyla farklı frekanslarda ve zaman dilimlerinde öğütüldükten sonra, örnekler için en uygun öğütme koşullarının 25 Hz ve 15 dk olduğu sonucuna varılmıştır. Her seferinde yaklaşık 500 mg'lık örnek kapsülün (Şekil 3.8b) içine öğütücü bilyeler ile birlikte yerleştirilerek öğütülmüştür. Bu öğütme sonucunda 0.074 mm (200 mesh)'den daha küçük tane çapında odun talaşı elde edilmiştir.

Tek bir karaçam ağacından toplanan 5-yıllık halka örneklerinin miktarı selüloz kazanımı için yeterli olmadığından, çalışılan alanlardaki çok sayıda ağacın aynı döneme ait 5-yıllık halka örnekleri karıştırılarak örnek miktarı arttırılmıştır. Daha sağlıklı karbon izotop değerleri elde etmek için her ağaca ait 5-yıllık halkalardan aynı miktarda karışıma katılmış ve öğütülmüştür.

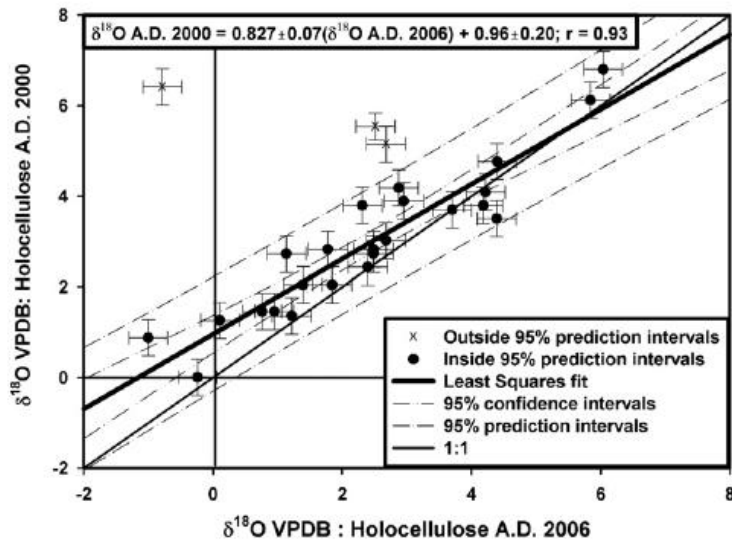
Selüloz saflaştırma işlemi odun örneklerinden yağ, reçine ve benzeri malzemenin uygun çözücüler ile çözeltiye alınarak arta kalan katıda alfa-selülozun zenginleşmesini esas almaktadır. α -selüloz zenginleştirme işleminde Loader vd. (1997) ve Pawelczyk vd. (2004) tarafından önerilen yöntemler izlenebilir.

Zenginleştirme işlemi 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, odun örneğinden yağ ve reçine uzaklaştırılıp holo-selüloz elde edilir, ikinci aşamada ise holo-selüloz çözeltiye alınarak alfa-selüloz saflaştırılır. Ancak saflaştırmada elde edilen holo-selüloz ve alfa selüloz örnekleri ayrı ayrı kurutulup tartıldığında, alfa selüloz eldesi sırasında numune kaybının çok daha fazla olduğu ve alfa selüloz numunesinin analiz için yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle alfa-selüloz yerine holo-selüloz saflaştırılması tercih edilmiştir.

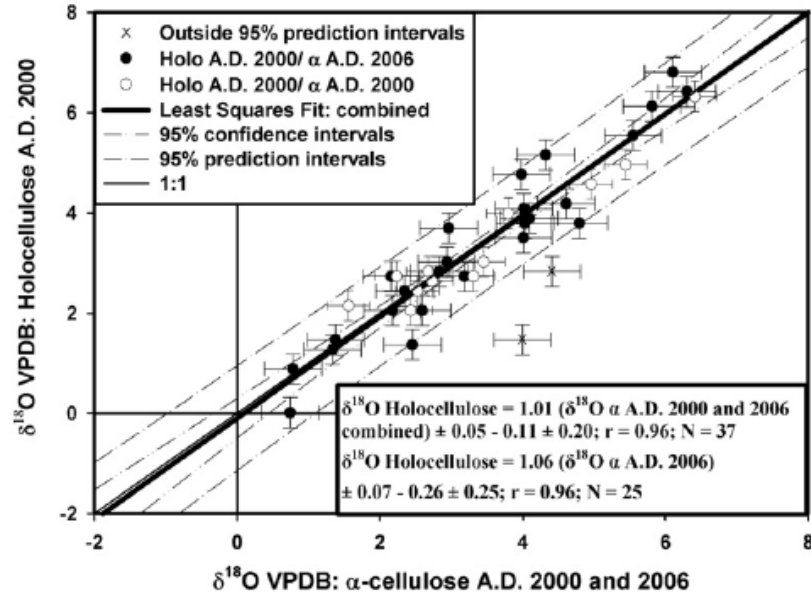


Şekil 3.8. Örnek hazırlanmasında kullanılan araçlar: a) Öğütücü, b) Öğütücü kapsülü.

Wright (2008) holo-selüloz ve alfa-selüloza ait oksijen izotop değerleri arasındaki farkı ortaya koymak amacıyla bir çalışma yapmıştır. Söz konusu çalışmada 6 yıl boyunca uygun koşullarda saklanan alfa-selüloz ve holo-selüloz örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ analizi yapılmıştır ve saklama sürecinde oksijen atomlarının izotopik değişime uğrayıp uğramadığı test edilmiştir. 2000 yılındaki analizlerde alfa-selüloz ve holo-selüloz benzer $\delta^{18}\text{O}$ değerleri vermiştir. 2006 yılı halkalarına ait holo-selülozda ise 2000 yılına göre farklı $\delta^{18}\text{O}$ değerleri bulunmuştur (Şekil 3.9). Ancak alfa-selülozun 6 yıl sonraki $\delta^{18}\text{O}$ izotop oranlarında bir farklılık olmadığı görülmüştür (Şekil 3.10). Bunun nedeni alfa-selülozda karbon bağları bulunmamasıdır. Karbon bağları hemiselüloz adı verilen odun polisakaritlerinde mevcuttur. Odundaki karbon bağlarının varlığı saklama sırasında izotopik değişim olasılığını arttırmaktadır. Ancak bu konuyla ilgili uzmanlarla yapılan sözlü görüşmeler sonucunda, (W. Wright: Columbia Üniv., S.W. Leavitt: Arizona Üniv., D. McCarroll: Galler Üniv.), holo-selülozun tamamen kurutulduğu, uygun koşullarda saklandığı ve uzun süre bekletilmediği sürece yalnız alfa-selülozdan değil holo-selülozdan da elde edilen oksijen izotop sonuçlarının anlamlı olacağı ve aynı zamanda hem zaman hem de örnek miktarından kazanılacağı sonucuna varılmıştır.



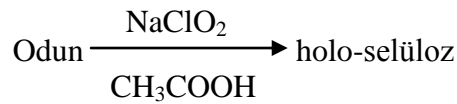
Şekil 3.9. 2000 ve 2006 yıllarında analiz edilen holo-selülozun $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin karşılaştırılması (Wright, 2008).



Şekil 3.10. Holo-selülozun (2000) ve alfa-selüloza ait (2000 ve 2006) $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin karşılaştırılması (Wright, 2008).

Holo-selüloz malzemesinin izotop analizi yapılabilmesi için, örnek miktarının en az 300 mg olması gerekmektedir. 1 gr'lık odun talaşından yaklaşık 500 mg holoselüloz saflaştırılabilmektedir.

Bu çalışmada odun malzemesinden holo-selüloz saflaştırılmasında izlenen yol şu şekildedir:



- İlk olarak 500 ml'lik cam kaplara sodyum kloritten (NaClO_2), asetik asitten (CH_3COOH) ve saf sudan Çizelge 3.2' de verilen miktarlar kadar eklenir.
- Daha sonra öğütülmüş olan odun örneği aynı kaba konur.
- Cam kabın ağzı kapatılır ve ultrasonik banyonun içerisine yerleştirilir (sıcaklık yaklaşık 70°).
- Beş kez, saat başı asetik asit ve sodyum klorit eklenir (Çizelge 3.2).

- (e) Kurutma kağıdı yardımıyla çözelti süzülür ve holo-selüloz biriktirilir.
- (f) Holoselüloz ilk önce sıcak saf su daha sonra soğuk saf su ile durulanır.
- (g) Renk kontrolü yapılır. Holo-selüloz tamamen beyaz olmalıdır. Hafif renkli olması durumunda durulama tekrarlanır.
- (h) Son olarak holo-selüloz 70°C’de etüvde kurutulur.

Çizelge 3.2. 1 gr odun örneği için holo-selüloz saflaştırılmasında kullanılacak ayırıştırıcıların miktarı (Pawelczyk vd., 2004).

Ayıraç	Miktar
Saf su	175 ml
Sodyum Klorit	2.5 g
Asetik asit (80%)	1.7 ml

Saflaştırılan selüloz numuneleri karbon ve oksijen izotop analizi yapılmak üzere Cornell Üniversitesi'ne gönderilmiştir. Kalay kap içerisinde yaklaşık 5-10 mg’lık selüloz malzemesi $\delta^{13}\text{C}$ analizi için ve gümüş kap içerisinde yaklaşık 0,05 mg’lık selüloz malzemesi $\delta^{18}\text{O}$ analizi için ayrılmıştır. Ayrılan numuneler analiz başlangıcına kadar desikatör içinde bekletilmiştir. $\delta^{18}\text{O}$ analizleri Isı Dönüşüm Elemental Analiz Cihazı (TC/EA) arayüzlü Delta V izotop oranı kütle spektrometresi ile yapılmıştır. $\delta^{13}\text{C}$ analizleri ise Termo İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (Bremen, Almanya) arayüzlü Carlo Erba NC2500 elemental analiz cihazı ile yapılmıştır.

Karbon için gerçekleştirilen tüm analizler iki değişik kalite kontrol standardı kullanılarak yürütülmüştür. İlk standart saf kimyasal olup cihazın izotopik ölçümünü test etmek ve element kompozisyonunun belirlenmesinde cihazın tepkisini tanımlamak için kullanılır. Bir tür amino asit olan metionin bu amaç için kullanılan en tipik kimyasal standarttır. Her bir uygulama için izotopik ölçüm üzerindeki sinyalin etkisi nitrojen için 50 μg ’dan 150 μg ’a ve karbon için 200 μg ’dan 600 μg ’ye kadar

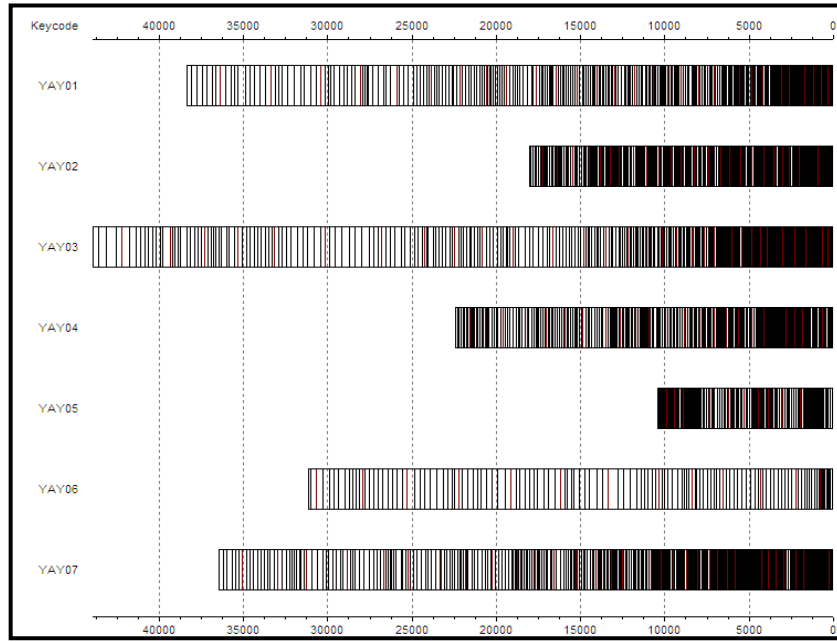
denetlenmiştir. İkinci standart uygulama boyunca ölçüm stabilitesini göstermek üzere kullanılmıştır. $\delta^{18}\text{O}$ ölçümlerinde metionin yerine benzoik asit ve iki ağaç standardı (C4, C5) tercih edilmiştir. Normalizasyon için karbonat tabanlı referanslar olan IAEA CO-1 ve IAEA CO-8 kullanılmıştır. Bu standartlardan her 10 örnekte bir ölçüm değişkenliğini ya da uzun dönem sapmaları belirlemede yararlanılmıştır.

BÖLÜM 4

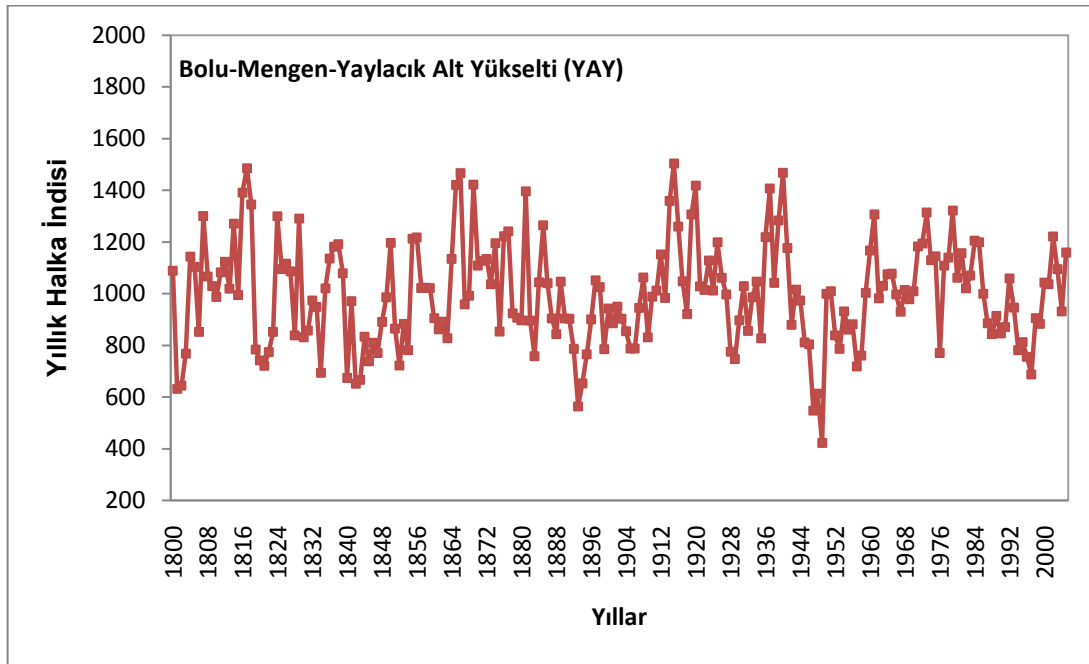
DENDROKRONOLOJİK BULGULAR

4.1.Bolu Yaylacık Alt Yükselti (YAY)

Mengen–Yaylacık yöresinin alt yükseltisinden alınan 7 adet karaçam örneğinin toplam yıllık halka genişlikleri ölçülmüştür (Şekil 4.1). Yıllık halkalar genel olarak dardır. Alt yükselti örnekleri oldukça yaşlı olduğundan, özellikle son yıllarda çok sayıda eksik halka tespit edilmiştir. Örneklenen ağaçların en yaşlısı 390, en genci ise yaklaşık 130 yaşındadır. Eksik halka içermeyen genç ağaçlar, yaşlı ağaçların eksik halka genişliklerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır. Örneklenen 7 ağaçtan alt yükselti için oluşturulan standart kronoloji Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Bolu-Mengen yöresinin alt yükseltisine ait karaçam ağaçlarının toplam yıllık halka genişlikleri (µm olarak).



Şekil 4.2. Alt yükseltiden alınan 7 adet ağaçtan elde edilen standart kronoloji.

ARSTAN Programı kullanılarak oluşturulan standart kronolojilere ait istatistikler (Çizelge 4.1) ve Bolu yöresine ait ortak aralık istatistikleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. YAY yöresi için oluşturulan standart kronolojilere ait istatistikler (“t” son halkanın oluştuğu yılı ifade etmektedir).

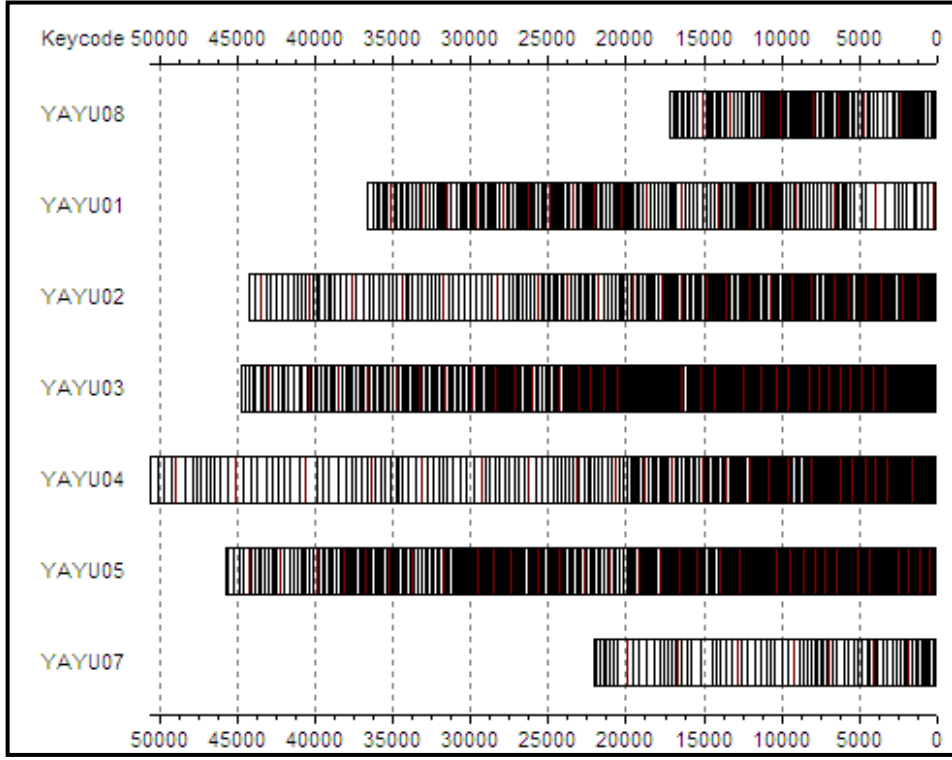
Kronoloji Tipi	Standart
Ortalama	0,9876
Medyan	0,9856
Ortalama duyarlılık	0,1963
Standart sapma	0,2241
Çarpıklık katsayısı	0,3027
Basıklık katsayısı	0,1653
Otokorelasyonlar	
t-1	0,3983
t-2	0,0138
t-3	0,038

Çizelge 4.2. YAY yöresi kronolojileri ortak aralık istatistikleri.

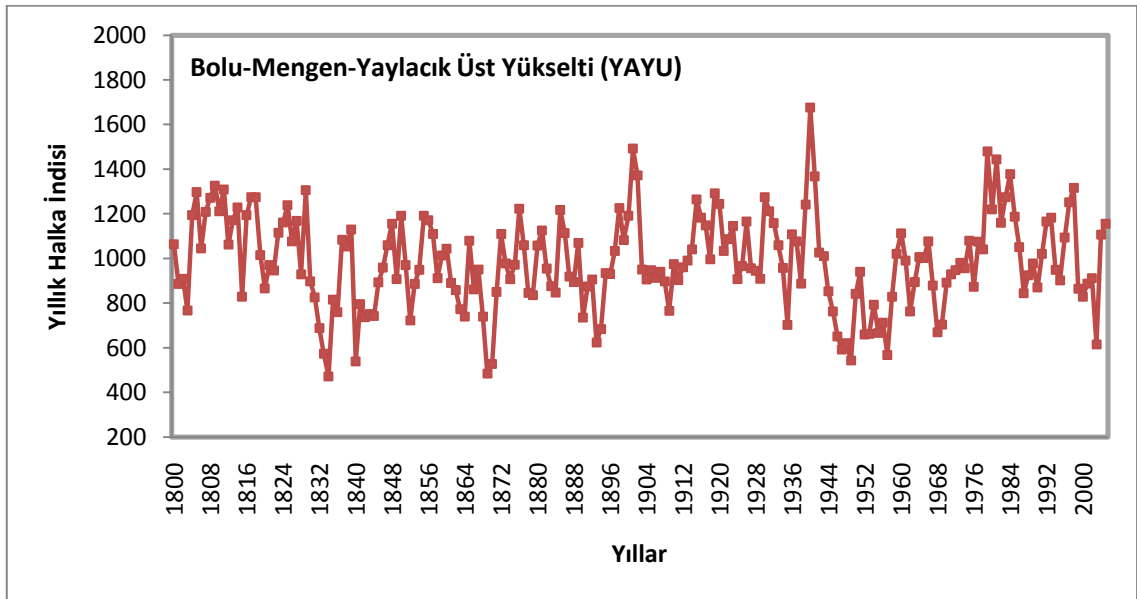
	Standart
Ortalama Korelasyonlar:	
Tüm Kalemler arasında	0,309
Ağaçlar arasında	0,292
Ağaçların içinde	0,449
Ortalama ile kalemler arasında	0,596
Sinyal/Gürültü oranı	2,060
Populasyon kronolojisiyle uyum	0,673
Birinci öz vektörün varyansı	41,12%
Kronoloji ortak aralık ortalaması	0,995
Kronoloji ortak aralık standart sapması	0,200

4.2.Bolu Yaylacık Üst Yükselti (YAYU)

Bolu-Mengen–Yaylacık yöresinin üst yükseltisindeki 7 karaçam ağacının toplam yıllık halka genişlikleri ölçülmüştür (Şekil 4.3). Üst yükseltideki örnekler de oldukça yaşlı olup, özellikle son yıllarında yer yer eksik halkalar saptanmıştır. Örnek alınan ağaçların en yaşlısı 440, en genci ise 70 yaşındadır. Yaklaşık 400 m daha yüksekte olan bu lokasyonda, yetişme ortamı koşullarının daha uygun olması nedeniyle eksik halka sayısı daha az olduğundan önemli bir eşleştirme problemi yaşanmamıştır. Az sayıdaki eksik halka giderildikten sonra standart kronoloji oluşturulmuştur (Şekil 4.4). Alt ve üst yükselti standart kronoloji değerleri birbiriyle benzerlik göstermektedir ($r = 0,517$).



