

Yersel lazer tarama ile tek ağaç özelliklerinin belirlenmesi

İbrahim Özdemir

Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yaban Hayatı Ekolojisi ve Yönetimi Bölümü, Isparta

İletişim yazarı/Corresponding author: ibrahimozdemir@sdu.edu.tr, Geliş tarihi/Received: 14.10.2012, Kabul tarihi/Accepted: 28.11.2012

Özet: Bu çalışma, sabit bir noktadan Yersel Lazer Tarama (YLT) ile elde edilen veriler kullanılarak bazı tek ağaç özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma, Kuzey İngiltere'deki bir kent ormanında bulunan, iki kayın, iki Korsika çamı ve bir Douglas göknarı meşceresinde gerçekleştirilmiştir. Tek ağaçta -çap, ağaç boyu, tepe boyu, tepe çapı- özellikleri, hem yersel hem de lazer nokta bulutu üzerinden ölçülmüştür. Toplam 127 ağaçta (Kayın + Korsika çamı) göğüs çapı ve 45 ağaçta (Korsika çamı) ağaç boyu, tepe boyu ve tepe çapı belirlenmiştir. Sıklığın yüksek olduğu (ağaç sayısı 1393 ha⁻¹) Douglas göknarı meşceresinden alınan örnek alanda ise herhangi bir ölçüm yapılamamıştır. Arazide doğrudan ölçümle elde edilen ve lazer verisinden çıkarılan ağaç özellikleri arasındaki ilişkiler basit regresyon analizleriyle ortaya koyulmuştur. Elde edilen belirtme katsayıları (R^2) ve ortalama hata kareleri karekökü (RMSE) değerleri sırasıyla, göğüs çapı için 0,91 ve 5,84 cm; ağaç boyu için 0,88 ve 1,1 m; tepe boyu için 0,83 ve 1 m; tepe çapı için ise 0,65 ve 0,81 m'dir. Tek noktadan taranan lazer verileriyle; a) sıklığın düşük olduğu meşcerelerde belirli miktardaki gövdede göğüs çapı; b) tepe kapalılığının düşük olduğu (<%70) iğne yapraklı ağaç türlerinden oluşan meşcerelerde belirli sayıda bireyde ağaç boyunun ve bazı tepe özelliklerinin belirlenebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Lidar, Orman envanteri, Meşcere yapısı

Determination of individual tree characteristics with terrestrial laser scanning

Abstract: In this study, the potential of Terrestrial Laser Scanning (TLS) data obtained from a single point on determination of some individual tree characteristics was assessed. The study was carried out in two beech stands, two Corsican pine stands, and one Douglas fir stand located in an urban woodland in the North England. The targeted tree attributes including diameter at breast height (DBH), tree height, crown base height, and crown width were determined both by the field measurements and from the laser point cloud data. Totally, we measured the DBH in 127 trees in the beech and Corsican pine plots, and the tree height, crown base height, and crown width were determined in 45 trees in only the Corsican pine plots. However, we were not able to measure any tree attributes on the laser point cloud in the sampling plot taken from Douglas fir stand due to high stand density (1393 trees ha⁻¹). The relationships between field-measured and laser-derived tree attributes were determined using simple regression analyses. The obtained determination coefficients (R^2) and root mean square errors (RMSE) were; 0,91 and 5.84 cm for DBH; 0,88 and 1,1 m for tree height; 0,83 and 1 m for crown base height; 0,65 and 0,81 m for crown width, respectively. It was concluded that using laser data obtained from a single scan, a) the DBH in definite rate of individuals might be measured in the forest stands with low density; and similarly in some trees, b) the tree height and the other crown characteristics might be determined in conifer stands with a canopy cover less than 70 percent.

Keywords: Lidar, Forest inventory, Stand structure

1. Giriş

Sadece odun üretiminin sürekliliğini sağlamak amacıyla bir orman işletmesi planlanırken, ağaç serveti ve artımına yönelik yapılan ölçme ve gözlemlerin yeterli olabileceği öngörülebilir. Ancak tüm orman fonksiyonlarını dikkate alan yeni amenajman yaklaşımında envanter gereksinimleri çeşitlendiğinden, tüm ürün ve hizmetleri dikkate alan değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda özellikle biyolojik çeşitliliği belirlemeye yönelik çabaların arttığı gözlemlenmektedir (Özkan, 2002). Meşcerelerin çeşitliliğinin (meşcere tipi sayısı) ve mekansal dizilişinin (meşcerelerin coğrafi düzeni), ayrıca da tek meşcerenin yapısal çeşitliliğinin (ağaç tepelerinin tabakalanma durumu ve gövdelerin mekansal düzeni) biyolojik çeşitliliğin dolaylı bir göstergesi olduğu genel olarak kabul görmektedir (MacArthur ve MacArthur, 1961; Magurran, 1998; Clawges vd. 2008; Hinsley vd. 2009, Wood vd. 2012). Dolayısıyla hem meşcerelerin

çeşitliliğinin, hem de meşcere içindeki çeşitliliğin artırılması amacıyla, hasat ve diğer bakım müdahalelerinin nasıl uygulanması gerektiği konusu çözümlenmeyi beklemektedir. Bir işletmedeki meşcerelerin ya da diğer meşcere tanımına girmeyen bitki topluluklarının oluşturduğu alanların çeşitliliğinin sağlanması, bunların birbirleriyle olan komşuluk ilişkilerinin düzenlenmesi, coğrafi bilgi sistemi destekli yapılan çalışmalarla (Konumsal Planlama) mümkün olabilmektedir (Başkent ve Jordan, 1996; Başkent, 1999). Bir meşcerenin yapısal çeşitliliği ise, doğal yaşlı meşcere yapılarını taklit eden silvikültürel müdahalelerle şekillendirilebilmektedir.

