

Kentsel Yeşil Alanlarda Uzaktan Algılama ile Yaprak Alan İndeksi

M. Bahadır Taşçı, B. Baha Bilgilioğlu, Adil Enis Arslan, Nebiye Musaoğlu, Esra Erten

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.

Özet

Bu çalışmada yüksek çözünürlüklü en yeni uydulardan biri olan Pleiades 1A/B uydu görüntülerinden kent içindeki ağaçlık alanlarda yaprak alanı indeksi belirleme olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla ibrelili türlerden oluşan bir test alanında mevsimsel olarak ekim-aralık periyodunda 6 farklı zamanda arazide Canopy Imager-110(CI-110) ile yaprak alanı indeksi ölçmeleri yapılmıştır. İbrelili türlerin yaprak alanı indeksindeki sürekliliğin izlenmesi için yaprak alanı indeksi ölçmelerinin ilk yapıldığı zamana en yakın tarih olan 30 Eylül 2016 ve son ölçmeye en yakın olan 9 Aralık 2016 tarihli Pleiades 1A/B uydu görüntülerinde spektral vejetasyon indeksleri hesaplanmış ve sonuçlar arazide yapılan yaprak alanı indeksi ölçmeleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre ağaçların yapraklı olduğu dönemlerde, bitki indeksleri ile yaprak alanı indeksi ölçmeleri arasındaki korelasyon 0.84'i geçmiştir. İndeksler arası performans farklılığının görüntülerin elde edilme geometrisine (geliş açısına) bağlı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler

Yaprak Alan İndeksi, Pleiades 1A/B, Kentsel Yeşil Alan, Bitki İndeksi

Abstract

In this research the possibility of calculating leaf-area index using one of the recent high-resolution satellite images Pleiades 1A/B has been studied. For this reason in the seasonal period of October-December, in a test area consisting of coniferous types, measurements of leaf area index have been carried out in 6 different times by using Canopy Imager-110 (CI-110). To monitor the stability of the coniferous types, the leaf area index has been measured calculating spectral indexes of satellite images on the 30th of September, 2016, which is the closest date to the first measurement, and on the 9th of December, 2016, which is the closest date to the last measurements. As a result, the correlation between the results obtained from the satellite images and the measurements of leaf area index in the field were compared. Satisfactory results were obtained from vegetation indices, with a coefficient of determination above 0.84. The declination in correlation induced by variations in acquisition geometry of the imageries were assessed.

Keywords

Leaf Area Index, PPP, Pleiades 1A/B, Urban Green Area, Vegetation Index

1. Giriş

Günümüzde tüm dünyada kırsal alanlardan gelişmiş bölgelere göçler hızla devam etmektedir. Kentlerde yaşayan nüfus 1972 yılında toplam dünya nüfusunun yaklaşık üçte birini oluştururken, 2050 yılı beklentileri ise %65 dir (Dirik ve Ata, 2004, Sağlam ve Özkan, 2012). TÜİK Projeksiyonlarına göre ülkemizin nüfusunun da 2023 yılında 84 247 088, 2075 yılında ise 89 172 088 kişi olması beklenmektedir. Türkiye'nin en kalabalık ili olan İstanbul'un nüfusunun 2023 yılında 16 milyon üzerinde olacağı tahmin edilmektedir (www.tuik.gov.tr). Hızlı nüfus artışının etkisi altında kalan kentlerimizde genel olarak yeşil alanlar kentleşme baskısı altında kalmaktadır. Oysa ki açık ve yeşil alanlar, bireyin sosyal, fiziksel ve psikolojik durumunu olumlu yönde etkileyen kamusal alanlardır (Öztürk ve Özdemir, 2013). Yeşil alanlarda meydana gelen değişimlerin ve yeşil alan dinamiklerinin belirlenmesi, bu alanların sürdürülebilirliğinin ve verimliliğinin sağlanması açısından önemli bir veri kaynağı oluşturmaktadır.