Şekil 4.3. Bolu-Mengen yöresin üst yükseltisine ait toplam yıllık halka genişlikleri (µm olarak).



Şekil 4.4. Üst yükseltiden alınan 7 adet ağaçtan elde edilen standart kronoloji.

ARSTAN Programı kullanılarak oluşturulan standart kronolojilerin istatistiksel sonuçları (Çizelge 4.3) ve ortak aralık istatistikleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3. YAYU yöresi için oluşturulan standart kronolojilere ait istatistikler (“t” son halkanın oluştuğu yılı ifade etmektedir).

Kronoloji tipi	Standart
Ortalama	0,982
Medyan	0,9585
Ortalama duyarlılık	0,1822
Standart sapma	0,228
Çarpıklık katsayısı	0,2479
Basıklık katsayısı	0,3468
Otokorelasyonlar	
t-1	0,5413
t-2	0,0932
t-3	0,1214

Çizelge 4.4. YAYU yöresi kronolojileri ortak aralık istatistikleri.

	Standart
Ortalama Korelasyonlar:	
Tüm Kalemler arasında	0,377
Ağaçlar arasında	0,365
Ağaçların içinde	0,444
Ortalama ile kalemler arasında	0,643
Sinyal/Gürültü oranı	2,303
Populasyon kronolojisiyle uyum	0,697
Birinci özvektörün varyansı	46,08%
Kronoloji ortak aralık ortalaması	0,985
Kronoloji ortak aralık standart sapması	0,208

4.3.Yıllık Halka Genişlikleri ile Paleoiklim Değerlendirilmesi

Yıllık halkaların genişliği ortam şartlarına (yağış, sıcaklık, nemlilik gibi) bağlı olarak değişim göstermesinden dolayı ağaç halkaları geçmiş dönem iklimsel kestirimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla, 1931-2005 yılları arasında Bolu Meteoroloji İstasyonunda (742 m) aylık olarak kaydedilen sıcaklık (Çizelge 4.5) ve yağış (Çizelge 4.6) değerleri bölgenin standart kronolojisi ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. İzotop analizleri 5-yıllık halkalarda yürütüldüğünden veri uyumluluğu sağlanması açısından 1931-2005 dönemindeki sıcaklık ve yağış değerlerinin 5'er yıllık ortalamaları alınmıştır.

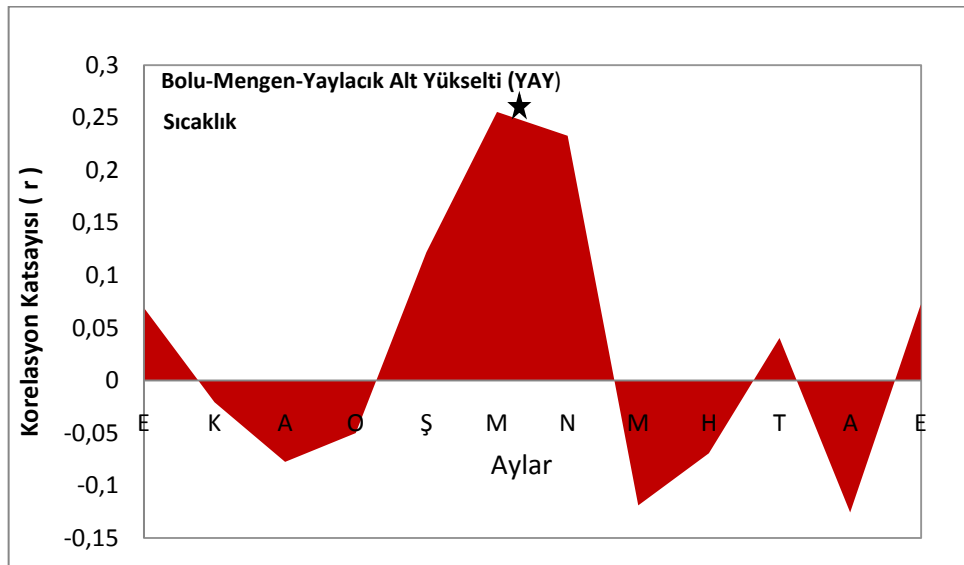
Çizelge 4.5. Bolu Bölgesi 1931-2005 yılları arası (5 yıllık) aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C) (Bolu Meteoroloji İstasyonu'ndan).

YILLAR	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART
1931-1935	12,42	7,08	1,66	-0,56	0,48	4,78
1936-1940	12,68	6,28	3,84	-0,34	2,26	5,12
1941-1945	12,4	7,06	1,8	-0,92	1,76	2,64
1946-1950	9,94	7,44	2,32	-0,9	-0,14	3,56
1951-1955	11,02	7	2,3	2,2	2,8	4,54
1956-1960	11,38	6,18	2,72	1	1,02	3,26
1961-1965	12,14	8,18	4,34	-0,78	1,24	5,06
1966-1970	11	7,54	4,42	1,08	2,32	4,74
1971-1975	11,4	6,02	0,6	-0,72	1,98	5,5
1976-1980	11,08	6,86	1,68	0,14	3,14	5,2
1981-1985	12,08	5,96	3,92	1,7	0,36	4,76
1986-1990	10,12	5,76	2,2	0,4	2,62	4,82
1991-1995	13,32	6,24	1,58	0,52	0,94	5,04
1996-2000	11,46	6,84	4,76	1,14	2,16	3,28
2001-2005	12,26	7,6	2,44	2,34	2,5	5,7
	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
1931-1935	8,88	14,14	17,02	19,16	19,58	15,68
1936-1940	10,12	13,62	16,7	20,6	20,04	16,08
1941-1945	8,8	13,78	17,12	18,8	19,3	15,54
1946-1950	9,1	14,26	17,12	19,28	19,26	15,74
1951-1955	8,52	13,62	17,08	19,72	20	16,72
1956-1960	9,5	13,76	17	19,52	19,84	15,02
1961-1965	9,06	13,62	17,54	19,52	19,48	15,76
1966-1970	10,12	14,04	16,88	19,46	19,54	15,68
1971-1975	10	13,88	17,18	19,6	18,88	15,96
1976-1980	8,98	13,84	17,02	19,1	18,56	15
1981-1985	9,44	13,9	17,02	18,2	18,4	16,36
1986-1990	10,66	12,92	16,82	20,02	19,84	16
1991-1995	9,86	13,72	17,72	19,2	20,08	16,44
1996-2000	9,9	14,94	17,54	20,74	19,86	15,72
2001-2005	9,6	14,225	18,125	21,1	20,35	16,6

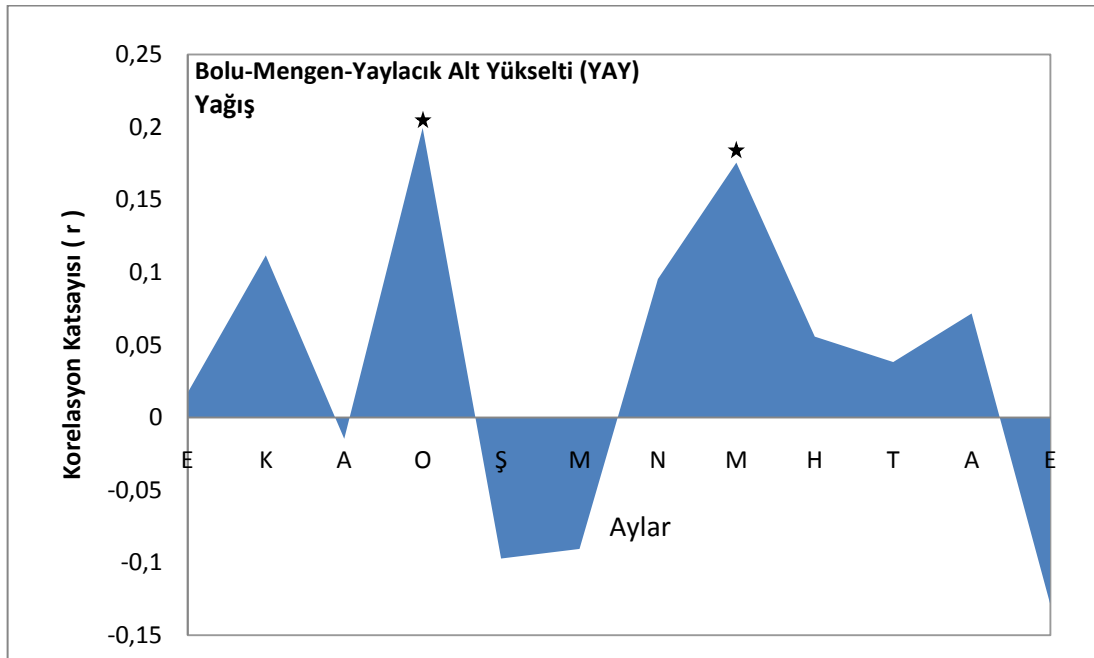
Çizelge 4.6. Bolu Bölgesi 1931-2005 yılları arası (5 yıllık) aylık ortalama yağış değerleri (mm) (Bolu Meteoroloji İstasyonu)

YILLAR	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART
1931-1935	313,4	566,6	553,6	394,8	592,2	448
1936-1940	370,4	618,2	451,2	708	450,4	445,6
1941-1945	360,8	466,6	541,8	635,8	305,2	397,8
1946-1950	335	500,8	675,4	517,6	680,2	587,6
1951-1955	438,6	436,2	470,2	598,8	478,6	456,4
1956-1960	319,2	417,4	521,2	816,8	437,6	569,8
1961-1965	435	399,4	766,6	487,2	511,8	560,8
1966-1970	215	449	554,2	669,8	489,6	663,8
1971-1975	409,6	481,2	772,4	459,6	306	441,2
1976-1980	396,8	374	619,8	706,8	347,4	426
1981-1985	328,6	615,8	540,6	632	536,4	429,6
1986-1990	541	472,2	866,4	493,4	246,8	323,6
1991-1995	478,6	600,2	681,2	447,8	351,4	426,4
1996-2000	593,2	461	480,8	543,4	592,4	576,4
2001-2005	419,2	375,8	537	549,2	523,8	540,6
	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
1931-1935	494,8	589,2	658,2	322,6	201,4	208
1936-1940	663,4	693,2	574,4	386,4	174	404
1941-1945	377,4	498,4	355,2	140,4	100,2	200,6
1946-1950	406,6	413,2	442	223,8	190,4	384,6
1951-1955	496,6	611	624,4	250,8	221,2	200,6
1956-1960	423,4	503,2	540,6	271,2	203,2	275
1961-1965	518,4	519,6	499	352,8	102,4	293,6
1966-1970	539,8	673	534,4	163,2	213,8	347
1971-1975	587,2	831,4	775,6	219,6	406,6	321,8
1976-1980	543,8	583,4	299,8	298,4	224,6	312,8
1981-1985	422	542,2	337,8	402,2	298,2	215,8
1986-1990	399	592,8	703,6	301,4	187	176,8
1991-1995	343,4	500,2	491	374,4	225,4	179,6
1996-2000	820	639,4	620,6	401,4	404,6	282,6
2001-2005	581	525,8	337,5	231,25	322,5	220,75

Bolu Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan sıcaklık ve yağış değerleri ile alt ve üst yükselti için oluşturulan standart kronolojiler ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Alt yükseltiye ait örneklerde sıcaklığın yıllık halka üzerine etkisi Şubat- Nisan aylarında pozitif, Mart ($r = 0,272$, $p < 0,05$) ve Nisan ($r = 0,232$, $p < 0,05$) aylarında anlamlıdır (Şekil 4.5). Bu dönem halka gelişiminin başladığı dönem öncesine karşılık gelmektedir. Bu dönemdeki sıcaklıkların yüksek olması o yıla ait halkanın daha geniş olmasını sağlar. Çeşitli hormonların ve büyüme düzenleyici maddelerin hazırlanması yine bu dönemde gerçekleşir. Bu nedenle, sıcaklıktaki artış bitki içi kimyasal reaksiyonların üzerinde olumlu etki yapar. Mayıs-Ağustos aylarındaki sıcaklıkların halka gelişimi üzerinde ters etki yaptığı görülmektedir (Şekil 4.5). Bu dönemde sıcaklığın artması ve buna karşılık yağış azalması yüksek su kaybına yol açmakta ve halka gelişimini engellemektedir. Genelde sıcaklığa verilen tepkinin pozitif olduğu dönemde, yağışa verilen tepki negatif yöndedir. Bu da alt yükseltide kış döneminin soğuk yaz aylarının da kurak olduğunun işaretçisidir. Yağışın yıllık halka üzerine etkisi Ocak ayında ve Nisan-Ağustos aylarında pozitifdir. Ancak Ocak ($r = 0,197$, $p < 0,05$) ve Mayıs ($r = 0,193$, $p < 0,005$) aylarında anlamlıdır (Şekil 4.6).

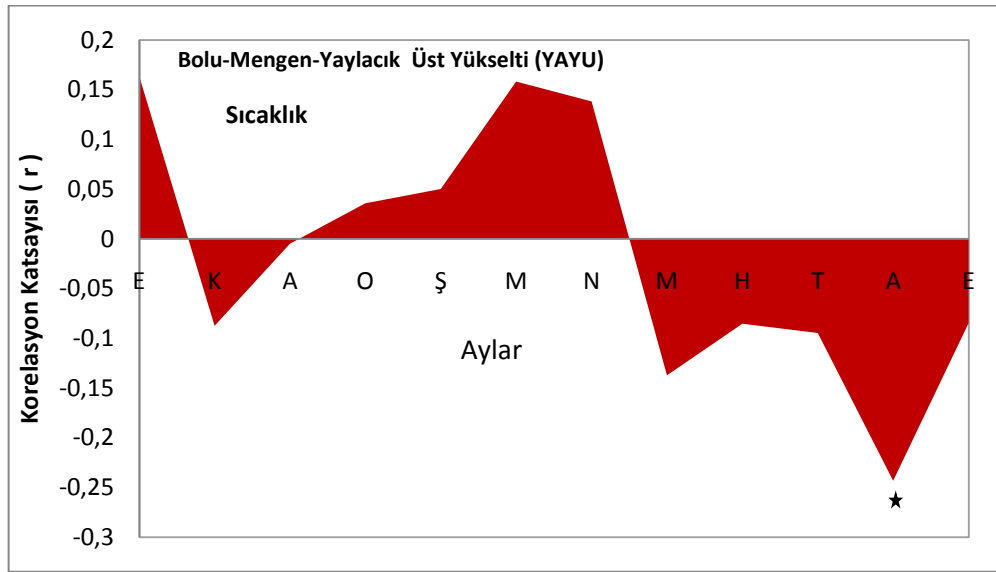


Şekil 4.5. Bolu- Mengen-Yaylacık alt yükselti (YAY) yıllık standart kronolojisinin 1930-2005 yılları arası aylık ortalama sıcaklık değerleri ile karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir).

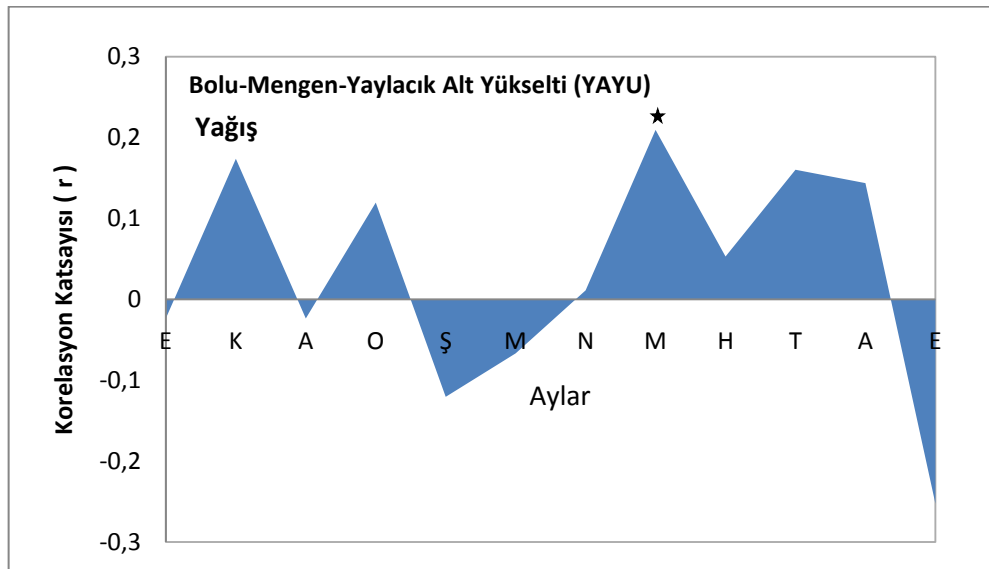


Şekil 4.6. Bolu-Mengen-Yaylacık alt yükselti (YAY) yıllık standart kronolojisinin 1930-2005 yılları arası aylık ortalama yağış değerleri ile karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir).

Üst yükseltiye ait örneklerin kronolojisi ile sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında Ocak-Nisan aylarında pozitif bir ilişki görülmektedir (Şekil 4.7). Büyümenin hızlı olduğu Mayıs-Ağustos döneminde bitki suya büyük oranda ihtiyaç duyduğu için sıcaklık artışı bu aylarda negatif etki göstermektedir. Sıcaklığın yıllık halka üzerindeki negatif etkisi Ağustos ($r = -0,251$, $p < 0,05$) ayında anlamlıdır.



Şekil 4.7. Bolu- Mengen-Yaylacık üst yükselti (YAYU) yıllık standart kronolojisinin 1930-2005 yılları arası aylık ortalama sıcaklık değerleri ile karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir).



Şekil 4.8. Bolu- Mengen Yaylacık üst yükselti (YAYU) yıllık standart kronolojisinin 1930-2005 yılları arası aylık ortalama yağış değerleri ile karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir).

Bölge genel olarak en fazla Mayıs ayında yağış almaktadır. Üst yükselti için Mayıs ayı ($r = 0,222$, $p < 0,05$) pozitif ve anlamlıdır. Bunun ağaç halkası gelişimi için pozitif yöndeki etkisi her iki yükselti için de saptanmıştır (Şekil 4.6 ve 4.8).

BÖLÜM 5

JEOKİMYASAL BULGULAR

Ağaçlardan toplanan örneklerde (yıllık halka veya yaprak) jeokimyasal olarak genellikle oksijen, karbon ve hidrojen izotop oranları incelenmektedir. Bu izotopların oranlarındaki doğal değişimler fiziksel ve biyolojik süreçler tarafından kontrol edildiğinden, bu tür izotoplara yönelik zaman serileri geçmiş iklimsel ve çevresel değişimlerin yorumlanmasında büyük yarar sağlar.

Ağaç halkası izotop çalışmaları C₃ grubuna (karasal) ait bitkiler ile yapılır. Buna karşın C₄ (denizel) ve CAM (kaktüsler gibi genellikle kurak koşullarda yaşayan bitkiler) grubu bitkiler çevresel ve iklimsel araştırmalar için uygun değildir. Bu çalışmada, ağaç halkası izotop incelemeleri C₃ grubuna ait olan karaçam ağaçları üzerinde gerçekleştirilmiştir (McCarroll ve Loader, 2004).

5.1.Karbon İzotop Teorisi

Karbon 2 duraylı izotopa sahiptir (¹²C ve ¹³C). Bunların her birinde 6 proton mevcuttur, ancak ¹²C'nin 6, ¹³C'ün ise 7 nötronu bulunur. Bu izotoplar hemen hemen aynı kimyasal özelliklere sahipken kütlelerindeki farklılık nedeniyle çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler birbirinden ayrımlanmasına olanak sağlar (McCarroll ve Loader, 2004). ¹³C'ün ¹²C'e oranı δ notasyonu olarak tanımlanır. Karbon izotop oranı;

$$\delta^{13}C = \left[\frac{(^{13}C/^{12}C)_{\text{Örnek}}}{(^{13}C/^{12}C)_{\text{S tan dart}}} - 1 \right] \times 1000$$

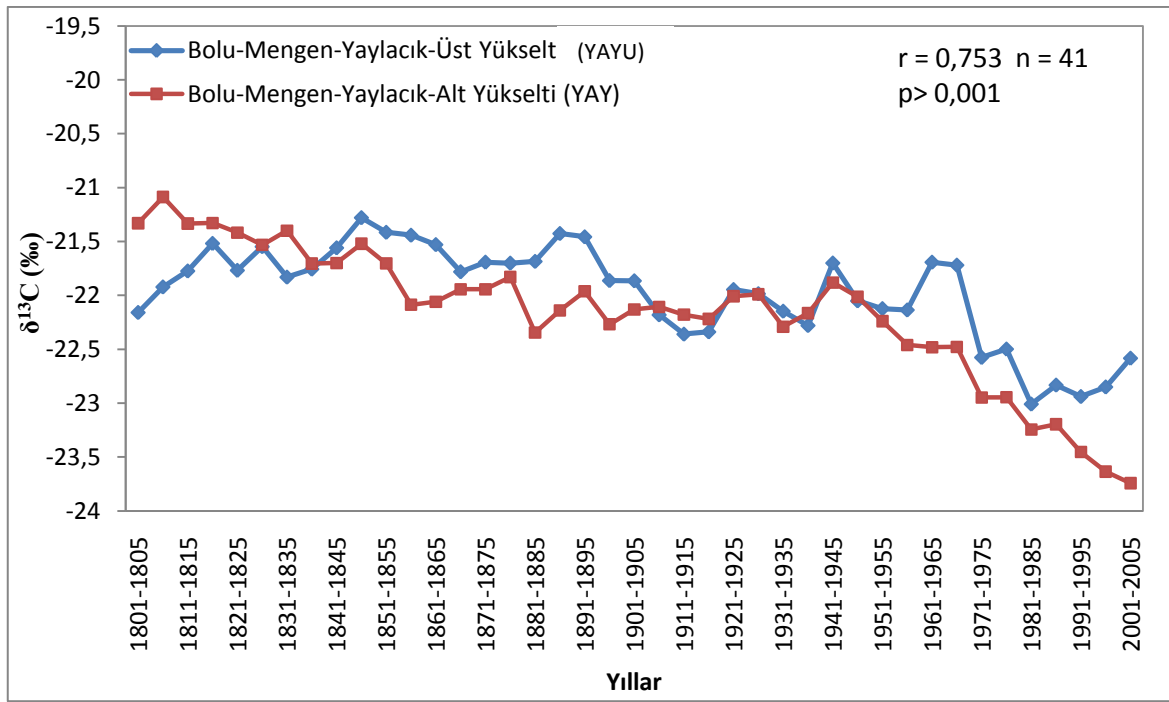
şeklinde ifade edilir. Güney Calorina Pee Dee Formasyonuna ait belemnit fosillerinin karbon izotop kompozisyonları standart olarak kullanılır (McCarroll ve Loader, 2004).

