

Kızılçam ve Karaçam Meşcerelerinde Yaprak Alanı İndeksi (YAI) ile Bazı Meşcere Özellikleri Arasındaki İlişkiler

*Ali Kemal ÖZBAYRAM¹, Emrah ÇİÇEK¹, Faruk YILMAZ¹

¹Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Düzce

*Sorumlu yazar: alikemalozbayram@duzce.edu.tr

Geliş Tarihi: 09.12.2014

Özet

Meşcere çatısının analizinde sıklıkla kullanılan ve aktif yaprak yüzey alanının doğrudan bir ölçüsü olan yaprak alanı indeksi (YAI), orman ekosistemi dinamiği ve verimlilikle yakından ilişki içerisindedir. YAI değerinin kestirilmesinde değişik yöntemler geliştirilmiştir. Son yıllarda bu yöntemlerden biri olan yarı-küresel fotoğraflar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada Bozdağ (Denizli) yöresindeki kızılçam ve karaçam meşcerelerinde YAI ile meşcere dinamiğinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yaş, orta çap, ağaç sayısı, üst boy, göğüs yüzeyi (GY), dallı gövde yüksekliği (DGY) ve ölü örtü (ÖÖ) kalınlığı gibi önemli meşcere parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kızılçamda 24 adet (299 ha), karaçamda 15 adet (171 ha) sistematik örnek alanda ölçümler gerçekleştirildi. Dijital yarı-küresel fotoğraflar yardımıyla elde edilen YAI değeri kızılçamda 0.77-2.56 m² m⁻² (ort. 1.59 m² m⁻²), karaçamda 0.78-4.66 m² m⁻² (ort. 1.70 m² m⁻²) değişen aralıkta bulundu. Regresyon analizine göre, YAI değeri kızılçamda yaş, orta çap, üst boy, GY, DGY, ÖÖ arasında pozitif yönde, karaçamda ise sadece yaş ve orta çap ile negatif yönde anlamlı ilişkiler gösterdi. Araştırma sonuçları, benzer yetiştirme ortamında bulunan farklı türlerin meşcere tiplerinin YAI üzerinde etkili olduğunu ve YAI ile ölçülen meşcere özellikleri arasındaki ilişkinin türlere göre değişebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Karaçam, Kızılçam, Yaprak alan indeksi, YAI, Yarı-küresel fotoğraf.

Relationships Between Leaf Area Index (LAI) and Some Stand Properties in Turkish Red Pine and Black Pine stands

Abstract

Leaf area index (LAI) which is commonly used for analyzing of canopy cover and a direct measurement of active leaf area is closely related to forest and site productivity. Various methods have been developed for the estimation of LAI. Recent years, hemispherical photograph that is one of the methods of LAI estimation has been used frequently. This study investigates the relationships between LAI and stand age, mean diameter, density, top height, green tree height, basal area and litter in Turkish red pine and black pine stands in Bozdağ region, Denizli. The measurements were carried out in 39 systematic sampling plots 24 of which in Turkish red pine and 15 in black pine stands. LAI values which calculated via the hemispherical photographs ranged between 0.77 and 2.56 m² m⁻² and between 0.78 and 4.66 m² m⁻² in Turkish red pine and black pine stands respectively. Regression analysis results revealed there are positive correlations between LAI value and stand age, mean diameter, top height, green tree height, basal area and litter in Turkish red pine whereas LAI value in black pine stand has negative correlation with stand age and mean diameter. Based on our results, changes of stand type are nearly effect on LAI and the correlations between LAI and some stand properties vary according to the species.

Keywords: Hemispherical photographs, Leaf area index, LAI, *Pinus brutia*, *Pinus nigra*.

Giriş

Ağaç tepelerinden müteşekkil olan meşcere tepe çatısı, orman ekosistemlerinde atmosfer ile bitki arasındaki enerji değişimi ve madde dolaşımının tanımlanmasında kritik rol oynamaktadır. Meşcere tepe çatısı özelliklerinin ölçülmesinde ve asimilasyon miktarının belirlenmesinde yaprak alanı indeksi (YAI, leaf area index) endirekt bir değişken olarak sıkça kullanılmaktadır (Kalıpsız, 1988; Carus ve Çatal, 2005). YAI, birim toprak alanı üzerindeki (m²) yaprakların bir yüzünün toplam alanı (m²)

olarak tanımlanmaktadır (Watson 1947; Chen ve Black 1992; Kara 2011).