Uzaktan algılama verileri orman alanlarında zamansal değişim analizi, tür çeşitliliğinin belirlenmesi, ağaç hastalıklarının araştırılması, karbon tutunumu ve verim belirleme gibi birçok alanda veri sağlamaktadır. Geniş alanlara yayılan orman alanlarında LANDSAT, SPOT gibi orta çözünürlükteki uydular sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak kent içi ormanlık alanlarda mekansal dağılım küçük olduğundan bu tür verilerle detaylı bilgi çıkarmak oldukça zordur. Kent içinde yer alan orman alanlarında insan etkisi, eksik veya hatalı bakım, gelişme bozuklukları ve biyotik-abiyotik faktörlerin olumsuz etkileri daha sıklıkla görülmektedir (Serin ve Gül, 2006). Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri belirlenecek detay seviyesini arttırdığından kent içi orman alanlarında bu tür problemlerin önceden belirlenmesi veya izlenmesi yönünde yüksek doğruluklu veri sağlamaktadır.

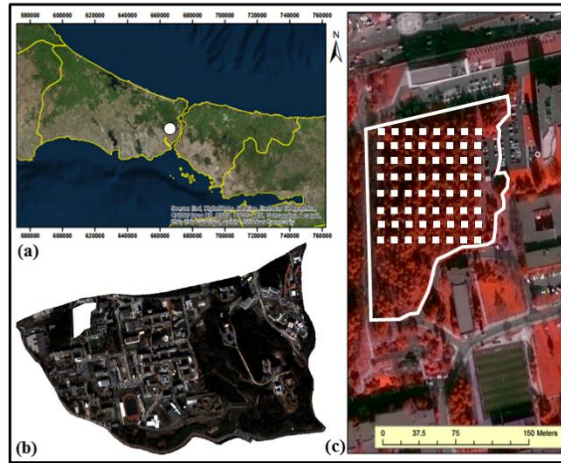
Bitkilerin yaprak özellikleri bitki hastalıkları, karbon tutunumu ve verim miktarı gibi birçok parametrenin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Yaprak alan indeksi (Leaf Area Index, LAI), bitkilerin yapraklarının bir yüzünün alanının yerin alanına oranı olarak tanımlanabilecek birimsiz bir parametredir. Orman alanlarında yapılan LAI ölçmeleri, fotosentez, intersepsiyon, evapotranspirasyon ve kirleticilerin depolanması gibi çok farklı süreçleri kontrol etmekte, karbon ve su dolaşımı, meşcere içine ulaşan ışık miktarı üzerinde etkili olduğundan verimliliğin belirlenmesinde de kullanılmakta ve meşcere kapalılığı hakkında bilgi veren önemli bir parametreyi oluşturmaktadır (Kara vd. 2011). LAI çalışmalarının genel

olarak tarım alanlarında veya yoğun orman örtüsü bulunan bölgelerde gerçekleştirilmesine rağmen kent içi orman alanlarında yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır. Peper ve McPherson 2003'te Kuzey Kaliforniya'da yaptıkları çalışmada kentsel alan içinde kalan ormanda dört farklı yöntemle temmuz sonundan eylül ortasına kadar LAI ölçmesi yapmışlar ve renkli dijital görüntülerin işlenmesi ile yüksek doğruluk sağlandığı sonucuna varmışlardır (Peper ve McPherson, 2003). Jensen vd. 2012'deki çalışmalarında hiperspektral verilerden şehir alanlarında LAI'yi 64.8 R² değeri ile belirlemişlerdir. Liu vd. 2015'de Çin'de yaptıkları bir çalışmada ormanın gelişim durumunu belirlemede LAI sonuçlarının önemini vurgulamışlar ve LAI'de mevsimsel değişimleri incelemişlerdir. Alonzo vd. 2015'te LAI'yi Santa Barbara test alanında hava lidarı ile ölçmüşler ve yüksek doğruluk elde etmişlerdir (Alonzo vd., 2015). Aslan vd. 2016'da LAI ölçmelerine yersel laser tarama ile yapılan ölçmeleri de ekleyerek sonuç doğruluğunu arttırmışlardır.