Atmosferde çözülmüş haldeki karbondioksit bitkiler tarafından fotosentez yoluyla alınır. Bu sayede bitki malzemesinin $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranı ağaç halkasının oluşumu sırasındaki atmosferik CO_2 'in $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ oranına benzer değerler yansıtır. Bolu Mengen Yaylacık Araştırma Ormanının alt (YAY) ve üst (YAYU) yükseltlerinden alınan ağaç halkalarının $\delta^{13}\text{C}$ analiz sonuçları Çizelge 5.1 görülmektedir.

Çizelge 5.1. Ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ değerleri.

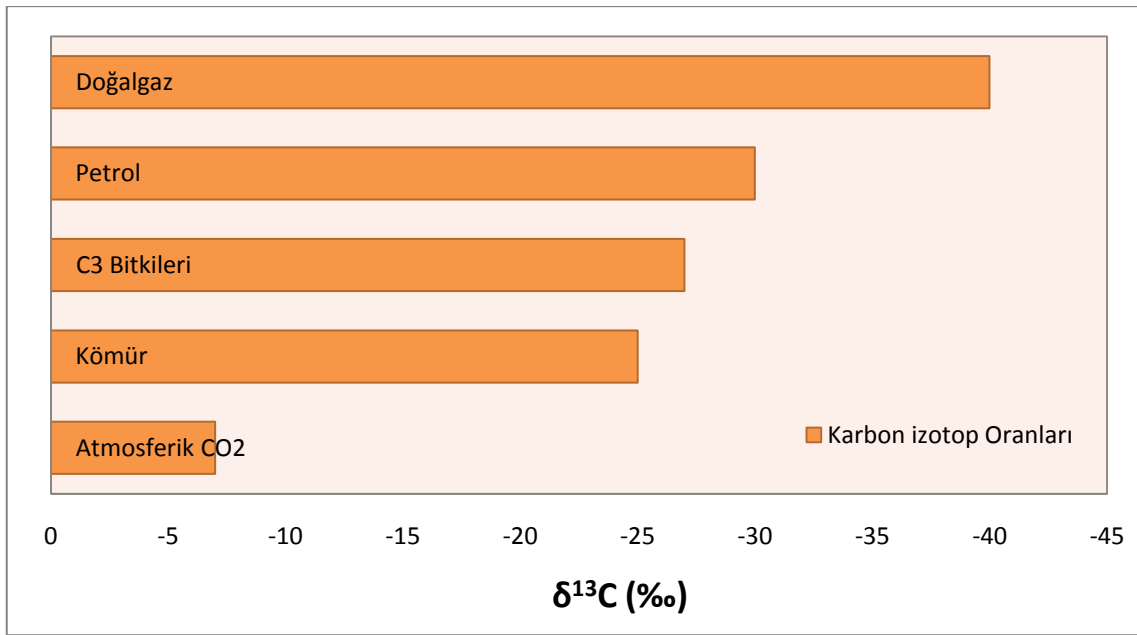
Bolu-Mengen Yaylacık	(YAYU)	(YAY)	Bolu-Mengen Yaylacık	(YAYU)	(YAY)
Yıl	$\delta^{13}\text{C}$ (VPDB)	$\delta^{13}\text{C}$ (VPDB)	Yıl	$\delta^{13}\text{C}$ (VPDB)	$\delta^{13}\text{C}$ (VPDB)
1801-1805	-22,159	-21,331	1906-1910	-22,181	-22,108
1806-1810	-21,922	-21,087	1911-1915	-22,36	-22,180
1811-1815	-21,774	-21,334	1916-1920	-22,339	-22,219
1816-1820	-21,518	-21,329	1921-1925	-21,946	-22,008
1821-1825	-21,768	-21,418	1926-1930	-21,985	-21,991
1826-1830	-21,548	-21,531	1931-1935	-22,147	-22,291
1831-1835	-21,831	-21,400	1936-1940	-22,28	-22,165
1836-1840	-21,757	-21,705	1941-1945	-21,7	-21,881
1841-1845	-21,559	-21,700	1946-1950	-22,051	-22,014
1846-1850	-21,279	-21,521	1951-1955	-22,123	-22,240
1851-1855	-21,415	-21,704	1956-1960	-22,136	-22,460
1856-1860	-21,442	-22,087	1961-1965	-21,692	-22,481
1861-1865	-21,529	-22,060	1966-1970	-21,720	-22,478
1866-1870	-21,781	-21,944	1971-1975	-22,576	-22,948
1871-1875	-21,692	-21,944	1976-1980	-22,498	-22,946
1876-1880	-21,701	-21,830	1981-1985	-23,009	-23,244
1881-1885	-21,685	-22,345	1986-1990	-22,833	-23,196
1886-1990	-21,426	-22,140	1991-1995	-22,939	-23,454
1891-1895	-21,457	-21,962	1996-2000	-22,850	-23,636
1896-1900	-21,863	-22,268	2001-2005	-22,583	-23,742
1901-1905	-21,865	-22,131			

Ağaç halkası karbon izotop oranları geçmiş yıllardan günümüze sürekli azalan değerler sergilemektedir (Şekil 5.1). 1801-2005 dönemi için Bolu-Mengen Yöresi alt ve üst yükseltelerinden toplanan ağaç halkalarının $\delta^{13}\text{C}$ oranları ($p > 0,0001$) oldukça anlamlı bir ilişki göstermektedir ($r = 0,753$). Bu sonuç bölgenin her iki yükseltisinden alınan halkaların benzer çevresel faktörler tarafından etkilenmesi ile açıklanabilir. 1801'den 2005 yılına kadar son 200 yıllık dönemde $\delta^{13}\text{C}$ değerleri alt yükselti için %2,65 üst yükselti için ise yaklaşık % 1,28 düşmüştür. Değişim hızları alt yükselti için yılda % 0,013, üst yükselti için ise yılda % 0,00064 olarak bulunmuştur. $\delta^{13}\text{C}$ 'deki bu sürekli azalış, bitkinin zaman içinde hafif izotoplarca zenginleştiğini göstermektedir.



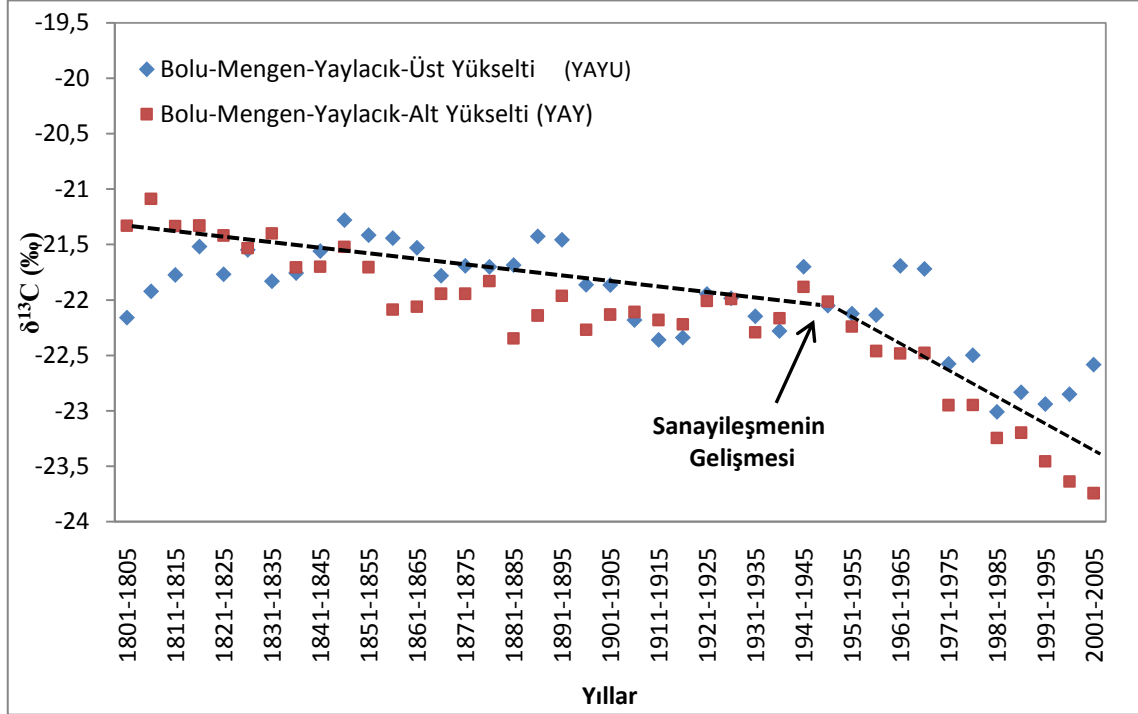
Şekil 5.1. Bolu Mengen Ormanı'nın alt ve üst yükseltelerinden alınan ağaç halkası örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin karşılaştırılması.

$\delta^{13}\text{C}$ değeri yaklaşık $\% -27$ olan fosil yakıtların kullanımındaki artış (ev ve iş yerlerinin ısıtılması, sanayi tesisleri, termik santraller, taşıma araçları vs.), atmosferdeki karbon izotop oranının daha negatif değerler almasına sebep olmuştur (Şekil 5.2). Bundan dolayı ağaç halkası karbon izotop oranları gittikçe azalan $\delta^{13}\text{C}$ değerlerini yansıtır (February ve Stock, 1999).



Şekil 5.2. Fosil yakıtların, C₃ bitkilerinin ve atmosferik CO₂'nin karbon izotop oranları (Boutton, 1991).

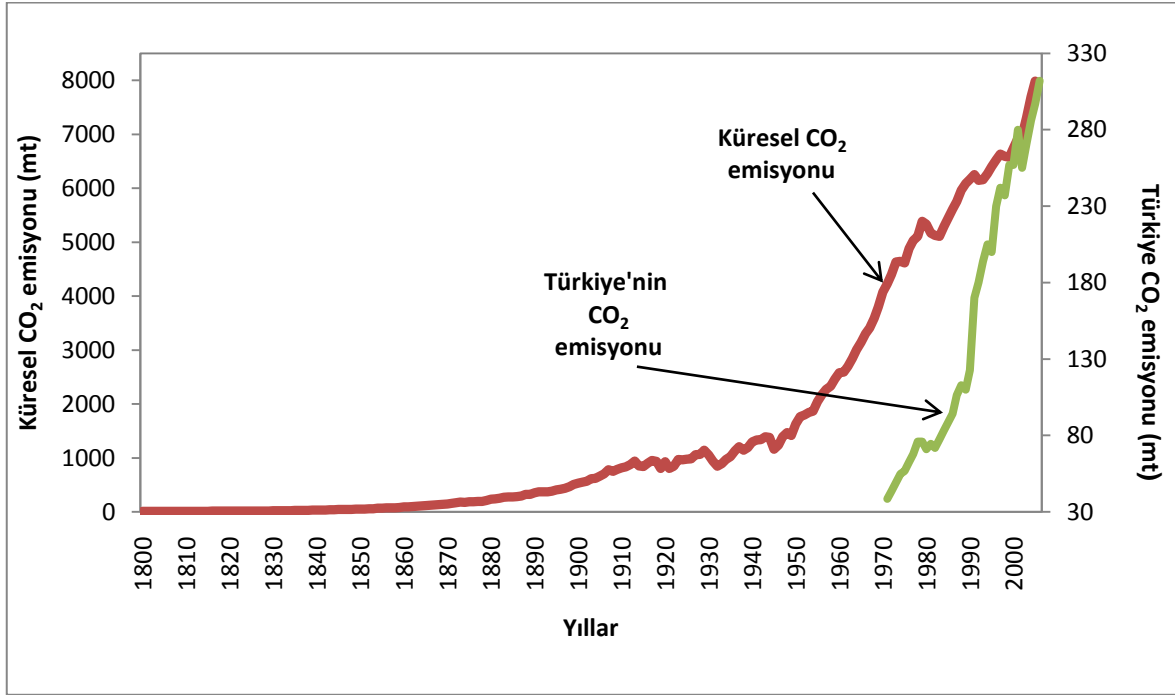
Bu negatif etki 1950'lerde hızlanmıştır. Bunun nedeni sanayi faaliyetlerinin 1950'li yıllarda dünya genelinde artması ve buna paralel olarak fosil yakıt kullanımının yaygınlaşmasıdır (Pawelczyk vd., 2004). Atmosferik karbon, sanayi çağı öncesindeki 270 ppm (milyonda bir) seviyesinden, 1958'de 315'e, 1994'de 358'e, 2005'de ise 375 ppm'e yükselmiştir. Bu artış sonucunda ağaç halkası karbon izotop oranları daha negatif değerler almıştır. Bolu yöresi için elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin de 1950'den günümüze kadar olan dönem boyunca değişimi alt yükselti için yılda $\% 0,031$ 'e karşılık gelmektedir. 200 yıl için bu değer için yılda $\% 0,013$ olduğu göze alındığında son 55 yıldaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerindeki düşüş oldukça dikkat çekicidir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Sanayileşmenin alt ve üst yükselti $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine yansımaları.

Fosil yakıtların kullanılmasından dolayı 1850'lerden günümüze kadar atmosfere tahmini olarak 27 Gton karbon eklenmiştir. Günümüzde antropojenik kaynaklardan yılda yaklaşık 6 Gton karbon atmosfere salınmaktadır. Bu değer her yıl volkanlardan salınan karbon miktarından 100 kat daha fazladır. Atmosferdeki antropojenik CO_2 'nin böylesine artışı geçen 150 yıl boyunca CO_2 seviyesinin yaklaşık % 27 artmasına sebep olmuştur (Dongarra ve Varrica, 2002).

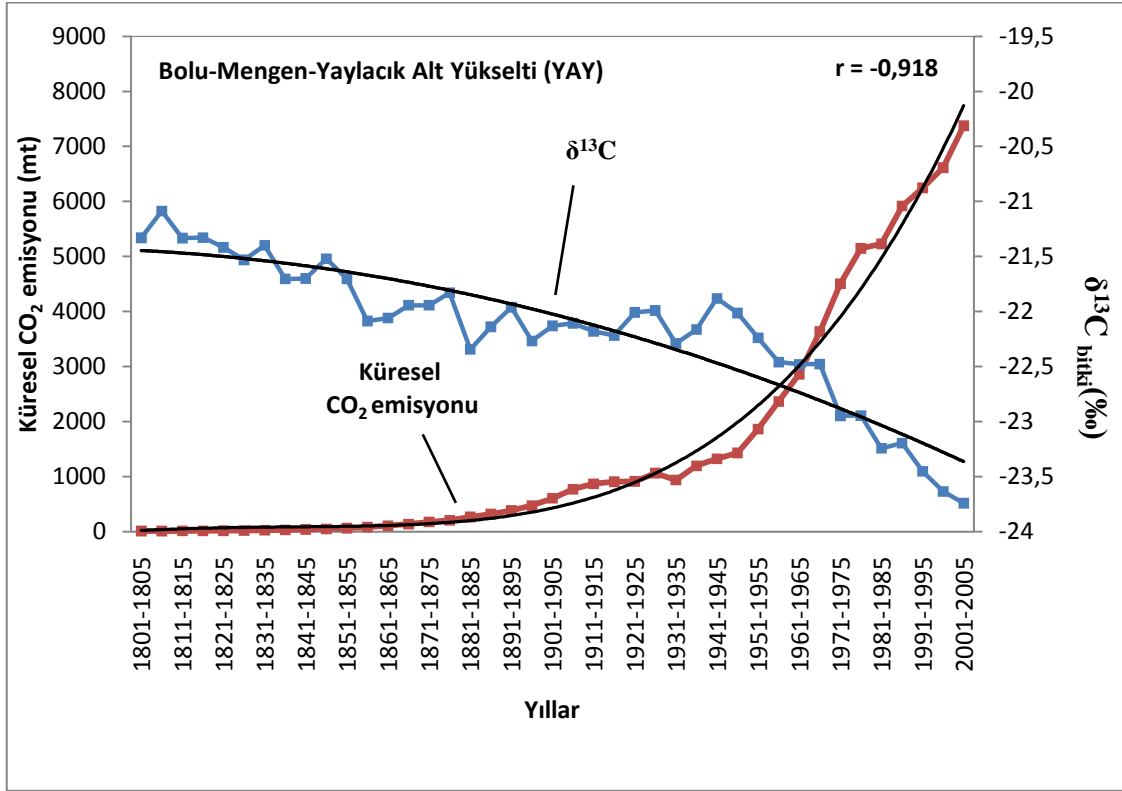
Uluslararası Karbondioksit Analiz Merkezinin (CDIAC) kayıtlarından elde edilen küresel CO_2 emisyon değerleri (1800-2005) ile Türkiye'nin CO_2 emisyon (TÜİK) değerleri (1970-2000) karşılaştırılmıştır (Şekil 5.4). Değerler farklı olsa da oldukça benzer bir yönelim göstermektedirler.



Şekil 5.4. Küresel (CDIAC) ve Türkiye CO₂ emisyon değerlerinin (1970-2005) (TÜİK) karşılaştırılması.

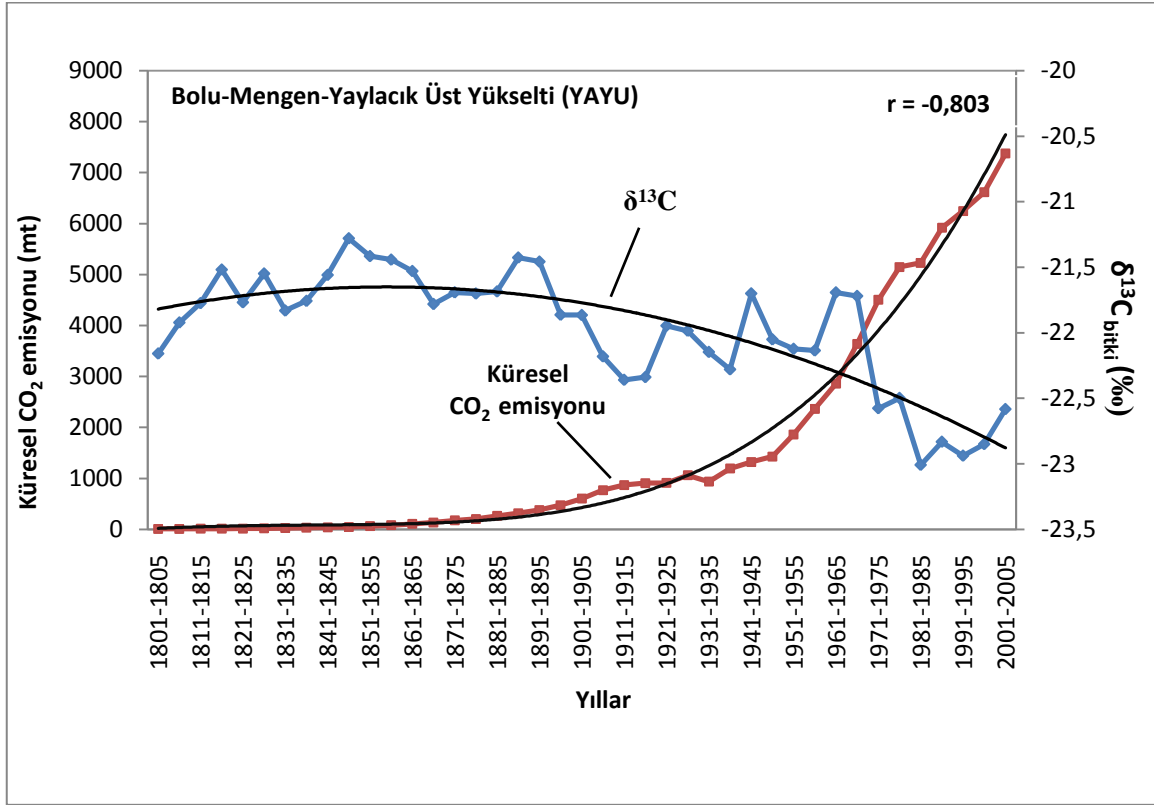
Nüfus artışı ve sanayileşme sonucunda, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de özellikle 1990 ve 2005 yılları arasında sera gazı emisyonları artmıştır. Toplam sera gazı emisyonu 1990-2005 yılları arasında 170.1 milyon ton CO₂ eş değerinden 312.4 milyon ton CO₂ eş değerine yükselmiştir. Diğer taraftan, ormanlar tarafından tutulan CO₂ miktarı devamlı artmaktadır. Oluşan toplam CO₂ emisyonunun 69.5 milyon ton kadarı ormanlar tarafından tutulmaktadır. Küresel ölçekte olduğu gibi Türkiye'de de sera gazı emisyonu kaynakları içerisinde en büyük pay enerji sektörüne aittir. 2005 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı % 77 ile enerji sektörü oluştururken, ikinci sırayı % 10 ile katı atık bertarafı ve üçüncü sırayı da % 8 ile endüstriyel prosesler almaktadır (TÜİK).

Bolu yöresi alt yükseltisi için elde edilen karbon izotop oranları ile (Türkiye'ye ait kayıtların sınırlı olması ve global CO₂ yönelimiyle oldukça benzerlik göstermesi nedeni ile) global CO₂ emisyon değerleri karşılaştırılmış ve -0,918 (n = 41, p<0,001) korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Küresel CO₂ emisyon değerleriyle alt yükselti için elde edilen ağaç halkası δ¹³C değerlerinin karşılaştırılması.

