

T.C
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEL – TAŞKIN MODELLERİNDE HAVA LİDAR
VERİLERİNİN KULLANIMI: ULUS ÇAYI
ÖRNEĞİ

İBRAHİM ŞİMŞEK
TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. CİHAN BAYRAKDAR

EŞ DANIŞMAN
PROF. DR. HASAN ÖZDEMİR

İSTANBUL – 2020

***BU ÇALIŞMA DELTA LİDAR TEKNOLOJİLERİ HARİTA VE**
MÜHENDİSLİK A.Ş. TARAFINDAN AR-GE PROGRAMI KAPSAMINDA
DESTEKLENMİŞTİR.

ÖZ

SEL – TAŞKIN MODELLERİNDE HAVA LİDAR VERİLERİNİN KULLANIMI: ULUS ÇAYI ÖRNEĞİ

İBRAHİM ŞİMŞEK

Sel ve taşkınlar dünyanın hemen her köşesinde yaşanmakta can kayıplarına ve büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Sel ve taşkınların insan yaşamına ve faaliyetlerine olan etkisini azaltmak ve ortadan kaldırmak için sel ve taşkına neden olan faktörler doğru bir şekilde araştırılması, sel ve taşkına ait su derinliği, hızı ve etki güçlerinin doğru bir şekilde haritalanması gerekmektedir. Bu nedenle sel ve taşkın hidrolik modellerinin üretilmesi, taşkın tehlike haritalarının üretilmesinde ve alınacak önlemleri belirlemede başta gelen çalışmalarından biridir. Akarsu yatak formu ve taşkın alanın yüzey topografyasının temsil edilmesi için sayısal yükseklik (DEM) ve yüzey modelleri (DSM) kullanılmaktadır. DEM ve DSM'leri elde etmek için çalışma kapsamında Ulus Çayı üzerinde bulunan Bartın İli'ne bağlı Ulus İlçe merkezinin bulunduğu alanı kapsayacak şekilde hava LiDAR yöntemiyle veri alımı yapılmıştır. Bu verilerden taşkın hidrolik modellerinin doğruluğuna etki eden ana faktörlerden yüzey topografyası, bina ve ağaçların etkisini ortaya koyabilmek hava LiDAR nokta bulutu üzerinden yüksek çözünürlükte (25 cm) DEM ve farklı detaylarda DSM'ler üretilmiştir. Oluşturulan hipotetik akım verisi kullanılarak DEM ve farklı detaylardaki DSM'ler kullanılarak 2B taşkın hidrolik modelleri üretilerek taşkın alanındaki suyun yüksekliğine ve yayılışına olan etkileri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: taşkın hidrolik modelleri, hava LiDAR, ulus çayı, DEM, DSM, tekil ağaç gövdeleri.

ABSTRACT

**FLOOD MODELLING USING AIRBORNE LiDAR DATA: AN
EXAMPLE of ULUS RIVER**

İBRAHİM ŞİMŞEK

Floods are occurring in almost every part of the world, causing loss of life and great economic lost. In order to reduce and eliminate the impact of floods on human life and their properties, the factors that cause flooding need to be properly investigated and the water depth, velocity and impact forces of floods must be accurately mapped. Therefore, the production of flood hydraulic models is one of the leading works in the production of flood hazard maps and in determining the measures to be taken. DEM and DSM are used to represent the surface topography of the river bed form and floodplain. Within the scope of the work to obtain DEM and DSM, data was obtained by airborne LiDAR system within the area where the Ulus District in the center of Bartın Province, which is located on Ulus River. From this data, high resolution (25 cm) DEM and DSM were produced through the airborne LiDAR point cloud to reveal the effect of topography, buildings and trees, one of the main factors that affect the accuracy of flood hydraulic models. Using the hypothetical flow data created, 2D flood hydraulic models were produced using DEM and DSM in different details, comparing the effects of water level and spread in the floodplain.

Keywords: flood modelling, airborne LiDAR, Ulus River, DEM, DSM, singular tree trunks.

ÖNSÖZ

“Sel – Taşkın Modellerinde Hava LiDAR Verilerinin Kullanımı: Ulus Çayı Örneği” başlıklı bu çalışma; iklim değişikliği ile önemi her geçen artan taşkın hidrolik modellerinde hava LiDAR verilerinden elde edilen yüksek çözünürlükteki DEM ve DSM’lerin ülkemizde ilk kez kullanılarak 2B taşkın hidrolik modellerinin doğruluğuna etkisini ortaya koymak, binaları ve ağaç gövdelerini yüzey sürtünme katsayıları (manning’s n) ile ifade etmek yerine su akışına yön veren / engel olan su geçirimsiz objeler olarak DEM’e eklenerek DSM üretim yöntemi ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.

Çalışmada uçuş planlanması ve ardından veri alımı ile başlayarak ham hava LiDAR verilerinin kalibrasyonu ve dengelenmesi ile hava LiDAR nokta bulutunun üretim adımları anlatılarak elde edilen nokta bulutunun sınıflama aşamaları detaylı olarak açıklanmıştır. Hava LiDAR nokta bulutu sınıflandırma çalışmalarından sonra öncelikli olarak DEM ve topografya ve bina yüzey modeli (DSMb) üretilmiştir. Nokta bulutu verilerinden ağaçları tekil olarak belirleme ve göğüs çaplarının hesaplanma yöntemi açıklanarak tekil ağaçların topografya, bina ve ağaç sayısal yüzey modeline (DSMbt) ekleme yöntemi ortaya konmuştur. Çalışmanın sonuç kısmında üretilen sayısal yükseklik ve yüzey modelleri 2B taşkın hidrolik modelinde kullanılarak etkileri açıklanmıştır.

Bu tez çalışmasında her türlü desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve sabırla beni bilimsellik yolunda yönlendiren çok değerli tez danışmanım Doç. Dr. Cihan BAYRAKDAR’a ve eş danışmanım Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR’e şükranlarımı içten dileklerle sunarım. Aynı zamanda bu çalışmayı ARGE programı kapsamında destekleyen DELTA LİDAR şirketine ve çalışanlarına, çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen, Doç. Dr. Tolga GÖRÜM’e, ağaç gövde analizlerinde desteklerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Muhittin İNAN’a ayrıca teşekkür ederim.

Her an yanımda olan ve beni gönülden destekleyen sevgili eşim Semra ŞİMŞEK’e en içten şükranlarımı sunarım.

İbrahim ŞİMŞEK

İstanbul, Haziran 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZ	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	ix
GİRİŞ	1
Literatür Değerlendirmesi	2
Çalışma Alanı.....	5
Amaç ve Kapsam	7
BİRİNCİ BÖLÜM	
VERİ VE YÖNTEM	
1.1. Hava LiDAR Sistemi ve Çalışma Prensipleri	9
1.2. Uçuş Öncesi Çalışmalar ve Hava LiDAR Veri Alımı	12
1.2.1. Uçuş Öncesi Çalışmalar.....	12
1.2.2. Hava LiDAR Uçuşu ve Veri Alımı:	17
1.3. Uçuş Sonrası İşlemler (Post-Processing)	19
1.4. Nokta Bulutu Sınıflandırma	29
1.5. Akımın Hesaplanması ve Kullanılan Hidrolik Model	41
İKİNCİ BÖLÜM	
BULGULAR	
2.1. Sayısal Yükseklik Modelinin (DEM) Üretilmesi.....	46
2.2. Sayısal Yüzey Modellerinin (DSM) Üretilmesi.....	48
2.2.1. Topografya ve Bina Sayısal Yüzey Modeli (DSM _b).....	48
2.2.2. Topografya, Bina ve Ağaç Sayısal Yüzey Modeli (DSM _{bt}).....	50
2.3. Ortofoto Üretimi.....	56
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
TARTIŞMA	
3.1. Taşkın Hidrolik Model Sonuçları ve Sonuçların Karşılaştırılması	57
SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKÇA	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: 1998-2017 Doğal afetlerin etkileri	1
Şekil 2: Çalışma alanı ve yer bulduru haritası.	6
Şekil 3: Hava LiDAR sistemi bileşenleri.....	10
Şekil 4: Hava LiDAR teknolojisi çalışma prensibi.	11
Şekil 5: RiAcquare ALS uçuş değerleri.	13
Şekil 6: Uçuş planı.....	14
Şekil 7: Yer kontrol noktası (YKN).....	15
Şekil 8: Statik GNSS Alıcısı.....	15
Şekil 9: Hava LiDAR sisteminin uçağa montajı.....	16
Şekil 10: Alıcıya göre konumlama uydu dağılımları.....	19
Şekil 11: Hava LiDAR sistemi doğrudan coğrafi konumlandırma.	19
Şekil 12: Dengelenmemiş trajectory (rota).....	20
Şekil 13: Dengelenmiş trajectory (rota).....	21
Şekil 14: Trajectory dengeleme raporu (Combined serparation plot).	21
Şekil 15: Farklı uçuş hatlarına ait nokta bulutu.	22
Şekil 16: Boresight kalibrasyonu öncesi nokta bulutu.	22
Şekil 17: Yüzey eşleme ayarları ve yüzeyler (plane search / matching).	23
Şekil 18: Strip adjustment (şerit eşleme).	24
Şekil 19: Boresight kalibrasyonu ve Line adjustment sonrası nokta bulutu.....	24
Şekil 20: Hava LiDAR nokta bulutu.	25
Şekil 21: Nokta bulutu kesit görünüm.	25
Şekil 22: Hava LiDAR nokta bulutu intensity görüntüsü.....	26
Şekil 23: Hava LiDAR çoklu dönüş (echo) özelliği.	26
Şekil 24: Veri alımı ve uçuş sonrası işlemler (Post-Processing) şeması.	27
Şekil 25: Sınıflandırılmamış nokta bulutu (PCV & EDL Rendering).....	28
Şekil 26: Sınıflandırılmamış nokta bulutu kesit görünüm.	28
Şekil 27: Ground macrosu yineleme parametresi çalışma prensibi.	33
Şekil 28: Nokta bulutunda menfez görünümü.	34
Şekil 29: Sentetik noktalar ile menfez oluşturma ve TIN sayısal yükseklik modeli. 35	
Şekil 30: Menfez sentetik noktaları kesit ve perspektif görünümü.	36

Şekil 31: Nokta bulutu gruplama (segmentasyon) görünümü.	38
Şekil 32: Sınıflandırılmış nokta bulutu.	39
Şekil 33: Sınıflandırılmış nokta bulutu kesit görünümü.	39
Şekil 34: Nokta bulutu sınıflandırma aşamaları ve macrolar.	40
Şekil 35: Anlık akım verisi hesaplaması için hız - alan metodu.	41
Şekil 36: SCS birim hidrografi hesaplama parametreleri.	42
Şekil 37: Akarsulara ait SCS birim hidrografları.	42
Şekil 38: Ulus Nehri havzası, alt havzaları ve alt kolları.	43
Şekil 39: LISFLOOD-FP 2B Model parametreleri.	44
Şekil 40: Sayısal yükseklik modeli (DEM).	47
Şekil 41: Topografya ve bina sayısal yüzey modeli (DSM_b) perspektif görünümü. .	48
Şekil 42: Topografya ve bina sayısal yüzey modeli (DSM_b).	49
Şekil 43: Nokta bulutu normalizasyonu.	50
Şekil 44: Hava lidar nokta bulutu ağaç segmentasyonu.	51
Şekil 45: Hesaplanan tekil ağaç göğüs çaplarının nokta bulutu ile gösterimi.	52
Şekil 46: Ağaç gövde TIN yüzey modeli.	53
Şekil 47: Birleştirilmiş topografya, bina ve ağaç TIN yüzey modeli.	54
Şekil 48: Ağaç gövdelerinin DSM_{bt} 'deki temsil örnekleri.	54
Şekil 49: Topografya, bina ve ağaç sayısal yüzey modeli (DSM_{bt}).	55
Şekil 50: Ortofoto örneği.	57
Şekil 51: DEM taşkın alanı yayılımı ve derinlik haritası.	59
Şekil 52: DEM taşkın A - A' kesiti.	60
Şekil 53: DEM taşkın B - B' kesiti.	60
Şekil 54: DSM_b taşkın alanı yayılımı ve derinlik haritası.	61
Şekil 55: DSM_b taşkın A - A' kesiti.	62
Şekil 56: DSM_b taşkın B - B' kesiti.	62
Şekil 57: DSM_{bt} taşkın alanı yayılımı ve derinlik haritası.	63
Şekil 58: DSM_{bt} taşkın A - A', B - B', C - C', D - D' kesitleri.	64
Şekil 59: 3B binalar ve taşkın yayılımı.	65

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: Ekipman listesi.....	17
Tablo 2: ASPRS LiDAR nokta bulutu sınıfları standartları tablosu.	31
Tablo 3: Akarsu ve kolları için hesaplanan hipotetik akım verileri.	41



KISALTMALAR LİSTESİ

1B	: 1 Boyutlu
2B	: 2 Boyutlu
3B	: 3 Boyutlu
2D	: 2-Dimensional
3D	: 3-Dimensional
3DEP	: USGS 3D Elevation Program
ASPRS	: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
CRED	: Centre for Research on The Epidemiology of Disasters
DEM	: Digital Elevation Model
DSİ	: Devlet Su İşleri
DSM	: Digital Surface Model
DSMb	: Topografya ve Bina Sayısal Yüzey Modeli
DSMt	: Topografya, Bina ve Ağaç Sayısal Yüzey Modeli
DTM	: Digital Terrain Model
EXCIMAP	: European Exchange Circle on Flood Mapping
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FOV	: Field of View
FRMRC	: Flood Risk Management Research Consortium
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System

IHRC	: International Hurricane Research Center
IMU	: Inertial Measurement Unit
INS	: Inertial Navigation System
LiDAR	: Light Detection and Ranging
NIR	: Near Infrared
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SAR	: Synthetic Aperture Radar
TIN	: Triangulated Irregular Network
TUSAGA	: Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı
UNDRR	: United Nations Office for Disaster Risk Reduction

GİRİŞ

Suyun çeşitli nedenlerle ana yatağı dışına çıkarak çevreye taşması olarak tanımlanan sel ve taşkınlar dünyanın hemen hemen her köşesinde yaşanmakta can kayıplarına ve büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Dünyada 1998-2017 yılları arasında meydana gelen iklim kaynaklı ve jeofiziksel doğal afetlerin %43,4'ü taşkın kaynaklı olup, bu yıllar arasında taşkınlardan ölen kişi sayısı 142 bin, taşkınlardan etkilenen kişi sayısı 2 milyar ve taşkınların yol açtığı ekonomik kayıp ise 656 milyar Amerikan dolarıdır (UNDRR, 2018). İklim değişikliğinin daha şiddetli ve karmaşık olarak gerçekleşeceği öngörülmektedir. İklim değişikliğinin etkisi altında hava koşullarında değişime bağlı olarak özellikle yağışlardaki değişimle birlikte aşırı taşkın olaylarının artması beklenmektedir. Bu artış sadece şiddetinde değil aynı zamanda görülme sıklığında da yaşanacaktır (Duong & Gourbesville, 2016).

Şekil 1: 1998-2017 Doğal afetlerin etkileri



(CRED ve UNDRR 2018'den değiştirilerek).

İklim değişikliğine bağlı olarak değişen yağış rejimi, sel ve taşkınların oluşumunda ve tekrarlanma sıklığında önemli rol oynarken, havza jeolojisi, jeomorfolojisi, sanayileşme, göçler, hızlı nüfus artışı, arazi kullanımındaki değişimler, taşkın ovalarının yerleşime açılması (Milly, Wetherald, Dunne, & Delworth, 2002), akarsu yatağına yapılan müdahaleler (Utlu & Özdemir, 2018), yanlış yer seçimi ve bitki örtüsündeki değişimler sel ve taşkınların etkisini ve şiddetini daha da artırmaktadır.

Türkiye’de taşkınlar depremlerden sonra en büyük ekonomik kayıplara neden olan doğal afettir. Türkiye’de taşkınlar her yıl yaklaşık 300 milyon TL maddi zarara neden olmaktadır. Ülkemizde 1997 - 2015 yılları arasında 1209 taşkın meydana gelmiş ve bu taşkınlar sırasında 720 can kaybı olurken 893.993 hektar alan su altında kalmıştır (Kınacı, ve diğerleri, 2017).

Sel ve taşkınların insan yaşamına ve faaliyetlerine olan etkisini azaltmak ve ortadan kaldırmak için sel ve taşkına neden olan faktörler doğru bir şekilde araştırılmalı, sel ve taşkınlarla ait su derinliği, hızı ve etki güçlerinin doğru bir şekilde haritalanması gerekmektedir. Bu nedenle sel ve taşkın modellerinin üretilmesi, taşkın tehlike haritalarının üretilmesinde ve taşkınlarla karşı alınacak tedbirlerin belirlenmesinde öncelikle yapılması gereken çalışmalar arasındadır.

Literatür Değerlendirmesi

Sel ve taşkın modellerinin üretilmesi için ayrıntılı ve doğru sayısal yükseklik ve/veya yüzey modelleri gereklidir. Akarsu yatak formu ve taşkın alanının yüzey topografyasını temsil edecek olan sayısal yükseklik (DEM) ve/veya yüzey modellerinin (DSM) yatay ve dikey doğruluğu sonuç ürünlerin güvenilirliği ve doğruluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (EXCIMAP, 2007).

Akarsu yatak formu ve taşkın alanının yüzey topografyasının temsil edilmesi için farklı veri kaynaklarından farklı çözünürlükteki ve doğrulukteki sayısal yükseklik ve yüzey modelleri kullanılmaktadır. DEM ve DSM’lerin çözünürlüğü ve doğruluğu arttıkça topografyayı temsil etme kabiliyetleri de o oranda artmaktadır. Günümüzde gelişen haritalama teknolojilerine bağlı olarak DEM ve DSM üretiminde kullanılan verilerin doğruluğu ve çözünürlüğü artmaktadır. Haritalama teknolojilerinden hava LiDAR teknolojisi sunduğu; büyük alanlarda kısa sürede veri toplama kapasitesi, yüksek çözünürlükte ve doğrulukta veri üretimi, diğer haritalama teknolojilerinden farklı olarak bitki örtüsü altından veri sağlayabilme imkânları ile öne çıkmaktadır. Özellikle dağlık, yüksek eğimli ve yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda diğer klasik haritalama yöntemleri ile yüksek çözünürlükte veri elde edilmesi çok uzun zaman almakta ve yüksek maliyetle olmaktadır. Ayrıca diğer yöntemler kullanılarak yoğun bitki örtüsü, yüksek eğim, dağlık arazi yapısı vs. nedenlerle zemin bilgisine ulaşmanın

çoğu zaman mümkün olmadığı bölgelerde hidrolojik çalışmalarda kullanılacak DEM'lerin elde edilmesinde yüksek çözünürlüklü hava LiDAR verilerinin kullanılması önem arz etmektedir. (Çelik, Baş, & Çoşkun, 2014).

Taşkınlar üzerinde topografya ve akarsu yatak formunun etkisini araştıran çalışmalarda LiDAR verilerinden elde edilen farklı çözünürlükte sayısal yükseklik modelleri (DEM) verileri kullanılmıştır (Haile & Rientjes, 2005; Casas, vd., 2006; Sole, vd., 2008; Neal, vd., 2011; Ozdemir, vd., 2013). DEM verilerinin çözünürlüğünün değişmesiyle taşkın yayılımı ve taşkın su yüzeyi yüksekliğinde önemli değişimler olduğunu araştırma sonuçlarında yer almıştır. DEM çözünürlüğünün azalmasına bağlı olarak taşkın su yüzeyi yüksekliğinin ve taşkın yayılımının arttığını ortaya koyan bu çalışmalar taşkın tehlike ve risk çalışmaları için yapılan taşkın simülasyonlarında LiDAR veri kaynağının doğru simülasyonlar açısından önemi ortaya koymaktadır.

Lidar verilerinden yüksek çözünürlükte DEM üretmek için kullanılan filtreleme algoritmalarının taşkın üzerindeki etkisi de DEM çözünürlükleri konusunda yapılan çalışmalara paralel olarak araştırılmıştır (Abdullah ve ark., 2011). Filtreleme algoritmalarının topografyayı, akarsu yatağını, köprüleri, su kanallarını, insan yapımı nesneleri vs. tanımlamada gösterdiği sonuçlar hidrolik modelleri etkilemektedir.

LiDAR sistemleri yüksek çözünürlüklü topografya verisi sağlama kabiliyetinin yanında binalar, bitki örtüsü, kaldırımlar vs. gibi topografya üzerinde bulunan doğal ve insan yapımı nesneler içinde veri sağlamaktadır. LiDAR sistemlerinin sağladığı bu zengin veri içeriği yüzey pürüzlülük değerleri içinde kullanılmıştır. Lidar nokta bulutunun sınıflandırılması sonucu elde edilen bitki örtüsü sınıfından sürtünme katsayılarına dönüştürülebilen vejetasyon yüksekliği hesaplaması (Cobby, vd., 2001; Mason, vd., 2003;) geliştirilmiştir. Yine bu kapsamda taşkın hidrolik modellerinde sabit değer içeren alanlar şeklinde tanımlanan pürüzlülük katsayıları yerine bitki örtüsü yüksekliğine bağlı olarak değişken taşkın yatağı sürtünmesini tahmin etme yöntemi ortaya konmuş (Cobby, vd., 2003; Mason, vd., 2003;) sonrasında; hem akışa (kısa bitki örtüsü, çitler, ağaçlar) hem de taşmaya (yollar, insan yapımı yüzeyler) etki eden nesnelerin eklenmesine olanak sağlayacak şekilde bu yöntem geliştirilmiştir (Mason, vd., 2007).

Kentsel alanlarda binalar, kanalizasyon şebekesi, alt geçitler vs. gibi insan yapımı objelerin varlığı nedeniyle taşkın hidrolik modellemeleri kırsal alanlara göre karmaşık süreçleri içermektedir. Araştırmacılar için bu karmaşık süreçlerin etkilerini ortaya koymak için topografya üzerindeki doğal ve insan yapım objeleri şekil ve hacimleriyle tanımlama yeteneğine sahip LiDAR verileri kent taşkınları çalışmalarında önemli bir veri kaynağı olmuştur. (Syme, vd., 2004; Brown, vd, 2007; Neal, vd., 2011).

Taşkın çalışmalarında Hava LiDAR platformu yanında mobil ve yersel LiDAR platformlarında kullanılmaktadır (Ozdemir, vd., 2013; Turner, vd., 2013). Mobil ve yersel LiDAR platformları; hava LiDAR sistemleri ile veri elde edilemeyen alanlarda (menfez, alt geçit vs.) veya daha yüksek çözünürlük gerektiren çalışmalarda kullanılmakta ve kentsel ortamın DEM ve DSM'deki temsil edilme kabiliyetini artırmaktadır. 3 farklı platformdan gelen verilerin birleştirilerek taşkın çalışmalarında kullanılması (Turner, vd., 2013) hidrolik modellerin doğruluğunu artırdığı gibi zaman ve maliyet noktasında da avantaj sağlamaktadır.

Hava LiDAR verileri sağladığı avantajları yanında taşkın çalışmalarında bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Yüksek çözünürlükte üretilen veriler 1B veya 2B taşkın hidrolik model yazılımlarının ve kod sınıflarının, bilgisayar işlemci kapasitelerinin sınırları aşmakta ya da küçük alanlarda dahi uzun işlem sürelerine ihtiyaç duymaktadır (Hunter, vd., 2008; Neal, vd., 2011). Bu problemleri aşmak için yeni metodalar ve kodlar geliştirilmiştir (Neal vd. 2012).

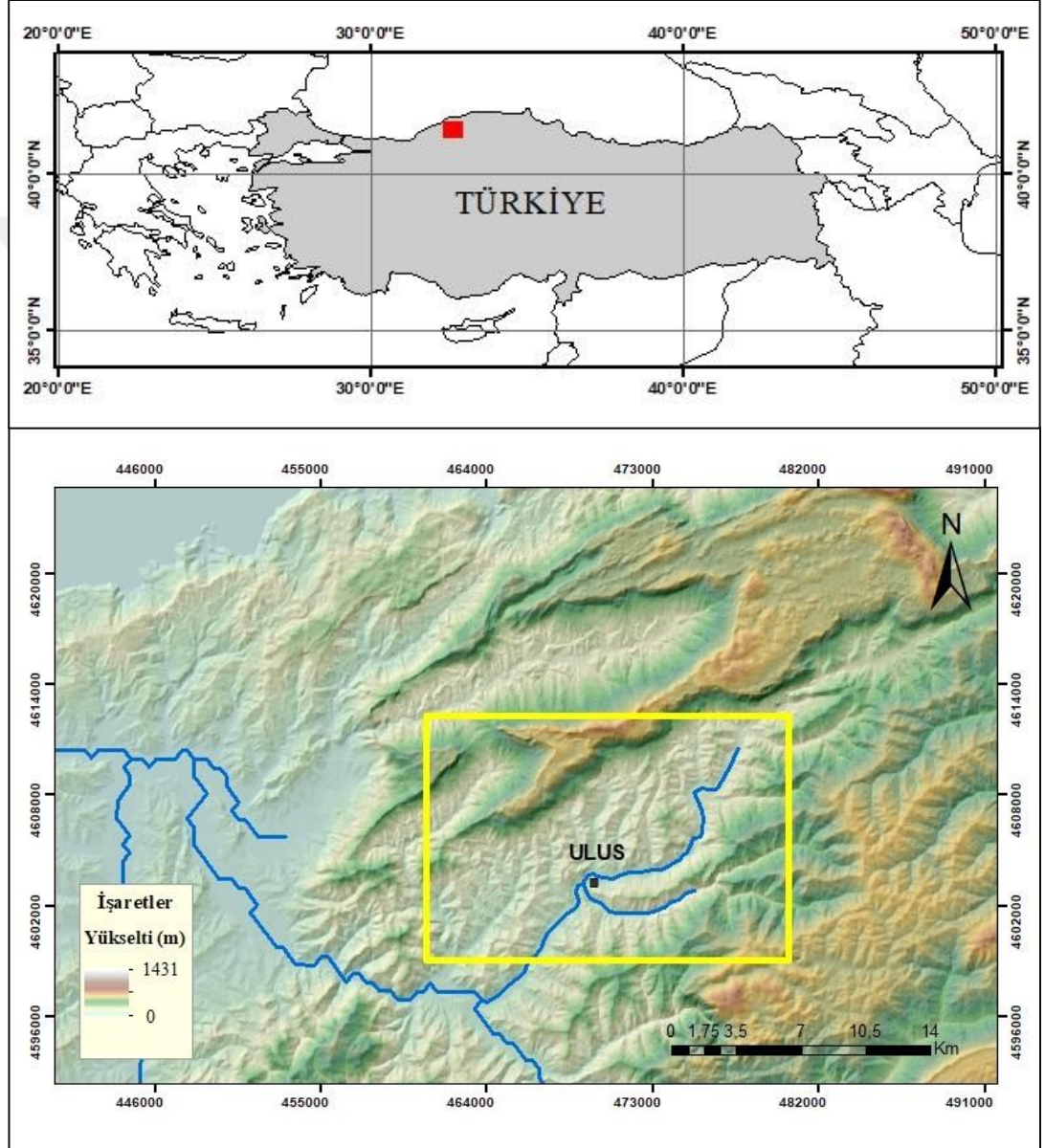
2007 yılında ABD Ulusal Araştırma Konseyi (NRC), ABD Federal Acil Durum Yönetim Ajansı'nın (FEMA, US) taşkın haritalarının yetersiz kaldığını belirterek ulusal yükseklik verilerinin yeniden toplanmasında LiDAR yönteminin ana teknoloji olması gerektiğini söylemiştir (Wang , 2015). Bu amaçla 2014 yılında planlaması yapılan "3DEP" programı ile taşkınlar başta olmak üzere birçok amaçla kullanılacak hava LiDAR verilerinin alımına 2016 yılında başlanmıştır (USGS, 2020). Aynı şekilde Avrupa'da EXCIMAP programı ile birçok ülke taşkın yönetimi için hava LiDAR verilerini kullanmaya başlamıştır.

Çalışma Alanı

Taşkın modelleri oluşturmak için çalışma bölgesi olarak Kuzeybatı Karadeniz’de Bartın il sınırları içerisinde yer alan Ulus ilçe merkezini kapsamaktadır (Şekil I). Bartın Çayı havzası içerisinde bulunan Ulus Çayı, Bartın Çayı’nı besleyen iki ana koldan biridir. Ulus İlçe merkezinden kuzey-doğu güney-batı istikametinde akan Ulus Çayı’na kuzeyden Alpı Deresi, güneyden Eldeş Çayı katılmaktadır. Bartın Çayı havzasının içerisinde bulunduğu Batı Karadeniz havzası sel ve taşkınların çok sık karşılaştığı bir bölgedir. 1970–1997 yılları arasında bu bölgede toplam 19 taşkın meydana gelmiştir. 1970–1987 yılları arasında kalan dönemde taşkın sayısı 7 iken, 1987–1997 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde bu sayı 12’ye çıkmıştır (<https://bartin.afad.gov.tr/ilimizin-afet-tehlike-ve-riskleri>). Ulus çayı üzerinde Tunay ve Ateşoğlu (2004) yaptıkları çalışmada 1992 – 2000 yılları arasında taşkın altında kalan sahalarda 24.68 hektarlık bir artış olduğunu ortaya koymuşlardır. Ulus ilçesinde yaşanan sel ve taşkın olaylarını etkisini azaltmak için DSİ tarafından 2015 yılında Ulus Çayı üzerinde taşkın ıslah projesi yapılmış ve 2018 yılında tamamlanmıştır (DSİ, 2019). Son olarak 4 Şubat 2020 tarihinde Ulus Çayı’na kuzeyden katılan Alpı Deresi üzerinde taşkın meydana gelmiş ve Ulus Belediyesi’ne ait atık su terfi istasyonu zarar görmüş ve dere kenarında yer alan istinat duvarının 60 metrelik bölümü çökmüştür. (<https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/bartın/ulus/>, 2020).

