

Climatic Factors Affecting Tree-Ring Growth of *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode&Cullen from Kastamonu, Turkey

Nesibe Köse

Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Forest Botany

Tel: +90 212 226 11 00, Fax: +90 212 226 11 13

E- mail: nesibe@istanbul.edu.tr

Abstract

In this paper, we present climatic factors affecting radial growth of Uludağ fir (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode&Cullen) from Küre, Kastamonu. Tree-ring measurement series obtained from Köse et al. (2010) were re-analyzed to investigate tree-ring growth - climate relationship. We developed a 120 year-long Uludağ fir chronology. Residual chronology was preferred for dendroclimatological analysis. The mean sensitivity value of the residual chronology was calculated to be 0.23. Uludağ fir trees in this area described to be climatically sensitive. Response function analysis was used to identify relationships between tree-ring width and climate. The results showed that high precipitation in January, high temperature in May-June and low precipitation in the period of February - August were limiting factors on the ring width of Uludağ fir.

Keywords: Dendroclimatology, temperature, precipitation, response function analysis, Uludağ fir.

1. Introduction

The climatic factors effecting ring width of a particular tree species change throughout its natural distribution area (Fritts, 1976). Dendrochronology, the science of dating based on tree-ring patterns (Fritts, 1976), has been used to answer scientific questions of climatology, ecology, geomorphology, archeology and forestry, etc. for more than a century. In Turkey, using dendrochronological methods, the climatic factors affecting radial growth of the most important tree taxa were described for *Pinus nigra* Arn. by Akkemik and Aras (2005), Akkemik et al. (2008), Köse et al. (2011), Touchan et al. (2003, 2005a); for *Pinus sylvestris* L. by Akkemik et al. (2008), Touchan et al. (2005a); for *Pinus brutia* Ten. by Touchan et al. (2003, 2005a); for *Pinus pinea* L. by Akkemik (2000a); for *Cedrus libani* A. Rich. by Akkemik (2003), Touchan et al. (2003, 2005a); for *Abies cilicica* Carr. by Akkemik (2000b);

for *Juniperus excelsa* Bieb. by Touchan et al. (2003, 2005a, b, 2007); for *Fagus orientalis* Lipsky. by Akkemik and Demir (2003) and for *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. by Akkemik and Dağdeviren (2000). According to the results of these studies, a strong relationship between tree-ring width and precipitation has been reported. Based on the findings of these studies we now know that valuable results related to past precipitation can be obtained (D'Arrigo and Cullen, 2001; Hughes et al., 2001; Touchan et al., 2003, 2005a, 2005b, 2007; Griggs et al., 2007; Akkemik and Aras, 2005; Akkemik et al., 2005, 2008; Köse et al., 2005, 2011) when this relationship is significant and tree-ring chronologies are long enough.

Although climatic factors affecting tree-ring growth of black pine for different habitats have been described and classified (Köse, 2007), our knowledge of factors affecting tree-ring growth of other trees is limited. Similarly, there is a dearth of

research on the natural fir taxa in Turkey. Uludağ fir (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode&Cullen), subspecies of Caucasian fir, is commonly distributed in western Black Sea and Marmara regions of Turkey. The elevational distribution of the species is 1100–1800 m, and rarely grows in upper forest limits (Akkemik and Oral, 2011). It is generally adapted to the humid conditions (Mayer and Aksoy, 1998). Saraçoğlu (1989) investigated the relationships between site index and site characteristics in the uneven aged fir stands of the Black Sea Region. The result of his study revealed that trees prefer humid and warm areas more than extreme humid and cold areas. In addition, he found that their optimum elevational range is between 1000 and 1500 m and their site index decreases at the lower and upper elevations.

Akkemik (2000b) built a master chronology for Cilician fir (*Abies cilicica* (Ant. & Kotschy) Carr.) from three separate sites of Taurus Mountains (Bucak-Katran, Akseki-Imrasan and Gazipaşa-Karatepe) and investigated tree-ring growth-climate relationships. He found that high summer temperature and low spring-early summer precipitation are limiting factors on the ring width of the species. In this paper, we present climatic factors affecting radial growth of Uludağ fir from Küre, Kastamonu.

2. Material and Methods

2.1. Description of study site

The study site is located in Kastamonu, Küre, Kayaarkası Mahallesi (41°54'15"N, 33°39'28"E) (Figure 1). The altitude is 800 m and slope is 10% in the study site. Dominant tree taxa in the site is Uludağ fir. Total annual precipitation and mean annual temperature of Kastamonu meteorological station (1930-2000) are 464 mm and 9.7 °C, respectively (Köse et al., 2010). The highest snowpack during the years between 1975 and 2010 was recorded to be 38.0 cm in February 9, 1987 (DMI, 2011). The water budget of the Kastamonu meteorological station was calculated based on Thornthwaite's method (Çepel, 1995) (Figure 2). The precipitation and potential evapotranspiration values become equal in April in this area, soil water is consumed in May-June period, and a water deficit occurs from July to October. The study site is located at the lowest elevation of Uludağ fir,

therefore total precipitation values are quite low for this taxa.

2.2. Tree-ring chronology development

We used the tree-ring measurement series obtained from Köse et al. (2010), which were sampled from undamaged areas by avalanches to build a reference chronology. Samples were taken from ten living Uludağ fir trees. Two cores were obtained from opposite sides of each tree stem. Samples were sanded and cross-dated using standard dendrochronological techniques (Stokes and Smiley, 1968). Tree-ring widths were measured with 0.01 mm precision using LINTAB-Tsap measurement system (RinnTech, Germany). The COFECHA software was used to test the accuracy of measurements (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001).

In this research, we re-analyzed these series to describe the effect of climatic factors on tree-ring growth of Uludağ fir. Each tree-ring measurement series were standardized by fitting a linear or negative exponential regression equation. Then, low-order autoregressive models were applied to standardized series. Bi-weight robust mean were used to build a site chronology (Cook, 1985; Cook et al., 1990a, 1990b). The site chronology was coded as KUR. All these analysis were performed using ARSTAN software (Cook, 1985; Grissino-Mayer et al., 1996).

2.3. Identifying relationship between tree-ring width and climate

Response function analysis (Fritts, 1976) was used to identify relationships between tree-ring width and climate. The advantage of this method is that it removes the correlations between climate variables and converts them into principle components, which are orthogonal and uncorrelated (Fritts, 1976). Monthly total precipitation and monthly mean temperature values of Kastamonu meteorological station (1930–2000) were used in the analysis. Response function coefficients were calculated for the duration of the biological year (from October of the previous year to September of the current year). This analysis was performed using DENDROCLIM2002 software (Biondi and Waikul, 2004).