Meşcerenin mevcut dikey kuruluşunu yani ağaç tepelerinin tabakalanma durumunu belirlemek için ağaç boyutlarının çeşitliliğinden yararlanılmaktadır. Bu amaçla, ağaç tepesinin boyutları ile yüksek korelasyon gösteren, göğüs çapı ya da bunlardan hesaplanan göğüs yüzeyinin çeşitliliği çoğunlukla tercih edilmektedir (Lexerod ve Eid, 2006; Özdemir ve Karnieli, 2011). Ancak ölçümü kolay

olan bu özellikler, bazen meşceredeki gerçek tabakalanma durumunu temsil etmeyebilmektedir. Bu yüzden tepe boyutlarının veya ağaç boylarının doğrudan ölçülerek meşcerenin dikey çeşitliliğinin belirlenmesinin daha güvenilir olduğu düşünülmektedir. Boy, tepe hacmi, tepe çapı ve tepe yüksekliğinin yersel yöntemlerle ölçümü zaman alıcı ve yorucudur. Bu sebeple daha hızlı ölçme ve değerlendirme araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Lazer tarama veya diğer adıyla LIDAR (Light detection and Ranging) teknolojisi meşcerenin dikey yapısını hızlı biçimde belirlenmesinde kullanılabilir (Parker vd., 2004). Hava platformlarından elde edilen lazer verileri, iğne yapraklı ağaç türlerinin saf ya da baskın olduğu meşcerelerden oluşan ormanlarda meşcere yapısal çeşitliliğinin belirlenmesinde güvenilir bir bilgi kaynağıdır. Ancak bu teknoloji geniş alanlarda yapılacak değerlendirmeler için henüz çok pahalıdır. Ayrıca tepe formu karmaşık olan ve gölgeye dayanıklı ağaç türlerinin bulunduğu meşcerelerde bir takım yetersizlikleri bulunmaktadır (Lefsky vd., 2002). Öte yandan, meşcerenin doğrudan içine girerek uygulanan yersel lazer tarama (YLT), bir meşcerenin yapısal çeşitliliğinin belirlenmesinde iyi bir alternatif olabilir. Yersel lazer tarama nesnelerin üç boyut (3B) bilgilerinin hızlı biçimde çıkarılmasını sağlayan bir tekniktir (Altuntaş ve Yıldız, 2008). Bu teknik kullanılarak bir meşcerenin dikey kuruluşu üç boyutlu olarak belirlenebilir. Nitekim Parker vd. (2004) taşınabilir bir lazer tarayıcı ile meşcere yapısının ortaya koyulabileceğini göstermişlerdir.

YLT teknolojisinin orman envanterinde değişik amaçlarla kullanılabilirliğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Thies vd. (2004) ve Fleck vd. (2007) tepe boyunun oldukça yüksek bir hassasiyetle ($R^2=0,99$) ölçülebileceğini bildirmişlerdir. Danson vd. (2007) ve Lovell vd. (2003) yaptıkları araştırmalarda tepe kapallık oranının belirlenmesinde YLT'nin balıkgözü objektiflerden elde edilen fotoğraflarla aynı doğruluğu sağladığını bulmuşlardır. Bu teknoloji ayrıca dikili ağaçlarda odun kalitesinin tahmin edilmesinde de kullanılmaktadır (Schütt vd. 2004). Bir ağacın kesilmesine gerek kalmadan, YLT'den elde edilen verilerden, özel yazılımlar kullanılmak suretiyle (örn: AutoStemTM) otomatik olarak ve çok hassas biçimde tek ağaç hacminin belirlenmesi de mümkündür (Hopkinson vd. 2004). YLT'nin diğer bir kullanım alanı da, ancak bir ağacın kesilip tek tek yapraklarının ayıklanmasıyla mümkün

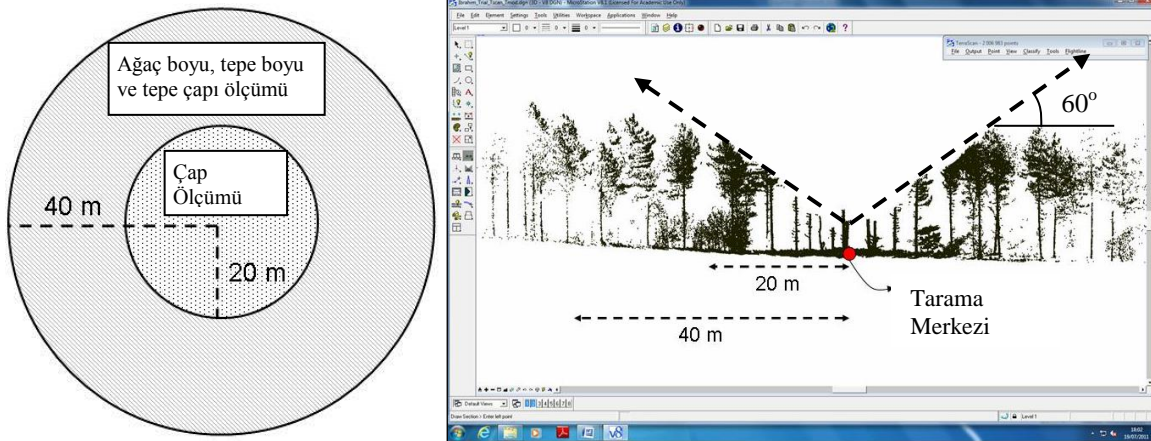
olan tepe yaprak miktarının belirlenmesidir. Bu konuda Clawges vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, yersel lazer tarayıcı kullanılarak ağaçların yaprakları döktükleri ve dökmedikleri zamanlarda yapılan taramalarda elde edilen lazer ışınlarının dönüş yoğunlukları arasındaki farka dayalı olarak, oldukça yüksek doğrulukta yaprak yüzeyi tahmin edilmiştir ($R^2=0,82$).

Bugüne kadar yapılan çalışmalara bakıldığında, durulan bir noktadan yersel lazer tarama cihazlarıyla, çeşitliliği belirlemede temel alınan tek ağaç özelliklerinin (özellikle tepe boyutlarıyla ilgili özellikler) belirlenmesine yönelik az sayıda araştırmaya rastlanmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada, yersel yöntemlerle ölçülen ve tek noktadan algılanan lazer verisinden çıkarılan tek ağaç özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Çalışma alanı ve arazi ölçümleri

Yersel lazer tarama verileri, İngiltere'de bulunan bir kent ormanındaki beş farklı özellikteki meşcereden elde edilmiştir. Bunlardan ikisi farklı sıklıktaki kayın (*Fagus sylvatica*) meşceresi, ikisi farklı tür karışımına sahip Korsika çamı (*Pinus nigra* subsp. *Laricio*) meşceresi ve kalan ise saf bir Douglas göknarı (*Pseudotsuga menziesii*) meşceresidir. Böylece oldukça geniş bir meşcere yapısı temsil edilmeye çalışılmıştır. Tek ağaç özellikleri 40 m yarıçaplı daire biçiminde ve büyüklüğü 5026 m² olan örnek alanlarda gerçekleştirilmiştir. Göğüs hizası çapı (1,30 m) merkeze yakın ilk 20 m yarıçaplı daire içine giren ağaçlarda ölçülmüştür. Çünkü ağaçların birbirini gölgelemesinden dolayı örnek alan merkezinden uzaklaştıkça YLT ile çap ölçümü mümkün olamamıştır. Ağaç boyları ise, kullanılan tarayıcının dikey tarama açısının 60 derece ile sınırlı olması sebebiyle, 20 ile 40 m arasında kalan kısma giren ağaçlarda tespit edilmiştir (Şekil 1). Aynı şekilde yine bu alan sınırları içindeki ağaçlarda tepe çapı ve tepe uzunluğu (zeminden tepesi oluşturan en aşağıdaki canlı dala kadar olan kısım) belirlenmiştir. Ağaç boyları ve tepe boyunun ölçümü Vertex-II ile yapılmıştır. Tepe çapı ise öncelikle en uzun çap ve buna dik yöndeki çapın izdüşümleri arasındaki mesafenin ölçülmesiyle bulunmuştur. Ayrıca pusula ve şerit metre yardımıyla tüm ağaçların mekansal konumları belirlenmiştir.