Bölgede genel olarak Karadeniz İklim koşulları hakimdir. Hemen her mevsim yağış alan Bartın’da yazları serin kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. Dağ sıraları kıyıya paralel uzansa da yüksekliğinin fazla olmaması nedeniyle deniz etkisi Bartın ilinin iç kesimlerine kadar girebilmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 12.7 °C olan Bartın’da kış mevsimi ortalama sıcaklık değeri 4.8 °C iken yaz mevsimi ortalama değeri 21.2 °C’dir (<https://www.mgm.gov.tr>, 2020). Amasra ve Kurucasıle’nin yer aldığı kıyı kesimlerinde ortalama sıcaklık 12.8-13.5 °C arasında değişir. Bu değer, kuzeybatı kıyılarında 12.4-12.8 °C arasındadır. İç kesimlerde; Kozcağz ve Kumluca beldelerinin bulunduğu güney ve güneybatı alanlarda ortalama sıcaklık 12 °C’ye kadar düşmektedir (Yılmaz, 2006). Yıllık ortalama 1047.6 mm yağış alan Bartın İli kış mevsiminde ortalama 313.5 mm yağış alırken yaz mevsiminde ortalama 222 mm yağış almaktadır. Mayıs ortalama 54.00 mm yağış miktarı ile en az yağış alan ay olurken

mayıs ayını 59.00 mm yağış ile nisan ve 59.6 mm yağış miktarı ile temmuz takip etmektedir. Aralık ortalama 134.2 mm yağış miktarı ile en fazla yağışlı ay olurken aralık ayını 115.5 mm yağış ile ocak ve 113.9 mm yağış miktarı ile kasım takip etmektedir (<https://www.mgm.gov.tr>, 2020).



Amaç ve Kapsam

Sel ve taşkın modellerinin üretilmesinde sayısal yükseklik ve sayısal yüzey modelleri gerekli olan bir veri setidir. Sayısal yükseklik ve sayısal yüzey modellerin yatay ve dikey eksenindeki doğruluğu ile çözünürlüğü, taşkın modellerinin doğruluğunda önemli bir etkiye sahiptir. Sayısal yükseklik ve sayısal yüzey modelleri günümüzde farklı haritalama yöntem ve teknolojileri kullanılarak farklı doğruluk ve çözünürlükte üretilmektedir. Bu haritalama teknolojilerinden hava LiDAR yöntemi birçok yönü ile öne çıkmakta ve teknolojik gelişmelere paralel olarak üretim maliyeti giderek düşmektedir. Diğer yöntemlere göre daha doğru ve yüksek çözünürlükte veri üreten hava LiDAR haritalama yöntemi sağladığı avantajlar ve giderek düşen veri üretim maliyetlerine paralel olarak dünyada birçok ülkede temel veri üretme kaynaklarından biri olmuştur.

Ülkemizde hava LiDAR teknolojisi, son yıllarda ve sınırlı alanlarda kullanılmaya başlamıştır ve bunun bir sonucu olarak ülkemizde sel taşkın hidrolik modelleri üzerine yapılan çalışmalarda hava LiDAR yöntemi ile bir çalışma henüz yapılmamıştır. Bu nedenle yapılan sel-taşkın hidrolik modelleri çalışmalarında; taşkın alanının sınırların belirlenmesinde ve su yüzeyi yüksekliğinin hesaplanmasında çeşitli sapmalara yol açmakta ve bu da hidrolik modelde hatalı sonuçlar doğurmaktadır. Hava LiDAR verileri ile yapılan sel taşkın modellerinde topografya verisinden kaynaklı hatalar en aza indirilmekte gerçeğe en yakın modeller üretilmektedir.

Çalışmanın amacı; topografyayı gerçeğe en yakın şekilde temsil etme kabiliyetine sahip olan hava LiDAR verileri ile elde edilen yüksek çözünürlüklü (25 cm) sayısal yükseklik (DEM) ve farklı detay seviyelerindeki sayısal yüzey modelleri (DSM) kullanılarak taşkın modellerinin üretilmesi ve bu farklı modellere bağlı olarak suyun yayılması ve derinliğinde oluşacak farklılıkların ortaya konmasıdır.

Çalışmada sahası olarak sel ve taşkınların meydana geldiği yer olan Bartın ili Ulus İlçesi'nin merkezi seçilmiştir. Çalışmanın yüksek çözünürlükte olabilmesi için LiDAR nokta bulutu verisinde 1 metrekarede en az 20 nokta olacak şekilde veri toplaması gerçekleştirilmiştir. Bu verilere bağlı olarak üretilen sayısal modeller şunlardır:

- Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)
- Sayısal Yüzey Modelleri (DSM);
 - Topografya ve Bina Yüzey Modeli (DSM_b)
 - Topografya, Bina ve Ağaç Yüzey Modeli (DSM_{bt})

şeklindedir. Her bir sayısal model temelinde taşkın modellemesi yapılmış ve sonuçlar taşkın yayılımı ve derinlikleri bakımından karşılaştırılmıştır.



BİRİNCİ BÖLÜM

VERİ VE YÖNTEM

Çalışmada, taşkın modelleri için temel altlık verileri hava LiDAR verileri oluşturmaktadır. Hava LiDAR verisinin üretilmesi ve işlenmesi önemli bir aşama olup, bu veriye bağlı olarak üretilcek 3 tür yüzey modeli de her bir taşkın modelinde kullanılacak temel altlıklardır. Taşkın modelleri için 2 Boyutlu (2B) hidrolik model kullanılmış olup, suyun yayılımı ve derinlik açısından farklılıkları araştırılmıştır.

1.1. Hava LiDAR Sistemi ve Çalışma Prensipleri

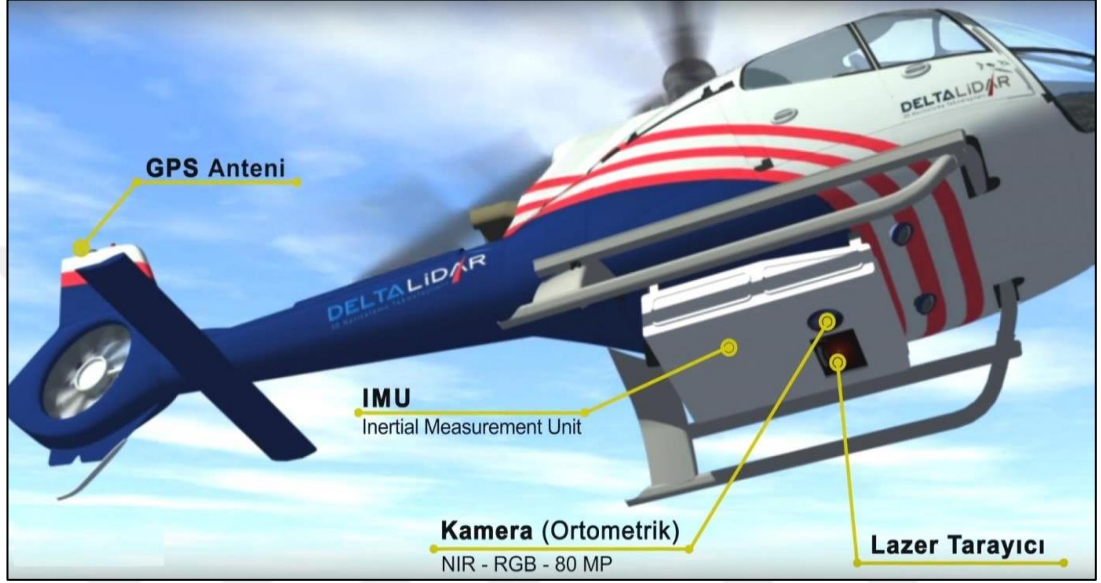
“LiDAR” kelime olarak İngilizce (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging) kelimelerinin kısaltmasından oluşmaktadır. LiDAR haritalama teknolojisi günümüzde haritalama için kabul edilmiş, dünyanın şekli ve yüzey özellikleri hakkında kesin ve doğrudan coğrafi referanslı mekânsal bilgi üreten yöntemdir. LiDAR haritalama sistemlerindeki ve bunların uygulama teknolojilerindeki son gelişmeler; bilim insanları ve profesyonel haritacılar için çok çeşitli ölçeklerde, doğal ortamda veya inşa edilmiş çevrelerde hiç olmadığı kadar yüksek doğrulukla, hassasiyetle ve esneklikle incelemeye olanak sağlamaktadır (NOAA, 2012).

LiDAR teknolojisi temel olarak cihaz tarafından gönderilen ışık enerjisinin (lazer) bir objeye veya yüzeye çarpıp geri dönmesi ve bu arada geçen sürenin hesaplanması üzerine kuruludur ve “*mesafe = (ışık hızı x ışığın kat ettiği mesafe) / 2*” şeklindeki bir formülle ifade edilmektedir.

LiDAR cihazlarının yerleştirildiği platformlar olarak farklılık göstermektedir. Günümüzde LiDAR cihazları yerleştirildiği platforma bağlı olarak hava LiDAR, mobil LiDAR yersel (statik) LiDAR haritalama teknolojileri gibi isimler almaktadır. Yapılacak olan tez çalışmasında LiDAR platformu olarak hava LiDAR haritalama platformu kullanılmıştır.

Hava LiDAR; topografya, bitki örtüsü ve ağaç yükseklikleri, geniş alanlar ve üzerindeki binaların hassas ölçümlerini sağlayan aktif uzaktan algılama teknolojisidir (IHRC, 2020). Bir hava aracına (uçak, helikopter, iha) yerleştirilen hava LiDAR sisteminin temel bileşenleri; LiDAR Cihazı, IMU, GNSS Alıcısı ve opsiyonel olarak

eklenen fotoğraf kamerasıdır. Hava LiDAR sisteminin temel bileşenlerinin (Şekil 3), (Delta Lidar, 2020) yanında; veri depolayıcısı (data recorder), uçuşu planlandığı gibi yönetmek için uçuş kontrol sistemi (flight manager) ve karada konumlandırılan statik GNSS istasyonları da sistemin diğer bileşenlerini oluşturmaktadır.



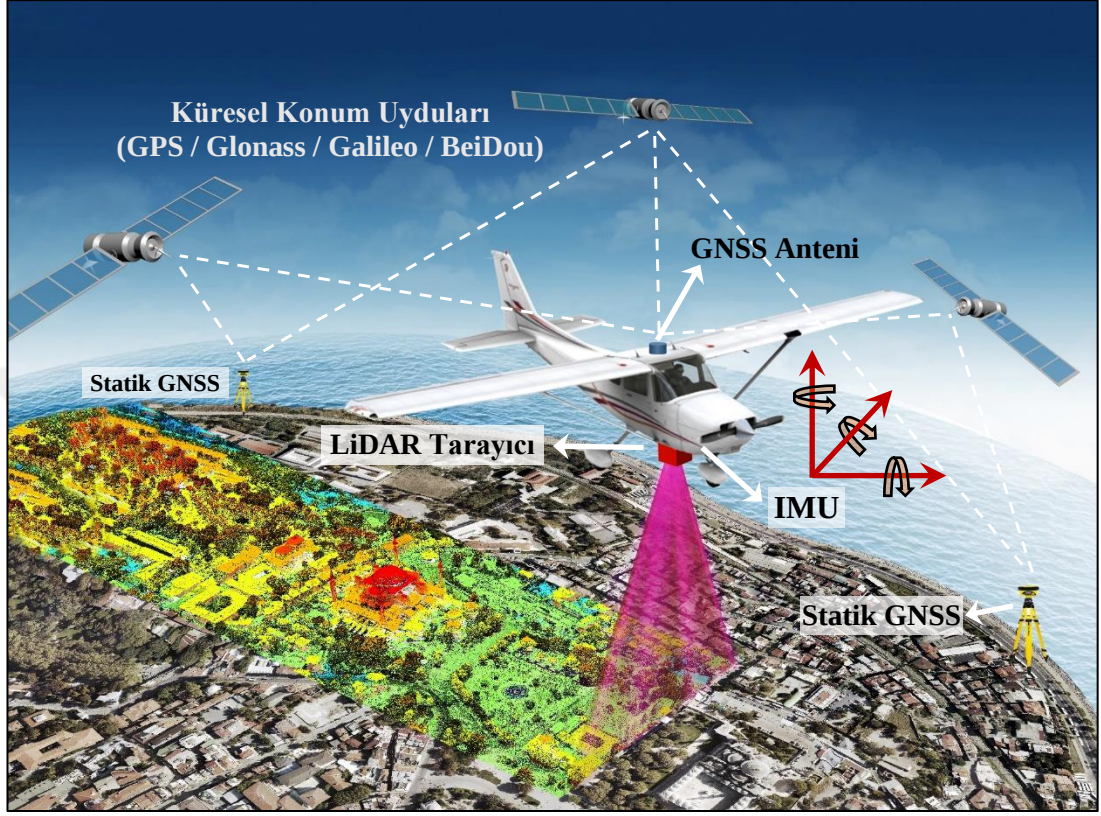
Şekil 3: Hava LiDAR sistemi bileşenleri.

Hava LiDAR haritalama teknolojisi “sayısal arazi modeli ve sayısal yüzey modeli üretimi, topoğrafik haritalama, nesne çıkarımı, vejetasyon haritalaması, 3 boyutlu modelleme ve simülasyon, değişim tespiti, mühendislik çalışmaları, haritaların revizyonu, kıyı yönetimi ve batimetri gibi çeşitli uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Yastikli & Cetin, 2017).

Hava LiDAR haritalama sistemi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir ve sistemin tüm bileşenlerinin aynı anda ve birbiri ile uyum içerisinde çalışması sonucunda yüksek doğruluğa sahip bir veri seti elde edilmektedir. Günümüzde farklı teknolojilere sahip lazer tarayıcı cihazlar bulunmakta ve farklı teknolojik özelliklere bağlı olarak veri doğruluğu, veri hassasiyeti ve veri toplama yoğunluğu değişmektedir.

Hava LiDAR haritalama teknolojisinin basitçe çalışma mantığına baktığımızda; uçuş sırasında hava LiDAR cihazı yere doğru olan mesafeyi; cihaz tarafından gönderilen ışın demetlerinin (lazer) yeryüzü ya da bina, ağaç, elektrik hatları gibi nesnelere çarparak geri dönüşü arasında geçen süreye bağlı olarak doğru bir

şekilde ölçer (Bethel, Van Gelder, Cetin, & Sampath, 2006). Hava aracında bulunan GNSS alıcıları uydulardan aldığı sinyaller ile uçağın havadaki konumunu ölçmektedir.



Şekil 4: Hava LiDAR teknolojisi çalışma prensibi.

Uçuş sırasında hava aracı durağan olmadığı için hem doğrusal bir ivme yapmakta hem de farklı yönlerde açısal hareket yapmaktadır. Uçağın bu açısal hareketleri (Roll, Pitch, Yaw) ve doğrusal hızı IMU (Inertial Measurement Unit) sensörü ile kaydedilir. Bu sayede cihazdan çıkan lazer demetinin ne kadarlık bir açıyla (FOV) yeryüzüne gönderildiği ve çarparak geri döndüğü kaydedilir. Hava aracındaki GNSS alıcısı tarafından periyotlarla alınan konum değerleri LiDAR verilerini işlemek için yeterli değildir. Hava aracı, hızına bağlı olarak bu sürede önemli mesafeler kat etmektedir. Bu nedenle IMU tarafından kaydedilen doğrusal ivmeler; uçağın GNSS alıcısının ölçüm periyotları arasında kalan sürede ihtiyaç duyulan konum değerlerini sağlamak için kullanılır.

Hava aracında bulunan GNSS alıcısından alınan konumların (XYZ) doğruluğu, hava aracı hareketli olduğu için düşüktür. Hava aracındaki GNSS alıcısının konum değerlerinin doğruluğunu artırmak için yerde statik GNSS alıcısı/alıcıları konumlandırılır. Bu istasyonlar periyotlarla konum değerlerini kaydeder. Kaydedilen bu konum değerleri hava aracındaki GNSS alıcısının konumlarını dengelemek için kullanılır. Belirtilen tüm bileşenlerden gelen veriler işlenerek hava LiDAR nokta bulutu elde edilir.

1.2. Uçuş Öncesi Çalışmalar ve Hava LiDAR Veri Alımı

Hava LiDAR yöntemi ile veri alımının sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için uçuş öncesinde de yapılması gereken çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar ile elde edilecek verinin doğruluğu ve kalitesinde doğrudan etkiye sahiptir.

1.2.1. Uçuş Öncesi Çalışmalar

Hava LiDAR veri alımında uçuş öncesinde yapılacak çalışmalar 2 başlıkta toplanabilir.

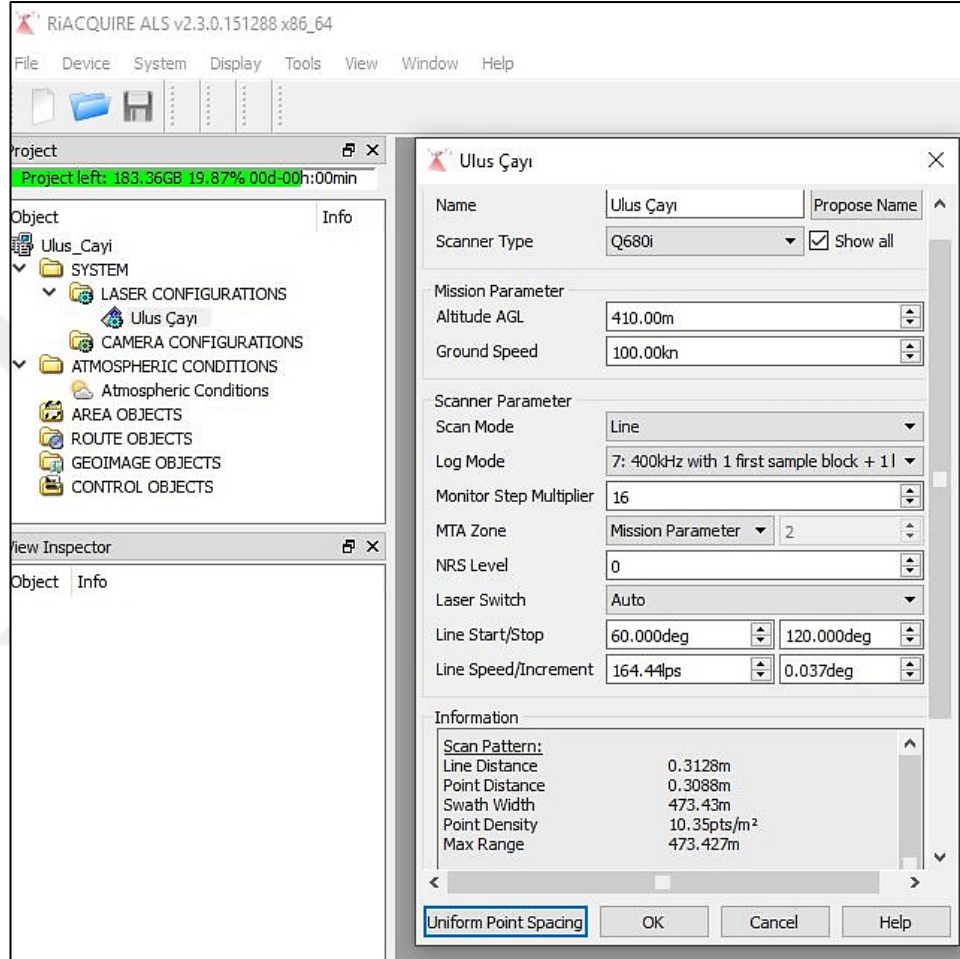
- Uçuş Planı
- Jeodezik Çalışmalar

Uçuş Planı;

Hava LiDAR verisi alınırken hava aracının hangi koordinatlar ve hat üzerinde ne kadar yükseklikte ve ne kadar hızla uçacağını belirlediği planlamadır. Hava LiDAR veri alımı için doğru bir uçuş planı toplam kalite deneyimi için esastır (Saylam, 2009). Bu nedenle doğru bir uçuş planı için; kullanılacak hava LiDAR sistem bileşenlerinin ve hava aracının özellikleri ile projede istenen “*m²/nokta yoğunluğunun*” dikkate alınması gerekmektedir. Uçuş planı hazırlanırken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta uçuş hatlarındaki yan bindirme oranıdır. Her bir uçuş hattının diğer komşu hatlarla arasında ortak alanlar olmalıdır. Yan bindirme olarak adlandırılan ortak alanlar hava LiDAR verisi dengelenmesi için gereklidir.

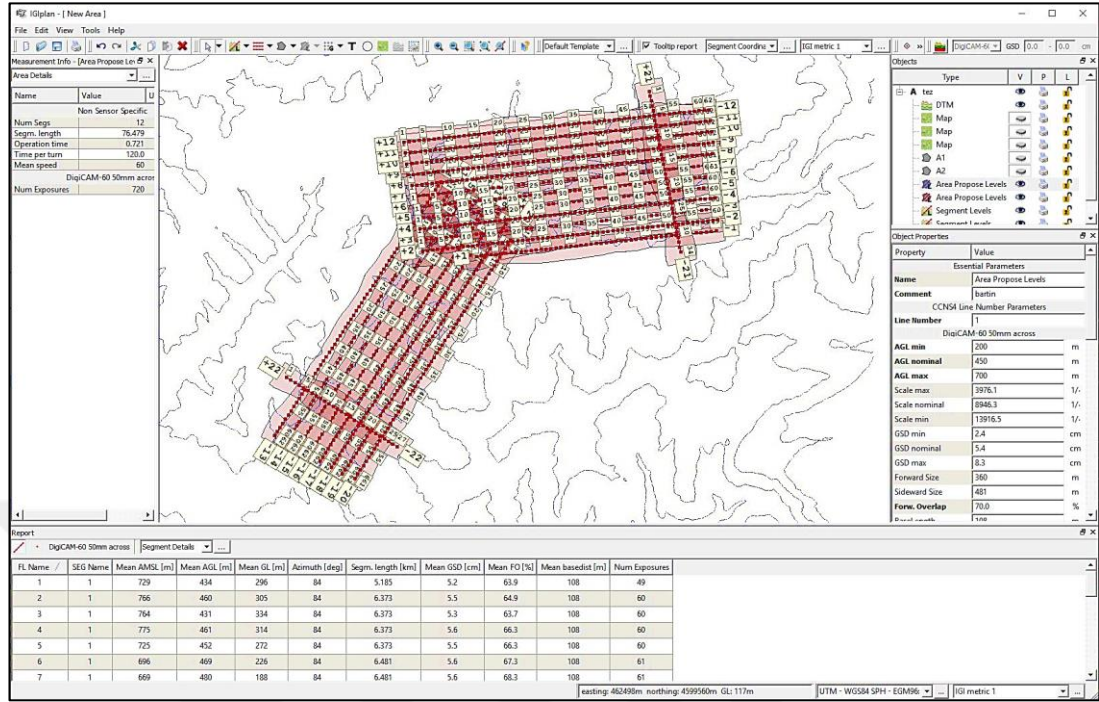
Çalışmada hava LiDAR veri alınması için “Cessna 206” uçağına monte edilen “Riegl LMS-Q680i” hava LiDAR cihazı kullanılmış ve proje sahasında “metrekarede 20 nokta” alınması hedeflenmiş ve metrekarede dengeli dağılmış noktalar olması için

%50 yan bindirme oranı belirlenmiştir. “*Riegl RiAcquire ALS (v2.3.0)*” yazılımı ile yan bindirme olmaksızın metrekarede en az 10 nokta olacak şekilde uçuş yüksekliği 410 m ve uçuş hızı 100 kn şeklinde belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5: RiAcquare ALS uçuş değerleri.

Çalışmada LiDAR verilerine ek olarak ortofoto oluşturmak amacı ile LiDAR sistemine IGI Digicam H39 (50 mm) kamera eklenmiştir. Ortofoto için çekilecek fotoğraflarda %50 yan bindirme %70 ön bindirme oranı belirlenmiştir. Fotoğraf çekimi ve LiDAR veri alımı aynı anda yapılacağı için RiAcquare ALS yazılımında elde edilen uçuş yüksekliği ve hızına sadık kalınarak IGIPlan yazılımı ile yan bindirme ve ön bindirme oranları belirlenerek uçuş planına son şekli verilmiştir.



Şekil 6: Uçuş planı

Jeodezik çalışmalar:

Hava LiDAR sistemi ile elde edilecek veri setinin konum doğruluğunu iyileştirmek için ve elde edilen verinin konum doğruluğunun kontrol etmek amacıyla veri alımı uçuşu öncesinde sahada jeodezik ölçümler yapılmıştır.

Jeodezik çalışmalardan ilki yer kontrol noktalarının (YKN) planlanması ve sahada tesis edilmesi olmuştur (Şekil 7). Çalışma sahasında YKN'ler LiDAR veri alımıyla eş zamanlı çekilen fotoğraflarda görülecek şekilde tesis edilmiştir. Bu amaçla bölgede bulunan asfalt yollar gibi düz zeminlerde boyama yapılmıştır. Yapılan boyama hem fotoğraflarda görülecek şekilde hem de LiDAR verisinde yoğunluk (intensity) değerlerinde görülecek şekilde yapılmıştır. Burada amaç LiDAR verisini kontrol ederken “intensity” değerlerinden faydalanarak LiDAR nokta bulutunun yatay ve düşey yöndeki konum doğruluğunu kontrol etmektir. Asfalt yollar gibi düz yüzeylerin yanında bina çatı köşeleri de ölçülerek YKN olarak kullanılmıştır. Sahada ölçülen tüm yer kontrol noktaları LiDAR verisinin konum doğruluğunu denetlemek için kullanılmıştır.



Şekil 7: Yer kontrol noktası (YKN)



Şekil 8: Statik GNSS Alıcısı

Yerde yapılan bir diğer jeodezik çalışma statik GNSS istasyonunun tesis edilmesidir (Şekil 8). Statik GNSS istasyonu, uçakta bulunan GNSS alıcısının hareketli olmasından dolayı oluşan düşük konum doğruluğunu dengelemek için kullanılmıştır. Yer seçiminde dikkat edilmesi gereken nokta, çalışma alanında 30 km bir çap içinde kullanılacak şekilde planlanmalıdır. 30 km’lik çapı geçtiği noktadan itibaren 2. bir sabit GNSS istasyonunun kurulması gerekmektedir. Ancak çalışma bölgesi 30 km’lik çapın içinde kaldığı için 2. bir GNSS istasyonuna ihtiyaç duyulmamıştır.

Proje bölgesinde sabit GNSS istasyonu uçuş süresince kesintisiz bir şekilde çalıştırılmış ve 1 saniyelik RINEX verileri uçuş boyunca toplanmıştır. Bu sayede uçakta bulunan GNSS alıcısı ile statik GNSS istasyonu aynı GPS zamanına ait veri seti elde etmiştir.

Uçuş öncesinde “Cessna 206” uçağa hava LiDAR sistemi bileşenlerini (Tablo 1) oluşturan; Riegl LMS - Q680i lazer tarayıcı, IGI IMU (256Khz), Digicam H39 (50 mm) Fotograf Kamerası, Trimble Kinematik GNSS alıcısı, veri depolayıcıları (Data Recorder) IGI Uçuş Yönetim sistemi (Flight Manager System), pilot ve operatör ekranları monte edilmiştir (Şekil 9). LiDAR noktalarının koordinatları, sistem bileşenlerinin her birinden gelen ölçümlerin yanı sıra bu bileşenlerle ilgili montaj parametrelerinin birleştirilmesinin sonucudur (Habib, Bang, Kersting, & Chow, 2010). Bu nedenle sistemin tüm bileşenlerinin montajı sonrasında bileşenler arası mesafelerin doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Hava LiDAR sisteminde koordinat sistem merkezi IMU olduğu için IMU ile GNSS alıcısı, lazer tarama cihazı ve fotoğraf

kamerası arasındaki mesafeler (lever-arm) hassas bir şekilde **IMU - GNSS** lever-arm değerleri " $X = -0.043\text{ cm}$ $Y = 0.001\text{ cm}$ ve $Z = 0.850\text{ cm}$ " **IMU - Lazer Tarayıcı** lever-arm değerleri " $X = -0.025$, $Y = 0.017$ ve $Z = 0.165\text{ cm}$ " **IMU – Fotoğraf Kamerası** lever-arm değerleri $X = -0.189\text{ cm}$ $Y = 0.023\text{ cm}$ ve $Z = 0.276\text{ cm}$ olarak ölçülmüştür. Ölçümler sonrasında uçak gövde koordinat sistemi ile IMU koordinat sistemi arasındaki matris (4x4 matrix) belirlenmiştir.



Şekil 9: Hava LiDAR sisteminin uçağa montajı.

EKİPMAN LİSTESİ		
Fotoğraf	Ekipman Adı	Ekipman Modeli
	Hava LiDAR Sensörü	Riegl LMS - Q680i
	IMU	IGI AEROcontrol (Khz 256)
	Kinematik GNSS Alıcısı	Trimble AV37
	Fotoğraf Kamerası	Digicam H39 (50mm)
	Sabit GNSS Alıcısı	CHC i80
	Uçak	Cessna T206H

Tablo 1: Ekipman listesi

1.2.2. Hava LiDAR Uçuşu ve Veri Alımı:

Hava LiDAR veri alımı için uygun uçuş koşullarının olduğu yaz mevsimi tercih edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan hava LiDAR sistemi su altından veri alamadığı için akarsu yatağında mümkün olduğunca az su olan mevsim yazdır. Bu sayede akarsu yatağında su nedeni ile veri alınmayan alan neredeyse yok denecek kadar az olmuştur. Uygun hava koşulları ve akarsu yatağındaki su miktarları göz önüne alınarak Hava LiDAR veri alım uçuşu 18 Temmuz 2018 tarihinde yapılmıştır. Uçuş süresince uçuş raporu ile veri alımı kayıt altına alınmıştır.

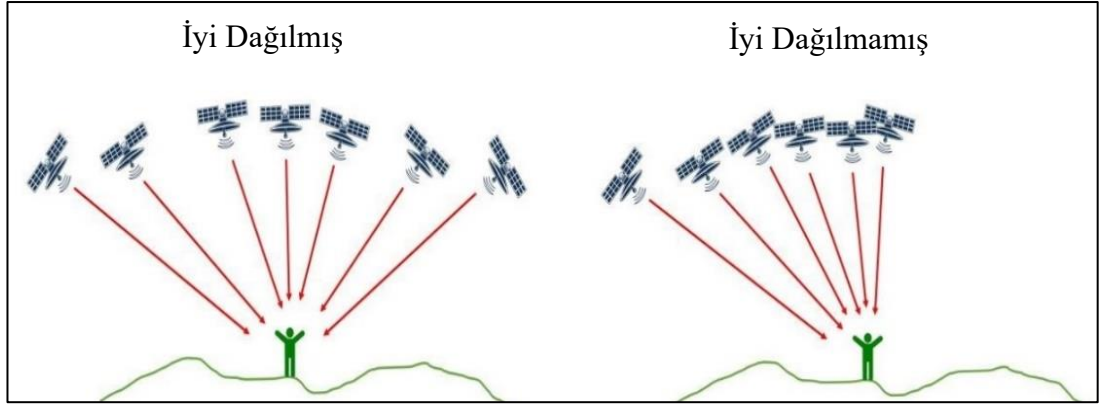
Veri alımı sırasında aşağıdaki koşullara dikkat edilmiştir.