Climatic Factors Affecting Tree-Ring Growth of *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode&Cullen from Kastamonu, Turkey

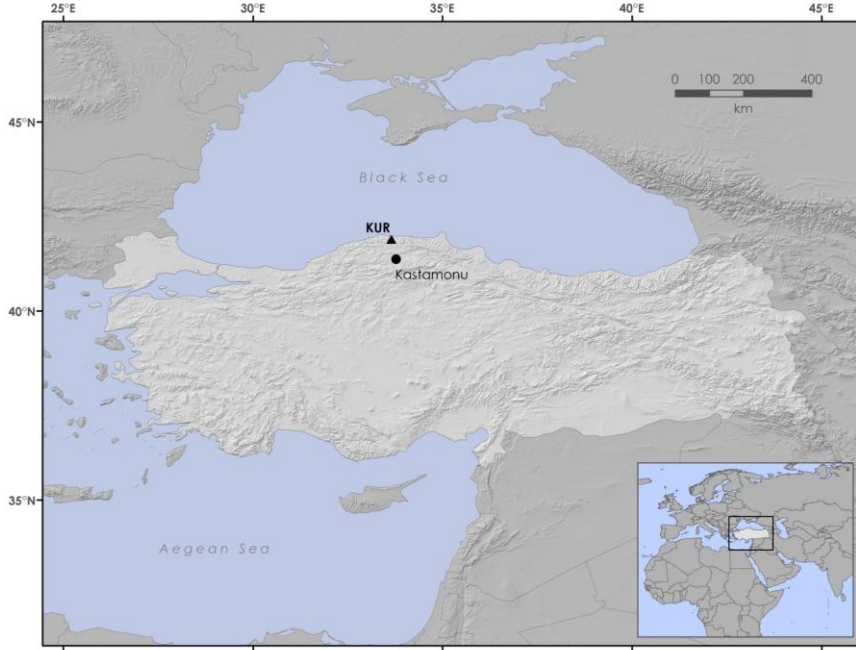


Figure1. Study area. "KUR" and "Kastamonu" represent site chronology and Kastamonu meteorological station places, respectively.

Şekil 1. Araştırma alanı. "KUR", yöre kronolojisini, "Kastamonu", Kastamonu meteoroloji istasyonunun yerini göstermektedir.

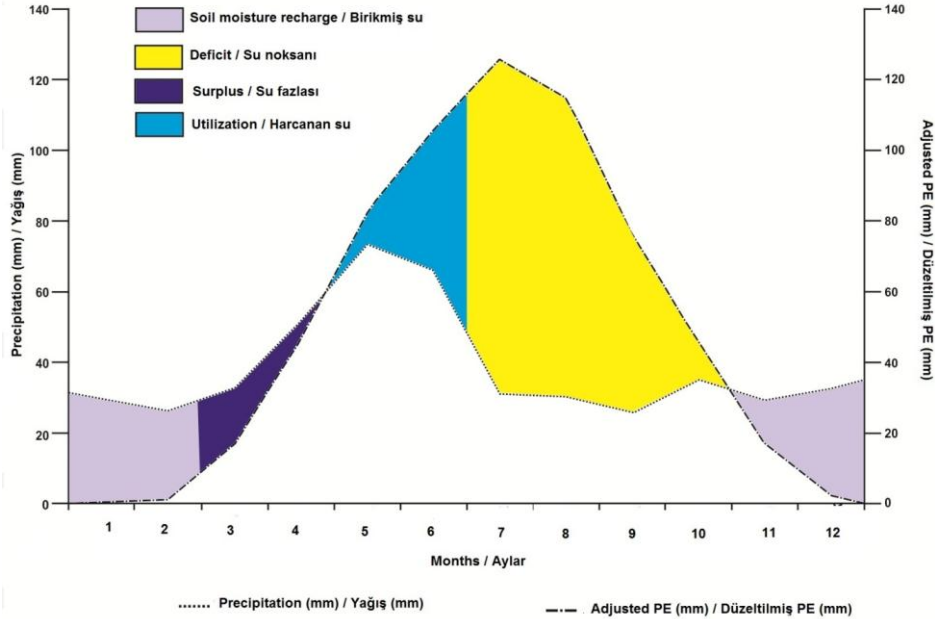


Figure 2. The water budget of Kastamonu meteorological station based on Thornthwaite method.

Şekil 2. Kastamonu meteoroloji istasyonu'nun Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış su bilançosu.

3. Results and Discussion

3.1. Tree-ring chronology

We developed a 120 year-long Uludağ fir chronology (KUR) from Kastamonu-Küre in this research (Table 1). The residual chronology (Figure 3), which keeps strong climatic signal, was used to reveal radial growth-climate relationships. Mean correlations, explained variance by first eigenvector and signal to ratio values, which represent common

ring-width signal between trees, were higher for residual chronology. The mean sensitivity value of the residual chronology was 0.23. Uludağ fir trees in this area can be described to be climatically sensitive. Özkan and Akbulut (2003) calculated mean sensitivity for Caucasian fir from Gümüşhane Örumcek Forest to be 0.13 and stated that the species was too complacent. Akkemik (2000b) found this value to be 0.18 for Cilician fir of Mediterranean region of Turkey.

Table 1. Summary statistics of standard and residual chronologies from the ARSTAN program
Tablo 1. ARSTAN programından elde edilen Standart ve residual kronolojileri ait özet istatistikler

Chronology type / Kronoloji tipi		Standard / Standart	Residual / Residual
Total chronology. Toplam kronoloji (1887-2006)	Mean / Ortalama	0.9377	0.9843
	Median / Medyan	0.9350	0.9955
	Mean sensitivity / Ortalama duyarlılık	0.2212	0.2334
	Standard deviation / Standart sapma	0.2378	0.1989
	Skewness / Çarpıklık katsayısı	-0.0139	-0.2238
	Kurtosis / Basıklık katsayısı	-0.4287	0.5686
	Autocorrelations /Otokorelasyonlar:		
	t-1	0.4484	-0.0034
	t-2	0.0353	-0.0927
	t-3	-0.0598	-0.0434
Common interval Ortak aralık (1935-2006)	Mean correlations / Ortalama korelasyonlar:		
	Among all radii / Tüm kalemler arasında	0.232	0.364
	Between trees / Ağaçlar arasında	0.208	0.348
	Radii versus mean / Ortalama ile kalemler arasında	0.519	0.619
	Signal-to-noise ratio / Sinyal-gürültü oranı	2.101	4.272
	Agreement with population chronology / Populasyon kronolojisi ile uyum	0.678	0.810
	Variance in first eigenvector (%) / Birinci özvektörün varyansı /	30.46	42.00
	Chronology common interval mean / Kronoloji ortak aralık ortalaması	0.970	0.984
	Chronology common interval standard deviation/ Kronoloji ortak aralık standart sapması	0.219	0.198

