KENTSEL LİDAR NOKTA BULUTUNUN CSF ALGORİTMASI İLE DOĞRULUK ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Berkan SARITAŞ

Eskişehir 2024

KENTSEL LİDAR NOKTA BULUTUNUN CSF ALGORİTMASI İLE DOĞRULUK ANALİZİ

BERKAN SARITAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. GORDANA KAPLAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

BERKAN SARITAŞ'ın KENTSEL LİDAR NOKTA BULUTUNUN CSF ALGORİTMASI İLE DOĞRULUK ANALİZİ başlıklı çalışması 23/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**Unvan Adı Soyadı**	**İmza**
Üye	: Doç. Dr. Gordana KAPLAN	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÜSTÜNER	

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

23/01/2024

DANIŞMAN ONAYI

Danışmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans öğrencisi BERKAN SARITAŞ, KENTSEL LİDAR NOKTA BULUTUNUN CSF ALGORİTMASI İLE DOĞRULUK ANALİZİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. GORDANA KAPLAN

ÖZET

KENTSEL LİDAR NOKTA BULUTUNUN CSF ALGORİTMASI İLE DOĞRULUK ANALİZİ

BERKAN SARITAŞ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2024

Danışman: Doç. Dr. GORDANA KAPLAN

Günümüzde kullanımı oldukça fazla olan uzaktan algılama teknolojilerinden olan LİDAR teknolojisi ile veri elde etme sayesinde oldukça hızlı ve güvenilir bir veri toplama aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tez çalışmamızda açık kaynak kodlu CloudCompare yazılımı içerisinde yer alan kumaş simülasyon filtresi (CSF) algoritması kullanılarak kentsel özellik taşıyan bir LİDAR nokta bulutunun filtrelenmesi ile sayısal arazi modelinin oluşturulması amaçlanmaktadır. Manuel müdahaleler ile gürültü noktalarının temizlenmesinin ardından CSF algoritmasında farklı örtü değerleri (0.1, 0.5, 1, 2 ve 5) girdi verisi olarak kullanılarak sayısal arazi modelinin oluşturulması incelenmektedir. Manuel müdahaleler ile bilgisayar ortamında oluşturulan referans model ile CSF algoritmasının kullanılması ile elde edilen modeller arasındaki hacim eşitsizliğinin hesaplanması sayesinde filtreleme işlemlerinde hangi örtü değerinin gerçeğe daha yakın sonuç verdiğinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Sonuç verileri incelendiğinde 0.5'lik örtü değerinin tercih edilmesi ile en doğru modelin üretildiğini gösterirken 5'lik örtü değerinin girdi verisi olarak seçilmesi sonucu ortaya çıkan model ile referans model arasındaki en büyük farkın oluştuğu gözlemlenmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen en doğru modelde dahi filtreleme işlemlerine manuel olarak müdahalelerin gerektiği görülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Uzaktan algılama, CSF, SAM, LİDAR, Doğruluk analizi

ABSTRACT

ACCURACY ANALYSIS OF URBAN LIDAR POINT CLOUD WITH CSF ALGORITHM

BERKAN SARITAŞ

Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2024

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. GORDANA KAPLAN

Thanks to the use of LIDAR technology, which is one of the remote sensing technologies that are used quite a lot today, it comes across as a very fast and reliable data collection tool. In our thesis, the aim of creating a numerical terrain model by filtering an urban LIDAR point cloud using the Cloth Simulation Filter (CSF) algorithm contained in the open source CloudCompare software is to create a digital terrain model. After cleaning the noise points with manual interventions, the creation of a numerical terrain model is studied by using different cover values (0.1, 0.5, 1, 2 and 5) as input data in the CSF algorithm. By calculating the volume disparity between the reference model created in a computer environment with manual interventions and the models obtained using the CSF algorithm, it allows determining which cover value gives a closer to the truth result in Deceleration operations. When the result data are examined, it is observed that the biggest difference between the model and the reference model is formed as a result of choosing the cover value of 0.5 and Deciphering the most accurate model, while choosing the cover value of 5 as input data. Even in the most accurate model obtained as a result of the examinations, it is seen that manual filtering operations require interventions.

