

Isparta yöresi kızılçam meşcerelerinde çap dağılımının örnek alan ağaç sayısına göre modellenmesi

Yılmaz Çatal^{a,*}, Sıraç Güneş^a

Özet: Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) 5.9 milyon hektar yayılışı ile ülkemizde en geniş yayılış alanına sahip asli ağaç türüdür. Bu alan ormanlarımızın %27'sine karşılık gelmektedir. Meşcere parametrelerinin uygun bir orman yönetimi için doğru tahmin edilmesi gerekir. Ayrıca, ormanların geleceğe yönelik fizibilitesinin yapılmasında çap dağılımları önemli bir meşcere parametresidir. Çap dağılımının şekli meşcere yapısının karakteristiklerinin en önemlilerinden birisidir. Son yıllarda birçok araştırmacı istatistik dağılım modellerini ormancılık alanında kullanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Isparta yöresinde doğal, aynı yaşlı, saf kızılçam meşcerelerinde ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımının değişik yaş ve bonitet sınıflarında değişimini örnek ağaç sayısı değişimine göre ortaya koyabilmektir. Örnek alanlardan elde edilen verilere Beta, Gamma, Weibull, Normal ve Log-normal istatistik dağılımını esas alan regresyon modelleri uygulanmıştır. Bunun için yörede 6'dan 21'e kadar değişen ağaç sayısına göre çeşitli büyüklüklerde 88 örnek alan alınmıştır. Her istatistik dağılım modeli için doğrusal bir model kurulmuş ve modelin katsayıları çoğul regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Regresyon modelinin uygunluğunun tespiti için hesaplanan F test değeri ve belirtme katsayısı, Gamma dağılım modeli için en yüksek bulunmuştur (F=55.587; p<0.001; R²=0.519). Yörede çap dağılım modellerinde Gamma dağılım modelinin kullanılması uygundur.

Anahtar kelimeler: Meşcere çap dağılımı, Kızılçam, Bonitet, Meşcere yaşı

Modelling of diameter distribution according to tree numbers in sample area of the Brutian pine stands in Isparta region

Abstract: Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) is the most widely distributed main tree species of Turkey and it covers approximately 5.9 million ha, accounting for 27% of the Turkey's forests. The stand parameters must be accurately estimated for an appropriate forest management. Besides, it is important to know the stand diameter distribution for the determination of the technique, time and economic feasibility of a stand maintenance treatment. The shape of the diameter distribution is one of the important elements characterising forest stand structure. In recent years, many researches have used the statistical frequency distributions in the field of forestry. Aim of this study, alteration of the diameter distribution by site quality and age, presented by the actual structure of even aged brutian pine stands in the Isparta Forest region, has been related to the models constructed by basing on the distributions of Gamma, Beta, Normal and Weibull. The data used in the computations of models has been obtained different size 88 temporary plots contain from 6 to 21 trees. A linear model has been constructed for each distribution, and the coefficients in the model have been computed with the help of regression analysis. Besides, standard error and multiple correlation coefficients have also been determined. Later, the estimated values that the determined models gave have been graphically compared with the actual measurements. Gamma Distribution model seems to be more suitable than other distribution models (F=55.587; p<0.001; R²=0.519). Gamma distribution model is usable in the region for diameter distribution model.

Keywords: Stand diameter distribution, Brutian pine, Site index, Stand age

1. Giriş

Ülkemiz ormancılık politikasının en önemli sorunlarından birisi, en önemli doğal kaynaklarımızdan olan ormanlarda, yetişme ortamı koşullarına uygun ve devamlılık ilkesine bağlı bir işletmecilik yapabilmek, meşcere kalitesi ile verimini yükseltme olanaklarını araştırmak, bu itibarla, asli orman ağaç türlerimizin meşcere kuruluşları, verim güçleri ve büyüme seyirleri hakkında yöresel çalışma yetersizliğidir. Ağaç sayısının yaş ve bonitet sınıflarına göre çap basamaklarına dağılımı bilinerek gelecekteki çap dağılımı ve meşcere hacmi hesaplanabilmektedir (Saraçoğlu, 1988; Borders ve Patterson, 1990).

Çap dağılımları ile ilgili ilk çalışmalar 1883 yılında Gram'ın kayın meşcerelerinin çap dağılımlarını normal dağılıma ve 1898 yılında De Liocourt'un değişik yaşlı meşcerelerde çap dağılımlarını eksponansiyel dağılıma uygun bulduğu çalışmalarıdır (Packard, 2000). Daha sonraları ise çap dağılımı meşcere yaşı, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, bonitet endeksi ve derecesi, orta çap ve hacim gibi meşcere elemanları ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Newton vd., 2005).

Meşcerede hacim ve hacim elemanlarına yönelik sonuçların değerlendirilmesinde ağaç sayısı en önemli meşcere elemanıdır. Çünkü meşcerede tüm hacim ve hacim elemanları ağaç sayısına göre değişmektedir. Özellikle, simülasyon modelleri ile meşcerenin tanımlanması ve

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, 32260, Isparta

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): yilmazcatal@sdu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 30.05.2016, **Accepted** (Kabul tarihi): 04.08.2016



meşçereye ilişkin hacim verimlerinin ortaya koyulmasında artık çap dağılım modelleri geniş olarak kullanılmaktadır. Ormancılık planlaması açısından önemli bir bilgi olan ormandan elde edilecek ürün çeşitlerinin belirlenmesi ise, meşçerelerin çap dağılımlarının tahmin edilmesi ile mümkün olabilmektedir. Meşçerede toplama ağaç sayısından ziyade hangi çap basamağında kaç tane ağacın olduğunu bilmek ürün ve ürün çeşitlerini ortaya koymada en büyük destekçisi konumundadır (Borders ve Patterson, 1990).