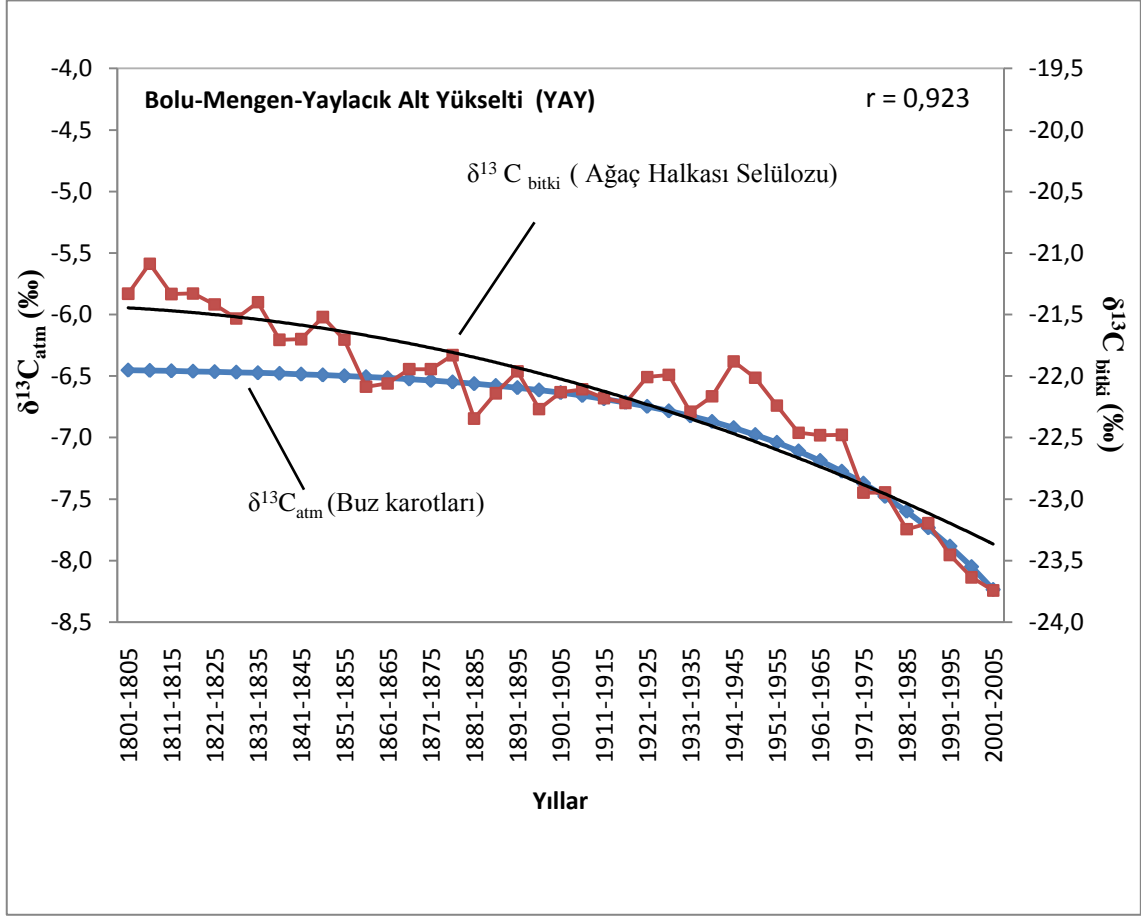
Aynı şekilde üst yükselti karbon izotop oranları ile küresel CO₂ emisyon değerleri karşılaştırılmış ve -0,803 (n = 41, p<0,001) şeklinde oldukça yüksek korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Şekil 5.6). Görüldüğü gibi CO₂ emisyonundaki artış çok net bir şekilde ağaç halkası karbon izotop oranlarına yansımıştır.



Şekil 5.6. Küresel CO_2 emisyon değerleriyle alt yükselti için elde edilen ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin karşılaştırılması.

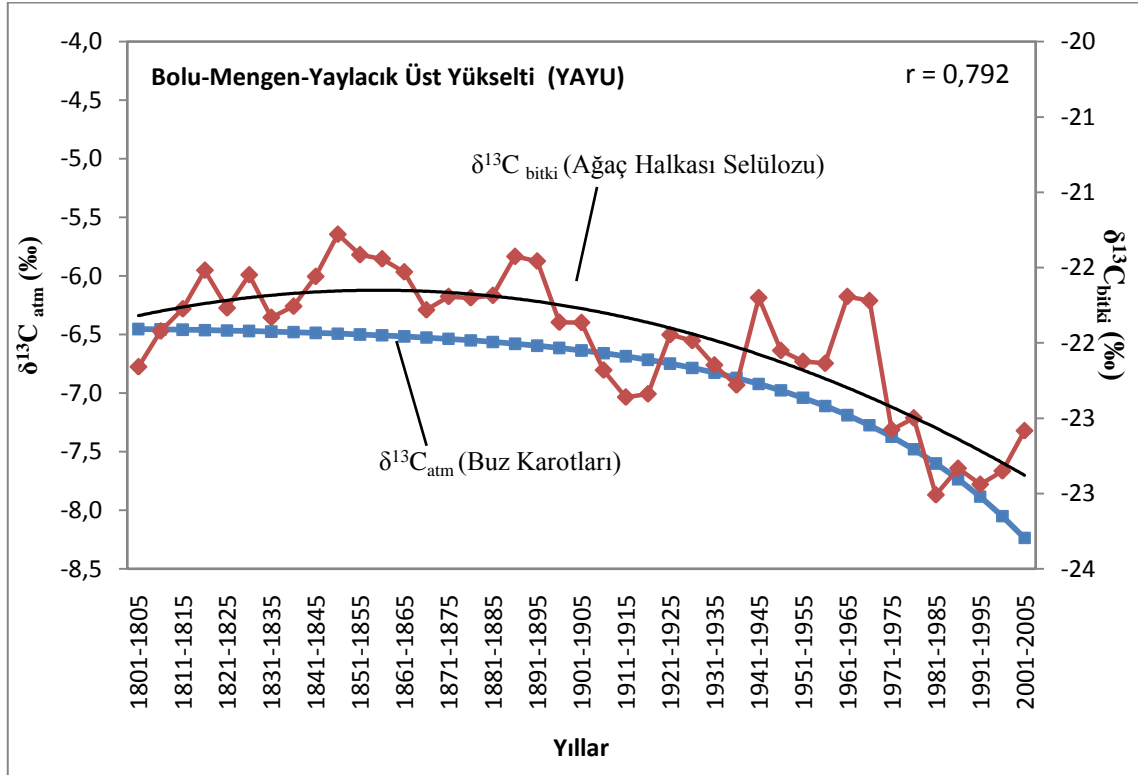
Ağaç halkası selülozundan elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ yönelimlerdeki düşüş benzer şekilde atmosferik ölçümler ve buz karotlarından elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinde de görülmektedir (February ve Stock, 1999).

Bolu yöresi alt yükseltisindeki ağaç halkası selülozu $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ile Antartika buz karotlarından (McCarroll ve Loader, 2004) elde edilen $\delta^{13}\text{C}_{\text{atm}}$ oranları oldukça yüksek bir pozitif ilişki ($r = 0,923$) sunmaktadır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Bolu Mengen Yaylacık Alt yükseltisinin ağaç halkası selülozu $\delta^{13}C$ değerleri ile buz karotu $\delta^{13}C$ değerlerinin karşılaştırılması.

Benzer bir ilişki üst yükselti $\delta^{13}C$ değerleri ile buz karotları karbon kompozisyonları arasında da görülmektedir ($r = 0,792$, $p < 0,05$) (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Bolu Mengen Yaylacık üst yükseltinin ağaç halkası selülozu $\delta^{13}C$ değerleri ile buz karotu $\delta^{13}C$ değerlerinin karşılaştırılması.

Üst yükseltinin $\delta^{13}C$ değerleri alt yükseltiye göre genel olarak daha yüksektir (Bkz. Şekil 5.1). Bunun nedeni yaprakların morfolojik ve fizyolojik özelliklerinin yükseklikle değişmesi olabilir. Yaprak kalınlığı, yaprağın azot içeriği, stoma yoğunluğu (yaprağın yüzey alanındaki gözenek sayısı) ve stoma iletkenliği bu özelliklerden bazılarıdır (Hultine ve Marshall, 2000). Yükseklik ile stomal yoğunluğun arttığı düşünülmektedir (Körner ve Cochrane, 1985). Ancak bazı çalışmalar yükseklikle stomal yoğunluğun azalabileceğini de göstermiştir (Hultine ve Marshall, 2000). Bolu yöresi için bulunan sonuçlar yükseklikle stoma yoğunluğunun azaldığı yönündedir. Çünkü stoma yoğunluğunun azalması bitkinin atmosferle daha az karbon alışverişi yapacağı anlamına gelmektedir. Bunun sonucunda da, üst yükseltide alt yükseltiye göre daha yüksek $\delta^{13}C$ değerleri ortaya çıkmış olabilir. Ancak bu alt ve üst yükselti arasındaki farklılık, alt yükseltinin yerleşim yerine yakın yükseltide bulunmasıyla da açıklanabilir. CO_2 'nin alt kotlarda daha yoğun olması muhtemelen alt yükseltinin $\delta^{13}C$ değerlerinin üst yükseltiye göre daha negatif değerler almasını sağlamıştır.

5.1.1.Karbon izotop ayrışması

C_3 tip bitkilerdeki karbon izotop ayrışması (Δ), karbondioksitin atmosfer ve bitkideki konsantrasyonları arasındaki oranı yansıtır. Ancak ağaçların $^{13}C/^{12}C$ oranları atmosfere göre daha düşüktür. Bunun nedeni bitki dokusunun nispeten atmosferden daha fazla ^{12}C ve atmosferden daha az ^{13}C içermesidir. Kaynaktan ürüne orandaki bu değişime ayrışma (fraksiyon) adı verilir. Ayrışmanın derecesi ağacın yetiştiği çevrenin özellikleri tarafından kontrol edilir (McCarroll ve Loader, 2004).

Bitkide çoğunlukla yaprakların alt yüzeyinde, gaz ve su geçişine olanak sağlayan yapılar bulunur. Bu yapılara stoma denmektedir. Stomalar açılıp kapanma özellikleri ile bitkilerdeki terlemeyi ve gaz alışverişini kontrol ederler. Stomaların açılıp kapanmasını kilit hücreler sağlar. Stomaların açık ya da kapalı olması son derece önemlidir. Stoma açıklığı iklimsel faktörler ile değişir. Sıcaklık, yağış ve toprak nemindeki değişim ayrışmanın derecesini ve böylece $\delta^{13}C$ değerlerini belirler. Bitki, stomalar aracılığı ile bünyesine CO_2 alır ve güneş enerjisini kullanarak organik besinleri sentezler. CO_2 'in indirgenme işlemi sadece güneş enerjisiyle gerçekleşir ve bu sürece "fotosentez" denir. Bu süreç sırasında ayrışma iki farklı aşamada oluşur (McCarroll ve Loader, 2004): Stomadaki hafif karbon izotoplarını içeren CO_2 molekülleri, karbondioksitin ağır izotoplarından çok daha kolay difüzyona uğrarlar. ^{12}C , ^{13}C 'den daha hafif ve küçük olduğundan daha hızlı reaksiyona girer (February, 1997). Bunun net etkisi çevre atmosfere göre bitkide ^{13}C tükenmesi şeklinde görülür. Havadaki difüzyon sırasındaki karbon ayrışması $a = \text{‰} - 4.4$ olarak kabul edilir (McCarroll ve Loader, 2004). Bir diğer fraksiyon ise atmosferden alınan CO_2 'in fotosentetik enzimler tarafından kullanılması sırasında meydana gelir. Biyolojik süreçler ^{13}C yerine ^{12}C 'yi kullanmaya eğilimlidirler. Karboksillenme sırasındaki net ayrışmanın değeri ise yaklaşık $-\text{‰} 27$ 'dir.

C₃ tip bitkilerde karbon tutulmasına yönelik karbon izotop ayrışması aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır (Farquhar vd., 1989):

$$\Delta = a + (b - a)c_i / c_a$$

$$\Delta = \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{Hava}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Bitki}}}{1 + \delta^{13}\text{C}_{\text{Bitki}} / 1000} \approx \delta^{13}\text{C}_{\text{Atm}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Bitki}}$$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Bitki}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{Atm}} - a - (b - a)c_i / c_a \quad \text{veya} \quad \frac{c_i}{c_a} = \frac{\Delta - a}{b - a}$$

Bu bağıntıda, c_i bitkideki CO₂ birikimi, c_a ise atmosferdeki CO₂ birikimine karşılık gelmektedir. Delta (Δ) ise karbon izotop ayrışması olarak tanımlanır. ‘ a ’ havadaki difüzyon sırasındaki karbon ayrışması, ‘ b ’ ise karboksillenme sırasındaki net ayrışmadır (McCarroll ve Loader, 2004).

Ayrışma kaynak gazının izotopik oranına bağlıdır. Böylece eğer bitki bünyesindeki CO₂ ¹³C’ce zenginleşirse, yaprakta çok daha fazla ¹³C özümünecektir. Bu nedenle yaprağın $\delta^{13}\text{C}$ değeri ile c_i/c_a oranı arasında yakın bir ilişki vardır. c_i ile c_a arasındaki ilişki yüksek ise stomal iletkenlik fotosentez derecesinden çok daha fazladır. Böylece güçlü bir karboksillenme olacak ve sonuçta bitkideki $\delta^{13}\text{C}$ değerleri düşük çıkacaktır. Stomal iletkenlik derecesi fotosentez derecesinden daha az olduğunda bitkideki CO₂ konsantrasyonu düşecek, daha az karboksillenme olacak ve yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerleri elde edilecektir (McCarroll ve Loader, 2004).

Havadaki difüzyon sırasındaki karbon ayrışmasının $a = \text{‰} - 4.4$, ve karboksillenme sırasındaki net ayrışmanın $b = \text{‰} - 27$ olduğu ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{Atm}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{Hava}}$ kabul edildiğinde (Feng, 1988), c_i / c_a oranının hesaplanabilmesi için atmosferdeki $\delta^{13}\text{C}$ değişiminin bilinmesi gerekir. Atmosferden doğrudan ölçülmüş $\delta^{13}\text{C}$ değerleri 1956–1957 yılları için Keeling (1958, 1961)’den, 1978–1988 dönemi için ise Keeling vd. (1989)’den sağlanabilir. Buzullardaki hava kabarcıklarından özütlenen $\delta^{13}\text{C}$ (CO₂) değerleri 1744–1953 dönemi için atmosferdeki $\delta^{13}\text{C}_{\text{Atm}}$ için önemli bir karbon kaydı

sağlamaktadır (Friedli vd., 1986). 1744'den günümüze (t = Milattan Sonra yıl olarak) kadar olan dönem boyunca $\delta^{13}\text{C}_{\text{Atm}}$ değerleri ise aşağıdaki yaklaşım denklemi ile kestirilebilen üstel bir yönelim göstermektedir.

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Atm}} = -6.429 - 0.0060 \exp [0.0217 (t - 1740)] \quad (\text{Friedli vd., 1986})$$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Atm}} = -5.5656 - \exp [6.0932 \times 10^{-5}] t^2 \quad 1880 \text{ için } t = 1 \quad (\text{Francey vd., 1999})$$

Yukarıda tanımlanan model esas alınarak, yıllar itibariyle atmosferdeki $\delta^{13}\text{C}_{\text{Atm}}$ oranları hesaplanır ve bu oranlar ile ağaçtan ölçülen $\delta^{13}\text{C}_{\text{Bitki}}$ değerleri kullanılarak ci/ca oranı tespit edilir.

Bolu-Mengen Yaylacık Ormanı ağaç halkalarının $\delta^{13}\text{C}$ sonuçlarından hesaplanan karbon izotop ayrımlaşmaları alt yükselti (YAY) ve üst yükselti (YAYU) için sırasıyla Çizelge 5.2 ve 5.3'te verilmiştir.

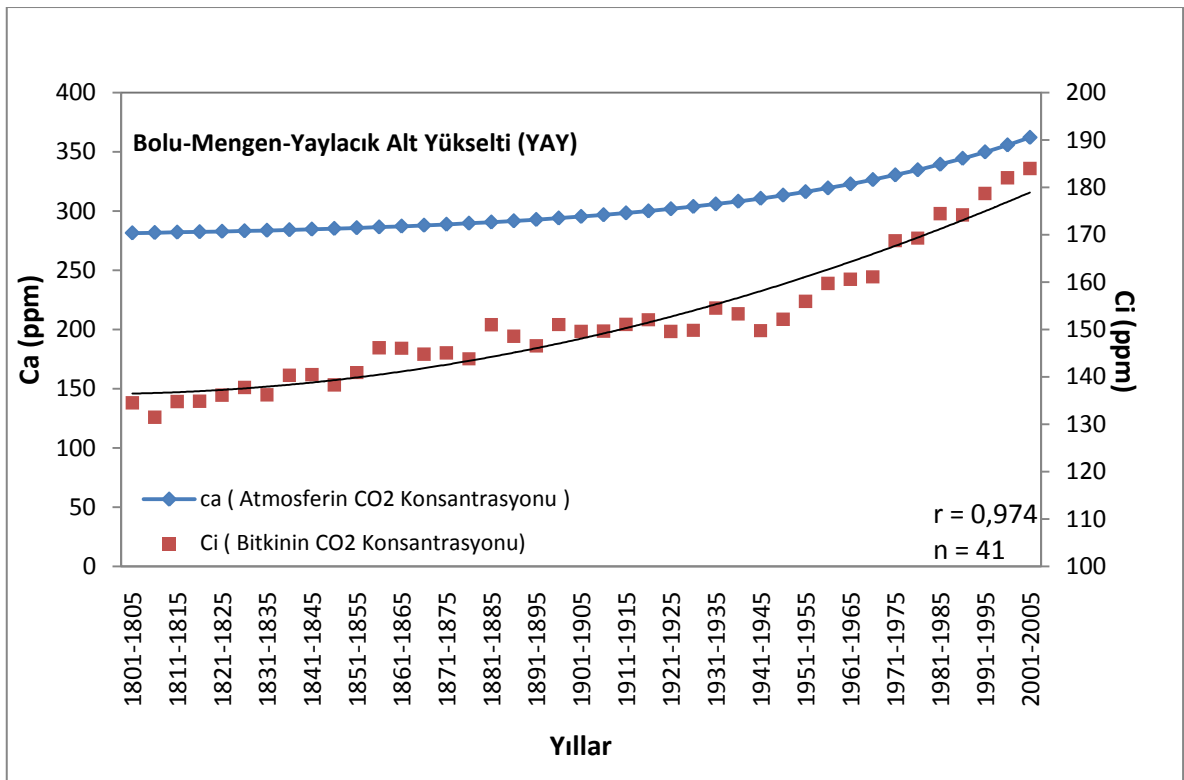
Çizelge 5.2. Bolu-Mengen-Yaylacık alt yükseltisi için bitki ve atmosferdeki karbon izotop kompozisyonlarının yıllara göre değişimi.

Bolu-Mengen-Yaylacık (YAY)						
Yıllar	$\delta^{13}C_{atm}$	$\delta^{13}C_{bitki}$	Δ	Ca	Ci	C_i/C_a
1801-1805	-6,453	-21,331	15,202	281,4154	134,51	0,478
1806-1810	-6,455	-21,087	14,947	281,7126	131,47	0,467
1811-1815	-6,458	-21,334	15,200	282,0342	134,77	0,478
1816-1820	-6,462	-21,329	15,191	282,3821	134,83	0,477
1821-1825	-6,465	-21,418	15,280	282,7584	136,13	0,481
1826-1830	-6,470	-21,531	15,393	283,1655	137,74	0,486
1831-1835	-6,474	-21,400	15,252	283,6059	136,18	0,480
1836-1840	-6,479	-21,705	15,563	284,0823	140,32	0,494
1841-1845	-6,485	-21,700	15,552	284,5976	140,44	0,493
1846-1850	-6,492	-21,521	15,360	285,1551	138,28	0,485
1851-1855	-6,499	-21,704	15,543	285,7582	140,89	0,493
1856-1860	-6,507	-22,087	15,932	286,4106	146,15	0,510
1861-1865	-6,516	-22,060	15,895	287,1163	146,03	0,509
1866-1870	-6,526	-21,944	15,764	287,8798	144,76	0,503
1871-1875	-6,537	-21,944	15,753	288,7056	145,03	0,502
1876-1880	-6,549	-21,830	15,622	289,599	143,8	0,497
1881-1885	-6,563	-22,345	16,143	290,5655	150,98	0,520
1886-1990	-6,578	-22,140	15,914	291,611	148,57	0,509
1891-1895	-6,595	-21,962	15,712	292,742	146,53	0,501
1896-1900	-6,614	-22,268	16,011	293,9654	151,03	0,514
1901-1905	-6,635	-22,131	15,846	295,2889	149,56	0,506
1906-1910	-6,659	-22,108	15,798	296,7207	149,65	0,504
1911-1915	-6,685	-22,180	15,846	298,2695	151,06	0,506
1916-1920	-6,715	-22,219	15,856	299,9449	152,05	0,507
1921-1925	-6,747	-22,008	15,604	301,7574	149,6	0,496
1926-1930	-6,784	-21,991	15,549	303,7181	149,82	0,493
1931-1935	-6,825	-22,291	15,819	305,8391	154,53	0,505
1936-1940	-6,870	-22,165	15,642	308,1335	153,27	0,497
1941-1945	-6,920	-21,881	15,296	310,6155	149,75	0,482
1946-1950	-6,977	-22,014	15,376	313,3006	152,15	0,486
1951-1955	-7,040	-22,240	15,546	316,2051	155,95	0,493
1956-1960	-7,110	-22,460	15,704	319,3472	159,73	0,500
1961-1965	-7,187	-22,481	15,645	322,7462	160,59	0,498
1966-1970	-7,274	-22,478	15,553	326,4232	161,09	0,494
1971-1975	-7,371	-22,948	15,942	330,4008	168,74	0,511
1976-1980	-7,479	-22,946	15,830	334,7037	169,27	0,506
1981-1985	-7,600	-23,244	16,017	339,3584	174,44	0,514
1986-1990	-7,734	-23,196	15,830	344,3938	174,17	0,506
1991-1995	-7,883	-23,454	15,944	349,8409	178,7	0,511
1996-2000	-8,050	-23,636	15,963	355,7334	182,01	0,512
2001-2005	-8,236	-23,742	15,884	362,1078	184	0,508

Çizelge 5.3. Bolu-Mengen-Yaylacık üst yükseltisi için bitki ve atmosferdeki karbon izotop kompozisyonlarının yıllara göre değişimi.