YAI değerinin belirlenmesinde doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Doğrudan yöntemde YAI, ağaçların kesilerek tüm yaprakların örneklenmesiyle veya yaprak tuzaklarıyla elde edilmektedir. Buna alternatif ve daha pratik olarak allometrik modeller ve ışık ölçümleri (optik metot) gibi iki dolaylı yöntem kullanılabilmektedir. Ancak dolaylı yöntemlerden allometrik modeller yoğun iş gücü

gerektirebilmektedir (Asner ve ark., 2003; Coops ve ark., 2004; Dufrene ve Breda, 1995; Arias ve ark., 2007). Bu yüzden optik metotlar nispeten doğru ve hızlı bir şekilde YAI değerini kestirebildiklerinden sıklıkla tercih edilmektedir (Chen ve ark., 1997; Dufrene ve Breda, 1995; Leblanc ve Chen, 2001; Arias ve ark., 2007). Optik metotlardan birisi de yarı küresel fotoğraf çekebilen makinalar olup, YAI değerinin elde edilmesinde yoğun şekilde kullanılmaktadır (Davi ve ark., 2008, Jonckheere ve ark., 2004).

YAI orman ekolojisi, orman amenajmanı, uzaktan algılama çalışmalarında (Asner ve ark., 2003, Battaglia ve ark., 1998; Bolstad ve ark., 2001; Cannell, 1989; Sullivan ve ark., 1996; Arias ve ark., 2007) ve silvikültürel çalışmalarda (Morataya ve ark., 1999) açıklayıcı bir parametre olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle YAI ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin açıklanması ve geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Türkiye ormanlarında geniş yayılış yapan ve ekonomik açıdan en önemli türler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Türkiye’de kızılçam 5.85 milyon hektar, karaçam ise 4.69 milyon hektar alanda yayılış yapmaktadır (Anonim, 2012a).

Bu çalışmada kızılçam ve karaçam türlerinin Denizli ili Acıpayam ilçesi Bozdağ yöresindeki meşcerelerinde YAI’nin belirlenmesi ve bazı meşcere özellikleriyle arasındaki ilişkinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Tablo 1: Acıpayam ilçesine ait (37° 25' K, 29° 20' D, 941 m yükseklik) bazı meteorolojik rasat değerleri

Meteorolojik Elemanlar		Aylar												Yıl
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ortalama	1975-2010	70	70	54	50	35	20	13	9	17	31	59	89	517
Toplam	2010	90	131	12	51	38	36	8	1	2	72	21	127	588
Yağış (mm)	2011	95	88	25	61	58	37	5						
Ortalama	1975-2010	2,4	3,5	7,0	11,2	16,5	21,6	25,1	24,9	19,7	14,4	8,1	4,0	13,2
Sıcaklık (°C)	2010	4,8	4,0	9,5	12,2	17,2	20,7	26,0	27,7	19,5	13,3	11,4	6,4	14,4
	2011	3,3	4,4	7,3	11	14,8	20,4	26,4	25,3					

Çalışma sahası kalker, serpantin çakıllarının yer aldığı konglomera ve killi şistten oluşan, karstik ve boyuna çatlaklı ana kayaya sahiptir.

Sahanın asli ağaç türleri kızılçam ve karaçam olmakla birlikte, sahada alt tabakada yer yer münferit olarak sandal (*Arbutus andrachne*), laden (*Cistus sp.*), kermes meşesi (*Quercus coccifera*), sumak (*Rhus coriaria*) ve ılgın (*Tamarix sp.*) türleri yayılış göstermektedir.

Materyal ve Yöntem

Araştırma sahasının tanıtımı

Bu araştırma Denizli Orman Bölge Müdürlüğü, Acıpayam Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Bozdağ Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren doğal ve saf kızılçam ile karaçam meşcerelerinde (29°10'31" -29°20'38" D ile 37°09'19" -37°22'19" K, yükseklik 900 ile 1850 m arasında) gerçekleştirildi. Şeflik sınırları içerisinde kızılçam 6600 hektar, karaçam ise 5800 hektar alanda yayılış göstermektedir (Anonim 2012b). Bu alanlardan farklı meşcere özelliklerine sahip (çap, çağ ve yaş vb.) bireylerin bulunduğu, bir birine komşu, saf ve doğal 171 hektar büyüklüğünde karaçam ile 299 hektar büyüklüğünde kızılçam meşcereleri araştırma sahası olarak belirlendi.

Araştırma sahasına en yakın meteoroloji istasyonu Acıpayam Meteoroloji İstasyonu (941 m)'dur. Buna göre, sahanın yıllık yağışı 517 mm ve ortalama sıcaklığı 13.2°C'dir. Vejetasyon dönemi (sıcaklık>10°C) nisan-ekim ayları arasında gerçekleşmekte olup bu dönemdeki yağış 174 mm kadardır (Tablo 1).YAI değeri, ölçüldüğü yıldaki yağış miktarından daha çok bir yıl öncesi yağış miktarından önemli oranda etkilenebileceği ifade edilmektedir (Dantec ve ark., 2000). Bu nedenle ölçüm yılı (2011) ve öncesine (2010) ait meteorolojik verileri de Tablo 1'de verilmiştir.