Dünyada ve ülkemizde çap dağılımlarının modellenmesinde Normal, Log-normal, Gamma, Beta, Weibull fonksiyonu gibi çeşitli olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu dağılımlar meşçerede çap basamaklarına dağılımı yeterli doğruluk düzeyinde tanımladığı ve meşçerenin geleceğine yönelik projeksiyonlar sunabildiği bilinmektedir. Beta dağılımı için Clutter ve Bennet (1965), Mc Gree ve Della-Bianca (1967), Lenhart ve Clutter (1971), Mike vd. (1975), Cao (1997), Lenhart (1972); Gamma dağılımı için Nelson (1964); Weibull dağılımı için Bailey ve Dell (1973), Nepal ve Somers (1992), Cao (1997), Schreuder vd. (1979); Normal dağılım için Clutter ve Bennet (1965) ve Log-normal dağılım için Lappi ve Bailey (1987) çalışmalar yapmışlardır.

Ülkemizde göknar (*Abies spp.*) meşçerelerinde artım ve büyüme ilişkileri araştırılırken çap dağılımı denklemlerle ortaya koyulmuştur (Saraçoğlu, 1988). Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) aynı yaşlı (Carus, 1998) ve değişik yaşlı (Atıcı, 1998) meşçereleri için çap dağılım modelleri oluşturulmuştur. Yavuz vd. (2002), dişbudak meşçerelerine ilişkin çap dağılımları Weibull Dağılımı yardımıyla belirlenmiş ve bu dağılımın katsayı değerleri ile meşçere yaşı ve bonitet endeksi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Gül vd. (2005), Karadeniz yöresi değişik yaşlı göknar Sterba (1975)'nin sıklık yarışma değişkenini kullanmışlardır. Çap dağılımının ortaya koyulması amacı ile G_{max} , göğüs yüzeyi orta ağacının çapı, ağaç sayısı hesaplanmıştır. Kızılcama 7 ağacı kapsayacak örnek alanlarda Log-normal olasılık dağılım fonksiyonu en iyi dağılım sonucunu bulduğu ancak küçük örnek alanlarının çap dağılımını tanımlamada yetersiz kaldığı görülmüştür (Carus ve Çatal, 2008). Ayrıca ülkemizde Ercanlı ve Yavuz (2010), Kahrıman ve Yavuz (2011), Doğdaş (2014)'a ait çap dağılımı makaleleri vardır.

Bu çalışmanın ilk amacı Isparta yöresinde doğal ve saf kızılçam meşçerelerinde ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımının değişik yaş ve bonitet sınıflarında değişimi ortaya koyulmasıdır. Örnek alanlardan elde edilen veriler Beta, Gamma, Weibull, Normal ve Log-normal istatistik dağılımını esas alan regresyon modelleri uygulanmıştır. Her istatistik dağılım modeli için doğrusal bir model kurulacak ve modelin katsayıları çoğul regresyon analizi ile hesaplanmış, ayrıca, gerçek ve regresyon denkleminde elde edilen değerler grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. İkinci amacı ise çap dağılımının modellenmesinde en uygun örnek alan büyüklüğünün belirlenmesidir. Bu amaçla örnek alan boyutu altı ağaç temel alınarak birer ağaç artırılarak 21 ağaca kadar büyütülmüştür. Böylece değişik ağaç sayısı içeren örnek alanlar kullanılarak en uygun çap dağılım modelini ortaya koyan ağaç sayısını kapsayan, örnek alan büyüklüğü belirlenmiştir. Böylece, çap dağılımının ortaya koyulmasında uygun ağaç sayısı temelli örnek alan büyüklükleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışma alanı olarak Isparta Orman Bölge Müdürlüğü seçilmiştir. Yörede değişik yükselti (0-1300 m), bonitet sınıfları (I-V), arazi şekli (yamaç, sırt vb.), gelişim çağı, bakı, yaş ve eğimde doğal ve yapay kızılçam meşçereleri yer almaktadır. Ağaçların büyüme özelliklerinin birbirlerine etkisini ortaya koymak ve kıyaslamak için eşit silvikültürel şartları sağlamak amacıyla olabildiğince planlı silvikültürel müdahale görmemiş meşçerelerde çalışma yürütülmüştür.

Orman hasılat çalışmalarında elde edilen verilerin güvenilirliği, örnek alanın büyüklüğü ile son derece ilişkilidir. Meşçerede örnek alanın büyüklüğü belirlenirken örnek alanın meşçerenin özelliklerini yansıtması gerekir. Normal kuruluştaki meşçerede örnek alanın meşçerenin homojenliğini kaybetmeyecek kadar küçük, ağaç sayılarının çap basamaklarına dağılımı yeter güvenle verecek kadar büyük olması ön şart olarak aranmaktadır (Kalıpsız, 1982). Bu yüzden uygun örnek alan büyüklüğü hasılat araştırmalarında son derece önemlidir. Bruce ve Schumacher (1950), örnek alanların, aynı güvenle bilgi verebilmeleri için eşit büyüklükte olması yerine eşit sayıda ağaç kapsamasının önemli olduğunu bildirmektedir.

Çalışmamızda eşit ağaç sayısını esas alan yöntem uygulanmıştır. Meşçereyi temsil edecek bir merkez nokta belirleyip onu çevreleyen 6 ağaç örnek alan olarak değerlendirilmiş, sonrasında ise ağaç sayısı birer artırılarak 21 ağaca kadar örnek alanın büyütülmesi ile işlem sonlandırılmıştır. Belirlenen örnek alanlarda tüm komşu ağaçların merkez nokta ile mesafeleri (cm) yatay olarak elektronik Haglöf mesafe ölçer ile belirlenmiştir. Mesafenin belirlenmesinde örnek alan merkezi ile ağaçların gövde eksenleri arasındaki mesafenin ölçümü yapılmıştır.

Örnek alandaki tüm ağaçların göğüs yüksekliğindeki çapları (mm) hassasiyetinde, bonitetin belirlenmesi için bonitet ağaçlarında Haglöf EC elektronik boy ölçer ile 0.1 m hassasiyetle boylar ölçülmüştür. Örnek alanlarda en az 3 orta ağaçta yaş tespiti yapılmıştır. Bonitet sınıfı ve endeksi belirlemede Çatal (2009)'ın tablolarından yararlanılmıştır.

