

# GÖRÜNTÜ VE LIDAR VERİSİNDEN BİNA TESPİTİNDE FARKLI YÖNTEMLER

**Nusret DEMİR**

Akdeniz Üniversitesi  
Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü  
07220, Antalya-Türkiye  
nusretdemir@akdeniz.edu.tr

*Geliş Tarihi: 27 Ocak 2014, Kabul Tarihi: 07 Ocak 2015*

## ÖZET

*Bu çalışmada dört farklı bina tespit yöntemi incelenmiştir. Her bir yöntem farklı işlem adımlarına sahiptir ve bina tespiti için farklı üstünlüklere sahiptir. İlk yöntem, çok bantlı sınıflandırma ve sayısal yükseklik modeli filtrelenmesine dayanmaktadır. İkinci yöntem, sayısal arazi modeli üzerinde tespit edilmiş arazi üzeri nesnelere ile NDVI görüntüsünün eğitimsiz sınıflandırması ile ağaç nesnelere eleme edilmesi ile binaları tespit etmektedir. Üçüncü yöntem, LIDAR arazi noktaları üzerinde yoğunluk analizi ile arazi üzeri nesnelere tespiti ve yine NDVI kullanarak binaları tespit etmektedir. Dördüncü yöntem ise tamamen LIDAR noktalarına dayanmaktadır, dikey ve yatay düzlem üzerinde yoğunluk analizi ile bina ve ağaçların birbirlerinden ayrışmasını inceleyerek binalar tespit edilmiştir. Daha sonra, yöntemlerin özelliklerine, avantaj ve dezavantajlarına bağlı olarak sonuçlar bütünleştirilmiş ve sırasıyla %94 ve %92 doğruluk ve tamlık değerlerine ulaşılmıştır.*

*Anahtar Kelimeler: LIDAR, Sayısal Yükseklik Modeli, Bina Tespiti, Kalite Kontrol, Nokta Bulutu, Sınıflandırma.*

## VARIOUS METHODS TO DETECT BUILDINGS USING IMAGE AND LIDAR DATA

### ABSTRACT

*Four different variants of building detection are presented. Each variant has a different workflow and is capable of detecting buildings. The first variant of building detection is based on multispectral classification and DSM filtering. In the second variant, DSM blobs, mainly consisting of buildings and trees, are detected by subtraction of the DTM from the DSM. Then, trees are eliminated using NDVI data, derived from unsupervised ISODATA classification of the multispectral images, while small non-building objects are rejected based on size criteria. The third variant uses the planimetric density of raw LIDAR DTM data to detect the above-ground objects. The fourth variant is like the third one, but uses the vertical density of the raw LIDAR data (all points) to distinguish trees and buildings. To improve the results, a combination of the four variants using set intersections and unions is performed. The combination was empirical, with consideration of the datasets used in each variant and the advantages and disadvantages of each variant. In the evaluation, the combination of the four individual results yields 94% correct detections and an omission error of 12% for Zurich airport dataset.*

*Keywords: LIDAR, Digital Surface Model, Building Detection, Quality Assessment, Point Cloud, Classification.*

## 1. GİRİŞ

Binaların otomatik tespiti, son yıllarda bilgisayarlı görme ve fotogrametri problemlerinde esas problemlerinden biri olmuştur. Nitekim binalar pek çok konumsal bilgi kullanan uygulama için önemli nesnelere dir. Belediye planlaması, karar destek sistemleri, telekomünikasyon, enerji potansiyeli tespiti ve verimliliği araştırmaları, ağ planlamaları, askeri

uygulamalar, her türlü navigasyon uygulaması ve havacılık sektörü bina nesnelere ihtiyacı duymaktadırlar. Havacılık sektöründe bina nesnelere uçuş simülasyonları, uçuş planlama uygulamaları ve uçuş analiz sistemleri ile radar sistemlerinde önemli yer tutmaktadır.

Bina nesnelere de her zaman mevcut ya da yeteri derecede hassas olmayabilir, eksik olabilir veya

## Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler

güncel olmayabilir. Bu yüzden hassas ve eksiksiz bina nesnelerinin hızlı bir otomasyonla, hassas bir şekilde güncellenmesi için yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni algılayıcıların geliştirilmesi (yüksek kaliteli sayısal hava kameraları, gelişmiş, aynı zamanda LIDAR olarak da bilinen lazer tarama sistemleri ve insansız hava aracı platformları ve yüksek kalitedeki veri setleri binaların otomatik tespiti için yeni imkânlar sağlamışlardır.

Modern sayısal hava kameraları dört bant sağlamakta ve daha iyi radyometrik ve spektral kalite içermektedir, özellikle kentsel alanlarda çoklu görüntü eşleştirme teknikleri ile görüntüler arası bindirme %80'e yakın sağlanabilmektedir. Binalar ile ilgili üç boyutlu bilgi çıkarımı ile ilgili olarak da, görüntü eşleştirme tekniği ile yüksek hassasiyetli ve çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri elde edilebilmektedir. LIDAR sistemleri ise yüksek nokta yoğunluğu ve daha hızlı veri elde etme konusunda her gün bir gelişim göstermekte ve tam dalga formu alım yapabilmektedir. Bu gelişmeler, görüntü ve LIDAR verisinden otomatik bina nesnesi tespitini daha yapılabilir kılmaktadır.

Pratikte, binalar geleneksel fotogrametrik sistemlerle elle sayısallaştırılmaktadır. Tam otomasyon halen daha mevcut ticari yazılımlarda mevcut bulunmamaktadır. Bu elle işlem zaman alıcıdır, aynı zamanda da maliyeti yüksektir. Bazı kullanıcının da işleme müdahil olduğu yarı otomatik sistemler mevcuttur. Bu kullanıcı müdahaleleri genellikle topoloji belirleme ya da çizgisel ve alansal şekilleri çıkarımda kullanılmaktadır. Buna rağmen, bu tip yarı otomatik çözümler dahi mevcut ticari yazılımlarda günümüzde görülmemektedir. Otomatik yöntemler ilk olarak 80'li yıllarda araştırılmaya başlanmış ve yüksek ilgi 90'li yıllarda meydana gelmiştir. Bu yöntemler çeşitli giriş verisi kullanmakta ve bu makalede de ele alınacak dört farklı yöntemde de görüleceği üzere farklı performans göstermektedir. Yapılmış çeşitli araştırmalara rağmen, mevcut otomatik bina tespiti yöntemleri hala memnuniyet verici kaliteye ulaşamamıştır. Bu çalışma ile yeni bina tespit etme yöntemi geliştirilmesinin yanında, mevcut çalışmaların geliştirilmesi ve bütünleştirilmesi ile performans artırılması amaçlanmıştır. Dört farklı bina tespit yöntemi ele alınmıştır. Bunlardan üç tanesi standart prosedürleri izlerken, dördüncü bir yöntem geliştirilmiştir. Üç yöntemin seçilmesindeki motivasyon, uygulamada ve programlamadaki kolaylıklarıdır. Geliştirilen dördüncü yöntemle, LIDAR verisinin dikey düzlemdeki dağılımının ağaç ve binaları ayırmadaki avantajı kullanılmıştır. Dört yöntemden her birinin avantajı ve dezavantajı vardır. Bu çalışma ile amaçlanan, dört ayrı çalışma ile elde edilen sonuçlar kesişim ve birleşim işlemleriyle, en yüksek kalitedeki sonuçlara ulaşmaktır.