Uydu görüntüleri ile yapılan çalışmalara bakıldığında, başarılı sonuçların genel olarak spektral çözünürlüğü yüksek fakat konumsal çözünürlüğü düşük olan uydular ile geniş ormanlık alanlarda gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu çalışmada ise, yoğun yerleşim etkisi altında olan kentsel yeşil alanlarda LAI ölçmeleri ile yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden elde edilecek sonuçların korelasyonu incelenmiştir.

2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak İstanbul Teknik Üniversite'sinin ana yerleşim birimi olan Ayazağa Kampüsü seçilmiştir. İstanbul'un kuzeyinde Sarıyer ilçe sınırlarında yer alan ve yeşil kampüs olarak tanımlanan Ayazağa kampüsü 247 hektarlık bir alanının içerisine kuruludur. Bu alanın önemli özelliklerinden bazıları da şehrin oldukça merkezinde bulunması ve yeşil alan/betonarme yapı oranı bakımından yaşanılabilir şehir kavramına yakın olmasıdır. Şekil 1(c)'de LAI'lerin zamansal olarak ölçüldüğü ormanlık alan gösterilmektedir. Bu bölge 1.5 hektarlık alan kaplamakta, özellikle kenarlarda yapraklı türler de olmasına rağmen yoğun olarak ibrelili türlerden oluşmaktadır. Zamansal olarak yapılan LAI ölçmelerinin uydu görüntüleri ile ilişkilerini incelemek amacıyla yeşil örtünün fazla değişim göstermediği bu alanda çalışılmıştır.



Şekil 1. (a) Çalışma alanının İstanbul ili içindeki konumu, (b) İTÜ Kampüsü 12 Aralık 2016 Pleiades 1B görüntüsü, (c) Test Alanı LAI ölçmelerinin yapıldığı 15 m X 15 m grid sistemi

3. Veri Setleri

3.1 Pleiades Uydusu

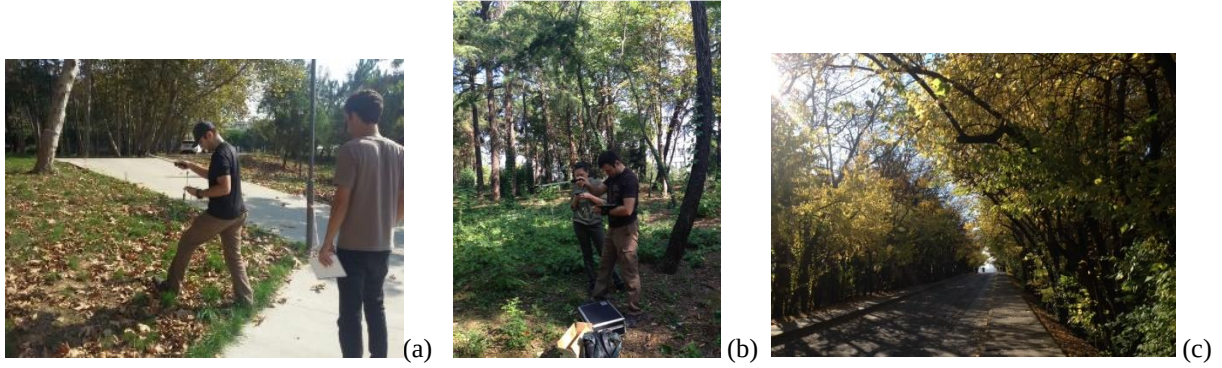
Pleiades 1A 16 Kasım 2011'de, Pléiades 1B ise 2 Aralık 2012'de uzaya fırlatılmış aynı güneş eş zamanlı dairesel yörünge üzerinde 180° aralıkla faaliyet gösteren ikiz uydulardır. Çok yüksek mekânsal çözünürlüklü optik veri sağlayan bu ikiz uydular, dünya üzerinde bir noktayı günde iki kez ziyaret etme kapasitesine sahiptirler. Sağladığı yüksek mekânsal çözünürlük nedeniyle şehir gelişimi, tematik harita üretimi gibi birçok çalışmada kullanım olanağı sunmaktadır (<http://www.cscrs.itu.edu.tr/>). Pléiades 1A/B uydularının genel özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir. Uyduların özellikle kızılötesi bölgede spektral aralığa sahip olması görüntülerin orman alanlarında detaylı bilgi üretmek için kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Çalışmada 30 Eylül 2016 ve 9 Aralık 2016 tarihli uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma alanını kapsayan Pleiades 1A/B uydu görüntülerinden Eylül ayı görüntüsü yaklaşık 25°, Aralık ayı görüntüsü ise yaklaşık 12° açı ile elde edilmiştir. İki farklı tarihte elde edilen uydu görüntüleri ile LAI sonuçlarının zaman içinde aynı güvenilirlikte elde edilemeyeceği araştırılmıştır.

