



**Turkish Journal of LIDAR**  
**Türkiye Lidar Dergisi**

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/melid>

e-ISSN 2717-6797



## Kentsel Yeşil Alan Kalitesinin LiDAR Nokta Bulutu Verileri Kullanılarak Haritalanması

Derya Gülçin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> British Columbia University, Forestry Faculty, Department of Forest Resources Management, Urban Forestry Research in Action, BC V6T 1Z4, Vancouver, Kanada

<sup>2</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Aydın, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Kentsel Peyzaj  
LiDAR  
Uzaktan Algılama  
Kentsel Vegetasyon İndeksi  
Kentsel Ormanlık

### ÖZ

Yapı yoğunluğu ve vejetasyon karakteristiklerini dikkate alan kentsel peyzaj çalışmalarında, üç boyutlu veri kullanılarak yeşil alanların mekânsal bağlantılığın kentsel yeşil alan kalitesi ile nasıl bütünleştirileceği konusunda yapılmış çalışma oldukça sınırlıdır. Bu araştırma, son on yılda yapılaşma hızının yüksek olduğu bir kampüs alanı ve yakın çevresinde yürütülmüştür. Araştırmanın temel amacı, kentsel yeşil alanların mekânsal dağılımını, bağlantılılık konsepti çerçevesinde analiz etmek ve yaşam kalitesi ile ilişkilendirmektir. Araştırma kapsamında, LiDAR (*Light Detection and Ranging*) nokta bulutu verileri kullanılarak hem yapı hem de vejetasyon karakteristikleri dikkate alınmış, nokta başına düşen hacim hesaplamaları yapılmış ve kentsel vejetasyon indeksi (KVI) haritası oluşturulmuştur. Mekânsal bağlantılılığı sağlayan habitat ünitelerinden merkez ve koridorlar morfolojik mekânsal patern analizi ile belirlenerek KVI ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç haritası, kampüs alanındaki yeşil alanların yakın çevresindeki doğal alanlarla bir bütün olarak ele alınıp tasarlandığını göstermektedir. Araştırma alanındaki yeşil alanların %60,1'inin çok yüksek; %10,39'unun yüksek, %12,22'sinin orta, %7,16'sının düşük, %9,29'unu çok düşük kalitede olduğu belirlenmiştir. Herhangi bir kalite değerine sahip olmayan yeşil alanlar ise, araştırma alanının %0,83'ünü oluşturmaktadır. Buna ek olarak, hızlı yapılaşmaya karşın kentsel yeşil alanların araştırma alanında göreceli olarak dengeli dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın özgün yönü, LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak kentsel yeşil alanların kalitesinin nasıl haritaya aktarılabilirliğini gösteren bir yöntem akışı sunmasıdır.

## Mapping the Spatial Quality of Urban Green Spaces Using LiDAR Data

### Keywords

Urban landscape  
LiDAR  
Remote Sensing  
Urban Vegetation Index  
Urban Forestry

### ABSTRACT

Studies on how to map the spatial connectivity of urban green spaces using three-dimensional data that take into account life quality and vegetation characteristics are limited. This research was carried out on a campus and its environs where the construction rate of new buildings was high in the last decade. The main purpose of the research was to map the spatial quality of urban green spaces associated with the ecological connectivity. Within the scope of the research, both building density and vegetation characteristics were taken into consideration by using LiDAR (*Light Detection and Ranging*) data, the volumes of buildings and vegetation types were computed, and an Urban Vegetation Index (UVI) map was created. Core and bridge areas that provided spatial connectivity were determined by MSPA (*Morphological Spatial Pattern Analysis*), and they were associated with UVI. The results suggest that the green spaces in the campus area were designed to enhance connectivity with the natural areas surrounding the campus. It was determined that 60.1% of the green spaces in the research area provided very high, 10.39% high, 12.22% medium, 7.16% low, and 9.29% very low quality respectively. Areas that did not provide quality constitute 0.83% of the research area. In addition, despite the rapid construction, it has been observed that the urban green spaces were relatively evenly distributed in the research area. The novelty of this study is to present a methodological approach to mapping the spatial connectivity of urban green spaces using LiDAR data.

\*Sorumlu Yazar (\*Corresponding Author)

\*(derya.yazgi@adu.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-7118-0174

Cite this article (APA);

Gülçin D (2020). Kentsel Yeşil Alan Kalitesinin LiDAR Nokta Bulutu Verileri Kullanılarak Haritalanması. *Turkish Journal of LIDAR*, 2(2), 23-33.

Araştırma Makalesi (Research Article)

Received: 16/09/2020; Accepted: 01/10/2020

## 1. GİRİŞ

Dünyada kentsel gelişimin yüksek olduğu çoğu kentte özellikle metropolitan alanlarda, kentsel gelişim/değişim, peyzajda çeşitli olumsuz etkilere neden olmuştur (Di Giulio vd., 2009; Nor vd., 2017; Gilani vd., 2020). Değişimin kaçınılmaz sonuçlarından birisi, doğal ve yarı doğal habitatların parçalanarak izole olması ve uzun vadede etkisini gösteren biyoçeşitlilik kaybıdır (Shochat vd., 2010; van Vliet, 2019; Sütünç, 2020). Biyoçeşitlilik, ekosistem servisleri hiyerarşisinin tüm seviyelerinde önemli bir yere sahiptir (Pelorosso vd., 2016). Bu nedenle peyzajda bağlantılılık ile ilgili ekosistem servisleri, biyolojik çeşitliliğe atıf yapmaktadır (Mace vd., 2012). Son yıllarda, gelişmiş ülkelerin kentsel gelişim politikaları arasında yeşil altyapının planlanmasına yönelik ilgi ve motivasyon yüksektir (Sanesi vd., 2017; Du Toit vd., 2018; Langemeyer vd., 2020). Yeşil altyapı veya mavi-yeşil altyapı, kentsel peyzajlarda iklimsel sorunlara çözüm alternatifleri getiren sürdürülebilir ekosistem temelli bir yaklaşımdır (Alves vd., 2019). Bu yaklaşımın ekolojik ve ekonomik katkılarının (yağmur suyu yönetimi, iklim adaptasyonu, ısı adası etkisinin azaltılması, biyolojik çeşitliliğin artırılması, gıda üretimi, hava kalitesinin artırılması, sürdürülebilir enerji üretimi, temiz su sağlama) yanı sıra çeşitli sosyal katkıları (yaşam kalitesinin artırılması, rekreasyon hizmetlerinin sağlanması gibi) da bulunmaktadır (Foster vd., 2011; Coutts & Hahn, 2015; Hoang & Fenner, 2016; Berland vd., 2017; Anguelovski vd., 2019; De la Sota vd., 2019; Venter vd., 2020). Kentlerde yeşil alanlar, kentsel yeşil altyapının önemli bileşenlerini oluştururlar. Bu bağlamda, yeşil alanların yeşil altyapı ölçütlerine göre tasarlanması, kentleri görsel olarak şekillendirebileceği gibi biyolojik çeşitlilik ve habitat koruma, rekreasyon olanakları sağlama, kentlilerin sosyal ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılama gibi pek çok fayda sağlamaktadır (Haq, 2011). Mekânsal bir bakış açısıyla kentsel yeşil alanlar, kentlerin gelecekteki fiziksel formları ve sürdürülebilir kalkınmasında da önemli rol oynarlar (Mell, 2017). Önceki çalışmalar, kentsel yeşil alanların parçalanmasının kentsel ekosistemlerin sağlığını azalttığını belirtmiştir (Li vd., 2015). Ekosistem fonksiyonlarının daha iyi çalışmasına destek olmak ve kentsel biyoçeşitliliği sürdürülebilir bir şekilde korumak için mekânsal planlamanın ortak vurgusu, kapsamlı bir kentsel yeşil alan ağı oluşturmaktır (Kong vd., 2010; Hepcan, 2013; Hermoso vd., 2020).

