

DENDROKLİMATOLOJİK ANALİZLERDE TEPKİ FONKSİYONUNUN KULLANIMI

Ar. Gör. Nesibe DAĞDEVİREN¹⁾
Doç. Dr. Ünal AKKEMİK¹⁾
Prof. Dr. H. Nüzhet DALFES²⁾

Kısa Özet

Dendroklimatoloji; yıllık halkalar ile iklim arasındaki ilişkileri inceleyen ve geçmiş dönemdeki sıcaklık ve yağışı tahmin etmeye yarayan bir bilim dalıdır. Özellikle sıcaklık ve yağış ile yıllık halka genişliği arasındaki ilişkileri incelemek üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu makalede amaç, bu yöntemlerden en çok tercih edileni olan tepki fonksiyonunu açıklamak ve ilgililere yöntemin uygulanmasında kolaylık sağlamaktır. Tepki fonksiyonu, ana bileşen analizi ve çoklu doğrusal regresyon modelleri kullanılarak iki aşamada hesaplanmaktadır. Makalede yöntem ayrıntılarıyla açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Tepki fonksiyonu, Dendroklimatoloji, Ana bileşen analizi

THE USAGE OF RESPONSE FUNCTION IN DENDROCLIMATOLOGICAL ANALYSES

Abstract

Dendroclimatology is a science which is used in finding out the relationships between tree-rings and climate and in reconstructing the past climate. Several methods have been developed to investigate the relationships between especially monthly temperatures and precipitation with tree-rings. The aim of this article is to explain the response function, which is preferred much more than other methods, and to help to dendroclimatologists in using the method. Response function is calculated in two stages which are principle component analysis and multiple regression, respectively. In this article, the response function is explained in detail.

Keywords: Response function, Dendroclimatology, Principle component analysis

¹⁾ İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Botaniği Anabilim Dalı

²⁾ İ.T.Ü. Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü

Yayın Komisyonuna Sunulduğu Tarih: 14.11.2003

1. GİRİŞ

Orman ağaçlarının kabuk ve odunları arasında yer alan meristematik hücrelerden oluşmuş kambiyum tabakası, vejetasyon mevsiminin başlamasıyla iç kısma doğru ksilem (odun), dış kısma doğru da floem (soymuk) tabakasını oluşturmaktadır. Ülkemizin de içinde bulunduğu ılıman kuşakta kambiyum tabakası, ilkbaharda faaliyete geçip sonbaharda faaliyetine son verdiğinden, her yıl sınırları belirgin bir halka oluşturmaktadır. Bu halkaların genişliği, başta genetik yapı olmak üzere, iklim faktörlerinden sıcaklık ve yağış, arazinin topoğrafik yapısı, denizden yüksekliği, anakaya ve toprak özeliği, bakı, kapalılık, rüzgar gibi çevre koşullarına ve silvikültürel uygulamalar ile yangın gibi insan kaynaklı faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Yıllık halka genişliğinde bir yıldan diğerine meydana gelen değişimlerin en önemli sebebi sıcaklık ve yağıştır. Ayrıca sıcaklık ve yağış değerlerinin sayısal olarak ifade edilebiliyor olması, yıllık halka genişlikleriyle aralarındaki ilişkinin ortaya konmasını sağlamaktadır.

Benzer iklim koşullarının etkisi altında yetişen ağaçlar, iklimde meydana gelen değişimlere benzer tepkiyi vermektedirler. Buna bağlı olarak ağaçların yıllık halka genişlikleri bir yıldan diğerine aynı yönde seyretmektedir. Yıllık halkaların bu özeliği, Dendrokronoloji bilim dalının temelini oluşturmaktadır.

Dendrokronoloji, yıllık halkalara dayanarak yaş saptama bilimi olarak tanımlanmaktadır. “*Dendron*” odun, “*kronos*” yaş saptama, “*logos*” bilim anlamına gelen kelimelerin birleştirilmesinden elde edilmiştir (FRITTS 1976). Dendrokronoloji bir çok alt dala ayrılmakta ve çeşitli bilim dallarına hizmet etmektedir. “Dendro” ön takısı, bir çok özel bilim dalının başına konarak bu alt dallar adlandırılmaktadır: Günümüz ve geçmişteki iklim koşullarının belirlenmesine hizmet eden “Dendroklimatoloji”, günümüz ve geçmiş dönemlerin iklim haritalarının yapılmasına hizmet eden “Dendroklimatografi”; benzer şekilde, Ekoloji, Hidroloji ve Jeomorfoloji’ye hizmet eden “Dendroekoloji”, “Dendrohidroloji” ve “Dendrojeomorfoloji” gibi alt dallara ayrılmıştır (FRITTS 1976). Bunlara ek olarak KAENNEL/SCHWEINGRUBER (1995), Arkeoloji bilim dalına hizmet eden “Dendroarkeoloji” ve buzul akıntıları ile ilgili çalışmalara hizmet eden “Dendroglasioloji” alt dallarının olduğunu belirtmektedir.

Giderek gelişmekte olan bu alt dallar içerisinde dendroklimatoloji öne çıkmış ve özellikle geçmişe yönelik iklim tarihinin belirlenmesi için önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu tür çalışmalarda, yıllık halka kronolojilerinin oluşturulmasından sonra, ilk aşamayı yıllık halka-iklim değerlerinin karşılaştırması (kalibrasyon) oluşturmaktadır. Kalibrasyon işlemi değişik yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla, doğrudan grafik karşılaştırması, basit korelasyon katsayıları, çok değişkenli doğrusal regresyon denklemleri ve tepki fonksiyonu (Response Function) dur. Günümüzde en yaygın kullanılan tepki fonksiyonudur (GUTIERREZ 1989, TILL/GUJOT 1990, MAKOWKA/ RIEMER/ STICKAN/ WORBES 1992; SHIYATOV/ MAZEP/ FRITTS 1992, TARDIF/ CONCIATORI/ BERGERON 2001. AKKEMİK 2000a ve 2000b. 2003. GARFI 2000, DAĞDEVİREN 2002. YADAV/SINGH 2002). Fakat, BLASING/ SOLOMON/ DUVICK (1984), bu yöntemin çok karmaşık ve zor olduğunu, bununla beraber veya bunun yerine, yaklaşık aynı bilgileri içeren, basit korelasyon katsayılarının kullanılmasını önermektedir. ROLLAND (1993)’te benzer öneriyi getirmektedir. Buna karşılık FRITTS/ WU (1986) yöntemi savunarak, tepki fonksiyonu ve çoklu regresyon yöntemlerinin terk edilmemesi gerektiğini belirtmektedir. Bununla beraber, bir çok araştırmacı basit korelasyon katsayılarını kullanmışlardır (BEDNARZ/ PTAK 1990, KRAUSE 1992, LUHTRE 1992, LINDERSON 1992, D’ARRIGO/ SCHUSTER/ LAWRENCE/ COOK/ WILJANEN/ THETFORD, 2001).

Bu makalede amaç, ülkemizde fazla bilinmeyen tepki fonksiyonu yöntemini ayrıntılarıyla açıklamak ve dendroklimatoloji konusunda çalışanlara, bu yöntemi kullanma konusunda yardımcı olmaktır. Tepki fonksiyonunu anlamak için öncelikle yıllık halka gelişimi ile iklim arasındaki ilişkilerin bilinmesi gereklidir. Çünkü, tepki fonksiyonu sonucunda elde edilen değerlerin yorumlanması ve kullanılabilmesi için, yıllık halka genişliğini etkileyen sıcaklık, yağış, rüzgar gibi çeşitli iklim faktörlerinin hangi ortamlarda ne şekilde etkili olduğu ve etki derecesini değiştiren faktörler nelerdir gibi soruların yanıtları bilinmelidir. Makalede ilk önce bu kısımlar ana hatlarıyla açıklandıktan sonra, tepki fonksiyonunun kullanımı anlatılmıştır.

2. YILLIK HALKALAR VE İKLİM

2.1 Yıllık halkalar ve iklim arasındaki ilişkiler

Yıllık halkalar, ağaçların genetik yapısı ve çevre koşullarının etkisi altında oluşmaktadır. Bazı faktörler, halkaların oluşumu sırasında, yıldan yıla değişkenlik gösterirken (sıcaklık, yağış, rüzgar vb. iklim faktörleri), bazıları da binlerce yıl değişmeden kalabilmektedir (bakı, denizden yükseklik, eğim, anakaya ve toprak vb.). Yıldan yıla değişen faktörler, halkalarda görülen yıllık değişimlere neden olurken, diğerleri ağaçların ortalama yıllık halka genişliğini etkilemektedir.