Yöntem

Araştırma sahası olarak belirlenen kızılçam (299 hektar) ile karaçam (171 hektar) meşcerelerine harita üzerinde Coğrafi bilgi sisteminden (ArcGIS 9.3, Esri) yararlanılarak 300 x 300 m aralıklarla sistematik örnek alan noktaları atılmış ve bunların koordinatları elde edilmiştir. Sıklıkla kullanılan sistematik örnekleme (Dufrêne ve Bréda, 1995; Jonckheere

ve ark., 2005) neticesinde araştırma alanı içerisindeki kızılçam meşçeresine 24 adet, karaçam meşçeresine ise 15 adet örnek alan isabet etmiştir. Daha sonra arazide bu örnek alanlarda kapalılık farkına bakılmaksızın 800 m² alan dairesel (yarıçap ~15.96 m) olarak çevrilmiştir. Her örnek alanda meşçere dinamiğinin belirlenmesinde sıklıkla ölçülen yaş, göğüs yüksekliği çapı (d_{1.30}), ağaç sayısı, üst boy, göğüs yüzeyi alanı (GY), dallı gövde yüksekliği (DGY) ve ölü örtü kalınlığı belirlenmiştir. Örnek alanlarda yaş en boylu 5 ağaçta artım burgusuyla, d_{1.30} çapı tüm ağaçlarda çap ölçer (mm) yardımıyla, en boylu 10 ağaçta, üst boy ve DGY boy ölçerle (Blume Leiss), ölü örtünün mineral toprağa kadarki kalınlığı rastgele 3 farklı noktada cetvelle (mm) ölçülmüştür. DGY değeri ağaç boyu değerinden yeşil dal başlangıç yüksekliğinin (toprakdan itibaren) çıkartılmasıyla hesaplanmıştır. Orta çap, deneme alanındaki tüm ağaçların d_{1.30} çaplarının aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Her ağacın GY'yi, ölçülen d_{1.30} çap değeri üzerinden hesaplanmış ve bu değerler toplanarak örnek alanın toplam GY'yi bulunmuştur. Sonra, GY ve ağaç sayısı emsal katsayısı (10.000m²/800m²=12.5) ile çarpılarak hektara çevrilmiştir.

YAI değerini belirlemek için tüm ölçümler 2011 yılı Temmuz ayının son haftasında gerçekleştirilmiştir. Her örnek alanda ölçüm ve temsiliyet hassasiyetini artırmak için 5 farklı noktada YAI ölçümü yapılmıştır. Ölçümün biri daire şeklindeki örnek alanın merkezinde, diğerleri merkezin 5'er m kuzeyinde, doğusunda, güneyinde ve batısında yapılmıştır. Her ölçüm noktasında beş farklı pozda yerden

ağaçların tepesine doğru yarı küresel dijital fotoğraflar çekilmiştir (Şekil 1). Böylece her örnek alanda toplam 25 adet (5 farklı nokta x 5 farklı adım) dijital görüntü alınmıştır. Bu çalışmada 183° görüş alanına sahip 8 mm'lik yarı-küresel (balıkgözü) lens takılı fotoğraf makinesi (Nikon Coolpix 8400, Japon) kullanılmıştır. Kamera ve lens tripod üzerine kendinden ayarlı montaj düzeneği ile yerleştirilmiştir. Fotoğraflar her zaman lensin en üst kısmı yerden 1.5 m yüksekte ve manyetik kuzeye yönlendirilmiş şekilde çekilmiştir. Fotoğraf çekimleri yaprak ve boşluklar arasındaki belirginliğin yüksek olduğu ve direkt güneş ışığının objektife vurmadığı zamanlarda yapılmıştır.

Her noktada elde edilmiş 5 farklı pozdaki fotoğraflardan yaprak-gökyüzü arasındaki farklılığın en belirgin olanı seçilmiştir. Kızılçamda 24 örnek alanda 120 adet, karaçamda 15 örnek alanda 75 olmak üzere toplam 195 görüntü analiz için ayrılmıştır. Ayrılan dijital görüntüler Hemiview v2.1 (Delta-T Devices, UK) paket programında analiz edilerek YAI ve kapalılık homojenliği değeri elde edilmiştir. Kapalılık homojenliği görüntü içerisindeki kapalılık oluşturan nesnelerin homojen dağılıp dağılmadığını göstermektedir. Bu paket program YAI değerini yarı küresel fotoğraflardan farklı başucu ve semt açıları kestirilerek elde edilen boşluk oranından (Beer's kuralı) hesaplamaktadır (Hemiview, 1998). YAI ile ölçülen bazı meşçere özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için SPSS 11.0 paket programında regresyon analizi uygulanmıştır..