Peyzaj strüktüründe bağlantı, tür-peyzaj arasındaki etkileşimi sağlayarak ekolojik ağın temel özelliğini oluşturur. Kentsel yeşil alan ağında bağlantılılığı oluşturan temel unsurlar; yeşil yol, yeşil yolların oluşturduğu koridorlar ve yeşil kuşaklardır (Amati & Taylor, 2010). Genel olarak, kentsel peyzajlarda yeşil alanların oluşturduğu bağlantı şu üç şekilde ifade edilebilir (Ioja vd., 2014): 1) yeşil yamalar arasında bireysel organizmaların hareketine ilişkin verileri dâhil etmeden, yamaların uzamsal konfigürasyonunun bir endeksini gerektiren yapısal bağlantı; 2) organizmaların dağılıma yeteneği hakkında temel veya dolaylı bilgileri içeren potansiyel bağlantı; 3) organizmaların yeşil

yamalar arasında gerçek hareketine atıfta bulunan işlevsel veya gerçek bağlantı. Bir diğer ifadeyle yapısal bağlantı, peyzaj bileşenlerinin mekânsal dağılımına ve bileşimlerine dayalı olarak habitatları potansiyel olarak birbirine bağlayan peyzaj unsurlarını ifade ederken, fonksiyonel bağlantı biyotik süreçleri (göç, yayılma, gen akışı vb.) ifade eder (LaPoint vd., 2015). Yapısal bağlantıyı etkileyen dış faktörler olabilir, ancak kentsel alanın boyutu, bağlantıdaki değişimin büyüklüğünü ve yönünü etkileyen en önemli faktörlerden birisidir (Bierwagen, 2007; Hepcan, 2013). Kentsel yeşil alan ağının ekolojik ağlara katkısı, mevcut yeşil alanların korunmasına ve yeşil alan yamaları arasındaki bağlantının düzeyine bağlıdır (Serret vd., 2014).

İlgili literatürde peyzajda bağlantılılık ilkesi, habitat sağlama veya türlere göç etme imkânı verme çerçevesinde temel olarak yeşil alan ağı ile ilişkilendirilmiştir (Li vd., 2015; Eroğlu vd., 2018; Zhang vd., 2019). Çalışmaların önemli bir bölümü, kentsel sınırlara veya yeşil altyapının kırsal unsurlarına odaklanmıştır. Bununla birlikte, kentsel yeşil altyapının alt ölçütleri arasından, “bağlantılılık” ölçütünün en az “çok işlevlilik” ölçütü kadar önemli olduğu vurgulanmıştır (Rusche vd., 2019). Ayrıca sahaya özgü özellikleri kabul eden, tekrar uygulanabilir bağlantılılık çalışmalarına ihtiyaç vardır (Liquete vd., 2015). Bağlantılılık değerlendirmesi, peyzaj analizleri çerçevesinde kullanılan çeşitli peyzaj metrikleri ve bağlantılılık modelleri gibi kantitatif yöntemler doğrultusunda yapılmaktadır (Ioja vd., 2014; Tian vd., 2017; Zhang vd., 2019). Yeşil alan bağlantılılığının belirlenmesinde, çoğunlukla ekolojik planlama yöntemleri (*least-coast* modeli, peyzaj patern metrikleri vb.) kullanılmaktadır. Son yıllarda, Vogt (2016) ve Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Çevre ve Sürdürülebilirlik Enstitüsü tarafından geliştirilen GuidosToolbox 2.9 (*Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes*) yazılımı, yeşil alanların matematiksel morfolojiye dayalı mekânsal desen analizlerinde kullanılmaktadır. Morfolojik mekânsal patern analizinin (MSPA) avantajı, yeşil alan bağlantılılığının temelini oluşturan habitat ünitelerini (koridor ve merkez alanları) net olarak tanımlamasıdır.

Yeşil alanlar, ekolojik ağların mekânsal dağılımını ve dinamiklerini anlamak için mekânsal-zamansal veriler ile analiz edilir. Yeşil alanların mekânsal analizlerinde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknikleri sıklıkla kullanılmış, çoklu spektral uydu görüntülerinden elde edilen iki boyutlu veri ölçümleri (normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi gibi) yaygın olarak tercih edilmiştir (Bilgili vd., 2018; Wu vd., 2019). İki boyutlu veri ölçümleri, hem mekânsal hem de hacimsel olarak bitki örtüsündeki heterojenlik nedeniyle kentsel yeşil ağın değerlendirilmesinde sınır oluşturabilir. Örneğin; kentsel yeşil alanların alt bileşenleri (kent parkları, ev bahçeleri vb.) birbirine yakın mesafede olmasına rağmen çok çeşitli bitki türlerini içerebilir. Bu çeşitliliğin iki boyutlu olarak değerlendirilmesi, yeşil alanların dikey dağılımını, yani yamalar arasındaki bağlantının uzaysal dağılımının anlaşılmasına engel olur. Bu nedenle, güncel çalışmalarda yeşil alanların mekânsal dağılımında, uzaktan algılama teknolojisinin ileri seviyedeki araçları

kullanılarak (insansız hava araçları, lazer algılama sistemi vb.) üç boyutlu veri analizleri yapılmaktadır (Alonzo et al., 2014; Casalegno vd., 2017; Pu & Landry, 2020). Bu araçlardan LiDAR (*Light Detection and Ranging*) nokta bulutu verileri, yeni mekânsal endeksler oluşturulmasında önemli bir girdi olarak kullanılmış, bitki örtüsü veya yapılaşmış alanların hacim bilgilerini dikkate alarak mekânsal özelliklerin kapsamlı olarak analiz edilmesine olanak tanımıştır (Tompalski & Wezyk, 2012; Petras vd., 2017).