Keywords: Remote sensing, CSF, DTM, LIDAR, Accuracy analysis

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her anında fikirleri ile yapıcı ve yönlendirici olan ve bu süreçte bilgisini, tecrübesini ve desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Gordana KAPLAN'a;

Bu tezin gerçekleşmesinde emekleri, katkıları ve sabırları için meslektaşım Nikita LOBATYİ başta olmak üzere bütün değerli arkadaşlarıma;

Hayatımın her aşamasında, yaptığım her işte sonsuz desteklerini, katkılarını ve yol göstericiliklerini gördüğüm, her an yanımda olan aileme;

Sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

BERKAN SARITAŞ

23/01/2024

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan "bilimsel intihal tespit programı"yla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

BERKAN SARITAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI ..... **I**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ..... **II**

DANIŞMAN ONAYI ..... **III**

ÖZET ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

TEŞEKKÜR ..... **VI**

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ ..... **VII**

İÇİNDEKİLER ..... **VIII**

TABLOLAR DİZİNİ ..... **X**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **XI**

GÖRSELLER DİZİNİ ..... **XII**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **XVI**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Literatür Taraması **2**

1.2. Tez Çalışmasının Amacı **9**

1.3. Tez Çalışmasının Yapısı **9**

2. LİDAR **10**

2.1. Yersel Lazer Tarama **11**

2.2. Havadan Lazer Tarama **12**

2.3. Nokta Bulutu **14**

2.4. Nokta Bulutu Filtreleme **15**

2.4.1. Cloth Simulation Filter (Kumaş Simülasyon Filtrelemesi) algoritması **16**

2.4.2. Filtreleme algoritmalarının türleri **17**

2.4.1.1 Morfolojik filtreleme algoritmaları ***17***

2.4.1.2. Kademeli sınıflandırma filtreleme algoritmaları ***18***

2.4.1.3. Yüzey temelli filtreleme algoritmaları 18
2.4.1.4. Parçalara ayırma ve kümeleme tabanlı filtreleme algoritmaları 19
2.5. Sayısal Yüzey Modeli (SYM) 19
2.6. Sayısal Arazi Modeli (SAM) 20
2.7. LAS Dosya Formatı 21
3. UYGULAMA 22
3.1. Çalışma Esnasında Kullanılan Yazılımlar 23
3.1.1. CloudCompare 23
3.1.2. Autodesk ReCAP 24
3.1.3. AutoCAD Civil 3D 24
3.1.4. ArcMap 25
3.2. Çalışma Alanı ve LİDAR Nokta Bulutuna Ait Özellikler 25
3.2.1. Çalışma alanı 25
3.2.2. LİDAR nokta bulutu verisi 26
3.3. Metadoloji 28
3.3.1. LİDAR verilerinde Noise Filtresinin kullanımı 28
3.3.2. Referans SAM oluşturulması 34
3.3.3. LİDAR verilerinde CSF Algoritmasının kullanılması 44
3.3.4. Filtreleme çalışmalarına ait doğruluk analizi 48
3.3.5. Doğruluk analizi işlemlerinin raster verileri ile desteklenmesi 50
3.4. Sonuç 63
4. TARTIŞMA 79
5. ÖNERİLER 83
KAYNAKÇA 85
EKLER
ÖZGEÇMİŞ