Geliştirilen yöntem Avrupa Birliği 6.Çerçeve kapsamındaki PEGASE projesi bünyesinde Zürih

havaalanı veri seti kullanılarak test edilmiştir. PEGASE projesinin amacı uçak ve helikopter iniş ve kalkışları için, algılayıcı ve coğrafi veri tabanı korelasyonu ile bir iniş kalkış navigasyon sistemi geliştirmektir. Dünyada mevcut yaklaşık 60000 havaalanını düşündüğümüzde, geliştirilecek otomatik bina tespiti metodunda herhangi bir ön bilginin (mevcut sayısal haritalar ya da kadastral planlar gibi) kullanılması beklenemez. Bu tip bilgilerin mevcut olsalar dahi güncelleme sorunlarından dolayı dezavantajları vardır.

### 1.1. Geçmiş Çalışmalar

Bina tespiti konusundaki çalışmalar fotogrametri ve bilgisayarlı görme disiplinlerinden araştırmacıların ilgi alanına girmiştir. Bazı araştırmacılar sadece görüntü verisi kullanırken, bazıları sadece LIDAR, bazıları ise iki veriyi bütünleşik kullanarak bina tespit yöntemi geliştirmişlerdir. Bazı çalışmalar da her iki veri setine ek olarak kadastral planlar gibi ek bilgiler de kullanmışlardır.

Bu bölümde çalışmalar, kullanılan veri setinin türüne göre incelenecektir. Bu çalışmadaki incelemelerin yanında bina tespiti hakkında inceleme çalışmaları [1-3] çalışmalarında detaylı olarak bulunabilir.

Görüntü verisi kullanan yöntemler çoğunlukla, görüntülerden çıkarılan çizgisel ve alansal piksellerle başlayıp, bunların kombine edilmesiyle nesnelere tespit edilmektedir [4-7]. Tek görüntü kullanan yöntemler binaların basit bir şeklinin olduğunu varsayar ve bu yüzden de elde edilecek sonuçlar sınırlıdır. Yakın bina komşulukları ve gölgeler genel problemlerdendir. Genel olarak düz çatılı binalarda iyi sonuçlar vermektedirler. İkincil bir dezavantaj da kullanıcı müdahalesinin gerekli olmasıdır. Stereo veya çoklu görüntü kullanan yöntemler ise genellikle pek çok parametreye ihtiyaç duymaktadırlar ve stabil sonuçlar için kullanıcı müdahalesi gerekli olmaktadır. Ancak, elde edilen sonuçlar tek görüntü kullanan yöntemlere göre özellikle basit şekilli binalarda başarılı sonuçlar vermektedir. Görüntülerden elde edilen sayısal yükseklik modelleri LIDAR verilerinden olduğu gibi bina kenarlarında keskinlik göstermediğinden, karmaşık yapı binalarda basit binalara göre daha başarısız sonuçlar göstermektedir. Bu yüzden ek olarak LIDAR verisinin kullanılması daha iyi sonuçlar üretebilmektedir.

LIDAR verisi kullanan yöntemlerde, sonuçlar genelde nokta yoğunluğuna bağlıdır. LIDAR verisinin de maliyeti, işlem süresi ve personel giderlerini de esas aldığımızda daha azdır. LIDAR noktaları, yüzey devamsızlığı gösteren alanlarda (bina kenarları gibi) görüntülere göre daha az başarı gösterir. Genel olarak da düşük yoğunluklu LIDAR verisinden de bina tespiti yapmak zordur. Bu yüzden LIDAR ve görüntü verileri birbirlerini tamamlayıcı olarak düşünülmektedir [8]. Örneğin görüntü verilerinin spektral bilgileri sağlanması ve görüntü özneliklerinin

# Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler

(nokta, çizgi ve alansal pikseller) nesne tespitinde kullanılmasının yanında, LIDAR verisi de geometrik bilgilerin kullanılması ve özellikle dikey düzlemdeki alım avantajından dolayı ağaç gibi nesnelerin tespitinde büyük avantajı bulunmaktadır. Bazı yöntemler de her iki veriyi kullanmaktadır [9-11]. Her iki verinin kombine edilerek kullanılması güncel bir konudur ve mevcut çalışmalarda halen kısıtlı sonuçlar elde edilmektedir.

Bu çalışma yazarın doktora çalışmasından [12] elde edilmiştir.

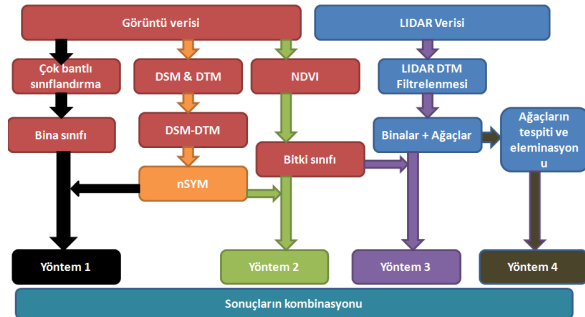
## 2. YÖNTEM

Geliştirilen yöntemler için veri seti Zürih havaalanı ve çevresine aittir. Bu alan geniş terminal binaları, otoyollar ile ticari ve konut binalarını içermektedir. Verinin genel özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Zürih havaalanı veri setinin genel özellikleri

Görüntü verisi	Taranmış görüntü verileri
Alım zamanı	Temmuz 2002
Görüntü bantları	Yakın kızılötesi, kırmızı, yeşil
Bir pikselin yerdeki karşılığı	8.7 cm
LIDAR verisi	ALS 50 sistemi
Tipi	Ham & grid
Ham verinin yoğunluğu & grid aralığı	1 nokta / 2 m <sup>2</sup> & 2 m
Alım zamanı	Şubat 2002

Şekil 1 bina tespiti için iş akışını göstermektedir.



**Şekil 1.** Bina tespiti yöntemleri iş akış şeması.

Bu çalışmanın öncelikli amacı, farklı bina tespit yöntemlerini test edip, sonuçlarına göre karşılaştırmak ve bütünleştirme ile daha iyi sonuçlar elde etmektir. Binalar farklı yöntemlerle tespit edilirler ve her bir yöntem farklı özellikler taşımaktadır. Bina tespit işlemi öncelikle sayısal yükseklik modelinden arazi üzerindeki nesnelerin tespiti ile başlamaktadır. Öncelikle LIDAR sayısal yükseklik modeli ve görüntüler kullanılarak ortogörüntü oluşturulmuştur. Daha sonra ilk tespit yöntemi görüntülerden spektral bilgileri kullanmakta ve eğitilmiş sınıflandırma ile

binalar tespit edilmektedir. Burada birbirine karışan bina nesnelere ile arazi sınıfı normalleştirilmiş sayısal yükseklik modelinden (nSYM) tespit edilen arazi üzeri nesnelere ayrıştırılmıştır.

İkinci yöntem ise görüntüden tüm spektral bilgiyi kullanmayıp sadece NDVI kullanmaktadır ve nSYMden elde edilen arazi üzeri nesnelere tespit edilen ağaç nesnelere eleme edilmesiyle binalar tespit edilmişlerdir. Burada ağaçlar eğitimsiz sınıflandırma ISODATA yöntemi ile tespit edilmişlerdir. İkinci yöntemin ilk yöntemden farkı tüm spektral bilginin kullanılmasının yanında sadece yakın kızıl ötesi ve kırmızı görüntü bantlarının kullanılmış olmasıdır.