Hızlı kentleşme, özellikle kentsel alanlarda başta yeşil alan olmak üzere açık alanların sürekli olarak azalmasına ve parçalanmasına yol açmaktadır. Alan kullanım tiplerinin hızla değiştiği kentlerde, yeşil alan dağılımında yetersizlikler ve eşitsizlere rastlamak mümkündür (Wüstemann vd., 2017; Kronenberg vd., 2020). Bu bağlamda, özellikle yeni yeşil alanlar oluşturmak ve yeşil alan ağını güçlendirecek/devamını sağlayacak bir planlama yaklaşımına ihtiyaç vardır. Yapılaşma seviyesinin yüksek olduğu kentsel peyzajlarda yeşil alanlar arasındaki bağlantı; kent habitatlarının korunması, ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir olması ve kentsel ekolojik ağın bütüncül olarak planlanması bakımından önemlidir. Yapı yoğunluğu ve vejetasyon karakteristiklerini dikkate alan kentsel peyzaj çalışmalarında, üç boyutlu veri kullanılarak yeşil alanların mekânsal bağlantılılığının kentsel yeşil alan kalitesi ile nasıl bütünleştirileceği konusunda yapılmış çalışma oldukça sınırlıdır. Bu araştırma, son on yılda yapılaşma hızının yüksek olduğu British Columbia Üniversitesi (UBC) Vancouver ana kampüsü ve yakın çevresinde yürütülmüştür. Araştırmanın temel amacı, kentsel yeşil alanların mekânsal dağılımını, bağlantılılık konsepti çerçevesinde analiz etmek ve yaşam kalitesi ile ilişkilendirmektir. Araştırma kapsamında, LiDAR (*Light Detection and Ranging*) nokta bulutu verileri kullanılarak hem yapı hem de vejetasyon karakteristikleri dikkate alınmış, nokta başına düşen hacim hesaplamaları yapılmış ve kentsel vejetasyon indeksi (KVI) haritası oluşturulmuştur. Bu çalışmanın özgün yönü, LiDAR nokta bulutu verileri kullanılarak kentsel yeşil alanların

kalitesinin nasıl haritaya aktarılabilceğini gösteren bir yöntem akışı sunmasıdır.

## 2. YÖNTEM

British Columbia Üniversitesi (UBC) Point Grey Kampüsü, üniversitenin ana kampüsüdür. Kampüs Britanya Kolumbiyası eyaleti (Kanada) Point Grey yarımadasında, Vancouver şehrinin en batısında yer almaktadır ve 55.000'e yakın öğrenciye (lisans ve lisansüstü) ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 1).

Yaklaşık 4 km<sup>2</sup> alan kaplayan kampüs, pek çok sayıda özel konut alanına da bünyesinde bulundurmaktadır. Kampüs, batısında Pacific Spirit Bölge Parkı olarak bilinen ve yaklaşık 0,9 km<sup>2</sup> alan kaplayan bir kent ormanı çevrilidir. Ayrıca kampüs alanı birbirinden farklı çeşitli yeşil alanlara (park, çocuk parkı, botanik parkı) sahiptir. UBC kampüsünde yapılaşma yoğunluğu, son on yılda en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Teslenko (2019) UBC kampüsündeki yoğun yapılaşma nedeniyle, başta kentsel orman alanları olmak üzere yeşil alanlar üzerindeki mekânsal dağılımın izlenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu nedenle, kampüsteki mevcut bitki örtüsünün yeşil alan bağlantılılığı kapsamında mekânsal dağılımını yaşam kalitesi ile ilişkilendirmek ve analiz etmek önemlidir.

Bu araştırmanın materyalini; kampüs alanında GPS ile işaretlenmiş verisi (300 kent ağacının coğrafi konumu kaydedilmiştir) ve 27-28 Ağustos 2018 tarihlerinde üretilen LiDAR nokta bulutu verileri (m<sup>2</sup>'de 30 nokta) oluşturmaktadır. Şekil 1'de görüleceği üzere, UBC kampüs alanı ve yakın çevresini kaplayan toplam 14 LiDAR nokta bulutu verisi bulunmaktadır. Her bir LiDAR verisi 1 km x 1 km alan kaplamaktadır. LiDAR verilerinin, dikey ve yatay doğrulukları sırasıyla 0,18 ve 0,36 m'dir (% 95 güven aralığında hesaplanmıştır). Tüm veriler, WGS 84'e göre UTM Zone 10 (*Central Meridian 123 West*) koordinat sisteminde hazırlanmıştır. LiDAR nokta bulutu verileri çıplak alan, düşük bitki örtüsü (yükseklik <2 m), yüksek bitki örtüsü (yükseklik > 2 m), su ve yapı olmak beş grupta sınıflandırılmıştır.



**Şekil 1.** Araştırma alanının coğrafi konumu.

Araştırmanın yöntemi; kentsel vejetasyon indeksi (KVI) haritasının oluşturulması, yüksek bitki örtüsünün haritalanması (2 metreden büyük çalı ve ağaç grupları), morfolojik mekânsal patern analizi (MSPA) ve kentsel yeşil alan kalitesinin haritalanması olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır (Şekil 2).

Bu çalışmada, KVI'nin hesaplanmasında Tompalski & Wezyk (2012) tarafından önerilen üç boyutlu uzamsal metrikler kullanılmıştır. Bu metrikler, kentsel yeşil alanlar ve yapılar arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurarak yeşil alan kalitesinin bir ölçütü olarak tanıtılmıştır. LiDAR verilerini voksellere (üç boyutlu veri matrisleri) dönüştürmek, üç boyutlu mekânsal indeksleri hesaplamak ve haritaları üretmek için R istatistik yazılımında tekrar kullanılabilir bir komut dosyası yazılmıştır (R, 2020). Bu kapsamda, R paketlerinden LiDAR verilerini analiz etme kapasitesi çok yüksek olan LidR paketi kullanılmıştır (Roussel vd., 2020). KVI hesaplaması, yapıların ve yüksek bitki örtüsünün (yüksekliği 2 m'den büyük bitkiler) hacimlerini dikkate alır. Araştırma alanındaki her bir yapının hacmi, yapı tabanı ile yapı yüksekliğinin çarpılarak hesaplanmıştır. Yüksek vejetasyon sınıfındaki her bir homojen segmentin hacmi, vokseller kullanılarak belirlenmiştir. KVI, yapı ve yüksek bitki örtüsünün yanı sıra yüksekliği 2 m'den düşük bitki gruplarını da değerlendirir. KVI formülü, hacimsel oranların ağırlıklı toplamını ifade eder. Aşağıdaki ilk formülde;  $w$  yüksek bitki örtüsü ve yapıların göreceli alanını,  $V_{hv}$  yüksek bitki örtüsü hacmini,  $V_b$  yapı hacmini,  $A_v$  tüm bitki örtüsünün toplam alanını (yükseklik<2 m ve yükseklik>2m) ve  $A_b$  yapıların toplam alanını göstermektedir.

$$UVI_{abs} = w \times \frac{V_{hv}}{V_b} + (1 - w) \times \frac{A_v}{A_b} \quad (1)$$

İkinci formülde;  $A_{hv}$  yalnızca yüksek bitki örtüsünün alanını,  $A_b$  yapıların toplam alanını ve  $A_v$  tüm bitki örtüsünün toplam alanını (yüksekliği 2 m'den düşük ve 2 m'den yüksek) ifade etmektedir.

$$w = \frac{A_{hv} + A_b}{A_v + A_b} \quad (2)$$

Mekânsal metrikler hesaplanmadan önce, hacim hesaplamalarının doğruluğu için sayısal arazi modelinin (*digital terrain model*) oluşturulması gereklidir. Sayısal arazi modeli oluşturulduktan sonra, LiDAR nokta bulutu verileri standardize edilmiştir. Bu işlem, LiDAR nokta bulutunu sayısal arazi modeline göre normalleştirir. Bir başka ifadeyle, sayısal arazi modeli ile noktaların bir araya gelmesini sağlar. Yukarıda sunulan mekânsal indeksler, yalnızca bitki örtüsü ve yapıları dikkate aldığı için bu iki sınıfın veri setinden filtrelenerek ana girdi oluşturacak şekilde çıkartılmıştır. R'da yazılan fonksiyonel kod dizini çalıştırılarak, tüm metrik haritalar 50 m x 50 m yersel çözünürlükte oluşturulmuştur.