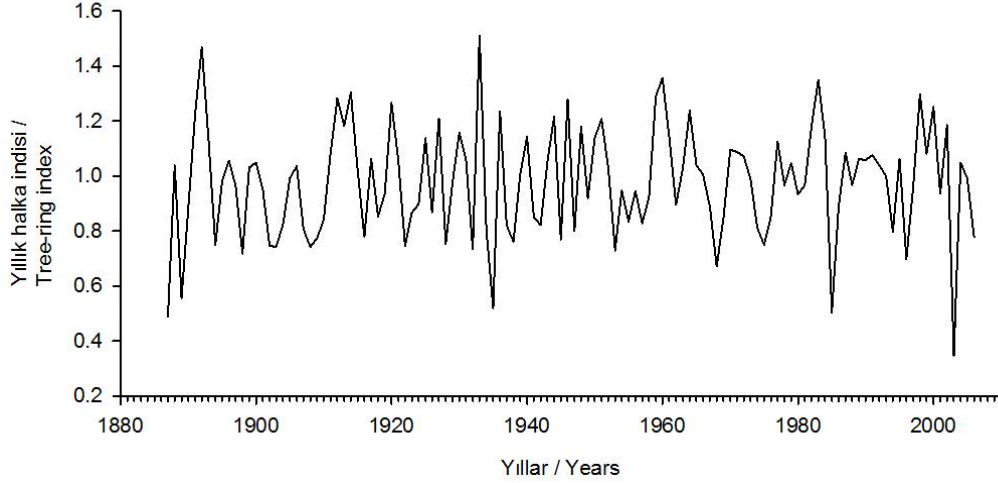


Figure 3. Site chronology (KUR) of Uludağ fir for Kastamonu-Küre.
Şekil 3. Kastamonu-Küre'deki Uludağ göknarı ağaçları yöre kronolojisi (KUR).

3.2. The effect of precipitation and temperature on tree-ring growth

The response function analysis results are shown in Figure 4. The results show that there was no significant response function coefficients associated with temperature. Almost all coefficients, except those in May and June, were very close to zero. Higher temperature values in May and June had a negative effect on tree-ring width.

The most important limiting factor on radial growth of Uludağ fir was precipitation. Our samples were taken from lower elevational areas of Uludağ fir trees. It is well known that when temperature decreases, precipitation increases with altitude. Therefore, we expected that trees growing at lower elevational areas would be under the stress of lower precipitation (Fritts, 1976).

The results of the study show that the effect of precipitation on tree-ring width was generally positive. This positive effect was significant for April and June of current year. Uludağ fir trees need precipitation during the vegetation period in this area. The results of previous dendroclimatological researchers support this finding. These findings revealed that higher precipitation in vegetation period, especially in May and June, result in wider tree-ring width in Anatolia (Touchan et al., 2003, 2005a, 2005b, 2007; Akkemik and Aras, 2005; Akkemik et al., 2005, 2008; Köse et al., 2011).

The most distinctive and significant negative effects of precipitation occurred in February. Higher precipitation caused narrow tree-ring width. In this month, trees are dormant in Turkey. However, climatic conditions during the dormant session affect tree-ring width of the following vegetation period. High snowpack may cause soil temperatures to decrease and delay the beginning of the vegetation period. Also, when evapotranspiration increases due to increased air temperature, soil temperature may drop because of deep snowpack. Therefore, the trees will be affected longer and more intensively by frost drought (Thomsen, 2001).

Our results suggest that the effect of temperature and precipitation should be considered together. In this sense, both lower precipitation in vegetation period (especially in April and June) and higher temperature in May-June may increase drought risk and cause narrow ring formation. According to water budget (Fig 2), soil water is consumed in this period in the study area. Similar results were found by Akkemik and Demir (2003) for the oriental beech trees (*Fagus orientalis* Lipsky.) from lower elevation area (Istanbul) of the species. In their research, they claimed that higher temperatures in May-June cause soil drought, therefore oriental beech trees need high precipitation in these months.

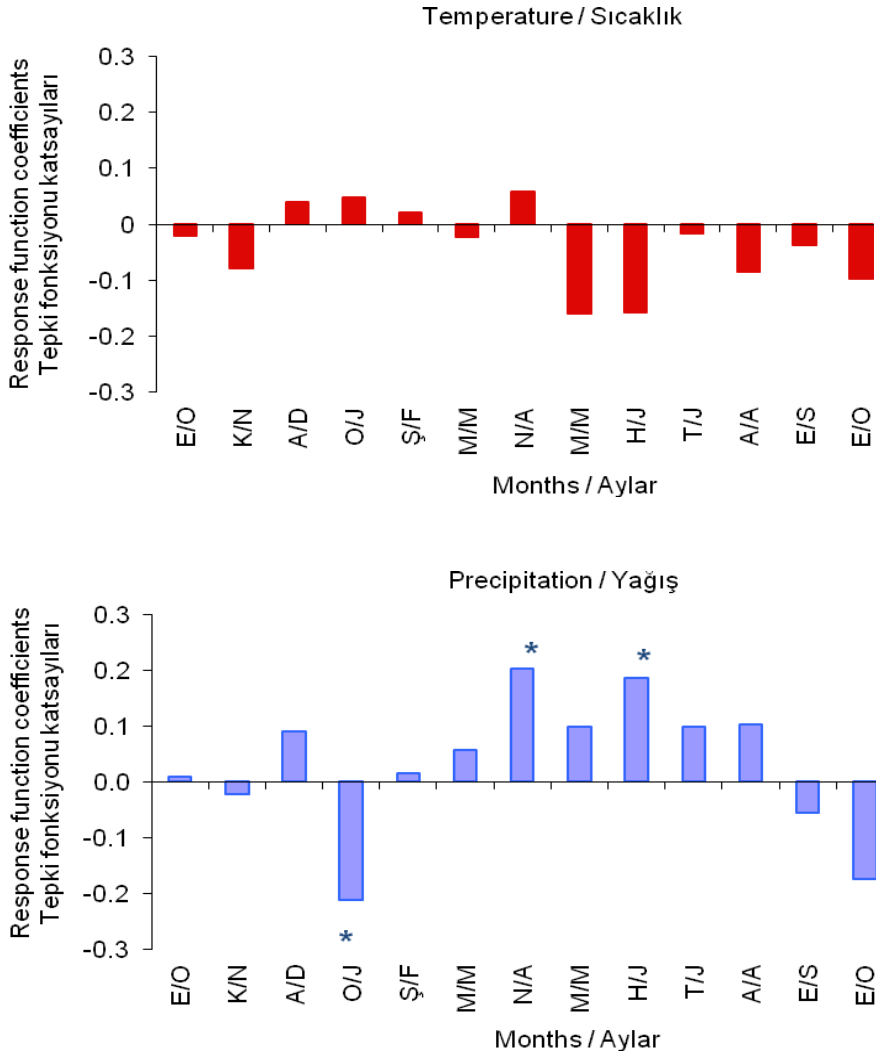


Figure 4. Response function results of Uludağ fir chronology. Months were arranged from previous October (E/O) to current September (E/S). '*' represents statically significant months ($p < 0.05$).