Üçüncü yöntemde ham LIDAR arazi nokta verilerinden arazi üzeri nesnelere tespit edilmiş daha sonra ikinci yöntemde olduğu gibi, yakın kızıl ötesi ve kırmızı görüntü bantları kullanılarak tespit edilen ağaçların eleme edilmesi ile binalar tespit edilmiştir.

Dördüncü yöntemde ise sadece LIDAR verisi kullanılmış ve görüntü verisinden kaynaklı hiçbir dezavantaj içermemektedir. Fakat LIDAR verisinden kaynaklı dezavantajlar burada karşımıza çıkmaktadır (bina kenarlarının ağaç olarak tespit edilmesi gibi).

### 2.1. Birinci Yöntem: Çok Bantlı Sınıflandırma

En büyük benzerlik sınıflandırması eğitilmiş sınıflandırma çeşitlerinden en sık kullanılanıdır [13]. Ek bilgilerin de mevcut olduğu zaman, örneğin Sayısal yükseklik/arazi modeli veya kadastral plan gibi, sınıflandırma sonucu bir takım kurallar tanımlanarak, birbirine karışmış sınıfların ayrıştırılması veya birleşmesi gereken sınıfların birleştirilmesiyle iyileştirilebilmektedir.

Bu çalışmada eğitilmiş sınıflandırma için ERDAS yazılımı kullanılmıştır. Sınıflandırma yapmadan önce tespit edilecek sınıflar belirlenmiştir. PEGASE projesi amacına uygun olarak, sınıflar bina, arazi örtüsü, yol, ağaç, çim ve gölge olarak belirlenmiştir. Her sınıf için yaklaşık 4000 eğitim pikseli seçilmesinden sonra sonuçlar bazı sınıfların birbirlerinden ayrıştırılması, bazılarının da birbirlerine eklenmesi ile sonuç bina nesnelere tespit edilmiştir.

Sınıflandırma işleminde ortogörüntünün bantlarının yanına ek olarak oluşturulmuş yapay bantlar d8a kullanılmıştır. Bu yapay bantlar NDVI (Bitki örtüsü indeksi), renk yoğunluğu (saturasyon) ve ana bileşen görüntüleridir. NDVI bitki örtüsünü elde etmekte avantajlı bir veridir, ana bileşen görüntüleri görüntü bantlarından ek olarak daha fazla bilgi sağlayabilmektedir. Saturasyon ise özellikle gölge sınıfının tespitinde yararlı olmaktadır.

NDVI ve saturasyon görüntüleri, sırasıyla görüntünün kendi bantları ile RGB den IHS düzlemine dönüşüm ile oluşturulmaktadır. Bu ek görüntülerin

## Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler

oluşturulmasından sonra, sınıflar arası ayrışım dönüştürülmüş uyuşmazlık ayrışım analizi ile belirlenmiştir. Ayrışmazlık analizi ile seçilen bantlar Yakın kızıl ötesi, kırmızı, ilk ana bileşen görüntüsü, NDVI ve saturasyondur. Daha sonra en büyük benzerlik sınıflandırması kullanılarak bina sınıfları tespit edilmiş ve normalleştirilmiş sayısal yükseklik modeli ile oluşturulan kurallar ile sonuçlar iyileştirilmiştir. Bu yöntem eğitim piksellerinin seçiminden dolayı tam otomasyon içermemektedir.

En büyük benzerlik sınıflandırmasında pikseller için her sınıfa ait olasılık değeri hesaplanır ve en yüksek olasılığa sahip sınıfa, o pikselin atama işlemi gerçekleştirilir.

Bu yöntemin dezavantajı piksellerin sınıfın ortalama değerinden ne kadar uzak olduğundan bağımsız olarak bir sınıflandırma yapmasıdır, bu yüzden sınıflandırma sonucu her zaman tutarlı değildir, bu yüzden ek bilgiler kullanarak sınıflandırma sonucunun iyileştirilmesi gerekmektedir.

Bazı sınıflar düşük ayrışım gösterebilmektedir. Normalleştirilmiş sayısal yükseklik modelinden elde edilmiş arazi üzeri nesnelere kullanımı ile ayrışmayan sınıflar ayrıştırılabilir ya da benzer sınıflar da birleştirilebilir. Bu çalışmanın ana odak nesnelere binalar olduğundan, ayrışmamış ve farklı yükseklik seviyelerindeki sınıflar, nSYM kullanarak ayrıştırılabilir ve bunun yanında, ayrışmamış ancak aynı yükseklik seviyesindeki sınıflar da birleştirilebilir. Diğer yandan, boyut eğik değerinin de kullanılması ile bina nesnesi olamayacak kadar küçük nesnelere (25 m<sup>2</sup> den küçük) de elemine edilmesiyle sonuçların kalitesi artırılabilir.

Normalleştirilmiş sayısal yükseklik modeli kullanarak yol ve arazi örtüsü sınıfları birleştirilmiş ve bina sınıfı ile arazi örtüsü sınıfı ayrıştırılmıştır. Burada arazi üzeri nesnelere tespit edilmesi için eşik değeri 1.5 m seçilmiştir. Sonuç olarak arazi yüzeyi sınıftaki piksellerden 1.5 m den yüksek olanları bina sınıfına aktarılmışlardır. Bu işlemin bir diğer alternatifi de bu tip bir eşik değerini kullanmaktan ziyade, normalleştirilmiş sayısal yükseklik modelinin doğrudan ek bir bant gibi sınıflandırma işleminde kullanılmasıdır.

### 2.2. İkinci Yöntem

Bu yöntemde, binaları elde etmek için NDVI ve nSYM kullanılmıştır. İlk yöntemin eğitim piksellerine ihtiyaç duymasına rağmen, bu yöntem tamamen otomatik olarak çalışabilmektedir. Bitki örtüsü sınıfı NDVI üzerinden ISODATA tekniği ile çıkarılmış ve çıkarılan iki sınıf bitki örtüsü olan ve olmayan şeklinde belirlenmiştir.

Bitki örtüsünün çıkarılmasından sonra, nSYM den elde edilen arazi üzeri nesnelere kesişimi ağaç nesnelere sağlamaktadır. Daha sonra bu ağaç

nesnelere, tüm arazi üzeri nesnelere elemine edilmesiyle bina nesnelere elde edilmiş, burada da ilk yöntemde olduğu gibi 25 m<sup>2</sup> boyut eşik değeri kullanılmıştır.

### 2.3. Üçüncü Yöntem

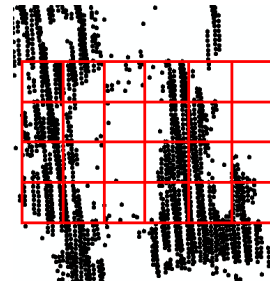
Bu yöntemde hem görüntü hem de LIDAR verisi kullanılmıştır. LIDAR verisinden arazi üzerindeki nesnelere elde edildikten sonra ağaçlar NDVI kullanılarak elemine edilmiştir. Ağaçların elemine edilmesinden sonra, mevcut nesnelere sadece bina nesnelere olmadığından boyut eşik değeri de kullanılmıştır. İşlem öncelikle LIDAR arazi nokta bulutundan, düşük yoğunluklu alanların tespiti ile başlamaktadır.

Ham LIDAR arazi noktaları sadece araziye ait alanlara ait bilgi içermektedir. Bu veri seti ham da olabilir, grid biçimde de harita sağlayan kuruluşlardan da elde edilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ham LIDAR arazi nokta verisi doğrudan İsviçre topografya dairesi tarafından sağlanmıştır.