Yıllık halka genişliği üzerinde etkili olan en önemli faktörler yıldan yıla değişen ve rakamlarla ifade edilebilen iklim değişkenleridir. Bunların etkisi oldukça karmaşık olup, ağaçların tüm fizyolojik faaliyetlerini doğrudan etkilemektedir. FRITTS (1976) tarafından oluşturulan modellerle yıllık halka ve iklim arasındaki ilişkiler basit bir şekilde açıklanmıştır:

I. Model: Yüksek sıcaklık ve düşük yağışın etkisiyle dar yıllık halka oluşumu: Alt yetişme ortamlarında düşük yağışlar genellikle yüksek sıcaklıklarla ve yüksek yağışlar da düşük sıcaklıklarla birlikte ortaya çıkmaktadır; çünkü, yağışlar genellikle güneş radyasyonunu engelleyen yüksek bulutluluk oranıyla doğru orantılıdır. Elbette ki düşük yağış ve yüksek güneş radyasyonu çevresel sıcaklığı artırır ve her iki iklim faktörü, su noksanlığına neden olmaktadır. Düşük yağışlar, su emme miktarının düşmesine neden olan düşük toprak neminin meydana gelmesi sonucunu doğurur. Yüksek sıcaklıklar, hızlı su kaybına neden olur ve ağacın su emme gücünü artırır. Artan su baskısı, meristemlerdeki faaliyetleri sınırlar; hatta, büyüme artırıcı maddelerin oranını daha da azaltır (buna karşılık büyüme engelleyicilerin oranı artar) ve böylece ana gövdedeki kambiyum faaliyetini de azaltır. Artan su baskısı, hücre genişlemesini ve yeni hücrelerin oluşturulmasını doğrudan azaltır ve büyüme mevsiminin uzunluğu su noksanlığının sonucu olarak azalabilir. Uç gelişmesinin azalması, daha az yapraklanmaya, dolayısıyla net fotosentezin azalmasına neden olmaktadır.

II. Model: Yüksek yağış ve düşük sıcaklığın etkisiyle yıllık halka gelişiminin azalması: Üst yetişme ortamlarında düşük sıcaklıklar, yüksek yağışlarla birlikte ortaya çıkmaktadır. Kışın yağan yüksek yağışlar, kar birikmesinde artışa ve yer yüzeyinin fazla miktarda yansımaya ve böylece düşük sıcaklığa neden olmaktadır. Sonbahar, kış ve ilkbahardaki ağır koşullar, en sonunda klorofilin faaliyetten kalmasına ve bitki dokularının donmasına neden olur. Vejetasyon periyodu içerisinde meydana gelen düşük sıcaklıklar aynı zamanda, bitkinin fizyolojik faaliyetlerini de azaltır. Kambiyum hücreleri bölünmeye başladığında, düşük solunum miktarı, büyüme düzenleyicilerinin yoğunluğunun azlığı ve düşük besin maddeleri miktarı ile sınırlanır. Düşük sıcaklıklar ve yüksek kar kalınlığı ilkbaharın başlamasını geciktirebilir ve böylece büyümenin geç kalmasına ve daha yavaş devam etmesine neden olabilir. Yaz mevsiminin sonlarında ve sonbaharda alışılmadık soğuk havalar, büyümenin erken durmasına neden olur. Hem büyüme mevsiminin kısalması hem de düşük sıcaklıklardan dolayı hücre bölünmesinin

azalması, halka genişliğini azaltır. Belirli bir mevsim boyunca düşen yüksek yağışlar, zayıf drenajlı yerlerde toprağı tamamen ıslatır ve böylece toprağın havalanmasını ve kök gelişimini azaltır. Denizden yüksekliğin fazla olduğu yetişme ortamları için daha çok ikinci model geçerlidir

2.2 Yıllık halka-iklim ilişkilerini saptamada kullanılan temel yöntemler

Yıllık halka-iklim değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır (FRITTS 1976):

I. Basit korelasyon katsayıları yöntemi: Basit korelasyon katsayıları hesaplama yöntemi, uygulanması en kolay olan ve çoğunlukla ihtiyaca cevap verecek oranda sonuçlar elde edilebilen bir yöntemdir. Korelasyon katsayıları, yıllık halka genişliği ile aylık iklim verileri arasındaki doğrusal ilişkiyi ortaya koymaktadır. Hesaplanan katsayılar t-testi ile denetlenerek, iklim ile yıllık halka arasındaki ilişkilerin anlamlı olduğu aylar ortaya konur.

II. Çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemi: Çok değişkenli doğrusal regresyon yönteminde, yıllık halka genişliği bağımlı değişken, aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleri (toplam 24 değişken) bağımsız değişken olarak işlem yapılmakta ve işlem sonunda bir "Bağımlılık katsayısı (R^2)" ve her bir aya ait regresyon katsayısı bulunmaktadır. Bu katsayıların 0.95 güven düzeyindeki güven sınırları ile grafikleri çizilir. Bağımlılık katsayısı, halka genişliği üzerinde, işleme katılan bağımsız değişkenlerin % olarak ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Bağımlılık katsayısı olarak bulunan değerlerden düzeltilmiş olanlarının kullanılması daha doğrudur. Çünkü, halka genişliğini etkileyen faktörlerden etki oranları sıfıra çok yakın olanların sayısının fazla olması, düzeltilmiş R^2 değerini düşürmektedir. Yani, halka genişliği üzerinde önemli oranda etkili olan faktörlerin sayısı fazla ise düzeltilmiş R^2 değeri yüksek olmaktadır.

III. Aşamalı çok değişkenli regresyon yöntemi: Halka genişliğini etkileyen aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerlerinden bazıları, halka gelişimi üzerinde çok önemli etkilere sahip iken, bazıları daha az öneme sahiptir. Bu yöntemde halka gelişimi için öneme sahip olan aylar, önem sırasına göre seçilmektedir. Regresyon işlemlerinde verilerin işleme dahil edilip edilmemesine karar vermek için F değeri esas alınmaktadır. Çoğunlukla $F > 1$ olarak işlem yapılmakta ve F değeri 1'den düşük olan aylar elenmektedir. Ayrıca R^2 değeri de bir seçici olarak kullanılabilir. R^2 değerinin (özellikle düzeltilmiş R^2) en yüksek olduğu aşamada regresyon işlemi sonuçlandırılır. Bu işlemler standart bilgisayar programları kullanılarak, yapılmaktadır.

IV. Tepki fonksiyonu yöntemi: Bu makalede tepki fonksiyonu yöntemini açıklamak amaçlandığından, yöntemin ayrıntıları aşağıda ana başlık içerisinde verilmiştir.

3. TEPKİ FONKSİYONU YÖNTEMİ

Tepki fonksiyonu yöntemi, Kazdağları yöresi *Abies equi-trojani* Ascers. et Sint. (üst yükselti için oluşturulan) yöre kronolojisi örneği kullanılarak açıklanmıştır. İklim veri kümesi, Kazdağları civarındaki Çanakkale, Bayramiç, Edremit Meteoroloji İstasyonlarına ait değerlerin ortalaması alınarak oluşturulmuştur (DAĞDEVİREN 2002). Tepki fonksiyonu katsayıları MATLAB programında yazılan bir programla hesaplanmıştır.

Dendroklimatolojik analizlerde en çok kullanılan ve en etkili yöntem, tepki fonksiyonu yöntemidir. Değişkenler arasındaki korelasyondan kaynaklanan problemler, bağımsız değişkenlerin, öz vektörler veya ana bileşenler olarak ifade edilen, ortogonal (birbirine dik) ve birbirleriyle ilişkisi olmayan yeni bir veri kümesine dönüştürülmesiyle ortadan kaldırılabilir. Tepki fonksiyonu yöntemiyle iklim değişkenleri ve yıllık halka genişlikleri arasındaki ilişkinin

saptanması iki aşamada gerçekleşmektedir. Öncelikle, iklim değişkenlerinin ana bileşenleri belirlenmekte, daha sonra bu ana bileşenler kullanılarak tepki fonksiyonu katsayıları hesaplanmaktadır (FRITTS 1976).

3.1 Ana bileşen analizi

Öz vektörler olarak da ifade edilen ana bileşenler, bir veri kümesinden elde edilen, ortogonal (birbirlerine dik, birbiriyle ilişkisi olmayan) bir dizi değişkendir. Dendrokronolojik çalışmalarda ana bileşenler, iklim veri kümesinden veya yıllık halka veri kümesinden elde edilebilmektedir. Tepki fonksiyonu yardımıyla yıllık halkalar ve iklim arasındaki ilişki saptanırken iklim verileri bağımsız değişkenler olarak ele alınmakta, bu nedenle iklim verilerinin ana bileşenleri hesaplanmaktadır. Öz vektörler, orijinal iklim verilerini temsil etmekte ve orijinal veri kümesiyle aynı bilgiyi içermektedir. En önemli öz vektörler, ana bileşenler olarak ifade edilmekte ve veri varyansının (değişkenliğinin) büyük bir kısmı için hesaplanmaktadır. Önemsiz öz vektörler ise orijinal verideki düşük varyansları açıklamaktadır (FRITTS 1976).