- Hava aracının uçuş hızı
- Hava aracının yüksekliği
- Hava aracının roll açısı değeri
- Uydu yörünge konumları ve sayısı

Çalışmada kullanılan “*Riegl LMS - Q680i*” lazer cihazının atmosferik çalışma koşulları göz önünde bulundurularak veri alımı çalışma sahasındaki nem ve sıcaklık koşullarının uygun olduğu saatlerde gerçekleştirilmiştir.

Uçuş hızının planlanan hızdan fazla olması durumunda ve planlanan yüksekliğin üzerine çıkılması durumunda nokta yoğunluğu azalacaktır. Bu durumda çalışmada istenen nokta yoğunluğunun sağlanamamasına yol açar. Uçuş yüksekliğinin planlanandan az olması durumunda uçuş öncesinde belirlenen yan bindirme oranının azalmasına ya da yan bindirmenin olmamasına yol açacaktır. Bu noktada genelde uçuş yüksekliğindeki değişikliklerin 50 feet'i ve hızında 5 knot'ı aşmamasına dikkat edilerek gerçekleştirilmiştir. Uçuş sırasında pilot ile koordineli olarak hava aracındaki ekran üzerinden hava aracının hızı ve yüksekliği sürekli kontrol edilmiştir. Ayrıca, hava aracının roll açısının $\pm 5^\circ$ geçmemesine dikkat edilmiştir. Roll açısının eşik değeri aşması durumunda veri doğruluğu düşer ve yan bindirme oranları değişir. Bu nedenle uçuş sırasında uçağın yaptığı roll açısının $\pm 5^\circ$ üzerinde olmamasına dikkat edilmiştir.

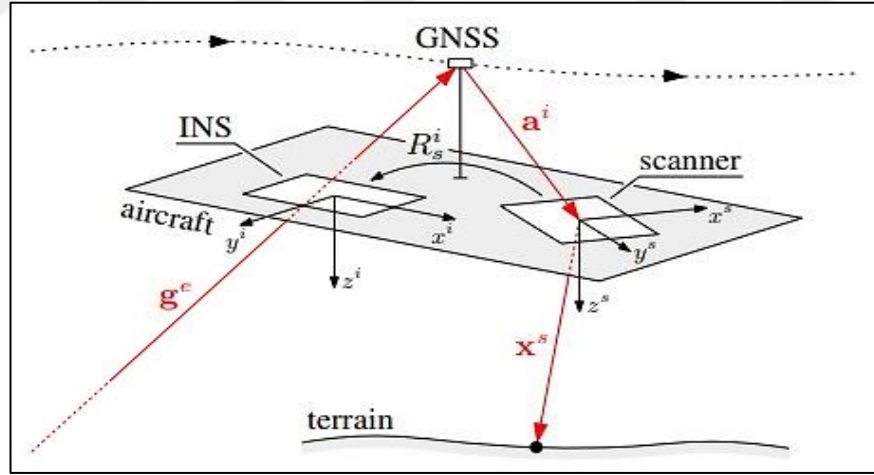
Günümüzde dünya yörüngesinde yaklaşık 90 tane konumlandırma uydusu çalışır durumdadır. Uçuş sırasında uydu konumları ve sayısı sürekli değişmektedir. Hava LiDAR verisinin doğruluğu için uçakta bulunan GNSS alıcısının sinyal aldığı uydu sayısı ve bu uyduların GNSS alıcısına göre konumları oldukça önemlidir (Şekil 10), (<https://www.agsgis.com>, 2020). Bu nedenle veri alımı sırasında en az 7 konumlandırma uydusundan sinyal alınmasına ve uydu konumları iyi dağılmış bir şekilde olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 10: Alıcıya göre konumlama uydu dağılımları.

1.3. Uçuş Sonrası İşlemler (Post-Processing)

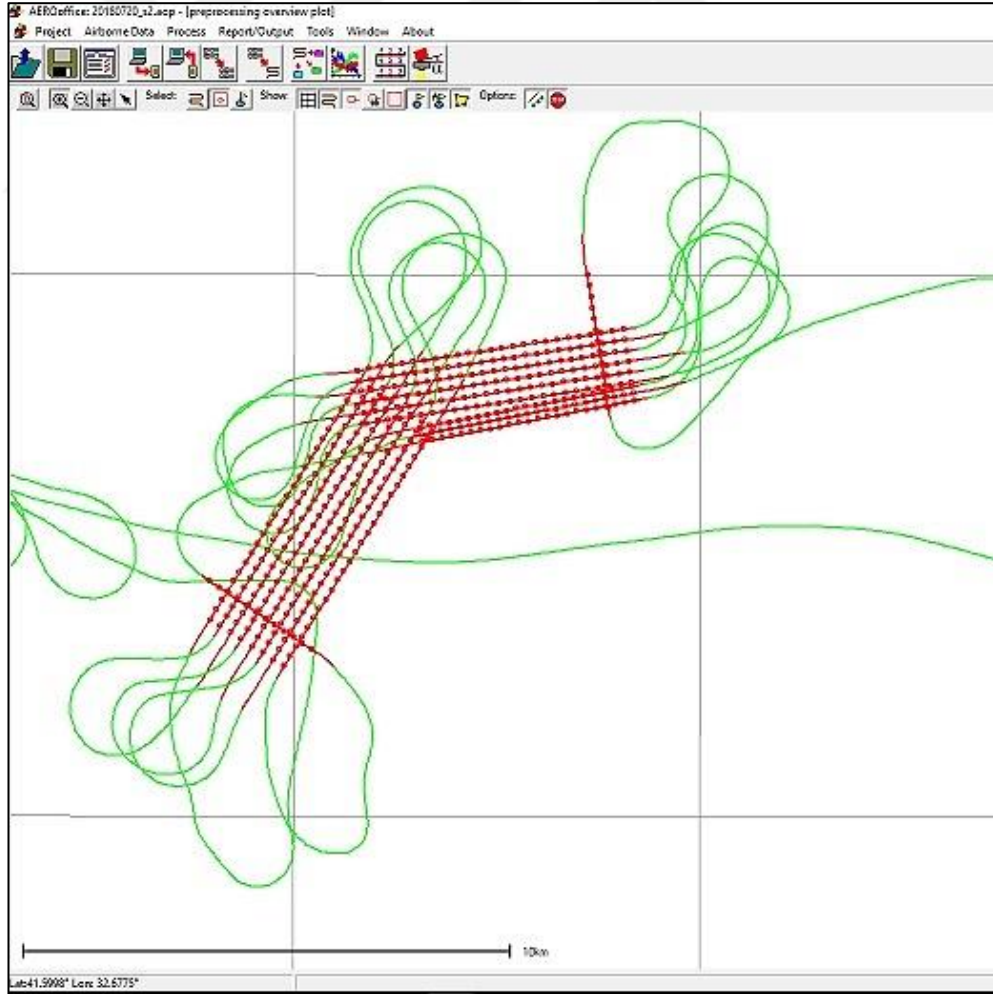
Hava LiDAR sistemi çok sensörlü bir sistem kullanır ve doğrudan coğrafi konumlandırmaya (direct georeferencing) dayalıdır (Skaloud, 2007). GNSS ve INS ölçümleri, uçağın rotasını (trajectory), yani konumunu (üç koordinat) ve yönünü (üç açı) tahmin etmeye yarar (Glira, Pfeifer, Briese, & Ressel, 2015), (Şekil 11).



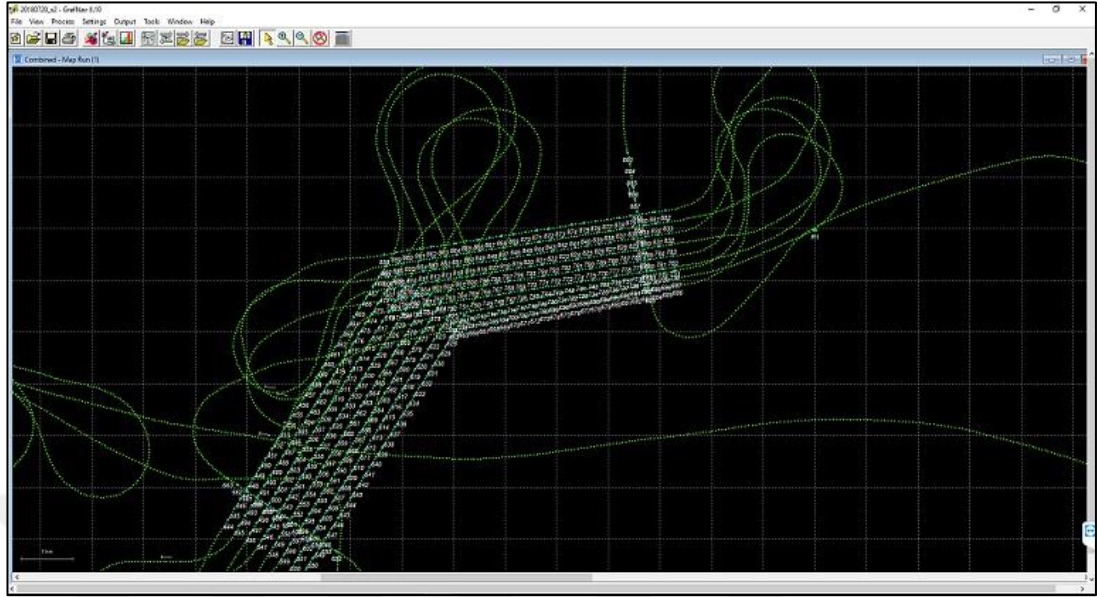
Şekil 11: Hava LiDAR sistemi doğrudan coğrafi konumlandırma.

Uçuş sonrasında hava LiDAR veri setini elde etmek için öncelikli olarak çalışma sahasında uçuşa paralel olarak ölçüm yapan statik GNSS alıcısından gelen veriler, sahaya yakın TUSAGA istasyonlarından elde edilen 30 saniyelik RINEX verileri kullanılarak dengelenmiş ve statik GNSS istasyonunun yüksek doğruluğa sahip konumu (XYZ) hesaplanmıştır.

Uçakta bulunan kinematik GNSS alıcısı ve IMU'dan gelen veriler kullanılarak "IGI AeroOffice" yazılımı ile rota (trajectory) dosyası oluşturulmuştur (Şekil 12). Ancak bu şekilde elde edilen trajectory dosyasının konum doğruluğu LiDAR verilerini dengelemek için yeterli değildir. Trajectory dosyasının uçuş sırasında sahada kurulan statik GNSS istasyonundan elde edilen RINEX verileri ile dengelenmesi gerekmektedir. Trajectory dosyasını statik GNSS verileri ile dengelemek için "GrafNav (v.8.10)" yazılımı kullanılmıştır (Şekil 13). GrafNav yazılımı ile dengeleme sonrasında trajectory dosyasının doğruluğu "combined separation" değerlerine göre " ± 0.05 " m olarak gerçekleşmiştir (Şekil 14). Grafnav ile elde edilen dengelenmiş trajectory dosyası AeroOffice yazılımı ile IMU gelen verilerle tekrar dengelenerek trajectory dosyasının son hali RiProcess yazılımında kullanılmak üzere ".pof" dosya yapısında kaydedilmiştir.

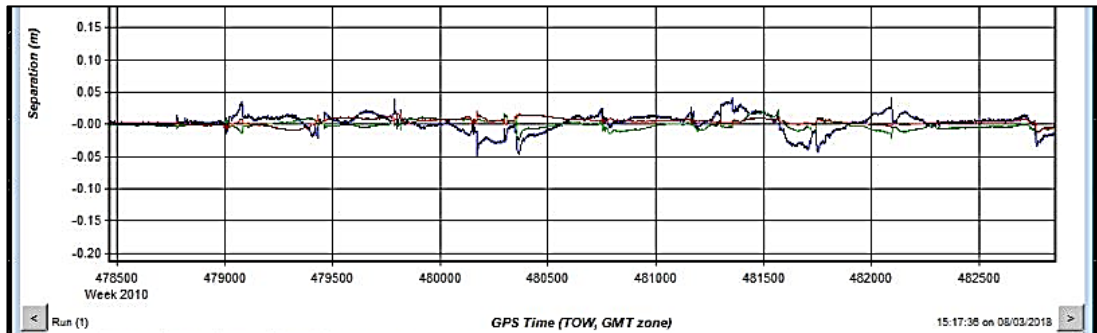


Şekil 12: Dengelenmemiş trajectory (rota).

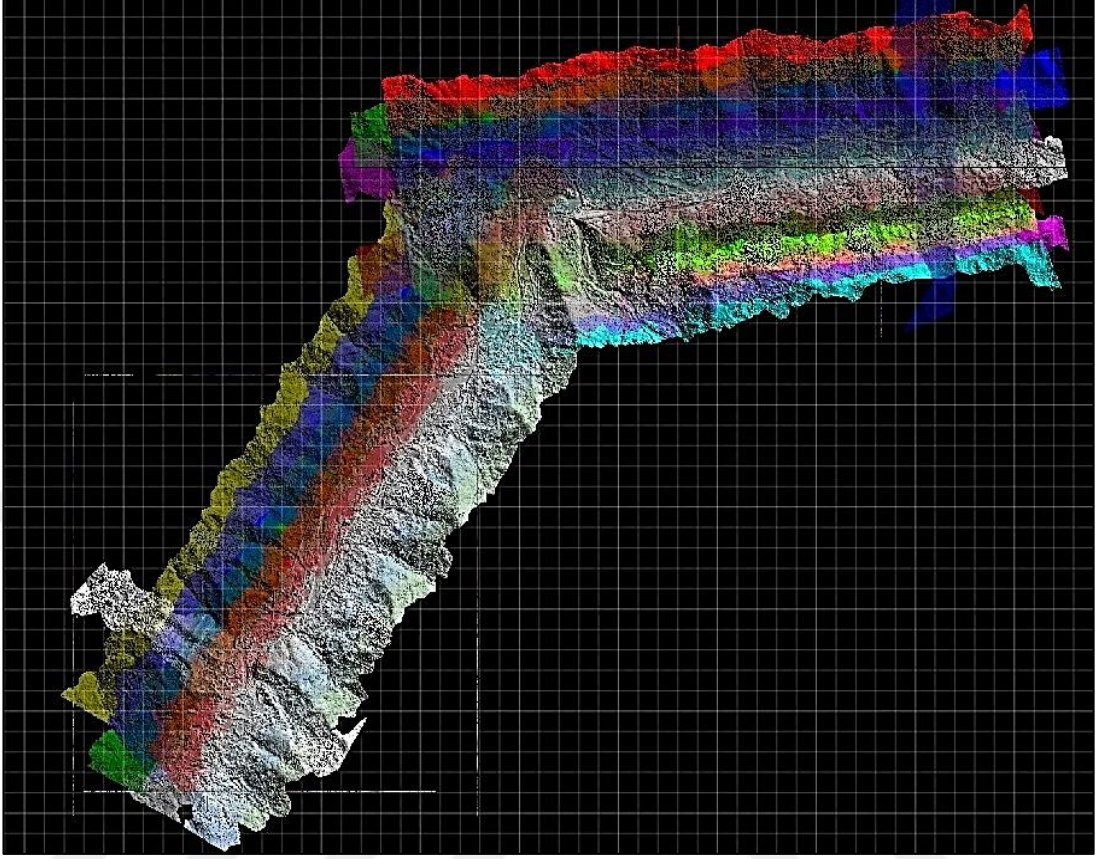


Şekil 13: Dengelenmiş trajectory (rota)

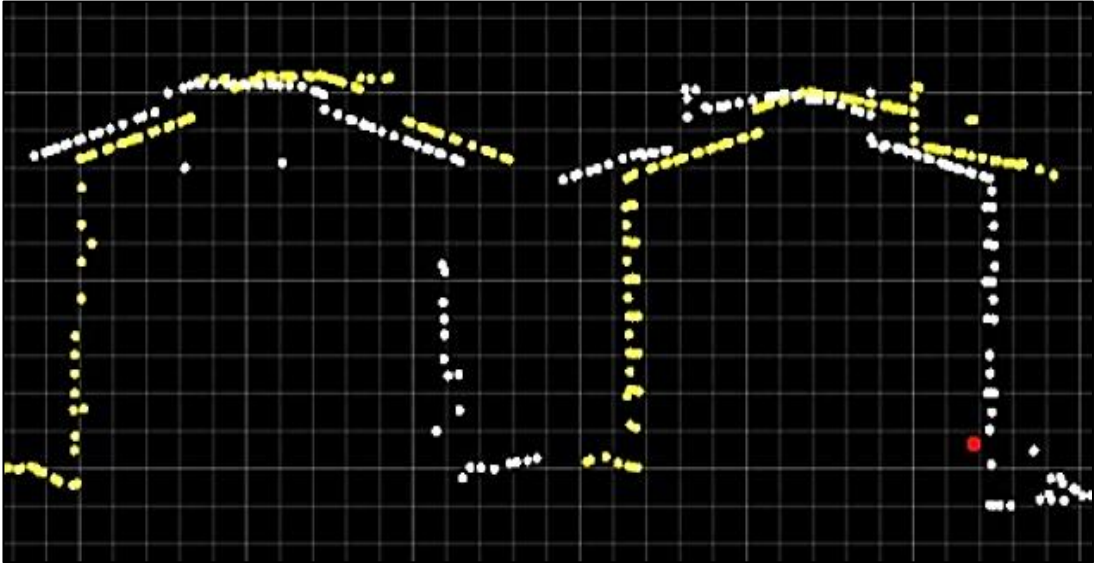
Trajectory verisi kullanılarak, kalibrasyon (boresight) parametreleri (tarayıcı ile GNSS / INS sistemi arasındaki konumsal ve açısal fark) ve tarayıcının ölçümlerinin yeryüzündeki yüzeylere ait 3 boyutlu koordinatları belirlenir (Glira, Pfeifer, Briese, & Ressler, 2015). Bu koordinatlar; trajectory verisi kullanılarak “Riegl RiWorld” yazılımı ile hava LiDAR cihazının kaydettiği sinyallerden üretilmiştir (Şekil 15). Ancak boresight kalibrasyonu yapılmamış LiDAR verisinde farklı uçuş hatlarından gelen LiDAR şeritlerinde aynı yüzeye ait noktalar birbirleri ile örtüşmezler (Şekil 16). Boresight değerlerini hesaplamak için birbirleri ile örtüşen LiDAR şeritleri üzerinde aynı yüzeye ait ortak alanları belirlemek için yüzey arama ve yüzey eşleme değerleri belirlenmiş (Şekil 17) ve en küçük kareler eşleşmesi (least-squares matching) yöntemi kullanılarak Riegl RiProces (v.1.8.2) yazılımı ile boresight değerleri “ $Roll = 0.21809$, $Pitch = 0.05369$, $Yaw = 0.03646^\circ$ ” olarak hesaplanmıştır.



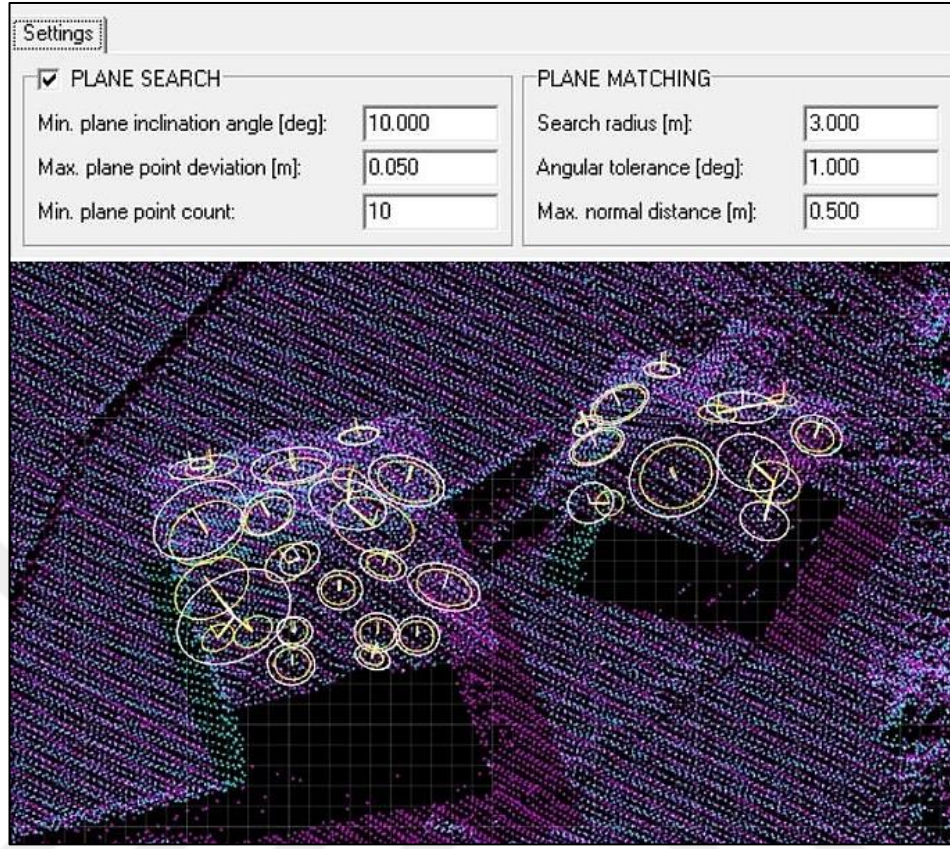
Şekil 14: Trajectory dengeleme raporu (Combined separation plot).



Şekil 15: Farklı uçuş hatlarına ait nokta bulutu.



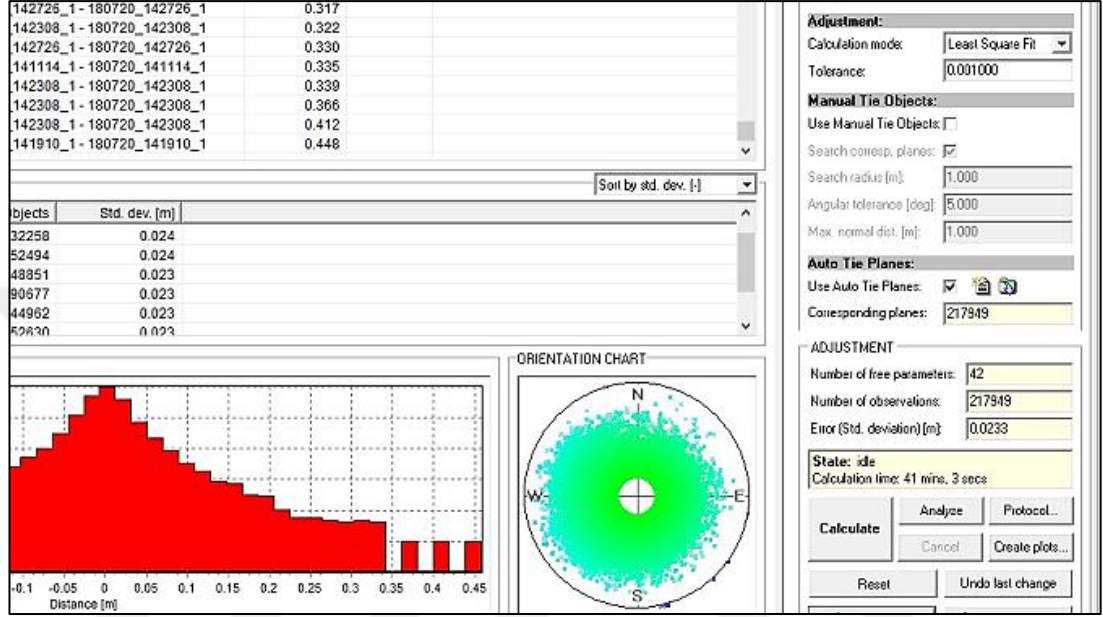
Şekil 16: Bore sight kalibrasyonu öncesi nokta bulutu.



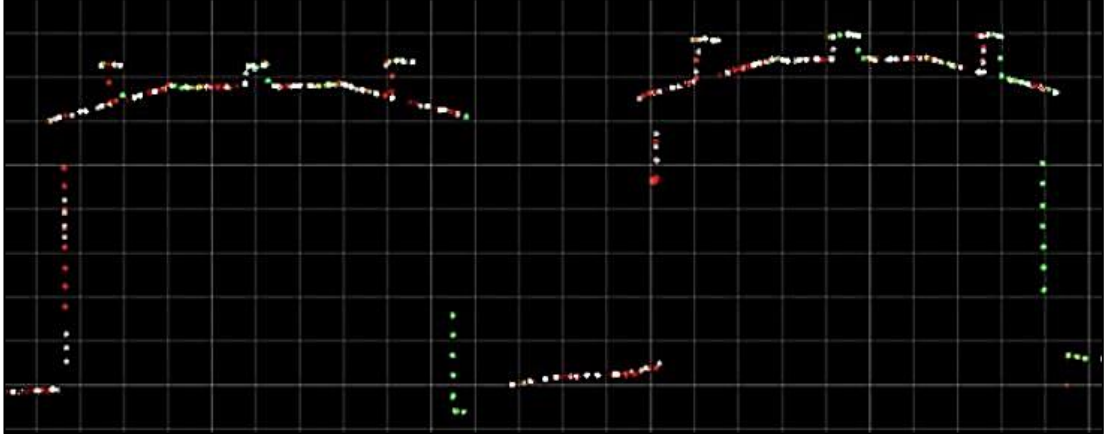
Şekil 17: Yüzey eşleme ayarları ve yüzeyler (plane search / matching).

“Boresight değerleri kullanılarak sonrasında farklı uçuş hatlarından gelen üst üste binen LiDAR şeritleri Riegl RiProces yazılımı kullanılarak dengelenmiştir. Bu dengeleme işlemi sonucunda “*standart sapma = 0.0622*” cm olarak gerçekleşmiştir. Ancak boresight kalibrasyonu LiDAR şeritleri arasındaki hataları gidermek için yeterli değildir. Geçtiğimiz yıllarda üst üste binen şeritlerde LiDAR ayak izlerinin (footprint) uyumluluğunu kontrol ederek LiDAR veri kalitesini değerlendirmek ve/veya geliştirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Kilian ve ark., 1996; Crombaghs ve ark., 2000; Maas, 2000; Bretar ve ark., 2004; Filin & Vosselman, 2004; Pfeifer ve ark., 2005; Habib, ark. 2008; Favalli ve ark., 2009). LiDAR şeritleri arasındaki hataları gidermek için “strip adjustment (line adjustment)” işlemine ihtiyaç vardır. Strip adjustment işleminin ana amacı, komşu şeritler arasındaki uyumluluğu iyileştirerek LiDAR sistem parametrelerindeki sistematik hataların etkisini en aza indirmektir (Habib, ve diğerleri, 2008). Bu amaçla ve en küçük kareler eşleşmesi (least-squares matching) yöntemi kullanılarak Riegl RiProces (v.1.8.2) yazılımında line adjustment

menüsü ile strip adjustment işlemi yapılmış ve boresight kalibrasyonu sonrasında kalan hatalar giderilmiştir. Strip adjustment işlemi sonrasında “standart sapma = 0.0233 m” olarak gerçekleşmiştir (Şekil 18).



Şekil 18: Strip adjustment (şerit eşleme).



Şekil 19: Boresight kalibrasyonu ve Line adjustment sonrası nokta bulutu.

Dengeleme ve kalibrasyon sonrasında üretilen veri kontrol noktaları ile karşılaştırılarak konum doğruluğu değerlendirilmiştir. Yer kontrol noktaları ile elde edilen veri değerlendirildiğinde konum doğruluğunun yatayda “(XY) = ± 8 cm ve dikeyde (Z) = ± 6 cm” olduğu görülmüştür. Yer kontrol noktaları ile konum doğruluğu değerlendirilen veri UTM (36 zone) koordinat sisteminde WGS84 datumunda nokta

bulutu “.LAS” dosya yapısından kaydedilmiştir. Hava LiDAR veri alımı ve uçuş sonrası işlemlerin aşamaları kısaca **Şekil 24’te** gösterilmiştir. 3 boyutlu koordinatlara sahip ve yeryüzü ya da üzerindeki diğer objeleri belirleyen veri setine “nokta bulutu” denir (Şekil 20). Nokta bulutu; 3 boyutlu koordinat verisinin yanı sıra (XYZ) intensity, sınıflandırma (eğer yapıldıysa), geri dönüş sayısı, zamanı ve her noktanın uçuş hattı kaynağı bilgilerini içerir (NOAA, 2012).



Şekil 20: Hava LiDAR nokta bulutu.



Şekil 21: Nokta bulutu kesit görünüm.