Bu çalışmadaki esas kullanılan bilgi, ham LIDAR arazi noktalarındaki düşük yoğunluklu alanları bulmaktır. Bu veri setinde binalar boşluklar şeklinde, bitki örtüsü alanları ise düşük yoğunluklu olarak görünmektedir.

Düşük yoğunluklu alanların tespit edilmesi, arazi üzeri nesnelere tespit için gereklidir. Bunun için bir grid düzlemi ham LIDAR arazi nokta verisi üzerine yerleştirilir ve her bir grid hücresi bir sonraki adımda grid boyutunun yarısı kadar bindirmeli olarak gezdirilir. Her bir hücredeki nokta sayısı lokal yoğunluk değerini vermektedir. Geliştirilen algoritma aşağıdaki şekildedir;

- S x S grid hücrelerini LIDAR arazi noktaları üzerine yerleştir
- Her bir grid hücresindeki nokta sayısını hesapla
- Eğer toplam nokta sayısı belirlenmiş eşik değerinden düşükse, bu hücreleri düşük yoğunluklu hücre olarak ayır



Şekil 2. LIDAR SAM üzerinde nokta yoğunluğu hesaplamak için oluşturulan grid yüzeyi.

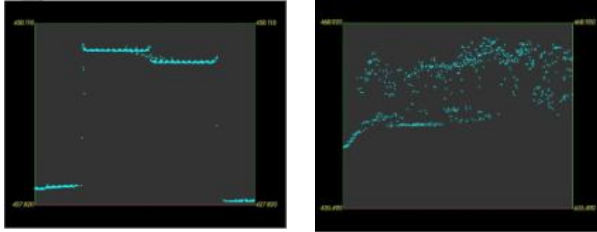
Bu algoritmada dikkat gerektiren kısım, düşük yoğunluklu hücrelerin tespiti için eşik değerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada bu eşik değeri tüm LIDAR arazi noktası verisinin ortalama yoğunluğunun yarısı değeri seçilmiştir. Bu eşik değeri

## Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler

belirlendikten sonra düşük yoğunluklu alanlar, arazi üzerindeki nesnelere olarak çıkarılmışlardır. Bu çıkarılan alanlar genel olarak bina ve ağaç nesnelere içermektedir. NDVI görüntüsünden ISODATA tekniği ile bitki örtüsünün tespit edilip, LIDAR verisinden elde edilen arazi üzeri nesnelere elemine edilmesi ve yine boyut eşik değeri (25 m<sup>2</sup>) kullanılmasıyla binalar tespit edilmektedir.

### 2.4. Dördüncü Yöntem

Görüntü verisinden ağaçların tespiti her zaman başarılı olmamaktadır. Nitekim bazı çatı yüzeyleri bitki örtüsü ile kaplı olabilir ve görüntülerden ağaç tespiti yöntemlerinde bu alanlar da ağaç olarak tespit edilebilmektedir. Sadece LIDAR verisinin kullanılması bu problemi ortadan kaldırmaktadır. Geliştirilen bu yöntemde, öncelikle yine üçüncü yöntemde olduğu gibi, LIDAR arazi noktalarından düşük yoğunluklu alanlar çıkarılmış daha sonra ise ağaçlar dikey yoğunluk analizi ile arazi üzeri nesnelere elemine edilmişlerdir.



Şekil 3. Ağaç (sağ) ve bina (sol) nesnelere profil görüntüleri.

Dikey düzlemde yoğunluk analizi için üç adet varsayım geliştirilmiştir. Bu varsayımlar;

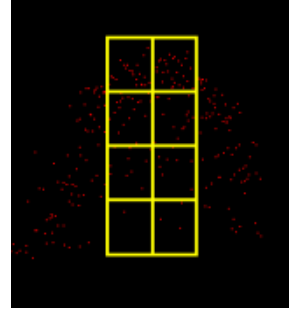
1) Yüzey pürüzlük analizi: Ağaçlara ait LIDAR noktalarından pürüzsüz bir yüzey elde edilemeyecek varsayımı ile tespit edilen arazi üzerindeki nesnelere ait LIDAR noktalarının düzlem uzayına dönüşüm gerçekleştirip gerçekleştirmediği incelenmiştir.

2) Dikey düzlemde yoğunluk analizi: LIDAR sisteminin çoklu geri yansıma özelliğinden dolayı, ağaçların olduğu alanlarda hem ağaç yapraklar altındaki arazi yüzeyinden hem de ağaç yapraklarından veri elde edilebilmektedir. Bu yüzden ağaç nesnelere, binaları aksine yoğun bir LIDAR verisine sahiptir.

3) Yatay düzlemde yoğunluk analizi: LIDAR noktaları, ağaçlarda binalara göre daha yoğun veri içermektedir. Bu varsayımlara ek olarak da minimum ağaç boyunun 3 m olabileceğinden hareketle, yükseklik kriteri de kullanılmıştır.

Arazi üzerindeki nesnelere ait LIDAR noktalarının tespit edilmesinden sonra, yüzey pürüzsüzlük analizi, ilgili noktaların bir düzleme dönüştürülüp dönüştürülmediği incelenmiştir. Bunun için RANSAC algoritması kullanılmıştır (Schnabel vd. 2007). Grid

boyutu 25 m<sup>2</sup> boyutunda alan kaplayan ağaç düşünülerek belirlenmiştir. Ayrıca her grid hücresi de xz ve xy düzlemlerinde sekiz eşit bölgeye bölünmüştür.



Şekil 4. LIDAR verisi üzerinde dikey düzlemde sekiz eşit bölge (sarı).

Her grid hücresi için

- Dikey düzlemde, LIDAR verisi içeren bölge sayısı hesaplanmıştır (SB).
- Toplam LIDAR noktası sayısı hesaplanmıştır (NP).
- Grid hücresi içinde maksimum yükseklik değişimi hesaplanmıştır (H).

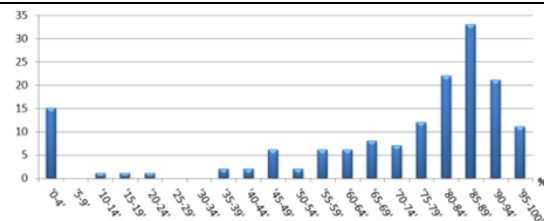
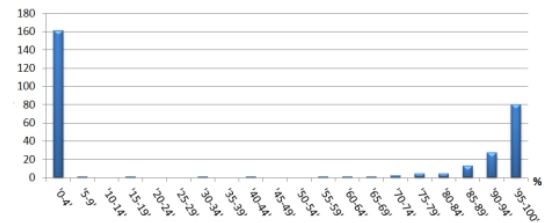
Bir düzleme dönüştürülemeyen noktalar için aşağıdaki koşulları sağlayan grid hücreleri ağaç nesnelere olarak tespit edilmiştir:

$$SB > TV \text{ ve } NP > TD \text{ ve } H > TH$$

Burada seçilen eşik değeri TV en az dört bölge, TD en az 15 nokta, TH en az 3 m olarak belirlenmiştir. Bu belirlenen kriterlerden sonra, ağaçlar elde edilmiş ve tespit edilen diğer arazi üzeri nesnelere elemine edilmiştir.