2.2. Yöntem

Yirminci yüzyılın ortalarından itibaren ormancılıkta çap dağılımlarının modellenmesinde, olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak, Clutter ve Bennet (1965), çap dağılımlarını, dört parametrelili beta fonksiyonu ile modellemişlerdir (Packard, 2000). Daha sonraları Normal, Lognormal, Gamma, Beta, Johnson's SB, ve Weibull fonksiyonu gibi çeşitli olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmaktadır. Çap dağılım parametreleri değişik yöntemler kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından parametre tahmini için moment tabanlı yaklaşım önerilmektedir (Lindsay vd., 1996; Merganic ve Sterba, 2006). Pratik araştırma maksimum olasılık tahminleri uygulamaları ile tanımlanabilmektedir (Somers vd., 1980). Bu çalışmada da önce dağılım modellerinin elde edilmesi ve daha sonra regresyon katsayılarının hesaplanış tarzını, Loetsch vd. (1973) tarafından Beta dağılımına uyguladığı dönüşüm ve hesap biçimi ile gösterilmesi amaçlanmıştır. Çalışmamızda da, değişik yaş ve bonitetlerdeki kızılçam meşçerelerinde

ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımlarının ortaya konulmasında aynı yöntem esas alınmıştır. Beta dağılımı yanı sıra, Normal, Log-normal, Gamma ve Weibull dağılımlarından türetilen modeller bilgisayarda veri kütükleri yardımıyla incelenmiştir.

2.3. Verilerin istatistik analizi

Çalışmamızda, örnek noktalardan elde edilen verilerin, Beta, Gamma, Weibull Normal ve Log-normal istatistik dağılımını esas alan regresyon modellerinin katsayılarının çoğul regresyon analizi ile hesaplanmasında ve regresyon modelinin uygunluğunun tespiti için F test değerinin bulunmasında SPSS (Statistical Package for Social Sciences) Ver. 20.0 istatistik paket programı kullanılmıştır. Ayrıca, regresyon modelinden elde edilen değerler grafiklerle ortaya koyulmuştur.

Üssel fonksiyonda en küçük kareler yöntemini uygulayabilmek için fonksiyonun logaritması alınarak doğrusal forma dönüştürülmüş, işlemler onun üzerine yürütülmüştür. Logaritma olarak hesap yapılması nedeniyle oluşan sistematik hatanın giderilmesi için, antilogaritma alınarak bulunan değerlerin bir düzeltme faktörü ile çarpılması gerekir. Bu amaçla düzeltme faktörü $[\exp(0.5 \cdot Se^2)]$ denklemi ile hesaplanmıştır. Model ile elde edilen değerler en son düzeltme faktörü ile çarpılarak sunulmuştur (Husch vd., 1963; Fırat, 1973).

3. Araştırma bulguları

Çalışma kapsamında alınan örnek alanların 21 ağaçlık büyüklük için hacim ve hacim elemanlarına ilişkin bazı istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Aynı yaşlı meşcerelerde çap dağılımları normal veya normale yakın dağılım göstermektedir. Bu çap dağılımının ortaya konulması için Beta, Normal, Log-normal, Gamma ve Weibull gibi istatistik dağılımlardan yararlanılmaktadır. Söz konusu çap dağılım modellerine ilişkin hesap ve değerlendirmeler aşağıda verilmiştir. Bu amaçla oluşturulan istatistik dağılımları temel alan regresyon modelleri sırasıyla denenmiştir.

Çizelge 1. Örnek alanlarının bazı meşcere hacim ve hacim elemanı istatistikleri

Değişken	N	Min.	Max.	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Varyasyon yüzdesi
Meşcere yaşı (yıl)	88	21	87	51.2	15.8	30.9
Ust boy (m)	88	8.3	32.3	17.8	4.3	24.2
Orta çap (cm)	88	10.6	50.3	28.5	9.4	33.0
Ağaç Sayısı (ad/ha)	88	199	1920	610.6	403.5	66.1
Göğüs Yüzeyi (m ² /ha)	88	10.3	77.5	31.1	13.2	42.5
Bonitet Endeksi (m)	88	13.0	35.7	21.6	4.6	21.3

3.1. Normal dağılım

Gauss dağılımı veya Gauss tipi dağılım olarak isimlendirilen normal dağılım birçok alanda pratik uygulaması olan, çok önemli bir sürekli olasılık dağılımdır. Bu dağılım iki parametreyle tam olarak tanımlanabilir: Bunlar konum gösteren ortalama (μ , aritmetik ortalama) ve ölçek gösteren varyans (σ^2 -yayılım)'dır (Bailey ve Dell, 1973).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1)$$

Normal dağılım modeli için $n = e^{(a+b.d+c.d^2)}$ fonksiyonu esas alınacaktır. Logaritma dönüşümünü yapıp, bonitet endeksi ve yaşa göre aşağıdaki doğrusal model türetilmiştir.

$$\ln(n) = \beta_0 + \beta_1 \cdot BE + \beta_2 \cdot t + \beta_3 \cdot BE \cdot t + \beta_4 \cdot d + \beta_5 \cdot BE \cdot d + \beta_6 \cdot t \cdot d + \beta_7 \cdot BE \cdot t \cdot d + \beta_8 \cdot d^2 + \beta_9 \cdot BE \cdot d^2 + \beta_{10} \cdot t \cdot d^2 + \beta_{11} \cdot BE \cdot t \cdot d^2 \quad (2)$$

Normal dağılım modeli kullanılarak çap dağılım modelinin geçerliliği test edilmiş, en uygun örnek alan büyüklüğü 17 ağaç kapsayacak örnek alan olduğu belirtme katsayısı ve F değeri ile bulunmuştur. Normal dağılım için uygun bulunan bu örnek alan büyüklüğü için elde edilen istatistikler ve katsayılar Çizelge 2'de verilmiştir.