Kızılçam



Karaçam

Şekil 1: Balıkgözü lensli fotoğraf makinesiyle çekilmiş yarı küresel fotoğraf örnekleri

Regresyon modellerinden en iyi tahmin sonucunu veren modelin belirlenmesinde, belirtme katsayısının (R^2) olabildiğince büyük ve standart hatanın da olabildiğince küçük değerlerde olmasına dikkat edilmiştir. YAI, kapalılık ve kapalılığın homojenliğine göre türler arasında $p < 0.05$ önem düzeyinde farklar olup olmadığı ise “iki toplum ortalaması arasındaki farkın önemlilik testi (independent t-test)” kullanılarak analiz edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

YAI değeri ortalama olarak kızılçam meşçeresinde $1.59 \pm 0.38 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, karaçam meşçeresinde $1.70 \pm 0.65 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak

hesaplanmıştır. En yüksek YAI değeri kızılçam meşçeresinde (Çzd₃, yaş 95, sıklık 243 adet ha⁻¹) $2.56 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, karaçam meşçeresinde (Çkb₃, yaş 66, sıklık 2525 adet ha⁻¹) $5.57 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Kızılçam ve karaçam meşçerelerindeki ortalama YAI ve kapalılık değerleri arasındaki fark istatistiki olarak önemsizken, meşçere kapalılığı homojenliği arasındaki fark önemli bulunmuştur ($P < 0.05$, Tablo 1). Buna göre kızılçam meşçeresinin tepe dağılımı, karaçama göre daha homojen olduğu söylenebilir.

Tablo 1. Örnek alanlarda ölçülen YAI değerlerine ait bazı istatistiki veriler (YAI: Yaprak alan indeksi, YAI_{hom}: Meşçere kapalılığı homojenliği).

Tür	Ölçülen Parametreler	n	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Kızılçam	YAI	120	1.59	0.38	0.77	2.56
	Kapalılık		0.50	0.21	0.13	0.76
	YAI _{hom}		1.36*	0.33	0.79	2.13
Karaçam	YAI	75	1.70	0.65	0.61	5.57
	Kapalılık		0.53	0.24	0.16	0.88
	YAI _{hom}		1.63*	0.62	0.78	4.66

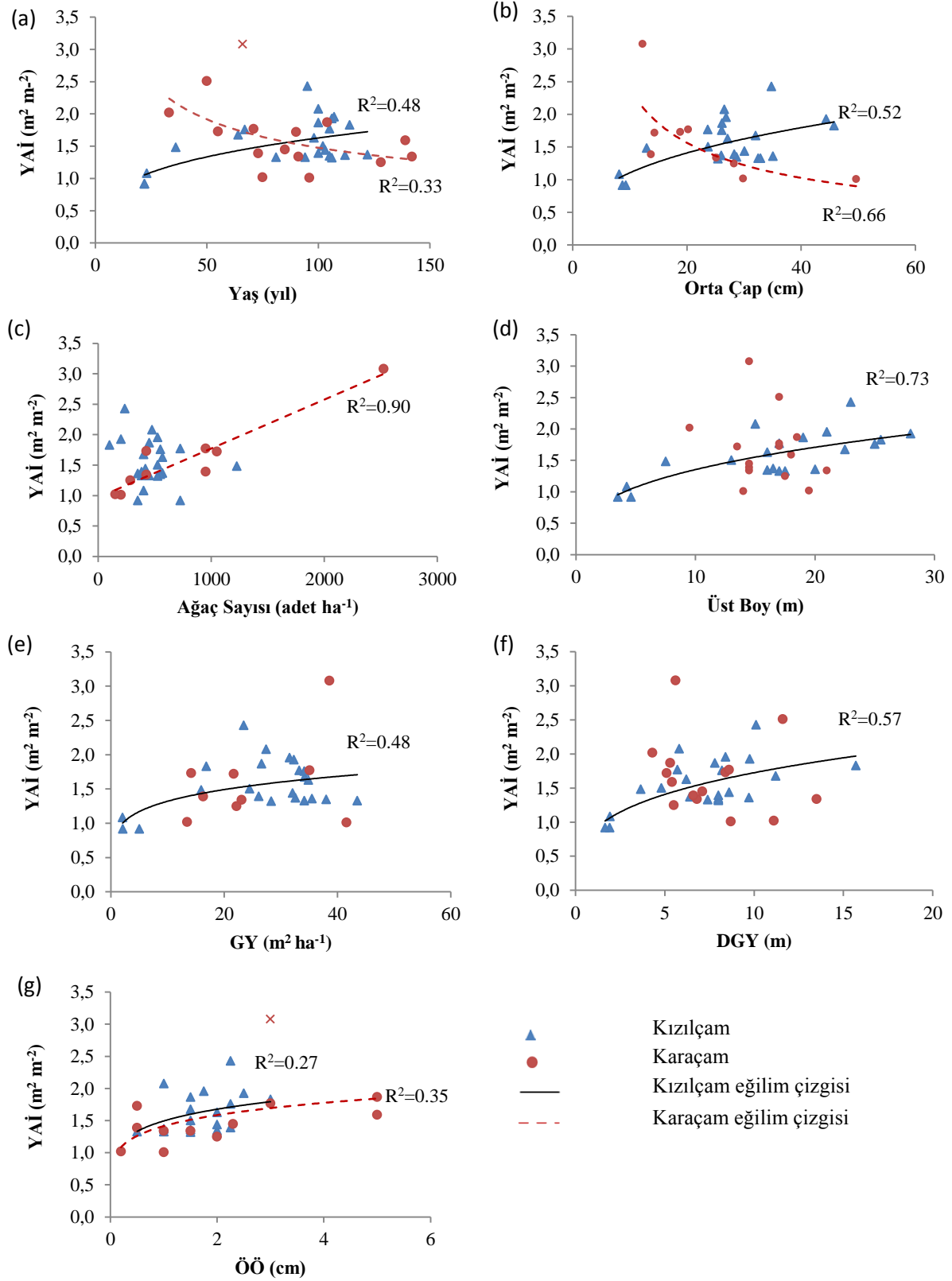
* $P < 0.05$ göre farklıdır.