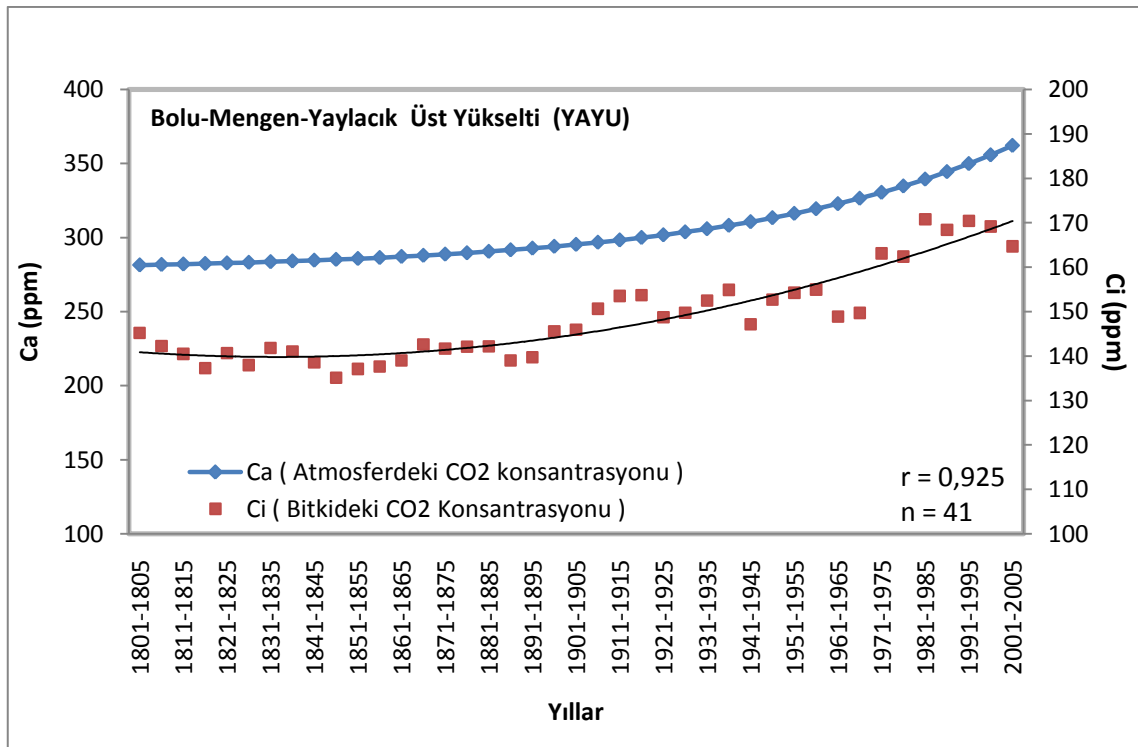
Bolu-Mengen-Yaylacık (YAYU)						
Yıllar	$\delta^{13}\text{C}_{\text{atm}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{bitki}}$	Δ	Ca	Ci	Ci/Ca
1801-1805	-6,453	-22,159	16,062	281,415	145,220	0,516
1806-1810	-6,455	-21,922	15,813	281,713	142,270	0,505
1811-1815	-6,458	-21,774	15,657	282,034	140,476	0,498
1816-1820	-6,462	-21,518	15,387	282,382	137,286	0,486
1821-1825	-6,465	-21,768	15,643	282,758	140,668	0,497
1826-1830	-6,470	-21,548	15,411	283,166	137,956	0,487
1831-1835	-6,474	-21,831	15,700	283,606	141,798	0,500
1836-1840	-6,479	-21,757	15,617	284,082	141,003	0,496
1841-1845	-6,485	-21,559	15,406	284,598	138,597	0,487
1846-1850	-6,492	-21,279	15,109	285,155	135,120	0,474
1851-1855	-6,499	-21,415	15,243	285,758	137,097	0,480
1856-1860	-6,507	-21,442	15,263	286,411	137,662	0,481
1861-1865	-6,516	-21,529	15,344	287,116	139,032	0,484
1866-1870	-6,526	-21,781	15,595	287,880	142,604	0,495
1871-1875	-6,537	-21,692	15,491	288,706	141,689	0,491
1876-1880	-6,549	-21,701	15,488	289,599	142,085	0,491
1881-1885	-6,563	-21,685	15,458	290,565	142,165	0,489
1886-1890	-6,578	-21,426	15,173	291,611	139,007	0,477
1891-1895	-6,595	-21,457	15,188	292,742	139,737	0,477
1896-1900	-6,614	-21,863	15,590	293,965	145,549	0,495
1901-1905	-6,635	-21,865	15,570	295,289	145,948	0,494
1906-1910	-6,659	-22,181	15,874	296,721	150,647	0,508
1911-1915	-6,685	-22,360	16,033	298,269	153,532	0,515
1916-1920	-6,715	-22,339	15,981	299,945	153,706	0,512
1921-1925	-6,747	-21,946	15,540	301,757	148,737	0,493
1926-1930	-6,784	-21,985	15,543	303,718	149,747	0,493
1931-1935	-6,825	-22,147	15,669	305,839	152,506	0,499
1936-1940	-6,870	-22,280	15,761	308,133	154,902	0,503
1941-1945	-6,920	-21,700	15,107	310,616	147,163	0,474
1946-1950	-6,977	-22,051	15,414	313,301	152,687	0,487
1951-1955	-7,040	-22,123	15,425	316,205	154,253	0,488
1956-1960	-7,110	-22,136	15,366	319,347	154,961	0,485
1961-1965	-7,187	-21,692	14,826	322,746	148,898	0,461
1966-1970	-7,274	-21,720	14,766	326,423	149,719	0,459
1971-1975	-7,371	-22,576	15,556	330,401	163,100	0,494
1976-1980	-7,479	-22,498	15,365	334,704	162,388	0,485
1981-1985	-7,600	-23,009	15,773	339,358	170,768	0,503
1986-1990	-7,734	-22,833	15,452	344,394	168,415	0,489
1991-1995	-7,883	-22,939	15,409	349,841	170,419	0,487
1996-2000	-8,050	-22,850	15,146	355,733	169,153	0,476
2001-2005	-8,236	-22,583	14,679	362,108	164,694	0,455

Sanayileşmenin başlamasıyla atmosferdeki karbon rezervuarlarına antropojenik faaliyetler önemli karbon katkısı sağlamıştır. Buna bağlı olarak, atmosferle devamlı karbon alışverişinde bulunan bitkilerin CO₂ konsantrasyonu atmosferin CO₂ konsantrasyonuna paralel olarak artmaktadır. Bolu yöresi için hesaplanan c_a ve c_i konsantrasyonlarının her iki yükseltide de yıllar itibariyle yükseldiği görülmüştür (Şekil 5.9 ve 5.10). Bolu yöresi alt yükseltisi için hesaplanan c_i ve c_a konsantrasyon değerleri arasında yüksek anlamlılıkta ($p < 0,0001$) çok yüksek pozitif bir ilişki ($r = 0,974$) söz konusudur. 1800 yılında 281 ppm olan atmosferik CO₂ konsantrasyonu günümüzde 362 ppm'e kadar artmıştır. Benzer şekilde alt yükseltideki ağaçların CO₂ konsantrasyonu 1800'lü yılların başında 134 ppm iken 2005'te 183 ppm'e kadar çıkmıştır. Bitkinin CO₂ konsantrasyonundaki değişim çalışılan dönem boyunca 0,25 ppm/yıl olarak bulunmuştur (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Yıllara göre alt yükselti için atmosferdeki (c_a) ve bitkideki (c_i) CO₂ konsantrasyonları.

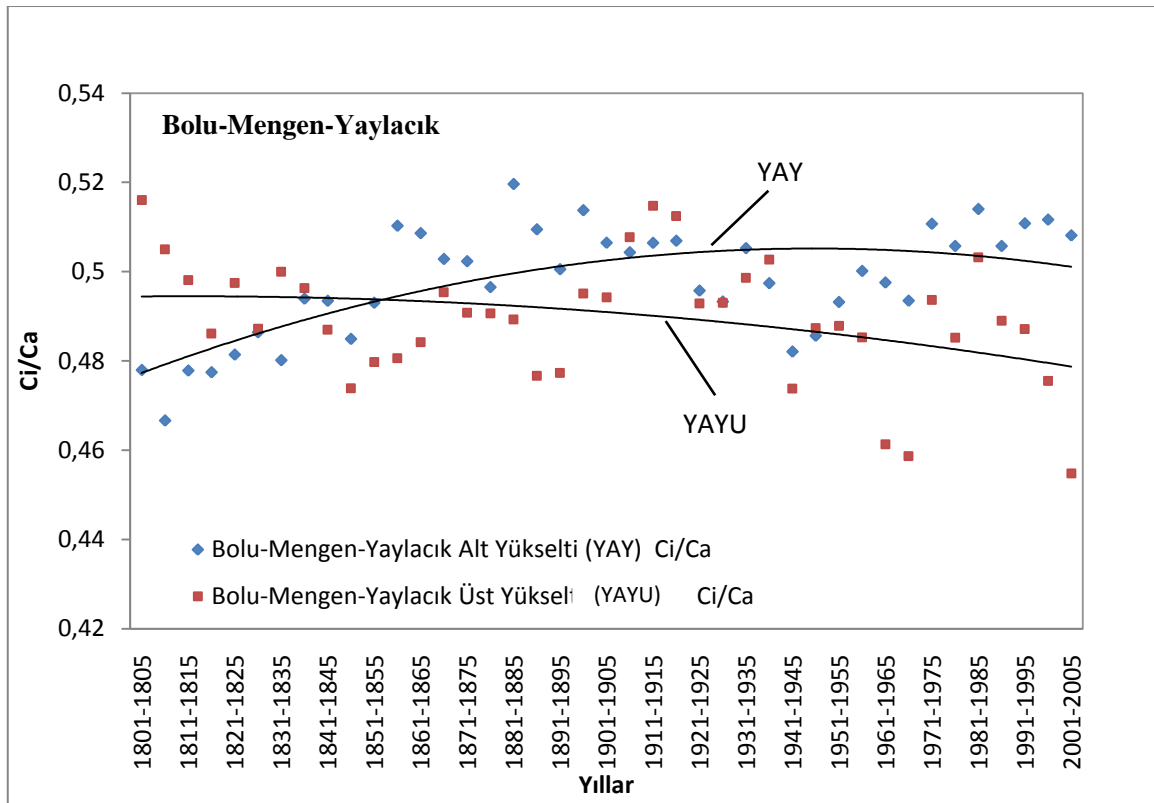
Üst yükselti için c_i ve c_a konsantrasyon değerleri karşılaştırılmasından bulunan korelasyon katsayısı 0,925'tir. Üst yükselti için de c_a ve c_i arasındaki ilişki oldukça yüksektir. Ancak 1800'den 2005'e üst yükselti için bitkinin CO₂ konsantrasyonundaki değişim ortalama 0,12 ppm/yıl'a karşılık gelmektedir (Şekil 5.10). Bu değer alt yükselti değişim hızının yaklaşık yarısı kadardır. Bunun sebebi yine üst yükseltideki stoma yoğunluğunun alt yükseltiye oranla daha az olması veya alt kotlarda CO₂ konsantrasyonunun daha yüksek olmasıyla açıklanabilir.



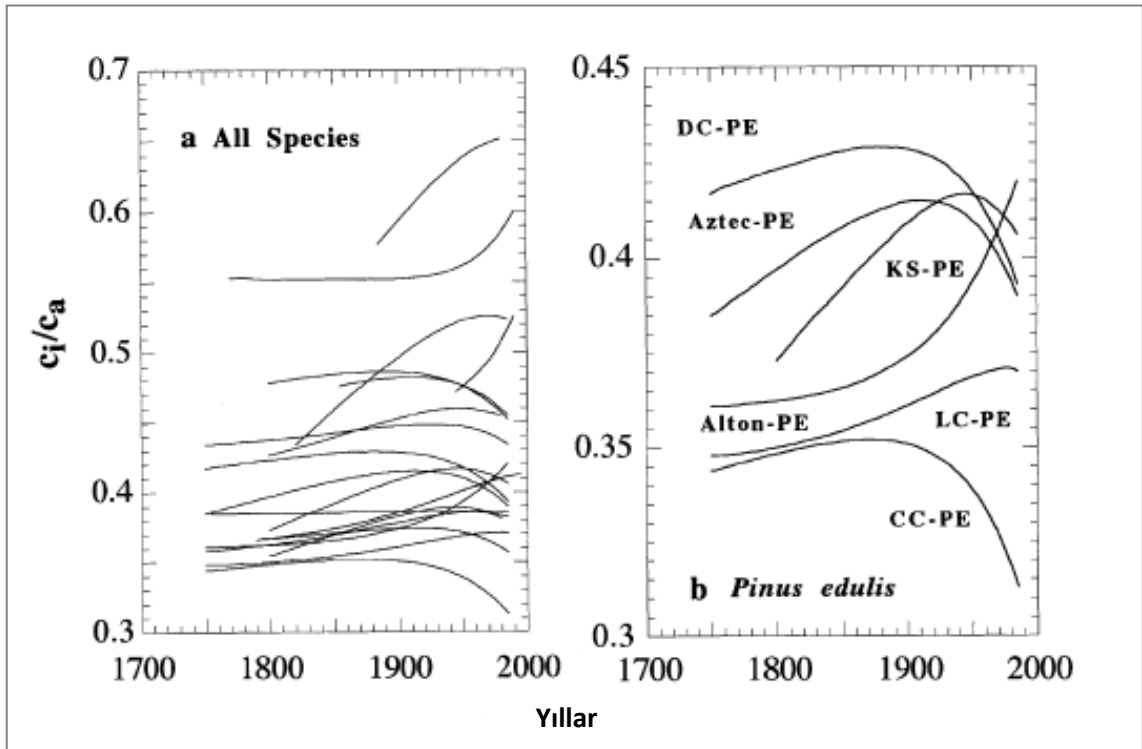
Şekil 5.10. Yıllara göre üst yükselti için atmosferdeki (c_a) ve bitkideki (c_i) CO₂ konsantrasyonları.

Her iki yükselti için elde edilen c_i/c_a değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.11'de sunulmuştur. c_i/c_a yönelimleri değişik araştırmacılar tarafından farklı şekillerde tespit edilmiştir (örneğin artan veya azalan eğriler; Feng, 1998). Yörenin özelliklerine, bitki türüne ve bitki fizyolojisine göre bu oran farklı yönelimler gösterebilir. Bu durumda c_i/c_a değeri için kesin bir yargı yoktur.

Bolu yöresi alt yükseltisi için hesaplanan c_i/c_a oranları 0,466 ile 0,519 arasında, üst yükselti için hesaplanan oranlar ise 0,455 ile 0,516 arasında değişmektedir. Her iki yükselti için değişim aralıkları oldukça benzerdir. Alt yükselti (YAY) için hesaplanan c_i/c_a oranları ilk önce hafifçe artmış ve sonra sabitleşmiştir. Bunun sebebi sanayi faaliyetlerinin artmasıdır. Sanayileşme öncesi c_i/c_a oranı genelde sabit kalmış, sanayileşmeyle birlikte c_i ile c_a arasındaki denge bozulmaya başlamıştır. Ancak Feng (1998)'in Kuzey Amerika'da bulunan çeşitli ağaç türleri için oluşturduğu c_i/c_a oranları ile Bolu yöresi için hesaplanan c_i/c_a oranları karşılaştırıldığında, Bolu yöresindeki değişimin çok daha az olduğu görülür. Özellikle üst yükselti (YAYU) için hesaplanan c_i/c_a oranları fazla değişkenlik göstermemektedir (Şekil 5.11 ve 5.12).



Şekil 5.11. Bitkideki CO₂ konsantrasyonu (c_i), atmosferdeki CO₂ konsantrasyonuna (c_a) oranı.



Şekil 5.12. Kuzey Amerika ağaçlarındaki c_i/c_a oranının zamansal değişimi (Feng, 1998)

5.2.Oksijen İzotop Teorisi

Oksijen her biri 8 protonlu olan ancak 8 ile 10 arasında nötron bulunduran 3 doğal duraylı izotopa sahiptir. ^{18}O 'ın ^{16}O 'e oranı δ notasyonu olarak tanımlanır. Oksijen izotop oranı:

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standart}}} - 1 \right] \times 1000$$

şeklinde ifade edilir. Oksijen izotop ölçümlerinde standart olarak okyanus suyu kullanılmaktadır (SMOW).

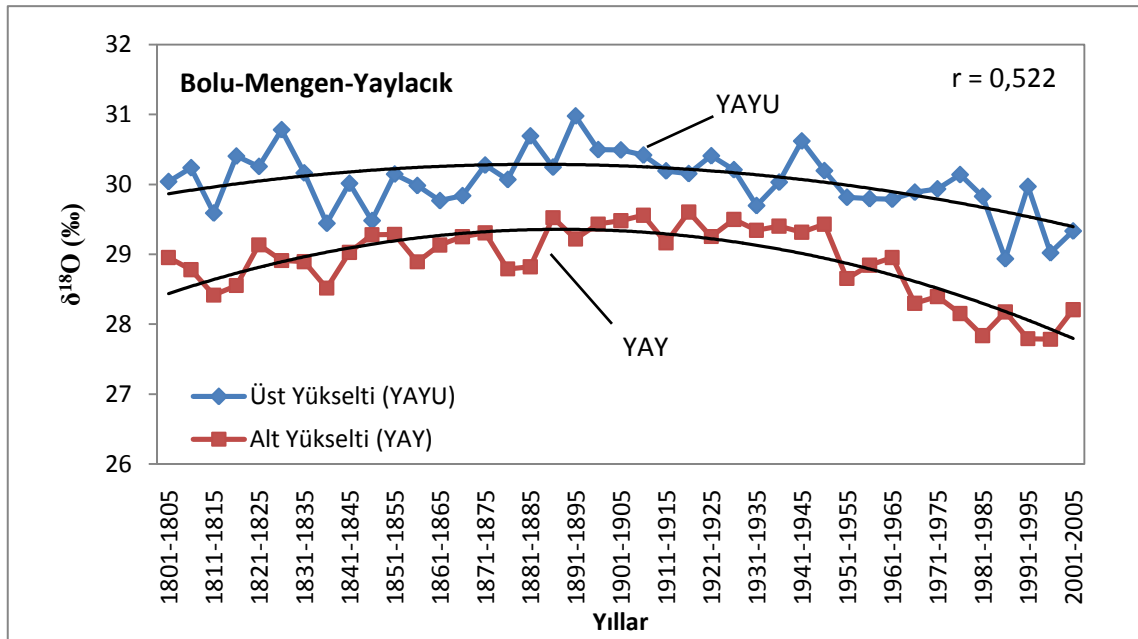
Kütledeki farklılık nedeniyle ^{16}O 'ca zengin olan su ağır ^{18}O 'ce zengin olandan çok daha kolay buharlaşır. Böylece kaynak suyu izotopik olarak, kaynak suyundan buharlaşan nemden daha ağırdır. Bu etki sıcaklık bağımlıdır. Yoğunlaşma olduğunda bunun tam tersi geçerlidir ve ağır izotoplar çok daha kolay yoğunlaşır (McCarroll ve Loader, 2004).

Bolu Mengen Yaylacık Araştırma Ormanının alt (YAY) ve üst (YAYU) yükseltilerinden toplanan karaçam halkalarının $\delta^{18}\text{O}$ analiz sonuçları Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Bolu yöresi alt (YAY) ve üst (YAYU) yükselteleri için 200 yıllık ağaç halkası oksijen izotop oranları.

Bolu-Mengen Yaylacık	YAYU	YAY	Bolu-Mengen Yaylacık	YAYU	YAY
Yıl	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}$	Yıl	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}$
1801-1805	30,040	28,953	1906-1910	30,418	29,560
1806-1810	30,237	28,782	1911-1915	30,192	29,164
1811-1815	29,590	28,417	1916-1920	30,154	29,604
1816-1820	30,404	28,554	1921-1925	30,408	29,254
1821-1825	30,256	29,135	1926-1930	30,209	29,500
1826-1830	30,780	28,911	1931-1935	29,696	29,343
1831-1835	30,163	28,895	1936-1940	30,031	29,404
1836-1840	29,443	28,517	1941-1945	30,619	29,317
1841-1845	30,015	29,029	1946-1950	30,196	29,429
1846-1850	29,482	29,280	1951-1955	29,815	28,654
1851-1855	30,146	29,286	1956-1960	29,795	28,844
1856-1860	29,983	28,892	1961-1965	29,787	28,955
1861-1865	29,768	29,132	1966-1970	29,888	28,299
1866-1870	29,838	29,251	1971-1975	29,935	28,395
1871-1875	30,275	29,307	1976-1980	30,139	28,153
1876-1880	30,069	28,792	1981-1985	29,828	27,837
1881-1885	30,691	28,822	1986-1990	28,937	28,177
1886-1990	30,246	29,525	1991-1995	29,970	27,793
1891-1895	30,977	29,219	1996-2000	29,022	27,785
1896-1900	30,496	29,433	2001-2005	29,333	28,207
1901-1905	30,491	29,480			

1801-2005 dönemi için Bolu-Mengen Yöresi alt ve üst yükseltelerinden toplanan ağaç halkalarının $\delta^{18}\text{O}$ oranları 20. yüzyılın 2. yarısından itibaren oldukça değişken değerler sunmaktadır (Şekil 5.13). Ancak genel olarak oksijen izotop oranlarında az da olsa bir düşüş göze çarpmaktadır. Değişim hızları alt yükselti için yılda ‰ 0,0037, üst yükselti için ise yılda ‰ 0,0035 olarak bulunmuştur. Her iki yükseltideki ağaç halkalarının oksijen izotop oranlarının karşılaştırılmasından elde edilen korelasyon katsayısı 0,522'dir ($n = 41$, $p < 0,001$). Bölgedeki ağaçlar genel olarak Bolu yöresinin iklimsel özelliklerini yansıttığı için bu ilişki anlamlıdır. Ancak alt ve üst yükselti karbon izotop oranları için elde edilen ilişkiye ($r = 0,753$, $p < 0,05$) göre bu değer daha düşüktür. Bunun sebebi alt ve üst yükseltideki sıcaklık ve yağış farklılıklarının oksijen izotop oranlarındaki ilişkiyi muhtemelen zayıflatmış olmasıdır.