### 3. YÖNTEMLERİN UYGULANMASI

İlk yöntemle birlikte bina nesnelere %87 doğruluk ve %89 tamlık değeri ile tespit edilmişlerdir. Aşağıdaki şekilde doğruluk ve tamlık histogramları görülmektedir.



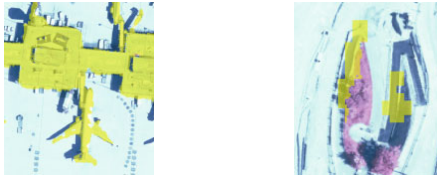
## Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler

**Şekil 5.** Doğruluk (yukarda), ve tamlık histogramları (aşağıda).

**Tablo 2.** Birinci yöntem için kalite değerleri.

Doğruluk (%)	87
Tamlık (%)	89
Bina sınıfına ait tespit edilen nesne sayısı	287
Referans veri ile kesişen tespit edilmiş nesne sayısı	145
Referans verideki bina sayısı	156
Referans veride, tespit edilen nesnelere hiç kesişmeyen nesne sayısı	15

Doğruluk ve tamlık değerleri, tespit edilen ve referans verideki binaların toplam alanları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Burada 287 adet nesne bina olarak tespit edilmiş ve yüksek sayıda (yaklaşık 160) bina nesnesinin doğruluk değeri 0'dır. Hata kaynakları genellikle ağaç sınırları, hareketli nesnelere ve köprülerdir.



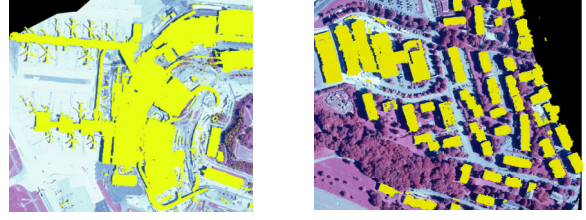
**Şekil 6.** Solda, binalara karışmış hareketli nesnelere, sağda ise ağaç sınırlarındaki hatalı tespitler.

Tamlık değeri için hata kaynakları özellikle gölgeler ve çatılarda bulunan bitki örtüleridir. Diğer yandan bazı küçük binalar da (2.5 m den alçak olanlar) da tespit edilememiştir.



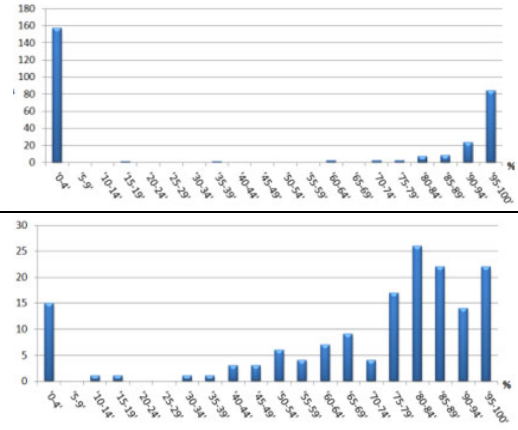
**Şekil 7.** Tamlık değerini etkileyen hata kaynakları: solda çatılardaki bitki örtülerini, sağda gölge alanları.

İkinci yöntemin detayları 2.bölümde açıklandığı üzere doğruluk oranı %86 olarak hesaplanmış ve referans verinin %7 si tespit edilememiştir. Burada doğruluk oranını etkileyen nesnelere genellikle boyutu büyük hareketli nesnelere dir. Tespit edilen binalardan örnekler şekil 8' de gösterilmiştir.



**Şekil 8.** İkinci yöntemle tespit edilen binalar

Doğruluk ve tamlık histogramları şekil 9'da gösterilmektedir.



**Şekil 9.** Doğruluk (yukarda), ve tamlık histogramları (aşağıda).

Tablo 3 kalite değerlerini göstermektedir.

**Tablo 3.** Birinci yöntem için kalite değerleri.

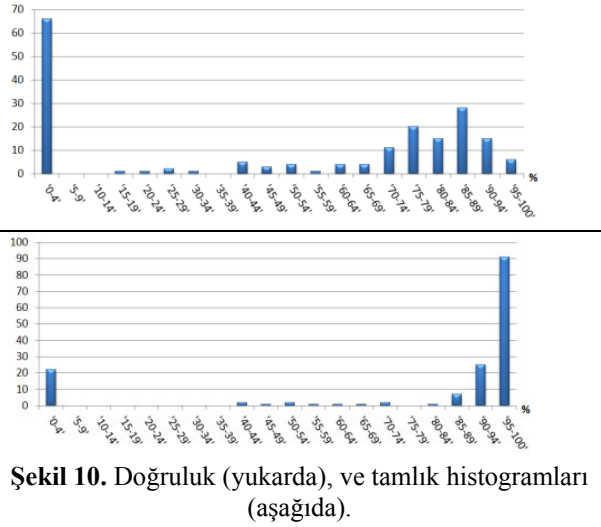
Doğruluk (%)	86
Tamlık (%)	93
Bina sınıfına ait tespit edilen nesne sayısı	287
Referans veri ile kesişen tespit edilmiş nesne sayısı	130
Referans verideki bina sayısı	156
Referans veride, tespit edilen nesnelere hiç kesişmeyen nesne sayısı	15

Doğruluk değeri için gölgeler artık problem oluşturmamaktadır, nitekim burada tüm arazi üzeri nesnelere, eğer herhangi bir bitki, ağaç değilse bina olarak kabul edilmiştir. Fakat buna rağmen, bitki örtüsü ile kaplı binalar, NDVI kullanıldığında ağaç olarak elemine edildiğinden tespit edilememiştir.

Üçüncü yöntemde, binalar ve diğer nesnelere, LIDAR DTM verisinde sıfır ya da çok düşük yoğunluklu veri içermektedirler. Bu alanlar LIDAR verisinden, yoğunluk analizi ile arazi üzeri nesne olarak tespit edilmişlerdir. Daha sonar NDVI kullanarak ağaç ve bitki örtüsü alanları elemine edilmiştir. Burada doğruluk oranı %82 hesaplanırken referans veriden

## Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler

binaların tespit edilememesi oranı ise %6'dır. Şekil 10'da kalite değerleri histogramı gösterilmektedir.



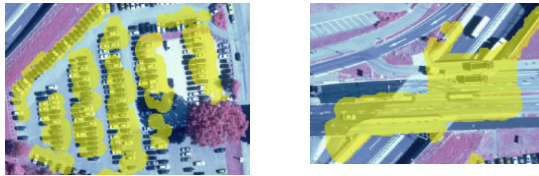
Şekil 10. Doğruluk (yukarıda), ve tamlık histogramları (aşağıda).

Kalite değerleri Tablo 4'de görülebilmektedir.

Tablo 4. Üçüncü yöntem için kalite değerleri.

Doğruluk (%)	80
Tamlık (%)	84
Bina sınıfına ait tespit edilen nesne sayısı	187
Referans veri ile kesişen tespit edilmiş nesne sayısı	121
Referans verideki bina sayısı	156
Referans veride, tespit edilen nesnelere hiç kesişmeyen nesne sayısı	21

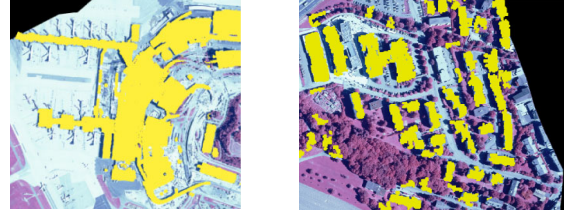
Toplam 187 nesne bina olarak tespit edilen, bunların 66 tanesinin doğruluk değeri 0'dır. Bu hatanın temel nedeni, otoparklardaki araçlar gibi toplu halde bulunan yer üstü nesnelere ve viyadüklerin LIDAR verisinde binalar gibi özellik göstermesidir (Şekil 11).