İkinci aşamada, LiDAR verileri havadaki tüm objelerin üç boyutlu uzamsal bilgisini içerdiği için (havadaki toz, uçan kuş, uçak vb.), verilerin %95'inin değerlendirmeye alınması, bir diğer ifadeyle filtrelenmesi gerekir. Bu nedenle, filtrelemede 1,2 hassasiyet değeri kullanılmış ve veri seti %95 persentilde filtrelenmiştir. Veri standardizasyonundan sonra, kanopi yükseklik modeli (KYM) oluşturulmuştur. KYM, medyan filtre uygulanarak düzgünleştirilmiştir ve bitki pozisyonları yerel maksimum filtre (*local maximum filter*) ile hesaplanmıştır. Kentsel alanlardaki yüksek doğruluğundan dolayı bu çalışmada, Dalponte ve Coomes (2016) bireysel ağaç segmentasyon algoritması kullanılmıştır. Sonuç olarak, yüksek bitki örtüsü, vektör veri olarak haritalanmıştır. Bireysel ağaç segmentasyonundan sonra, Plowright (2015) tarafından önerilen yöntemle göre doğruluk

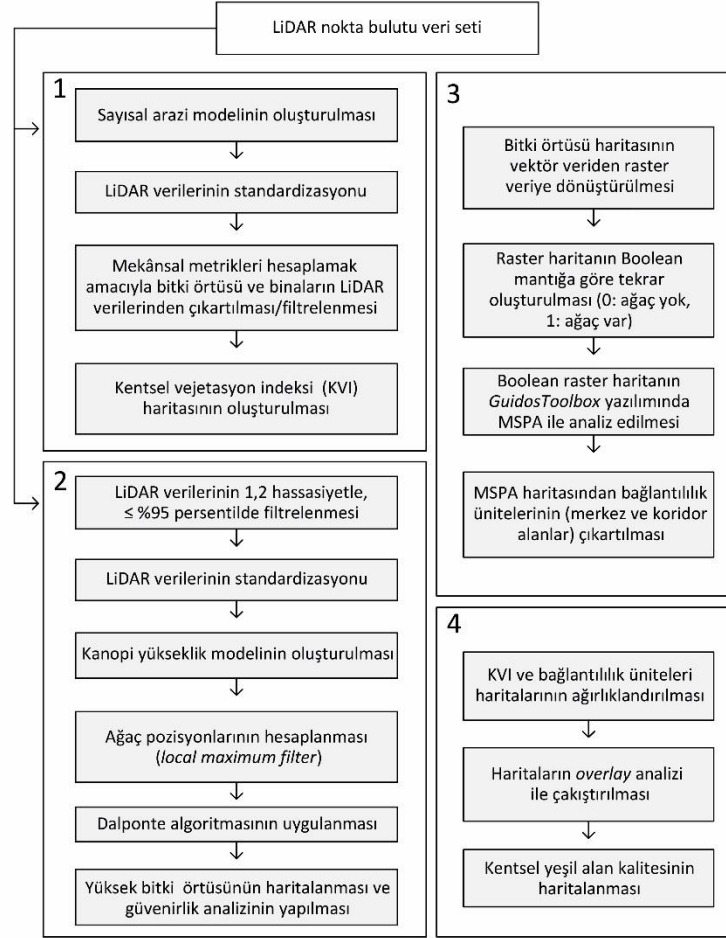
değerlendirmesi yapılmıştır. Omisyon ve komisyon hataları tespit edilerek aşağıdaki denklemler kullanılmıştır (Manning vd., 2008):

$$Re = \frac{MT}{MT + OE'} \quad (3)$$

$$Pr = \frac{MT}{MT + CE'} \quad (4)$$

$$F = 2 \times \frac{Re + Pr}{Re + Pr'} \quad (5)$$

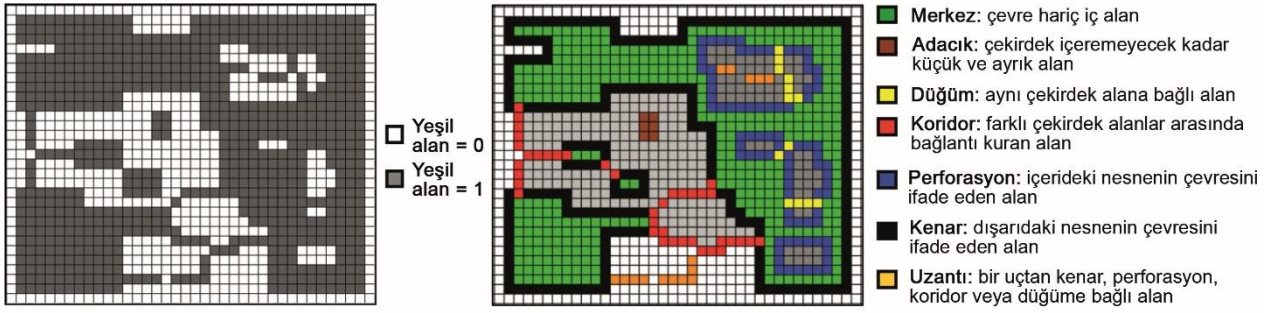
Güvenirlilik analizinde yerden ölçülen 300 ağacın coğrafi konumu kullanılmış ve bu veri LiDAR'dan elde edilen vektör formatındaki bitkilerle ArcMap 10.7'de karşılaştırılmıştır. Çakıştırmanın amacı, omisyon ve komisyon hatalarını belirlemektir. Yukarıdaki formülde  $MT$ , LiDAR bitki segmentleri ile eşleşen bitki sayısını (yerden ölçülen);  $OE$ , omisyon hatasını;  $CE$ , komisyon hatasını;  $Re$ , doğruluk değerini;  $Pr$  hassasiyet değerini;  $F$ ,  $F$  skor değerini göstermektedir.  $Re$ , bitki algılama oranının bir ölçüsüdür;  $Pr$ , bitkileri uzaktan algılamanın doğruluğunun bir ölçüsüdür;  $F$  ise genel doğruluğun bir ölçüsüdür.



Şekil 2. Araştırmanın yöntem akışı (MSPA: morfolojik mekânsal patern analizi).

Yöntemin üçüncü aşamasında, bitki örtüsü vektör verisi, raster veri formatına dönüştürülmüştür. Raster harita, Boolean mantığa göre GuidosToolbox yazılımında kullanılmak üzere tekrar oluşturulmuştur (0: yeşil alan yok, 1: yeşil alan var). Morfolojik mekânsal patern analizi (MSPA), görüntü bileşenlerinin geometrisinin ve bağlantısının açıklamasını hedefleyen özelleştirilmiş bir matematiksel morfolojik operatörler dizisidir. Yalnızca geometrik kavramlara dayanan bu yöntem, herhangi bir uygulama alanında herhangi bir ölçekte ve her tür dijital görüntüye uygulanabilir (Vogt 2016). Şekil 3'de görüldüğü üzere, MSPA sistemi var-yok verisi ile çalışır. Şekilde soldaki ilk görsel, girdi verisini (raster) göstermektedir. MSPA analizinden sonra, yeşil alanları gösteren veri toplamda 7 sınıfa ayrılmıştır: 1) merkez (çevre hariç içerde kalan alanı);

2) adacık (merkez içermeyecek kadar küçük ve ayrık alan); 3) düğüm (aynı merkez alanına bağlı alan), 4) koridor (farklı merkez alanlar arasında bağlantı kuran alan), 5) perforasyon (içerideki nesnenin çevresini ifade eden alan), 6) kenar (dışarıdaki nesnenin çevresini ifade eden alan) ve 7) uzantı (bir uçtan kenar, perforasyon, koridor veya düğüme bağlı alan). Bu sınıflardan koridor ve merkez alanlar, mekânsal bağlantılılığı doğrudan sağladığı için önceki çalışmalar bağlantılılık çalışmalarında yalnızca bu iki sınıfı dikkate almıştır (Velázquez vd., 2017; Ossola vd., 2019). Bu çalışmada üretilen MSPA haritasında kenar genişliği MSPA standart değeri (3 m) kullanılmış, MSPA sınıfları yalnızca bağlantılılık ünitelerini (koridor ve merkez alanlar) gösterecek şekilde tekrar oluşturulmuştur.