Şekil 5.13. Bolu-Mengen Ormanının alt ve üst yükseltelerinden alınan ağaç halkası örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin karşılaştırılması.

Üst yükseltiye ait oksijen izotop oranlarının alt yükseltiye göre yüksek olduğu görülmektedir (\sim ‰ 1). Su buharının ağır izotopları geride bırakarak yükselmesi nedeniyle, alçak rakımlardaki oksijen izotop kompozisyonunun daha yüksek olması

beklenir. Bununla birlikte denizden yüksekliğin az olduğu alt yetişme ortamlarında düşük yağış ve yüksek sıcaklık, üst yetişme ortamlarında ise yüksek yağış ve düşük sıcaklık koşulları hakimdir (Akkemik, 2004). Bolu yöresi Karadeniz iklimine sahip olduğundan oldukça yağış alan nemli bir bölgedir. Bu bölge için yağışın sıcaklıktan daha baskın bir parametre olması ve genelde denizden yüksekliğin az olduğu alt yetişme ortamlarında düşük yağış, üst yetişme ortamlarında ise yüksek yağışların hakim olması, üst yükseltide daha yüksek oksijen izotop oranlarının elde edilmesine sebep olmuş olabilir (Bkz. Şekil 5.13).

5.2.1. Oksijen İzotop Ayrışması

Ağaçtaki suyun başlıca kaynağı toprak nemidir. Bu nedenle ağaçtaki su izotop değerlerinin (oksijen ve hidrojen) bir bölümü yağışın izotopik karakteri ile yakından ilişkilidir. Ancak oksijen ve hidrojen odunun bileşimine katılmadan önce bir takım ayrışmalara maruz kalır. İlk ayrışmanın meydana geldiği topraktaki buharlaşma ilksel izotop oranını değiştirebilir (McCarroll ve Loader, 2004).

Bitkiler su ve suda erimiş madensel tuzları köklerindeki epidermis hücrelerinin dışarıya doğru uzaması ile gelişen emici tüyler vasıtasıyla topraktan temin ederler. Ağaç kökleri suyu alırken hiçbir ayrışma meydana gelmez. Su ve mineral maddelerin geçişi osmoza göre gerçekleşir. Kökler vasıtasıyla alınan su, ksilem borularına (odun boruları) osmozla taşınır. Ksilem elemanlarında ise bu maddeler kılcallık, kök basıncı, terleme - kohezyon kuvvetlerinin etkisiyle fotosentezin ve terlemenin meydana geldiği yapraklara kadar ulaşır. Ağaçta ayrışmanın kritik bölgesi yapraktır. Buharlaşma nedeniyle yaprakta hafif izotoplar tüketilir ve sonuç olarak ^{18}O izotopu zenginleşir (McCarroll ve Loader, 2004). Bu süreç aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$\Delta^{18}\text{O}_e = \varepsilon^* + \varepsilon_k + (\Delta^{18}\text{O}_v - \varepsilon_k) e_a / e_i$$

Burada, $\Delta^{18}\text{O}_e$ yaprak suyunun zenginleşme seviyesidir. ε_k yaprak ve stomada suyun difüzyonu sırasındaki ayrışmadır. $\Delta^{18}\text{O}_v$ atmosferdeki su buharının oksijen

izotop kompozisyonu, 'e_a' ve 'e_i' sırasıyla ortam ve iç buhar basıncıdır. Bu model buharlaşma bölgesindeki suyun izotopik olarak zenginleşmesini açıklar (McCarroll ve Loader, 2004).

Yaprakta oluşan glikoz yaprak suyunun izotopik karakterini yansıtır. Yapraktan gövdeye taşınan glikoz ise ağaç halkası selülozunu oluşturur, burada yapraktan gövdeye glikoz taşınması kaynak suyu ile gerçekleştirilir. Yapraktaki oksijen izotopları kaynak suyunun oksijen izotopları ile tamamen değişseydi, ağaç halkası selülozu doğrudan kaynak suyunun izotop karakterini yansıtmış olacaktı. Ancak böyle bir değişim gerçekleşmediğinden, izotopik oran hem kaynak suyu hem de yapraktaki buharlaşma sırasında izotopik zenginleşmenin derecesi hakkında fikir vermektedir (McCarroll ve Loader, 2004).

Sonuç olarak, buharlaşma yaprakta daha yüksek olduğundan ağaç halkası $\delta^{18}\text{O}$ değeri kaynak suyunun oksijen izotop bileşimini doğrudan yansıtmayabilir. Bununla birlikte, ağaç halkasından elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin yağış ve yaz neminin oksijen izotop kompozisyonu ile benzer yönelimler gösterdiği belirlenmiştir (McCarroll ve Loader, 2004).

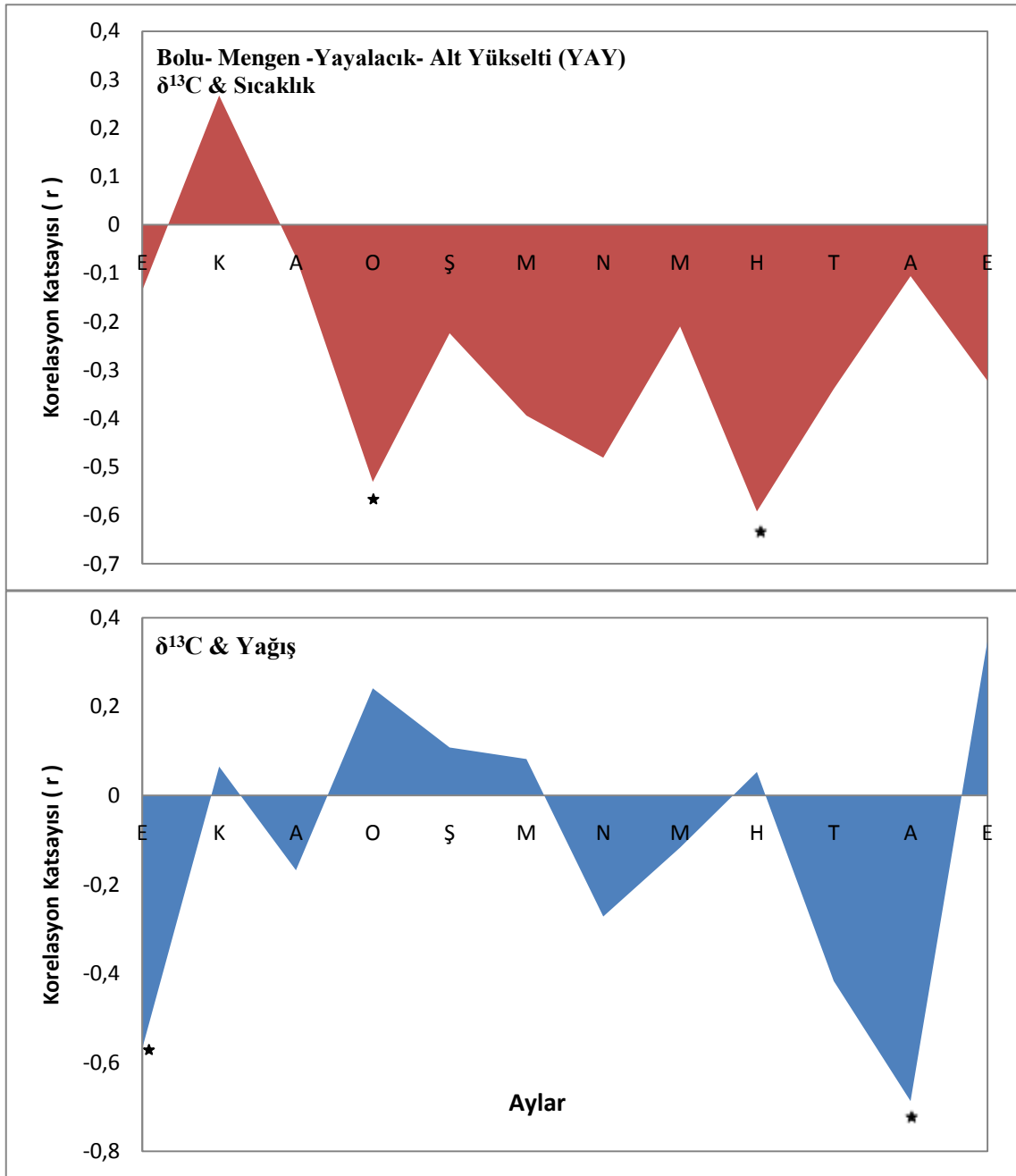
5.3. Karbon ve Oksijen İzotop Oranları ile İklimsel Değerlendirme

Bölgenin iklim rejimi, ağaç lokasyonu ve ağaç türü, ağaç halkası ve duraylı izotop oranlarını kontrol eden faktörler arasındadır. Bu nedenle, ağaç halkalarında ölçülen karbon ve oksijen izotop oranları paleoiklimlerin yüksek yıllık çözünürlükte oluşturulmasında oldukça kullanışlıdır (McCarroll ve Loader, 2004).

Bolu-Yaylacık yöresinin alt ve üst yükseltilerinden toplanan ağaç halkalarında ölçülen oksijen ve karbon izotop oranları ile Bolu Meteoroloji İstasyonu'nda kaydedilen yağış ve sıcaklık değerleri karşılaştırılarak iklimsel faktörler ile izotop sistematiği arasındaki olası ilişkiler değerlendirilmiştir.

5.3.1. Bolu Yaylacık alt yükselti (YAY)

Bitki (c_i) ve atmosferik (c_a) CO₂ konsantrasyonları arasındaki farklılıkların ağaç halkalarının karbon izotop oranları üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bununla birlikte, ağaç halkalarındaki karbon izotop oranları stomal iletkenlik ve fotosentez derecesi ile yakından ilişkilidir (Holzkamper vd., 2008). Bolu bölgesi alt yükseltisi karaçamlarının karbon ve oksijen izotop oranları ile yağış ve sıcaklık değerleri arasındaki aylık ilişkiler Şekil 5.14 ve 5.15'te (biyolojik yıl esas alınmıştır) verilmiştir. Bölgede sıcaklık ile karbon izotop oranları genellikle negatif korelasyonlar göstermektedir. Ancak geçmiş çalışmalarda karbon izotop oranları ile sıcaklık arasında çoğunlukla pozitif ilişkiler bulunmuştur (McCarroll vd., 2003; Pawelczyk vd., 2004; McCarroll ve Loader, 2004). Bolu yöresi alt yükseltisi için sadece Kasım ayında ($r = 0,267$) pozitif korelasyon elde edilmiştir, ancak anlamsızdır ($p < 0,05$). Bitki sıcaklık artışı ile oluşacak su kaybını önlemek için stomalarını büyük oranda kapatır ve böylece atmosferle olan temas minimum seviyede olacağından halkalardaki karbon izotop oranları yükselecektir (Pawelczyk vd., 2004). Ancak sıcaklık ile karbon izotop oranları arasında negatif ilişkinin görüldüğü çalışmalar da vardır (Voltas vd., 2008). Bolu yöresi alt yükseltisi için en güçlü ve anlamlı korelasyon Haziran ayı sıcaklık değerleri için bulunmuştur ($r = -0,592$; $p < 0,05$). Haziran ayı büyümenin hızlandığı ve odunun büyük kısmının oluştuğu döneme (Mayıs-Ağustos) denk gelmektedir. Bolu bölgesinde yılın büyük bir kısmının yağışlı olması ve sıcaklığın çok artmaması nedeniyle bitki muhtemelen su kaybını azaltmak için stomalarını kapatma gereğini duymamıştır. Ayrıca bölgedeki sıcaklıklar genellikle ağaç halkası oluşum dönemi boyunca fotosentez için olumlu etki yapacak düzeydedir. Fotosentez oranının artması bitkinin bünyesine daha fazla atmosferik CO₂ alması anlamına gelir. Bu alım esnasında meydana gelen ayırışmalar, karbonun hafif izotopları ile zengin CO₂ moleküllerinin ağır izotoplarca zengin olanlara göre daha kolay difüzyona uğramasını sağlar (McCarroll ve Loader, 2004) (Bkz. Bölüm 5.1.1). Bunun sonucunda, karbon izotop oranları daha negatif değerler gösterir. Tüm bu değerlendirmeler Bolu yöresi sıcaklık ve $\delta^{13}C$ değerleri arasındaki negatif yönlü ilişkileri açıklamaktadır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Bolu yöresine ait alt yükselti karbon izotop oranları ($\delta^{13}\text{C}$) ile aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir).

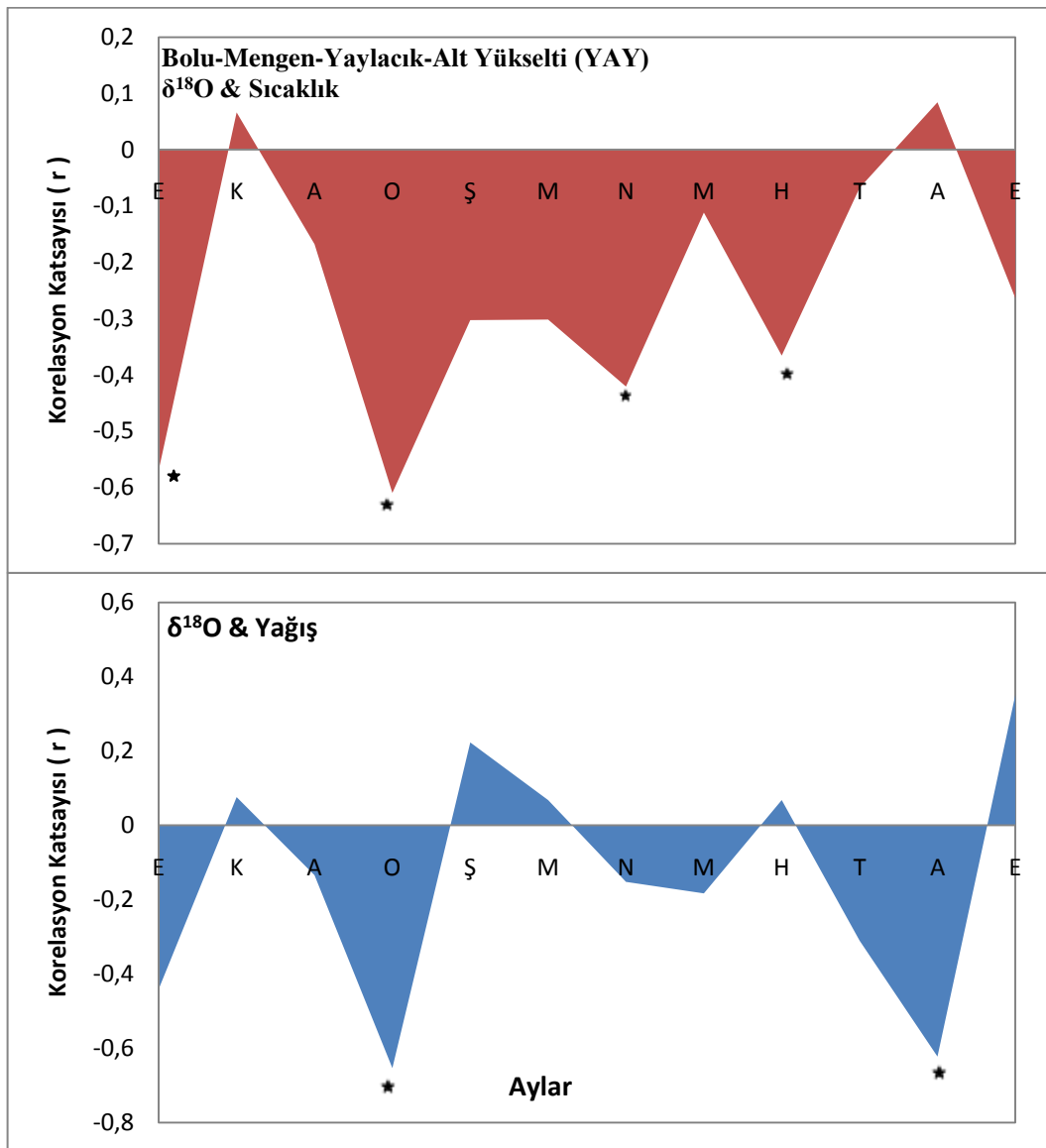
Yağış ve ağaç halkası karbon izotop oranlarına yönelik yapılan çalışmalarda, sıcaklık ile karbon izotop oranları arasındaki ilişkilere benzer şekilde, hem pozitif (Gagen vd., 2006) hem de negatif (McCarroll vd., 2003) yönelimler elde edilmiştir. Bu tür farklı sonuçlar çalışılan bölgelerin farklı iklimsel rejimler altında olması ve ağaçların genetik özelliklerindeki değişiklikler (stomal iletkenlik, fotosentez kabiliyeti) ile açıklanabilir.

Bolu yöresi için karbon izotop oranları ile aylık yağış değerleri arasında en yüksek ve anlamlı ilişki Ağustos ayı için elde edilmiştir ve sıcaklıkla olduğu gibi negatif bir ilişki söz konusudur ($r = -0,687$; $p < 0,05$). Bölgede en çok Ağustos ayında görülen yağış eksikliği bu döneme ait izotop oranlarına önemli etki yapmıştır. Bu dönem büyümenin hızlandığı ve odunun büyük bir kısmının oluştuğu zaman aralığına (Mayıs-Ağustos) karşılık gelmektedir. Ancak Ağustos ayında sıcaklığın fazla ve yağışın az olmasından dolayı bu dönem ağacın gelişmesi için uygun değildir.

Ağaç halkası karbon izotop oranları hem geçmiş iklimsel değişiklikleri hem de endüstrileşme sürecini yansıtır. İklimsel değişiklikler endüstrileşme öncesi karbon izotop oranlarını etkileyen en önemli faktördür. 1850'li yıllardan itibaren endüstrileşmenin artmasıyla iklimsel değişim etkisi, atmosferdeki CO₂ konsantrasyonundaki hızlı artış nedeniyle gölgede kalmıştır. Bu problem aynı zamanda ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin iklimsel olarak yorumlanmasını zorlaştırmaktadır.

Meteorik sular ağaç halkalarındaki oksijenin başlıca kaynağıdır, bu nedenle, ağaç halkası oksijen izotop oranları kaynak suyunun izotopik karakterini yansıtır. Oksijen izotop oranları birçok faktör tarafından etkilenir. Bu faktörlerden en önemlileri yağış, sıcaklık ve nemdir. Bolu yöresi oksijen izotop oranları ve sıcaklık arasındaki ilişkiler genellikle negatif yönlü ve zayıftır. Ancak normal koşullar altında sıcaklık artışının $\delta^{18}\text{O}$ değerlerini yükseltmesi ve pozitif yönlü bir ilişkinin çıkmasını gerektirir (Roig vd., 2006). Sıcaklığın buharlaşmayı arttırması sonucunda oksijenin hafif izotopu (^{16}O) ağır izotopuna (^{18}O) kıyasla daha fazla buharlaşacak ve bu da yaprak suyunun ^{18}O 'ce zenginleşmesini sağlayacaktır. Bolu yöresi için sıcaklık ve oksijen izotop oranları arasında pozitif yönlü ilişki sadece Ağustos ($r = 0,084$; $p > 0,05$) ayı için elde edilmiştir ancak anlamlı değildir. Halka oluşum aylarında (Mayıs-Ağustos) genellikle

oksijen izotop oranları ile sıcaklık arasındaki ilişkiler zayıf ve negatif yönlüdür. Bu aylar boyunca oksijen izotop oranları ve sıcaklık arasındaki en yüksek negatif ilişki, karbon izotop oranları ile sıcaklık değerleri arasında olduğu gibi, Haziran ayı için elde edilmiştir ($r = -0,365$, $p < 0,05$). Ocak ayı için oksijen izotop değerleri ve sıcaklık arasında negatif yönlü anlamlı bir ilişki göze çarpmaktadır ($r = -0,610$, $p < 0,05$). Ancak ağaç halkası oluşumu ile Ocak ayı sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında çok zayıf bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Bolu yöresine ait alt yükselti oksijen izotop oranları ($\delta^{18}\text{O}$) ile aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir).

Sıcaklık ile oksijen izotopları arasında elde edilen zayıf ilişkiler genelde yaz aylarında oluşan uzun ve etkili bir kuraklığın sonucudur. Aşırı kuraklık fotosentez oranında bir azalmaya sebep olur. Böylece ağaç halkası gelişimi zayıftır ve ağaç sadece hayatını sürdürebilecek kadar fotosentez yapabilir. Bu da sıcaklık ile oksijen izotop oranları arasındaki ilişkinin zayıflamasına neden olur. Bu tür koşullar altında, yağış fotosentez derecesini arttırıcı bir etki yaptığından ağaç halkaları sadece yağışın olduğu aylarda gelişir (Roig vd., 2006). Bolu yöresi için aşırı bir kuraklık söz konusu değildir. Ancak ağaç halkası genişlik değerleri ile sıcaklık değerlerinin karşılaştırılmasından halka oluşum ayları için (Mayıs-Ağustos) negatif ilişkiler elde edilmiştir. Benzer şekilde, Mayıs-Ağustos ayları için oksijen izotop oranları ile sıcaklık arasında düşük korelasyonların çıkması bu olasılığı arttırmaktadır. Bu durumda fotosentez derecesinin artmamış aksine azalmış olması gerekir. Ancak oksijen izotopları için varılan bu sonuç karbon izotop oranları ile sıcaklık arasındaki karşıt yönelimleri desteklememektedir.