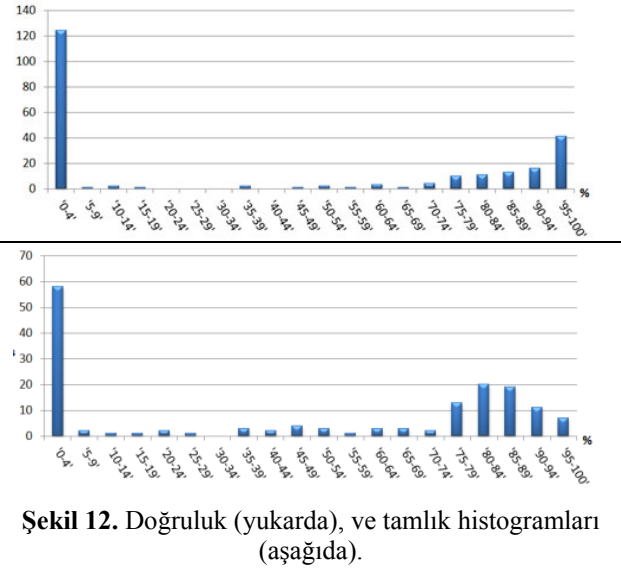
Şekil 11. Üçüncü yöntemde doğruluk değerini etkileyen hata kaynakları.

Tamlık değeri için ana hata kaynağı, NDVI kullanımı tüm bitki örtüsünü elemeye ettiğinden, çatılarda bulunan bitki örtüleridir. 156 binanın 21 tanesi küçük boyutlarda olduklarından tespit edilememiştir. Dördüncü yöntemde dikey yoğunluk değeri vd %50, minimum ağaç boyu 3 m. ve nokta yoğunluğu ise 25 m<sup>2</sup> de 15 nokta olarak belirlenmiştir. Bu yöntemin detayları bölümde detaylı olarak ele alınmıştır.

Sonuçlar Şekil 11'de, kalite değerleri histogramı da Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 11. Dördüncü yöntemle tespit edilen binalar.



Şekil 12. Doğruluk (yukarıda), ve tamlık histogramları (aşağıda).

Kalite değerleri Tablo 5'de görülebilmektedir.

Tablo 5. Birinci yöntem için kalite değerleri.

Doğruluk (%)	80
Tamlık (%)	84
Bina sınıfına ait tespit edilen nesne sayısı	171
Referans veri ile kesişen tespit edilmiş nesne sayısı	104
Referans verideki bina sayısı	156
Tespit edilen nesnelere hiç kesişmeyen nesne sayısı	58

Referans veride bulunan 156 adet bina örneği için doğruluk değeri %80, tamlık değeri ise %84 olarak ölçülmüştür. Burada dikey özellik gösteren nesnelere de algoritmanın yapısından ve LIDAR verisinin çoklu geri yansımalarından dolayı ağaç olarak tespit edilmişlerdir.

Buna ek olarak da küçük binaların çatıları da tespit edilememiştir. Bu da tamlık değerini etkilemektedir. Bununla birlikte ağaç sınırlarında boyutu 50 m<sup>2</sup>'yi aşkın hatalı tespitler de görülmektedir. Bu yüzden doğruluk histogramında 0-4 aralığında uzunca bir dağılım belirmiştir. Diğer yandan, düşük nokta

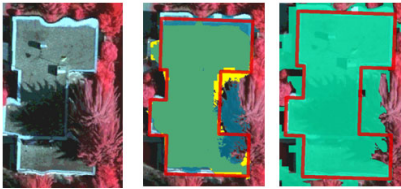
## Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler

yoğunluğu, tamlık değerini etkilemiş ve bu yüzden 58 adet bina tespit edilememiştir.

### 3.1. Sonuçların Kombinasyonu

Sonuçların kombinasyonu için ikili işlemler uygulanmış ve tespit kalitesi artırılmıştır. Kombinasyon, kullanılan veri setlerinin özellikleri ve her bir yöntemin ayrı ayrı avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Örneğin birinci yöntemde meydana gelen bina dışı nesnelerin ortadan kaldırılması kesişim işlemi ile giderilebilirken, tamlık değerini etkileyen bina üstü bitki örtülerinin olmaması problemi de üçüncü ve dördüncü yöntemin birleşim işleminde kullanılmasıyla, tamlık değerinde artış gözlemlenmektedir. Yani sonuçların birbiriyle kesişimi doğruluğu artırırken, tamlık değerini düşürmektedir. Diğer yandan da sonuçların birleşimi tamlık değerini artırırken, doğruluk değerini azaltmaktadır. Bu yüzden en uygun kesişim incelenmiştir.

Görüntü verisi kullanan yöntemler, spektral bilgiye dayalıdır, bu yüzden gölge ve çatılarda bulunan bitki alanları tamlık değerini azaltıcı etkiye sahiptirler. Örneğin ikinci yöntemde NDVI kullanılması ile ağaç aralarında bulunan düzenli gölgelerin bina olarak tespit edilme riski vardır, bu yüzden de tamlık değeri azalma gösterebilmektedir. Görüntü verisi kullanan yöntemlerden üretilen sonuçların kesişimi mi bu etkiyi azaltmaktadır.



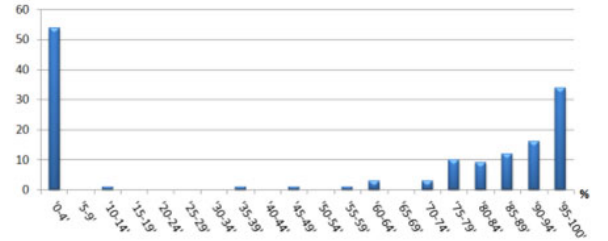
Şekil 13. Solda incelenen bina, sonuçların kesişimi ortada, sağda sonuçların birleşimi.

Şekilde de görüldüğü üzere mavi renk ilk yöntemden elde edilen sonucu, sarı renk ise ikinci yöntemden elde edilen sonucu göstermektedir. Yöntemlerden elde edilen sonuçların kesişimi bina sınırını iyileştirirken, tespit edilen bina alanında kısıtlamaya sebep olabilmektedir. Bu yüzden LIDAR verisi kullanan yöntemler spektral problemler içermediklerinden birleşim işleminde kullanılmışlardır.

Burada amaçlanan olabildiğinde fazla bina nesnelerini elde tutup doğruluk değerini de arttırmaktır. Bu yüzden bir ve ikinci yöntemler kesişimde kullanılırken, LIDAR tabanlı yöntemler olan 3 ve 4 birleşimde kullanılmışlardır. Son olarak da sonuçların, arazi üzerinde olmaları gerektiğinden, sayısal yükseklik ve arazi modellerinin birbirlerinden çıkarılmasıyla elde edilen normalleştirilmiş sayısal yükseklik modelinden elde edilen arazi üzeri nesnelere kesişim gerçekleştirilmiştir. Böylece uygulanan

ikili işlem formülü  $(R1 \cap R2 \cup (R3 \cup R4)) \cap \text{arazi üzeri nesnelere}$  olmaktadır.