YAI değeri türlere göre farklılıklar göstermektedir. İbrelili türlerde YAI değeri saf göknar (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana*) meşçeresinde $2.94 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Kara ve ark., 2011), *Pinus banksiana*'da $1.80 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, *Picea mariana*'da $5.60 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Gower ve ark., 2012), *Abies balsamea*'da $3.10-7.40 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında, *Pinus rubens* de $3.75-7.45 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında (Derose, 1998) belirlenmiştir. Ayrıca aynı türün farklı meşçerelerinde dahi YAI değeri yüksek değişkenliğe sahip olabilmektedir. Örneğin bir çok farklı sarıçam meşçeresinde ölçülen YAI değeri $1.48 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ile $3.40 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında değiştiği görülmüştür (Soudani ve ark., 2002; Smolander ve Stenger, 1995; Jonckheere ve ark., 2005). Kızılçam ve karaçam meşçerelerindeki YAI yukarıda yer alan çam türlerinin YAI'ine yakın değerlerde iken, diğer türlerden (göknar, ladin vs.) daha düşük bulunmuştur. Bu, tür farklılığı yanında farklı

yetişme ortamı ve ölçüm metodundan kaynaklanmış olabilir.

YAI ekosistemler arasında da büyük değişiklikler göstermekte, Oregon'un merkez-batısındaki ılıman ibrelili ormanlarda 0.60 ile $16.1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında değişirken (Peterson, 1987), ılıman herdem yeşil yapraklı ve ibrelili ormanlarda 0.01 ile $47.0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ arasında değiştiği (Asner ve ark., 2003), kurak mınıtkada $1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ 'nin altında düşerken, bazı ibrelili ormanlarda $20 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ 'nin üzerine çıktığı (Kozlowski ve ark., 1991) belirtilmektedir. Bu çalışmada ise YAI değeri kızılçam meşçeresinde $0.77-2.56 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, karaçam meşçeresinde $0.61-5.57 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ aralığında yer almakta ve literatürle paralellik arz etmektedir.

Kızılçam ve karaçam türlerine ait meşçerelerin bazı özellikleri ile YAI değerleri arasında elde edilen ilişkiler Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kızılcım ve karaçamda YAI ile yaş, meşcere orta çapı ($d_{1,30}$), ağaç sayısı, üst boy, dallı gövde yüksekliği (DGY), göğüs yüzeyi (GY) ve ölü örtü kalınlığı (ÖÖ) ilişkileri

Yaş ile YAI arasında her iki meşcerede de istatistiki olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bu ilişki kızılçam meşceresinde ($R^2=0.48$) karaçam meşceresinden ($R^2=0.33$) daha

güçlüdür. Her iki ağaç türünde ilişki üs fonksiyon şeklinde, kızılçamda pozitif yönde, karaçamda negatif yönde seyir izlemektedir (Şekil 2-a; Tablo 2). Kızılcım biyolojisi gereği

ve karstik arazi yapısında geliştiği için seyrek bir meşcere yapısına sahiptir (Odabaşı ve ark., 2004). Özellikle kızılçamın genç meşcerelerinde kapalılık tam oluşmadığı için YAİ değeri karaçama göre daha düşük olduğu söylenebilir. İleri yaşlarda bireyler geliştikçe tepesini genişletmesi ve dikey dallanması ile yaprak miktarını ve yüzey alanını artırmakta ve böylelikle YAİ değerini yükseltebilmektedir. Bunun yanında orta çap YAİ ilişkisi de bunu desteklemektedir (Şekil 2-b; Tablo2). Kızılçam meşceresinde orta çap yükseldikçe YAİ değeri de yükselmekte ve bu ilişki üs fonksiyon şeklinde gelişmektedir ($R^2=0,52$). Benzer sonuç Jonckheere ve ark., (2005) tarafından da Avrupa kayının da bulunmuştur. Meşcere yaşının ilerlemesine bağlı orta çapın artması ($R^2=0,85$; $p < 0,001$) neticesinde bu iki değişken YAİ ile benzer ilişkiler göstermiştir.