Şekil 4. Uludağ göknarı kronolojisine ait tepki fonksiyonu sonuçları. Aylar önceki yılın ekim ayından (E/O), halka oluşum yılının eylül (E/S) ayına kadar olan dönem için sıralanmıştır. '*' işareti istatistik olarak anlamlı olan ayları ifade etmektedir ($p < 0.05$).

Response function analysis results show that tree-ring growth of Uludağ fir was affected positively by February-August precipitation, whereas it was affected negatively by January precipitation and May-June temperature. To better understand the collective effect of these factors on radial growth, the residual chronology and climatic factors (February-August total precipitation, January precipitation and May-June mean temperature) were drawn together in the period of 1930–2000 (Figure

5). For example, the highest tree-ring index was calculated for the year 1933. In this year, the reason for large tree-ring width formation was low precipitation value (5 mm) in January, besides the higher precipitation during the February-August period. On the contrary, in 1935 and 1985, narrow tree-rings were observed, because of the collective effect of both high precipitation in January and drought stress caused by low precipitation in February-August and high temperature in May-June.

The highest snow depth was measured in January in this area (DMI, 2011). High precipitation, which occurs as snow in January may delay the start of the growing season and cause frost drought (Thomsen, 2001), therefore trees may produce narrow rings.

Although, February-August total precipitation value (296 mm) is very close to the mean, narrow ring widths were observed in 1968. High precipitation in January and high temperatures in May-July lead to narrow ring formation in this year.

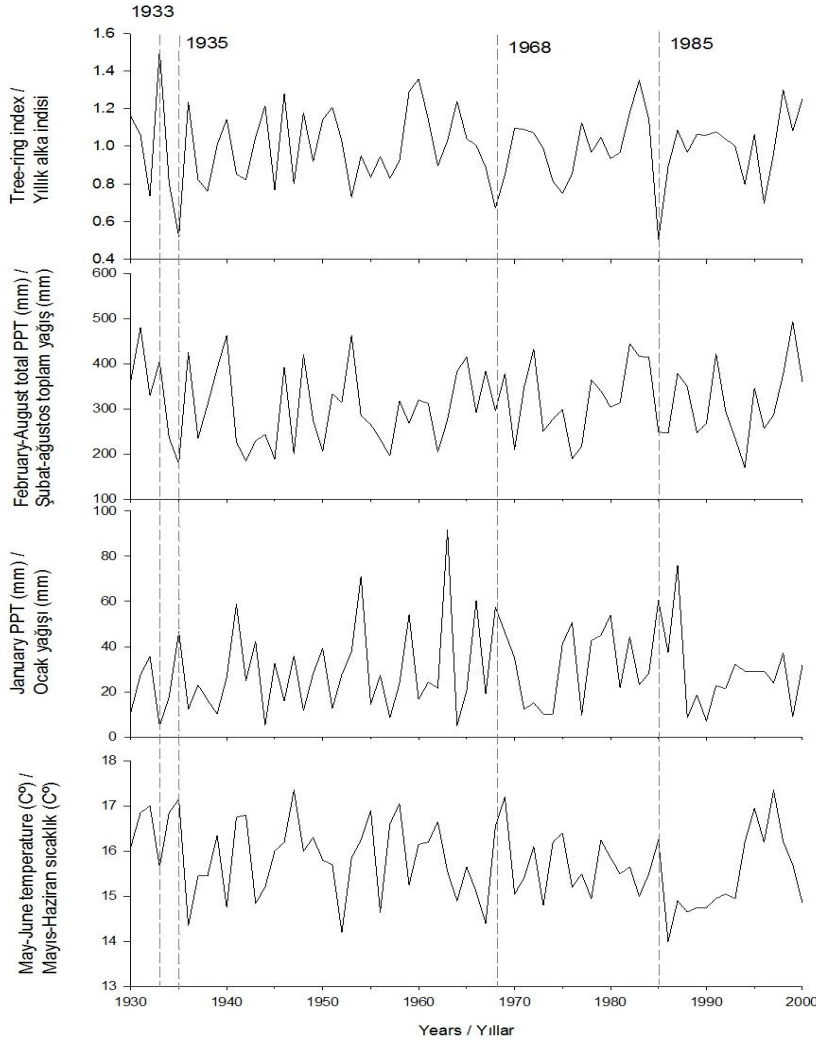


Figure 5. Residual chronology, February-August total precipitation, January precipitation and May-June mean temperature in the period of 1930-2000.

Şekil 5. 1930-2000 döneminde residual kronoloji, şubat-ağustos toplam yağışı, ocak yağışı, mayıs-haziran ortalama sıcaklığı.

In this research, we built a 120 years-long climate sensitive tree-ring chronology for Uludağ fir from Kastamonu-Küre and identified the effect of temperature and precipitation on radial growth. Today, the number of studies on the possible response of the forest to climate change scenarios are increasing. In this sense, these findings will provide useful information for prospective studies related to climate change-forest composition

relationships.

Acknowledgements

We are grateful to Serkan Kara, Grant L. Harley and Mehmet Aydeniz for help on an earlier draft of this manuscript.