Şekil 1. Örnek alan ve TLT verisinin enine kesitinin görüntüsü üzerinde dikey tarama açısının etkisi

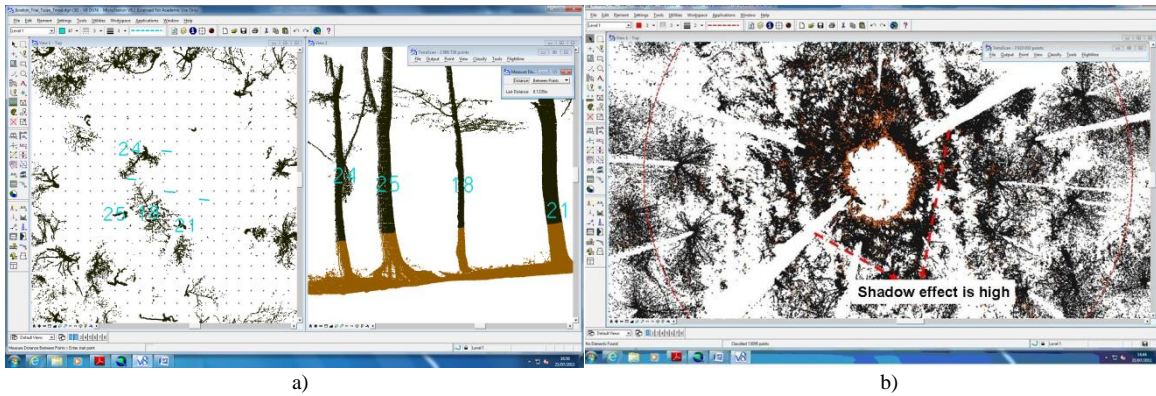
2.2. Yersel Lazer Tarama

Lazer tarama verileri Trimble GS200 cihazı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 2). 200 m uzaklığa kadar algılama yapabilen bu cihaz ve saniyede 5000 sinyal kaydetmektedir. Görünür bölgeyi kullanan bu lazer cihazının tarama açısı, dikey ve yatay yönde sırasıyla 60° ve 360°'dir. Bu yüzden cihazın kurulduğu noktadan nadir pozisyonda meşcere çatısından veri sağlanması mümkün değildir. YLT bir noktadan ya da birkaç noktadan yapılabilmektedir. Tek noktadan yapılan ölçmeler oldukça pratik olup, bir yönden tek ağaçların özellikleri ölçülebilmektedir. Fakat ağaç gövdelerinin birbirini örtmesi (gölge etkisi) sorununun oluşması, tek noktadan taramanın en önemli eksikliğidir. Bu sorunu azaltmak amacıyla birden fazla noktadan tarama yapılması önerilmektedir (Watt ve Donoghue, 2005). Çok noktadan taramalarda, araziye sabitlenen küçük toplar referans alınarak, tüm taramalar tek bir nokta bulutu olarak birleştirilebilmektedir. Bu çalışmada tek noktadan yapılan taramanın etkinliğini değerlendirmek amaçlandığından ikinci bir tarama yapılmamıştır. Sonuç olarak lazer verileri; x,y koordinatlarına ve z yükseklik değerine sahip noktalardan oluşan bir vektör veri biçiminde elde edilmiştir.

Nokta bulutu biçiminde elde edilen lazer verileri MikroStation adlı çizim programı altında çalışan TerraScan yazılımı kullanılarak işlenmiştir. İlk adım olarak, en düşük yüksekli değerine sahip lazer noktaları tespit edilmiştir. Bu amaçla ön komut olarak verilen açı ve mesafe temel alınarak otomatik olarak zeminden dönen noktalar tespit edilmiştir. Bu noktalardan sayısal arazi modeli oluşturulmuş ve zemin dışındaki noktaların boy değerleri sayısal arazi modelinden çıkarılmak suretiyle gerçek boy değerleri elde edilmiştir. Sonra 1,30 m yüksekliğindeki noktalar farklı renklerle gösterilerek ağaçların göğüs hizası çapları belirginleştirilmiştir. Daha önce arazi çalışmaları esnasında tespit edilen ağaçların merkezleri, nokta bulutu üzerine getirilerek ağaçlar için tek tek eşleştirme yapılmıştır. Tek ağaçlara ait tüm özellikler (ağaç boyu, göğüs çapı, tepe boyu, tepe çapı) ekran üzerinden elle ölçülmüştür. Ve buna karşılık gelen yersel ölçüm verileri kayıt edilmiştir. YLT cihazına yakın kısımlardaki gövdelerin ve dalların gölgeleme yaptığı ağaçlarda herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır. Arazide ölçülen ile lazer verisinden çıkarılan ağaç özellikleri arasındaki ilişkiler basit regresyon analizleriyle ortaya koyulmuştur.



Şekil 2. Kullanılan YLT cihazı ve tarama yapılan meşcerelerden örnek görüntüler



Şekil 3. a) Göğüs hizası çaplarının ölçüldüğü kısımların ortaya çıkarılması ve b) gövdelerin birbirini örtmesinden dolayı oluşan gölge etkisi

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Yersel lazer tarama verileri

Beş örnek meşcere için elde edilen lazer verileri ve bunların enine kesitinden bir örnek şekil 4’de gösterilmiştir. Görüntüler üzerinde yapılan değerlendirmeler neticesinde, tek noktadan yapılan tarama ile elde edilen lazer verisinin kalitesinin büyük ölçüde, meşcere sıklığına ve tarama yönünü kapatan alt dallar ve alt tabakadaki bitki örtüsünün varlığına bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle cihazın yerleştirildiği noktaya yakın olan gövdeler arkalarındaki alanı ileri doğru genişleten bir şerit biçiminde gölgelemektedirler. Hektardaki gövde sayısının oldukça fazla olduğu Douglas Göknarı meşceresinde (ağaç sayısı=1393 ha⁻¹) yapılan taramadan elde edilen verilerde, gövdelerin birçoğunda herhangi bir bio-fiziksel özelliği ölçmek mümkün olmamıştır. Genç Douglas Göknarı meşceresinden alınan örnek alanda kurumuş alt dalların gerekli ölçümlerin doğru olarak yapılmasına izin vermemesi karşılaşılan diğer sorun olmuştur. Meşcere sıklığının ve tepe kapalılığının nispeten az olduğu yaşlı Korsika çamı meşcerelerinde ise, ağaçların ekseriyetinde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