Bu formülle sonuç binalar ve değerleri histogramı şekil 14’de gösterilmiştir.



Şekil 14. Üstte kombinasyon sonrası elde edilen binalar, ortada tespit edilememiş binalar(kırmızı), altta doğruluk histogramı.

Şekil 14’de en altta görüldüğü üzere, doğruluk değerinde artış gözlemlenmiştir. Tespit edilemeyen 32 adet bina kesişim işlemi ile elemine edilen ve pek çoğu da normalleştirilmiş sayısal yükseklik modeli oluşturulurken tespit edilememiş veya boyut kriteri kullanılan yöntemlerde elemine edilmiş binalardır.

Doğruluk değerindeki düşük performans, kesişim işlemlerine rağmen mevcut gölge alanlarından ve bu ağaç aralarındaki bu alanların bina olarak tespit edilmesinden kaynaklanmaktadır.

İkinci önemli problem, ikili işlemlerle elemine edilemeyen, bina olarak tespit edilmiş hareketli nesnelere.

Bu problemleri ortadan kaldırmak ve 3 boyutlu bina modelleri oluşturma amaçlı ileri çalışma için binaların çoğunlukla düzlemsel çatılardan oluşabileceği



## Görüntü ve LIDAR Verisinden Bina Tespitinde Farklı Yöntemler

fikrinden hareketle, düzlemlik göstermeyen nesnelere elemine edilmiştir.

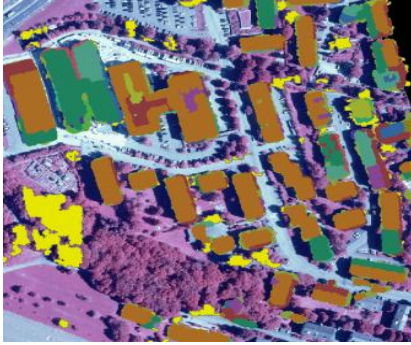
Bunun için RANSAC algoritması [14] ile düzlemler tespit edilmiş ve düzlemsellik göstermeyen nesnelere göz ardı edilmiştir.

Düzlem tespiti için kullanılan parametreler Tablo 6'da görülmektedir.

Düzlem oluşturma mesafesi eşik değeri, LIDAR verisinin düşük yoğunluklu olması nedeniyle yüksek seçilmiştir ve böylece daha fazla düzlemsel nesne tespiti amaçlanmıştır.

**Tablo 6.** RANSAC parametreleri.

Parametre	Değer
Mesafe	60 cm.
Açı	10°
Minimum nokta sayısı	10



**Şekil 15.** Tespit edilen düzlemsel yüzeyler, sarıya elemine edilmiş nesnelere.

Düzlemsel olmayan nesnelere elemine edilmesiyle, bina sınırlarının iyileştirilmesiyle, doğruluk kalite değeri artış göstermiştir.

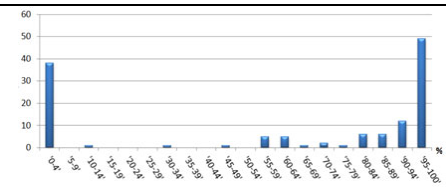
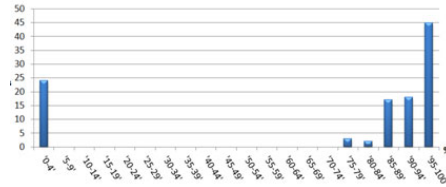
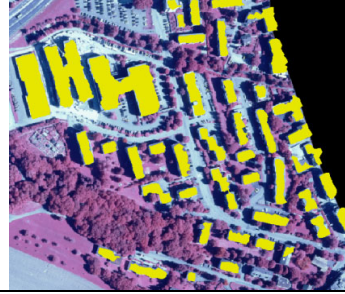
Doğruluk %94 olarak hesaplanırken, tamlık değeri de %88 bulunmuştur.

Diğer yandan, ağaç aralarındaki gölge alanlarının da ortadan kaldırılması, doğruluk değerinin artmasındaki sebeplerden birisidir.

**Tablo 7.** Son sonuç için kalite değerleri.

Doğruluk (%)	94
Tamlık (%)	88
Bina sınıfına ait tespit edilen nesne sayısı	109
Referans veri ile kesişen tespit edilmiş nesne sayısı	156
Referans verideki bina sayısı	38
Referans veride, tespit edilen nesnelere hiç kesişmeyen nesne sayısı	94

Şekil 15' de görüleceği üzere herhangi bir düzlem oluşturmayan nesnelere elemine edilmiş ve doğruluk artırılmıştır.



**Şekil 16.** Düzlem olmayan nesnelere elemine edilmesi sonrası elde edilen binalar, ortada Doğruluk histogramı, altta tamlık histogramı.

Tüm yöntemlerle elde edilen sonuçlarla hesaplanan kalite değerleri Tablo 8'de gösterilmektedir.

**Tablo 8.** Kalite Analizi.

Yöntem	Doğruluk(%)	Tamlık(%)
1	87	89
2	86	93
3	82	91
4	80	84
Kombinasyon	88	91
İyileştirme	94	88

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada görüntü ve LIDAR verisi kullanılmıştır. Nitekim geliştirilen yöntemlerde, her iki veriden de üç boyutlu bilgi üretme imkânı bulunduğundan, bir takım düzenlemelerle tek bir verinin de kullanılması mümkündür. Bu elbette, uygulamanın yapılacağı bütçe ve diğer kısıtlamalara ve ayrıca LIDAR verisine ulaşabilmenin mümkün olmasına bağlı bir konudur. Sayısal arazi ve yükseklik modelleri de önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle, çözünürlük (ortalama nokta aralığı mesafesi), nokta konum doğruluğu, yüzey kesikliklerini modelleme yeteneği, hata kapsamı (örn. kaba hataların miktarı), LIDAR verisinin dikey dağılım durumu da bina tespiti çalışmalarında sonuca

doğrudan etki etmektedir. Tüm bunların yanında konumsal çözünürlük ve ortalama LIDAR nokta yoğunluğu da önemlidir. Sayısal arazi modelinin doğruluğunun artırılması, sonuçlarda da iyileşme sağlayacaktır. Özellikle görüntü verilerinden elde edilen sayısal yükseklik modellerinden kaliteli normalleştirilmiş yükseklik modeli elde edilebilir. Spektral bilginin, hava algılayıcılarında kısıtlı olması ve mevcut 4 bant elde edilebilmesi de sonuçları kısıtlayan faktörlerdendir. Sınıflandırma teknikleri kullanıldığı zaman, ek bantların oluşturulması da sonuçların iyileştirilmesinde etkili olmuştur. Ortogörüntülerin kalitesi iyi yükseklik modellerinden oluşturulması da önemlidir. Böylece bitişik binaların tespiti ve çatı kenarları segmentasyonunda avantaj sağlanabilmektedir. Özellikle gerçek ortogörüntülerin kullanılması, engelli alanların elemine edilmesinde faydalı olmaktadır.