İklim Faktörlerinin Küre-Kastamonu'da Doğal Yetişen Uludağ Göknaının (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode&Cullen) Yıllık Halka Gelişimine Etkisi

Nesibe Köse

İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Botaniği Anabilim Dalı

Tel: +90 212 226 11 00, Fax: +90 212 226 11 13

E- posta: nesibe@istanbul.edu.tr

Kısa Özet

Küre - Kastamonu'daki Uludağ göknaının yıllık halka genişliğini etkileyen iklim faktörlerinin değerlendirildiği bu malkalede, yıllık halka gelişimi - iklim ilişkilerini ortaya koymak için, Köse ve ark. (2010) tarafından oluşturulan yıllık halka ölçüm serileri yeniden analiz edilmiş ve Uludağ göknaı için 120 yıl uzunluğunda bir yıllık halka kronolojisi oluşturulmuştur. Dendroklimatolojik analizlerde residual kronoloji tercih edilmiştir. Residual kronolojinin ortalama duyarlılık katsayısı 0,23 olarak hesaplanmış ve bu yöredeki Uludağ göknaıların iklim duyarlı olduğu belirlenmiştir. İklim ile yıllık halka genişliği arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde tepki fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Tepki fonksiyonu analizi sonuçları, ocak ayındaki yüksek sıcaklıklar ile şubat-ağustos dönemindeki düşük yağışlar ve mayıs-haziran aylarındaki yüksek sıcaklıkların yıllık halka gelişimi sınırlandırdığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Dendroklimatoloji, sıcaklık, yağış, tepki fonksiyonu analizi, Uludağ göknaı

1. Giriş

Ağaçların doğal yetişme ortamlarında, yıllık halka genişlikleri içinde buldukları iklim faktörlerinin etkisine bağlı olarak büyük değişkenlikler göstermektedir (Fritts, 1976). Ağaçların yıllık halkalarına dayanarak yaş saptama bilimi olarak tanımlan Dendrokronoloji (Fritts, 1976), yüz yıldan uzun süredir klimatoloji, ekoloji, jeomorfoloji, arkeoloji, sanat tarihi ve ormancılık gibi bir çok bilim dalında çeşitli bilimsel soruları yanıtlamak için kullanılmaktadır. Dendrokronoloji bilim dalı yardımıyla ülkemizde, başta *Pinus nigra* Arn. (Akkemik ve Aras, 2005; Akkemik ve ark., 2008; Köse ve ark., 2011; Touchan ve ark., 2003, 2005a) olmak üzere, önemli orman ağaçlarımızdan *Pinus sylvestris* L. (Akkemik ve ark., 2008; Touchan ve ark., 2005a), *Pinus brutia* Ten. (Touchan ve ark., 2003, 2005a), *Pinus pinea* L.(Akkemik, 2000a),

Cedrus libani A. Rich. (Akkemik, 2003; Touchan ve ark., 2003, 2005a), *Abies cilicica* Carr. (Akkemik, 2000b), *Juniperus excelsa* Bieb. (Touchan ve ark., 2003, 2005a, b, 2007), *Fagus orientalis* Lipsky. (Akkemik ve Demir, 2003) ve *Quercus petraea* (Matt.) Liebl'nın (Akkemik ve Dağdeviren, 2000) çeşitli yetişme ortamlarında yıllık halka gelişimini sınırlandıran iklim faktörleri belirlenmiştir. Buna göre, ülkemiz genelinde özellikle mayıs-haziran dönemi toplam yağışları ile yıllık halka genişliği arasında önemli bir ilişkinin varlığı ortaya konmuştur. Bu ilişkilerin istatistik olarak anlamlı sonuçlar verdiği ve yıllık halka kronolojilerinin yeterli uzunlukta olduğu durumlarda yağış tarihine ilişkin de önemli sonuçlara ulaşılmıştır (D'Arrigo ve Cullen, 2001; Hughes ve ark., 2001; Touchan ve ark., 2003, 2005a, 2005b, 2007; Griggs ve ark., 2007; Akkemik ve Aras, 2005; Akkemik ve ark., 2005, 2008; Köse ve ark., 2005, 2011).

Karaçamın Türkiye'deki doğal yayılış alanlarında radyal büyümesini etkileyen iklim faktörleri yapılan araştırmalarla büyük ölçüde tanımlanmış ve sınıflandırılmış (Köse 2007) olmasına rağmen, bir çok orman ağacıyla ilgili bilğimiz belli yetiştirme ortamlarıyla sınırlıdır. Benzer şekilde, doğal göknar taksonlarımızla ilgili de henüz yeterli düzeyde çalışma bulunmamaktadır. Doğu Karadeniz göknarının endemik bir alt türü olan Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.) Coode&Cullen), genel yayılışını Batı Karadeniz ve Marmara Bölgelerinde yapmaktadır. Düşey yayılışı çoğunlukla 1100-1800 m'ler arasında yer almakla birlikte bazen orman üst sınırına kadar çıkmaktadır (Akkemik ve Oral, 2011). Genel olarak nemli koşullara uyum sağlamıştır (Mayer ve Aksoy, 1998). Saraçoğlu (1989), değişik yaşlı göknar meşcerelerinde bonitet ve yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki ilişkileri ortaya koyduğu çalışmada, göknar ağaçlarının aşırı nemli ve soğuk bakılardan çok, nemli ve daha sıcakça bakıları tercih ettiğini belirtmektedir. Ayrıca, göknar ormanlarının en iyi gelişimini 1000-1500 m yükseklikler arasında yaptığını, bu yükseklik sınıfından uzaklaştıkça bonitet endeksinin düştüğünü ortaya koymuştur.

Akkemik (2000b), Bucak-Katran Dağı, Akseki-İmranas Dağı ve Gazipaşa Karatepe'deki Toros göknarı ağaçlarından bir ana kronoloji oluşturmuş ve bu ağaç türünde iklim-yıllık halka gelişimi arasındaki ilişkileri incelemiştir. Yaz aylarındaki yüksek sıcaklıklar ile bahar ve erken yaz dönemindeki düşük yağışların Toros göknarının yıllık halka genişliğini sınırlandırdığını belirlemiştir. Bu makalede amaç, Küre-Kastamonu'da doğal yetişen Uludağ göknarı ağaçlarının yıllık halka gelişimi ile iklim faktörlerinden sıcaklık ve yağış arasındaki ilişkileri ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma alanının tanımı

Kastamonu, Küre, Topçular Köyü, Kayaarkası Mahallesi mevkiinde (41°54'15"N, 33°39'28"E) yer alan araştırma alanının ortalama yüksekliği 800 m, eğimi %10'dur (Şekil 1). Alandaki asli ağaç türü Uludağ göknarı'dır. Araştırma alanına en yakın meteoroloji istasyonu olan Kastamonu Meteoroloji İstasyonuna göre toplam yıllık yağış (1930-2000 yılları arasında) 464 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 9,7 °C'dir (Köse ve ark., 2010). En

yüksek kar (1975-2010 yılları arasında), 9 Ocak 1987 günü 38,0 cm olarak ölçülmüştür (DMI, 2011). Kastamonu Meteoroloji İstasyonu'nun Thornthwaite yöntemine göre hazırlanan su bilançosu (Çepel, 1995) Şekil 2'de görülmektedir. Buna göre, nisan ayında yağış ve potansiyel evapotranspirasyon değerleri eşitlenmekte, oluşan su fazlası Mayıs-haziran aylarında harcanmakta, Temmuz-ekim döneminde ise toprakta su açığı meydana gelmektedir. Alan genel olarak, bu göknar alttürünün alt yayılış alanını oluşturmakta ve bu alttür için yıllık toplam yağışı oldukça düşüktür.