Kazdağları yöresi için oluşturulan veri kümesinde, iklim verileri 1950-2000 periyodunda kaydedilen aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değerleridir. Değişkenler, 1951'den 2000'e kadar, her bir büyüme dönemi için (önceki yılın ekim ayından halka oluşum yılının eylül ayına kadar olan dönem) birbirini takip eden 12 ay yağış, 12 ay sıcaklık değişkenlerini içeren toplam 24 değişken sırası üzerinde düzenlenmiştir. Sıcaklık ve yağış değerlerinin bu şekilde sıralanmasıyla $Y_{m \times n}$ iklim veri matrisi oluşturulmuştur. $Y_{m \times n}$ matrisinde değişkenler $z_t = (x_t - m_x) / s_x$ formülüyle normalize edilerek kullanılmaktadırlar (z_t iklim değişkeninin t yılındaki normalize edilmiş değerini, x_t değişkenin t yılındaki değerini, m_x ortalamayı, s_x standart sapmayı ifade etmektedir.). "n" gözlem yıllarını, "m" gözlemlerden elde edilen iklim değişkenlerini ifade etmektedir. Örnek veri matrisinde, $m=24$ iklim değişkeni ve $n=50$ yıldır. Buna göre Y matrisi 24 satır ve 50 sütun oluşmaktadır. İlk değişken bir önceki yılın ekim ayına ait aylık toplam yağış, 12. değişken halka oluşum yılının eylül ayına ait aylık toplam yağış, 13. değişken bir önceki yılın ekim ayına ait aylık ortalama sıcaklık ve 24. değişken halka oluşum yılının eylül ayına ait aylık ortama sıcaklık değerleridir (Tablo 1).

Böyle bir veri kümesinden öz vektörleri elde etmede ilk adım, her bir değişkenin bütün diğer değişkenlerle olan korelasyon katsayılarını hesaplamaktır. 'm' sayıda değişkene ait korelasyon katsayıları kümesi, $m \times m$ 'lik bir C matrisi olarak tanımlanabilmektedir. C matrisi, köşegen simetrik bir matristir. C matrisinin 1. satır 1. sütundaki elemanı, değişken 1'in kendisiyle otokorelasyonunu; 1. satırın 2. elemanı, değişken 1 ve 2 arasındaki korelasyon katsayısını; i. satır ve j. sütundaki elemanı da i. ve j. değişkenler arasındaki korelasyon katsayısını vermektedir (FRITTS 1976). Buna göre, Kazdağları yöresi iklim veri kümesinden ($Y_{24 \times 50}$) 24×24 boyutunda bir korelasyon matrisi ($C_{24 \times 24}$), elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1: Kazdağları Yöresi İçin Oluşturulan Normalize Edilmiş İklim Veri Matrisi $Y_{24 \times 50}$ *

	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	.....	1999	2000
E	0.6974	0.3042	1.7772	2.6745	0.1048	1.3844	-0.2940	-0.9044	.....	-0.1671	-0.9391
K	-0.0322	0.0508	3.0290	-1.2721	0.9498	3.0829	1.0431	-0.0978	.....	-0.0144	-0.6583
A	1.0642	-0.7093	-0.7253	-1.3018	1.3132	-0.5890	-0.7870	-0.7383	.....	-1.0341	-0.6355
O	1.3654	0.9574	0.9659	0.7713	1.2553	0.9744	-0.4894	0.4290	.....	-1.0578	-1.3566
Ş	0.2137	1.5629	1.2611	0.5802	1.0239	1.1760	-0.9914	-1.1707	.....	0.3062	-0.3968
M	1.3754	0.9405	-0.8861	0.9115	-0.2540	1.0202	-0.0163	2.6206	.....	0.1424	-0.6070
N	-1.0648	-1.7485	-0.9047	-0.1261	2.1366	-0.7901	0.5557	0.7276	.....	-1.0747	-0.6043
M	0.7981	-0.0204	0.9741	0.2977	-1.2078	-0.0691	1.1564	-0.7477	.....	-1.3626	-0.9640
H	-0.6816	-0.6989	0.5588	-0.7138	-0.5281	-0.9515	-0.0379	-0.7856	.....	-0.4848	-0.8215
T	-0.0673	-0.6697	-0.0314	-0.6538	0.8424	-0.0314	2.2947	-0.7495	.....	-0.3106	-0.7495
A	1.3306	-0.6562	-0.0464	-0.0464	2.9719	-0.0464	-0.6562	-0.2497	.....	-0.5266	-0.5038
E	-0.1136	-0.3223	-0.4793	-0.5068	-0.5020	-0.5359	0.8136	0.5110	.....	-0.6581	-0.6621
E	-0.6112	-1.5515	0.6426	0.1410	0.1410	1.3321	-0.8620	1.2067	.....	0.9560	1.2694
K	-0.2647	0.3867	1.2750	-1.9821	0.0906	-0.3832	-0.2647	-0.1463	.....	0.7420	0.6236
A	1.8309	-0.7510	1.6201	-2.2264	-0.0660	0.4609	-0.8564	-0.5402	.....	-0.6456	1.5938
O	1.2358	0.9305	0.5642	-2.3055	2.0296	0.8084	-0.7791	0.0757	.....	1.0221	-1.1454
Ş	0.7912	0.3030	0.5959	-2.1379	2.5975	-1.2592	0.5471	1.3282	.....	0.3274	0.2542
M	1.6615	-0.7483	-2.5738	-0.4562	0.4201	-2.7198	-1.3324	-0.0180	.....	1.0408	0.1280
N	0.6369	0.0541	-0.6015	-1.6213	-1.8398	-0.6015	-1.0385	-0.5286	.....	1.2925	1.9117
M	0.8387	-1.1432	-1.4134	-1.0531	-0.5126	-1.1432	-1.5936	1.0189	.....	1.3792	1.1089
H	-0.8215	-1.6851	-0.3897	1.6614	-1.3613	-1.3613	-0.3897	-1.3613	.....	2.1471	1.2296
T	-0.4631	-0.8820	0.1651	0.8981	-0.1490	-0.6726	-1.1961	-0.4631	.....	2.6258	2.1023
A	0.3142	0.9482	-0.0480	0.3142	-1.1347	0.0426	0.4048	-0.7725	.....	1.8537	1.2651
E	0.1980	1.6285	-0.6435	0.7029	-0.0544	-0.8118	0.1980	-1.7374	.....	1.4182	0.7450

* İlk 12 satır yağış, son 12 satır sıcaklık değerlerini içermektedir.

** E, K, A, O, Ş, M, N, M, H, T, A. E harfleri sırasıyla Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarını ifade etmektedir.

$C_{n \times n}$ Matrisi şu şekilde hesaplanmaktadır (FRITTS 1976):

$$C_{n \times n} = (1/n) * Y_{n \times n} * Y'_{n \times n}$$

Daha sonra $C_{n \times n}$ korelasyon matrisi'den $E_{n \times n}$ öz vektörler matrisi elde edilmektedir. Korelasyon matrisi ve öz vektörler matrisi arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilmektedir (FRITTS 1976):

$$C_{n \times n} * E_{n \times n} = E_{n \times n} * L_{n \times n}$$

$L_{n \times n}$ matrisi, diagonal elemanları büyükten küçüğe doğru sıralanmış öz değerlerden, diagonal olmayan elemanları ise 0'dan oluşan diagonal simetrik bir matristir. Diagonal üzerindeki bu skalarlar her bir öz vektörün önemini temsil etmektedir. Bu tip diagonal matrisler, bir skalar kümesini başka bir matrisle çarpmakta gerekli olan teknik yapılardır. Öz değer matrisinin her bir diagonal elemanı, öz vektörlerden biri tarafından varyansa orantılı olarak azaltılmaktadır. Belirli bir öz değere karşılık gelen öz vektör tarafından azaltılan varyansın yüzdesi, bu öz değer tüm öz değerlerin toplamına bölünmesi ve 100'le çarpılmasıyla elde edilmektedir (FRITTS 1976). $E_{n \times n}$ matrisinin her bir sütunu, m elemandan oluşan bir öz vektöre karşılık gelir. Değişken sayısı kadar (m) öz vektör elde edilir. Tablo 3'de örnek korelasyon matrisinden elde edilen 24 öz vektöre karşılık gelen öz değerler önem derecesine göre sıralanmıştır. Öz vektörlerin veri kümesini ifade etme yetenekleri yüzde oranı olarak gösterilmiştir.

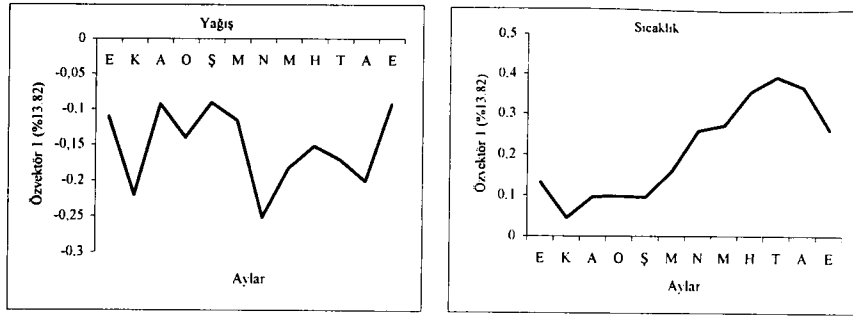
Örnek veri matrisin 1. öz vektörüne ait grafik Şekil 1'de yer almaktadır. Bu öz vektör, birinci öz vektör olduğundan en önemli yüzdeyle temsil edilmektedir (%13.82). Bir başka ifadeyle, orijinal 24 iklim değişkeninin davranışlarını en yüksek oranda yansıtmakta ve orijinal veri kümesinde $Y_{n \times n}$ matrisinin toplam varyansının %13.82'sini indirgemektedir. Şekil 1'de gösterilen öz vektörün her bir elemanı, orijinal iklim veri kümesindeki 24 değişkenin birine karşılık gelmektedir. 12 sıcaklık değişkenin elemanlarının büyüklüğü şeklin üstünde, 12 yağış değişkenin elemanlarının büyüklüğü onun hemen altında yer almaktadır.