Tablo 1: Pleiades uydusu teknik özellikleri

Spektral aralıklar		Yer örnekleme aralığı/ Ürün mekansal çözünürlüğü	Şerit Genişliği	Radyometrik Çözünürlük
Mavi	0.43-0.55 μm	2.8 m/2 m	20 km	12 bit
Yeşil	0.50-0.62 μm	2.8 m/2 m		
Kırmızı	0.59-0.71 μm	2.8 m/2 m		
Kızılötesi	0.74-0.94 μm	2.8 m/2 m		
Pankromatik	0.47-0.83 μm	70 cm/50 cm		

3.2 Arazi Ölçmeleri

Pleiades görüntülerinden elde edilecek LAI değerlerinin doğruluğunun araştırılması için, İTÜ Ayazağa Kampüsü'nde seçilen ve ibrelili türlerin yoğun olarak bulunduğu test alanında Canopy Imager-110 (CI-110) kullanılarak yarım küre fotoğraflama yöntemi ile LAI ölçmeleri yapılmıştır. Bölge ibrelili türlerden oluşmasına rağmen az da olsa yaprağını döken türler de barındırmaktadır. Mevsimsel değişimi izlemek için Ekim-Aralık periyodunda 6 farklı tarihte LAI ölçmeleri yapılmıştır. Saha çalışmalarında toplanan verinin, uydu görüntülerinden elde edilecek sonuçların yorumlanmasına etkisinin araştırılması için grid sistemi ile saha çalışmalarında LAI ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 1(c)'de gösterildiği gibi test alanında kuzey-güney, doğu-batı doğrultusunda teodolit ve çekül kullanarak bir grid ağı oluşturulmuştur. Aynı doğrultudaki her bir nokta arası, yarım küre fotoğraflama kamerasının çözünürlüğü de göz önüne alınarak 15 m olarak düzenlenmiştir. Test alanı 1.5 hektarlık alan kaplamakta, özellikle kenarlarda yapraklı türler de olmasına rağmen yoğun olarak ibrelili türlerden oluşmaktadır. Yaklaşık 1.5 hektarlık alanda 53 nokta belirlenmiş ve bu noktaların kaybolmaması için demir kazık çakılarak spreyl boya ile boyanmıştır. Üç ay içerisinde altı ayrı zamanda yapılan Canopy Imager-110 (CI-110) ölçmelerinde yalnızca işaretli noktalardan görüntü alınmıştır. Görüntülerin bulutsuz havada ayrıca günün aynı saatinde olmasına özen gösterilmiştir. Şekil 2'de arazi çalışmasından fotoğraflar görülmektedir.