Yine söz konusu modelin verilere uygunluğu denetlenmiş ve 0.001 önem düzeyi için, bulunan F_{test} değeri, F_{tablo} kritik değerinden çok büyük olduğundan, modelin verilere uygun olduğu kabul edilmiştir. Modelin belirtme katsayısı 0.481 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu ağaç sayısı için F değeri 47.707 olarak tespit edilmiştir.

3.2. Beta dağılımı

Beta dağılımı modeli için; $n = k \cdot (d - d_{min})^\alpha \cdot (d_{max} - d)^\beta$ modeli esas alınmıştır. Bu modele logaritma dönüşümü uygulanarak $\ln(n) = \ln(k) + \alpha \cdot \ln(d - d_{min}) + \beta \cdot \ln(d_{max} - d)$ eşitliği elde edilmiştir. Burada katsayılar Bonitet endeksi (BE) ve yaşa (t) bağlı olarak değişim göstermektedir. Modelde yaşın doğrusal olarak etkilediği düşünülürse, model $\ln(k) = a_0$, $\alpha = a_1$ ve $\beta = a_2$ alınırsa model; $\ln(n) = a_0 + a_1 \cdot \ln(d - d_{min}) + a_2 \cdot \ln(d_{max} - d) + [a_3 + a_4 \cdot \ln(d - d_{min}) + a_5 \cdot \ln(d_{max} - d)] \cdot t$ şeklinde yazılabilir. Bu modeldeki katsayılarında, $a_0 = \beta_0 + \beta_1 \cdot BE$, $a_1 = \beta_4 + \beta_5 \cdot BE$, $a_2 = \beta_8 + \beta_9 \cdot BE$, $a_3 = \beta_2 + \beta_3 \cdot BE$, $a_4 = \beta_6 + \beta_7 \cdot BE$, $a_5 = \beta_{10} + \beta_{11} \cdot BE$ biçiminde bonitet endeksi ile ilişkili olduğu düşünülürse, model bu değişkenleri içeren doğrusal bir şekilde denklem 3 elde edilir.

Çizelge 2. Normal dağılım fonksiyonuna ilişkin bazı istatistik ve katsayılar

Istatistikler	Katsayılar	Katsayılar	Katsayılar
R ² :	0.481	β_0 : 13.441726	β_4 : -0.308662
R:	0.693	β_1 : -0.210235	β_5 : 0.009816
R _{düz} :	0.471	β_2 : -0.088311	β_6 : 0.002712
F:	47.707***	β_3 : -0.000295	β_7 : 0*
		β_{10} : -0.000050	β_{11} : 0.000002

***p<0,001, *Değişken, regresyon analizi sırasında SPSS programınca önemsiz bulunmuş ve hesaplanmamıştır.

$$\ln(n)=\beta_0+\beta_1.BE+\beta_2.t+\beta_3.BE.t+\beta_4.\ln(d-d_{\min})+\beta_5.BE.\ln(d-d_{\min})+\beta_6.t.\ln(d-d_{\min})+\beta_7.t.BE.\ln(d-d_{\min})+\beta_8.\ln(d_{\max}-d)+\beta_9.BE.\ln(d_{\max}-d)+\beta_{10}.t.\ln(d_{\max}-d)+\beta_{11}.BE.t.\ln(d_{\max}-d) \quad (3)$$

Beta dağılım modeli için elde edilen istatistikler incelendiği zaman bağlı değişkenin serbest değişkenlere bağıllığını ölçen istatistik belirtme katsayısı birer ağaç arttırılarak oluşturulan farklı büyüklükte örnek alanlar için 8 ağaçlık örnek alan büyüklüğü için elde edilmiştir. Çap dağılım modellerinden Beta Dağılım modeli için geliştirilen model kullanılarak regresyon analizinde elde edilen bazı istatistik ve katsayılar Çizelge 3'de verilmiştir.

Yine söz konusu modelin verilere uygunluğu denetlenmiş ve 0.001 önem düzeyi için, bulunan Ftest değeri, Ftablo kritik değerinden çok büyük olduğundan, modelin verilere uygun olduğu kabul edilmiştir. Beta dağılım modeli %50,9 oranında çap dağılımını yaş ve bonitete göre açıklayabilmektedir.

3.3. Gamma dağılımı

Gamma dağılıma ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Nelson, 1964).

$$f(x) = a \cdot e^{-\beta \cdot x} \quad (4)$$

Gamma dağılım modeli için; $n=a \cdot d^b \cdot e^{(c \cdot d)}$ modeli esas alınacaktır. Buradan doğrusal forma dönüştürüp bonitet endeksi ve yaşa göre türeterek denklem 5 elde edilmiştir. Regresyon analizi sonucu model istatistikleri ve katsayılar Çizelge 4'de verilmiştir.

$$\ln(n)=\beta_0+\beta_1.BE+\beta_2.t+\beta_3.BE.t+\beta_4.d+\beta_5.BE.d+\beta_6.t.d+\beta_7.BE.t.d+\beta_8.\ln d+\beta_9.BE.\ln d+\beta_{10}.t.\ln d+\beta_{11}.BE.t.\ln d \quad (5)$$

Çizelge 1. Beta dağılım fonksiyonuna ilişkin bazı istatistik ve katsayılar

Istatistikler	Katsayılar	Katsayılar	Katsayılar
R ² : 0.509	β_0 : 11.46908	β_4 : -0.553341	β_8 : -0.446756
R: 0.714	β_1 : -0.131619	β_5 : -0.010290	β_9 : 0.006806
R _{düz} : 0.487	β_2 : -0.061603	β_6 : -0.004766	β_{10} : 0.003256
F: 23.385***	β_3 : 0.000675	β_7 : 0.000611	β_{11} : -0.000067