Tablo 2: Kazdağları Yöresi İklim Veri Kümesinden (Y_{24x50}) Elde Edilen C_{24x24} Korelasyon Matrisi

1.0000	0.0991	-0.0792	0.1911	0.2612	0.0420	-0.0693	-0.0449	.....
0.0991	1.0000	0.0365	0.1803	0.0425	0.0301	0.0279	0.1391	.....
-0.0792	0.0365	1.0000	0.1129	0.1187	-0.1270	0.1599	0.3121	.....
0.1911	0.1803	0.1129	1.0000	0.2443	0.2687	0.0702	0.0497	.....
0.2612	0.0425	0.1187	0.2443	1.0000	0.1618	0.2286	0.0142	.....
0.0420	0.0301	-0.1270	0.2687	0.1618	1.0000	-0.0065	-0.1964	.....
-0.0693	0.0279	0.1599	0.0702	0.2286	-0.0065	1.0000	-0.0316	.....
-0.0449	0.1391	0.3121	0.0497	0.0142	-0.1964	-0.0316	1.0000	.....
0.0938	0.0656	-0.0860	0.0662	-0.2078	0.0815	0.0859	-0.0021	.....
-0.0223	0.1504	0.0227	-0.2632	-0.1294	-0.0676	0.1497	0.3024	.....
-0.0643	0.3112	0.1738	0.1531	-0.0701	0.1703	0.0954	-0.1654	.....
-0.0568	-0.1107	0.1425	0.0860	-0.1055	0.1409	-0.1473	0.0640	.....
0.0246	0.1288	0.2052	0.0507	-0.0957	-0.1416	-0.1538	0.1568	.....
-0.0664	0.0002	0.3329	0.2165	0.1868	-0.0820	0.0850	0.1308	.....
-0.2312	0.0395	0.3981	0.1835	0.0464	-0.2457	-0.0693	0.2219	.....
-0.2002	0.0916	0.0574	0.2882	0.1840	0.1447	0.0051	-0.2134	.....
-0.0399	-0.0383	0.0882	0.2124	0.1393	0.1563	0.0778	-0.2589	.....
-0.3738	-0.2083	0.1675	-0.0956	-0.1688	0.0272	-0.0291	0.0097	.....
-0.2563	0.0667	-0.0036	-0.1541	-0.2101	-0.1932	-0.4303	-0.0314	.....
-0.2848	-0.3437	-0.2669	-0.0366	-0.1077	0.1131	-0.1333	-0.5164	.....
-0.0371	-0.3724	-0.1201	-0.1747	-0.0321	-0.2400	-0.2129	-0.0116	.....
0.0746	-0.2528	-0.0979	-0.1597	-0.0463	-0.1195	-0.2716	-0.3552	.....
0.0053	-0.0453	-0.0786	-0.1626	-0.1953	-0.0401	-0.3986	-0.1335	.....
0.0372	-0.0497	-0.0212	-0.0088	0.2055	-0.1084	-0.0294	-0.1272	.....

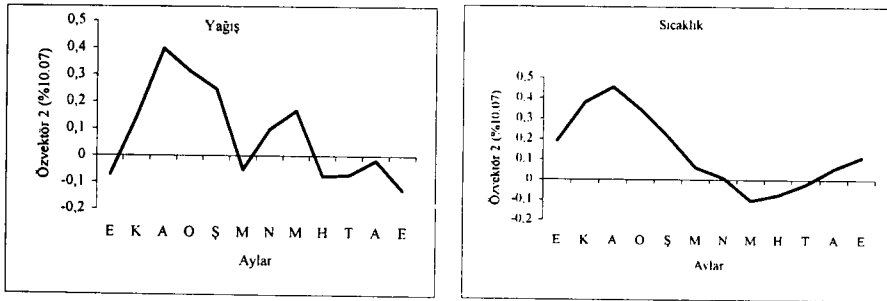
Tablo 3: Öz Değerlere Karşılık Gelen Öz Vektörler ve Bu Öz Vektörler Tarafından Azaltılan Varyans Yüzdeleri

Öz Vektörler	Öz Değerler	Azaltılan Varyansın	Toplam
		Yüzdesi	Varyans
1.	3,3160	13,8166	13,8166
2.	2,4167	10,0695	23,8861
3.	2,3645	9,8520	33,7381
4.	2,2238	9,2658	43,0039
5.	1,6876	7,0316	50,0355
6.	1,5089	6,2871	56,3226
7.	1,4040	5,8500	62,1726
8.	1,1670	4,8625	67,0351
9.	1,0206	4,2525	71,2876
10.	0,9784	4,0766	75,3642
11.	0,8632	3,5967	78,9609
12.	0,7796	3,2483	82,2092
13.	0,6806	2,8358	85,045
14.	0,6502	2,7092	87,7542
15.	0,5788	2,4117	90,1659
16.	0,5105	2,1271	92,293
17.	0,4079	1,6996	93,9926
18.	0,3439	1,4329	95,4255
19.	0,3130	1,3042	96,7297
20.	0,1867	0,7779	97,5076
21.	0,1749	0,7287	98,2363
22.	0,1641	0,6837	98,92
23.	0,1327	0,5529	99,4729
24.	0,1265	0,5271	100,0000
Toplam	24,0001	100,0000	



Şekil 1: Kazdağları iklim verilerine ait 1. ve en önemli öz vektör. Üstte yağışı temsil eden öz vektör elemanları, altta sıcaklığı temsil eden öz vektör elemanları.

Örnek veri matrisinin 2. ana bileşenine ait grafik Şekil 2'de yer almaktadır. Bu ana bileşen ikinci öz vektör olduğundan, veri kümesini birinci öz vektöre göre daha az bir yüzdeyle temsil eder. Orijinal veri kümesinde $Y_{m \times n}$ matrisinin toplam varyansının %10.07'sini indirger. 12 sıcaklık değişkeninin elemanlarının büyüklüğü şeklin üstünde, 12 yağış değişkeninin elemanlarının büyüklüğü onun hemen altında yer almaktadır.



Şekil 2: Kazdağları iklim verilerine ait 2. öz vektör. Üstte yağışı temsil eden öz vektör elemanları, altta sıcaklığı temsil eden öz vektör elemanları.

Öz vektörler matrisi $E_{m \times m}$ 'de öz vektörler, en önemli olandan en az önemli olana göre sıralanmıştır. Örnekteki 3. öz vektör de 2. öz vektörden daha az bir yüzdeyle orijinal veri kümesini temsil etmektedir. m sayıda öz vektörden veri kümesini %90-95 oranında temsil edecek şekilde önemli öz vektörler seçilir ve önemsiz olanlar matrisin dışında bırakılır. Elde edilen yeni matris $m \times p$ boyutundadır. Örneğimizde veri kümesini %90,17 oranında ifade eden ilk 15 öz vektör seçilmiş ve son 9 öz vektör matris dışında bırakılmıştır. Bu şekilde bir ana bileşen matrisi ($E_{24 \times 15}$) oluşturulmuştur (Tablo 4).

$E_{m \times p}$ matrisi bu şekilde oluşturulduktan sonra Faktör Skor (Amplitüt) matrisinin elde edilir (FRITTS 1976, REYMENT ve JÖRESKOG 1993) :

$$Y'_{n \times m} = F_{n \times k} * A'_{k \times m}$$

şeklinde yazılabilir. Burada F faktör skor, A faktör loading matrisidir. Kare olmayan bir matris öz vektörler ve öz değerler cinsinden şu şekilde ifade edilir:

$$Y'_{n \times m} = V_{n \times m} * \Gamma_{n \times m} * E'_{m \times m}$$

$E_{m \times m} = Y_{m \times n} * Y'_{n \times m}$ un (C matrisinin) öz vektörler matrisi

$V_{n \times m} = Y'_{n \times m} * Y_{m \times n}$ nin öz vektörler matrisi

$\Gamma_{m \times m} = Y * Y'$ ve $Y' * Y$ matrislerinin ortak öz değerleri

$$F_{n \times k} * A'_{k \times m} = V_{n \times m} * \Gamma_{n \times m} * E'_{m \times m} \quad (k=m \text{ olmaktadır.})$$

Bu analizde iki farklı çözüm ortaya çıkmaktadır:

$$1) F_{n \times m} = V_{n \times m} \text{ ve } A_{m \times m} = E'_{m \times m} * \Gamma_{m \times m}$$

$$2) A'_{m \times m} = E'_{m \times m} \text{ bu durumda}$$

$$Y'_{n \times m} = F_{n \times m} * A'_{m \times m} \text{ ise } Y'_{n \times m} = F_{n \times m} * E'_{m \times m}$$

$$F_{n \times m} = Y'_{n \times m} * E_{m \times m}$$

F , Y' 'nin faktör skore matrisidir. Y' 'nin Faktör skor matrisi ise $X_{m \times n} = E'_{m \times m} * Y_{m \times n}$ şeklinde ifade edilir.