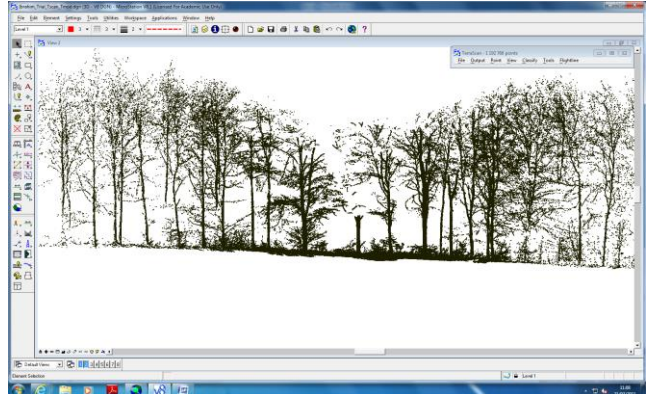
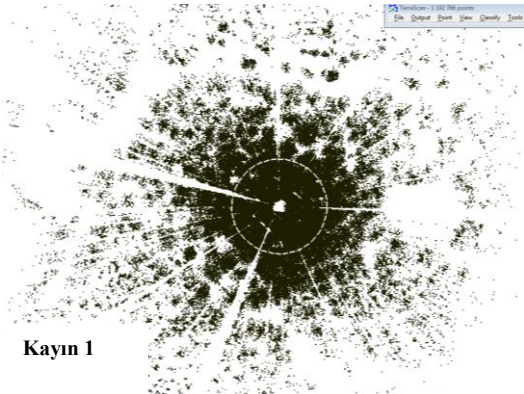
Gölgeye dayanıklı bir ağaç türü olan kayın meşcerelerinde ağaç tepelerinin iç içe girmiş olması yüzünden, YLT verileri kullanılarak tek ağaçların tepe çapını ölçmek mümkün olmamıştır. İki Korsika çamı meşceresinde, geçmişte yapılmış aralama kesimlerinin neticesinde tepeler arasında belirli bir mesafe olduğundan, YLT verisi üzerinden tepe ile ilgili ölçümler gerçekleştirilebilmiştir. Sonuç olarak, iki kayın ve iki Korsika çamı meşceresinden alınan toplam dört örnek alanda çap ölçümleri; sadece iki Korsika çamı örnek alanında ise tepe çapı, tepe boyu (tepeyi oluşturan en alttaki yaşayan dalın zeminden yüksekliği) ve ağaç boyu ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

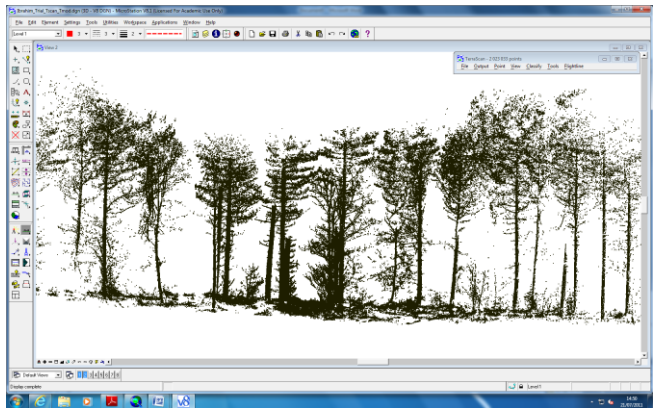
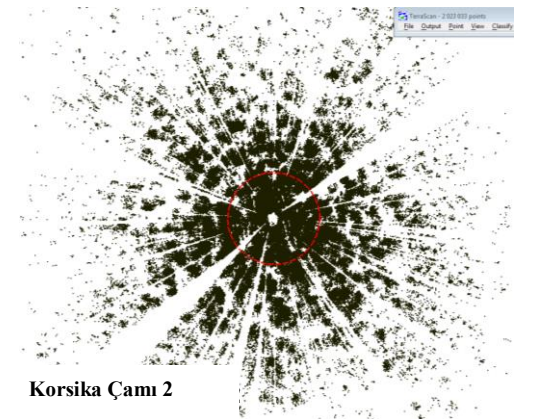
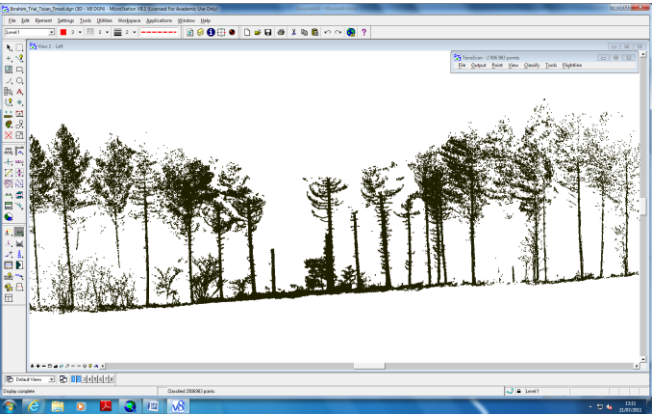
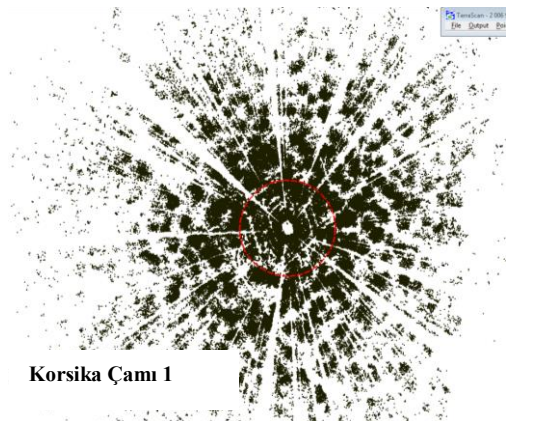
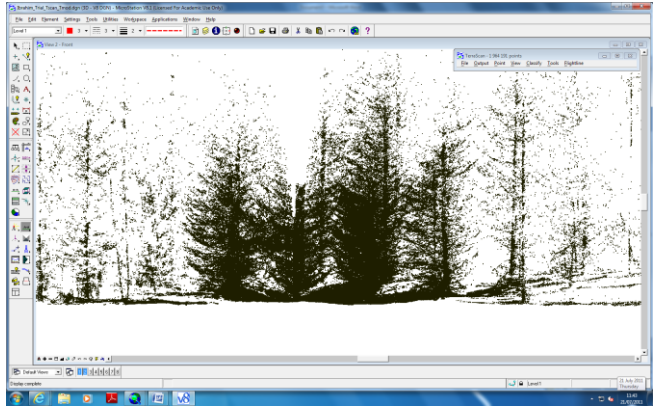
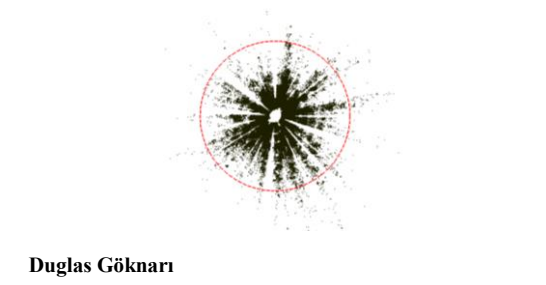
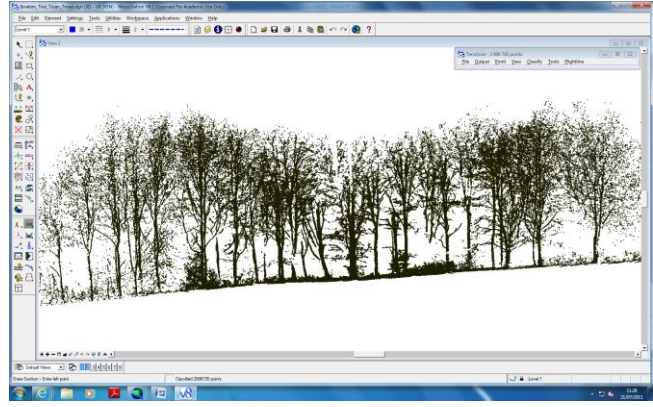
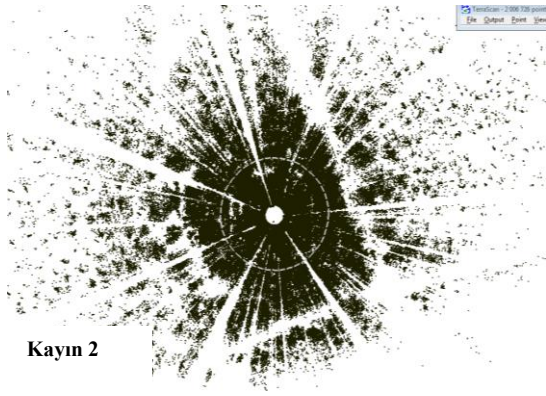
Tek noktada yersel lazer taramadan ileri gelen gölgeleme etkisi sonucunda, alt tabakanın nispeten az olduğu birinci Korsika çamı meşceresinden alınan örnek alanda (ağaç sayısı=286 ha⁻¹), algılanan gövdelerin %77’sinde çap ve %70’inde boy ve tepe çapı ölçümü