Çizelge 4. Gamma dağılım fonksiyonuna ilişkin bazı istatistik ve katsayılar

Istatistikler	Katsayılar	Katsayılar	Katsayılar
R ² : 0.519	β_0 : 15.59452	β_4 : -0.01959	β_8 : -2.03731
R: 0.720	β_1 : -0.283661	β_5 : -0.004998	β_9 : 0.095738
R _{düz} : 0.510	β_2 : -0.059997	β_6 : 0.000292	β_{10} : 0*
F: 55.587***	β_3 : -0.005979	β_7 : 0.000007	β_{11} : 0.002058

Çizelge 2. Weibull dağılım fonksiyonuna ilişkin bazı istatistik ve katsayılar

Istatistikler	Katsayılar	Katsayılar	Katsayılar	Katsayılar	Katsayılar
R ² : 0.506	β_0 : 10.610784	β_4 : -0.236820	β_8 : -0.066870	β_{12} : 0*	β_{16} : -0.000010
R: 0.711	β_1 : -0.203028	β_5 : 0.121646	β_9 : -0.011542	β_{13} : 0*	β_{17} : 0.000002
R _{düz} : 0.491	β_2 : 0.183703	β_6 : -0.097315	β_{10} : 0.003677	β_{14} : 0*	β_{18} : 0*
F: 33.731***	β_3 : -0.016174	β_7 : 0.005252	β_{11} : 0*	β_{15} : -0.000001	β_{19} : 0*

Örnek alan büyüklüğü birer ağaç arttırılarak oluşturulan farklı büyüklükte örnek alanlar için Gamma dağılım modeli için istatistikler incelendiği zaman en yüksek belirtme katsayısı ve F değeri 17 ağaç için elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak kızılçam için %51,9 oranında yaş ve bonitet endeksi değeri kullanılarak çap basamaklarına dağılımı elde edilebilir.

3.4. Weibull dağılımı

Weibull dağılımı esnek bir dağılım modeli olarak bilinmekte ve çap dağılımlarını modellemede değişik ağaç türleri için uygun olduğu belirtilmektedir (Somers vd., 1980). Genelde yapılan geçici örnek alana ilişkin çap modelleri yanı sıra periyodik ölçümler ile devamlı deneme alanlarında çap dağılımları modellenene çalışmalarda vardır (Nepal ve Somer, 1992).

Weibull olasılık dağılımı fonksiyonu, değişik özelliklerdeki meşcerelerde çeşitli şekiller alabilmekte ve çap dağılımının yaklaşık olarak değerlerini verebilmektedir (Bailey ve Dell, 1973). Birçok meşcere özelliklerinin tanımlanmasında elastikiyetinden dolayı, çap dağılımı ve hasılat modellerinde Weibull olasılık dağılım fonksiyonu kullanılabilir (Zarnoch vd., 1991). Weibull dağılım modeli denklem 6'da verilmiştir.

$$f(x) = \left(\frac{a \cdot x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha}\right) \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad \alpha, \beta, x > 0 \quad (6)$$

Weibull dağılım modeli için; $n=k \cdot d^\alpha \cdot e^{(\beta \cdot d)^\alpha}$ fonksiyonu esas alınacaktır. Fonksiyonun logaritması alındığında $\ln(n)=\ln(k)+\alpha \cdot \ln(d)+\beta \cdot d^\alpha$ olur. Eşitliğin son terimi Mac Loren serisine açılabilir. Buna göre, bu ifade $\ln(n)=\beta_0+\beta_1 \cdot \ln(d)+\beta_2 \cdot d+\beta_3 \cdot d^2+\beta_4 \cdot d^3$ biçiminde yazılabilir. Bu model Weibull fonksiyonuna yaklaşık değerler verebileceğinden çap dağılımının tespitinde kullanılması uygun görülmüştür. Bu modele yaş ve bonitet endeksinin sokularak aşağıdaki doğrusal model denklem 7 elde edilir.

$$\ln(n)=\beta_0+\beta_1.BE+\beta_2.t+\beta_3.BE.t+\beta_4.\ln(d)+\beta_5.BE.\ln d+\beta_6.t.\ln(d)+\beta_7.BE.t.\ln(d)+\beta_8.d+\beta_9.BE.d+\beta_{10}.t.d+\beta_{11}.BE.t.d+\beta_{12}.d^2+\beta_{13}.BE.d^2+\beta_{14}.t.d^2+\beta_{15}.t.BE.d^2+\beta_{16}.d^3+\beta_{17}.BE.d^3+\beta_{18}.t.d^3+\beta_{19}.BE.t.d^3 \quad (7)$$

Son doğrusallaştırılmış denklem kullanılarak çap dağılımları ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Weibull dağılım modeli çap dağılımının modellenmesinde geniş kullanım alanına sahip, esnek bir modeldir. Çalışma kapsamında da bu model kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen bazı katsayı ve istatistikler Çizelge 5'de verilmiştir.

Örnek alan büyüklüğü birer ağaç arttırılarak oluşturulan farklı büyüklükte örnek alanlar için Weibull dağılım modeli için yapılan regresyon analizi sonucunda en yüksek belirtme katsayısı ve F değeri 15 ağaçlık örnek alan büyüklüğünde elde edilmiştir. Yaş ve bonitet endeksi değerine göre çap basamaklarındaki ağaç sayısının tanımlanma oranının %50.6, F değeri de 33.731 bulunmuştur.

3.5. Log-normal dağılımı

Log-normal dağılıma ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem 8'deki gibidir (Baley ve Dell, 1973).

$$f(x) = \frac{\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-\alpha)-\mu}{\sigma}\right)^2\right]}{\sigma(x-\alpha)\sqrt{2\pi}} \quad (8)$$

Bu dağılım modeli için; $n=e^{(a+b.\ln d+c.\ln^2.d)}$ fonksiyonu esas alınacaktır. Logaritma dönüşümünü yapıp, bonitet endeksi ve yaşa göre doğrusal model olarak denklem 9 türetilmiştir.

$$\ln(n)=\beta_0+\beta_1.BE+\beta_2.t+\beta_3.BE.t+\beta_4.\ln(d)+\beta_5.BE.\ln(d)+\beta_6.t.\ln(d)+\beta_7.BE.t.\ln(d)+\beta_8.\ln^2(d)+\beta_9.BE.\ln^2(d)+\beta_{10}.t.\ln^2(d)+\beta_{11}.BE.t.\ln^2(d) \quad (9)$$

Tüm modellerde $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{11}$ =katsayıları, BE=meşcere bonitet endeksinin (m) t=meşcere yaşını (yıl), $\ln=e$ tabanında (doğal) logaritmayı ($e=2.71828$), d_{\min} =minimum çapı, d_{\max} =maksimum çapı ifade etmektedir.