Amplitüt matrisi (Faktör skor matrisi) oluşturulurken veri kümesini %90-95 oranında ifade eden $E_{m \times p}$ matrisi kullanılır (FRITTS 1976). Bu durumda amplitüt matrisi

$$X_{p \times n} = E'_{p \times m} * Y_{m \times n}$$

şeklinde ifade edilir. Amplitüt matrisi, her bir yıla ait verilerin belirli bir öz vektöre karşılık geldiğini iyi bir şekilde ifade eden bir zaman serisidir. Bu matris gerçek iklim veri matrisiyle aynı bilgileri içermektedir. Amplitüt matrisinin ilk sırası 1. öz vektöre karşılık gelmektedir. Herhangi bir yıl için amplitütler büyük ve pozitifse iklim verisi pozitif durumlu öz vektörle temsil edilir; eğer büyük fakat negatifse negatif veya ters durumlu öz vektörle temsil edilir, amplitüt sıfır ise o öz vektör ve iklim verisi arasında bu yıl için bir ilişki yoktur. Genellikle belirli bir yılın iklim rejimini karakterize etmede birkaç amplitüt gereklidir. Bunlar içindeki bir veya iki tanesi en önemlileri olabilir (FRITTS 1976). Örneğimizde amplitüt matrisi $X_{15 \times 50}$ boyutunda bir matristir (Tablo 5).

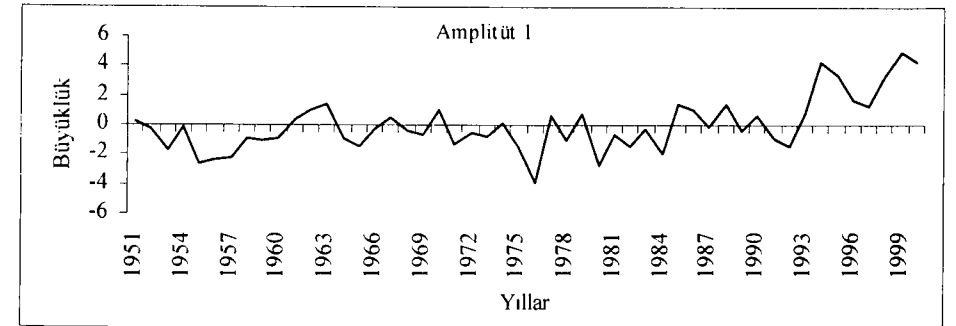
Tablo 4: İklim Veri Kümesinin %90.17'sini İfade Eden 15 Öz Vektörden Oluşan Ana Bileşen Matrisi ($E_{34 \times 15}$)

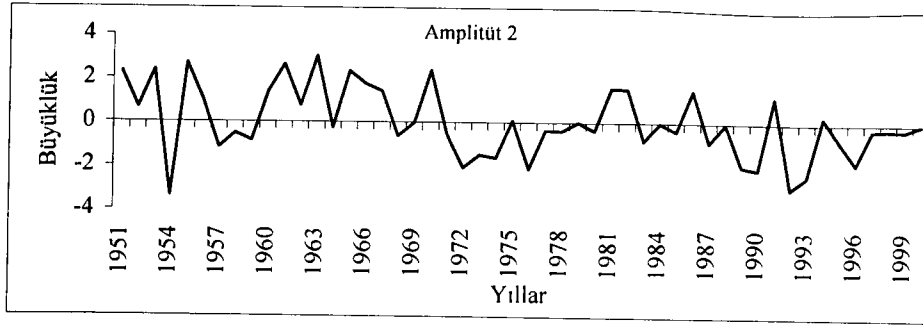
-0.1105	-0.0708	-0.0551	-0.3875	0.0763	-0.3629	0.0771	0.1947	.....	0.3147	0.3371	0.1450
-0.2203	0.1461	-0.0486	0.0122	0.3793	-0.0975	0.3942	0.0355	.....	-0.0653	-0.4593	0.0601
-0.0927	0.3967	-0.1144	0.1844	-0.2205	-0.0278	0.0860	0.0821	.....	-0.3618	0.3131	-0.1601
-0.1399	0.3131	0.2349	-0.1222	0.0526	-0.2985	-0.0337	-0.1570	.....	0.4472	-0.1678	-0.3912
-0.0911	0.2463	0.1176	-0.3545	-0.1607	0.0232	0.0426	0.0742	.....	-0.0526	0.0070	0.3457
-0.1160	-0.0513	0.3591	-0.0805	0.1068	-0.0902	-0.0778	0.0090	.....	-0.4312	0.0447	0.1200
-0.2517	0.0987	0.0724	-0.1162	-0.1801	0.4512	-0.1612	-0.0651	.....	0.0034	-0.1985	-0.2809
-0.1834	0.1684	-0.4282	0.1275	-0.1183	-0.0653	0.0390	0.0867	.....	0.1716	0.0010	0.0736
-0.1518	-0.0755	0.0001	0.1463	0.4278	-0.0592	-0.4684	-0.0058	.....	0.2077	0.1561	-0.0230
-0.1703	-0.0713	-0.1776	0.1746	-0.0045	0.2815	0.0859	0.3786	.....	0.2341	0.3056	0.0168
-0.2008	-0.0167	0.3213	0.2643	0.0200	-0.0084	0.4396	0.0509	.....	0.0314	0.0776	-0.0537
-0.0934	-0.1266	0.1580	0.3035	-0.3469	-0.4084	0.0266	0.1340	.....	-0.0276	0.0985	-0.2849
0.1316	0.1915	-0.2467	0.0288	-0.0039	-0.1713	0.1493	-0.4921	.....	-0.0191	0.0047	0.1485
0.0447	0.3802	-0.0734	0.0598	-0.0595	-0.1250	-0.3911	0.2956	.....	-0.0917	-0.3158	-0.0973
0.0966	0.4552	-0.0531	0.1718	-0.0178	-0.0823	-0.0631	-0.1967	.....	0.0209	0.2695	0.1689
0.0972	0.3466	0.2705	-0.0436	0.2414	0.1964	-0.0619	0.0323	.....	0.1263	0.2253	0.0929
0.0955	0.2134	0.3855	-0.0093	-0.1453	0.0626	0.1178	0.3359	.....	0.1567	-0.0621	0.1299
0.1590	0.0604	0.0558	0.3499	-0.0114	0.3040	-0.0200	0.0112	.....	0.2404	-0.1414	0.2744
0.2564	0.0088	-0.0143	0.3775	0.2493	-0.1081	0.1870	0.0981	.....	0.0814	-0.1265	-0.0186
0.2695	-0.1026	0.3204	0.1624	-0.0967	-0.0044	-0.1377	-0.3189	.....	0.0981	0.1455	-0.0582
0.3536	-0.0747	-0.1251	-0.1257	-0.3556	-0.0123	0.0325	0.0895	.....	0.2536	-0.1898	-0.0709
0.3930	-0.0219	0.0831	-0.0828	-0.0586	-0.1719	0.0243	0.1909	.....	-0.0463	-0.0719	0.2076
0.3659	0.0555	-0.1128	-0.0609	0.3356	-0.0532	-0.0658	0.3216	.....	-0.2376	0.0728	-0.2995
0.2588	0.1107	-0.0556	-0.2671	0.1184	0.2682	0.3418	-0.0826	.....	0.0362	0.2090	-0.4372

Tablo 5: Kazdağları Yöresi İçin Oluşturulan Amplitüt Matrisi ($X_{15 \times 50}$)

1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	.....	1999	2000
0.2229	-0.2659	-1.7118	-0.1558	-2.5621	-2.3928	-2.1926	-0.8894	.....	4.9676	4.3362
2.2978	0.6630	2.3877	-3.3287	2.6985	1.0215	-1.1740	-0.5281	.....	-0.2780	0.0013
1.8431	0.8415	-1.1128	-1.2415	3.2065	-0.4933	-1.5264	2.4724	.....	0.5443	-0.6749
1.7918	-2.1136	-1.9357	-3.8067	-0.4603	-2.3145	-0.2599	0.6263	.....	-0.6195	0.6932
0.4321	1.6901	1.6453	-0.9276	-0.4859	2.1256	0.1650	-0.3553	.....	0.6991	-0.2228
0.0619	-0.4165	-2.5763	-1.2620	1.9444	-2.2101	0.7369	-0.3545	.....	0.2115	-0.2766
0.8719	0.4405	0.6836	0.7709	1.6342	1.6220	0.3931	-0.7931	.....	0.3974	0.2410
-0.1619	1.1330	0.7474	-0.4559	0.5859	-0.9116	1.8420	-1.4809	.....	0.6840	-0.5313
-1.5282	-1.5498	1.6957	-1.5423	1.3936	0.1917	-0.2358	-0.9514	.....	-0.4911	1.0592
-0.1130	0.0802	1.7070	-1.6587	-0.1173	2.1638	1.8921	1.1974	.....	0.2348	-0.0322
-1.3390	-1.8305	-0.0716	0.1689	1.3062	0.3134	-0.4466	0.5014	.....	1.4274	0.5747
0.1398	-1.4519	-0.3956	0.8055	1.3962	-0.3694	0.6359	1.6957	.....	-0.2351	-0.5007
0.0584	-0.7307	0.8010	0.5708	0.5891	-1.0690	-0.0324	-1.3279	.....	-0.0324	-0.7749
0.9874	0.2842	-0.7192	0.2004	0.2502	-0.3550	-0.1768	-0.9894	.....	-0.7204	-0.6285
0.4030	-0.4075	1.0790	-0.2827	0.1504	0.8766	-1.1656	0.5555	.....	0.5977	0.4708