2.2. Yıllık halka kronolojisinin oluşturulması

Bu çalışmada, Köse ve ark. (2010) tarafından Kastamonu'da yıllık halkalara dayanarak çığ sınırlarının belirlenmesi konusunda yapılan araştırmada ana kronoloji oluşturmak amacıyla alınan örneklerle ait ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Her ağacın karşılıklı iki yönünden olmak üzere toplam 10 ağaçtan 20 artım kalemi alınmıştır. Laboratuara getirilen artım kalemleri ahşap taşıyıcılara yapıştırılmış, yıllık halkaların net bir şekilde görülebilmesi için zımparanmış ve standart dendrokronolojik teknikler kullanılarak eleştirme yapılmıştır (Stokes ve Smiley, 1968). Daha sonra artım kalemleri üzerindeki her bir yıllık halka LINTAB-TSAP yıllık halka ölçüm sistemi kullanılarak 0,01 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Ölçümlerin doğruluğu COFECHA programı (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001) kullanılarak denetlenmiştir.

Yukarıda verilen süreç sonucunda Köse ve ark. 2010 tarafından elde edilen ölçüm değerleri, Uludağ göknarının yıllık halka genişliği üzerinde etkili olan iklim faktörlerini belirlemek amacıyla bu çalışmada yeniden analiz edilmiştir. Her bir yıllık halka genişliği serisi lineer veya negatif üstel bir fonksiyon kullanılarak standardize edilmiştir. Bu işlem, zaman serisi üzerindeki iklimden kaynaklanmayan trendleri (özellikle yaşa bağlı etkiler veya meşcere dinamiğinin ağaç büyümesi üzerindeki etkileri) uzaklaştırmayı sağlamaktadır. Standardize edilen serilere, otoregresif modeller uygulanarak önceki yılların yıllık halka genişliğinin, o yılın yıllık halka genişliği üzerindeki etkisi uzaklaştırılmıştır (Cook, 1985). Daha sonra her bir örneğe ait indis değerlerinden bi-weight robust ortalama yöntemi kullanılarak bir yöre kronolojisi oluşturulmuştur (Cook, 1985; Cook ve ark., 1990 a, 1990b). Yöre kronolojisi KUR olarak kodlanmıştır.

Tüm bu analizler ARSTAN programı kullanılarak (Cook, 1985; Grissino-Mayer ve ark., 1996) yapılmıştır. Programın ürettiği kronolojilerden, "standart kronoloji" sadece standardizasyon işlemi yapılan bireysel serilerin, "residual kronoloji" ise standardizasyon işleminden sonra otoregresif model uygulanan serilerin ortalamasından meydana gelmektedir.

2.3. Yıllık halka genişliği ile iklim arasındaki ilişkilerin belirlenmesi

Yıllık halka genişliği ve iklim arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde tepki fonksiyonu yöntemi (Fritts, 1976) kullanılmıştır. Bu yöntemin üstünlüğü, iklim değişkenleri arasındaki korelasyonun, bu değişkenlerin temel bileşenler olarak ifade edilen ve birbiriyle ilişkisi olmayan yeni bir veri setine dönüştürülmesiyle ortadan kaldırılabilir olmasıdır (Fritts, 1976). Analizlerde iklim verisi olarak Kastamonu Meteoroloji İstasyonuna ait 1930-2000 dönemi aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Tepki fonksiyonun hesaplanmasında biyolojik yıl (Fritts, 1976) esas alınmış, önceki yılın ekim ayından halka oluşum yılının eylül ayına kadar olan dönemdeki aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleri bağımsız değişken, yıllık halka kronolojisi bağımlı değişken olarak girilmiştir. İşlemler DENDROCLIM2002 programında (Biondi ve Waikul, 2004) yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yıllık halka kronolojisi

1887-2006 dönemini kapsayan 120 yıl uzunluğundaki standart ve residual kronolojilere ait istatistik sonuç istatistik sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada, yıllık halka gelişimi-iklim arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde otokorelasyonu ortadan kaldıran ve kuvvetli bir şekilde iklim sinyallerini yakalayan residual kronoloji kullanılmıştır (Şekil 3). Ayrıca ağaçlar arasındaki ortak sinyalin günü ifade eden birinci özvektörün varyansı, sinyal/gürültü oranı ve ortalama korelasyon değerlerinin residual kronolojide daha yüksek olduğu görülmektedir. Residual kronolojide, ağaçların iklime duyarlılığını ifade eden ortalama duyarlılık katsayısı 0,23 olarak hesaplanmıştır. Özkan ve Akbulut (2003)

Gümüşhane Örumcek Ormanlarındaki Doğu Karadeniz göknarı için bu değeri 0,13 olarak hesaplamış ve bu ağaçları duyarsız olarak nitelendirmiştir. Akkemik (2000c), Akdeniz Bölgesindeki Toros göknarı ağaçları için bu katsayıyı 0,18 olarak hesaplamıştır. Bu anlamda, Kastamonu-Küre'deki Uludağ göknarı ağaçlarının iklime duyarlı olduğu söylenebilir.

3.2. Sıcaklık ve yağışın yıllık halka gelişimi üzerindeki etkileri

Aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağışın Kastamonu, Küre'deki Uludağ göknarı ağaçlarının yıllık halka gelişimi üzerindeki etkisini ifade eden tepki fonksiyonu analizi sonuçları Şekil 4'de görülmektedir. Sıcaklığın yıllık halka gelişimi üzerindeki etkisini gösteren tepki fonksiyonu katsayıları anlamlı değildir. Halka oluşum yılının mayıs ve haziran ayları dışında ortalama sıcaklığın etkisi 0'a yakın katsayılarla ifade edilmektedir. Mayıs ve haziran aylarındaki yüksek sıcaklığın yıllık halka genişliği üzerinde negatif bir etkisi görülmektedir.

Tepki fonksiyonu analizi sonuçları, bu yörede yıllık halka genişliğini sınırlayan en önemli iklim faktörünün yağış olduğunu göstermektedir. Araştırma alanı, alttürün doğal yayılış alanının alt sınırında yer almaktadır. Sıcaklığın yükseklikle doğru orantılı olarak düştüğü ve yağışın ise yükseldiği göz önüne alındığında, Fritts (1976)' in de belirttiği gibi düşey yayılış alanlarının üst sınırında yetişen ağaçların düşük sıcaklıkların, alt sınırında yetişen ağaçların ise düşük yağışın stresi altında olması beklenen bir sonuçtur.