Şekil 3. MSPA segmentasyon yöntemi ve MSPA sınıfları (MSPA: morfolojik mekânsal patern analizi).

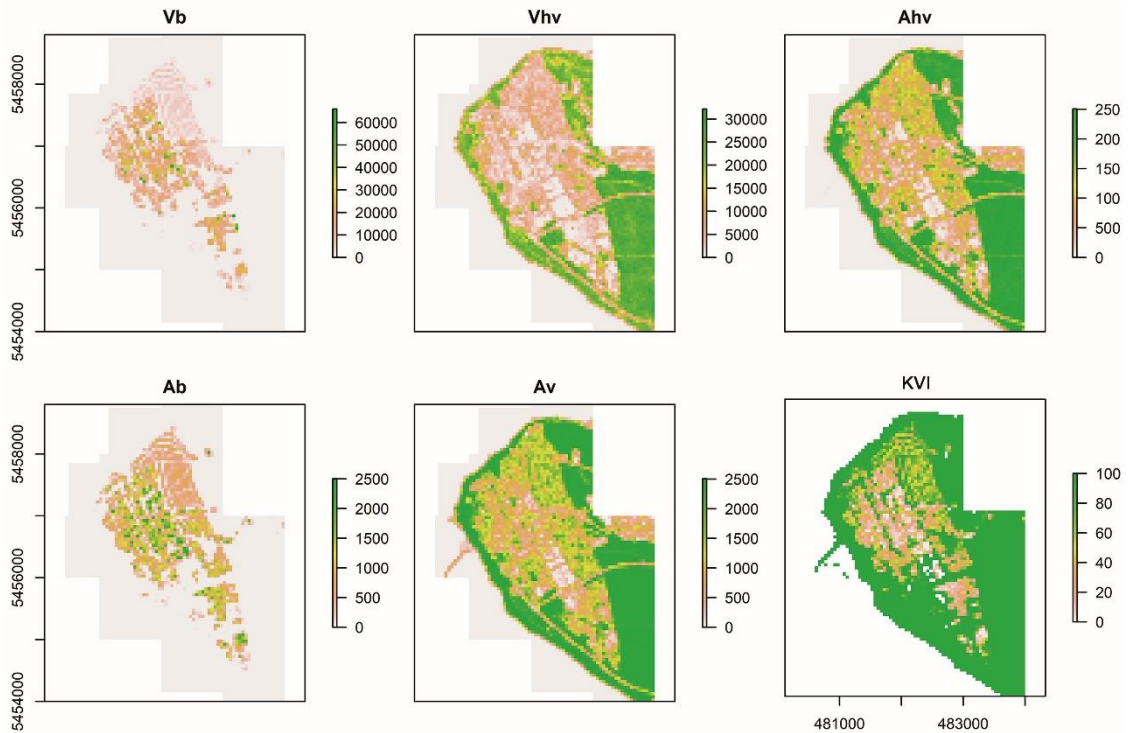
Yöntemin son aşamasında, KVI ve bağlantılılık üniteleri haritaları ağırlıklandırılmıştır. *Overlay* analizinde bağlantılılık ünitelerinin ağırlığı, KVI ağırlığının 2 katı olarak alınmıştır. Ağırlıkların belirlenmesinde literatür çalışmaları ve yazarın mesleki deneyimlerinden yararlanılmıştır (Marulli & Mallarach, 2006; Dupras vd., 2016). Haritaların çakıştırılması sonucunda kentsel yeşil alan kalitesi haritalanmıştır.

### 3. BULGULAR

Bu araştırma, üç boyutlu mekânsal metrikleri iki boyutlu bağlantılılık sınıfları ile ilişkilendirerek, kentsel yeşil alanların mekânsal bağlantılılığını haritalamak amacıyla bir dizi matematiksel yöntem uygulamıştır. Kentsel yeşil alan kalitesinin (KVI) hesaplanmasını sağlayan ve LiDAR nokta bulutu verilerinden elde edilen

mekânsal metrik haritaları Şekil 4’de sunulmuştur. Hacim ve alan değerlerindeki varyasyon, araştırma alanı boyunca çeşitlilik göstermektedir. KVI haritası incelendiğinde, kampüs alanının etrafındaki indeks değerinin en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. KVI indeks değeri, yapılaşma arttıkça azalmaktadır. Yeşil alanların mevcut olmadığı alanlarda indeks değeri hesaplanmadığı için kampüs alanının güneyinde belirli bölgelerde herhangi bir değere rastlanmamıştır.

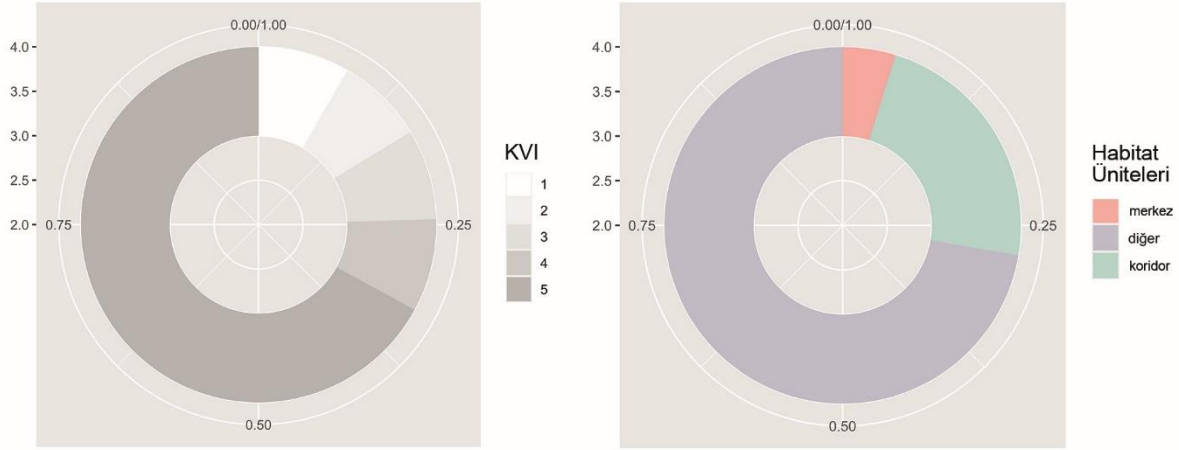
Dalponte bireysel ağaç segmentasyon algoritması sonucunda üretilen vektör bitki verisi, yerden ölçülen veri ile çakıştırıldığında toplam 227 ağacın birebir eşleştiği gözlemlenmiştir. Toplam 56 omisyon hatası, 39 komisyon hatası belirlenmiştir. *Re* değeri 0,8; *Pr* değeri 0,85; *F-Score* değeri ise 0,83 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. LiDAR nokta bulutu verilerinden elde edilen mekânsal metrik haritaları (Vb: yapı hacmi, Vhv yüksek bitki örtüsü hacmi, Ahv: yüksek bitki örtüsünün alanı, Ab: yapıların toplam alanı, Av: tüm bitki örtüsünün toplam alanını [yüksekliği 2 m'den düşük ve 2 m'den yüksek], KVI: kentsel yeşilasyon indeksi).