Şekil 3'de 1. ve 2. öz vektörlere karşılık gelen amplitütler görülmektedir. Amplitüt 1, 1976 (negatif), 1994 ve 1999 yıllarını (pozitif) iyi bir şekilde açıklarken, Amplitüt 2 1954 (negatif) ve 1963 yıllarını (pozitif) açıklamaktadır. Bunlar dışındaki yıllar farklı amplitütlerle açıklanmaktadır. Bu nedenle amplitüt matrisin oluşturulmasında veri kümesini %90-95 oranında ifade edebilen öz vektörler kullanılmaktadır.





Şekil 3: Amplitüt 1 (1. öz vektöre karşılık gelen zaman serisi, üstte) ve Amplitüt 2 (2. öz vektöre karşılık gelen zaman serisi, altta).

3.2 Tepki fonksiyonu katsayılarının hesaplanması

Orijinal iklim verilerini temsil eden amplitüt matrisi bağımsız değişkenler, yıllık halka genişlikleri bağımlı değişkenler olacak şekilde çok değişkenli veya aşamalı çok değişkenli regresyon işlemi yapılır:

$$P_{1xn} = R_{1xp} * X_{pxn} + \epsilon$$

P_{1xn} = n yıl için yıllık halka indisleri

R_{1xp} = regresyon katsayıları

ϵ = hata

Örneğimizde Kazdağları üst yükseltiye ait Kazdağı Göknarı yöre kronolojisi kullanılmıştır. Regresyonda bağımlı değişken olarak kullanılan Kazdağı Göknarı yöre kronolojisine ait P değerleri ve regresyon katsayıları aşağıda görülmektedir.

Tablo 6: Kazdağı Göknarı Yöre Kronolojisine Ait Normalize Edilmiş Yıllık Halka Indisleri (P'_{50x1}) ve Son Sütunda da Bu Çoklu Regresyon Katsayıları (R'_{15x1}).

Yıllar	P'_{50x1}	Yıllar	P'_{50x1}	R'_{15x1}
1951	1,7132	1976	0,0885	0,0068
1952	-2,0188	1977	1,7856	-0,008
1953	0,4343	1978	-1,4236	-0,0816
1954	0,0563	1979	1,3915	0,1374
1955	-0,0804	1980	0,6113	0,081
1956	0,2815	1981	0,2413	0,0245
1957	-0,5228	1982	-0,6917	0,032
1958	-1,2708	1983	2,0028	0,1618
1959	1,858	1984	0,4343	0,1582
1960	-0,5469	1985	-1,9143	-0,1238
1961	0,0241	1986	0,3298	-0,0461
1962	-0,0402	1987	-1,6891	0,0938
1963	-1,1502	1988	-0,378	0,3904
1964	-0,555	1989	-0,1689	0,2985
1965	-0,0804	1990	2,2119	0,5076
1966	0,2493	1991	-0,2815	
1967	-0,185	1992	0,185	
1968	-1,2789	1993	-1,1019	
1969	-0,5309	1994	-0,1206	
1970	1,3995	1995	0,3459	
1971	-0,7078	1996	-0,0804	
1972	0,0724	1997	-1,1421	
1973	-0,2413	1998	2,2038	
1974	1,1582	1999	-0,2011	
1975	-0,6917	2000	-1,6408	

Regresyon katsayıları kullanılarak n yıllık tahmini yıllık halka kronolojisi elde edilmektedir:

$$P_{1xn}^* = R_{1xp} * X_{pxn}$$

P_{1xn} matrisi, n yıl için tahmin edilen yıllık halka indislerini ifade etmektedir.

Bundan sonraki adım tepki fonksiyonu elemanlarının hesaplanmasıdır:

$$P_{1xn}^* = R_{1xp} * E'_{pxm} * Y_{mxn} = T_{1xm} * Y_{mxn}$$

$$T_{1xm} = R_{1xp} * E'_{pxm}$$

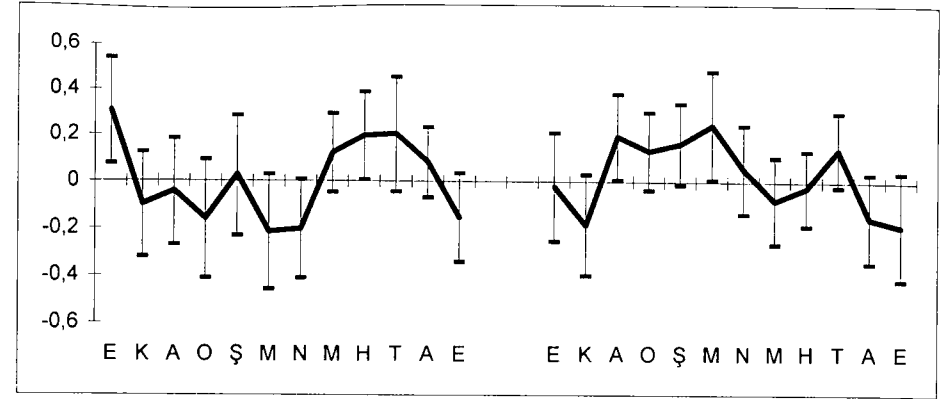
T_{1xm} matrisinin elemanları tepki fonksiyonu katsayılarıdır. İlk 12 eleman yağış, son 12 eleman ise sıcaklık değerlerine karşılık gelen tepki fonksiyonu katsayılarıdır.

Kazdağı Göknaarı için hesaplanan tepki fonksiyonu katsayıları Şekil 4'de görülmektedir. Grafiğin solunda yağış, sağ kısmında ise sıcaklık için hesaplanan tepki fonksiyonu katsayıları yer almaktadır. Sıfır çizgisinin üzerindeki katsayılar yıllık halkalar ve iklim arasındaki pozitif ilişkiyi; altındaki negatif katsayılar ise negatif ilişkiyi ifade etmektedir.

Daha sonra tepki fonksiyonu katsayılarının güven sınırları hesaplanmaktadır (FRITTS 1976):

$$S_{mxm} = E_{m xp} * U_{p xp} * U_{p xp} * E_{p xm}'$$

$U_{p xp}$ matrisi, diagonal elemanları regresyon katsayılarının standart hataları, diğer elemanları 0 olan bir matristir. S_{mxm} matrisinin diagonal elemanları, tepki fonksiyonu elemanlarının (T_{1xm}) standart hatalarının karelerini içeren bir simetrik matristir. Tanımlanan güven düzeyleri, v_1/v_2 serbestlik dereceli F değeri ile S_{mxm} matrisinin diagonal elemanlarının çarpılması ve kare köklerinin alınmasıyla hesaplanır. Burada v_1 1'e karşılık gelir, v_2 ise etkili örnek büyüklüğüdür. Bu işlemlerde etkili örnek büyüklüğü gözlem yıllarının sayısı (n) kadardır. Elde edilen güven sınırları ile bir grafik çizilir (Şekil 4). Güven sınırlarının 0'dan farklı olduğu yıllar anlamlı ilişkilerin olduğu yılları göstermektedir.



Şekil 4 : Üst yükseltiden alınan Kazdağı Göknaarı örneklerinin yöre kronolojisine ait tepki fonksiyonu katsayıları. Grafiğin sol kısmı yağış, sağ kısmı ise sıcaklık değerleri ile yıllık halka genişliği arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Şekil 4 incelendiğinde önceki yılın ekim, halka oluşum yılının mayıs, haziran, temmuz, ağustos aylarında yağışlardaki artışların yıllık halka genişliğinin artırıcı etki yaptığı; şubat ayındaki yağışların yıllık halka genişliği üzerindeki etkisinin 0'a yakın olduğu ve bu aylar dışındaki aylara ait yağışların yıllık halka genişliği üzerinde negatif etkiye sahip olduğu görülmektedir. Özellikle önceki yılın ekim ve halka oluşum yılının haziran aylarındaki yağışın pozitif etkisi %95 güven düzeyinde anlamlı değerlere sahiptir. Önceki yılın aralık ve halka oluşum yılının ocak, şubat, mart nisan ve temmuz aylarındaki yüksek sıcaklıkların yıllık halka genişliğini artırıcı etki yaptığı, bunlar dışındaki aylardaki yüksek sıcaklıkların ise yıllık halka genişliği üzerinde negatif etkiye sahip olduğu görülmektedir. Önceki yılın aralık ve halka oluşum yılının mart ayındaki pozitif etki %95 güven düzeyinde anlamlıdır.