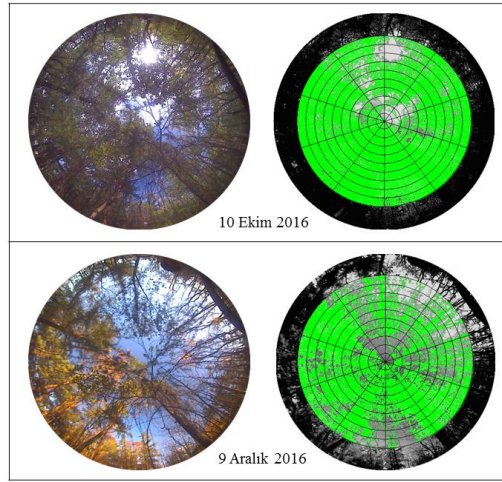


Şekil 2: (a) ve (b) Arazide gridlerin oluşturulması c) Test alanının kenarındaki yapraklı ağaçlar ve yol

4. Yöntem

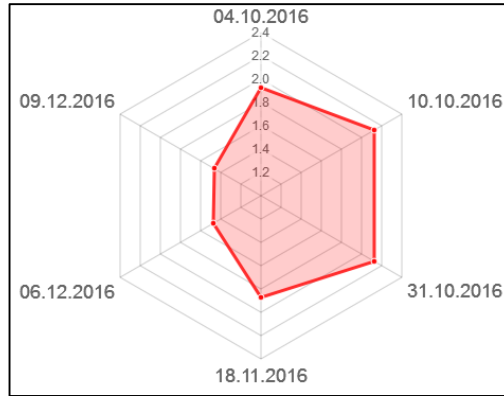
4.1 Zamansal Yaprak Alan İndeksi Ölçmeleri

CI-110 yarım küre görüntülerinden LAI hesaplamadan önce görüntüler üzerinde LAI tanımı (yaprakların gökyüzüne dönük yeşil yüzeylerinin yerin alanına oranı) yardımıyla kontrollü sınıflandırma yapılarak yeşil ve yeşil olmayan alanlar belirlenir. Şekil 3'de test alanında aynı noktadan iki farklı tarihli LAI ölçmeleri ve iki sınıflı (yaprak / yaprak değil) sonuç görüntüleri gösterilmektedir. Görüntülerden iki ay içerisinde kentsel orman alanındaki kapallılık değişimi çok net olarak gözükmemektedir.



Şekil 3. İki farklı tarihli saha çalışmalarında aynı noktadan CI-110 ile elde edilen yarım küre fotoğrafları ve sınıflandırılmış yaprak alan indeksi görüntüleri

Çalışma alanının tamamında farklı tarihlerde LAI ölçmeleri sonuçları da Şekil 4’de görülmektedir. İbrelili türlerin baskın olduğu test alanında LAI’de zaman içinde çok az değişim olduğu görülmektedir. Bu az miktardaki değişimin nedeni de alanda nadir de olsa yapraklı türlerin de bulunmasıdır.



Şekil 4. Test alanında yarım küre fotoğraflama ile zamansal olarak elde edilen LAI sonuçları