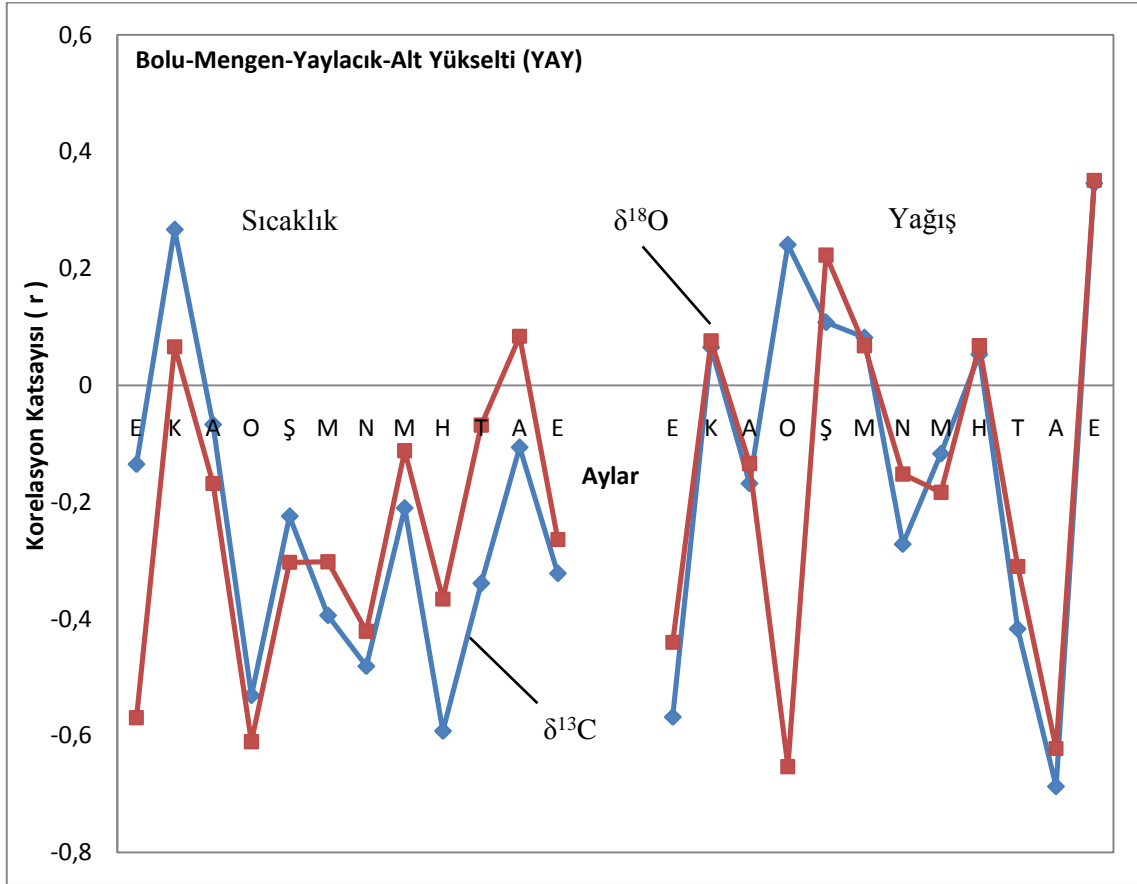
Oksijen izotop oranlarını sıcaklık kadar etkileyen bir başka iklimsel faktör de nemlilikdir. Bolu bölgesi oldukça nemli bir iklime sahiptir. Nemlilikteki değişiklikler stomal iletkenliği ve havadaki buhar basıncını etkiler ve böylece yaprak suyunun izotop oranlarının değişmesine neden olur. Yaprığı çevreleyen havanın nemi arttıkça yapraktaki buharlaşma azalacak ve dolayısıyla yaprak suyundaki hafif izotopların buharlaşması güçleşecektir (Battipaglia vd., 2008). Bu süreç oksijen izotop değerleri üzerinde sıcaklıkla ters etki yapacak ve oksijen izotopları ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi zayıflatacaktır. Ayrıca bu durum karbon izotop oranları ile sıcaklık arasındaki negatif yönlü ilişkileri de desteklemektedir. Sonuç olarak, nem faktörü karbon ve oksijen izotop oranları üzerinde benzer etkiler göstermektedir (Holzkamper vd., 2008).

Bolu yöresi alt yükseltisi için oksijen izotop oranları ile yağış değerleri karşılaştırıldığında bazı ayların pozitif bazılarının ise negatif korelasyon verdiği görülmüştür (Şekil 5.15). Oksijen izotop oranları ile yağış arasında en yüksek pozitif yönlü ve anlamlı ilişki Eylül ayı ($r = 0,355$, $p < 0,05$) için elde edilmiştir. Ancak Eylül ayı için halka oluşumu ve yağış arasındaki ilişki oldukça zayıftır. Oksijen izotop değerleri ile yağış arasında Ağustos ayı için karbon izotop oranlarında olduğu gibi yüksek ama negatif yönlü bir korelasyon elde edilmiştir ($r = -0,622$, $p < 0,05$).

Yağmur suyunun oksijenin ağır izotoplarınca zengin olmasından dolayı yağış ile oksijen izotop değerlerinin pozitif ilişki vermesi beklenir. Ancak ağacın izotopik kompozisyonunu birçok faktör etkilemektedir. Sıcaklık ile nemlilik arasındaki ilişki gibi, yağış ve nemlilik arasında da ters yönlü bir ilişki söz konusudur (düşük nemlilik yaprak suyunun ^{18}O 'ce zenginleşmesini sağlar). Bolu yöresinde ağaç halkası oluşum ayları için oksijen izotop oranları ile yağış arasındaki ilişkiler, özellikle Mayıs ($r = -0,183$, $p > 0,05$) ve Haziran ($r = 0,068$, $p > 0,05$) aylarında oldukça düşüktür. Ancak ağaç halkası genişlikleri ve yağış değerleri arasında bu aylar için pozitif ilişkiler elde edilmiştir. Nemlilik ve yağıştaki bu ters yönlü ilişki, oksijen izotop oranları ile yağış arasındaki ilişkileri zayıflatmış olabilir.

Oksijen izotop oranları ile yağış ve sıcaklık değerleri arasında bulunan negatif yönlü korelasyonlara kar yağışı da neden olabilir. Bolu bölgesinde kış aylarında genellikle kar yağışı etkili olmaktadır. Kış döneminde oluşan kalın kar tabakaları düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahiptir ve bu da toprak neminin $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine yansır (Holzkamper vd., 2008). Ağaçtaki oksijen izotop oranlarının toprak nemi ile yakından ilişkili olmasından dolayı bu süreç etkisi ağaç halkası izotop sonuçlarında görülebilir. Ancak izotop oranları üzerinde çeşitli iklimsel faktörün etkili olması (ağacın morfolojik yapısının bölgelere göre farklılıklar göstermesi, stomal iletkenlik vs.) ve çalışmadaki yıllık çözünürlüğün düşük olması (5-yıllık) izotop oranları ile iklimsel değişikliklerin yorumlanmasında birtakım güçlükler yaratmaktadır.

Şekil 5.16'de Bolu yöresi alt yükseltisi karbon ve oksijen izotop değerlerinin yağış ve sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır. Oksijen ve karbon izotop oranlarının iklimsel faktörler ile aylık ilişkileri oldukça uyumludur. Bu da karbon ve oksijen izotoplarının çevresel ve iklimsel değişikliklere benzer tepki verdiğiğine işaret etmektedir. Aynı zamanda alt yükselti oksijen ve karbon izotop değerleri karşılaştırıldığında, elde edilen yüksek ve anlamlı ilişki ($r = 0,566$, $p < 0,05$) bunu desteklemektedir.



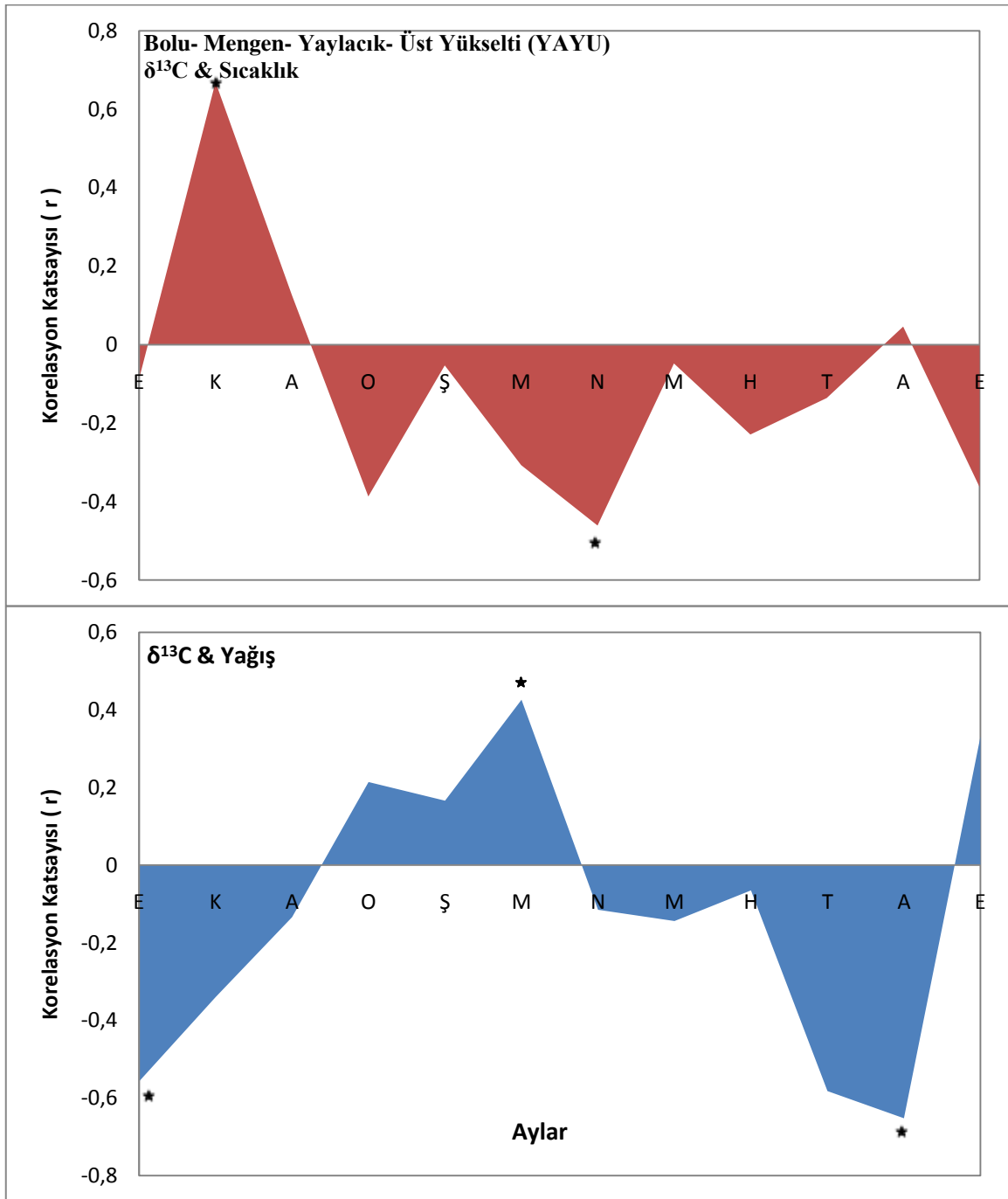
Şekil 5.16. Bolu Yaylacık alt yükseltisinden elde edilen izotop oranlarının 1930-2005 dönemi 5-yıllık aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri ile karşılaştırılması.

5.3.2. Bolu Yaylacık üst yükselti (YAYU)

Bolu yöresi üst yükseltisi için karbon ve oksijen izotop oranları ile sıcaklık ve yağış değerleri arasındaki ilişkiler şekil 5.17'de verilmiştir. Bolu yöresi üst yükseltisi için elde edilen karbon izotop oranları ile sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, en yüksek ilişki Kasım ayı için ($r = 0,527$, $p < 0,05$) elde edilmiştir. Ancak üst yükselti için Kasım ayı ile halka genişliği arasında zayıf ve negatif bir ilişki söz konusudur. Bunun nedeni Kasım ayının bölgede halka gelişimi için uygun bir dönem olmamasıdır. Bu da fotosentez derecesinin düşük olduğunu işaret eder. Bu süreç sonunda ağacın atmosferle olan temasının azaldığından, karbon izotop oranları ile sıcaklık arasında pozitif yönlü bir ilişki gelişmiş olabilir.

Üst yükselti için halka oluşum döneminde (Mayıs-Ağustos) Haziran ayının sıcaklıkla karbon izotop oranları arasındaki ilişkinin diğer aylara göre yüksek olduğu göze çarpmaktadır ($r = -0,229$, $p > 0,005$). Benzer şekilde, alt yükselti için de Haziran ayında sıcaklık ile karbon izotop korelasyonu diğer aylara göre yüksek çıkmıştır ($r = -0,592$, $p < 0,005$). Ancak alt yükseltinin korelasyon katsayısı üst yükseltiyle kıyaslandığında daha yüksek ve anlamlıdır. Bunun nedeni alt yükseltide halka oluşumu için iklimsel şartların üst yükseltiye kıyasla daha elverişli olmasıdır. Aynı zamanda yükselti arttıkça yapraktaki stomaların sayısı azaldığından ağaç bünyesine daha az CO₂ alacaktır ve bu da üst yükselti için hesaplanan korelasyon katsayısının daha düşük olmasına sebep olmuş olabilir.

Bolu yöresi üst yükseltisi için karbon izotop oranları ile yağış değerleri arasında en yüksek pozitif yönlü ve anlamlı korelasyon Mart ayı ($r = 0,426$, $p < 0,05$) için elde edilmiştir. Bu ay halka gelişimi için gerekli olan hormonların salgılandığı döneme denk gelmektedir. Üst yükselti karbon izotop oranları ile yağış arasında (alt yükseltide olduğu gibi $r = -0,686$) Ağustos ayı ($r = -0,652$, $p < 0,05$) için negatif yönlü ancak anlamlı bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 5.17).



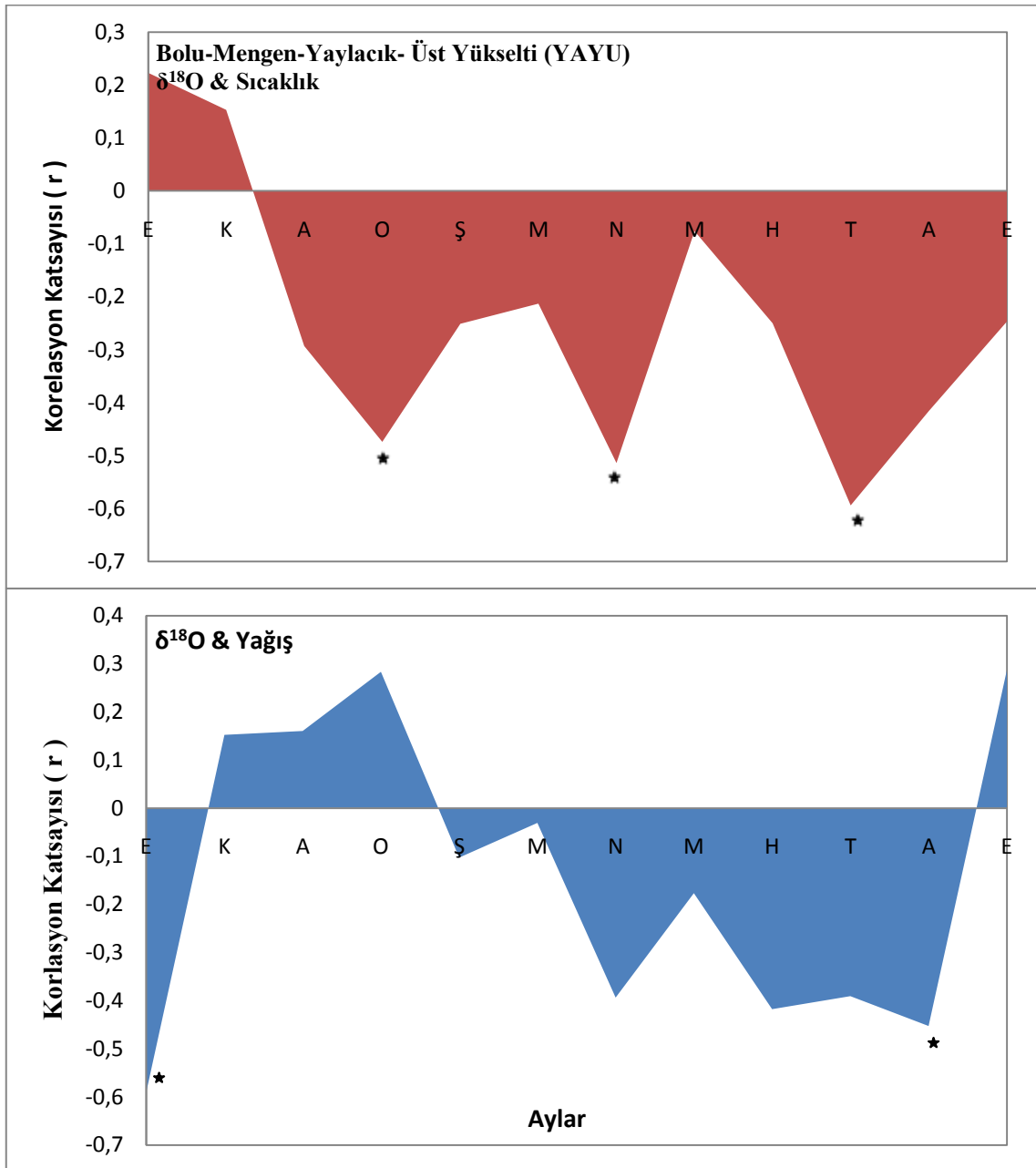
Şekil 5.17. Bolu yöresine ait üst yükselti karbon izotop oranları ($\delta^{13}\text{C}$) ile aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir).

Bölgede en çok Ağustos ayında görülen yağış eksikliği muhtemelen bu döneme ait izotop oranlarına önemli etki yapmıştır. Bu dönem büyümenin hızlandığı ve odunun büyük kısmının oluştuğu zaman aralığına (Mayıs-Ağustos) karşılık gelmektedir. Ancak Ağustos ayında yağış ile halka genişliği arasında sıcaklığın fazla ve yağışın az olmasından dolayı, alt yükseltide olduğu gibi, üst yükseltide de zayıf bir ilişki elde edilmiştir.

Endüstriyelleşme süreci alt yükseltide olduğu gibi üst yükseltinin de karbon izotop oranlarını etkilemiştir ve bu da ağaç halkası $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin iklimsel olarak yorumlanmasını zorlaştırmıştır.

Bolu yöresi üst yükseltisi için elde edilen oksijen izotop oranları ile sıcaklık arasındaki ilişkiler genellikle negatif yönlüdür. En yüksek negatif yönlü ve anlamlı ilişki, halka oluşum dönemlerinde yer alan Temmuz ayı ($r = -0,594$, $p < 0,005$) için elde edilmiştir (Şekil 5.18).

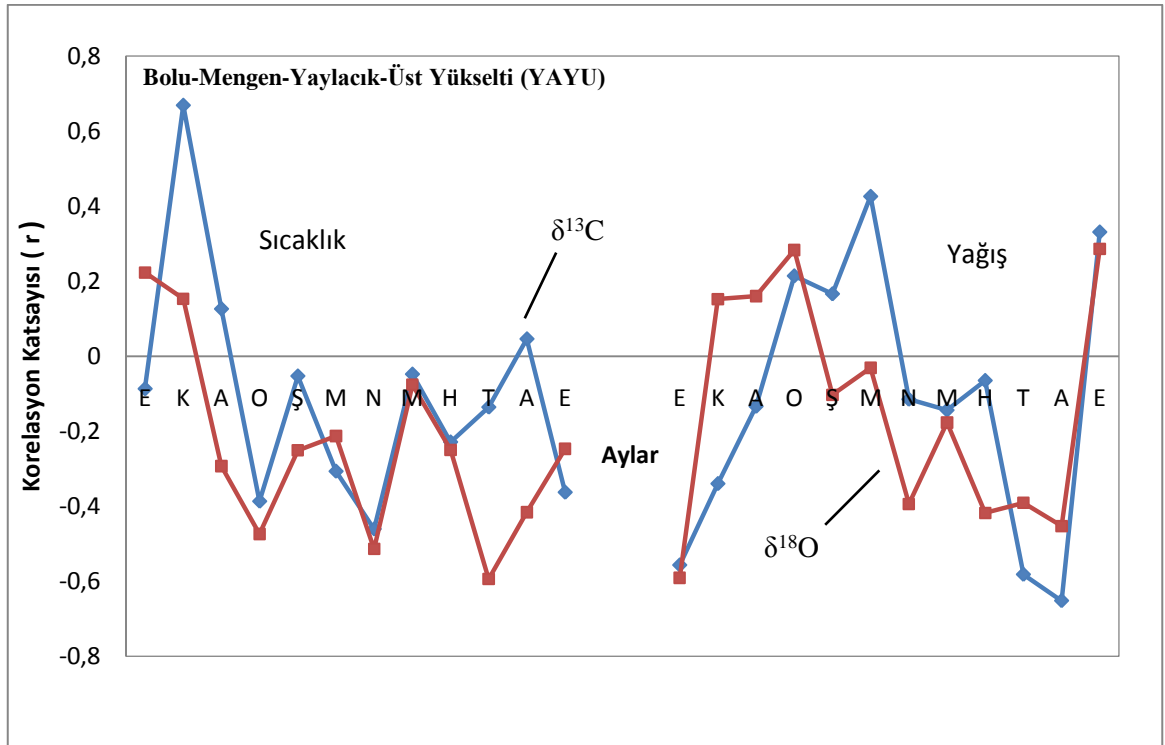
Bolu yöresi üst yükselti oksijen izotop oranları ile yağış değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, Eylül ayı ($r = 0,286$, $p > 0,005$) hariç diğer tüm aylarda negatif korelasyonlar elde edilmiştir. Üst yükselti için oksijen izotop oranları ile yağış arasında halka oluşum ayları içinde (Mayıs-Ağustos) en yüksek negatif yönlü ve anlamlı korelasyon (alt yükseltide oksijen ile yağış arasında olduğu gibi) Ağustos ayı ($r = -0,452$, $p < 0,05$) için bulunmuştur. Genel olarak, halka oluşum ayları incelendiğinde üst yükseltiden elde edilen oksijen izotop oranları ile yağış arasındaki korelasyon katsayılarının, alt yükseltiye oranla daha yüksek negatif değerler aldığı görülmüştür. Bunun nedeni kış aylarında üst yükseltilerin alt yükseltilere göre daha fazla kar yağışı alması olarak açıklanabilir. Kar suyunun $\delta^{18}\text{O}$ değerleri düşüktür ve bu da toprak neminin $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine yansır (Holzkamper vd., 2008). Bu nedenle, alt yükseltiye oranla daha kalın bir kar tabakası ile kaplı üst yükseltide yağış ile oksijen izotop oranları arasındaki korelasyonlar daha negatif çıkmıştır.