LiDAR sensörleri, lazer sinyallerini nesnelere, yakın kızılötesi (NIR) band aralığında iletir ve yansıyan enerjiyi kaydeder (Shaker & El-Ashmawy, 2012). Ancak her nesne lazer sinyallerini aynı oranda yansıtmaz. Afsalt vs. gibi yüzeyler gönderilen lazer sinyallerinin enerjisinin büyük bir bölümünü absorbe ederken; yansıtma oranı fazla olan yüzeyler gönderilen lazer sinyallerini daha yüksek oranda geri yansıtır. Lazer enerjisinin farklı oranlarda absorbe edilmesi/yansıması oranına bağlı olarak kaydedilen değer “**yoğunluk (intensity)**” olarak tanımlanır (Şekil 22). Yansıma (reflectivity) değeri şeklinde tanımlaması yapılan bu değer LiDAR verilerinin sınıflandırılmasında yardımcı bir değer olarak kullanıldığı gibi arazi örtüsü (land-

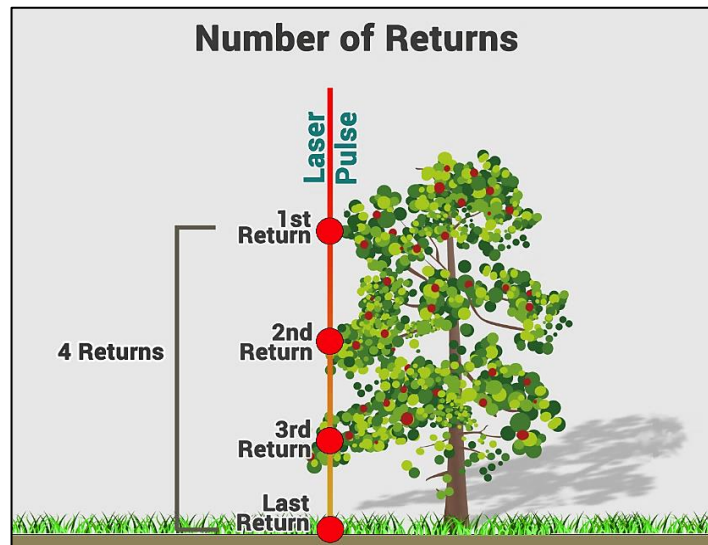
cover) çıkarımında ve hava görüntüleri olmadığında da yardımcı olarak hava görüntülerinin yerine kullanılmaktadır.



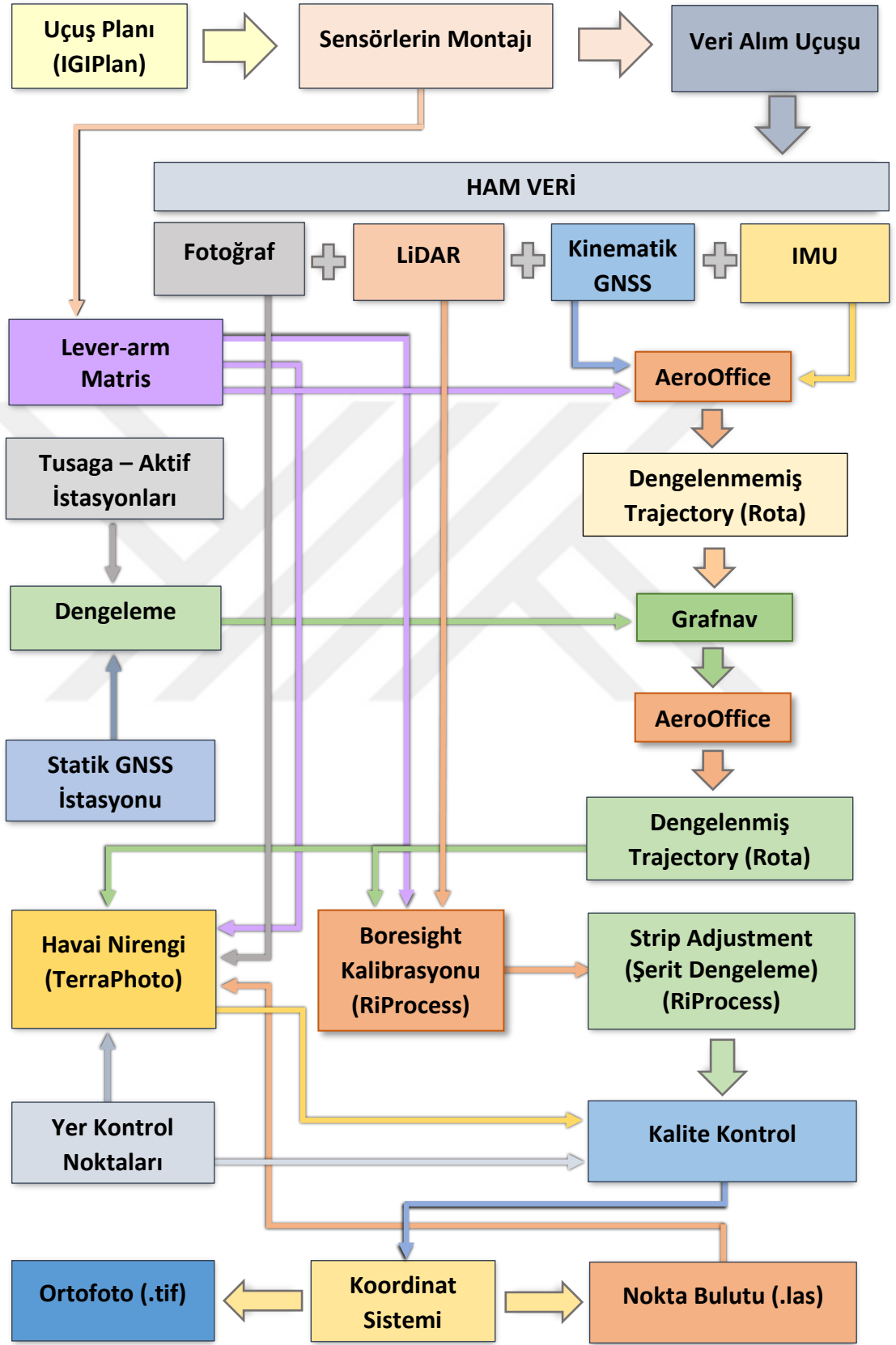
Şekil 22: Hava LiDAR nokta bulutu intensity görüntüsü.

Bir LiDAR sistemden yayılan lazer sinyalleri (pulse), yeryüzünün hem üzerinde hem de üzerinde bulunan nesnelerden yansır. Yayılan bir lazer sinyalleri LiDAR sensörüne bir veya daha fazla dönüş olarak dönebilir (Şekil 23). Zemine doğru ilerlerken çoklu yansıma yüzeyleri ile karşılaşan lazer darbesi, yansıtıcı yüzeylerin her birinde çok dönüşe ayrılır (Esri, 2020). LiDAR sisteminin çoklu dönüş (echo) özelliği sayesinde bitki örtüsünün altında yer alan topografyadan da veri elde edilir. LiDAR sisteminin çoklu dönüş özelliği ayrıca nokta bulutunun sınıflandırılmasında kullanılır.

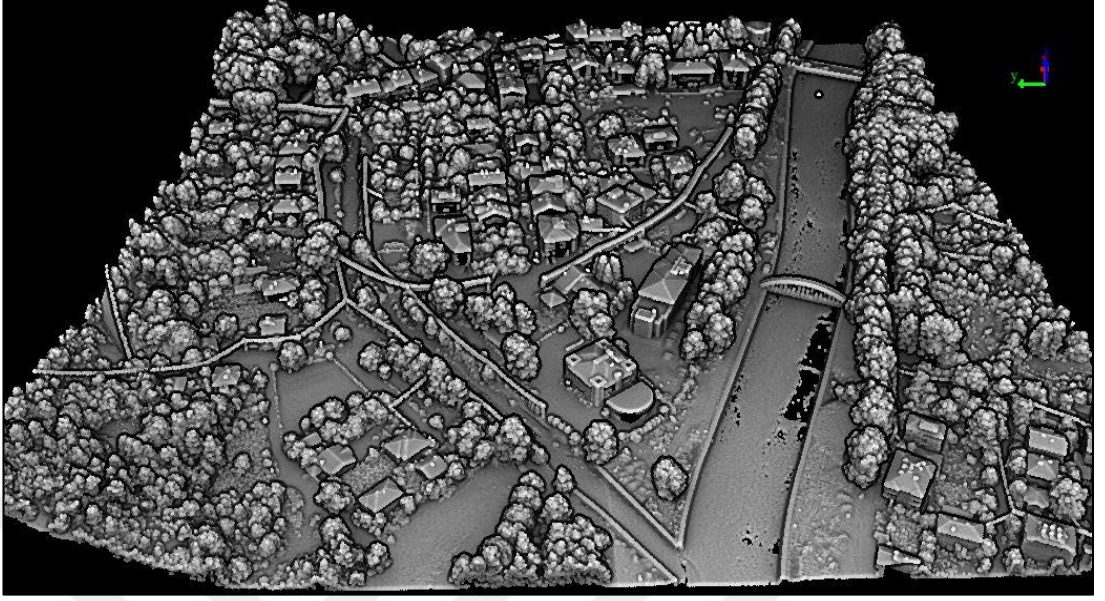
Şekil 23: Hava LiDAR çoklu dönüş (echo) özelliği.



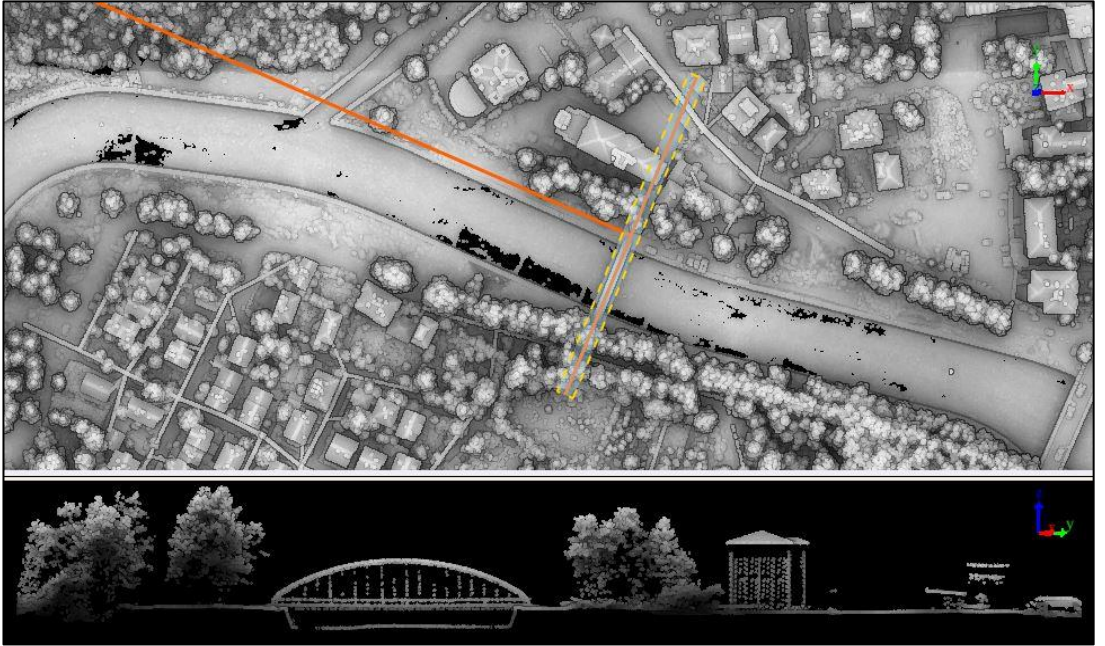
(gisgeography, 2020).



Şekil 24: Veri alımı ve uçuş sonrası işlemler (Post-Processing) şeması.



Şekil 25: Sınıflandırılmamış nokta bulutu (PCV & EDL Rendering).



Şekil 26: Sınıflandırılmamış nokta bulutu kesit görünüm (PCV & EDL Rendering).

1.4. Nokta Bulutu Sınıflandırma

Sınıflandırma, ham verileri anlamlı, yararlı ve anlaşılabilir bilgilere dönüştürme sürecidir (Mountrakis, ve ark. 2011; Lin ve ark., 2014). Hava LiDAR verilerinin kategorik nesne örnekleri olarak sınıflandırılması, daha ileri veri işleme ve model yeniden yapılandırması için ilk ve en kritik adımdır (Guo, Huang, Zhang, & Sohn, 2014). Hava LiDAR sistemi ile elde edilen nokta bulutu; yeryüzü ve üzerindeki bina, ağaç, elektrik hatları vb. nesneleri belirlemek için sınıflandırılır. Nokta bulutu sınıflandırma işleminde; dönüş sayısı, noktalar arası açı, iki nokta arasındaki mesafe, yükseklik bilgisi, intensity, geometri bilgisi vs. değerleri kullanılır. Araştırmacılar nokta bulutunun sahip olduğu bu değerleri kullanarak otomatik sınıflandırma algoritmaları geliştirmiştir. Bu çalışmalarda nokta bulutunu; Kraus ve Pfeifer, (1998) Lohmann ve ark. (2000), Vosselman (2000) topografya ve topografyaya ait olmayan noktalar (bare-earth) şeklinde sınıflandırırken; topografyaya ait olmayan noktalardan binalar; Axelsson (1999), yollar Choi ve ark. (2008), bitki örtüsü Cobby ve ark. (2003) araçlar; Yao ve ark. (2010) ve Börcs ve Benedek (2012) tarafından sınıflandırılmıştır.

Fotogrametrik yöntemde kullanılan obje şekillerine bağlı olarak obje tabanlı otomatik sınıflandırma algoritmaları LiDAR nokta bulutu sınıflandırma için de geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Obje tabanlı otomatik sınıflandırma; temel olarak, sınıflandırmayı tamamlamak için çeşitli kural kümeleri ve eşikleri olan karar ağacına eşlik eder. Genel olarak, karar ağacı kurallar ve eşik belirlerken çoğunlukla önceki bilgilere dayanır ve bu nedenle özelliklerin uygulanabilirliği hedeflere göre değişir (Lin, Wang, & Hsu, 2013). Obje tabanlı sınıflandırmayla; ağaç, bina, elektrik hatları gibi kendine özgü tanımlayıcı şekilleri olan nesneleri sınıflandırmak için oluşturulan obje kütüphaneleri kullanılarak nokta bulutu otomatik şekilde sınıflandırılır.

Bilgisayar ve yazılım teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak makina öğrenme algoritmaları (machine learning) ile otomatik nokta bulutu sınıflandırma yazılımları geliştirilmiştir. Makine öğrenme algoritmalarında, sınıflandırma kuralları, önceden belirlenmiş keyfi kurallar ve güçlü varsayımlara dayanan parametreler olarak tanımlanmak yerine, eğitim verileri kullanılarak otomatik olarak öğrenilir (Guo, Huang, Zhang, & Sohn, 2014). Makina öğrenmesinin gerçekleşmesi için öncelikli

olarak proje alanının tüm özelliklerini ya da belirli alanda belirli özelliklerini içeren örnek bir parçası seçilir. Seçilen parça otomatik ve/veya el ile doğru bir şekilde sınıflandırılır ve örnek sınıflandırılmış veri dosyası olarak bir kopyası kaydedilir. Örnek olarak sınıflandırılmış kopya veri dosyası ile sınıflandırılmamış veri yazılım tarafından karşılaştırılır ve sınıflama model eğitimi gerçekleştirilmiş olur. Model eğitildikten sonra geniş alanlarda büyük veriler eğitilmiş model ile çalıştırılarak sınıflama işlemi yapılır. Eğitilmiş modelin sınıflamadaki başarısı seçilen örnek verinin alanı ne kadar iyi temsil ettiği ile doğru orantılıdır.

Otomatik sınıflandırma çeşitli hataları içermektedir (Chen, 2007). Bu nedenle otomatik sınıflandırma algoritmaları sonucunda sınıflandırılmış veri setindeki hatalı ve/veya eksik sınıflamaları gidermek için operatörler tarafından el ile sınıflama yapılmaktadır. Ayrıca verinin kullanım amacına göre belirlenen sınıflama katmanları dışında ihtiyaç duyulan farklı sınıflar için de el ile sınıflama gerekliliği bulunmaktadır.

Hava LiDAR verilerinin dosya büyüklüğü çok fazladır ve tek seferde büyük bir veri setini sınıflamak imkansızdır. Bu nedenle büyük miktarlardaki veriyi işlemek için veri paftalara (tile) bölünmektedir. Paftalama sistemi ile bilgisayarda işlenebilecek büyüklükte parçalara ayrılan veri setleri üzerinde sınıflandırma işlemi yapılır.

Uçuş sonrası dengeleme, kalibrasyonu ve kalite kontrolü yapılan nokta bulutu RiProcess yazılımdan “LAS (V.1.4)” dosya uzantısında dışarıya aktarılmıştır. LAS dosya yapısının standartları ASPRS tarafından belirlenmektedir (ASPRS, 2020). ASPRS LAS dosya yapısı farklı donanım ve yazılım satıcılarını içeren uzaktan algılama topluluğu tarafından LiDAR veri alış-veriş (import-export) dosya yapısı standardı olarak geniş ölçüde kabul edilmiştir (Samberg, 2007). Nokta bulutu sınıflandırmada sınıflar ve bu sınıflara ait kodlar ASPRS standartlarına göre belirlenmiştir (Tablo 2).

Nokta bulutu sınıflandırma işlemi için TerraSolid yazılımının TerraScan modülü (V.19.025) ve LiDAR360 yazılımı (V.3.2) tercih edilmiştir (Şekil 34). TerraScan; LiDAR verilerinin manipülasyonu, işlenmesi ve analizi için mevcut olan en eksiksiz, gelişmiş ve güçlü yazılımdır (Fernandez, ve diğerleri, 2007; Polat &

Uysal, 2015). Nokta bulutu dosyaları boyutları nedeniyle sınıflandırma işlemi öncesinde TerraScan yazılımı ile dosyalar “500 x 500 m” şeklinde paftalara ayrılarak çalışma için uygun boyutlara getirilmiştir.

Classification Value (bits 0:4)	Meaning
0	Created, never classified
1	Unclassified1
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Reserved
9	Water
10	Rail
11	Road Surface
12	Reserved
13	Wire – Guard (Shield)
14	Wire – Conductor (Phase)
15	Transmission Tower
16	Wire-structure Connector (e.g. Insulator)
17	Bridge Deck
18	High Noise
19-63	Reserved
64-255	User definable

Tablo 2: ASPRS LiDAR nokta bulutu sınıfları standartları tablosu.

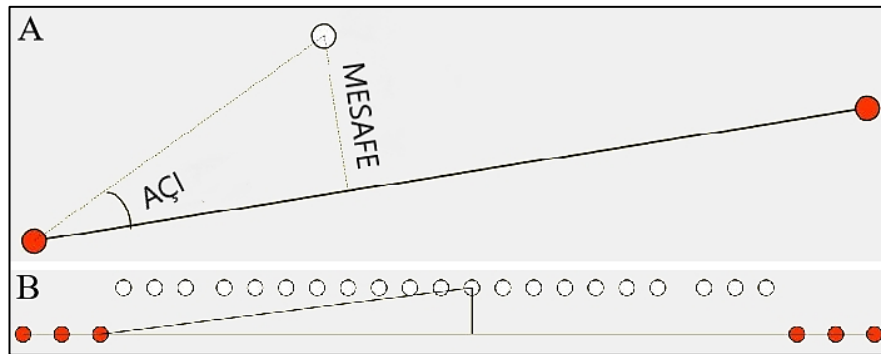
TerraScan yazılımında nokta bulutunu otomatik sınıflamak için “macrolar” kullanılmaktadır. Bu macrolar çeşitli sınıflama tekniklerini kullanarak oluşturulmuştur ve içerisinde kullanıcı tarafından belirlenecek birçok değişken yer almaktadır. Bu değişkenler çalışma alanının özelliklerine göre kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

Sınıflamada öncelikli olarak topografya ve topografya ait olmayan noktaların belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla Terrascan yazılımı ile topografyayı çıkarmak için bir dizi macro oluşturulmuştur. Topografyayı oluşturmak için öncelikli olarak tüm noktalar **“default”** sınıfına aktarılmıştır. Sonrasında LiDAR nokta bulutunun çoklu dönüş özelliğinden yararlanmak için **“echo macroları”** oluşturulmuştur (Şekil 34). Ağaçların olduğu yerlerde LiDAR sinyalleri dallara ve yapraklara çarparak parçalandığı için çoklu dönüşe sahip sinyallerden sonuncusu büyük olasılıkla ağaçların altındaki topografya yüzeyinden geri dönmektedir. Yine LiDAR sinyali parçalara ayrılmadan direk topografya ait yüzeyden ya da bina çatısı gibi yüzeylere çarparak geri dönmektedir. Bu nedenle echo macroları ile elde edilen topografya noktaları kesin bir ifade değildir (Gorum, 2019). Topografya ait olma olasılığı yüksek noktaların belirlenmesidir. Çoklu dönüş (echo) macroları çalıştırılarak topografya yüzeyine ait olma olasılığı olan noktalar belirlenmiştir.

Echo macroları ile olası topografya yüzeyine ait noktalar sınıflandırıldıktan sonra LiDAR nokta bulutunda bulunan olası topografyadan aşağıda olan noktaları sınıflamak için **“Low points macroları”** oluşturulmuştur (Şekil 34). Düşük noktalar (Low point) genel olarak nokta bulutunda diğer tüm noktalara göre görece daha aşağıda olan noktaları ifade eder. Düşük noktalar lazer tarayıcıya atmosferdeki nem koşulları vs. gibi nedenler ile yanlış yükseklik değeri ile dönen noktaları temsil etmektedir. Düşük noktalar tekil veya gruplar şeklinde olabilirler. Bu nedenle “Low point macroları” tekil ve grup düşük noktaları belirleyecek şekilde oluşturulmuştur. Düşük noktaları belirlemek için bir diğer macro olan **“Isolated points macrosu”** (yalıtılmış noktalar) oluşturulmuştur. Yalıtılmış noktalar 3 boyutlu arama yarıçapında macroda belirlenen değerlere oranla daha az komşu noktası olan noktaları ifade etmektedir. Bu sayede low points macrosu ile sınıflandırılmayan düşük noktalarda tespit edilir. “Low points ve “Isolated points macroları” çalıştırılarak düşük noktalar sınıflandırılmıştır.

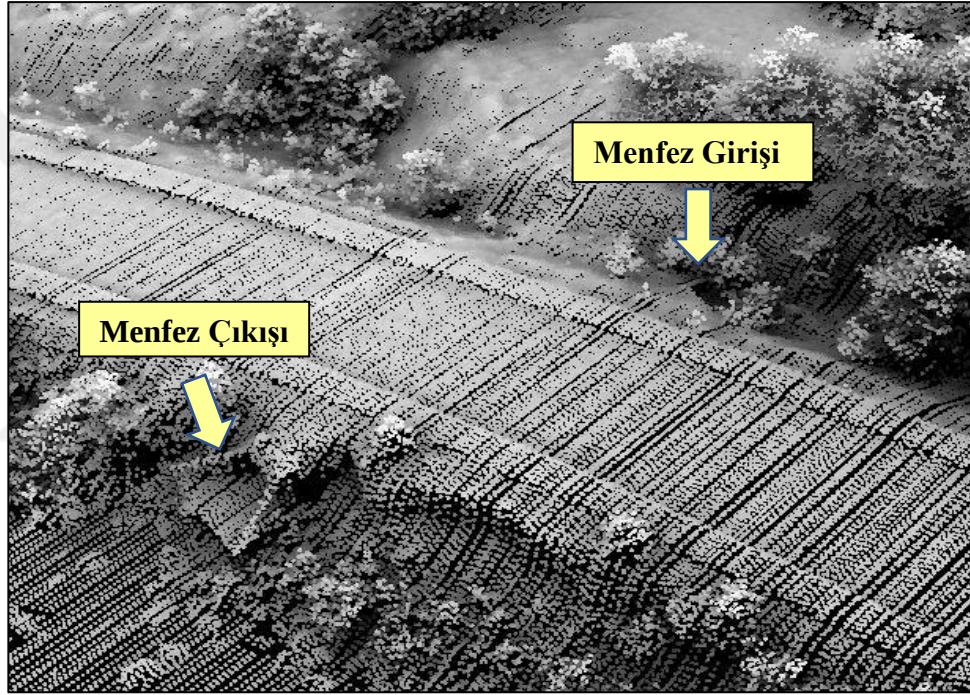
Olası topografya noktaları ve düşük noktalar tespit edildikten sonra “topografya yüzeyini” belirlemek amacı ile **“Ground macrosu”** oluşturulmuştur. TerraScan yazılımında yinelenen üçgen şeklinde bir yüzey modeli oluşturarak zemin

noktalarını sınıflandırır. Ground macrosu olası topografya yüzeyine ait noktalar içerisinde yerdeki isabetli alçak noktalar seçerek başlar ve maksimum bina büyüklüğü parametresi ile kontrol edilir. Maksimum bina büyüklüğü 100 m olarak belirlenmişse herhangi bir 100 x 100 m'lik alanın zemin seviyesinde en az bir noktaya sahip olduğunu ve en düşük noktanın zemin seviyesinde olduğunu varsayar. Daha sonra yazılımdaki macro ilk zemin noktalarından bir düzensiz üçgenler ağı (TIN) yüzey modeli oluşturur. Oluşturulan ilk yüzey modelinde üçgenler çoğunlukla zemin seviyesinin altında olur ve yalnızca köşeleri zemine temas eder. Devam eden yinelemeler (iteration) ile macro kalıpları daha fazla nokta ekleyerek gerçek topografya yüzeyini daha yakından takip eder (Terrasolid, 2020). Yineleme parametreleri noktalar arası açı ve mesafe değerleri ile kontrol edilir (Şekil 27). Yapılan denemeler sonucunda çalışma sahası için ground macrosundaki için en uygun sınıflama parametre değerler belirlenmiş ve sonrasında macro çalıştırılarak topografya yüzeyi otomatik olarak sınıflandırılmıştır. Çıplak topografya yüzeyi oluşturulduktan sonra genel topografya yüzeyinde ani yükseklik düşüşleri neden gerçek zemin yüzeyinin biraz altında olan noktalar gözlemlenmiştir. Bu noktaları ground sınıfından ayırmak için **“Below surface macrosu”** oluşturulmuştur. Bu macro ground sınıfında her nokta için 25 komşu nokta bulur ve komşu noktalardan düzlemsel veya kavisli bir yüzey oluşturur. Noktalar ile düzlem arasındaki yükseklik farklarının ortalama büyüklüğünü hesaplar ve belirlenen değere göre hesaplanan büyüklüğün üzerinde ise nokta ground sınıfından ayrılır. Below surface macrosu ile gerçek topografya yüzeyinde ani düşüşe neden olan noktalar sınıflandırılmıştır.



Şekil 27: Ground macrosu yineleme parametresi çalışma prensibi.

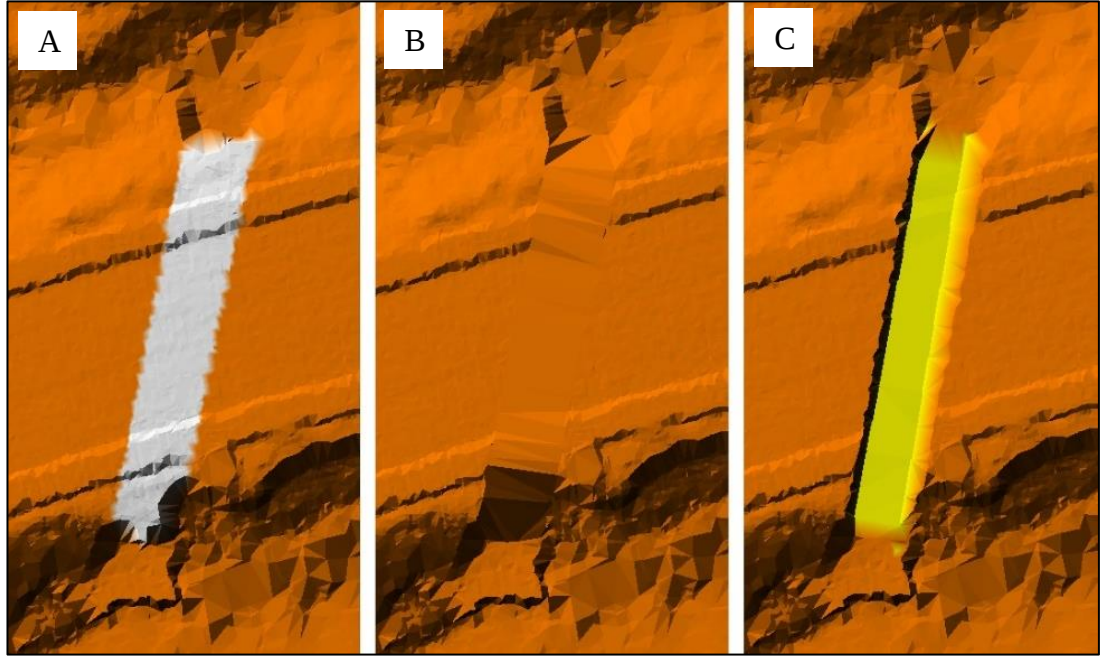
Otomatik sınıflandırma işlemi sonrasında hatalı veya eksik sınıflandırma olan yerlerde el ile (manuel) düzeltme yapılarak çıplak topografya yüzeyini içeren **“ground (topografya)”** sınıfı oluşturulmuştur. Ayrıca otomatik sınıflama işleminde akarsular üzerinden bulunan köprülerde topografya yüzeyini içeren **“topografya”** sınıfında olacak şekilde sınıflanmıştı. Sayısal yükseklik ve yüzey modelleri oluşturulduğunda suyun akışına engel olacak olan köprülere ait noktalar el ile (manuel) düzenleme (edit) yapılarak **“Köprü (Bridge)”** sınıfına aktarılmıştır.



Şekil 28: Nokta bulutunda menfez görünümü.