KVI haritasındaki değerler, düşük değerden en yüksek değere göre 1'den 5'e kadar sınıflandırıldığında; 1. sınıftaki (en düşük) değerlerin araştırma alanının % 8,31'ini, 2. sınıftaki (düşük) değerlerin araştırma alanının % 7,96'sını, 3. sınıftaki (orta) değerlerin araştırma alanının %8,23'ünü, 4. sınıftaki (yüksek)

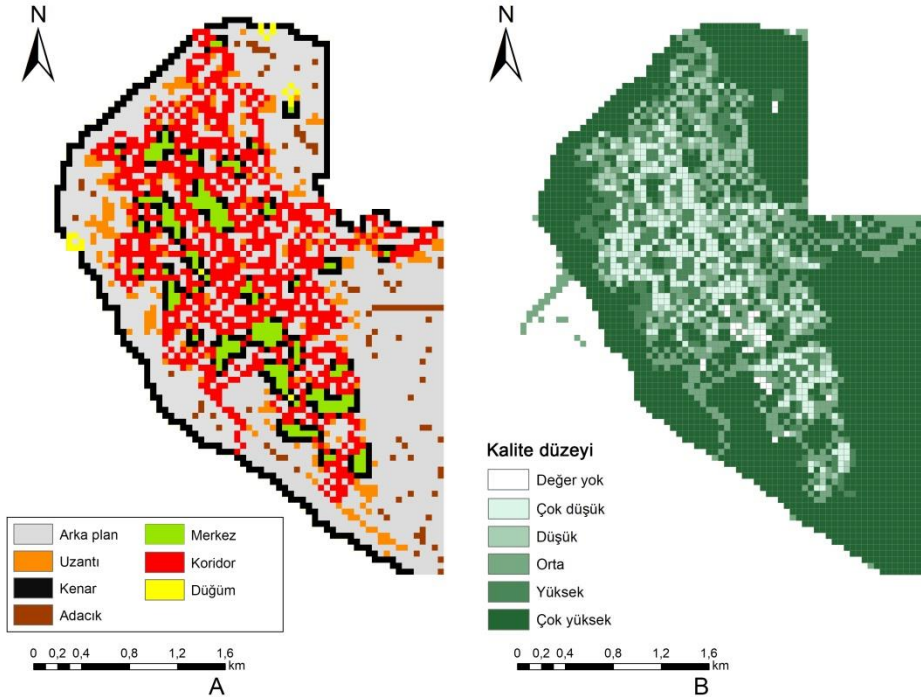
değerlerin araştırma alanının % 8,44'ünü ve 5. sınıftaki değerlerin (en yüksek) araştırma alanının % 67,06'sını oluşturduğu belirlenmiştir. Habitat üniteleri arasından merkez alanlar, alanın % 4,79'unu oluştururken koridorlar % 22,9'unu oluşturmaktadır (Şekil 5).



**Şekil 5.** KVI ve MSPA ünitelerinin (sınıflarının) oransal dağılımı (KVI: kentsel yejetasyon indeksi, MSPA: morfolojik mekânsal patern analizi).

Araştırma alanındaki yeşil alanların %60,1'inin çok yüksek; %10,39'unun yüksek, %12,22'sinin orta, %7,16'sının düşük, %9,29'unu çok düşük bağlantı sağladığı belirlenmiştir. Bağlantılılık sağlamayan alanlar ise, araştırma alanının %0,83'ünü oluşturmaktadır.

Kampüs alanı boyunca değerler heterojen olarak dağılmaktadır. Buna ek olarak, hızlı yapılaşmaya karşın kentsel yeşil alanların araştırma alanında göreceli olarak dengeli dağıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 6).



**Şekil 6.** A) Morfolojik mekânsal patern sınıfları haritası, B) Kentsel yeşil alan kalitesi haritası.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Genel olarak, kentsel yeşil alanların yapısı heterojendir/karmaşıktır ve bu karmaşıklık çoğunlukla iki boyutlu olarak incelenmiştir. Dolayısıyla kentsel hacimde, yeşil alanların dikey yapısı ihmal edilmiştir. İki

boyutta incelenen kentsel yeşil alan dağılımı, yeşil alanların hacimsel olarak tekdüze dağılmış olduğu varsaymaktadır. Örneğin; normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi bitki örtüsünü var-yok verisi olarak haritalanmasına izin verir, ancak bir veya daha fazla katmanın çıkışabileceği kentsel alanlarda dikey dağılım

hakkında hiçbir bilgi vermez (Casalegno vd., 2017). Bu nedenle, yeşil alanların mekânsal bağlantılılığını ve kalitesini değerlendirirken üç boyutlu veri kullanmak ve bu veriyi habitat üniteleri ile ilişkilendirmek önemlidir.

LiDAR nokta bulutu verileri, hangi bireysel ağaç segmentasyon algoritması ile analiz edilirse edilsin, kentsel vejetasyonu % 100 doğrulukla haritalamak mümkün değildir. Bunun nedeni, LiDAR verileri oluşturulurken, noktaların yüzeye çarptıktan sonra farklı titreşimde yansımadır. Dolayısıyla, veri analiz edilirken seçilen herhangi bir segmentasyon algoritmasının gerçekte bitki olmayan bir yerde bitki varmış gibi davranma ya da aksine gerçekte bitki mevcut değilken nokta dağılımındaki hatadan ötürü bitki yokmuş gibi davranma ihtimali vardır. Bu araştırmanın amacı, segmentasyonu iyileştirmek ya da yeni bir segmentasyon algoritması üretmek olmadığı için, %80'in üzerindeki segmentasyon doğruluğu güvenilir bulunmuştur. Ancak, segmentasyondaki doğruluk yine de araştırmanın bir sınırıdır. Araştırmanın ikinci sınırı, ekolojik bağlantılılık modellerinden farklı olarak bariyerler üzerine odaklanılmamış olmasıdır. Kentsel ortamda bariyer olarak tasarlanmış yapı, yol, geçirimsiz yüzey vb. alanlar, mevcut yeşil alanlara tamamen bağlantı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, bu alanlar bitkilerin yerden ölçümü sırasında yerinde incelenmiş ve özellikle kentsel bitki örtüsü elemanlarının sık ve ritmik aralıklarla dikildiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, yolların yeşil konseptine uygun olarak tasarlanmış olması ve geçirimsiz yüzeylerde, ızgara sistemindeki bitkisel tasarıma geniş yer verildiği için, yapılar dışındaki bariyer alanlar göz ardı edilmiştir. Bundan sonraki çalışmalar, alana özgü olarak bariyer alanlarla ilgili tamamen farklı bir yöntem izleyebilir ya da benzer yaklaşımı devam ettirebilir.