Yağışın yıllık halka gelişimi üzerindeki etkisi genel olarak ve özellikle vejetasyon mevsiminde pozitiftir. Bu pozitif etki, halka oluşum yılının nisan ve haziran aylarında anlamlıdır. Bu yörede Uludağ göknarı ağaçları vejetasyon dönemi boyunca yağışa ihtiyaç duymaktadır. Önceki dendroklimatolojik çalışmaların sonuçları bu bulguyu desteklemektedir. Bu araştırmalar, Anadolu'da vejetasyon dönemindeki özellikle mayıs-haziran aylarındaki yağışların ağaçlarda geniş yıllık halka oluşumuna neden olduğunu göstermiştir (Touchan ve ark., 2003, 2005a, 2005b, 2007; Akkemik ve Aras, 2005; Akkemik ve ark., 2005, 2008; Köse ve ark., 2011).

Yağışın yıllık halka gelişimi üzerindeki en belirgin ve anlamlı negatif etkisi ocak ayında görülmektedir. Ocak ayındaki yüksek yağışlar, dar yıllık halka oluşumuna neden olmaktadır. Ülkemizin

iklim koşullarında ocak ayında ağaçlar duraklama döneminde olmasına rağmen, bu dönemdeki iklim koşulları, izleyen vejetasyon dönemindeki yıllık halka gelişimi üzerinde etkili olabilmektedir. Derin kar kalınlığı toprak sıcaklığının düşmesine neden olarak vejetasyon döneminin başlamasını geciktirebilir. Ayrıca yükselen hava sıcaklığına bağlı olarak evapotranspirasyon artarken, kalın bir kar tabakasının toprağın ısınmasını geciktirmesi, kış yağışlarıyla negatif ilişkinin başka bir nedeni olabilir. Bu nedenle, eğer kar toprağın ısınmasını geç bahara ertelerse, ağaçlar soğuktan kaynaklanan fizyolojik kuraklıktan daha yoğun ve daha uzun süre zarar görebilmektedirler (Thomsen, 2001).

Sıcaklık ve yağışın yıllık halka gelişimine etkisi birbirinden bağımsız düşünülemez. Bu anlamda, Uludağ göknarı ağaçlarının vejetasyon dönemindeki (özellikle nisan ve haziran aylarındaki) düşük yağışlar ve mayıs-haziran ayındaki yüksek sıcaklıkların birlikte etkisi kuraklık riskini arttıracığı, dar yıllık halka oluşumuna neden olacağı söylenebilir. Benzer bir sonuç Akkemik ve Demir (2003) tarafından, alt yetişme ortamındaki (İstanbul) doğu kayını ağaçlarında yapılan yıllık halka analizleriyle ortaya konmuştur. Araştırmada, mayıs-haziran aylarındaki yüksek sıcaklıkların toprağın kurummasına neden olduğu için bu aylarda doğu kayının radyal gelişimi için yağışa ihtiyaç duyduğu ifade edilmektedir.

Tepki fonksiyonu sonuçlarına göre, yıllık halka genişliği ile şubat-ağustos dönemindeki yağışların pozitif, ocak ayındaki yağışın ve mayıs-haziran dönemindeki sıcaklıkların ise negatif bir ilişkisi vardır. Bu faktörlerin yıllık halka gelişimine birlikte etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için residual kronoloji ile radyal büyümeyi etkileyen iklim faktörleri (şubat-ağustos toplam yağışı, ocak ayı yağışı, mayıs-haziran ortalama sıcaklık değerleri) 1930-2000 aralığında çizdirilmiştir (Şekil 5). Örneğin, bu dönemdeki en yüksek yıllık halka indisi değeri 1933 yılına aittir. Bu yılda ağaçların geniş yıllık halka oluşturmasının nedeni, şubat-ağustos dönemindeki yüksek yağışların yanında, yörenin ocak ayında oldukça düşük (5 mm) yağış almasıdır. Aynı zamanda bu yılda önceki ve sonraki birkaç yıla kıyasla mayıs-haziran ortalama sıcaklıkları düşük olmuştur. 1935 ve 1985 yıllarında ise, şubat-ağustos dönemindeki düşük yağışlarla birlikte mayıs-haziran dönemindeki yüksek sıcaklığın yarattığı kuraklık stresi ve ocak ayındaki yüksek yağışların birlikte etkisiyle Uludağ göknarı ağaçlarının yıllık halkalarının dar olduğu görülmektedir. Bu bölgede, en yüksek ölçülen kar

kalınlığı Ocak ayında meydana gelmiştir. Ocak ayında daha çok kar şeklinde düşen yağışın vejetasyon dönemini geciktirmesi ya da fizyolojik bir kuraklık yaratması (Thomsen, 2001) nedeniyle ağaçlar dar yıllık halka oluşturacaklardır. 1968 yılının şubat-ağustos döneminde ortalamaya yakın miktarda yağış almasına rağmen (296 mm) ağaçların dar yıllık halka oluşturdukları görülmektedir. Bunun nedeninin mayıs-haziran dönemindeki yüksek sıcaklıklar ve ocak ayındaki yüksek yağış miktarı olduğu söylenebilir.

Bu makalede, Kastamonu, Küre, Kayaarkası mahallesi mevkiinden 1887-2006 dönemini kapsayan 120 yıl uzunluğunda iklime duyarlı bir Uludağ göknarı yıllık halka kronolojisi oluşturulmuş, sıcaklık ve yağış parametrelerinin yıllık halka gelişimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. İklim değişikliğinin ormanlar üzerindeki etkilerinin tartışıldığı bu günlerde, iklim değişikliği senaryolarına göre ormanların vereceği olası tepkiler üzerindeki araştırmaların her geçen gün sayısı artmaktadır. Bu anlamda, makalenin sonuçları söz konusu araştırmalara ışık tutacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmaya yapmış oldukları katkılardan dolayı Serkan Kara, Grant L. Harley ve Mehmet Aydeniz'e teşekkürlerimi sunarım.

References

- Akkemik, U., 2000a.** Dendroclimatology of Umbrella pine (*Pinus pinea* L.) in Istanbul (Turkey). *Tree-Ring Bulletin*. 56: 17–20.
- Akkemik, U., 2000b.** Tree-ring chronology of *Abies cilicica* Carr. in the Western Mediterranean Region of Turkey and its response to climate. *Dendrochronologia*. 18: 73–81.
- Akkemik, Ü. and N. Dağdeviren, 2000.** Dendroclimatological studies on *Quercus petraea* Liebl. in Belgrade Forest (Istanbul). In: Proceedings of International Scientific Conference-75 years university forestry education in Bulgaria. 15-16 June 2000, Sofia-Bulgaria. 169-178.
- Akkemik, Ü., 2003.** Tree-rings of *Cedrus libani* A. Rich the northern boundary of its natural distribution. *IWA Journal*. 24 (1): 63-73.