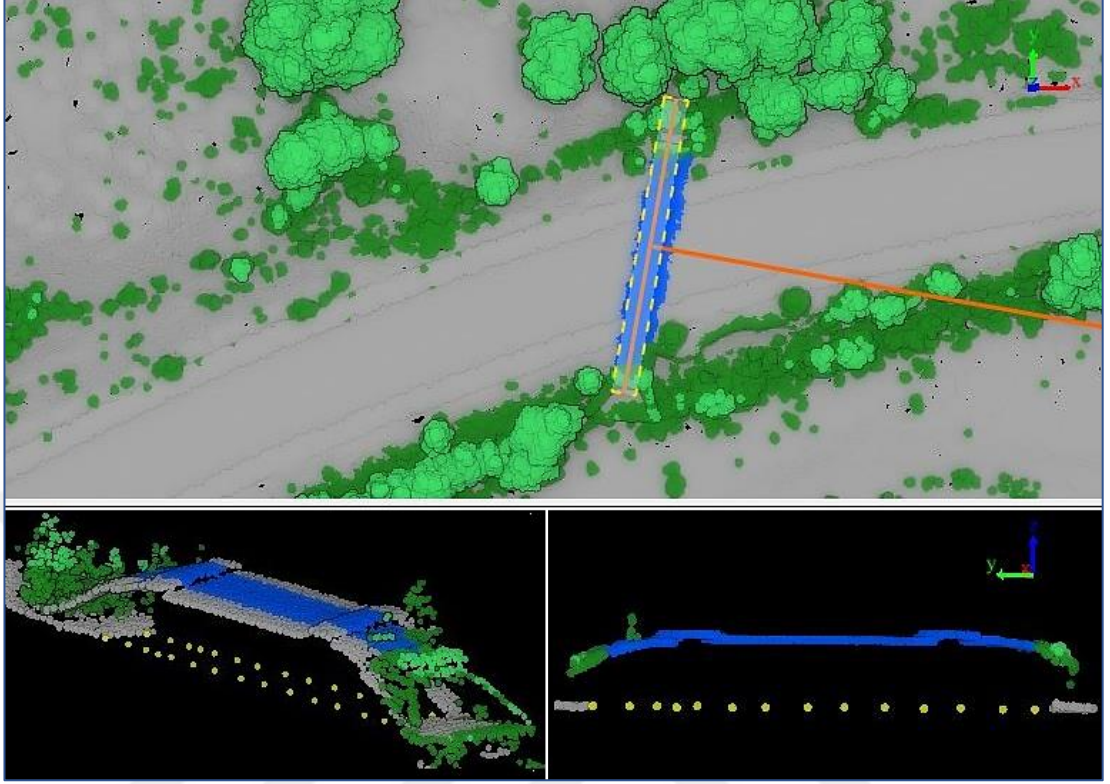
Topografyada suyun doğal akışı; yollar, kanallar gibi inşaat faaliyetleri ile değiştirilmekte ve su akışını devam ettirebilmek için yolların altına menfezler yapılmaktadır (Şekil 28). Ayrıca bazı alanlarda açık şekilde bulunan su kanalları yerleşme ve tarım faaliyetlerine bağlı olarak yeraltına alınmaktadır. Bu tarz yüzeysel akışı değiştirerek toprak altına alınan noktalarda üretilen sayısal arazi modellerinde köprülerde olduğu gibi suyun akışının engellendiği noktalar ortaya çıkmaktadır. Suyun akışını engelleyen menfez ve kanal gibi yapıların olduğu yerlerde topografya sınıfından bu noktaların çıkarılması gerekmektedir. Elde edilen topografya verisinde menfez ve kanalların olduğu yerlerdeki noktalar **“Culvert & Water Channel (Menfez ve Kanal)”** sınıfına aktarılmıştır. Ancak bu noktaları menfez sınıfına almak yeterli olmamıştır.

Bunun nedeni sayısal yükseklik ve yüzey modelleri üretirken kullanılan “düzensiz üçgen ağı” (TIN) yöntemidir. Bu yöntemde topografyaya ait noktalar yükseklik değerlerine göre üçgenler oluşan ağlardan sayısal arazi modeli üretilir. TIN yöntemi uygulandığı zaman suyun akışına engel olan kanal ve menfezlere ait noktalar başka bir sınıfa aktarılsa dahi sayısal yükseklik ve yüzey modeli üretilirken üçgenler menfez ve kanalların her iki yakasındaki noktaları birbirine bağlayarak bu noktalarda tekrardan suyun akışına engel olacak şekilde bir sayısal yükseklik ve yüzey modeli üretmektedir (Şekil 29). Bu sorunu gidermek için; menfez ve kanalların olduğu yerlerde menfez veya kanalın eğimini görebilecek şekilde kesitler alınmıştır. Menfez veya kanalın iki yakası arasına eğim doğrultusunda sanal düz bir çizgi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu çizginin kılavuzluğunda menfezi ya da kanalı tanımlayacak sentetik noktalar TerraScan yazılımı ile oluşturulmuş ve “**Synthetic Points (Sentetik Noktalar)**” sınıfına aktarılmıştır (Şekil 30). Bu şekilde yeraltında bulunan menfez ve kanalların hidrolik modelde suyun akışına engel olmasının önüne geçilmiştir.



Şekil 29: Sentetik noktalar ile menfez oluşturma ve TIN sayısal yükseklik modeli.

A) Topografya sınıfından menfez sınıfına aktarılan noktalar (Gri renk). **B)** Menfez sentetik noktaları olmadan oluşan sayısal yükseklik modeli. **C)** Menfez sentetik noktaları ile oluşan sayısal yükseklik modeli.



Şekil 30: Menfez sentetik noktaları kesit ve perspektif görünümü.

Ground macrosu ile topografya yüzeyi ve topografya olmayan noktalar şekilde iki sınıfa ayrılan nokta bulutundan bitki örtüsü, bina ve diğer objeleri çıkarmak için terrascan yazılımında yer alan obje tabanlı sınıflama algoritmaları kullanılmıştır. Bu amaçla öncelikli olarak **“compute distance macrosu”** oluşturulmuştur. Compute distance macrosu ile topografya olmayan tüm noktaların topografya olan düşey uzaklıkları hesaplanmış ve nokta bulutuna bilgi eklenmiştir. Sonrasında **“classify by class macrosu”** ile default sınıfında bulunan tüm noktalar **“low vegetation”** sınıfına aktarılmıştır. Oluşturulan “classify by distance macroları ile topografyadan düşey uzaklıkları “0.25 metre ile 2” metre arasında olan noktalar “medium vegetation” sınıfına 2 metreden fazla olan noktalar ise **“high vegetation”** sınıfına aktarılmıştır.

Bitki örtüsü sınıflama işlemi sonrasında **“compute normal vectors macrosu”** oluşturulmuştur. TerraScan yazılımı bu macro ile lazer noktaları için “boyut” ve “normal vektör” olmak üzere iki değer hesaplar. Compute normal vectors macrosu ile noktayı ve en yakın komşu noktaları analiz edilir ve her noktanın boyutu belirlenir.

LiDAR noktaları için 3 tür boyut vardır. Bunlar;

- Doğrusal boyut; noktalar doğrusal bir özellik oluşturur,
- Düzlemsel boyut; noktalar düzlemsel bir yüzey oluşturur,
- Karmaşık boyut; rastgele nokta grubu oluştur.

Normal vektör ise düzlemsel boyutlu noktalar için hesaplanır ve hava LiDAR nokta bulutunda çatı yapılarını analiz etmek için kullanılır. Boyut ve normal vektör hesaplaması daha sonra yapılacak olan obje (bina, elektrik telleri vs.) çıkarımları için kullanılacaktır.

Nokta bulutu sınıflamasının bir adımı olan elektrik tellerini sınıflamak için **“Wire macrosu”** oluşturulmuştur. Elektrik telleri doğrusal boyutlu bir özelliğe sahiptir ve diğer objelerin üzerinden geçmektedir. Bu özelliği ile bina gibi diğer objeleri çıkarırken bazı noktalarda hataya yol açtığı için diğer obje çıkarımları yapılmadan yapılması gerekmiştir.

Topografya ve elektrik telleri sınıflandırıldıktan sonra diğer objeleri sınıflamak için öncelikli olarak **“Assign groups macrosu”** oluşturulmuştur. Gruplama işlemi (Şekil 31) ile elde edilecek bilgi sonrasında yapılacak olan sınıflama işleminde kullanılmıştır. Bu macroda gruplama;

- Düzlem ayarlama
- Havza algoritması
- Noktalar arası 3 boyutlu boşluk

gibi farklı yöntemlere göre yapılır. Gruplama sonucunda bir veya daha fazla sınıfın noktalarına bir grup numarası atanmıştır (Terrasolid, 2020).

Gruplama işleminden sonra **“Fix borders macrosu”** oluşturulmuştur. Veri boyutları çok büyük olduğu için öncesinde veriler paftalara ayrılarak bilgisayar ve yazılımın işleyeceği bir boyutlara getirilmişti. Oluşturulan assign groups macrosu her bir paftayı kendi içinde gruplara ayırarak numaralandırmaktadır. Pafta kenarlarında tekil bir objenin (örn. bina) bir kısmı diğer paftada kalabiliyor. Bu durumda tek bir gruba atılması gereken obje iki veya daha fazla gruba atılabiliyor ve sınıflamada

hatalara yol açabiliyor. Fix borders macrosu ile pafta kenarlarında komşu paftalar birbirleri ile karşılatılarak doğru bir grup ataması yapılmıştır.



Şekil 31: Nokta bulutu gruplama (segmentasyon) görünümü.

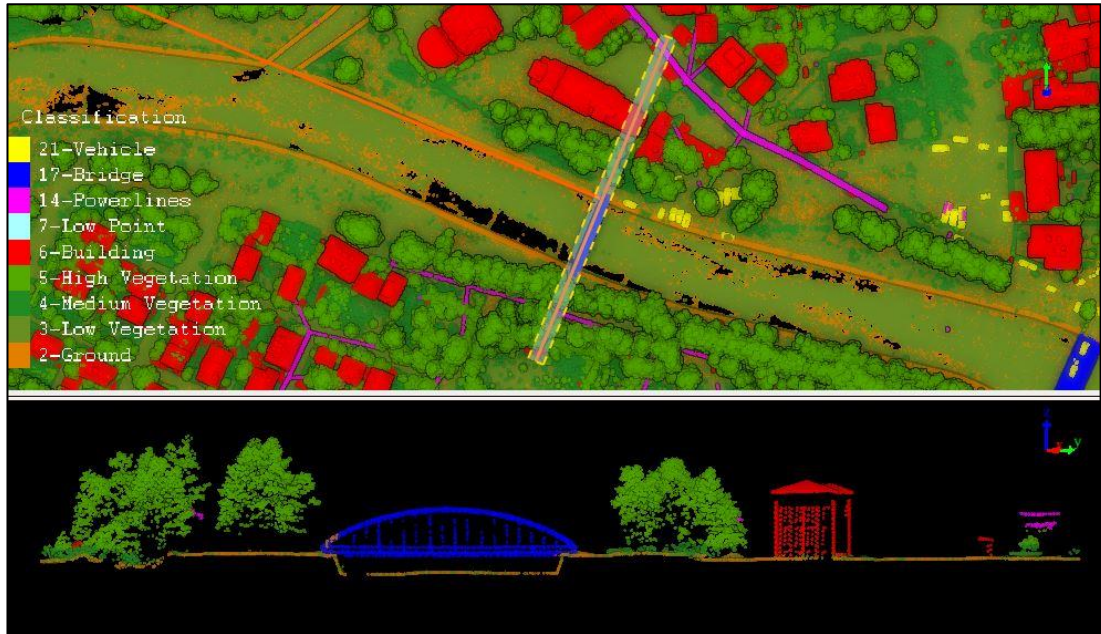
Nokta bulutu segmentasyonu “assign groups macrosu” ile yapıldıktan sonra bina, bitki örtüsü, araç, duvar vb. objeleri çıkarmak için “***Classify groups by best match macrosu***” oluşturulmuştur. Oluşturulan bu macro ile ASPRS nokta bulutu sınıfları standartları tablosuna kod ve değerler dikkate alınarak “**binalar, çatı yapıları, duvar ve duvar yapıları, ağaçlar, ağaç dışında kalan bitki örtüsü, yüksek gerilim hattı direkleri ve araçlar**” otomatik olarak sınıflandırılmıştır.

Otomatik sınıflama işlemi tamamlandıktan sonra sınıflamada bazı eksiklikler ve hatalar tespit edilmiştir. Bunların hepsinin el ile doğru sınıfa aktarılması yoğun zaman ve emek gerektiren bir iştir. Ancak, el ile sınıflama hataları ve eksikliklerine harcanacak zaman ve emeği en aza indirmek için “LiDAR360 (V.3.2)” yazılımında “***Makine öğrenmesi (machine learning) algoritmaları***” kullanılmıştır (Şekil 34). Öncelikli olarak çalışma alanında benzer topografik ve obje özellikleri gösteren alanlar belirlenmiş ve bu bölgeler için otomatik sınıflaması yapılmış paftalardan örnekler seçilmiştir. Seçilen örnek paftalarda sınıflama eksik ve hataları yüksek çözünürlüklü

ortofoto (Şekil 51) kullanılarak el ile düzeltilmiştir. Makinaya sınıflama model eğitimi vermek için el ile eksik ve hataları giderilen paftalar tanımlanmıştır. Makine sınıflama model öğrenmesi gerçekleştikten sonra elde edilen model kullanılarak sınıflama diğer paftalara da uygulanmıştır. Makine öğrenmesi ile otomatik sınıflama işlemleri tamamlandıktan sonra nokta bulutu sınıflaması kontrol edilmiş ve geriye kalan az miktardaki eksik ve hatalar tekrardan el ile düzeltilmiş ve sınıflama işlemi tamamlanmıştır (Şekil 32).



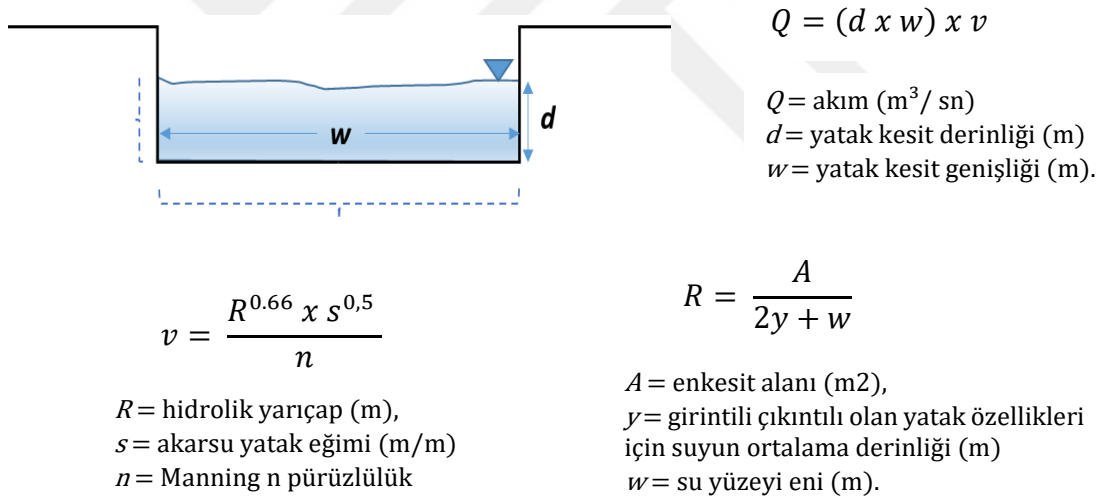
Şekil 32: Sınıflandırılmış nokta bulutu.



Şekil 33: Sınıflandırılmış nokta bulutu kesit görünümü.

1.5. Akımın Hesaplanması ve Kullanılan Hidrolik Model

Çalışmada Ulus Çayı'na ait akım değerleri ölçülen değere sahip olmamasından dolayı ve buradaki amaç gerçek akım değerlerinden ziyade akarsu ve taşkın yatağındaki fiziksel özelliklerin suların yayılışındaki etkisini araştırmak olduğu için belirli bir en kesit alandaki anlık akım hesaplamaları yapılmıştır. Bunun için kullanılan formül hız-alan metoduna bağlı olarak (Şekil 35) ana Ulus kolu ve bu kola katılan Alpı, Süleyman ve Eldeş kollarının (Şekil 38) ful yatak kapasiteli tahmini akım değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen ful yatak kapasiteli akımlara %10 oranında taşma akım değerleri eklenerek Q_{model} verileri elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, modelleme yapılan akarsu yataklarının maksimum kapasite akımlarına %10 oranında taşma değerleri eklenmiştir (Tablo 3). Böylelikle taşkın yatağında DEM ve DSM'ler üzerindeki yapıların taşkın yayılışlarına etkileri net bir şekilde ortaya konabilmiştir.



Şekil 35: Anlık akım verisi hesaplaması için hız - alan metodu.

	d	w	A	R	h_{max}	h_{min}	L	s	v	Q_{ful}	Q_{model}
Ulus Deresi	3,8	45	171	3,25	214,00	199,00	2572,00	0,006	4,75	812,39	893.63
Alpı Deresi	2,8	14	39,2	2,00	211	203	1130	0,007	3,80	148,90	156.35
Süleyman Deresi	2	4	8	1,00	216	212	512	0,008	2,53	20,20	21.21
Eldeş Deresi	3	20	60	2,31	225	200	1448	0,017	6,52	391,17	410.73

Tablo 3: Akarsu ve kolları için hesaplanan hipotetik akım verileri.

Elde edilen Q model değerlerinin 2B hidrolik model içerisindeki akım verisi olarak tanımlaması SCS birim hidrografi şeklinde olmuştur (Mujumdar & Kumar, 2012). Yani Q_{model} akım verisi Q_{peak} değeri olarak alınmış havzaların fiziksel özelliklerine bağlı olarak Q_{peak} için gerekli zaman T_p hesaplanmış (yükselme eğrisi) ve Q_{peak} sonrası (alçalma eğrisi) için $1.6T_p$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 33). Buna göre taşkın modellemesinde kullanılan her bir akarsu havzası için üretilen SCS birim hidrografları Şekil 34’te verilmiştir.

SCS hidrograf hesaplama parametreleri;

$$T_p = 0.5D + 0.6t_c$$

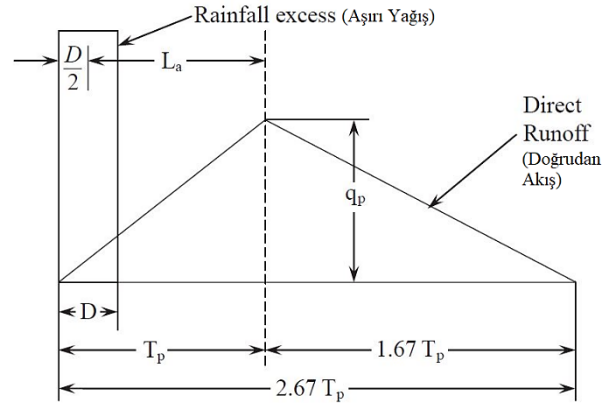
T_p = tepe noktası zamanı, D = aşırı yağışın süresi (sa), t_c = Konsantrasyon zamanı (yağışın havzanın başlangıcından ağzına kadar ulaşması için geçen süre)

$$t_c = 0.0078L^{0.77} S^{-0.385}$$

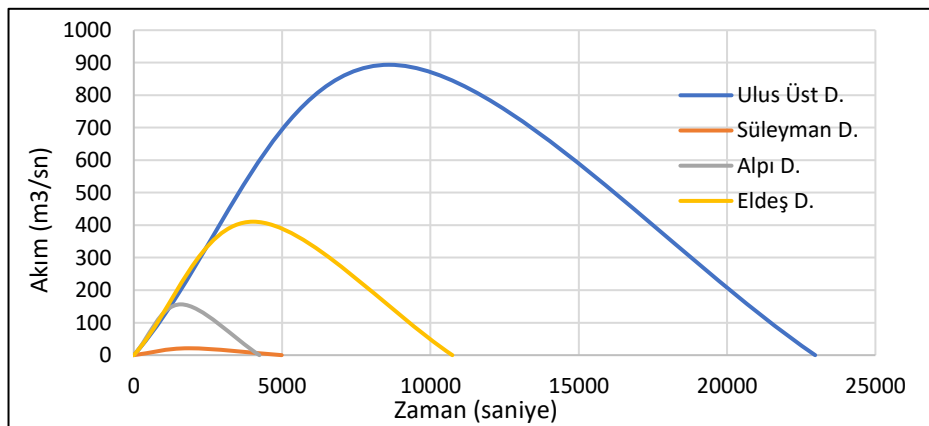
t_c = Konsantrasyon zamanı
 L = kanal /yatak uzunluğu (ft)
 S = Yağış (mm)

$$q_p = \frac{208 A V_Q}{T_p}$$

q_p = deşarj tepe noktası
 A = havza alanı (km²)
 S = ortalama havza eğimi
 V_Q = Akış (mm)

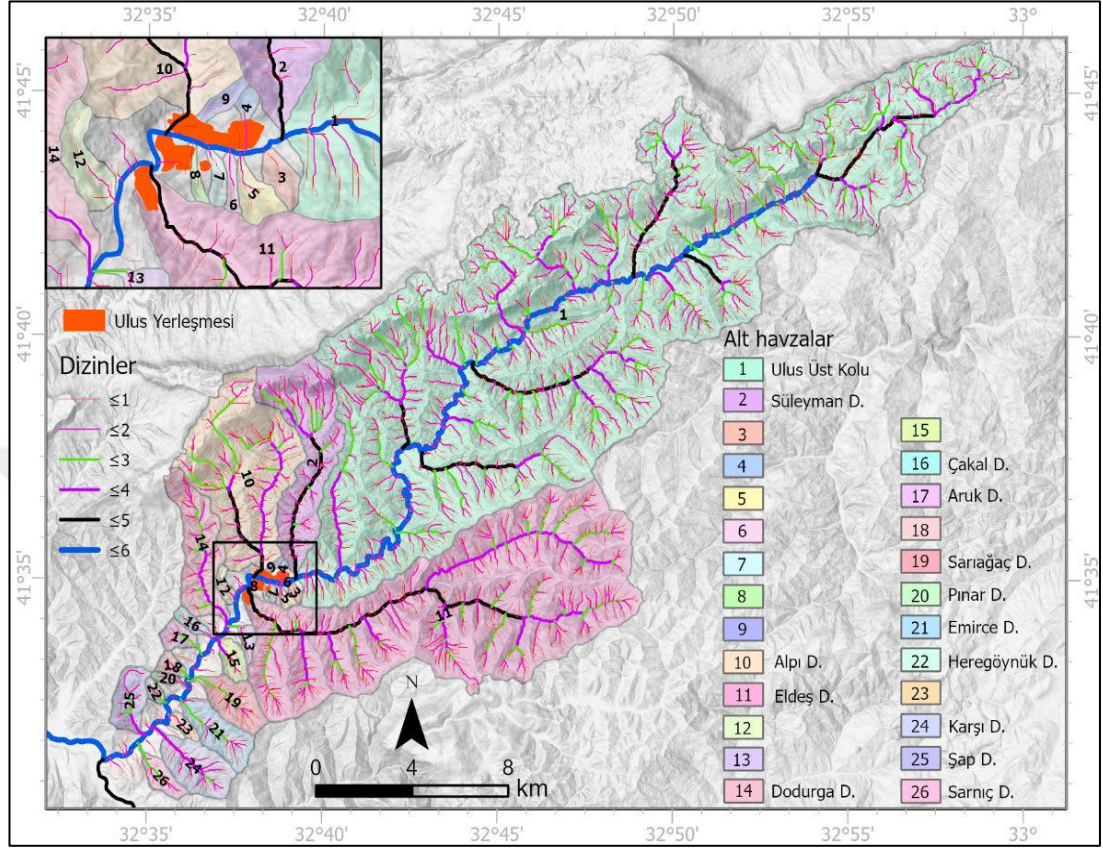


Şekil 36: SCS birim hidrografi hesaplama parametreleri.



Şekil 37: Akarsulara ait SCS birim hidrografları.

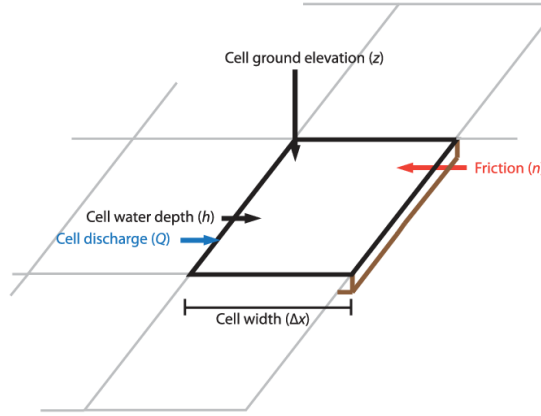
Şekil 38: Ulus Nehri havzası, alt havzaları ve alt kolları.



(Özdemir H. & Akbaş, 2020)

Taşkın modellemesi için LISFLOOD-FP hidrolik model yazılımı kullanılmıştır. LisFLOOD-FP, Bristol Üniversitesi'nde geliştirilen (Komi, vd., 2017) LISFLOOD-FP, karmaşık topografya yüzeylerinde suyun akışını ve hareketini modellemek için kullanılan raster (hücre) tabanlı bir yazılımdır. Yazılım 1 boyutlu sıg su teorisinden üretilmiş olup x ve y kartezyen yönünde 2 boyutlu model için kullanılır (Özdemir, 2012; Komi, vd., 2017). LISFLOOD-FP'nin taşkın derecesini tahmin etme performansı, uydudan gözlenen sel genişlemeleri kullanılarak yaygın olarak test edilmiştir (Di Baldassa, Schumann, & Bates, 2009). 2B hidrolik temel modelde LISFLOOD-FP, Şekil 39' da gösterildiği gibi kademeli bir ızgara üzerinde açık bir ileri fark şeması kullanır. Model, her bir hücredeki kütlenin sürekliliğini ve hücreler arasındaki momentum sürekliliğini idare eden iki denklem içerir (Neal, Schumann, & Bates, 2012).

Şekil 39: LISFLOOD-FP 2B Model parametreleri.



(Neal, Schumann, & Bates, 2012).

Her hücre için bir zaman adımı (Δt) süreklilik denklemi;

$$h_{i,j}^{t+\Delta t} = h_{i,j}^t + \Delta t \frac{Q_{x\ i-1/2,j}^{t+\Delta t} - Q_{x\ i+1/2,j}^{t+\Delta t} + Q_{y\ i,j-1/2}^{t+\Delta t} - Q_{y\ i,j+1/2}^{t+\Delta t}}{A_{i,j}}$$

Q = hücreler arası akış, h = hücre su derinliği, A = su yüzeyi / hücre alanı, $i = x$ yönündeki hücre uzamsal endeks, $j = y$ yönündeki hücre uzamsal endeks.

İki hücre arasındaki Q akışını izlemek için momentum denklemi;

$$Q_{i+1/2}^{t+\Delta t} = \frac{q_{i+1/2}^t - g h_{flow}^t + \Delta t S_{i+1/2}^t}{\left[1 + g \Delta t n^2 |q_{i+1/2}^t| / (h_{flow}^t)^{7/3} \right]} \Delta x$$

Δx = hücreler genişliği, g = yerçekimine bağlı ivme, q^t = önceki zaman adımından (Q^t) =, hücre genişliğine (Δx) bölünen akış, S = su yüzeyi eğimi, n = manning's pürüzlülük katsayısı, h_{flow} = suyun içinden akabileceği hücreler arası derinlik.

Su derinliği ve hücre yüksekliğinden (z) hücreler arası derinlik denklemi;

$$h_{flow}^t = \max(h_i^t + z_i, h_{i+1}^t + z_{i+1}) - \max(z_i, z_{i+1})$$

Hücreler arası su yüzeyi eğim (S) denklemi;

$$S_{i+1/2}^t = \frac{(h_{i+1}^t + z_{i+1}) - (h_i^t + z_i)}{\Delta x}$$

İstikrarı korumak için model zaman adımı stabilite denklemi;

$$\Delta t = \alpha \frac{x}{\sqrt{\max(h^t) g}}$$

$\alpha = 0,2-0,7$ arısından değişen stabilite katsayısı, $\max(h^t)$ = modeldeki maksimum su derinliği.

Oluşturulan 2B hidrolik modelde DEM ve DSM'lerin etkisini net bir şekilde ortaya koyabilmek için arazi modelleri dışındaki tüm parametreler (Manning's n) sabit tutulmuş (0,035) ve hidrolik model çalıştırılmıştır.



İKİNCİ BÖLÜM

BULGULAR

Yer yüzeyi ve üzerindeki doğal ve insan yapımı nesneler hakkında koordinatlı ve 3 boyutlu bilgi sağlayan dijital veri setleri olarak tanımlayabileceğimiz sayısal yükseklik ve yüzey modelleri günümüzde birçok araştırma ve uygulamada kullanılan temel veri setleridir. LiDAR verileri, birçok uygulamada kullanım için dijital arazi bilgisinin temel kaynağı olmuş (Raber, ve diğerleri, 2007), yeryüzü özellikleri için doğru yükseklik verilerinin etkin toplanması nedeniyle, taşkın su baskınları için hava LiDAR verilerinin benimsenmesinde hızlı bir artış meydana gelmiştir (Turner, Colby, Csontos, & Batten, 2013).

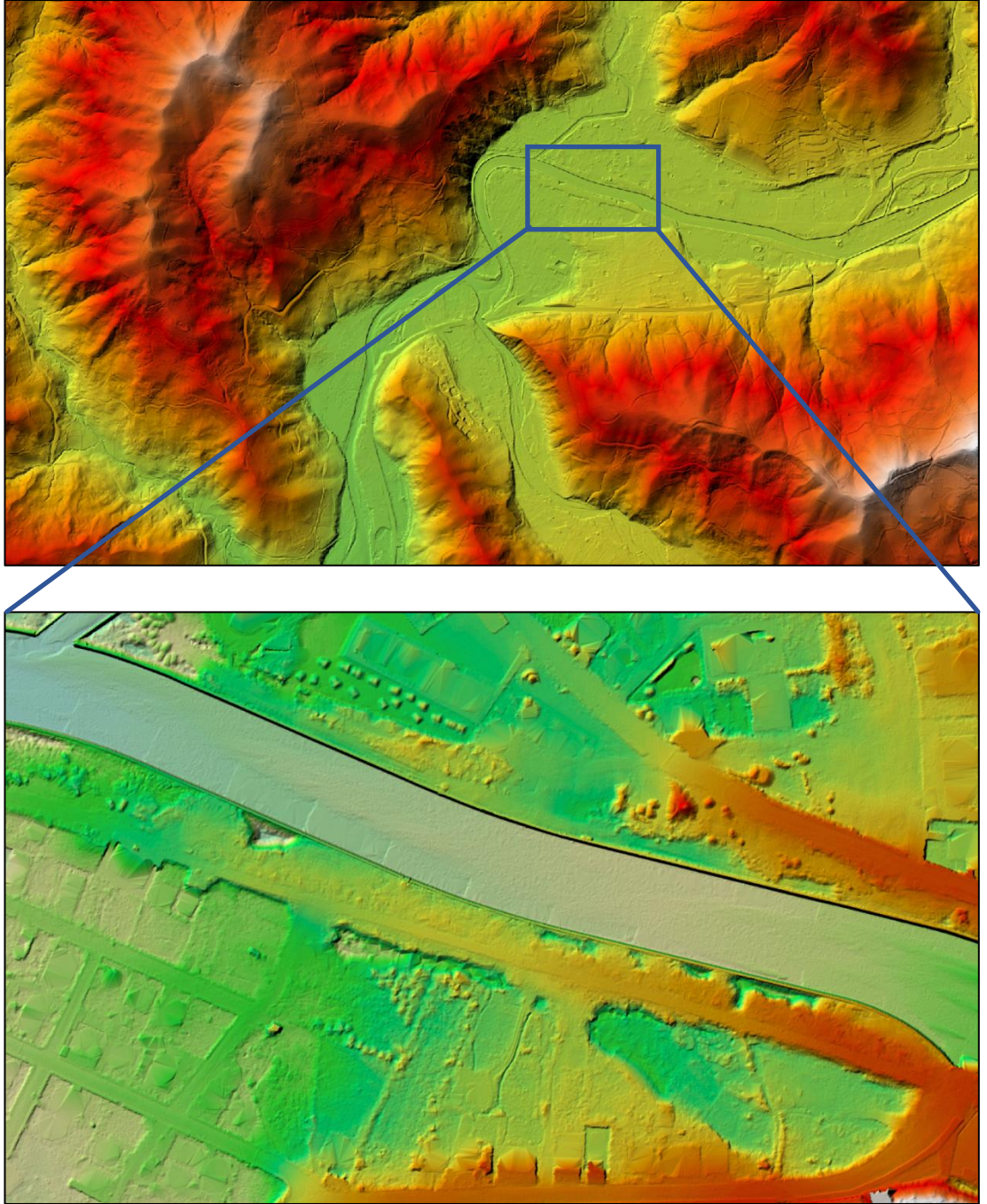
Hava LiDAR verilerinden elde edilen yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik / yüzey modellerinin taşkın hidrolik modelinde etkilerini ortaya koymak için aşağıda sayısal yüksek / yüzey modelleri üretilmiştir.

- Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)
- Sayısal Yüzey Modelleri (DSM);
 - Topografya ve Bina Yüzey Modeli (DSM_b)
 - Topografya, Bina ve Ağaç Yüzey Modeli (DSM_{bt})

2.1. Sayısal Yükseklik Modelinin (DEM) Üretilmesi

Taşkın hidrolik modellerinde yeryüzünün doğru temsili oldukça önemlidir ve gerçek dünyada su akışını etkileyen arazi özelliklerini simüle etmek için doğru ve ayrıntılı sayısal yükseklik modellerine (DEM) ihtiyaç duyulmaktadır (Haile & Rientjes, 2005). DEM'lerin araziye temsil etme kabiliyeti çözünürlükleri ile doğru orantılıdır. DEM'nin sahip olduğu gerçek çözünürlük değeri homojene yakın olarak dağıtılmış arazideki ölçüm noktaların birbirleri ile olan yatay mesafelerinin değeridir. Çalışma alanında sınıflandırılmış nokta bulutu dosyasındaki arazi yüzeyini ifade eden "ground" nokta yoğunluğuna kontrol edildiğinde ortalama olarak 1 metrekarede 16 nokta olduğu gözlenmiştir. 1 m² / 16 nokta yoğunluğunun DEM çözünürlük karşılığı ise 25 cm'dir.

Oluşturulacak DEM'lerin çözünürlüğü 25 cm olarak hesaplandıktan sonra nokta bulutu sınıflama işlemleri ile sonucunda oluşturulan “ground ve synthetic points” sınıflarındaki noktalar kullanılarak; topografyanın ve akarsu kanalın geometrisinin daha iyi bir temsilini sağlayan (Bates ve ark., 1996; Casas ve ark., 2006) “düzensiz üçgen ağı” (TIN) yöntemi ile 25 cm yer örnekleme aralığında hücresel (raster) veri yapısında DEM üretilmiştir.



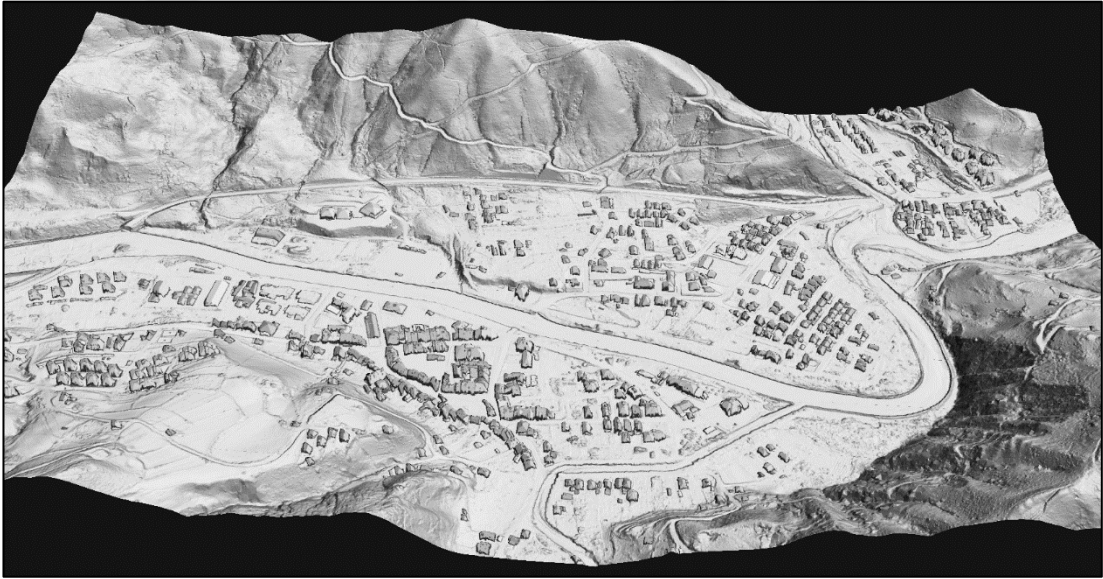
şekil 40: Sayısal yükseklik modeli (DEM).

2.2. Sayısal Yüzey Modellerinin (DSM) Üretilmesi

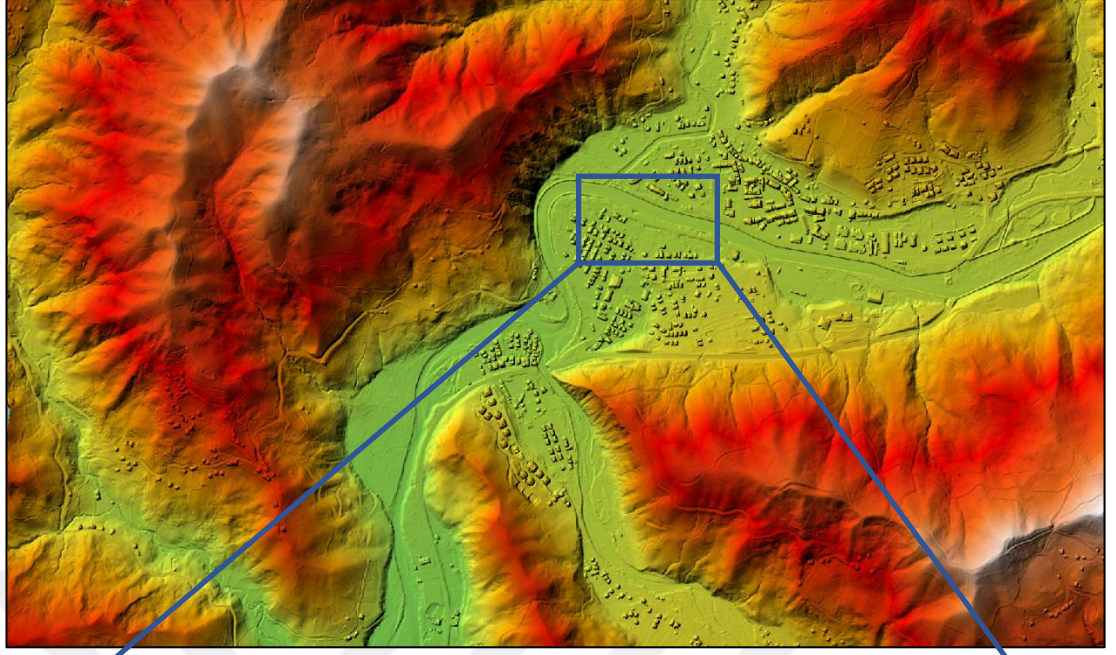
Sayısal yüzey modeli (DSM) yer yüzeyi ve üzerindeki bina, bitki örtüsü, elektrik hatları vs. gibi doğal ve insan yapımı tüm nesneleri 3 boyutlu tanımlayan sayısal modeldir. Çalışma kapsamında taşkın hidrolik modelinde binaların ve ağaç gövdelerinin taşkına olan etkileri ortaya koymak için klasik sayısal yüzey modellerinden farklı olarak sadece binaları içeren, sadece ağaç gövdelerini içeren ve bina ve ağaç gövdelerinin olduğu DSM üretilmiştir.

2.2.1. Topografya ve Bina Sayısal Yüzey Modeli (DSM_b)

Topografya ve bina yüzey modelini üretmek için sınıflandırılmış nokta bulutunun ground (topografya), synthetic point ve building (bina) sınıfları kullanılarak düzensiz üçgen ağı (TIN) yöntemi ile hücresel veri yapısında 25 cm yer örnekleme aralığında üretilmiştir (Şekil 41-42).



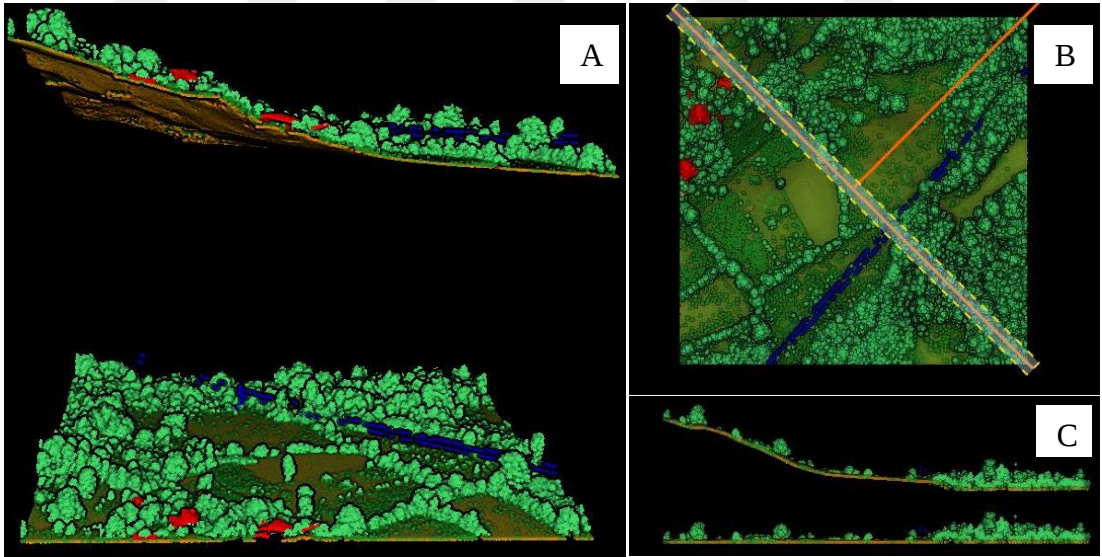
Şekil 41: Topografya ve bina sayısal yüzey modeli (DSM_b) perspektif görünümü.



Şekil 42: Topografya ve bina sayısal yüzey modeli (DSM_b).

2.2.2. Topografya, Bina ve Ağaç Sayısal Yüzey Modeli (DSM_{bt})

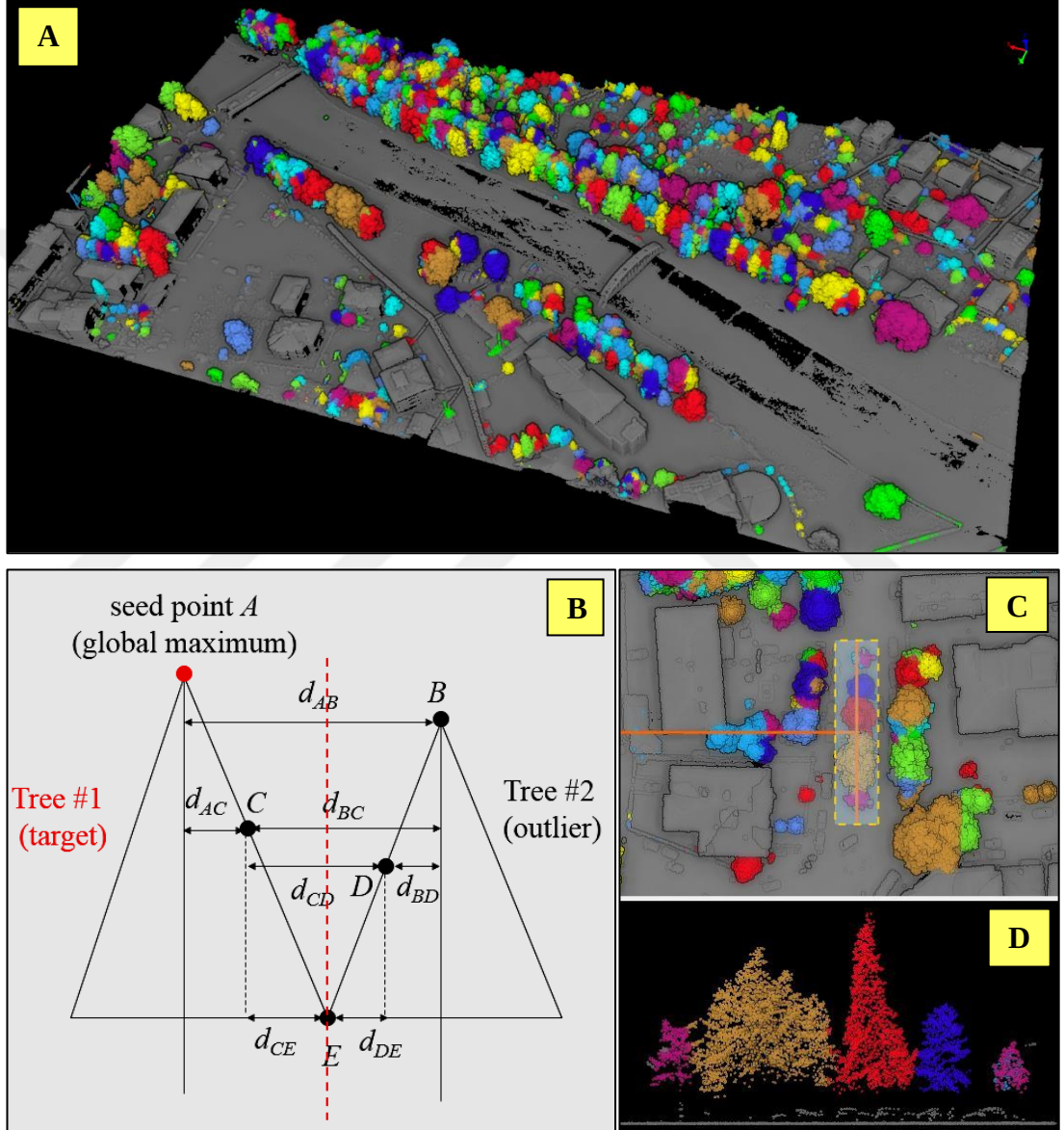
Ağaç gövdelerini DSM'ye eklemek için sınıflandırılmış nokta bulutunun bitki örtüsü sınıfı kullanılarak öncelikli olarak LiDAR360 yazılımında segmentasyon işlemi yapılmıştır. Segmentasyon işlemi yapmak için öncelikli olarak **“remove outliers”** işlemi ile komşu paftalar arasında segmentasyon işleminde hataya yol açacak noktalar elemine edilmiştir. Komşu paftalar arasındaki nokta elemine edilmesi sonrasında LiDAR nokta bulutundan tekil ağaçları çıkarmak için öncelikle için yerel arazi etkisinin ortadan kaldırılabilmesi gerekmektedir (Zhang, Zhou, & Qiu, 2015). Nokta bulutunda arazi etkisini ortadan kaldıran bu işleme **“nokta bulutu normalizasyonu”** (normalize point cloud) denir. Nokta bulutu normalizasyonu sonucunda topografya üzerindeki tüm yükseklikler aynı değere (0 metre) çekilerek ve topografya üzerinde yer alan bitki örtüsü noktalarının topografya etkisinden arındırılmış gerçek yükseklikleri hesaplanmıştır.



Şekil 43: Nokta bulutu normalizasyonu.

A) Normalleştirilmemiş nokta bulutu (üstte) ve normalleştirilmiş nokta bulutu (altta).
B) Kesit hattı ve bakış yönü. **C)** Normalleştirilmemiş nokta bulutu kesiti (üstte) ve normalleştirilmiş nokta bulutu kesiti (altta).

Tekil ağaçlarının nokta bulutu üzerinden çıkarımı için Li ve ark. (2012) tarafından geliştirilen ağaç segmentasyonu algoritması kullanılmıştır. Ağaç segmentasyonu sonucunda her bir tekil ağaç için konumu (XY), yüksekliği (Z), taç çapı, taç alanı ve taç hacmi bilgileri elde edilmiştir.

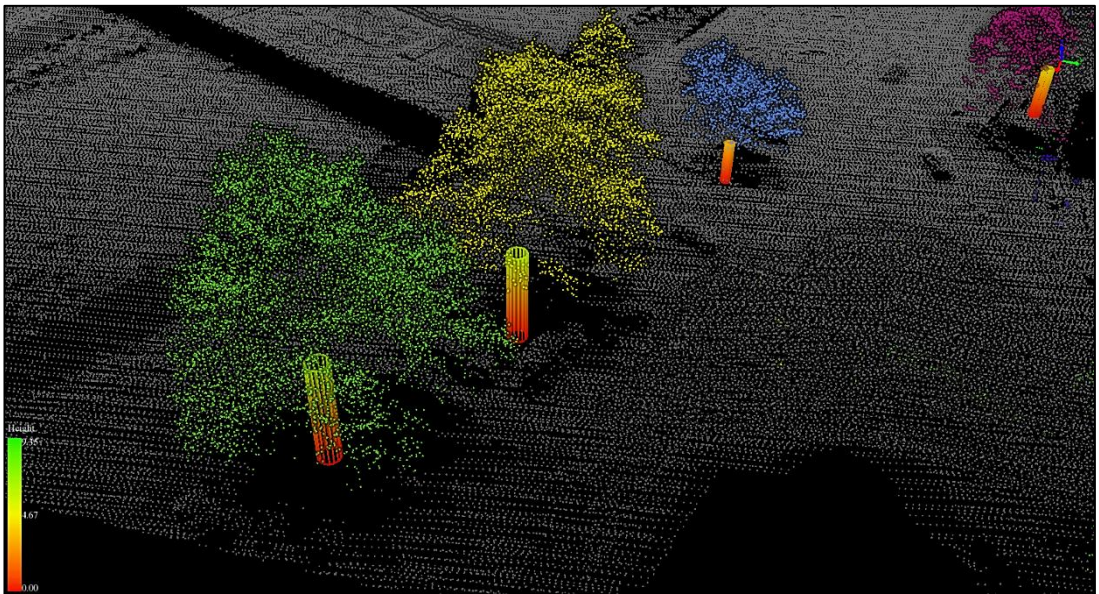


Şekil 44: Hava lidar nokta bulutu ağaç segmentasyonu.

A) Nokta bulutu ağaç segmentasyonu perspektif görünüm (her bir renk ayrı tekil bir ağacı göstermektedir). **B)** Li ve ark. (2012) tarafından geliştirilen segmentasyon yöntemi algoritması **C)** Kesit hattı ve bakış yönü **D)** Ağaç segmentasyonu nokta bulutu kesiti.

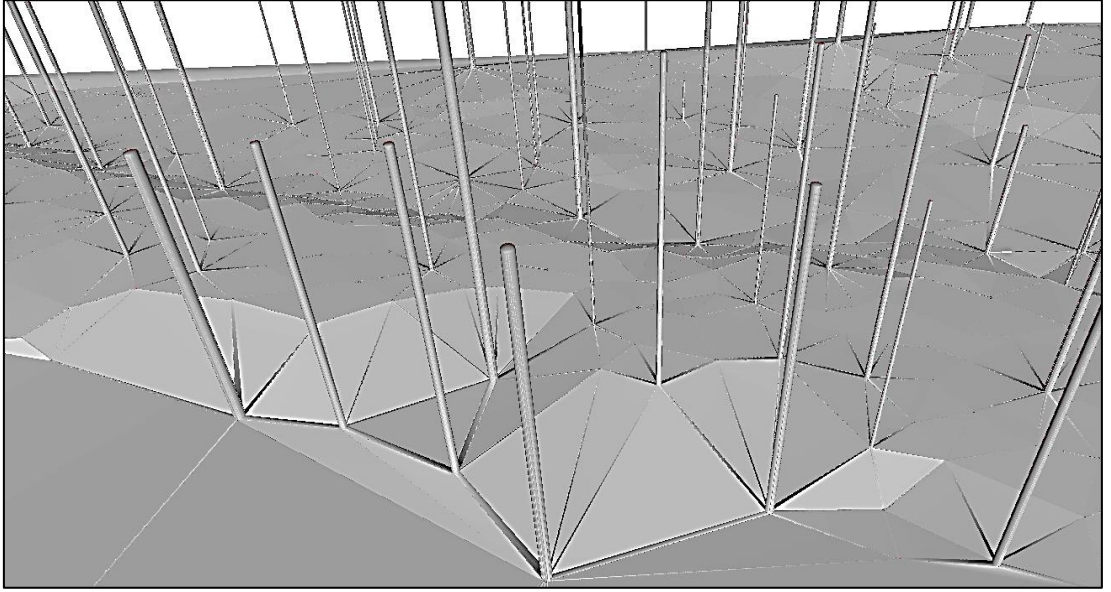
Nokta bulutu ağaç segmentasyonu ile tekil ağaçlar ve tekil ağaçlara ait bilgiler elde edildikten sonra her bir tekil için, göğüs çapını (gövde çapı) belirleyebilmek için tepe çatısı genişliği (tepe çapı) ile göğüs yüzeyi arasındaki istatistiksel ilişkiden yararlanılmıştır. Bu amaçla arazide farklı tür ve süksesyon evrelerindeki meşcerelerden rastgele seçilen 1 hektar büyüklüğünde örnekleme parsellerinden elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Yapılan örnekleme 28 adet ağaca ait veri değerlendirilmeye alınabilmektedir.

Yapılan örnekleme ağaçların göğüs çapı, boyu, tepe çatısı genişliği ve ağaç türü kayıt altına alınmıştır. SPSS ve Microsoft Excel yazılımları kullanılarak göğüs çapı ile tepe çatısı genişliği arasındaki istatistiksel ilişki belirlemek amacıyla 0.05 güven duyarlığında “*One-way anova testi*” ve “*pearson korelasyon testleri*” uygulanmıştır. Sonrasında gözlemlenen anlamlı ilişkiden yararlanılarak 1,30 metredeki göğüs çapı ile tepe çatısı genişliği arasında ilişki “*doğrusal (linear) regresyon analizi*” ile matematiksel bir model halinde ortaya konulmaya çalışılmıştır. LiDAR verisinden üretilen tepe çatısı genişliği verisi coğrafi bilgi sistemi veri tabanına aktarılacak tekil ağaç bazında göğüs çapları (Şekil 45), doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen; “ $GÇ = 4.76 \times TC - 1.4$ ” formül ile hesaplanmıştır. (GÇ = göğüs çapı, TC = tepe çapı).



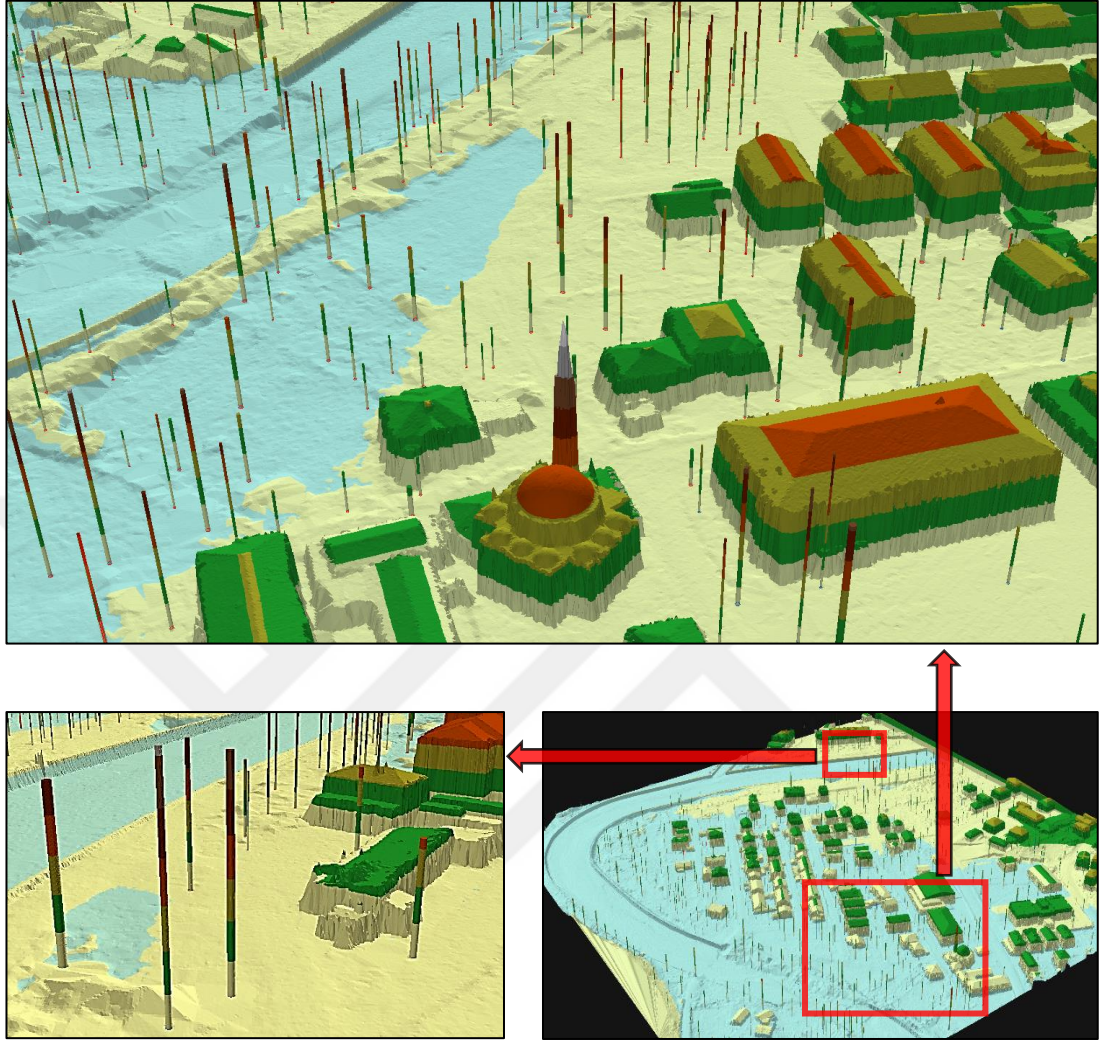
Şekil 45: Hesaplanan tekil ağaç göğüs çaplarının nokta bulutu ile gösterimi.

Ağaç göğüs çapları hesaplarının ardından ağaç gövdelerini daha önce hazırlanan topografya ve bina yüzey modeline (DSM_b) eklemek için ArcGIS (V.10.8) ve Safe Software FME (V.2019.1) yazılımları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ağaç göğüs çapları 25 cm altında olan ağaçlar oluşturulacak yüzey modelinin çözünürlüğünden az olduğu için işleme alınmamıştır. İlk adımda CBS ortamında nokta topolojisinde öznitelik bilgisi ile tutulan ağaç göğüs çapları FME yazılımı ile alan topolojisine dönüştürülmüş ve ağaç tepe yüksekliklerine bağlı olarak yükseklik değeri atanmıştır. Sonrasında her bir ağaç tepe yüksekliğinde ağaç göğüs çapları sınırları içerisinde sanal olarak noktalar kümesi oluşturulmuştur. Alan topolojisinde bulunan göğüs çapları ile sanal noktalar kümesi kullanılarak her bir tekil ağaç gövdesi için TIN yüzey modeli üretilmiştir (Şekil 46).



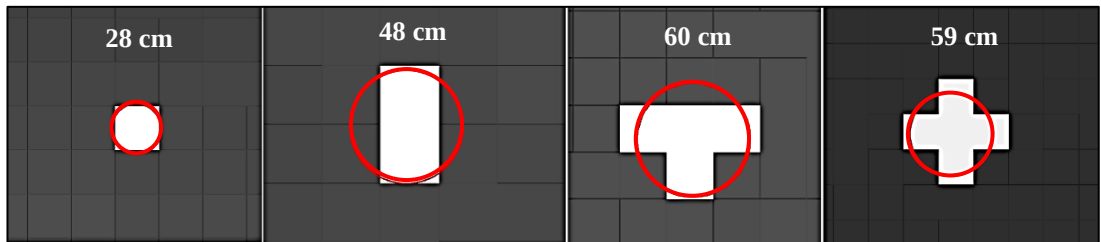
Şekil 46: Ağaç gövde TIN yüzey modeli.

FME yazılımı ile daha önce üretilen hücre dosya yapısındaki DSM_b modeli TIN modeline dönüştürülmüş ve ağaç gövde TIN yüzey modeli ve ile ArcGIS yazılımına aktarılmıştır. ArcGIS yazılımı ile üretilen 2 TIN model birleştirilmiş (Şekil 47) ve sonrasında 25 cm yer örnekleme aralığında topografya, bina ve ağaç yüzey modeli (DSM_{bt}) hücre dosya yapısında üretilmiştir (Şekil 49).