3.3 Tepki fonksiyonu katsayılarının yorumu

Tepki fonksiyonu her ne kadar neden-sonuç ilişkilerini tam olarak ortaya koymasa da, ağaç gelişimini güncel olarak aydınlatmaktadır. Tepki fonksiyonunun her bir elemanı, büyüme ve çevre arasındaki her ilişkinin net etkilerini yansıtır. Ağacın içinde bulunduğu çevre, ortalama ve fizyolojik faaliyetler için optimum bir yerde ise iklimden kaynaklanan doğal değişimler, fizyolojik faaliyetleri etkili bir şekilde sınırlandırmaz ve tepki fonksiyonu elemanları anlamlı çıkmaz; zayıf bir korelasyon ortaya çıkar. Ağacın içinde bulunduğu çevre, ağaç gelişimine etkili olan bir veya daha fazla faktör için sınıra yakın ise, yüksek bir ilişki bulunur ve tepki fonksiyonu elemanları anlamlı çıkar. Bundan başka, zıt yönlerde iki olay aynı zamanda etkili olursa, bunlar birbirlerinin etkilerini ortadan kaldırırlar ve iklim ve büyüme arasındaki ilişkilerin sınıra yakın olmasına neden olurlar.

3.3.1 Sıcaklık

3.3.1.1 Direkt ilişkiler

Halka genişliği ve yaz sıcaklığı arasındaki direkt ilişkiler, çoğunlukla üst yetiştirme ortamındaki ağaçlar üzerinde görülmektedir. Bu ilişkiler özellikle kuzey bakıldığında üst yetiştirme ortamlarında ve soğuk mikro iklimlerin yaşandığı yetiştirme ortamlarında daha çarpıcı bir şekilde görülmektedir. Bu durum kuşkusuz, düşük sıcaklıkların fotosentez ve diğer büyüme artırıcı hayat faaliyetlerinin düşük sıcaklıklar tarafından sınırlandırılmasıyla ortaya çıkar. Düşük sıcaklıklar bundan başka, büyüme mevsiminin daha geç başlamasına ve sonbaharda normal süresinden daha önce durmasına neden olarak, dar yıllık halkaların oluşmasına yol açmaktadır. Bu nedenle ilkbaharda yüksek sıcaklıklar ile halka genişliği arasında doğrusal bir ilişki vardır. Kış sıcaklıkları ile büyüme arasındaki direkt ilişkilerin bazıları, yetiştirme ortamındaki iç koşullardan meydana gelmektedir. Kışın yaşanan yüksek sıcaklıklar, kar kalınlığını azaltır, toprak içine suyun süzülmesini hızlandırır, alışılmadık şekilde toprak sıcaklığı ve net fotosentez artar. Erken ilkbaharda hem alt hem de üst yetiştirme ortamlarındaki topraklarda çoğunlukla yeterli miktarda nem olduğundan, vejetasyon mevsiminin başlangıcı olan bu dönemde, bitkiler büyüme için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duymaktadır. Böylece tepki fonksiyonu elemanları bu dönemde, büyüme ile pozitif bir ilişki ortaya koymaktadır.

3.3.1.2 Ters ilişkiler

Yarı kurak yetiştirme ortamlarındaki iğne yapraklı ağaçların yıllık halka genişliği çoğunlukla, aylık sıcaklıklardaki değişimlerle ters ilişkilidirler. Bu ters ilişkilerin en belirgin açıklaması, sıcaklığın suyun difüzyonu için itici güç ve anormal derecede yüksek sıcaklıkların hızlı evapotranspirasyona ve su noksanlığına neden olmasıdır. Sıcaklığın bu tür ters (olumsuz) etkileri; yüksek sıcaklıkların sürekli olduğu ve düşük sıcaklıkların büyüme engellemediği yaz aylarında; hava sıcaklığının yıl boyunca bazı aylarda yüksek olduğu düşük yetiştirme ortamlarında; ışık enerjisinin bol olduğu ve bitki sıcaklığının yüksek olduğu güney bakılarda; rüzgara maruz kalan ağaçlarda, rüzgar etkisiyle bitki sıcaklığının hava sıcaklığına yaklaşması ve yaprak-hava nem eğiminin hızlı bir şekilde azalıp-artması durumunda; sıg ve iyi drenajlı topraklar veya kök yayılışının sınırlandırıldığı ve nem oranının düşük olduğu alanlardaki ağaçlarda; belirli bir türün yayılış alanının en alt kurak, en üst yağışlı ve soğuk yetiştirme ortamlarındaki ağaçlarında belirgin şekilde görülmektedir.

Besinlerin hızlı bir şekilde kullanılmasına ve net fotosentez ile depolanan besinlerin azalmasına yol açan solunum, yüksek sıcaklığın direkt etkisiyle arttığından, büyümeyi azaltıcı yönde etki yapmaktadır. Yüksek sıcaklıklar; gelişim süreci, asimilasyon ve hormon sentezinin optimum seviyenin üzerine çıkması için, bitki sıcaklığını da arttırmaya zorlar. Böylece solunum artar ve büyüme azalır; bunun sonucu olarak yüksek sıcaklık ile halka gelişimi arasında ters bir ilişki ortaya çıkar. Büyüme ve sıcaklık arasındaki ters ilişkiler, az miktarda, kış döneminde, ilkbahar başlarında ve yaz sonlarında, kök sıcaklığının düşük olmasıyla da meydana gelebilir. Kökler çok soğuk olduğu ve donduğu zaman yaşanan yüksek sıcaklıklar, ağacın iç kısmındaki suyun kullanılmasına neden olarak, ağaçta su noksanlığının artmasına yol açar ve dış havaya maruz kalan yapraklar ve dokular zarar görür.

Sonbaharda yaşanan normalden yüksek sıcaklıklar, don zararlarına karşı dokuları daha hassas yapar ve izleyen ilkbaharda büyümeyi ters etkileyen kış zararlarının gecikmesine neden olur. Yaz sonlarında veya sonbahar başlarında yaşanan normalden daha yüksek sıcaklıklar büyümeyi artırır, depolanan besinlerin harcanmasına neden olur ve sonraki yıllık halkanın daha dar olmasına yol açar.

Son derece yüksek veya düşük olan sıcaklıklar; büyüme düzenleyici maddelerin üretimi, taşınması ile kambiyumun verdiği hücrelerin sayısı ve boyutlarının azalmasına neden olur;ibre ve uç gelişmesini düşürür. Topraktaki su miktarı çok olduğunda oksijen miktarı ve dolayısıyla kök gelişimi azalmaktadır.

3.3.2 Yağış

3.3.2.1 Direkt ilişkiler

Aylık yağışlardaki değişimler, yarı kurak ortamlardaki ağaçların yıllık halka genişliği ile genel olarak doğrudan ilişkilidir. Fizyolojik faaliyetleri sınırlandıran düşük yağış, düşük toprak nemi ve ağaçta su noksanlığı baskısı ile halka genişliği arasında çok açık bir ilişki vardır. Yağış çok yüksek olursa eğer, toprak nemi artar; büyüme dönemi ne kadar uzun olursa, büyümeyi sınırlandıran dönem, o oranda gecikir ve dolayısıyla ağaçlarda gelişim artar.

Tepki fonksiyonu ve alansal gözlemlere göre kurak olan alanlarda kambiyum faaliyeti, başka hayat faaliyetlerini sınırlandırır ve daha sonraki dönemlerde büyümeyi etkileyen iç koşulları yaratır. Bu koşullar çok açık bir şekilde kurak yetiştirme ortamlarında, alt yetiştirme kuşağında, iyi drenajlı topraklarda ve güney bakılarda görülür. Bu tür koşullarda yapılan tepki fonksiyonu elemanları, çoğunlukla yılın bir çok ayında büyüme ve yağış arasında doğrusal bir ilişki yansıtır ve tepki fonksiyonu elemanları anlamlı sonuçlar verir. Yağış ve kambiyum faaliyeti arasındaki bu direkt ilişkileri içeren en önemli hayat faaliyetlerinden bazıları net fotosentez, asimilasyon, uç, yaprak ve kök gelişimi ile büyüme düzenleyicilerin üretimi ve taşınmasıdır.