LiDAR nokta bulutu verilerini kullanarak yapılan ekolojik bağlantılılık temelli çalışmalar, üç boyutlu verinin tek başına kullanılmasının yanı sıra iki boyutlu veriler ile entegre edilmesini önermiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada kentsel vejetasyon indeksi, yeşil alanların üç boyutlu dağılımını yapıları dikkate alarak haritalarken, habitat üniteleri bağlantının en yüksek nerede olabileceği konusunda bir tahmin yapmıştır. Bu iki farklı altlık haritanın, *overlay* analizi ile karşılaştırılmasındaki temel tartışma, iki boyutlu verinin sağladığı altlık haritayı, üç boyutlu yeşil alan dağılımı ile desteklemektir. Bu çalışmada sunulan yöntem, farklı yapısal bağlantılılık modelleri ile karşılaştırılabilir ve önyargı (*bias*) olup olmadığı test edilebilir. Sonuç olarak, sunulan yaklaşım yazarın mesleki tecrübesi ve literatür çalışmasına dayalı olarak oluşturulmuştur. Bundan sonraki araştırmalar, Delphi tekniği ya da analitik hiyerarşi süreci gibi farklı yöntemlerden yararlanarak, özellikle veri altlıklarının ağırlıklandırılmasında daha objektif yaklaşımlar benimseyebilir.

Araştırma alanında yapılaşma yoğunluğu yüksek olmasına karşın, mekânsal bağlantılık sağlayan alanların oransal olarak yüksek olması mevcut habitat varlığının korunması ve ekosistem servislerinin sürdürülebilir olması bakımından değerlidir. Kampüs alanının, yeşil kuşak ile çevrenmesi, kampüs ve doğal alanlar arasındaki tür-peyzaj etkileşiminin yüksek seviyede

olabileceğine işaret etmektedir. Yeşil alanlar arasında bağlantılılık sağlamayan ya da bağlantılılığı düşük olan alanların görece olarak az olması, kampüsün yoğun yapılaşma faaliyetlerine karşın yeşil alanların sürdürülebilirliğine ne kadar önem verdiğini net bir şekilde göstermektedir.

Kentsel peyzajlarda yeşil alanlar; ekolojik, sosyal ve ekonomik katkılar sağlamaktadır. Yapılan araştırmaların çoğu, yeşil alanların kentsel peyzaj planlama ölçeğinde dikey özelliklerinden ziyade bitki örtüsünün genel ayak izi veya mekânsal kapsamı ile ilgilenmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada sunulan yöntemler kentsel yeşil alanların mekânsal bağlantılılığının haritalanması amacıyla bundan sonraki çalışmalarda referans olarak kullanılabilir.

Bu araştırma, LiDAR nokta bulutu verilerinin potansiyelini kullanmış ve hesaplanan metrikler, kentsel yeşil alan kalitesini haritalamaya yönelik güçlü bir araç olarak değerlendirmiştir. LiDAR nokta bulutu verilerinin nokta yoğunluğunun çok yüksek olması, yapı ve yeşil alanların kübik hacmini net olarak hesaplanmasına olanak sağlamıştır. Saha verileri ve yerden ölçülen bitkilerin coğrafi konumları araştırmanın güvenilirliğini anlamaya yardımcı olmuştur. British Columbia Üniversitesi (UBC) Vancouver merkez kampüsü ve yakın çevresinde yürütülen bu çalışmada kullanılan teknikler; kapsamlı planlama, yeşil alanları izleme ve değerlendirme, genel çevresel iyileştirme amacıyla herhangi bir kent alanı bütününe kapsayacak şekilde uygulanabilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan üç boyutlu mekânsal metrikler, kentsel peyzajlarda yeşil alanlar ve yapılar arasındaki ilişkileri tanımlamak için tasarlanmıştır. Metrikler, yazarın görüşüne göre, kentsel yeşil alanların mekânsal kalitesinin değerlendirilmesi için uygundur. Bu değerlendirme, habitat üniteleri ile ilişkilendirildiği takdirde kentsel yeşil alanların bağlantılılık değerlendirmesi daha kapsamlı yapılabilir.

## BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Tübitak 2219-Yurt Dışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı tarafından desteklenmiştir. Tübitak'a vermiş olduğu destek için çok teşekkür ederim. GuidosToolbox yazılımının geliştiricisi Dr. Peter Vogt'a yeşil alanların mekânsal dağılımı ve bağlantılılığı hakkında verdiği teknik destekten dolayı teşekkür ederim. UBC Kampüs Planlama Komitesi'ne, araştırma alanındaki yapı bilgisini sağladığı için teşekkürler.

## KAYNAKÇA

Alonzo M, Bookhagen B & Roberts, D A (2014). Urban tree species mapping using hyperspectral and lidar data fusion. *Remote Sensing of Environment*, 148, 70-83.

Alves A, Gersonius B, Kapelan Z, Vojinovic Z & Sanchez A (2019). Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk



- management. *Journal of Environmental Management*, 239, 244-254.
- Amati M & Taylor L (2010). From green belts to green infrastructure. *Planning Practice & Research*, 25 (2), 143-155.
- Anguelovski I, Irazábal-Zurita C & Connolly J J (2019). Grabbed urban landscapes: Socio-spatial tensions in green infrastructure planning in Medellín. *International Journal of Urban and Regional Research*, 43 (1), 133-156.
- Berland A, Shiflett S A, Shuster W D, Garmestani A S, Goddard H C, Herrmann D L & Hopton M E (2017). The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and Urban Planning*, 162, 167-177.
- Bierwagen B G (2007). Connectivity in urbanizing landscapes: The importance of habitat configuration, urban area size, and dispersal. *Urban Ecosystems*, 10 (1), 29-42.
- Bilgili B C, Gökyer E, Özyavuz M & Çorbacı Ö L (2018). Peyzaj Tasarımında Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımının Değerlendirilmesi: Çankırı Karatekin Üniversitesi Yerleşkesi Örneği. *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 14, 1-17.
- Casalegno S, Anderson K, Cox D T, Hancock S & Gaston K J (2017). Ecological connectivity in the three-dimensional urban green volume using waveform airborne lidar. *Scientific Reports*, 7, 45571.
- Coutts C & Hahn M (2015). Green infrastructure, ecosystem services, and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (8), 9768-9798.
- Dalponte M & Coomes D A (2016). Tree-centric mapping of forest carbon density from airborne laser scanning and hyperspectral data. *Methods in ecology and evolution*, 7 (10), 1236-1245.
- De la Sota, C, Ruffato-Ferreira V J, Ruiz-García L & Alvarez S (2019). Urban green infrastructure as a strategy of climate change mitigation. A case study in northern Spain. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 145-151.
- Di Giulio M, Holderegger R & Tobias S (2009). Effects of habitat and landscape fragmentation on humans and biodiversity in densely populated landscapes. *Journal of environmental management*, 90 (10), 2959-2968.
- Du Toit M J, Cilliers S S, Dallimer M, Goddard M, Guenat S & Cornelius S F (2018). Urban green infrastructure and ecosystem services in sub-Saharan Africa. *Landscape and Urban Planning*, 180, 249-261.
- Dupras J, Marull J, Parcerisas L, Coll F, Gonzalez A, Girard M & Tello E (2016). The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montreal Metropolitan Region. *Environmental Science & Policy*, 58, 61-73.
- Eroğlu E, Kaya S, Doğan T G, Meral A, Demirci S, Başaran N & Çorbacı Ö L (2018). Determination of the Visual Preferences of Different Habitat Types. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 4889-4899.
- Foster J, Lowe A & Winkelmann S (2011). The value of green infrastructure for urban climate adaptation. *Center for Clean Air Policy*, 750 (1), 1-52.
- Gilani H, Ahmad S, Qazi W A, Abubakar S M & Khalid M (2020). Monitoring of Urban Landscape Ecology Dynamics of Islamabad Capital Territory (ICT), Pakistan, Over Four Decades (1976–2016). *Land*, 9 (4), 123.
- Haq S M A (2011). Urban green spaces and an integrative approach to sustainable environment. *Journal of Environmental Protection*, 2 (5), 601.
- Hepcan Ş (2013). Analyzing the pattern and connectivity of urban green spaces: A case study of Izmir, Turkey. *Urban Ecosystems*, 16 (2), 279-293.
- Hermoso V, Morán-Ordóñez, A, Lanzas M & Brotons L (2020). Designing a network of green infrastructure for the EU. *Landscape and Urban Planning*, 196, 103732.
- Hoang L & Fenner R A (2016). System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. *Urban Water Journal*, 13 (7), 739-758.
- Iojă C I, Grădinaru S R, Onose D A, Vânău G O & Tudor A C (2014). The potential of school green areas to improve urban green connectivity and multifunctionality. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13 (4), 704-713.
- Kong F, Yin H, Nakagoshi N & Zong Y (2010). Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and Urban Planning*, 95 (1-2), 16-27.
- Kronenberg J, Haase A, Łaskiewicz E, Antal A, Baravikova A, Biernacka M & Khmara Y (2020). Environmental justice in the context of urban green space availability, accessibility, and attractiveness in postsocialist cities. *Cities*, 106, 102862.
- Langemeyer J, Wedgwood D, McPhearson T, Baró F, Madsen A L & Barton D N (2020). Creating urban green infrastructure where it is needed—A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. *Science of the Total Environment*, 707, 135487.