4.1 Uydu Görüntülerinin İşlenmesi

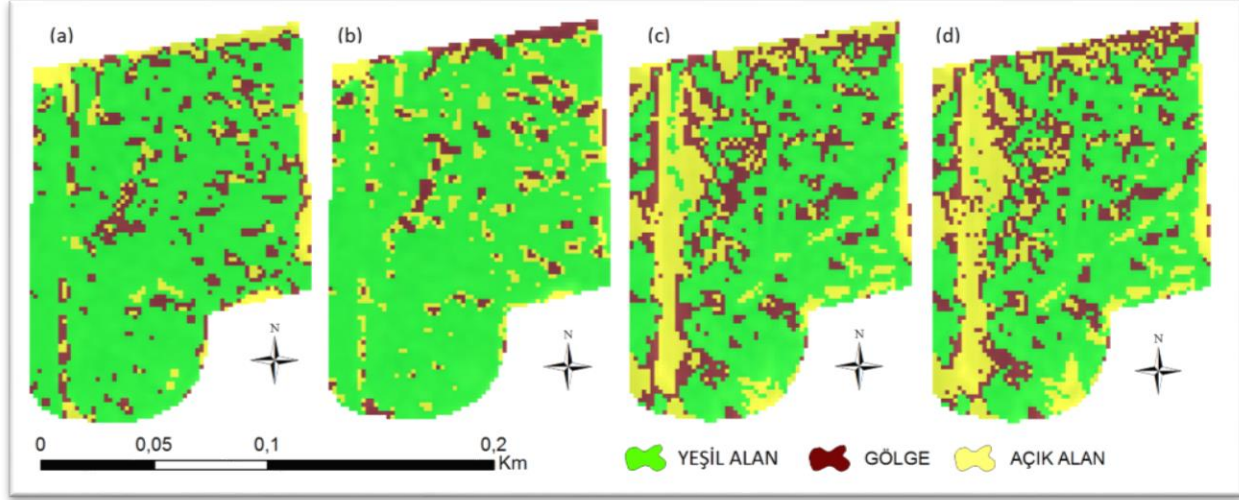
Çalışmada, LAI ölçmelerinin yanı sıra farklı zamanlarda algılanmış yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsüne uygulanan iki bitki indeksi ile yaprak alan yoğunluğu belirlenmiş ve iki farklı yöntemin sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Bitki indeksleri bitki canlılığını belirleyen niceliksel ölçümler olarak tanımlanmaktadır (Campbell ve Wynne, 2011). Diğer bir ifadeyle bitki indeksleri farklı spektral bantların sahip olduğu yansıma değerlerinin oranlarını veya doğrusal kombinasyonlarını içeren matematiksel dönüşümlerdir (Payero vd. 2004). Günümüze kadar literatürde birçok bitki indeksi tanımlanmış ve uygulamalarda kullanılmıştır (Payero vd. 2004; Wu vd. 2012; Waser vd. 2014). Bitki indeksleri genel olarak bitkilerin gelen ışınımı yansıtma ve yutma özelliklerine bağlı olarak uydu görüntülerinin ilgili bantlarının birbirlerine doğrudan oranlanması veya ekleme, çıkarma, normalizasyon gibi basit matematiksel işlemlerle oluşturulur. -1 ile +1 arasında elde edilen sonuç değerler ölçeklendirilebilir ve yüksek değerler sağlıklı bitki örtüsünün bulunduğu alanları ifade eder. Bu amaçla görüntü incelenerek sınır değeri belirlenir ve bu sınır değerin üzerinde kalan alanlar bitki örtüsü olarak tanımlanır.

Bu çalışmada yaprak alan yoğunluğunu belirleyebilmek için Pleiades uydu görüntüsünün üzerinde denklemleri (1) ve (2) de sırasıyla verilen NDVI (Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) ve CI (Yeşil Klorofil İndeksi) analizi gerçekleştirilmiştir.