yapılmıştır. Sıklığın daha yüksek olduğu (ağaç sayısı 477 ha⁻¹) ve kısmen ara tabakaya sahip diğer Korsika çamı örnek alanında ise, gövdelerin %68’sinde çap ve %60’inde boy ve tepe çapı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde, ara ve alt tabakanın az olduğu kayın meşceresine (ağaç sayısı=286 ha⁻¹) ait örnek alanda, gövdelerin %72’si ölçülmüşken, sıklığın biraz daha fazla olduğu diğer kayın deneme alanında (ağaç sayısı=358 ha⁻¹) ise gövdelerin %66’sında gövde çapı belirlenebilmiştir. Özetle, YLT verileri kullanılarak 127 ağaçta (kayın + Korsika çamı) göğüs çapı ve 45 bireyde (Korsika çamı) ağaç boyu, tepe boyu ve tepe çapı belirlenmiştir.

3.2. YLT verisi kullanılarak belirlenen ağaç özellikleri ile doğrudan ölçümlerle belirlenen özellikler arasındaki ilişkiler

Yapılan analizler, Korsika çamı ve Kayın meşceresinden alınan örnek alanlarda, YLT verisinden ölçülen göğüs çapı ile arazide ölçülen göğüs çapı arasında yüksek korelasyon olduğunu göstermiştir ($R^2 = 0,91$, RMSE (ortalama hatanın karekökü) 5,84 cm, n=127 ve p<0,01). Uyumun çok yüksek olmasına rağmen, yapılan tahminin ortalamasının 4,24 cm’lik bir pozitif hatası (ölçümlerin ortalaması ile referans değer arasındaki fark, yani yanlışlık, ing=bias) bulunmaktadır. Şekil 5’ten kolayca anlaşılacağı gibi, YLT verisi üzerinden ölçülen çaplar çoğunlukla gerçek çaplardan daha düşüktür. Bu bulgular, daha önceki çalışmalarda da elde edilen sonuçlarla büyük oranda uyumludur. Örneğin, Henning ve Radtke (2006), yersel lazer tarama verileri üzerinden 28 bireyde yapılan göğüs çapı ölçümünün hatasını 5 cm olarak hesaplamışlardır. Yine YLT den ölçülen çap ile gerçek çap arasında güçlü bir istatistiksel ilişki olduğu ($R^2=0,85$, n=128) Hopkinson vd. (2004) tarafından da rapor edilmiştir. YLT ile yapılan bir diğer çalışmada, Watt and Donoghue (2005) tahminlerin ortalamasının hatasını 1,5 cm (n=12) olarak belirlemişler ve elde edilen doğrusal modelin gerçek göğüs çaplarındaki varyansın %92’sini açıkladığını belirtmişlerdir. Tansey vd. (2009) de YLT verileri kullanarak göğüs çapını tahmin etmek için geliştirilen modellerin RMSE değerlerini 1,9 ile 3,7 cm aralığında hesaplamışlardır.