Karaçam meşceresi yaşlandıkça YAİ değerinin düşmesi, ağaç sayısının azalmasına veya daha ileri yaşlarda kapalılığın bozulmasına bağlanabilir. Nitekim Şekil2-c’de görüldüğü gibi ağaç sayısı ile YAİ arasında pozitif yönde doğrusal bir ilişki mevcuttur ($R^2=0,90$). Dantec ve ark., (2000) meşe ve kayın ormanlarında YAİ ile ağaç sayısı arasında pozitif ve anlamlı ($n=32$, $R^2=0,80$) ilişki bulmuşlardır. Ayrıca orta çap YAİ ilişkisi de bunu desteklemektedir (Tablo 2). Şekil 2-b incelendiğinde karaçam meşceresinde

orta çap yükseldikçe YAİ değeri azalmaktadır ($R^2=0,63$; Tablo 2)

Üst boy ve YAİ arasında kızılçam meşceresinde güçlü ilişki bulunmuştur ($R^2=0,73$; Tablo 2). Kızılçam meşceresinde üst boy arttıkça YAİ değeri de artmakta, bu artış üs fonksiyon şeklinde olmaktadır (Şekil 2-d). Arias ve ark., (2007) Kostarika’da 6 farklı türde yaptıkları çalışmada YAİ ile üst boy arasında pozitif yönde, genelde doğrusal olmak üzere logaritmik ve üs fonksiyonlu ilişkiler bulmuşlardır. Bu çalışmada YAİ, üst boydaki varyasyonun % 73 ünü açıkladığı için meşcere verimliliğinin (bonitet) bir göstergesi olarak kullanılabilir. Nitekim birçok çalışmada YAİ ile verimlilik arasında güçlü pozitif ilişkiler bulunmuştur (Girer ve Running, 1977; Maguire ve ark., 1998). Üst boya benzer şekilde YAİ ile DGY arasında sadece kızılçam meşceresinde önemli ve pozitif yönde ilişki ($R^2=0,56$) elde edilmiştir (Şekil 2-e; Tablo2). DGY gövdedeki dallanma miktarının ve yaprak alanının yüksek olduğunun bir göstergesi olabilir. Çünkü bazı çalışmalarda dal kalınlığı ve miktarı ile yaprak alanı ve miktarı arasında güçlü pozitif ilişkiler bulunmuştur (Jonckheere ve ark., 2005; Dantec ve ark., 2000). Ayrıca ormanların net birincil toprak üstü üretimdeki varyasyonun % 80-90’ını YAİ ile açıklanabileceği belirtilmektedir (Gholz, 1982; Gower ve ark., 1992; Dantec ve ark., 2000).

Tablo 2: Bozdağ işletme şefliğindeki bazı meşcere özellikleriyle YAİ arasındaki regresyon denklemlerine ait bilgiler (S: Sabit sayı, MSE: Ortalama standart hata).

Değişken (x)	S	a	R ²	F	MSE	P	Denklem
Kızılçam							
Yaş (yıl)	0.469	0.262	0.48	17.71	0.16	<0.001	YAİ=Sx ^a
Üst Boy (m)	0.642	0.313	0.73	42.62	0.13	<0.001	YAİ=Sx ^a
DGY (m)	0.877	0.276	0.57	25.23	0.15	<0.001	YAİ=Sx ^a
GY (m ² /ha)	0.870	0.168	0.48	17.60	0.16	<0.001	YAİ=Sx ^a
Orta Çap (cm)	0.530	0.318	0.52	20.48	0.16	<0.001	YAİ=Sx ^a
Ölü örtü (cm)	1.420	0.180	0.27	5.26	0.13	<0.05	YAİ=Sx ^a
Karaçam							
Yaş (yıl)	1.074	37.575	0.33	5.92	0.35	<0.05	YAİ=S+a/x
Orta Çap (cm)	-0.28	13.498	0.66	13.82	0.21	<0.01	YAİ=exp(S+a/x)
Ağaç Sayısı (adet/ha)	0.97	0.001	0.90	59.64	0.22	<0.001	YAİ= S+ax
Ölü örtü (cm)	2.54	-3.150	0.35	5.35	0.84	<0.05	YAİ=exp(S+a/x)

Kızılçam meşceresinde GY ile YAİ arasında pozitif yönde anlamlı ilişki ($R^2=0,48$) bulunmuştur (Şekil 2-f; Tablo 2). Benzer ilişkiyi Buckley ve ark. (1999) meşe ve çam meşcerelerinde doğrusal fonksiyon şeklinde bulmuşlardır. Ayrıca Kashian ve ark., (2005) *Pinus contorta*’da GY ve YAİ arasında anlamlı ilişki olduğunu ($R^2=0,51$) ve bu ilişkinin genç

meşcerelerde daha değişken seyrettiğini, meşcere sıklığı ve yaşının bu ilişkiyi öncelikli olarak etkilediğini bildirmektedir.

Karaçam meşcerelerinde YAİ ile üst boy ve DGY ile GY arasında anlamlı/güçlü ilişkiler bulunamamıştır. Bu durum karaçam meşcerelerindeki örnek alan miktarının daha az sayıda olmasından kaynaklanabilir.