- LaPoint S, Balkenhol N, Hale J, Sadler J & van der Ree R (2015). Ecological connectivity research in urban areas. *Functional Ecology*, 29 (7), 868-878.
- Li H, Chen W & He W (2015). Planning of green space ecological network in urban areas: an example of Nanchang, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12 (10), 12889-12904.
- Liquete C, Kleeschulte S, Dige G, Maes J, Grizzetti B, Olah B & Zulian G (2015). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science & Policy*, 54, 268-280.
- Mace G M, Norris K & Fitter A H (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, 27 (1), 19-26.
- Manning C D, Raghavan P & Schutze H (2008). Introduction to information retrieval. Cambridge University Press: Cambridge.
- Marulli J & Mallarach J M (2005). A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning*, 71 (2-4), 243-262.
- Mell I C (2017). Green infrastructure: reflections on past, present and future praxis.
- Nor A N M, Corstanje R, Harris J A & Brewer T (2017). Impact of rapid urban expansion on green space structure. *Ecological Indicators*, 81, 274-284.
- Ossola A, Locke D, Lin B & Minor E (2019). Yards increase forest connectivity in urban landscapes. *Landscape Ecology*, 34(12), 2935-2948.
- Pelorusso R, Gobattoni F, Geri F, Monaco R & Leone A (2016). Evaluation of Ecosystem Services related to Bio-Energy Landscape Connectivity (BELC) for land use decision making across different planning scales. *Ecological Indicators*, 61, 114-129.
- Petras V, Newcomb D J & Mitasova H (2017). Generalized 3D fragmentation index derived from lidar point clouds. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2 (1), 1-14.
- Plowright A (2015). Extracting trees in an urban environment using airborne LiDAR. GSS cIRcle Open Scholar Award (UBCV Non-Thesis Graduate Work).
- Pu R & Landry S (2020). Mapping urban tree species by integrating multi-seasonal high resolution pléiades satellite imagery with airborne LiDAR data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 126675.
- R (2020). R: A language and environment for statistical computing, 2020. <https://www.R-project.org>. (02 Ocak 2020).
- Roussel J R, Auty D De Boissieu F & Meador A S 2020. lidR: Airborne LiDAR data manipulation and visualization for forestry applications. R package version 3.0.3.
- Rusche K, Reimer M & Stichmann R (2019). Mapping and Assessing Green Infrastructure Connectivity in European City Regions. *Sustainability*, 11(6), 1819.
- Sanesi G, Colangelo G, Laforteza R, Calvo E & Davies C (2017). Urban green infrastructure and urban forests: A case study of the Metropolitan Area of Milan. *Landscape Research*, 42 (2), 164-175.
- Serret H, Raymond R, Foltête J C, Clergeau P, Simon L & Machon N (2014). Potential contributions of green spaces at business sites to the ecological network in an urban agglomeration: The case of the Ile-de-France region, France. *Landscape and Urban Planning*, 131, 27-35.
- Shochat E, Lerman S B, Anderies J M, Warren P S, Faeth S H & Nilon C H (2010). Invasion, competition, and biodiversity loss in urban ecosystems. *BioScience*, 60 (3), 199-208.
- Sütüncü H S (2020). Effects of landscape fragmentation on endemic plant species of Siirt. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 22 (2), 422-435.
- Teslenko T (2019). Engaging Students and Campus Community in Sustainability Activities in a Major Canadian University. In Sustainability on University Campuses: Learning, Skills Building and Best Practices. *Springer*, 3-20
- Tian Y, Liu Y, Jim C Y & Song H (2017). Assessing structural connectivity of urban green spaces in metropolitan Hong Kong. *Sustainability*, 9 (9), 1653.
- Tompalski P & Wezyk P (2012). LiDAR and VHRS data for assessing living quality in cities-an approach based on 3D spatial indices. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, B6.
- Van Vliet J (2019). Direct and indirect loss of natural area from urban expansion. *Nature Sustainability*, 2 (8), 755-763.
- Velázquez J, Gutiérrez J, Hernando A & García-Abril A (2017). Evaluating landscape connectivity in fragmented habitats: Cantabrian capercaillie (*Tetrao urogallus cantabricus*) in northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 389, 59-67.
- Venter Z S, Krog N H & Barton D N (2020). Linking green infrastructure to urban heat and human health risk

mitigation in Oslo, Norway. *Science of the Total Environment*, 709, 10.

Vogt P (2016). GuidosToolbox (Graphical User Interface for the Description of image Objects and their Shapes). Digital image analysis software collection.

Wu Z, Chen R, Meadows M E, Sengupta D & Xu D (2019). Changing urban green spaces in Shanghai: trends, drivers and policy implications. *Land Use Policy*, 87, 104080.

Wüstemann H, Kalisch D & Kolbe J (2017). Access to urban green space and environmental inequalities in Germany. *Landscape and Urban Planning*, 164, 124-131.

Zhang Z, Meerow S, Newell J P & Lindquist M (2019). Enhancing landscape connectivity through multifunctional green infrastructure corridor modeling and design. *Urban Forestry & Urban Greening*, 38, 305-317.



© Author(s) 2020. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>