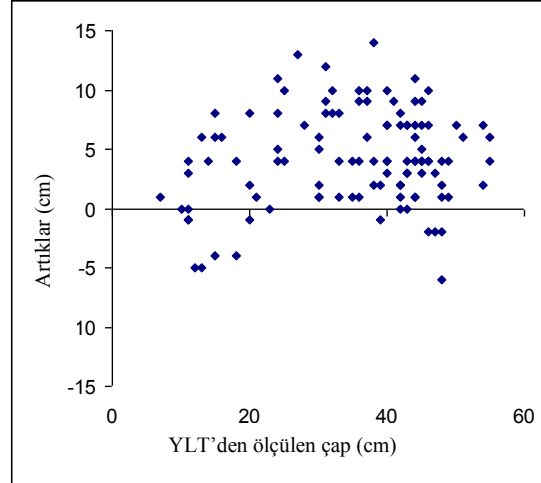
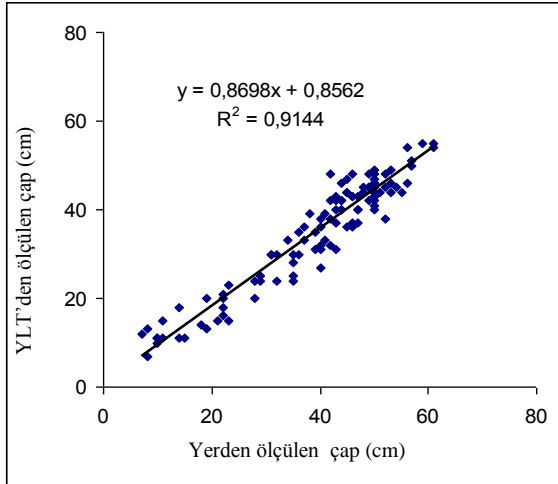




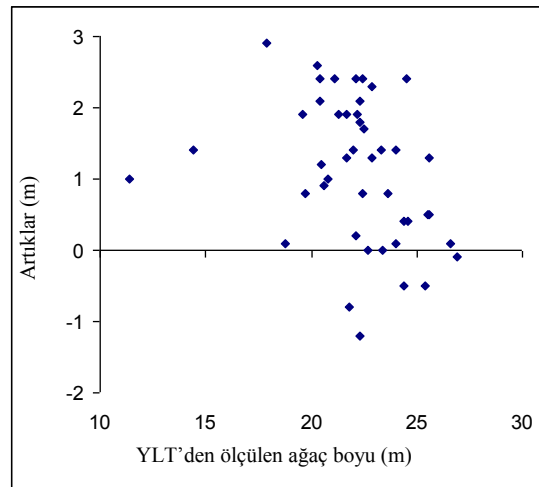
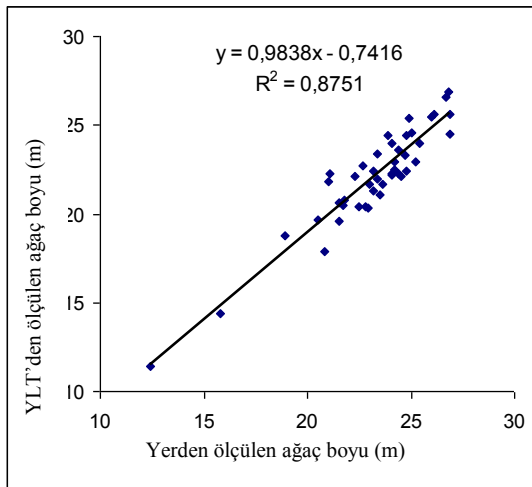
Şekil 4. Beş örnek alan için YLT ile elde edilen nokta bulutu ve enine kesitlerinden bazı örnekler

Yersel lazer tarama ile elde edilen nokta bulutu üzerinden ölçülen ağaç boyu ile yersel ölçmelerle belirlenen ağaç boyu arasında oldukça yüksek bir korelasyon (Şekil 6) bulunmaktadır ($R^2 = 0,88$, RMSE 1,1 m ve $p < 0,01$). YLT verisinden hesaplanan ağaç boylarının ortalaması ile gerçek boy değerlerinin ortalaması arasında 1,11 m bir fark (yan) bulunmaktadır. Bu beklenen bir bulgudur. Ağaç tepesini oluşturan alt dallar, lazer ışınlarının geliş açısına bağlı olarak, ağacın uç tomurcuğu ya da en yüksek noktası ile lazer cihazı arasına girebilmektedir. Dolayısıyla lazer ışınlarının tepenin en üst kısmına gelmesi zaman zaman engellemektedir. Sonuç olarak, YLT verisi üzerinden ağaçların boyu gerçek boy değerlerinden bir miktar küçük ölçülmektedir. Antonarakis (2009) tarafından yukarı doğru tarama tekniği kullanılarak yapılan çalışmada da, özellikle doğal ormanlarda ağaç tepelerinin iyi görülememesinden kaynaklanan bir hata olduğu belirtilmiştir. Aynı şekilde, Hopkinson vd. (2004) de YLT tekniği ile ağaç boyu ölçülürken %7-8'lik bir hata yapılabileceğini tespit etmişlerdir.

Çalışma sonuçları, YLT verilerinden tepe boyunu (tepeyi oluşturan en alttaki yaşayan dalın zeminden yüksekliği) da yüksek doğrulukta ölçmenin mümkün olduğunu göstermektedir ($R^2 0,83$; RMSE 1 m; hata 0,23 m; $p < 0,01$). Korsika çamı meşcerelerinin gevşek tepe yapısı, YLT verileri kullanılarak bu tek ağaç özelliğinin de yüksek doğrulukta ölçülmesine izin vermiştir (Şekil 7). Konuyla ilgili önceki araştırmalara bakıldığında da benzer bulgularla karşılaşmaktadır. Örneğin, Thies vd. (2004) tarafından geniş yapraklı ağaç türlerinden oluşan meşcerelerde yapılan çalışmada, YLT verisinden çıkarılan tepe boyu ile yerden dendrometrik aletlerle ölçülen tepe boyu arasında çok fazla bir farkın olmadığı (0,1 m) belirlenmiştir. Benzer bir araştırmada, Fleck vd. (2007) bu ortalama hatanın 0,52 m olduğunu bulmuşlardır. Sunulan bu çalışmada, tepe boyunun belirlenmesinde en önemli hata kaynağının, tepeyi oluşturan en alttaki canlı dalın belirlenmesinde yapıldığı öngörülmektedir. Çünkü bu dalın, yersel ölçmeler ve lazer nokta bulutundan ölçüm esnasında aynı dal olmasının bazen mümkün olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 5. YLT verisi kullanılarak belirlenen göğüs çapı ile yersel ölçümlerle belirlenen göğüs çapı arasındaki ilişki ve artıkların durumu