Log-normal dağılım fonksiyonu için yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen bazı katsayı ve istatistikler aşağıda verilmiştir.

Örnek alan büyüklüğü birer ağaç arttırılarak oluşturulan farklı büyüklükte örnek alanlar için Log-normal dağılım modeli ile 17 ağaçlık örnek alan büyüklüğünün yeterli olduğu ve bonitet endeksi ile yaş kullanılarak çap basamaklarındaki ağaç sayısının %48.7 oranında tanımlandığı görülmüştür.

Çizelge 3. Log-Normal dağılım fonksiyonuna ilişkin bazı istatistik ve katsayılar

İstatistikler	Katsayılar	Katsayılar	Katsayılar
R ² : 0.487	β_0 : 7.395695	β_4 : -0.0775	β_8 : 0.13798
R : 0.698	β_1 : -0.1174	β_5 : 0.203652	β_9 : -0.06151
R _{düz} : 0.478	β_2 : 0.006518	β_6 : 0.023704	β_{10} : -0.01256
F : 48.979***	β_3 : -0.00808	β_7 : 0*	β_{11} : 0.000823

Çizelge 4. Minimum ve maksimum çap değerleri regresyon analizi sonuçları

	R	R ²	R _{düz}	F	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
d_{\max}	0.923	0.851	0.842	93.897***	144.0974	-2.3071	0.0232	-5.2897	0.1034	-0.0004
d_{\min}	0.812	0.659	0.638	30.976***	245.8422	-1.2455	0.0369	-11.9572	0.2114	-0.0016

3.6. Çap Dağılım Modellemesinde Uygun Örnek Alan İçin Ağaç Sayısı

Ülkemizde orman kaynaklarımızdan ekonomik, sürekli ve verimli bir şekilde faydalanabilmek için, meşcerenin hacim elemanları ve hacmi gerçeğe en yakın ölçüde tahmin etmek gerekmektedir. Ormanlara yapılan silvikültürel müdahalelerin zamanı, sıklığı ve ekonomik açıdan uygunluğunun belirlenebilmesi için meşceredeki bireylerin çap basamaklarına dağılımını etkileyen faktörlerin bilinmesi gereklidir.

İnceleme konusu olarak alınan modellerin çoğul regresyon analizi ile aynı yaşlı kızılçam meşcereleri için en iyi uyum gösteren modelin Gamma dağılım modeli olduğu, bu dağılım modelinde 17 ağaçlık örnek alan büyüklüğünün ideal olduğu, belirtme katsayısı yüksek ve regresyona ait F test değerinin (55.587***), daha büyük olmasından anlaşılmaktadır. Bu model ile herhangi bir yaş ve bonitet sınıfındaki meşcerelerde ağaçların çap basamaklarına dağılımını izlemek mümkündür.

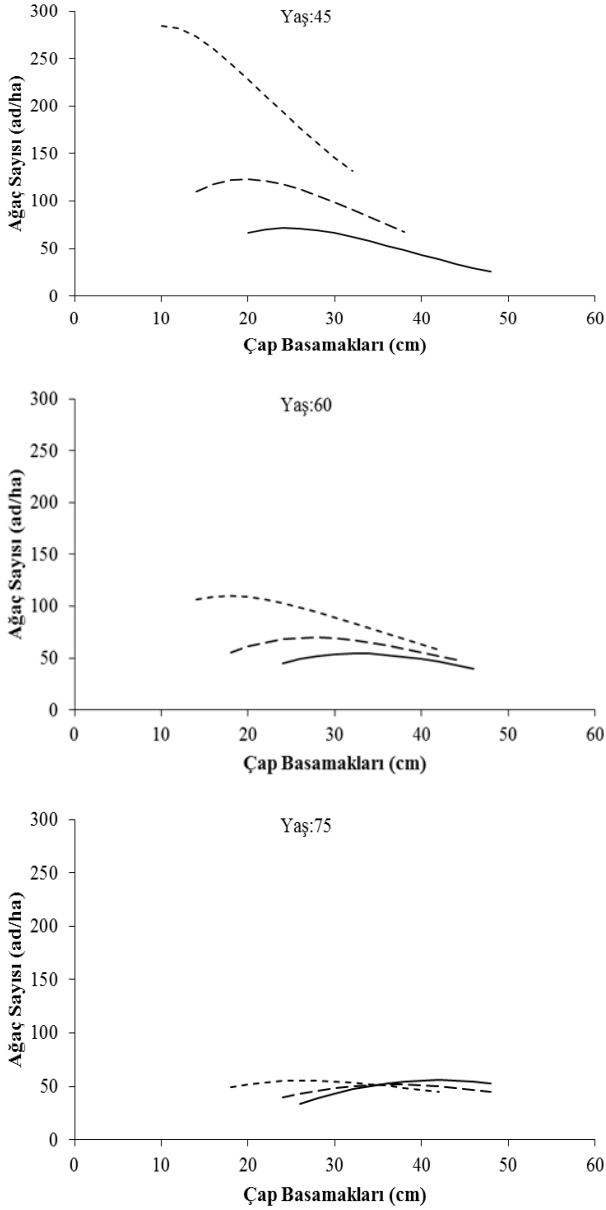
Meşcere içinde çap dağılımı yanısıra bu çap dağılımının meşcere yaşı ve bonitet endeksinde göre minimum ve maksimum noktalarının da ortaya koyulması gerekmektedir. Bu amaçla yaş ve bonitet endeksinde göre maksimum ve minimum çap değerlerinin hesaplanmasında büyüme eğrisini esas alan, korelasyon katsayısı ve F değeri yüksek çıkan denklem 10 olarak bulunmuştur.