Kızılçam meşceresinde ortalama ölü örtü kalınlığı (1.73 ± 0.6 cm), karaçamdan (2.08 ± 1.6 cm) daha düşük bulunmuştur ($P < 0.05$). Her iki türde de ölü örtü ve YAI arasında önemli, pozitif yönde ancak güçlü olmayan ilişkiler bulunmuştur. Karaçamdaki ($R^2 = 0.39$) ilişkinin gücü kızılçamdan ($R^2 = 0.27$) biraz daha fazladır. Kara ve ark. (2008) YAI değeri yüksek olan meşcerede ölü örtü miktarını da yüksek bulmuşlardır. YAI değeri kızılçamdaki ölü örtü varyasyonunun % 27'ini, karaçamda ise % 39'unu açıklamaktadır. Kalan varyasyonları ise meşcerelerin diğer ekolojik özelliklerinin etkilediği düşünülebilir. Kantarcı (2000) ormandaki ölü örtü miktarını mevkii, iklim ve yeryüzü şekli, ağaç türü, orman yaşı, kapalılık derecesi ve sıklığı, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ve toprak canlılarının etkilediğini belirtmiştir.

Sonuç ve Öneriler

YAI değeri kızılçam meşcerelerinde ortalama olarak $1.59 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, karaçam meşceresinde $1.70 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ olarak ölçülmüştür. Bunun yanında, kızılçam ve karaçamın bazı meşcere özellikleri ile YAI arasında ilişkiler olduğu belirlenmiştir. YAI ile kızılçamda yaş, orta çap, üst boy, GY, DGY ve ölü örtü arasında; karaçamda ise yaş, orta çap, ağaç sayısı ve ölü örtü arasında istatistiki olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Yaş ve orta çapın artmasına bağlı olarak YAI değeri kızılçamda artan, karaçamda azalan seyir izlemiştir. Buna göre, YAI ile yaş ve orta çap arasındaki ilişkiler farklı iki tür olan kızılçam ve karaçamda farklı şekilde gelişebilmektedir.

Üst boy, GY ve DGY ile YAI değeri arasında anlamlı ilişki yalnız kızılçamda ve pozitif yönde elde edilebilmiştir. YAI ile ölü örtü arasında her iki türde de pozitif yönde ilişki bulunmuştur.

Elde edilen verilerle geliştirilen regresyon denklemleri farklı yetişme ortamlarında ve farklı yapıya sahip meşcerelerde farklılık gösterebilir. Farklı meşcere yapılarında farklı regresyon denklemlerine ihtiyaç duyulabilir. Elde edilecek yeni modeller ile bu araştırmada ortaya konan modeller karşılaştırılabilir. Özellikle amenajman planı yapımında sıklıkla ölçülen GY, yaş, çap, boy ve ağaç sayısı gibi verilerden bu denklemler yardımıyla YAI değerleri belirli doğrulukta kestirilebilir. Ayrıca uydu görüntülerinden elde edilecek YAI değerleri yersel optik YAI değerleriyle karşılaştırılarak, uydu görüntüsü ile tespiti zor bazı meşcere özellikleri (hacim gibi)

modeller yardımıyla kabul edilebilir doğrulukta elde edilebilir.

Buna ek olarak ölçülen YAI değerleri, diğer doğru (kesme ve tuzak) ve dolaylı (uydu görüntüsü, LAI-2000 cihazı vb.) YAI ölçüm yöntemleriyle ulaşılabilecek sonuçlarla karşılaştırılabilir (Kara ve ark. 2011).

Teşekkür

Arazi çalışmalarında yardımlarını gördüğümüz Küresel-ENKA Mühendislik çalışanları Orman mühendisleri Nevzat TATMAN ve Nuro ÇAĞLAYAN'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Anonim, 2012a. Türkiye orman varlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara, 85/12.

Anonim, 2012b. Bozdağ orman işletme şefliği orman amenajman planı (2012-2021), Acıpayam, Denizli.

Arias D., Calvo-Alvarado J., Dohrenbusch A. 2007. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica, Forest Ecology and Management, 247,185-193.

Asner GP., Scurlock JH., Hicke JA., 2003. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies, Global Ecol. Biogeogr., 12,191-205.

Battaglia M., Cherry M., Beadle C., Sands P., Hingston A. 1998. Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effects of water stress and temperature, Tree Physiol., (18), 521-528.

Bolstad P., James M., Vose V., McNulty G. 2001. Forest productivity, leaf area, and terrain in southern Appalachian deciduous forests, For. Sci., 47 (3), 419-427.

Buckley DS., Isebrands JG., Sharik TL. 1999. Practical field methods of estimating canopy cover, PAR and LAI in Michigan oak and Pine stands, Northern Journal of Applied Forestry, 16 (1), 25-32.

Cannell MGR. 1989. Physiological basis of wood production: a review, Scand. J. For. Resour., 4, 459-490.

Carus S., Çatal Y. 2005. Yaprak yüzeyinin Karaçam ve Toros sediri fidanlarında dip çap ve boy artımı üzerindeki etkileri, S.D.Ü Orman Fakültesi dergisi, Seri A, 2, 52-61.