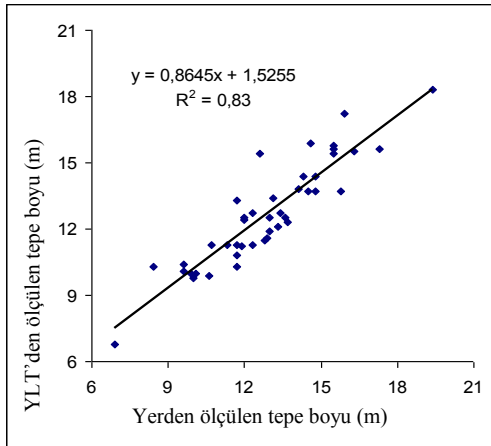
Şekil 6. YLT verisi kullanılarak belirlenen ağaç boyu ile yersel ölçümlerle belirlenen ağaç boyu arasındaki ilişki ve artıkların durumu

Regresyon analizi sonucunda, yerden ölçülen tepe çapı ile lazer verisinden çıkarılan tepe çapı arasındaki ilişkinin belirtme katsayısı 0,65; RMSE'si 0,81; ortalamanın farkı 0,25 m ($p < 0,01$) olarak hesaplanmıştır. Şekil 8'deki artıklar incelendiğinde, çok belirgin bir eğilim göze çapmamakla beraber, tepe çapı arttıkça eksi yönde hafif bir artış gözlemlenmektedir. Buradan, YLT üzerinden tepe çapının, daha büyük tepeli ağaçlarda bir miktar daha fazla ölçüldüğü anlaşılmaktadır. Bu tek ağaç özelliği diğer üç özelliğe göre (çap, ağaç boyu ve tepe boyu) daha hatalı olarak ölçülmüştür. Bunun değişik sebeplerinin bulunduğu tahmin edilmektedir. Birincisi yersel ölçümlerle Lidar verisinin ölçümlerinin yapıldığı yerler arasındaki farktır. Yersel ölçümlerde ağaç tepelerinin çapı; en uzun çap ile buna dik olan çapın ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Oysa YLT verisi üzerinden tepe çapı, lazer cihazına bakan yöndeki çapın bir defa ölçülmesi biçiminde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca iç içe girmiş veya birbirine yakın tepelerde, YLT verisinin görüntüsünde kenarlar yakın olarak belirlenemediğinden, tepe çaplarında hatalı ölçmeler yapılmış olma ihtimali de, diğer bir hata kaynağı olarak düşünülmektedir.

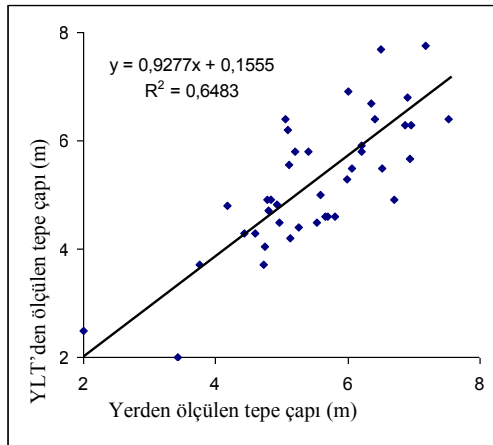
4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, tek noktadan algılanan yersel lazer tarama (YLT) verilerinin, dört tek ağaç özelliğinin [i] göğüs çapı,

ii) ağaç boyu, iii) tepe boyu yani tepenin en alt canlı dalının zeminden yüksekliği ve iv) tepe çapı] belirlenmesindeki hassasiyetinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Çalışma sonuçları, tek noktadan lazer tarama tekniği kullanılarak tek ağaç özelliklerinin belirlenmesinin, öncelikle çalışılan meşcerenin yapısına bağlı olduğunu göstermiştir. Meşcere kapallığı azaldıkça gözlemlenen gövdelerin oranı artmaktadır. Sık meşcerelerde (örn: bu çalışmadaki Douglas Göknaarı) lazer ışınları oldukça dar bir alandan dönmekte, yani ağaç organları (gövde ve alt dallar) ışınların daha uzağa gitmesine engel olmaktadır (bakınız Şekil 4, Douglas Göknaarına ait veri). Çünkü birim alandaki gövde sayısı fazla olduğundan, lazer cihazı ile gövdeler arasındaki mesafe azalmakta ve gölgeleme etkisi büyümektedir. Dolayısıyla, böyle meşcerelerde göğüs çapı gibi kolay görülebilen bir özelliğin bile ölçümü mümkün olamamaktadır. Yoğun bir ara ve alt tabakanın mevcudiyeti de, bu tekniğin uygulanışında karşılaşılan temel sorunlardan birisidir. Bu durumda da lazer ışınları ara ve alt tabakadan dolayı, hedeflenen tek ağaç özelliklerinin ölçümünü için gerekli mesafeye ulaşamamaktadır. Yersel lazer tarama ile elde edilen görüntü üzerinden görülebilen gövdelerde çap ve boy bir miktar düşük ölçülmektedir. Diğer taraftan, zaten yersel yöntemlerle çap ve boy dendrometrik aletler kullanılarak (çapölçer, vertex boy ölçer) çok daha hızlı belirlenebildiğinden, YLT teknolojisinin bu özellikler açısından büyük bir avantajı görülmemektedir.



Şekil 7. YLT verisi kullanılarak belirlenen tepe boyu ile yersel ölçümlerle belirlenen tepe boyu arasındaki ilişki ve artıkların durumu



Şekil 8. YLT verisi kullanılarak belirlenen tepe çapı ile yersel ölçümlerle belirlenen tepe çapı arasındaki ilişki ve artıkların durumu

Yersel lazer taramadan beklenen asıl fayda çap ve boy ölçümünden çok, tepe boyutlarının belirlenmesidir. Çünkü tepe boyutlarının geleneksel yöntemlerle ölçümü güç ve zaman alıcıdır. Çalışmanın bulguları, geniş yapraklı ağaç türlerinin karmaşık tepe yapısı (tepelerin iç içe girmesi) yüzünden, tepe boyutları ile ilgili özelliklerin belirlenmesinin mümkün olmadığını göstermiştir. Ancak tepe kapalılığının %70'in altında olduğu iğne yapraklı meşcerelerde tepe boyutlarının ölçülebileceği görülmüştür. Ancak tek noktadan lazer tarama ile ağaçların belirli miktarı algılanabilmektedir. Algılanan gövde sayısını arttırmak amacıyla iki ve üç noktadan lazer tarama işlemi yapılmalıdır. Böylece, ağaç çapı ve tepe yüksekliği ölçümleri oldukça hassas biçimde gerçekleştirilebilirken, uygun algoritmalar geliştirilirse ağaç tepelerinin hacminin otomatik olarak hesaplanması da mümkün olabilir. Bu noktada, YLT teknolojisinin kent içi ağaçların biokütlesinin hesaplanmasında başarıyla kullanılabilmesi söylenebilir. Çünkü şehirlerdeki ağaçların aralarında mesafe olduğundan, tepeleri çok açık biçimde görülebilmektedir. YLT verilerinin diğer bir kullanım alanı ise tek ağaçlarda gövde hacminin hesaplanması olabilir. Özellikle yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda bu teknoloji kullanılarak gövdenin daha yukarı kısımlarındaki çap kolaylıkla belirlenebilir. Dolayısıyla hacimde oldukça hassas biçimde tahmin edilebilir. Böylece YLT, biokütlenin belirlenmesinde kullanılan yıkıcı yöntemlere bir alternatif olabilir.