$$d_{\min/mak} = \frac{t^2}{(\beta_0+\beta_1*t+\beta_2*t^2)+(\beta_3+\beta_4*t+\beta_5*t^2)BE} \quad (10)$$

Modele ilişkin yapılan regresyon analizi sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çap dağılımının modellenmesinde en uygun model olarak bulunan Gamma dağılım modeli için ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımı şekil olarak çizilerek Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1'den görüleceği gibi Gamma dağılım modeli için değişik yaş basamakları için çap dağılımları en düşük çap ile en yüksek çap değeri arasında verilmiştir. Yaş ile birlikte ağaç sayısı azalmakta, buna karşın çap basamaklarındaki ağaçların ise sağa doğru kayarak daha kalın bireyler yer aldığı görülmektedir. Yine bonitet endeksi arttıkça ağaçların çap basamaklarındaki birey sayıları azalmaktadır. Bu azalma iyi bonite sahip meşcerelerde daha çok olmaktadır. Bonitet iyileştikçe ağaçlar arası rekabet artması sonucunda ağaç sayısının azalması daha çok olmaktadır.



Şekil 1. Gamma dağılım modeli ile değişik yaşlarda ağaçların çap dağılımları(BE: Bonitet Endeksleri)

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan aynı yaşlı, saf ve doğal yoldan gelmiş ve ılımlı müdahale görmüş kızılçam saf meşcerelerinin meşcerelerinde ağaçların çap basamaklarına göre değişimi modellenmiştir. Meşcere sıklığının bir değişken olarak kullanılmadığı kızılçam meşcereleri için oluşturulan çap dağılım modeline ilişkin aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar genel hasılat kurallarına uygun olarak ilk yaşlarda sivri tepeli çan eğrisine yakın bir dağılım bulunmuştur. Yaşın ilerlemesi ile bu dağılım daha basık bir şekil almıştır. Yaş ilerledikçe ve bonitet iyileştikçe ağaçlar arası rekabetin azalmasından dolayı daha yatay bir eğrinin oluştuğu görülmüştür.

Bir ağacın bulunduğu sosyal sınıf onun gelecek periyotlarda yaşama şansını da büyük ölçüde etkilemektedir. Işık ağaçlarının oluşturduğu meşcerelerde boyca geri kalmış bireyler kısa bir zaman içerisinde meşcereden kuruyarak ayrılmak durumunda kalmaktadır. Meşcere yaşı ilerledikçe, ağaç sayısı ilk önce hızlı, sonra yavaşlayan bir hızla azalmaktadır. Hayat mücadelesi iyi bonitetlerde erken başlayıp erken bitmekte, kötü bonitetlerde ise ileri yaşlara kadar hızını azaltmamaktadır. Çalışmamız kapsamında da bu şekilde elde edilen dağılım eğrileri net olarak görülmüştür.

Aynı yaşlı, saf ve doğal kızılçam meşcerelerinden alınan örnek alanlara ait çap dağılım değerlerini sağa çarpık çan eğrisi biçiminde olup Gamma dağılımına benzemektedir. Bu durum kızılçamın bir miktar gölgeye dayanma kabiliyetinde olduğunu bize göstermektedir.

Elde edilen dağılım modellerinin istatistikleri incelenince yaş ve bonitet endeksi %52 oranında çap dağılımını tanımlayabilmektedir. Bu dağılımların değişkenleri arasında sıklık derecesi eklendiği zaman daha yüksek bir tanımlama elde edileceği kesindir. Bu amaçla çap dağılımı modeline sıklık derecesi değişkeninin de sokulması gerekir.

Her çap dağılım modeli ayrı ayrı değişik örnek alan büyüklüğüne göre test edilmiştir. Kızılçam meşcereleri için kullanılan dağılım modellerinden Beta dağılım modeli için 8 ağaçlık örnek alan büyüklüğü, Weibul dağılım modeli içinde 15 ağaçlık örnek alan büyüklüğü, Normal, Gamma ve Log-normal için 17 ağaçlık örnek alan büyüklüğünün yeterli olduğu görülmüştür. Bu sonuçlarda çap dağılımının ortaya koyulmasında en uygun örnek alan büyüklüğünün 17 ağacı kapsayacak örnek alan büyüklüğü olduğu sonucuna varılmıştır.

Genel hasılat kuralı olarak ormanın ana ürünü olan odun maddesinin oluşumunda etkili olan faktörler yaş, ağaç türü genetik özellikleri, yetişme ortamı faktörleri ve silvikültürel uygulamalar şeklindedir (Kalıpsız, 1982). Sıklık önemli bir meşcere parametresi olup çap dağılımlarında da etkin bir değişkendir. Bu yüzden çap dağılım modellerinin ortaya koyulmasında sıklıkta bir değişken olarak kullanılması gerekir (Doğdaş, 2014). Böylece meşcerelerde çap dağılımının ortaya koyulmasında daha yüksek bir belirtme katsayısı ve F değeri elde edilebilir.

Dağılım fonksiyonlarını temel alan regresyon modelleri, hasılat çalışmalarında meşcere simülasyonlarına olanak sağlamaktadır. Meşceredeki bireylerin çap basamaklarına

dağılımının bilinmesiyle belirli zaman aralıklarında oluşan artımlar daha doğru olarak tahmin edilebilir.

Bu çalışmada kullanılan veriler geçici nitelikteki örnek alanlardan elde edilmiştir. Bunun yanında farklı yaş, bonitet ve sıklık derecelerindeki meşcerelerde tesis edilecek devamlı deneme alanlarının oluşturulması ve periyodik olarak ölçülmesi yoluyla çap dağılımı ile birlikte meşcere hacim ve hacim elemanları gerçeğe daha yakın tahmin edilebilir.