- Akkemik, Ü. and D. Demir, 2003.** Tree ring analysis on eastern beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) in the Belgrad Forest. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University.* 53 (2): 23-36.
- Akkemik, Ü. and A. Aras, 2005.** Reconstruction (1689–1994) of April–August precipitation in southwestern part of central Turkey. *International Journal of Climatology.* 25: 537–548.
- Akkemik, Ü., N. Dagdeviren and A. Aras, 2005.** A preliminary reconstruction (A.D. 1635–2000) of spring precipitation using oak tree rings in the western Black Sea region of Turkey. *International Journal of Biometeorology.* 49 (5): 297–302.
- Akkemik, Ü., R. D'Arrigo, P. Cherubini, N. Köse and G. Jacoby, 2008.** Tree-ring reconstructions of precipitation and streamflow for north-western Turkey. *International Journal of Climatology.* 28:173–183.
- Akkemik, Ü., D. Oral, 2011.** Abies Mill. Türkiye'nin Doğal Gymnospermleri (Açık Tohumlular) (Ed. F. Yaltırık, Ü. Akkemik). OGM Yayınları. pp.214.
- Biondi, F. and K. Waikul, 2004.** DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences.* 30: 303–311.
- Cook, E., 1985.** A time series analysis approach to tree-ring standardization. PhD. Dissertation. University of Arizona, Tucson.
- Cook, E., K. Briffa, S. Shiyatov and V. Mazepa, 1990a.** Tree-ring standardization and growth-trend estimation. Pages 104–122, In *Methods of Dendrochronology: Applications in The Environmental Sciences*, Cook E, Kairiukstis LA (eds), Kluwer Academic Publishers: Amsterdam.
- Cook, E., S. Shiyatov and V. Mazepa, 1990b.** Estimation of the mean chronology. Pages 123–132, In *Methods of Dendrochronology: Applications in The Environmental Sciences*. Cook E, Kairiukstis LA (eds), Kluwer Academic Publishers: Amsterdam.
- Çepel, N., 1995.** Orman Ekolojisi, İ.Ü.Orman Fak. Yayın no: 3886/433
- D'Arrigo, R. and H. M. Cullen, 2001.** A 350-year (AD 1628–1980) reconstruction of Turkish precipitation. *Dendrochronologi.*, 19(2): 169–177.
- DMI, 2011.** Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü. <http://www.dmi.gov.tr> (Ziyaret tarihi: 03. 09. 2011).
- Fritts, H.C., 1976.** Tree Rings and Climate. Academic Press, New York.
- Griggs C., A. DeGaetano, P. I. Kuniholm and M. Newton, 2007.** A regional high-frequency reconstruction of May–June precipitation in the north Aegean from oak tree rings, A.D. 1809–1989. *International Journal of Climatology.* 27: 1075–1089.
- Grissino-Mayer, H. D., R.L. Holmes and H. C. Fritts, 1996.** The International Tree-Ring Data Bank Program Library Version 2.0 User's Manual, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- Grissino-Mayer, H. D., 2001.** Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research.* 57: 205–221.
- Holmes, R. L., 1983.** Computer-assisted quality control in tree-ring data and measurements. *Tree-Ring Bulletin.* 43: 69–78.
- Hughes, M.K., P. I. Kuniholm, G. M. Garfin, C. Latini and J. Eischeid, 2001.** Aegean tree-ring signature years explained. *Tree-Ring Research.* 57 (1): 67–73.
- Köse, N., Ü. Akkemik and H. N. Dalfes, 2005.** Anadolu'nun iklim tarihinin son 500 yılı: Dendroklimatolojik ilk sonuçlar. Türkiye Kuvaterner Sempozyumu-TURQUA-V, 02–03 Haziran 2005, Bildiriler Kitabı, 136–142.
- Köse, N., 2007.** Batı Anadolu'da iklim değişkenliği ve yıllık halka gelişimi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 180 pp.
- Köse, N., A. Aydın, Ü. Akkemik, H. Yurtseven, T. Güner, 2010.** Using tree-ring signals and numerical model to identify the snow avalanche tracks in Kastamonu, Turkey. *Natural Hazards.* 54:435-449.
- Köse, N., Ü. Akkemik, H. N. Dalfes and M. S. Özeren, 2011.** Tree-ring reconstructions of May–June precipitation of western Anatolia. *Quaternary Research.* 75: 438–450.
- Mayer, H. and H. Aksoy, 1998.** Türkiye Ormanları. Orman Bakanlığı Yayın no:038, Batı Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü

Müdürlüğü Yayınları, No: 2, Abant İzzet
Baysal Üniversitesi Basımevi, Bolu.

- Özkan Z. C. and S. Akbulut, 2003.** Kürtün (Gümüşhane) - Örümcek Ormanlarındaki Doğu Karadeniz Göknaarı (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach. subsp. *nordmanniana*)'nın Dendrokronolojisi. *Kafkas Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 1-2: 8-13.
- Saraçoğlu, Ö., 1989.** Değişik Yaşlı Göknaar Meşcerelerinde Bonitet ve Yetiştirme Ortamı Özellikleri Arasında İkili İlişkiler. *İÜ Orman Fakültesi Dergisi*. 39 (2): 122-138.
- Stokes, M.A. and T. L. Smiley, 1996.** An Introduction to Tree-ring Dating. The University of Arizona Press, Tucson.
- Thomsen G., 2001.** Response to winter precipitation in ring-width chronologies of *Pinus sylvestris* L. from northwestern Siberian Plain, Russia. *Tree-ring Research*. 57(1):15-29.
- Touchan, R., G. M. Garfin, D. M. Meko, G. Funkhouser, N. Erkan, M. K. Hughes and B. S. Wallin, 2003.** Preliminary reconstructions of spring precipitation in southwestern Turkey from tree-ring width. *International Journal of Climatology*. 23: 157-171.
- Touchan, R., E. Xoplaki, G. Funkhouser, J. Luterbacher, M. K. Hughes, N. Erkan, Ü. Akkemik and J. Stephan, 2005a.** Reconstruction of spring / summer precipitation for the Eastern Mediterranean from tree-ring widths and its connection to large-scale atmospheric circulation. *Climate Dynamics*. 25: 75-98.
- Touchan R., G. Funkhouser, M. K. Hughes and N. Erkan, 2005b.** Standardized Precipitation Index reconstructed from Turkish ring widths. *Climatic Change*. 72: 339-353.
- Touchan, R., Ü. Akkemik, M. K. Huges and N. Erkan, 2007.** May-June precipitation reconstruction of southwestern Anatolia, Turkey during the last 900 years from tree-rings. *Quaternary Research*, 68: 196-202.