Chen JM, Rich PM, Gower ST, Norman JM, Plummer S, 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements, J. Geophys. Res. Atmos., 102, 29429-29443.

Chen, JM., Black TA. 1992. Defining leaf-area index for Non-Flat Leaves, Plant Cell. Environ., 15, 421-429.

- Coops NC., Smith ML., Jacobsen KL., Martin M., Ollinger S. 2004. Estimation of plant and leaf area index using three techniques in a mature native eucalypt canopy, *Aust. Ecol.*, 29, 332-341.
- Dantec V L., Dufrene E., Saugier B., 2000. Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands, *Forest Ecology and Management*, 134, 71-81.
- Davi H., Baret F., Huc R., Dufrene E. 2008. Effect of thinning on LAI variance in heterogeneous forests, *Forest Ecology and Management*, 256, 890–899.
- DeRose RJ. 1998. Leaf area index-Relative density relationship in even-aged *Abies balsamea-Picea rubens* stands in Maine, Master of Science Thesis, The University of Maine.
- Dufrene E., Breda N. 1995. Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods, *Oecologia*, 104, 156–162.
- Gholz HL. 1982. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest, *Ecology*, 53, 469-481.
- Gower ST., Vogel JG., Norman CL., Kucharik CJ., Steele SJ., Stow TK. 2012. Carbon distribution and aboveground net primary production in Aspen, Jack pine and Black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102, 29029-29041.
- Gower ST., Vogt KA., Grier CC. 1992. Carbon dynamics of Rocky Mountain Douglas-fir: influence of water and nutrient availability, *Ecol. Monogr.*, 62, 43-65.
- Grier C C., Running S W. 1977. Leaf area of mature northwestern coniferous forests: relation to water balance, *Ecology*, 58, 893-899.
- HemiView, 1998. User Manual, version 2.1, Delta-T Devices, Cambridge, United Kingdom.
- Jonckheere I., Fleck S., Nackaerts K., Muys B., Coppin P., Weiss M., Baret F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography, *Agricultural and Forest Meteorology*, 121, 19-35.
- Jonckheere I., Muys B., Coppin P. 2005. Allometry and evaluation of in situ optical LAI determination in scots pine: a case study in Belgium, *Tree Physiology*, 25, 723-732.
- Kalıpsız A., 1988. Orman Hasılat Bilgisi. İÜ. Yayın No: 3516, Orman Fakültesi Yayın No: 397, 349, İstanbul.
- Kantarıcı MD. 2000. Toprak İlimi, İstanbul Üniversitesi, Yayın no: 4261 /462, İstanbul.
- Kara Ö., Şentürk M., Bolat İ., Çakıroğlu K., 2011. Kayın, Gökmar ve Gökmar-Kayın meşcerelerinde yaprak alan indeksi ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler, *Journal of the Faculty of Forestry, İstanbul Univ.*, 61(1), 47-54.
- Kashian DM., Turner MG., Romme WH. 2005. Variability in leaf area and stem wood increment along a 300-year lodgepole pine chrono sequence, *Ecosystems*, 5, 48-61.
- Kozłowski T T., Kramer P J., Pallardy S G. 1991. *The Physiological ecology of woody plants.* academic Press, New York, 657 pp.
- Leblanc SG., Chen JM. 2001. A practical scheme for correcting multiple scattering effects on optical LAI measurements, *Agric. For . Meteorol.*, 110, 125-139.
- Maguire DA, Brissette JC, Gu L., 1998. Crown architecture and growth efficiency of red spruce in uneven-aged, mixed species stands in Maine, *Can. J. For. Res.*, 28, 1233-1240.
- Morataya R., Galloway G., Berninger F, Canine M, 1999. Foliage biomass sapwood (area and volume) relationships of *Tectona grandis* L.F. and *Gmelina arborea* Roxb.: silvicultural implications, *For. Ecol. Manage.*, 113, 231–239.
- Odabaşı T., Çalışkan A., Bozkuş HF., 2004. *Silvikültür Tekniği*, İstanbul Üniversitesi, Yayın no: 4459 /475, İstanbul.
- Peterson DL., Spanner MA., Running SW., Teuber KB, 1987. Relationship of thematic mapper simülator data to leaf area index of temperate coniferous forest, *Remote Sensing of Environment*, 22(3), 323-341.
- Smolander H., Stenger P., 1995. Response of LAI-2000 estimates to changes in plant surface area index in a scots pine stands, *Tree Physiology*, 16 (3), 345-349.
- Soudani K., Trautmann J., Walter JMN. 2002. Leaf area index canopy stratification in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands, *Int. J. Remote sensing*, 23(18), 3605-3618.
- Sullivan NS., Bolstad PV., Vose J., 1996. Ecophysiology of twelve forest tree species in the southern Appalachian Mountains, *Tree Physiol*, (16), 397–406.
- Watson DJ. 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years, *Annals of Botany*, 11, 41-76.