$$NDVI = \frac{Kızılötesi - Kırmızı}{Kızılötesi + kırmızı} \quad (1)$$

$$CI_{yeşil} = \left(\frac{Kızılötesi}{Yeşil} \right) - 1 \quad (2)$$

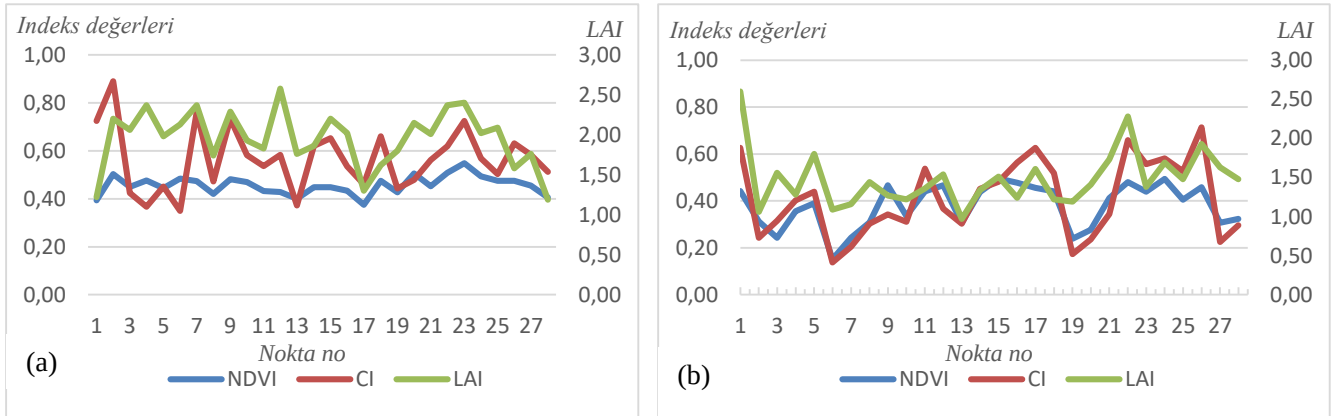
Pleiades uydu görüntüleri ortorektifiye olarak temin edilmiş ve görüntülere atmosferik düzeltme uygulanmıştır (Lillesand vd., 2015). Daha sonra uydu görüntülerinden elde edilen NDVI ve CI görüntüler *yeşil alan*, *gölge* ve *açık alan* olarak gruplandırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 5: a) 30/09/2016 tarihli NDVI görüntüsü b) 30/09/2016 tarihli $CI_{yeşil}$ görüntüsü c) 09/12/2016 tarihli NDVI görüntüsü d) 09/12/2016 tarihli $CI_{yeşil}$ görüntüsü

5. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmanın bu son kısmında Pleiades uydusunun spektral özelliklerinden yararlanılarak elde edilen NDVI ve CI indeksleri ile saha çalışmasından gridleme yöntemi ile elde edilen LAI sonuçları Şekil 6'da gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Şekil 6'da yatay ekseninde ölçümlerin yapıldığı nokta numaraları, dikey ekseninde ise bu grid noktalarından elde edilen LAI ve spektral indeks değerleri eylül ve aralık ayları için verilmiştir. Test alanında ibrelili türler baskın olmasına rağmen, özellikle alanın köşelerinde bulunan yapraklı türler (Şekil 2 (c)) spektral indeksler arasındaki ilişkide görüntü alım zamanına bağlı olarak farklılıklar ortaya koymuştur. Eylül ayında tüm noktalar göz önüne alınarak yapılan indeksler arası ilişki analizinde korelasyon katsayısı $R^2 = 0.36$ iken bu değer aralık görüntüsü için $R^2 = 0.85$ değerine ulaşmaktadır. Aralık görüntüsünden elde edilen NDVI ve CI spektral indeks değerlerinin nokta numarasına göre dağılımına baktığımız zaman neredeyse bire bir aynı yönde eğime sahip oldukları gözükmemektedir.



Şekil 6: Uydu görüntülerinden elde edilen sonuçlar (a) 30/09/2016 (b) 09/12/2016).

Eylül ayında elde edilen LAI değerleri ile NDVI arasındaki lineer ilişki $R^2 = 0.7$ ile ifade edilirken, bu değer CI indeksi için $R^2 = 0.2$ dir. Aralık ayında ise LAI ile CI ve NDVI spektral indeksleri arasında $R^2 = 0.6$ ve $R^2 = 0.5$ değerleri elde edilmiştir. Eylül ayına göre karşılaştırıldığında özellikle NDVI değerlerinde büyük bir düşüş olduğu gözükmemektedir. Eylül ve aralık aylarını beraber düşündüğümüzde ise NDVI ve CI ile LAI arasında $R^2 \sim 0.6$ elde edilmiştir. Aralık ayı görüntüsünde indeksler arasında performans olarak büyük bir fark olmazken, eylül ayında bu farkın büyük olduğu gözükmemektedir. Denklem (1) ve (2), iki indeks arasındaki performans farkının gölgeye bağlı olduğunu göstermektedir.