Teşekkür

3964-YL1-14 No'lu Proje ile bu çalışmayı maddi olarak destekleyen SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Atıcı, E., 1998. Değişik yaşlı Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarında artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 386s. İstanbul.
- Bailey, R.L., Dell, T.R., 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19:97-104.
- Borders, B.E., Patterson, W.D., 1990. Projecting stand tables: a comparison of the weibull diameter distribution method, a percentile-based projection method. *Forest Science*, 36:413-424.
- Bruce, D., Schumacher, F.X., 1950. *Forest Mensuration*. McGraw-Hill Book Company, 483p. New York.
- Cao, Q.V., 1997. A Method to distribute mortality in diameter distribution models. *Forest Science*, 43:435-442.
- Carus S., 1998. Aynı yaşlı Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) ormanlarında artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 359 s, İstanbul.
- Carus, S., Çatal, Y., 2008. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde 7-ağaç örnek nokta yöntemiyle meşcere ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımının belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, A(2):158-169.
- Clutter, J.I., Bennet, F.A., 1965. Diameter Distributions in Old-Field Slash Pine Plantations. Georgia Forest Research Council Report 13, 9p.
- Çatal, Y., 2009. Batı Akdeniz bölgesi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde artım ve büyüme. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 281 s, Isparta.
- Doğdaş, İ., 2014. Burdur-Ağlasun yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında meşcere ağaç sayısı, hacim ve hacim artımının çap basamaklarına dağılımının modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 98s, Isparta.
- Ercanlı, İ., Yavuz, H., 2010. Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-sarçam (*Pinus sylvestris* L.) karışık meşcerelerinde çap dağılımlarının olasılık yoğunluk fonksiyonları ile belirlenmesi. Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 10(1):68-83.
- Fırat, F., 1973. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No 1800/193, 359s. İstanbul.
- Gül, A.U., Mısır, M., Mısır, N., Yavuz, H., 2005. Calculation of uneven-aged stand structures with the negative exponential diameter distribution and sterba's competition density rule. *Forest Ecology and Management*, 214:212-220.
- Husch, B., Miller, C.I., Beers, T.W., 1963. *Forest Mensuration*. The Ronald Pres Company, 402pp. New York.
- Kahriman, A., Yavuz, H., 2011. Sarçam (*Pinus sylvestris* L.)-Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) karışık meşcerelerinde çap dağılımlarının olasılık yoğunluk fonksiyonları ile belirlenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12(2):109-125.
- Kalpsız, A., 1982. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No 3194/354, 349s. İstanbul.
- Lappi, J., Bailey, R.L., 1987. Estimating of the diameter increment function or other tree relations using single-count samples. *Forest Science*, 33:725-739.
- Lenhart, J.D., 1972. Cubic volume yields for unthinned old-field loblolly pine plantations in the interior west gulf coastal plain. Texas Forest Research Service, Paper No 14:46.
- Lenhart, J.D., Clutter, J.L., 1971. Cubic-Foot Yield Tables for Old-Field Loblolly Pine Plantations in the Georgia Piedmont. Georgia Forest Research Council Report 22, 13 pp.
- Lindsay, R., Wood, G.R., Woollons, R.C., 1996. Modelling the diameter distribution of forest stands using the Burr distribution. *Journal of Applied Statistics*, 23(6):609-620.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K.E., 1973. *Forest Inventory*. Cilt 2. BLV Verlagsgesellschaft. 469p. München Bern Wien.
- Mc Gree, C.E., Della-Bianca, L., 1967. Diameter Distributions in Natural Yellow Poplar Stands. Forest Service Research Paper SE-25, 7 p.
- Merganiç, J., Sterba, H., 2006. Characterisation of diameter distribution using the Weibull function: method of moments. *European Journal of Forest Research*, 125(4):427-439.
- Mike, N., Strub, R., Burkhart, H.E., 1975. A Class-Internal-Free Method for Obtaining Expected Yield from Diameter Distributions. *Forest Science*, 30:573-581.
- Nelson, T.C., 1964. Diameter Distribution and Growth of Loblolly Pine. *Forest Science*, 10:105-115.
- Nepal, S.N., Somers, G.L., 1992. A Generalized Approach to Stand Table Projection. *Forest Science*, 38:120-133.
- Newton, P.F., Lei, Y., Zhang, S.Y., 2005. Stand-level Diameter Distribution Yield Model for Black Spruce Plantations. *Forest Ecology and Management*, 209(3):181-192.
- Packard, K.C., 2000. Modeling tree diameter distributions for mixed-species conifer forests in the Northeast United States. Master Thesis, State University Of New York, 129 s., New York.
- Saraçoğlu, Ö., 1988. Karadeniz yöresi göknar meşcerelerinde artım ve büyüme. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, 312s, Ankara.
- Schreuder, T.H., Hafley, W.L., Bennet, F.A., 1979. Yield prediction for un-thinned natural slash pine stands. *Forest Science*, 25(1):25-30.

- Somers, G.L., Oderwald, R.G., Harms, W.R., Langdon, O.G., 1980. Predicting mortality with a weibull distribution. *Forest Science*, 26(2):291-300.
- Sterba, H., 1975. Assmann's theorie der grundflächehaltung die "Competition Density Rule" det Japaner Kira, Ando und Tadaki. *Cbl. f. d. ges. Forstw.* 92:46-62.
- Yavuz, H., Gül, A.U., Mısıır, N., Özçelik, R., Sakıcı, O.E., 2002. Meşcerelerde çap dağılımlarının düzenlenmesi ve bu dağılımlara ilişkin parametreler ile çeşitli meşcere öğeleri arasında ilişkilerin belirlenmesi. *Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, 18-19 Nisan, İstanbul.
- Zarnoch, S.J., Feduccia, D.P., Baldwin, V.C., Dell, T.R., 1991. Growth and Yield Predictions for Thinned and Unthinned Slash Pine Plantations on Cutover Sites in the West Gulf Region. *Research Paper SO-264*. LA, US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 32p. New Orleans.