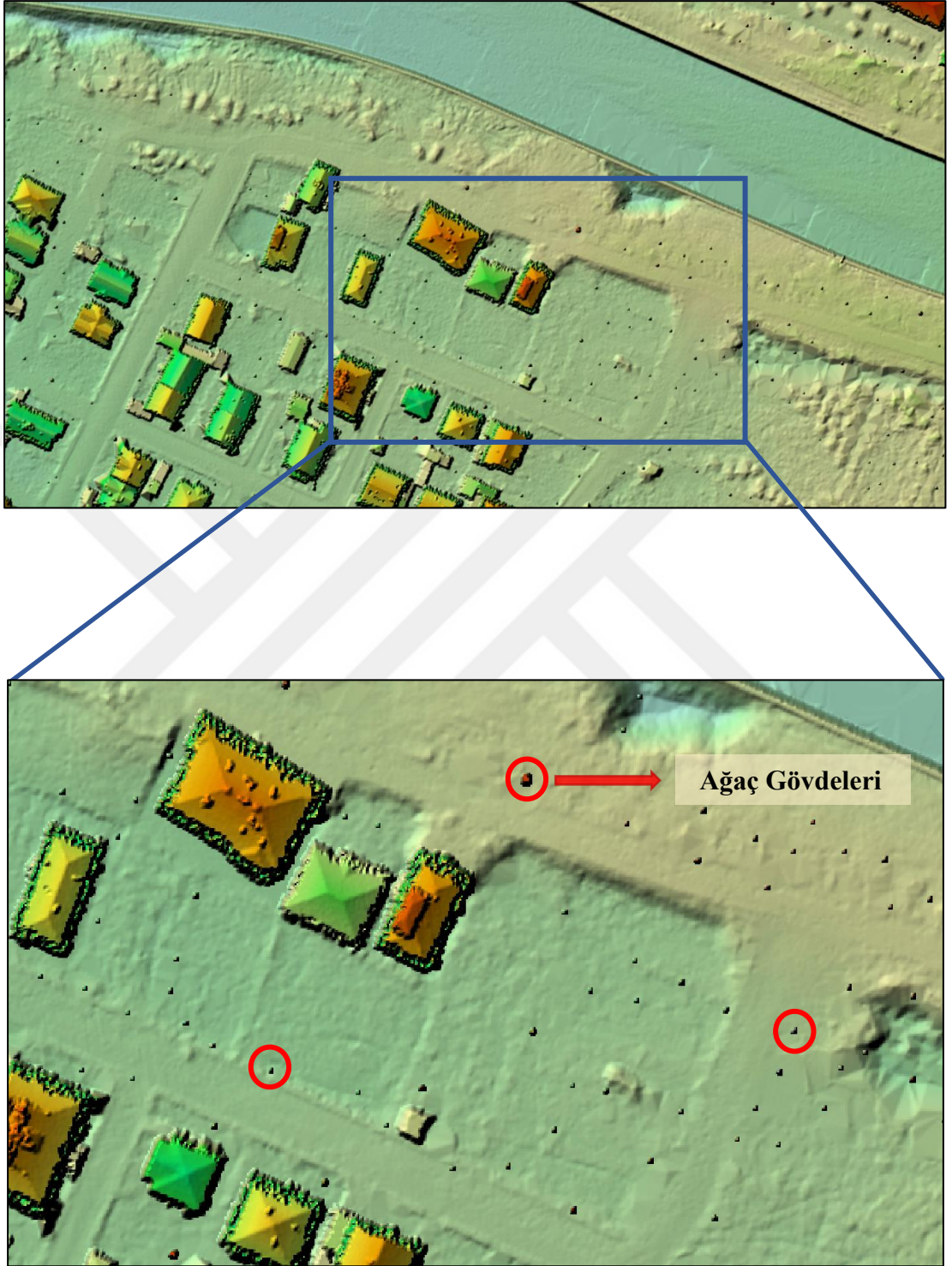


Şekil 47: Birleştirilmiş topografya, bina ve ağaç TIN yüzey modeli.

DSM_{bt} hücre dosya yapısında üretildiği için ağaçların konumuna ve gövde çaplarına bağlı olarak ağaç gövdeleri olduğundan farklı şekil ve sayıda hücre ile temsil edilmiştir (Şekil 48). Örneğin 40 cm çapındaki bir ağaç 2 hücre ile temsil edildiği için $25 \text{ cm} \times 2$ (hücre sayısı) = 50 cm ile temsil edildiği gözlenmiştir.



Şekil 48: Ağaç gövdelerinin DSM_{bt}'deki temsil örnekleri.



Şekil 49: Topografya, bina ve ağaç sayısal yüzey modeli (DSM_{bt}).

2.3. Ortofoto Üretimi

Taşkın modellerinde kullanılan önemli altlıklardan birisi de Manning n pürüzlülük katsayılarıdır. Bunlar için genel olarak arazi kullanımı verileri kullanılmaktadır. Bu kapsamda hava LiDAR verilerinden ortofoto üretimi önemli bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır. Ortofoto diğer yandan hava LiDAR verilerinin renklendirilmesinde ve özellikle nokta bulutunun el ile sınıflandırılmasında yardımcı bir veri kaynağıdır.

Hava LiDAR veri alımı ile eş zamanlı olarak hava LiDAR sistemine entegre edilen fotoğraf kamerasından elde edilen yüksek çözünürlük fotoğraflar kullanılarak ortofoto üretimi için öncelikli olarak sıkıştırılmış ham formatta bulunan fotoğraf dosyaları “*Hasselblad Phocus*” yazılımı ile “.tif” dosya yapısına çevrilmiştir. Ortofoto üretimi için gerekli olan sayısal yükseklik modeli sınıflandırılmış LiDAR nokta bulutundan “*model key point macrosu*” ile, dış yöneltme parametreleri ise daha önce LiDAR verisini dengelemek için üretilen “*trajectory (rota)*” dosyasından üretilmiştir. Lever-arm değerleri ve iç yöneltme parametreleri için yazılımda kullanılmak üzere bir “*kalibrasyon dosyası*” oluşturulmuştur.

Ortofoto üretimi için TerraSolid yazılımının TerraPhoto (V.019.010) modülü kullanılmıştır. Daha önce üretilmiş olan fotoğraflar, sayısal yükseklik modeli, dış ve iç yöneltme parametreleri ve YKN’ler kullanılarak havai nirengi işlemi yapılmış ve böylece fotoğrafların dengelenmesi sağlanmıştır.

Fotoğraflar dengelendikten sonra renk ve ton farklarını gidermek için “*renk dengeleme (color balance)*” işlemi yapılmıştır. Renk dengeleme işleminden sonra fotoğrafların kesiştiği bölgelerde bütünlüğü sağlamak için “*seamline*” işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm işlemlerden sonra paftalar halinde “10 cm çözünürlükte” (gsd) ortofoto üretilmiştir. Üretilen paftalar FME (V.2019.1) yazılımı ile birleştirilerek ortomozaik yapılmıştır (Şekil 50).

Bu çalışmada yüzeyin sürtünme değerlerinden ziyade sadece yüzey topografyasındaki değişkenleri çalışmada araştırıldığı için ortofoto üzerinden arazi kullanımı belirleme ve Manning n değeri belirlenmemiştir. Bütün yüzeyler 0.035

sürtünme katsayısı olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle Manning n değişkenliği elimine edilmiştir.



Şekil 50: Ortofoto örneği.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TARTIŞMA

3.1. Taşkın Hidrolik Model Sonuçları ve Sonuçların Karşılaştırılması

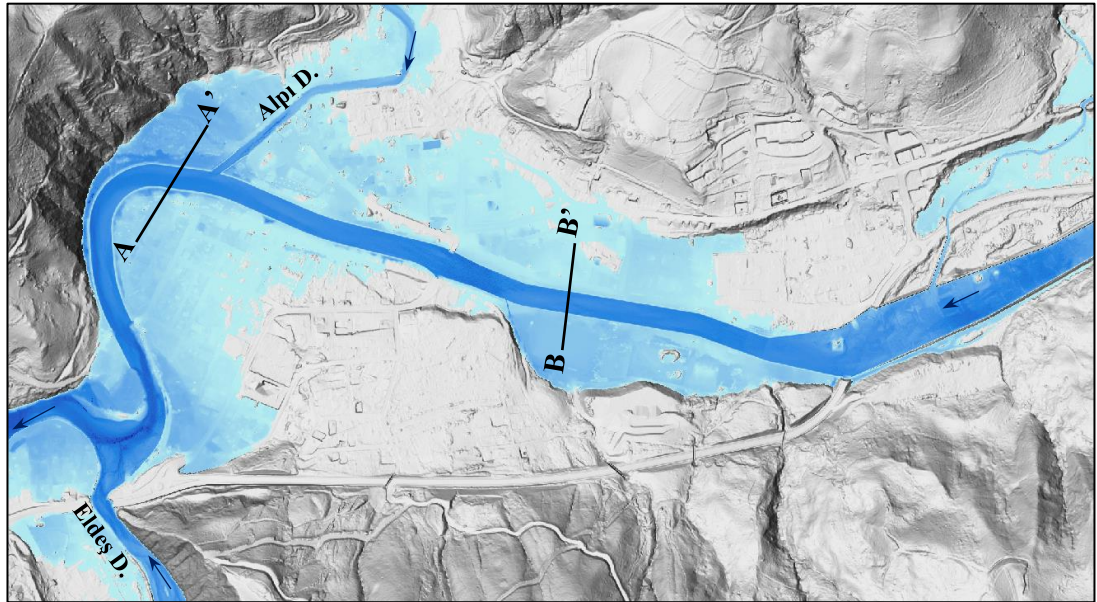
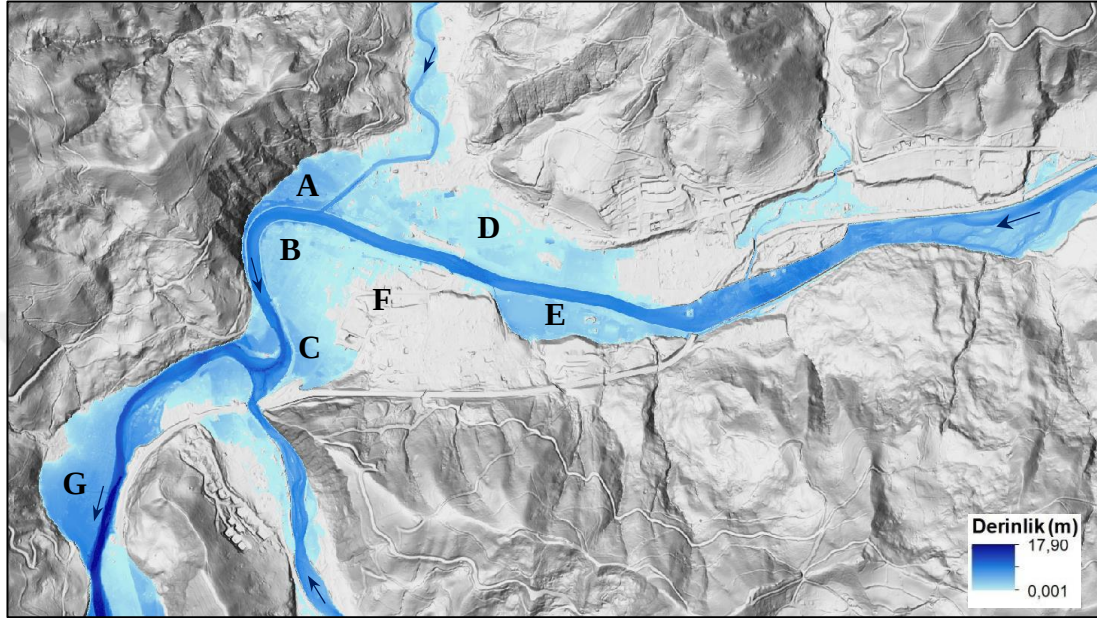
Çalışmada 2B hidrolik modeller için 25 cm çözünürlükte, topografyayı tanımlayan 1 sayısal yükseklik modeli ve bina ve ağaç detaylarını içeren 2 farklı sayısal yüzey modeli olmak üzere 3 farklı yükseklik modeli kullanılmıştır. Hidrolik modelde akarsuların birim hidrografları temelinde taşkın yayılım alanını ve derinliğini gösteren haritalar üretilmiştir.

Sayısal yükseklik modelinin (DEM) kullanıldığı 2B hidrolik modelde taşkın 125.7 hektar alana yayılmıştır. Çalışma sahasında taşkın, genel olarak Ulus Nehri'nin keskin kavisler çizdiği kuzeyden Alpı Deresi'nin ve güneyden Eldeş Deresi'nin Ulus Nehri'ne bağlandığı noktanın gerisinde (*Şekil 51; A, B, C bölgeleri*) dere ıslah

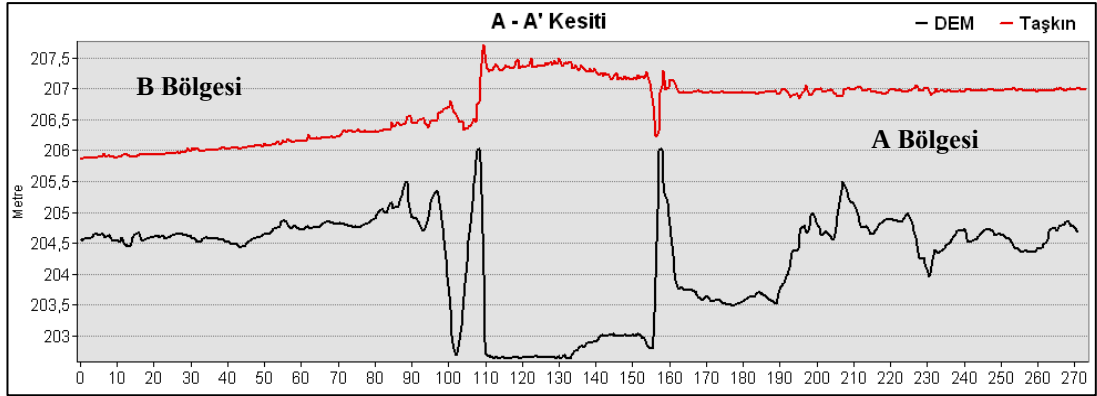
alışmaları kapsamında yapılan ıslah kanalının etrafındaki çevresine göre alçakta bulunan bölgelerde düz ve düze yakın alanlarda (**Şekil 51; D, E bölgeleri**) yayılış göstermiştir. Islah kanalının yüksekliğinin genel olarak yaklaşık 4 metre olduğu göz önüne bulundurulduğunda; taşkın alanının bu bölgede de diğer bölgelerle benzer bir taşkın yayılışı göstermesi beklenirken daha geniş bir yayılışa sahiptir. Taşkın bu bölgede daha geniş yayılış göstermesinin nedenleri incelendiğinde řu sonuçlara ulaşılmıştır. Ulus Nehri'nin 2 keskin kavis yapması nedeniyle suyun akış hızının azalması, Alpi ve Eldeş alt kollarının bu bölgede Ulus Nehri'ne bağlanması sonucu ıslah kanalına giren su miktarının artarak ıslah kanalın taşıma kapasitesinin üzerine çıkması ve ıslah kanalının kentin batısında 10 metre daralarak 40 metreden 30 metreye düşmesidir. Taşkın su yüzeyinin dağılımında ilginç bir noktada kuzeyde Alpi Deresi'nin kanala bağlandığı noktanın gerisinde ortalama 209 m yüksekliğe kadar olan alanlar (**Şekil 51; D bölgesi**) su altında kalırken güneyde hemen karşısında sahada ortalama 206 m yükseklikteki alanlarda (**Şekil 51; F bölgesi**) ise taşkın gerçekleşmemiştir. Bunun nedeni, Alpi deresi kanalı üzerinden Ulus Nehri ana kanalına bağlandığı noktanın akış yönüne göre gerisinde ve doğusunda kalan noktadaki topografik yüksekliğin duvarla birlikte yüksekliğinin 203 m olmasıdır. Alpi alt kolundan gelen su aynı hızla Ulus ana koluna deşarj olamaması sonucu geriye doğru şişme yapmış ve duvar yüksekliğinin en düşük olduğu bölgeden başlayarak kentin içinde 209 m'lere kadar yayılış göstermiştir.

DEM verisinin taşkın derinliğine etkisine bakıldığında; taşkın su derinliği ortalama 4,5 metrelik değer ile yüksek değerlere taşkın nleme amacı ile yapılan ıslah kanal üzerinde ulaşırken en yüksek değerlere ortalama 11 metrelik değer ile bölgenin güneybatısında (**Şekil 51; G bölgesi**) ulaşmıştır. Bu bölgede en yüksek değerlere ulaşmasının nedeni olarak karşımıza alt kolların Ulus ana koluna bağlanması ile bölgeye gelen su miktarının en yüksek seviyeye ulaşmasıdır. Taşkın yüksekliğinde bölgesel olarak Alpi Deresi'nin Ulus Nehrine bağlandığı noktanın batısındaki bölge (**Şekil 51; A bölgesi**) ile karşı kıyısındaki bölge (**Şekil 51; B bölgesi**) ortalama 204,5 metrelik değerle topografik olarak eşit yükseklik değerlerine sahip olsa da, taşkın su yüksekliği olarak farklı değerler göstermiştir (Şekil 52). Bu farklılık Ulus nehrinin kavis çizmesi nedeni ile su akış hızının azalması ve aynı bölgede Alpi Deresi'nin Ulus

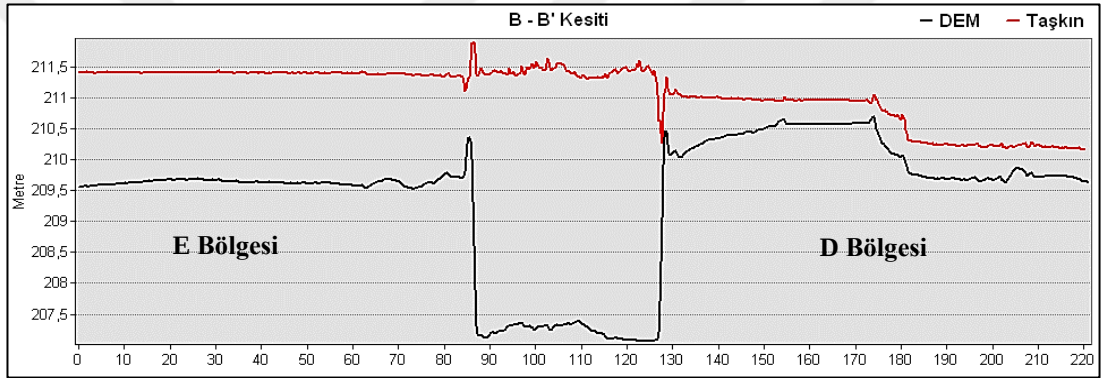
Nehri'ne bağlanması nedeni ile oluşmaktadır. Bölgenin güneyinde taşkın yüksekliği ortalama 1,2 metre iken kuzeyinde Alpi Deresi'nin batısında 2,5 metredir.



Şekil 51: DEM taşkın alanı yayılımı ve derinlik haritası.



Şekil 52: DEM taşkın A - A' kesiti.

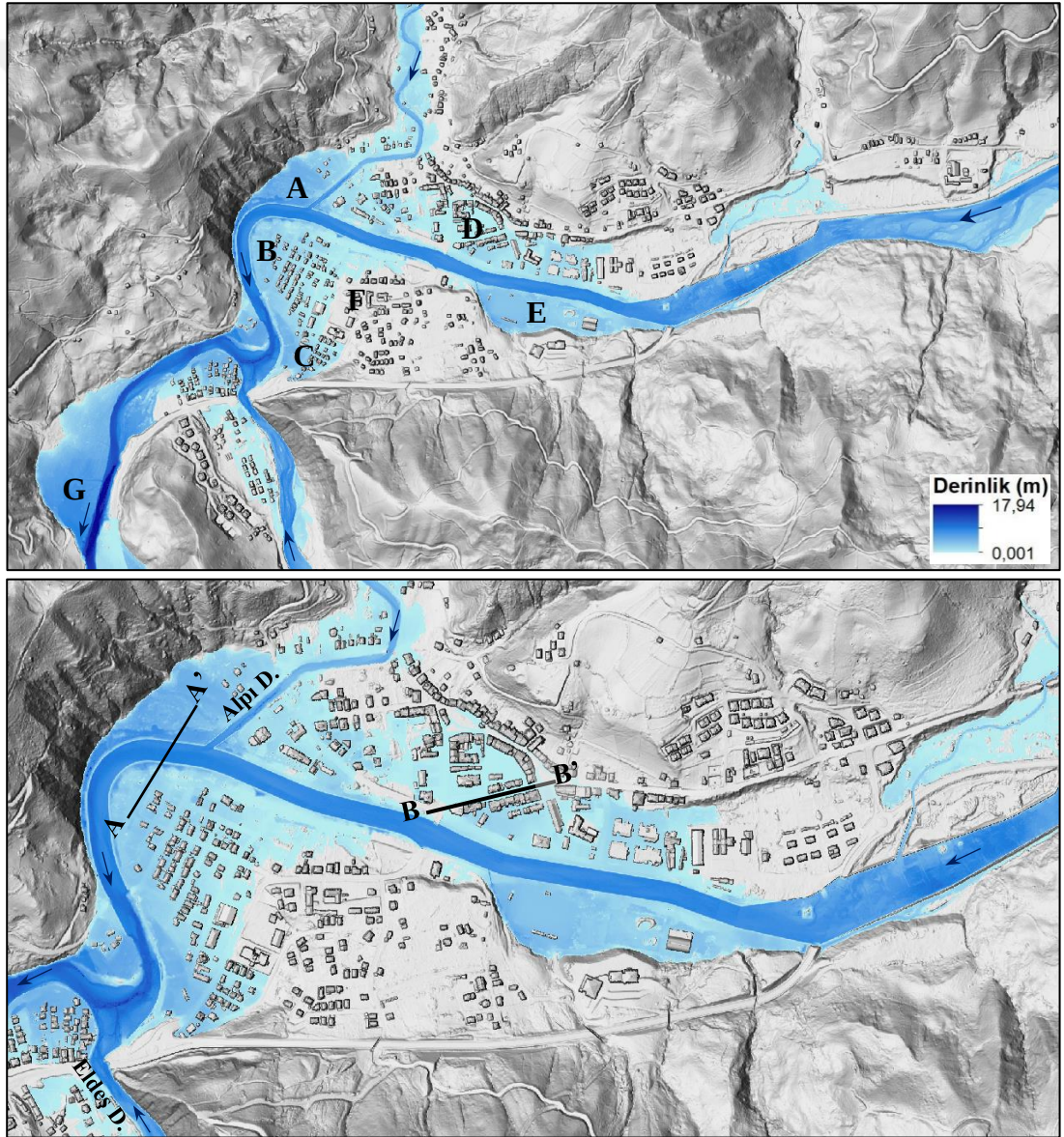


Şekil 53: DEM taşkın B - B' kesiti.

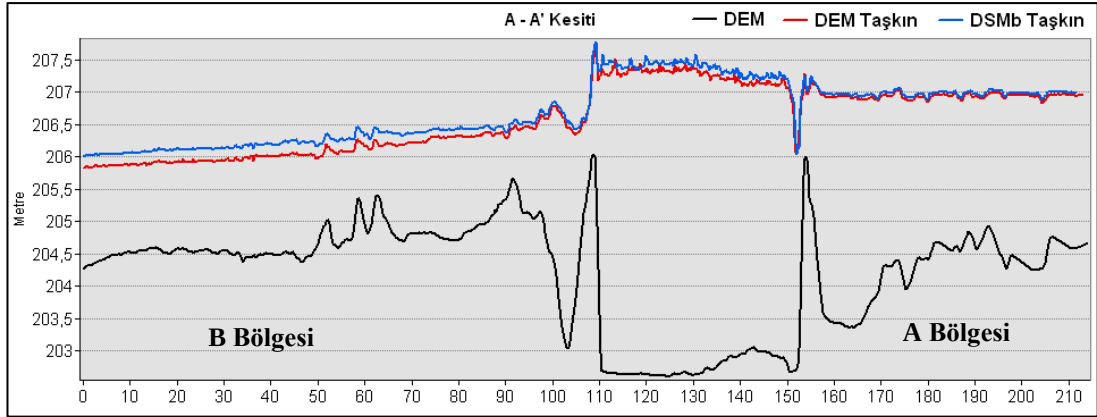
Taşkın ıslah kanalına bağlanan su kanalları da taşkın yayılışı ve taşkın su derinliği üzerinden rol oynamıştır. Su kanalının bulunduğu bölgenin güneyindeki düz alana (Ulus ilçe stadı ve çevresi, *Şekil 52; E bölgesi*) bağlanan kanal taşkın sırasında adeta bir tahliye kanalı gibi görev yapmış ve ıslah kanalındaki suyun bu bölgeye yayılmasına neden olmuştur. Bu bölgede taşkın derinliği kanalın karşı tarafında kalan bölgeden (*Şekil 52; E bölgesi*) daha fazla olmuştur (Şekil 53).

Topografya ve bina sayısal yüzey modelinde (DSM_b) ise taşkın alanı binaların kapladığı alanlarla birlikte 127 hektar olarak gerçekleşmiştir. TerraScan yazılımıyla üretilen 3B bina vektörleri (Şekil 59) üzerinden hesaplanan binaların taşkın alanını içinde toplam taban alanı ise 9,3 hektardır. Toplam taşkın alanından toplam bina alanını çıkardığımızda suyun yayıldığı alan ise 117,7 hektardır (Şekil 54). Bu sonuçlar taşkın hidrolik modelinde binaların taşkın yayılışını engelleyen ve yön veren bir unsur

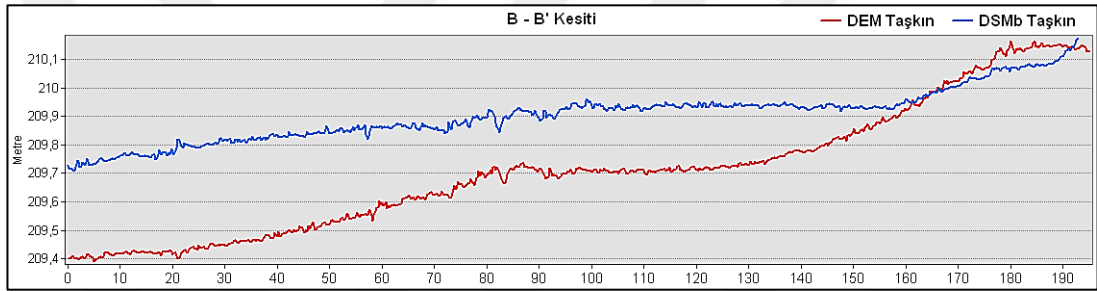
olduğunu ortaya koymaktadır. Binaların bir diğer etkisi ise taşkın su derinliği üzerinde olmuştur. Taşkın su derinliği, DEM'in kullanıldığı hidrolik model ile karşılaştırıldığında binaların bulunduğu bölgede ortalama 20 cm'lik bir artış göstermiştir. (Şekil 55). Bu ortalama derinlik değeri bina konumlarına ve şekillerine bağlı olarak (Şekil 56) ortalama 5 – 30 cm arasında değişkenlik göstermektedir. 1 - 2 metre arası yüksek farklar ise taşkın çıkış noktasında bölgenin güneybatısında (**Şekil 54; G Bölgesi**) görülmüştür.



Şekil 54: DSM_b taşkın alanı yayılış ve derinlik haritası.



Şekil 55: DSM_b taşkın A - A' kesiti.

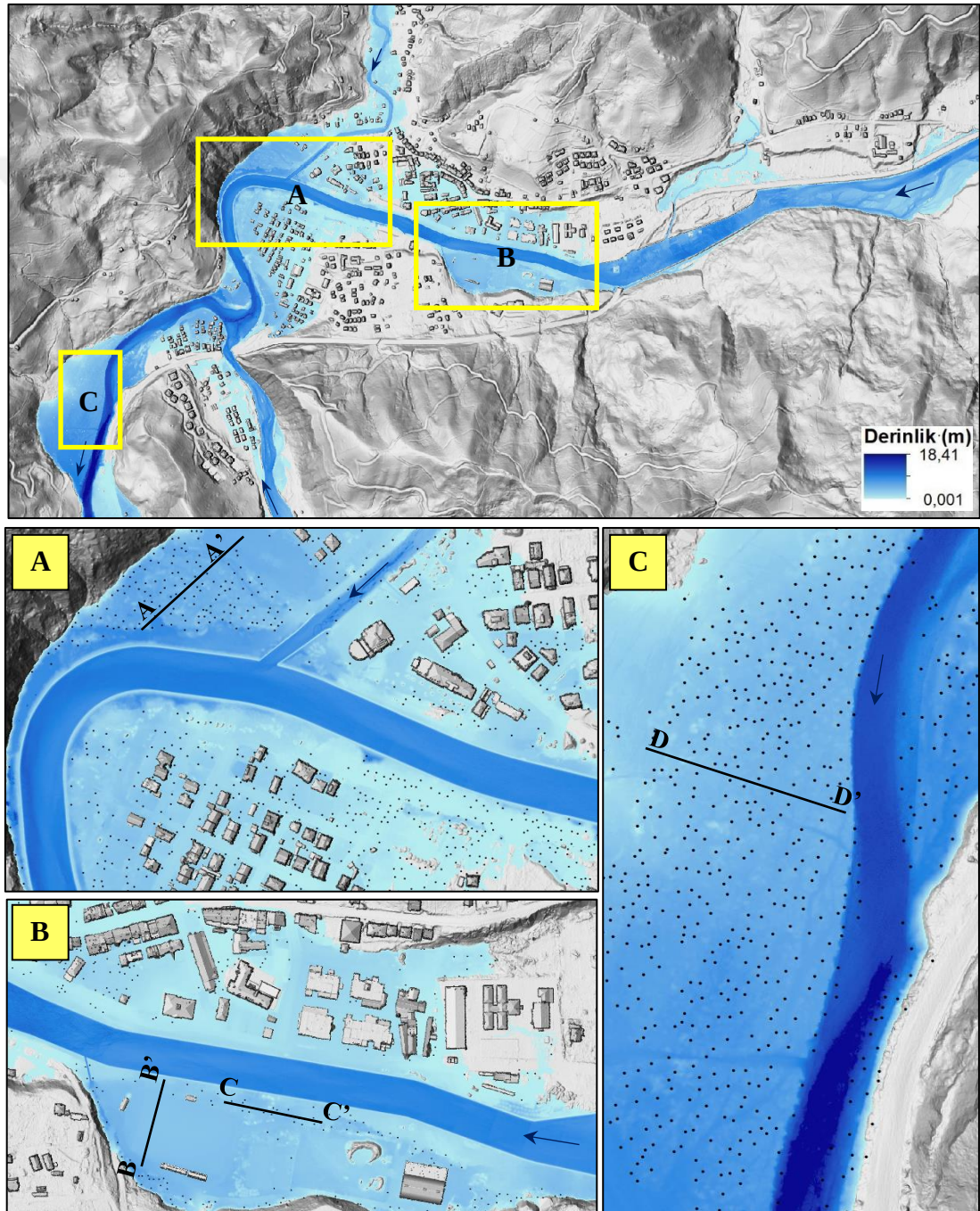


Şekil 56: DSM_b taşkın B - B' kesiti.