Bu başlangıç çalışmasında gridleme yöntemiyle ölçülen LAI değerleri ile NDVI ve CI indeksleri arasındaki lineer ilişki araştırılmıştır. Çalışma sonuçları kent içi yeşil alanlarda yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin bitkilerin yaprak

yoğunluğunu belirlemede yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir. Bir sonraki çalışmada uydu verileri ve LAI ölçmeleri arasındaki lineer olmayan ilişki de tanımlanarak, örnek sayısına bağlı olarak analiz yapılacaktır.

Teşekkür

Çalışmaya Pleiades 1A/B uydu görüntüleri ile destek veren İTÜ Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi ve LAI ölçmeleri konusunda yardımları için de Yrd. Doç. Dr. Muhittin İnan'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alonzo, M., Bookhagen, B., McFadden, J.P., Sun, A., Roberts, D. A.,(2015), *Mapping urban forest leaf area index with airborne lidar using penetration metrics and allometry*, Remote Sensing of Environment 162, 141–153.
- Arslan, A. E., Erten, E., İnan, M., (2016), *Yaprak alan indeksi tespitinde jeodezik projeksiyonların yersel lazer tarama verisine uygulanması*, IEEE SİU 2016 Konferansı.
- Campbell, J.B ve Wynne, R.H. (2011). *Introduction to Remote Sensing. Fifth edition*, The Guilford Press, NY, USA.
- Dirik, H. , Ata, C., (2004), *Kent ormancılığının kapsamı,yararları, planlanması ve teknik esasları*, I. Ulusal Kent Ormancılığı Kongresi Bildiriler Kitabı, ss.63-77, Ankara.
- Jensen, R. R, Hardin, P. J., Hardin, A. J., (2012), *Estimating urban leaf area index (LAI) of individual trees with hyperspectral data*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 78(5), 495–504.
- 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, Istanbul University, 61 (1), 47-54.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., Chipman, J., (2015), *Remote Sensing and Image Interpretation*, 7th Edition, USA, 736 ss.
- Liu, A., Wang, C., . Chen, J.M., Wang, X., Jin, G., (2015), *Empirical models for tracing seasonal changes in leaf area index in deciduous broadleaf forests by digital hemispherical photography*, Forest Ecology and Management 351, 67–77.
- Öztürk, S. ve Özdemir Z., (2013), *Kentsel açık ve yeşil alanların yaşam kalitesine etkisi Kastamonu örneği*, Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 13 (1): 109-116.
- Payero, J. O., Neale, C. M. U. ve Wright, J. L. (2004). *Comparison of eleven vegetation indices for estimating plant height of alfalfa and grass*. Applied Engineering in Agriculture, 20, 385-393, doi: 10.13031/2013.16057.
- Peper P. J. ve McPherson, G. E.,(2003), *Evaluation of four methods for estimating leaf area of isolated trees*, Urban Forestry and Urban Greening, 2, 19-29.
- Sağlam, S. ve Özkan, U. Y., (2012), *Kent Orman Kavramı ve Planlama Örnekleri*, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim 2011, Kahramanmaraş.
- Serin, N., ve Gül, A. (2006), *Kent ormancılığı kavramı ve Isparta kent içi ölçeğinde irdelenmesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A(3), 97-115.
- İTÜ - Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi (2017), <http://www.cscrs.itu.edu.tr/>[Erişim 20 Şubat 2017].
- Türkiye İstatistik Kurumu (2017), *Nüfus Projeksiyonları 2013-2075*, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15844> [Erişim 20 Şubat 2017].
- Wu, Chaoyang, Zheng Niu, ve Shuai Gao, *The potential of the satellite derived green chlorophyll index for estimating midday light use efficiency in maize, coniferous forest and grassland*, Ecological Indicators 14.1 (2012): 66-73, doi: 10.1016/j.ecolind.2011.08.018
- Waser, L. T., Kuchler, M., Jutte, K. ve Stampfer, T. (2014). *Evaluating the potential of WorldView-2 data to classify tree species and different levels of ash mortality*, Remote Sensing, 6, 4515-4545, doi:10.3390/rs6054515.