Yağış ilişkileri tipik bir şekilde, yağmur veya kar halinde yağın hava nemine bağlı olarak büyüme mevsimi dışında da (kış aylarında) değişebilir. Toprak nemi düşük ve toprak sıcaklığı 0 °C'nin üzerinde ise, kar veya yağmur halinde yağın yağış toprak nemini artırır. Toprak donmuşsa eğer, kar halinde yağın ilave yağış toprak nemini artırmaz ve kullanılabilir nem üzerinde anlamlı bir etki yapmaz. Mevsim başlarında erken yağın kar toprağı izole eder ve toprak neminin daha ılıman olmasına katkı sağlar ve ilk karın erimeye başlamasıyla toprak sıcaklığı düşerken ve kökler donmadan önce eriyen bu ilk kar, köklerin hızlı bir şekilde su emmesine yol açar. Ayrıca kar olarak düşen yağış, rüzgar etkisiyle bir yerden başka bir yere kar yığılması halinde birikebilir. Bir yıldan diğerine, rüzgar yönü ve şiddetindeki değişimler, yağış-büyüme ilişkilerinde karmaşık bir durum yaratabilir (FRITTS, 1976).

3.3.2.2 Ters ilişkiler

Yağış ile ağaç gelişimi arasındaki ters ilişkiler özellikle, kurak ve yarı kurak dönemlerde çok az rastlanan bir durumdur ve bu durum meydana geldiğinde çoğunlukla, yağış ile bundan daha sınırlayıcı olan faktörler arasında önemli bir ilişki vardır. Örneğin, drenajın zayıf olduğu bir toprakta aşırı nem toprak havalanmasını engeller ve köklerin gelişimini sınırlandırır. Alışılmadık şekilde derin olan bir kar tabakası ve karla kaplı dönemin aşırı derecede uzun olması, fotosentez yapılmayan dönemin çok daha uzun geçmesine neden olur ve büyümenin başlamasını geciktirir. Böylece yağış ile ağaç gelişimi arasında ters bir ilişki ortaya çıkar. Yüksek yağıştan kaynaklanan aşırı kar, dolu, buzlanma ve yıldırımlar bitkiye zarar verir ve çoğunlukla büyümenin azalmasına neden olur. Ayrıca yüksek yetiştirme ortamlarında ve özellikle kuzey bakılarda yağış ile büyüme arasında ters ilişkiler görülebilir. Özellikle nemli bölgelerde, büyüme mevsiminin başladığı dönemlerde yağış-tepki fonksiyonu elemanları ya sifıra çok yakın ya da ters ilişkiler ortaya çıkmaktadır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Makalede, önce yıllık halka genişliği ile iklim arasındaki ilişkiler çeşitli modeller yardımıyla açıklanmış, daha sonra bu ilişkilerin büyüklüğü ve yönünü (olumlu-olumsuz) belirlemek üzere geliştirilmiş olan tepki fonksiyonu anlatılmıştır. Ülkemizde de son yıllarda dendroklimatolojik araştırmalarda kullanılmaya başlanan tepki fonksiyonunun, daha yaygın bir şekilde kullanılması, sonuçların daha sağlıklı bir şekilde alınmasına olanak sağlayacaktır. Gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte, bu amaçla geliştirilmiş çeşitli programlar bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları PRECON, DENDROCLIM (<http://web.utk.edu/~grissino/>) ve TSAP programlarıdır. Ayrıca, bu makalede de kullanıldığı gibi, tepki fonksiyonu katsayıları matematik hesaplamalarda büyük kolaylık sağlayan MATLAB, MATHEMATICA gibi bilgisayar programlarıyla da hesaplanmaktadır.

Rakamlarla ifade edilebilen yıllık halka genişlikleri ile çeşitli iklim kayıtları arasındaki ilişkilerde, istatistik analizler mutlaka kullanılmalı ve bu amaçla en azından değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmalıdır. Günümüzde matematik ve istatistik temellere dayanmayan dendroklimatolojik çalışmaların yorumlanması ve değerlendirmesi eksik kaldığından fazla önem taşımamaktadır. Bu nedenle, istatistik analizlerin kullanılmadığı, dendroklimatolojik çalışmalardan kaçınılmalı ve yıllık halka-sıcaklık ve yağış arasındaki ilişkiler matematiksel temellere dayandırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- AKKEMİK Ü. 2000a: Dendroclimatology of Umbrella Pine (*Pinus pinea* L.) in Istanbul (Turkey), *Tree-Ring Bulletin* Vol.56:17-20
- AKKEMİK Ü. 2000b: Tree-Ring Chronology of *Abies cilicica* Carr. in the Western Mediterranean Region of Turkey and Its Response to Climate, *Dendrochronologia* 18:73-81
- AKKEMİK Ü. 2003: Tree-rings of *Cedrus libani* A.Rich. at the Northern Boundary of its Natural Distribution, *IAWA Journal* 24 (1):63-73
- BEDNARZ, Z., PTAK, J. 1990: The Influence of Temperature and Precipitation on Ring Widths of Oak. *Tree-Ring Bulletin*, Vol. 50:1-10
- BLASING, T.J.; SOLOMON, A.M.; DUVICK, D.N. 1984: Response function revisited. *Tree-Ring Bulletin*, Vol. 44: 1-16
- DAĞDEVİREN N., 2002: Kazdağları'nda Doğal Yetişen Gymnospermae Taksonları Üzerinde Dendrokronolojik Araştırmalar, İ.Ü. Fenbilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Botaniği Programı, Yüksek Lisans Tezi
- D'ARRIGO, R.D.; SCHUSTER, W.S.F.; LAWRENCE, D.M.; COOK, E.R.; WILJANEN, M.; THETFORD, R.D. 2001: Climate-Growth Relationships of Eastern Hemlock and Chestnut Oak from Black Rock Forest in the Highlands of Southeastern New York. *Tree-Ring Research*, Vol. 57 (2): 183-190
- FRITTS, H. C., 1976: *Tree Rings and Climate*, Academic Press London
- FRITTS, H.C.; WU XIANGDING 1986: A Comparison Between Response Function Analysis and Other Regression Techniques, *Tree Ring Bulletin*. Vol:46 S:31-46
- GARFI, G. 2000: Climatic Signal in Tree-Rings of *Quercus pubescens* s.l. and *Celtis australis* L. in South-eastern Sicily, *Dendrochronologia* 18: 41-51

- GUTIERREZ, E. 1989: Dendroclimatological Study of *Pinus sylvestris* L. in Southern Catalonia (Spain). *Tree-Ring Bulletin* Vol. 49:1-10
- KAENNEL, M.; SCHWEINGRUBER, F. H. 1995: *Multilingual Glossary of Dendrochronology*, Paul Haupt Publishers, İsviçre. ISBN: 3-258-05259-X
- KRAUSE, C. 1992: Climate-Growth Relationships from Continuous Tree-Ring Series Versus Pointer Years. *Tree Rings and Environment, Proceedings of the International Dendrochronological Symposium*, 3-9 September 1990, South Sweden (Edts: T.S. Barholin, B.E. Berglund, D. Eckstein, F.H. Schweingruber): 164-167
- LINDERSON, H. 1992: Dendroclimatological Investigation in Southern Sweden. *Tree Rings and Environment, Proceedings of the International Dendrochronological Symposium*, 3-9 September 1990, South Sweden (Edts: T.S. Barholin, B.E. Berglund, D. Eckstein, F.H. Schweingruber): 198-201
- LÜHRTE, A.V. 1992: Dendroecological Studies on Pine and Oak in the Forests of Berlin (West). *Tree Rings and Environment, Proceedings of the International Dendrochronological Symposium*, 3-9 September 1990, South Sweden (Edts: T.S. Barholin, B.E. Berglund, D. Eckstein, F.H. Schweingruber): 212-216
- MAKOWKA, I.; RIEMER, T.; STICKAN, W.; WORBES, M. 1992: Dendroclimatological Studies on Beech Trees (*Fagus sylvatica* L.) and the Changing Influence of Climate on the Growth. *Tree Rings and Environment, Proceedings of the International Dendrochronological Symposium*, 3-9 September 1990, South Sweden (Edts: T.S. Barholin, B.E. Berglund, D. Eckstein, F.H. Schweingruber): 217-221
- REYMENT R.; JÖRESKOG K.G. 1993: *Applied Factor Analysis in the Natural Sciences*, University of Cambridge
- ROLLAND, C. 1993: Tree-ring and Climate Relationships for *Abies alba* in the Internal Alps. *Tree-Ring Bulletin*, V.53: 1-12
- SHIYATOV, S.G.; MAZEP, V.S.; FRITTS, H.C. 1992: The Influence of Climatic Factors on Radial Growth of Timberline Tree in the Urals. *Tree Rings and Environment, Proceedings of the International Dendrochronological Symposium*, 3-9 September 1990, South Sweden (Edts: T.S. Barholin, B.E. Berglund, D. Eckstein, F.H. Schweingruber): 303-307
- TARDIF, J.; CONCIATORI, F.; BERGERON, Y. 2001: Comparative Analysis of the Climatic Response of Seven Boreal Tree Species from Northwestern Quebec, Canada, *Tree-Ring Research*, Vol. 57 (2): 169-182
- TILL; GUIOT 1990: Reconstruction of Precipitation in Morocco since 1100 A.D. Based on *Cedrus atlantica* tree ring widths. *Quaternary Research* 33: 337—351
- YADAV, R.R.; SINGH, J. 2002: Tree-Ring Analysis of *Taxus baccata* from the Western Himalaya, India, and Its Dendroclimatological Potential. *Tree-Ring Research*, Vol. 58 (1/2): 23-29.