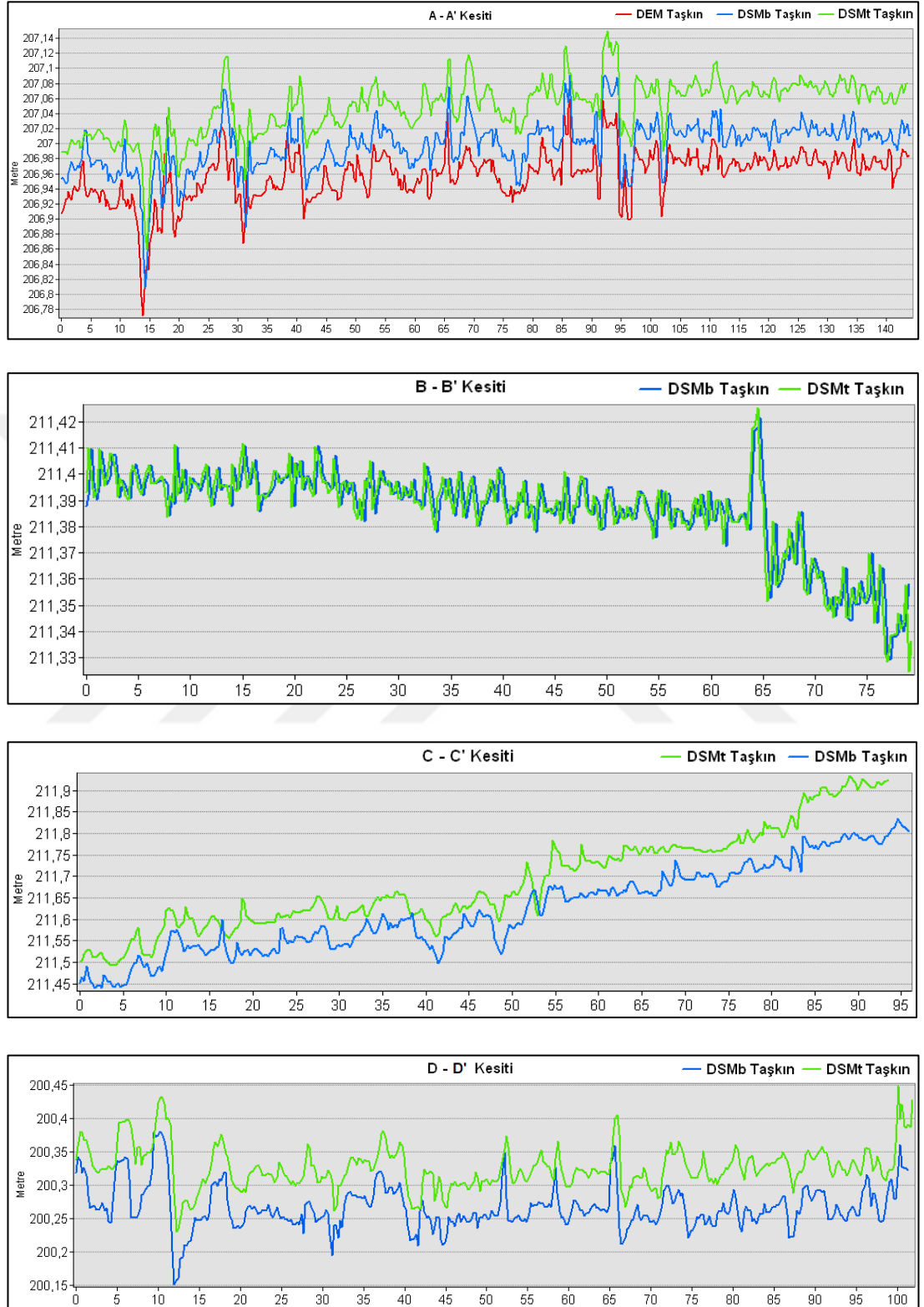
Topografya, bina ve ağaç sayısal yüzey modelinde (DSM_{bt}) taşkın 117.4 hektarlık bir alana yayılmıştır. Çok sınırlı birkaç nokta hariç DEM_b'nin kullanıldığı model ile aynı yayılımı göstermiştir. Taşkın alanın 4838 ağaçla hektar başına 41 ağaç düşen bir saha olduğu göz önüne alındığında bu sonuç tekil ağaç gövdelerinin taşkın yayılımında etkisinin oldukça az olduğunu göstermektedir. DSM_{bt}'nin taşkın derinliği üzerindeki etkisi oldukça sınırlı olmuştur.

DSM_{bt} taşkın su derinliği DSM_b ile karşılaştırıldığında ortalama 2 cm ile 15 cm arasında değişen daha derin değerler göstermiştir. Hektar başına ortalama 70 ağaç düşen ağaçlı bölgelerde (Şekil 57, 58; A - A', C - C', D - D' kesiti) ortalama 6 cm iken ağaçsız bölgelerde (Şekil 57, 58; B - B' kesiti) 1 cm ve altına kadar düşmektedir. Ağaçlı bölgeler içinde (Şekil 57, 58; D - D' kesiti) ise ortalama 10 m gibi mesafeler içinde su derinliğinin 2 cm ile 25 cm arasında değişim gösterdiği noktalar gözlemlenmiştir (Şekil 57). 1 - 2 metre arası yüksek farklar ise taşkın çıkış noktasında

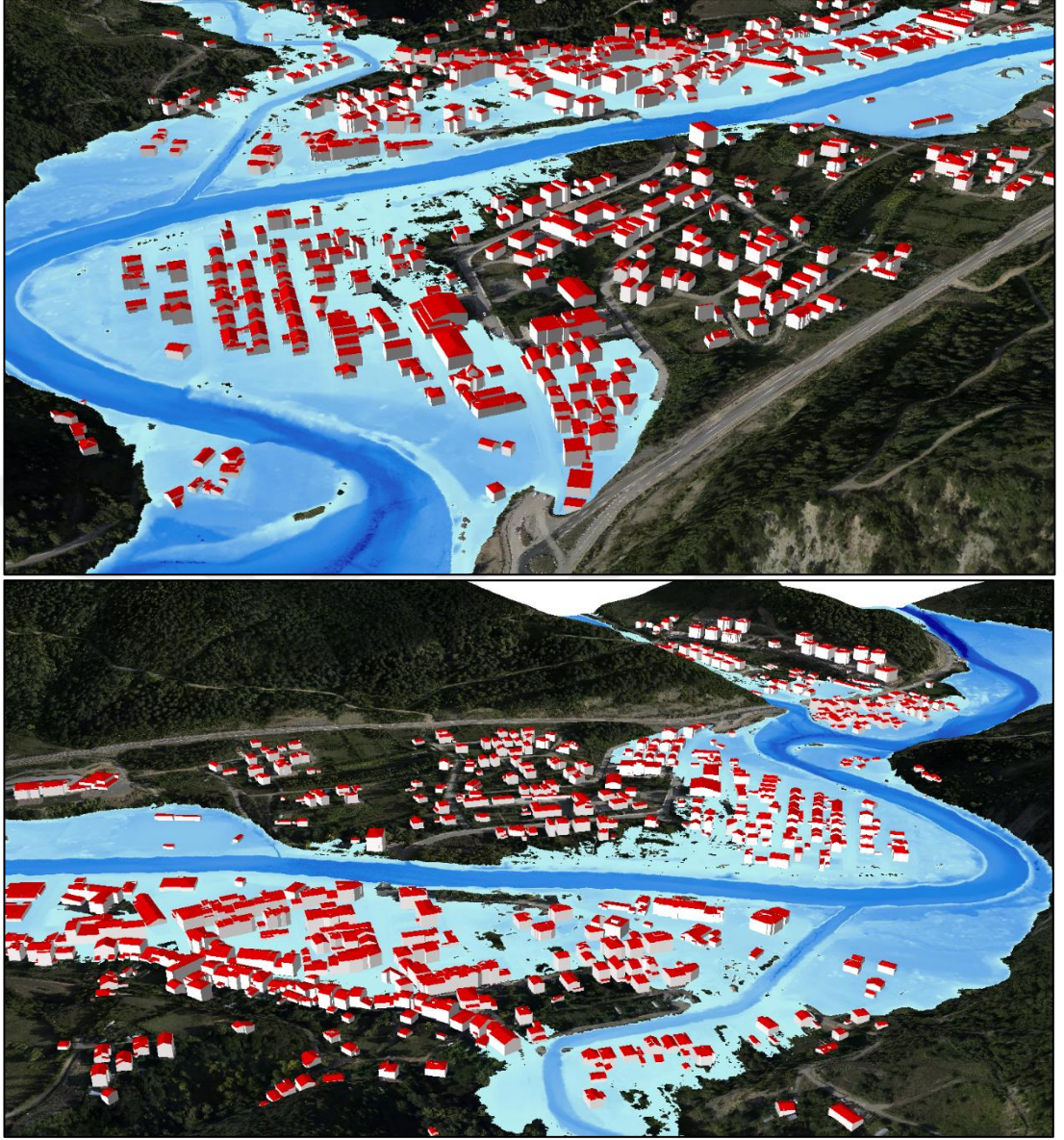
(Şekil 57; G Bölgesi) görülmüştür. DSM_{bt} taşkın su derinliği DSM_b ile karşılaştırıldığında taşkın su derinliği için genel olarak ifade edeceğimiz bu değerler yanında; 3 – 4 metre gibi kısa mesafelerde içerisinde değişen, ağaçlı bölgelerde 1 cm veya altında su derinliği farkı olan noktalar olduğu gibi ağaçsız bölge içerisinde de ortalama 6 cm su derinliği olan noktalarda bulunmaktadır.



Şekil 57: DSM_{bt} taşkın alanı yayılım ve derinlik haritası.



Şekil 58: DSM_{bt} taşkın A - A', B - B', C - C', D - D' kesitleri.



Şekil 59: 3B binalar ve taşkın yayılımı.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava LiDAR yöntemi, sel - taşkın hidrolik modelleri için gerekli olan DEM ve DSM'lerin üretilmesinde gelişen ve yaygınlaşan teknolojiye paralel olarak hızlı, ekonomik, veri doğruluğu ve hassasiyeti noktasında çok etkin bir yöntem olduğunu göstermiştir. Ülkemizde taşkın hidrolik modelleri için ilk kez uygulanan bu çalışmada hava LiDAR yönteminin özellikle kentsel alanlarda maliyetli ve zaman alıcı bir iş olan kentsel öğelerin detaylı bir şekilde haritalanmasında hızlı, ekonomik ve etkin bir yöntem olarak diğer yöntemlere alternatif olarak hidrolik modeller için en önemli veri kaynağı olacağı öngörülmektedir. Hava LiDAR sistemi ile elde edilen sayısal yükseklik ve yüzey modelleri, yüksek çözünürlük ve doğruluk özelliği ile taşkın hidrolik modellerinde çok detaylı analizlere imkân sağlamıştır. Kentsel alanlarda yollar, kanallar, kaldırımlar, menfezler, köprüler, binalar ve ağaçlar gibi kentsel öğelerin taşkın hidrolik modeline eklenerek arazinin gerçeğe yakın temsilini sağlayarak kentsel öğelerin taşkın üzerindeki etkilerini açıklamada önemli sonuçlar sunmuştur.

Sayısal yükseklik modelinin (DEM) kullanıldığı 2B hidrolik modelde 125.7 hektar alanı etkileyen taşkın yayılım alanında ve taşkın su derinliğinde;

- Akarsu yatak formunun,
- Ana akarsuya bağlanan alt kolların,
- Alt kolların bağlandığı noktaların
- Kanal ve menfezlerin

topografya yükseklikleri kadar önemli olduğu ve taşkın üzerinde olan etkisinde bazı noktalarda topografik yüksekliklere paralel hareket etmek yerine topografik yüksekliklerden bağımsız davrandığı gözlenmiştir.

DEM ile DSM_b'nin kullanıldığı hidrolik modeller karşılaştırması sonucunda DSM_b üzerinde 127 hektar alana yayılan taşkında; binaların taşkın yayılışında ve derinliğinde önemli bir etki oynamaktadır. Binalar bulunduğu konuma bağlı olarak bazı noktalarda bir bariyer oluşturarak taşkın yayılışına engel oluştururken bazı noktalarda ise taşkın daha geniş alanlara yayılmasına neden olmaktadır. Binaların en

önemli etkisi ise taşkın su derinliğinde olmuştur. Binalar konumlarına bağlı değişen değerlerde taşkın su yüksekliğini ortalama 20 cm artırmıştır.

Ağaç gövdelerinin yüzey sürtünme katsayıları (manning's n) ile ifade etmek yerine su akışına yön veren / engel olan su geçirimsiz objeler olarak bilimsel literatürde sayısal yükseklik ve yüzey modellerine ilk kez eklendiği bu çalışmada ağaçların taşkına olan etkileri incelendiğinde; ağaçlar taşkın yayılım alanında sınırlı bir etki ortaya koymuş (117.5 hektar) birkaç nokta hariç DSM_b ile aynı (117 hektar) alanda yayılım göstermiştir. Taşkın su yüksekliğine olan etkisi ise daha fazla olmuştur. Ağaçlı bölgelerde DSM_b 'ye kıyasla taşkın su yüksekliği ortalama 2 – 15 cm arasında daha fazla olmuştur.

Suyun akışına engel olan / yön veren su geçirimsiz objeler olarak sayısal modele eklenen ağaç gövdelerinin yüzey pürüzlülük kat sayısı ile birlikte değerlendirildiğinde rusubat taşınımı ve bunun taşkın üzerindeki etkileri ve ağaç gövdelerinin hücre yapısı yerine vektör nesne olarak taşkın üzerindeki etkileri araştırılmaya açık bir konulardır.

KAYNAKÇA

- ABDULLAH, A. F., VOJINOVIC, Z., PRICE, R. K., & AZIZ, A. A.: 2011, A Methodology For Processing Raw LiDAR Data To Support Urban Flood Modelling Framework. **Journal of Hydroinformatics**, 14, 75-92.
- ASPRS.: 2020, https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf adresinden alındı, 10 Nisan 2020.
- AXELSSON, P.: 1999, Processing Of Laser Scanner Data - Algorithms And Applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 138-147.
- BATES, P. D., ANDERSON, M. G., PRICE, D. A., HARDY, R. J., & SMITH, C. N.: 1996, Analysis and Development of Hydraulic Models for Floodplain Flows. M. G. Anderson, D. E. Walling, & P. D. Bates içinde, **Floodplain Processes** (s. 215-214). Chichester: John Wiley & Sons, Inc.
- BETHEL, J. S., VAN GELDER, B. H., CETIN, A. F., & SAMPATH, A.: 2006, **Corridor Mapping Using Aerial Technique**. West Lafayette: Joint Transportation Research Program.
- BORCS, A., & BENEDEK, C.: 2012, A Marked Point Process Model For Vehicle Detection In Aerial Lidar Point Clouds. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 93-98.
- BRETAR, F., PIERROT-DESEILLIGNY, M., & ROUX, M.: 2004, Solving The Strip Adjustment Problem of 3D Airborne Lidar Data. **Proceedings of the IEEE IGARSS'04** (s. 4737-4737). Anchorage, Alaska: igarss.
- BROWN, J., SPENCER, T., & MOELLER, I.: 2007, Modeling Storm Surge Flooding of An Urban Area With Particular Reference to Modeling Uncertainties: A Case Study of Canvey Island, United Kingdom. **Water Resources Research**, 43, W06402. doi:<https://doi.org/10.1029/2005WR004597>
- CASAS, A., BENITO, G., THORNDYCRAFT, V., & RIC, M.: 2006, The Topographic Data Source of Digital Terrain. **Earth Surface Processes and Landforms** (31).

- CHEN, Q.: 2007, Airborne Lidar Data Processing and Information Extraction. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 109-112.
- CHOI, Y.-W., JANG, Y.-W., LEE, H.-J., & CHO, G.-S.: 2008, Three-Dimensional LiDAR Data Classifying to Extract Road Point in Urban Area. **IEEE Geoscience Remote Sensing Letters**, 725-729.
- COBBY, D. M., MASON, D. C., & DAVENPORT, I. J.: 2001, Image Processing Of Airborne Scanning Laser Altimetry Data For Improved River Flood Modelling. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 56, 121-138
- COBBY, D. M., MASON, D. C., HORRITT, M. S., & BATES, P. D.: 2003, Two-dimensional Hydraulic Flood modelling Using a Finite-element Mesh Decomposed According To Vegetation and Topographic Features Derived From Airborne Scanning Laser Altimetry. **Hydrological Process**, 1979-2000.
- CROMBAGHS, M., BRUEGELMANN, R., & DE MIN, E.:2000, On the Adjustment of Overlapping Strips of Laser Altimeter Height. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, 230-237.
- ÇELİK, H., BAŞ, N., & ÇOŞKUN, H. G.: 2014, Taşkın Modelleme ve Risk Analizinde LiDAR Verisiyle Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi. **Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 4(1), 124.
- DELTA LİDAR.: 2020, <http://deltalidar.com/Hava-Lidar.aspx>. adresinden alındı, 7 Şubat 2020.
- DI BALDASSA, G., SCHUMANN, G., & BATES, P. D.: 2009, A Technique For The Calibration Of Hydraulic Models Using Uncertain Satellite Observations Of Flood Extent. **Journal of Hydrology**, 367, 276-282.
- DSİ.: 2019, **DSİ 2018 Yılı Faaliyet Raporu**. Ankara.
- DUONG, V., & GOURBESVILLE, P.: 2016, Model uncertainty in flood modelling. Case study at Vu Gia Thu. **Procedia Engineering** 154 (2016) 450 – 458, 450.
- ESRI.: 2020, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>. adresinden alındı, 2 Nisan 2020.

- EXCIMAP.: 2007, Handbook on good practice on flood mapping in Europe. Copenhagen: European Environment Agency.
- FAVALLI, M., FORNACIAI, A., & PARESCHI, T. M.: 2009, Lidar Strip Adjustment: Application to Volcanic Areas. **Geomorphology**, 123-135.
- FERNANDEZ, J. C., SINGHANIA, A., CACERES, J., SLATTON, K. C., STAREK, M., & KUMAR, R.: 2007, **An Overview of Lidar Point Cloud Processing Software, GEM Center Report No. Rep_2007-12-001**. Florida: Geosensing Engineering and Mapping (GEM), Civil and Coastal Engineering Department, University of Florida.
- FILIN, S., & VOSSELMAN, G.: 2004, Adjustment of Airborne Laser Altimetry Strips. **ISPRS 2004 : proceedings of the XXth ISPRS congress : Geo-imagery bridging continents** (s. 258-263). Istanbul: ISPRS.
- GISGEOGRAPHY.: 2020, <https://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/>. <https://gisgeography.com/>: <https://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/> adresinden alındı, 4 Nisan 2020.
- GLIRA, P., PFEIFER, N., BRIESE, C., & RESSL, C.: 2015, Rigorous Strip Adjustment Of Airborne Laserscanning Data Based On The Icp Algorithm. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 73.
- GORUM, T.: 2019, Landslide Recognition And Mapping In A Mixed Forest Environment From Airborne LiDAR Data. **Engineering Geology**, 258, 1-17.
- GUO, B., HUANG, X., ZHANG, F., & SOHN, G.: 2014, Classification Of Airborne Laser Scanning Data Using JointBoost. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 92, 124-136.
- HABIB, A. F., KERSTING, A. P., RUIFANG, Z., AL-DURGHAM, M., KIM, C., & LEE, D. C.: 2008, Lidar Strip Adjustment Using Conjugate Linear Features in Overlapping Strips. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. 37, s. 385-390. Beijing: ISPRS.

- HABIB, A., BANG, K., KERSTING, A. P., & CHOW, J.: 2010, Alternative Methodologies for LiDAR System Calibration. **Remote Sensing**, 875.
- HAILE, A. T., & RIENTJES, T. H.: 2005, Effects of LIDAR DEM resolution in flood modelling : a model sensitivity study for the city of Tegucigalpa, Honduras. **ISPRS 2005 : Vol. XXXVI Comm. 3 W19 proceedings of the ISPRS workshop laser scanning 2005** (s. 168-173). Enschede, The Netherlands: ed. by M.G. Vosselman and C. Brenner. Enschede : ITC.
- <https://bartin.afad.gov.tr/ilimizin-afet-tehlike-ve-riskleri>.: 2020, <https://bartin.afad.gov.tr>: <https://bartin.afad.gov.tr/ilimizin-afet-tehlike-ve-riskleri> adresinden alındı, 10 Mart 2020.
- <https://www.agsgis.com>.: 2020, https://www.agsgis.com/What-is-PDOP-And-Why-its-Obsolete_b_43.html. adresinden alındı, 27 Mart 2020.
- <https://www.mgm.gov.tr>.: 2020, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=BARTIN> adresinden alındı, 3 Mart 2020.
- <https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/bartin/ulus/>.: 2020, [milliyet.com.tr](https://www.milliyet.com.tr): <https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/bartin/ulus/bartinda-saganak-taskina-yol-acti-6136998> adresinden alındı, 10 Mart 2020.
- HUNTER, N. M., BATES, P. D., NEELZ, S., PENDER, G., VILLANUEVA, I., WRIGHT, N. G., MASON, D. C. V.D.: 2008, Benchmarking 2D Hydraulic Models For Urban Flooding. **Proceedings of the ICE - Water Management**, 161(1), 13-30.
- IHRC.: 2020, <http://lidar.ihrc.fiu.edu>. <http://lidar.ihrc.fiu.edu/aboutlidar.html>: <http://lidar.ihrc.fiu.edu/aboutlidar.html> adresinden alındı, 16 Mart 2020.
- KILIAN, J., HAALA, N., & ENGLICH, M.: 1996, Capture Andevaluation of Airborne Laser Scanner Data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Part B3**, 383-388.

- KINACI, C., AKBAŞ, H., ARAS, M., FINDIK, S., ÖZALTIN, A. M., SAKIN, I., DOĞANAY, E., V.D.: 2017, **Taşkın Yönetimi**. Ankara: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- KOMI, K., NEAL, J., TRIGGC, M. A., & DIEKKRUGERD, B.: 2017, Modelling Of Flood Hazard Extent In Data Sparse Areas: A Case Study Of The Oti River Basin, West Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, 122-132.
- KRAUS, K., & PFEIFER, N.: 1998, Determination Of Terrain Models In Wooded Areas With Airborne Laser. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 193-203.
- LI, W., GUO, Q., JAKUBOWSKI, M. K., & KELLY, M.: 2012, A New Method for Segmenting Individual Trees from the Lidar Point Cloud. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 71 (1), 75-84.
- LIN, C.-H., CHEN, J.-Y., SU, P.-L., & CHEN, C.-H.: 2014, Eigen-feature Analysis of Weighted Covariance Matrices for LiDAR Point Cloud Classification. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 70-79.
- LIN, K.-F., WANG, C.-P., & HSU, P.-H.: 2013, Object - Based Classification For Lidar Point Cloud. **34th Asian Conference on Remote Sensing 2013** (s. 1209-1216). Bali: Curran Associates, Inc.
- LOHMANN, P., KOCH, A., & SCHAEFFER, M.: 2000, Approaches To The Filtering Of Laser Scanner Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 540-547.
- MAAS, H.-G.: 2000, Least-Squares Matching with Airborne Laserscanning Data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, 33, 548-555.
- MASON, D. C., COBBY, D. M., HORRITT, M. S., & BATES, P. D.: 2003, Floodplain Friction Parameterization In Two-Dimensional River Flood Models Using Vegetation Heights Derived From Airborne Scanning Laser Altimetry. **Hydrological Processes**, 17, 1711-1732.

- MASON, D. C.,
HORRITT, M. S.,
HUNTER, M. N., &
BATES, P. D.: 2007,
Use of Fused Airborne Scanning Laser Altimetry And
Digital Map Data For Urban Flood Modelling.
Hydrological Processes, **21**, 1436-1447.
- MILLY, P. C.,
WETHERALD, R. T.,
DUNNE, K. A., &
DELWORTH, T. L.:
2002,
Increasing Risk Of Great Floods In A Changing
Climate. **Nature**, 514-517.
- MOUNTRAKIS, G.,
IM, J., & OGOLE, C.:
2011,
Support Vector Machines In Remote Sensing: A review.
**ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote
Sensing**, 247-259.
- MUJUMDAR, P. P., &
KUMAR, D. N.: 2012,
Floods in a Changing Climate Hydrologic Modeling.
Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- NEAL, J.,
SCHUMANN, G., &
BATES, P.: 2012,
A Subgrid Channel Model For Simulating River
Hydraulics And Floodplain Inundation Over Large And
Data Sparse Areas. **Water Resources Research**, **48**
(11), W11506.
- NEAL, J.,
SCHUMANN, G.,
FEWTRELL, T.,
BUDIMIR, M.,
BATES, P., &
MASON, D.: 2011,
Evaluating A New LISFLOOD-FP Formulation With
Data From The Summer 2007 Floods in
Tewkesbury, UK. **Journal of Flood Risk Management**,
4, 85-95.
- NOAA.: 2012,
**Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology,
Data, and Applications**.
<https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/lidar-101.pdf>
adresinden alındı, 02 Aralık 2019.
- OZDEMİR, H.,
SAMPSON, C., DE
ALMEIDA, G., &
BATES, P.: 2013,
Evaluating Scale and Roughness Effects In Urban Flood
Modelling Using Terrestrial LIDAR Data. **Hydrol.
Earth Syst. Sci.**, 4015-4030.
- ÖZDEMİR H., &
AKBAŞ, A.: 2020,
İHA Temelli Taşkın Tehlike Analizleri. Bursa: **Bursa
Uludağ Üniversitesi, BAP OUAP (F) - 2019/13 No'lu
Proje Raporu**.

- ÖZDEMİR, H.: 2012, Şehir Taşkınlarının Modellenmesinde Yersel Lidar Verilerinin Kullanımı: Alcester Örneği (İngiltere). **UJES 2012: III. Ulusal Jeomorfoloji Sempozyumu** (s. 719-728). Hatay, Türkiye: UJES.
- PFEIFER, N., SANDER, O. E., & FILIN, S.: 2005, Automatic Tie Elements Detection for Laser Scanner Strip Adjustment. **ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005"** (s. 174-179). Enschede: ISPRS.
- POLAT, N., & UYSAL, M.: 2015, Investigating Performance of Airborne LiDAR Data Filtering. **Measurement**, 61-68.
- RABER, G. T., JENSEN, J. R., HODGSON, M. E., TULLIS, J. A., DAVIS, B. A., & JUDITH, B.: 2007, Impact of Lidar Nominal Post-spacing on DEM Accuracy and Flood Zone Delineation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 793-804.
- SAMBERG, A.: 2007, An Implementation Of The Asprs Las Standard. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, 34, 363-372.
- SAYLAM, K.: 2009, Quality Assurance Of Lidar Systems - Mission Planning. **ASPRS 2009 Annual Conference** (s. 1). Baltimore, Maryland
- SHAKER, A., & EL-ASHMAWY, N.: 2012, Land Cover Information Extraction Using Lidar Data. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 39 (B7), 167-172.
- SKALLOUD, J.: 2007, Reliability of Direct Georeferencing - Beyond the Achilles' Heel of Modern. *Wichmann Verlag* (s. 227-241). **Heidelberg: Photogrammetric Week 2007.**
- SOLE, A., GIOSA, L., NOLÈ, L., MEDINA, V., & BATEMAN, A.: 2008, Flood Risk Modelling With LiDAR Technology. **Flood Recovery, Innovation and Response**, 118, 27-36. doi:doi:10.2495/FRIAR080031

- SYME, W., PINNELL, M., & WICKS, J.: 2004, Modelling Flood Inundation of Urban Areas in the UK Using 2D / 1D Hydraulic Models. **8th National Conference on Hydraulics in Water Engineering**. Australia.
- TERRASOLID.: 2020, *Terrasolid User Guides*. <http://www.terrasolid.com>: <http://www.terrasolid.com/guides/tscan/index.html> adresinden alındı, 15 Nisan 2020.
- TUNAY, M., & ATEŞOĞLU, A.: 2004, Bartın İli Sel Taşkın Sahalarındaki Değişimin Uzaktan Algılama Verileriyle İncelenmesi. **Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi (2)**, 60 - 72.
- TURNER , A. B., COLBY, J. D., CSONTOS , R. M., & BATTEN, M.: 2013, Flood Modeling Using a Synthesis of Multi-Platform LiDAR Data. **Water**, 5, 1533-1560.
- UNDRR, C. & CRED.: 2018, **Economic Losses Poverty & Disasters**, https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf adresinden alındı, 24 Nisan 2020
- USGS.: 2020, <https://www.usgs.gov/core-science-systems/ngp/3dep/what-is-3dep> adresinden alındı, 3 Mart 2020.
- UTLU, M., & ÖZDEMİR, H.: 2018, Havza Morfometrik Özelliklerinin Taşkın Üretmedeki Rolü Biga Çayı Havzası Örneği. **Coğrafya Dergisi**, 49-62.
- VOSSelman, G.: 2000, Slope Based Filtering Of Laser Altimetry Data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, 33, 935-942.
- WANG , Y.: 2015, Advances in Remote Sensing of Flooding. (M. Scholz, Dü.) **Water**, 6406.
- YAO, W., HINZ, S., & STILLA, U.: 2010, Automatic Vehicle Extraction From Airborne LiDAR Data Of Urban Areas Aided. **Pattern Recognition Letters**, 1100-1008.

YASTIKLI, N., &
CETIN, Z.: 2017,

Automatic 3d Building Model Generations With
Airborne Lidar Data. ISPRS Annals of the
Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial
Information Sciences, 2017, Volume IV-4/W4, 411.

YILMAZ, B.: 2006,

Bartın İli Ve Yakın Çevresi Peyzaj Özelliklerini
Etkileyen İklim Parametrelerinin Analizi ve
Değerlendirilmesi. **ZKÜ Bartın Orman Fakültesi
Dergisi**, 8 (9), 33 - 41.

ZHANG, C., ZHOU,
Y., & QIU, F.: 2015,

Individual Tree Segmentation from LiDAR Point
Clouds for Urban Forest Inventory. **Remote Sensing**,
7892-7913.