Şekil 5.18. Bolu yöresine ait üst yükselti oksijen izotop oranları ($\delta^{18}\text{O}$) ile aylık sıcaklık ve yağış değerlerinin karşılaştırılması ('★' işareti istatistiksel olarak anlamlı ayları göstermektedir).

Şekil 5.19'da Bolu yöresi üst yükseltisi karbon ve oksijen izotop değerleri yağış ve sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır. Oksijen ve karbon izotop oranlarının iklimsel faktörler ile aylık ilişkileri uyumludur. Ancak alt yükselti ile üst yükselti korelasyon

katsayıları kıyaslandığında alt yükseltinin oksijen ve karbon izotop oranlarının iklimsel faktörler ile aylık ilişkilerinin daha uyumlu olduğu göze çarpmaktadır (Bkz. Şekil 5.16). Bolu Meteoroloji İstasyonu rakımı (743 m) ile Bolu-Yaylacık alt yükseltisinin rakımına (830 m) oldukça yakındır. Üst yükselti (1315 m) ile meteoroloji istasyonu arasında ise yaklaşık 570 m'lik bir yükselti farkı vardır. Bu nedenle, oksijen ve karbon izotop oranlarının iklimsel faktörler ile aylık ilişkileri arasındaki uyum üst yükselti için daha azdır. Aynı zamanda üst yükselti karbon ve oksijen izotop değerleri karşılaştırıldığında elde edilen korelasyon alt yükseltiye göre daha düşük çıkmıştır ($r = 0,428$, $p < 0,05$).



Şekil 5.19. Bolu Yaylacık üst yükseltisinden elde edilen izotop oranlarının 1930-2005 dönemi 5-yıllık aylık ortalama sıcaklık ve yağış değerleri ile karşılaştırılması.

BÖLÜM 6

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ağaçlardaki karbon ve oksijen izotop oranları ile iklim değerlendirilmesini amaçlayan bu çalışmada, Bolu Mengen Yaylacık Araştırma Ormanı'ndaki yaşları yaklaşık 200 yıl olan karaçam (*Pinus nigra*) ağaç halkaları üzerinde dendrokronolojik ve jeokimyasal çalışmalar yapılmıştır.

Dendrokronolojik çalışmalardan elde edilen ağaç halkası genişlik değerleri ile iklimsel parametrelerin karşılaştırılması sonucunda alt yükseltiye ait örneklerde Şubat, Mart ve Nisan aylarında halka gelişimi ile sıcaklık arasında pozitif ilişkiler elde edilmiştir. Halka gelişiminin başladığı bu dönemdeki yüksek sıcaklık çeşitli hormonların ve büyüme düzenleyici maddelerin hazırlanmasını sağlayarak, o yıla ait halka gelişimi üzerine olumlu etki yapmıştır. Büyümenin hızlandığı ve odunun büyük bir kısmının olduğu dönem olan Mayıs-Ağustos aylarındaki sıcaklıkların halka gelişimi üzerinde olumsuz etkileri görülmüştür. Bunun nedeni sıcaklığın artması ve yağışın düşmesidir, böylece yüksek su kaybı halka gelişimini engellemiştir. Sıcaklığa verilen tepkinin pozitif olduğu dönemde, yağışa verilen tepki genelde negatif yöndedir. Bu bulgular alt yükseltide kış döneminin soğuk yaz aylarının da kurak olması ile açıklanabilir. Üst yükselti ise daha soğuk olmasından dolayı Aralık-Nisan sıcaklıkları halka gelişimi üzerinde pozitif etki yapmıştır.

Sanayileşmenin başlamasıyla atmosferdeki karbon rezervuarlarına antropojenik faaliyetler önemli karbon katkısı sağlamış ve buna bağlı olarak, atmosferle devamlı karbon alışverişinde bulunan bitkilerin CO₂ konsantrasyonu atmosferin CO₂ konsantrasyonuna paralel olarak artmıştır. Böylece hem alt hem de üst yükselti ağaç halkalarından elde edilen karbon izotop oranları geçmiş yıllardan günümüze sürekli azalan değerler sergilemiştir. Bunun başlıca nedeni fosil yakıtların kullanımındaki artıştır. Elde edilen küresel emisyon değerleri ile ağaç halkası karbon izotop oranları arasındaki yüksek negatif yönlü ilişkiler bunu desteklemektedir. Sanayi faaliyetlerinin 1950'li yıllarda dünya genelinde artması ve buna paralel olarak fosil yakıt kullanımının

yaygınlaşması ile karbon izotop oranlarındaki negatif etki 20. yüzyılın ortalarından itibaren hızlanmıştır.

Bolu yöresi alt yükseltisi ağaç halkası karbon ve oksijen izotop oranları ile iklimsel veriler karşılaştırıldığında bazı aylar için önemli korelasyonlar elde edilmiştir. Bölgedeki sıcaklıklar genelde fotosentez için uygundur. Fotosentez oranının artması ile ağaç daha fazla atmosferik CO₂'i bünyesine almaktadır. Bu soluma esnasında oluşan ayırma süreçleri, karbonun hafif izotopları (¹²C) ile zengin CO₂ moleküllerinin, ağır izotoplarca (¹³C) zengin olanlara göre daha kolay difüzyona uğramasını sağlamıştır ve sonuçta karbon izotop oranları ($\delta^{13}\text{C}$) daha negatif değerler almıştır (McCarroll ve Loader, 2004).

Bolu yöresi alt yükseltisi için oksijen izotop oranları ile sıcaklık ve yağış arasındaki ilişkiler genellikle negatif yönlü ve zayıftır. Bunun nedeni Bolu bölgesinin nemli bir bölge olmasıdır. Oksijen izotop oranlarını etkileyen bir başka iklimsel faktör de sıcaklık ve yağışla ters etki gösteren nemliliklerdir. Nemlilikteki değişiklikler stomal iletkenliği ve havadaki buhar basıncını etkiler, bu da yaprak suyunun izotop oranlarını önemli ölçüde değiştirir. Bu süreç oksijen izotop değerleri üzerinde ters etki yapmış ve oksijen izotopları ile sıcaklık ve yağış arasındaki ilişkileri zayıflatmıştır. Ayrıca bu durum karbon izotop oranları ile sıcaklık arasındaki negatif yönlü ilişkileri de desteklemektedir. Sonuç olarak, nem faktörü karbon ve oksijen izotop oranları üzerinde benzer etkiler göstermiştir. Oksijen izotop oranları ile yağış ve sıcaklık değerleri arasında bulunan negatif yönlü korelasyonların bir diğer nedeni de kar yağışıdır. Kış döneminde oluşan kar tabakaları ve bunların doğrudan ilişkili olduğu toprak suyu düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahiptir (Holzkamper vd., 2008). Böylece bu sürecin etkileri ağaç halkası izotop sonuçlarına da yansımıştır.

Üst yükselti için ağaç halkası karbon ve oksijen izotop oranları ile iklimsel faktörler karşılaştırıldığında alt yükselti ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak alt yükseltinin oksijen ve karbon izotop oranlarının iklimsel parametreler ile aylık ilişkilerinin daha uyumlu olduğu görülmüştür. Bunun nedeni Bolu Meteoroloji İstasyonu rakımı (743 m) ile Bolu-Yaylacık alt yükseltisinin rakımının (830 m) oldukça yakın olması ancak üst yükselti (1315 m) ile meteoroloji istasyonu arasında ise yaklaşık

570 m'lik bir kot farkının bulunmasıdır. Bu nedenle oksijen ve karbon izotop oranlarının iklimsel faktörler ile aylık ilişkileri arasındaki uyum alt yükseltide daha fazladır.

Bolu bölgesi ormanlarında yapılan bu çalışma, ağaç halkası karbon ve oksijen izotop oranlarının iklimsel değişikliklere karşı duyarlı olduklarını ve iklimsel değişikliklere oldukça benzer tepkiler verdiklerini ortaya koymuştur. Ancak izotop oranları üzerinde çeşitli iklimsel faktörlerin etkili olması ve ayrıca çalışmadaki yıllık çözünürlüğün düşük olması (5-yıllık), izotop oranları ile iklimsel değişikliklerin yorumlanmasında bir takım güçlükler yaratmıştır. Ağaç halkalarında yürütülecek duraylı izotop analizlerinin yıllık çözünürlükte olması daha anlamlı sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır.

BÖLÜM 7

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akbulut, S., 2002, Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Anadolu Kestanesi (*Castaneasativa L.* Üzerinde Dendrokronolojik Araştırmalar), Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akkemik, Ü., 1997, Batı Akdeniz Bölgesi'ndeki *Pinus nigra Arn. ve Abies cilicica Carr.* Taksonları Üzerinde Dendrokronolojik Araştırmalar, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akkemik, Ü., 2000a, Dendrochronological investigations in two monumental *Pinus nigra Arn.* stands near Antalya (Turkey), International Scientific Conference- 75 years university forestry education in Bulgaria, Sofia-Bulgaria Proceeding Book, 179-187.
- Akkemik, Ü., 2000b, Dendroclimatology of Umbrella pine (*Pinus pinea L.*) in İstanbul (Turkey), Tree-Ring Bulletin, 56, 17-20.
- Akkemik, Ü., 2000c, Tree-ring cronology of *Abies cilicica Carr.* İn Western Mediterranean Region of Turkey and its response to climate, Dendrochronologia, 18, 73-81.
- Akkemik, Ü., 2004, Dendrokronoloji. İlkeleri, Biyolojik Temelleri, Yöntemleri ve Uygulama alanları, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 4484/479, 260 s.
- Akkemik, Ü. and Dağdeviren, N., 2000, Dendroclimatological studies on *Quercus petraea Liebl.* İn Belgrade Forest (Istanbul), International Scientific Conference- 75 years univeristy forestry education in Bulgaria, Sofia-Bulgaria , Proceeding Book, 169-178.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Akkemik, Ü., ve Demir, D., 2003, Belgrad Ormanı'ndaki doğu kayınında (*Fagus orientalis* Lipsky.) yıllık halka analizleri , İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 53 (2), 23-36.
- Akkemik, Ü., ve Dağdeviren, N., 2004, Using Dendrochronological Methods to Date the Wooden Materials Used in Balkapanı Han, İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 54 (81), 45-53.
- Akkemik, Ü., Dağdeviren, N. and Aras, N. 2005, a preliminary reconstruction (A.D. 1635-2000) of spring precipitation using oak rings in the western Black Sea region of Turkey, Int. J. Biometeorol., 49 (5), p. 297-302.
- Akkemik, Ü., and Aras , A., 2005, Reconstruction (1689-1994) of April-August precipitation in southwestern part of central Turkey, Int. J. Climatol, 25, p. 537-548.
- Battipaglia, G., Jaggi, M., Surer, M., Siegwolf, R.T.W., and Cotrufo, M.F., 2008, Climatic sensitivity of $\delta^{18}\text{O}$ in the wood and cellulose of tree rings: Results from a mixed stand of *Acer pseudoplatanus* L. and *Fagus sylvatica* L., Palaeo, 261, p. 193-202.
- Boutton, T.W., 1991, Stable Carbon Isotope Ratios of Natural Materials: II. Atmospheric, Terrestrial, Marine and Freshwater Environments, Carbon Isotope Techniques, p. 173.
- Bozkurt, Y., 1992, Odun anatomisi, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 3652/415, 293 s.
- Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), <http://cdiac.ornl.gov>.
- D' Arrigo, R. and Cullen, H.M. 2001, A 350-year (AD 1628-1980) reconstruction of Turkish precipitation , Dendrochronologia, 19(2), p. 169-177.
- Dongarra, G., and Varrica, D., 2002, $\delta^{13}\text{C}$ variations in tree rings as an indication of severe changes in the urban air quality, Atmospheric Environment, 36, p. 5887-5896.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dodd, J.P., Patterson, W.P., Holmden, C., and Brasseur, C.M., 2008, Robotic micromilling of tree-rings: A new tool for obtaining subseasonal environmental isotope records, *Chemical Geology*, 252, p. 21-30.
- Edwards, T.W.D., Graf, W., Trimborn, P., Stichler, W., Lipp, J., and Payer, H.D., 2000, $\delta^{13}\text{C}$ response surface resolves humidity and temperature signals in trees, *Goechimica et Cosmochimica Acta.*, 64, p. 161-167.
- Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R. and Hubick, K.T., 1989, Carbon isotope discrimination and photosynthesis, *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 40, p. 503-537.
- February, E.C., and Stock, W.D., 1999, Declining trend in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ of atmospheric carbon dioxide from tree rings of South African *Widdringtonia cedarbergensis*, *Quaternary Research*, 52, p. 229-236.
- Feng, X., 1998, Long-term c_i/c_a response of trees in western North America at atmospheric CO_2 concentration derived from carbon isotope chronologies, *Oecologia*, 117, p. 19-25.
- Francey, R.J., Allison, C.E., Etheridge, D.M., Trudinger, C.M., Enting, I.G., Leuenberger, M., Langenfelds, R.L., Michel, E. and Steele, L.P., 1999, A 1000-year high precision record of $\delta^{13}\text{C}$ in atmospheric CO_2 , *Tellus 51B*, p. 170-193.
- Friedli, H., Lötscher, H., Oeschger H, Siegenthaler, U. and Stauffer, B., 1986, Ice core record of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric CO_2 in the past two centuries, *Nature*, 324 , p. 237-238.
- Fritts, H.C., 1976, *Tree rings and climate*, Academic Press, London.
- Gagen, M., McCarroll, D., and Edouard, J.L., 2006, Combining ring width, density and stable carbon isotope proxies to enhance the climate signal in tree-rings: An example from the Southern French Alps, *Climatic Change*, 78, p. 363-379.
- Gassner, G. ve Christiansen-Weniger, F., 1948, Anadolu çamlarında yıl halkaları gelişmesi üzerinde dendrokronolojik araştırmalar, Ticaret Dünyası Basım Evi, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Holmes, R.L., 1983, Computer-assisted quality control in tree-ring data and measurements, *Tree-ring Bulletin*, 43, p. 69-78.
- Holzkamper, S., Kuhry, P., Kultti, S., Gunnarson, B., and Sonninen, E., 2008, Stable isotopes in tree rings as proxies for winter precipitation changes in the Russian Arctic over the past 150 years, *Geochronometria*, 32, p. 37-46.
- Hughes, M. K., Kuniholm, P.I., Garfin, G.M., Latina, C. and Eischeid, 2001, Aegean tree-ring signature years explained, *Tree-Ring Research*, 57 (1), p. 67-73.
- Hultine, K.R., and Marshall, J.D., 2000, Altitude trends in conifer leaf morphology and stable carbon isotope composition, *Oecologia*, 123, p. 32-40.
- Kantay, B., 1986, Belgrad ormanındaki *Quercus dschorochensis* üzerinde dendrokronolojik araştırmalar, Doktora tezi, İ.Ü. Orman Fakültesi.
- Keeling, C.D., 1958, The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas, *Geochim Cosmo-chim Acta*, 13, p. 322-334.
- Keeling, C.D., 1961, The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural and marine air, *GeochimCosmochim Acta*, 24, p. 277-298.
- Keeling, C.D., Bacastow, R.B., Carter, A.F., Piter, S.C., Whorf, T.P., Heimann, M., Mook, W.G. and Roeloffzen, H., 1989, A three-dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds, 1. Analysis of observational data, In: Peterson DH (ed) *Aspects of climate variability in the Pacific and the Western America*, *Geophys Monogr*, 55, p. 165-236.
- Kowlowski, H., and Pallardy, S.G., 1997, *Growth Control in Woody Plants*, Academic Press, California.
- Köse, N., 2007, Batı Anadolu'da İklim Değişkenliği ve Yıllık Halka Gelişimi, Doktora Tezi, İ.Ü. Orman Fakültesi.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Köse, N., Akkemik, Ü., Delfes, N., 2005, Anadolu'nun İklim Tarihinin Son 500 yılı: Dendroklimatolojik ilk sonuçlar, İ.Ü Orman Fakültesi, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu.
- Körner, C., Cochrane p., 1985, Stomatal response and water relations of *Eucalyptus pauciflora* in summer along an elevationa gradient, *Oecologia*, 74, p. 443-455.
- Kuniholm, P. I. and Striker, C.L., 1976, The Tie-biem system in the Nave Arcade of St. E.rene: Structure and Dendrochronology, *Istanbuler Mitteilungen Beireft*, 18.
- Kuniholm, P. I., 1977, Dendrochronology at Gordion and on the Anatolian Plateau, Unpublished Ph. D. Dissertation (University of Pennsylvania).
- Kuniholm, P. I. and Striker, C.L., 1983, Dendrochronological investigations in the aegean and neighboring regions, *Journal of Field Archaeology* 10, p. 411-420.
- Kuniholm, P. I., 1991, A 1503 Year Chronology fort he Bronze and Iron Ages: 1990-1991 Progress Report of the Aegean Dendrochronology Project, VII. Arkeometri Sonuçları Toplantısı, p. 121-130.
- Kuniholm, P. I., 1992, Dendrochronology Wood from Anatolia and Environs, Trees and Timber in Mesopotamia, *Bulletin on Sumerian Agriculture*, VI, p. 97-98.
- Kuniholm, P. I., 1995a, Dendrochronology, *American Journal Of Archaeology*, Vol. 99, No.1, P. 99-102.
- Kuniholm, P. I., 1995b, Aegean Dendrochronology Project, Cornell University.
- Kuniholm, P. I., 1996, Long Tree-Ring Chronologies for Eastern Mediterranean, *Archaeometry* 1994, the proceedings 29 th International Symposium on Archaeometry, Ankara, P. 401-409.
- Leavitt, S.W., 2002, Prospects for reconstruction of seasonal environment from tree-ring $\delta^{13}\text{C}$: Baseline findings from the Great Lakes area, USA, *Chemical Geology*, 192, p. 47-58.
- Leavitt, S.W., and Long, A., 1982, Stable carbon isotopes as a potential supplemental tool in dendrocronology, *Tree-Ring Bulletin*, 42, p. 50-55.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Loader, N.J., Robertson, I., Barker, A.C., Switsur, V.R., and Waterhouse, J.S., 1997, An improved technique for the batch processing of small wholewood samples to α -cellulose, *Chemical Geology*, 136, p. 313-317.
- McCarroll, D., Jalkanen, R., Hicke, S., Tuovinen, M., Gagen, M., Pawallek, F., Eckstein, D., Schmitt, U., Autio, J., and Heikkinen, O., 2003, Multiproxy dendroclimatology: A pilot study in northern Finland, *The Holocene*, 13, p. 829-838.
- McCarroll, D., and Loader, N.J., 2004, Stable isotopes in tree rings, *Quaternary Science Reviews*, 23, p. 771-801.
- Özkan, Z.C., 1990, Türkiye'deki Doğu Ladini (*Picea orientalis*)de Dendrokronolojik Araştırmalar, Doktora Tezi, K.T.Ü. Orman Fakültesi.
- Pawelczyk, S., Pazdur, A., and Halas, S., 2004, Stable carbon isotopic composition of tree rings from a pine tree from Augustow Wilderness, Poland, as a temperature and local environment conditions indicator, *Isotopes Environ. Health Stud.*, 40, p. 145-154.
- Roig, F.A., Siegwolf, R., and Boninsegna, J.A., 2006, Stable oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$) in *Austrocedrus chilensis* tree rings reflect climate variability in northwestern Patagonia, Argentina, *Int. J. Biometeorol.*, 51, p. 97-105.
- Schweingruber, F.H., 1996, *Tree Rings and Environmental Dendroecology*, Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt.
- Skomarkova, M.V., Vaganov, E.A., Mund, M., Knohl, A., Linke, P., Boerner, A., and Schulze, E.D., 2006, Inter-annual and seasonal variability of radial growth, wood density and carbon isotope ratios in tree rings of beech (*Fagus sylvatica*) growing in Germany and Italy, *Trees*, 20, p. 571-586.
- Trenard, Y., 1982, Making Wood Speak: An Introduction to Dendrochronology, *CFS Forestry Abstracts*, 43, p. 12.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Touchan, R., Garfin, G.M., Meko, D.M., Funkhouser, G., Erkan, N., Hughes, M.K. and Wallin, B.S., 2003, Preliminary reconstruction of spring precipitation in southwestern Turkey from the tree ring width, *International Journal of Climatology* 23, p. 157-171.
- Touchan, R., Funkhouser, G., Hughes, M.K. and Erkan, N., 2005b, Standardized precipitation for the Eastern Mediterranean from tree-ring widths. *Climatic Change*, 72, p. 339-353.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü (OGM), www.ogm.gov.tr.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Çevresel Göstergeler 2006, s. 6.
- Voltas, J., Chambel, M.R., Prada, M.A., and Ferrio, J.P., 2008, Climate-related variability in carbon and oxygen stable isotopes among populations of Aleppo pine grown in common-garden tests, *Trees*, 22, p. 759-769.
- Wright, W.E., 2008, Statistical evidence for Exchange of oxygen isotopes in holocellulose during long-term storage, *Chemical Geology*, 252, p. 102-108.