YLT verilerinin örnek alan düzeyinde dikey çeşitliliğin nitelendirilmesindeki etkinliğinin test edilmesi çok önemli görülmektedir. Sunulan bu çalışmada, örnek alan sayısı kısıtlı olduğundan örnek alan düzeyinde bir değerlendirme yapılamamıştır. Bu sebeple çalışma, değişik çeşitlilik değerine sahip meşcerelerden yeterli miktarda örnek alan alınarak tekrarlanmalıdır. Böylece, Lidar nokta bulutundan hesaplanan indekslerle (örn; yüzdelikler, çarpıklık, baskınlık) örnek alanlar için hesaplanacak yapısal çeşitlilik indeksleri (örn; çap çeşitliliği, boy çeşitliliği, tepe çapı çeşitliliği) arasındaki ilişkiler daha sağlıklı olarak ortaya koyulabilir. Bu çalışmada kullanılan lazer cihazının dikey tarama açısının sınırlı olması (60°) özellikle merkeze yakın ağaçlarda tepe çapı ölçümlerini engellemiştir. Yapılacak çalışmalarda yukarı doğru taramaya imkân veren lazer cihazları kullanılırsa, meşcere dikey çeşitliliğinin daha isabetli olarak tahmin edilebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK BİDEB 2219 (Doktora sonrası çalışma) programı, Durham Üniversitesi ve İngiltere'nin Doğa Çevre Araştırma Kurumu (NERC) tarafından desteklenmiştir

Kaynaklar

- Altuntaş, C., Yıldız, F., 2008. Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi. HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 98, 20-27.
- Antonarakis, A.S., Richards, K.S., Brasington, J., Bithell, M., Muller, E. 2009. Leafless roughness of complex tree morphology using terrestrial lidar. Water Resources Research, 45, W10401.
- Baskent, E. Z.; Jordan, G. A. 1996. Designing forest management to control spatial structure of landscapes. Landscape and Urban Planning 34(1): 55-74.
- Baskent, E. Z. 1999. Controlling spatial structure of forested landscapes: a case study towards landscape management. Landscape Ecology 14(1): 83-97.

- Clawges, R., Vierling, L., Calhoun, M., Toomey, M., 2007. Use of a ground-based scanning lidar for estimation of biophysical properties of western larch (*Larix occidentalis*). International Journal of Remote Sensing, 28:19, 4331-4344.
- Clawges, R., Vierling, K., Vierling, L., Rowell, E. 2008. The use of airborne lidar to assess avian species diversity, density and occurrence in a pine/aspens forest. Remote Sensing of Environment, 112, 2064-2073.
- Danson, F.M., Hetherington, D., Morsdorf, F., Koetz, B and Allgöwer, B., 2007. Three-dimensional forest structure from terrestrial laser scanning. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 4, 157-160.
- Fleck S, Obertreiber N, Schmidt I, Brauns M, Jungkunst HF, Leuschner C, 2007. Terrestrial lidar measurements for analysing canopy structure in an old-growth forest. IAPRS Volume XXXVI, Part 3 / W52, 125-129.
- Henning, J.G., Radtke, P.J. 2006. Detailed stem measurements of standing trees from ground-based scanning lidar. Forest Science, 52:67-80.
- Hinsley, S.A., Hill, R.A., Fuller, R.J., Bellemy, P.E., Rothery, P., 2009. Bird species distributions across woodland canopy structure gradients. Community Ecology, 10, 99-110.
- Hopkinson, C., Chasmer, L., Young-Pow, C., Treitz, P., 2004. Assessing forest metrics with a ground-based scanner lidar. Canadian Journal of Forest Research, 34, 573-583.
- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G., Harding, D. J., 2002. Lidar remote sensing for ecosystem studies. BioScience, 52, 19-30.
- Lexered, N.L., Eid, T., 2006. An evaluation of different diameter diversity indices based on criteria related to forest management planning. Forest Ecology and Management, 222, 17-28.
- Lovell, J.L.; Jupp, D.L.B.; Culvenor, D.S.; Coops, N.C. 2003. Using airborne and ground-based ranging lidar to measure canopy structure in Australian forests. Canadian Journal of Remote Sensing, 29, 607-622.
- MacArthur, R.H., MacArthur, J.W., 1961. On bird species diversity. Ecology 42, 594-598.
- Magurran, A.E., 1988. Ecological Diversity and Its Measurement. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Özdemir, İ., Karnieli, A., 2011. Predicting forest structural parameters using the image texture derived from WorldView-2 multispectral imagery in a dryland forest, Israel. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13, 701-710.
- Özkan, K., 2012. Taksonomik çeşitlilik indislerinin geleneksel çeşitlilik indisleri ile karşılaştırılması. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 13, 107-112.
- Parker, G.G., Harding, D.J., Bergera, M.L., 2004. A portable LIDAR system for rapid determination of forest canopy structure, Journal of Applied Ecology, 41, 755-767.
- Schütt, C.; Aschoff, T.; Winterhalder, D.; Thies, M.; Kretschmer, U., Spiecker, H., 2004. Approaches for recognition of wood quality of standing trees based on terrestrial laserscanner data. In: Thies, M.; Koch, B.; Spiecker, H.; Weinacker, H. (ed.), Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVI- 8/W2.
- Tansey, K., Selmes, N., Anstee, A., Tate, N.J., Denniss, A., 2009. Estimating tree and stand variables in a Corsican Pine woodland from terrestrial laser scanner data. International Journal of Remote Sensing, 30, 19, pp. 5195-5209.
- Thies, M., Pfeifer, N., Winterhalter, D., Gorte, B.G.H., 2004. Evaluation And Future Prospects of Terrestrial Laser Scanning For Standardized Forest Inventories, Scandinavian Journal of Forest Research, 19, 571-581.
- Watt, P.J., Donoghue, D.N.M., 2005. Measuring forest structure with terrestrial laser scanning. International Journal of Remote Sensing, 26, pp. 1437-1446.
- Wood, E.M., Pidgeon, A.M., Mladenoff, D.J., Liu, F., 2012. Birds see the trees inside the forest: the potential impacts of changes in forest composition on songbirds during spring migration. Forest Ecology and Management, 280, 176-186.