Bina tespitinde bina sınırlarının hassas bir biçimde elde edilmesi amaçlanmamıştır. Dört farklı yöntem incelenmiştir ve en iyi sonucu elde etmek için sonuçlar, ikili işlemler ile kombine edilmişlerdir. Birinci yöntemde minimum kullanıcı müdahalesinin olmasının yanında, avantajı gölge alanlarının tespit edilebilmiş olmasıdır. Yükseklik modellerindeki hatalar, örneğin bina sınırlarındaki düzensizlikler, kaliteyi olumsuz yönde etkilemiştir. Buna ek olarak yeşil bitki örtüsü ve bunlarla kaplı çatı alanları da negatif faktörlerdir. İkinci yöntem, tam otomatik olarak uygulanmakla birlikte, hata kaynakları birinci yöntemle benzerlik göstermektedir. İkinci yöntemin bir dezavantajı da bitki örtüsü olmayan tüm yer üzeri nesnelere bina olarak kabul etmesidir. Bu yüzden, bina olarak tespit edilmiş yoğun ağaç gölgeleri, doğruluk değerini düşürmektedir. Üçüncü ve dördüncü yöntemde, LIDAR'dan elde edilmiş sayısal arazi modeli sonuçları doğrudan etkilemiştir. Üçüncü yöntemdeki hatalar, ikinci yöntemdeki gibi NDVI kullanımına bağlı olarak kaynaklanmış, bitki örtüsü ile kaplı çatılar doğruluğu düşürmüştür. Dördüncü yöntemde ise sonuçlar doğrudan LIDAR nokta yoğunluğuna bağlıdır. Buradaki hatalar duvarların, dikey yoğunluk ve nokta düzensizliklerinden dolayı ağaç olarak tespit edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yöntemin önemli avantajı spektral hata kaynaklarını içermemesidir. Böylece çatılardaki bitki örtüleri ve gölgeler hata oluşturmamaktadır. Bu avantaj ve dezavantajları göz önüne alarak ikili işlemlerle sonuçlar kombine edilmiş ve kalite artırılmıştır. Daha sonra, RANSAC ile düzlemsel alanlar sonuçlarda bırakılarak doğruluk değerinde iyileşme sağlanmıştır.

Önerilen yöntemler, ilk yöntemdeki eğitim alanları seçimini hariç tutarak herhangi bir ön bilgi kullanmadan, binaları tespit etmişlerdir. Mevcut verileri, örneğin kadastral haritalar vb.ne ihtiyaç duyulmamıştır. Diğer yandan, bu verilerin elde olması durumunda, bina tespit sonuçlarının kalitesi de artırılabilir.

LIDAR ver görüntü verisinin bütünleşik kullanımı, birbirini tamamlayıcı bilgi sunmakta, avantaj ve dezavantajlarının kullanımı ile daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Sadece verinin iyi olması değil aynı zamanda veri işleme yöntemlerinin (yükseklik modeli oluşturulması vb.) kalitesi de sonuçları doğrudan etkilemektedir.

Bina tespitinde temel sorunlar, binaların birbirlerine çok yakın olması, gölgeler, birbirlerini maskeleyen, çatılardaki küçük detaylar, üst üste binmiş çatılardan meydana gelmektedir. Bu nedenle ileri bir iyileştirme gereklidir.

### TEŞEKKÜR

Yazar, çalışmanın gerçekleşmesinde, yararlı geri bildirimlerde bulunan sayın Dr.Emmanuel Baltsavias'a, Prof.Dr. Konrad Schindler'e, çalışmanın finansmanını sağlayan Avrupa Birliği PEGASE projesi ve İsviçre KTI ile İsviçre Uzay Ajansı(SSO) kurumlarına teşekkürü borç bilir.

### 6. KAYNAKLAR

- [1] Brenner, C., (2000) "Towards fully automatic generation of city models" *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 33-B3/1, 85-92.
- [2] Brenner,C., (2005) "Building reconstruction from images and laser scanning" *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6-3/4, 187-198.
- [3] Haala, N., Kada, M., (2010) "An update on automatic 3D building reconstruction" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65-6,570-580.
- [4] Lin, C., Huertas, A., Nevatia, R., (1995) "Detection of buildings from monocular images" *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*, pp. 125-134, Eds. Gruen, A., Kuebler, O., P. Agouris, P., Birkhäuser Verlag, Basel.
- [5] Katartzis, A., Sahli, H., Pizurica, V., Cornelis, J., (2001) "A Model-based approach to the automatic extraction of linear features from airborne images" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39-9, 2073 -2079.
- [6] Henricsson, O., E. Baltsavias, E., (1997) "3-D building reconstruction with ARUBA: a qualitative and quantitative evaluation" *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II)*, pp. 65-76, Eds. A. Gruen, A., O. Henricsson, O., Birkhauser Verlag, Basel.
- [7] Baillard, C., Zisserman, A., (1999) "Automatic reconstruction of piecewise planar models from multiple views" *Proc. of the IEEE Computer Society*

*Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Colorado, USA, June 23-25, 559-565.

[8] Baltsavias, E.P., (1999) "A comparison between photogrammetry and laser scanning" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54-2/3, 83-94.

[9] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K., (2005) "Automated delineation of roof planes from LIDAR data" *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36-3/W19, 221-226.

[10] Sohn, G., Dowman, I.J., (2007) " Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 62-1, 43-63.

[11] Kim, C., Habib, A., (2009) "Object-based integration of photogrammetric and LiDAR data for automated generation of complex polyhedral building models" *Sensors*, 9-7, 5679-5701.

[12] Demir, N., (2013) "Combination of Airborne Laser and Image Data for Building Detection and 3D Roof Reconstruction" *Doktora Tezi*, ETH Zurich.

[13] Richards, J.A., (1993) "Remote sensing digital image analysis" Springer, New York.

[14] Schnabel, R., Wahl, R., Klein, R (2007) "Efficient RANSAC for point-cloud shape detection" *Proc.of Computer Graphics Forum*, 214-226.

### ÖZGEÇMİŞ

#### Dr. Nusret DEMİR

1997 yılında Anadolu Tapu Kadastro Meslek Lisesi, 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nden, 2003 yılında çift lisans eğitimi ile aynı üniversitede Endüstri Mühendisliği bölümlerinden mezun oldu. 2005 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansını tamamladı. 2002-2006 yılları arasında YTÜ Fotogrametri anabilim dalında araştırma görevlisi olarak görev yaptı. Bu süre boyunca e-devlet projelerinde görev aldı. 2004-2005 yılları arasında yüksek lisans tezi araştırma çalışmaları için Atina Ulusal Teknik Üniversitesinde Yunan Hükümeti bursu ile bulundu. 2006-2012 yılları arasında İsviçre ETH Zurich Geomatik Mühendisliği bölümünde bilimsel araştırmacı olarak fotogrametri, LIDAR, üç boyutlu modelleme, SAR görüntüleri, insansız hava aracı projelerinde görev aldı ve yine aynı üniversitede 2013 yılında LIDAR ve görüntü verilerinin kombinasyonu ile bina tespiti ve 3 boyutlu çatı modellemesi konusunda yaptığı çalışma ile doktor unvanı aldı. 2012 yılında üç ay süre ile Bern Üniversitesi Coğrafya bölümü Uzaktan Algılama laboratuvarında araştırmalarda bulundu. Daha sonra bir yıl, İsviçre Pilatus Uçak Ltd. şirketinde uçuş eğitim sistemleri uzmanı olarak görev aldı. 2013 yılında yurda kesin dönüş yaparak ETEN Araştırma Geliştirme Mühendislik Ltd. bünyesinde çalışmalarına devam etti. Şu an Akdeniz Üniversitesi Uzay Bilimleri ve Teknolojileri bölümünde yardımcı doçent olarak araştırma ve eğitim faaliyetlerini sürdürmektedir.