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Noise Filtrelemesi kullanılarak temizlenen nokta bulutuna ait nokta sayıları 34
Tablo 3.2. CSF Algoritması ile oluşturulan LİDAR verilerine ait nokta sayıları 45
Tablo 3.3. Kentsel LİDAR verisi doğruluk analizi sonuçları 63
Tablo 3.4. CSF 0.1 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu 64
Tablo 3.5. CSF 0.5 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu 67
Tablo 3.6. CSF 1 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu 70
Tablo 3.7. CSF 2 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu 73
Tablo 3.8. CSF 5 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu 76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. CSF Algoritması çalışma prensibi (http-2) 17
Şekil 3.1. İş akış diyagramı (Sarıtaş & Kaplan, 2024) 22
Şekil 3.2. Kesit düzeni 44
Şekil 3.3. Referans SAM ve filtreleme sonucu oluşturulan SAM arasındaki fark (Sarıtaş & Kaplan, 2023b) 48
Şekil 3.4. Sayısal arazi modellerinin karşılaştırılması (Sarıtaş & Kaplan, 2023b) 49

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. Analizler için kullanılan Üsküp Şehrindeki çalışma alanı (Adjiski et al., 2023) 25
Görsel 3.2. LiDAR çalışma alanı (Kaplan et al., 2022) 26
Görsel 3.3. Kentsel alan LİDAR verilerinin CloudCompare yazılımında görüntülenmesi (Sarıtaş & Kaplan, 2023a) 27
Görsel 3.4. Kentsel alan LİDAR verilerinin üstten bakış açısı ile CloudCompare yazılımında görüntülenmesi 27
Görsel 3.5. Kentsel alan LİDAR verilerinde yer alan gürültü noktalarının CloudCompare yazılımında görüntülenmesi 28
Görsel 3.6. Kentsel alan LİDARverilerinde yer alan gürültü noktalarının yoğunluk renk skalası olarak CloudCompare yazılımında görüntülenmesi 29
Görsel 3.7. Noise Filtresinde komşuluk değerinin 1 olarak seçilmesi sonucunda elde edilen LİDAR nokta bulutu 30
Görsel 3.8. (a) Komşuluk değeri 1 olarak kabul edilen Noise Filtrelemesi sonucunda elde edilen veri ile (b) Orjinal nokta bulutunun karşılaştırılması – 1 30
Görsel 3.9. (a) Komşuluk değeri 1 olarak kabul edilen Noise Filtrelemesi sonucunda elde edilen veri ile (b) Orjinal nokta bulutunun karşılaştırılması – 2 30
Görsel 3.10. (a) Komşuluk değeri 1 olarak kabul edilen Noise Filtrelemesi sonucunda elde edilen veri ile (b) Orjinal nokta bulutunun karşılaştırılması- 3 31
Görsel 3.11. (a) Orjinal nokta bulutu , (b) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri , (c) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 3 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (d) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (e) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 7 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (f) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 9 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri karşılaştırması - 1 32

Görsel 3.12. (a) Orjinal nokta bulutu , (b) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri , (c) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 3 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (d) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (e) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 7 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (f) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 9 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri karşılaştırması – 2 33
Görsel 3.13. Cloud Layer penceresinin çalıştırılması 35
Görsel 3.14. Zemin harici sınıfların silinmesi ile yalnızca zemin ve zemin harici verilerin iki farklı sınıfta ekrana yansıması 35
Görsel 3.15. SF Display Params alanında yer alan grafikte verinin iki farklı sınıfta yer aldığının görüntülenmesi 36
Görsel 3.16. Zemin ve zemin dışı verinin elde edilmesi 37
Görsel 3.17. Zemin sınıfına ait nokta bulutunun yalnız bırakılması sonucu elde edilen veri (Sarıtaş & Kaplan, 2023a) 37
Görsel 3.18. Çalışma bölgesine ait Google Earth görüntüsü (http-10) 38
Görsel 3.19. (a) Yakından incelenen alana ait Google Earth görüntüsü (http-10), (b) Yakından incelenen alana ait sınıflandırılan LİDAR nokta bulutu verisi -1 38
Görsel 3.20. Alana ait görüntünün incelenmesi -1 (http-10) 39
Görsel 3.21. (a) Yakından incelenen alana ait Google Earth görüntüsü (http-10), (b) Yakından incelenen alana ait sınıflandırılan LİDAR nokta bulutu verisi -2 (Sarıtaş & Kaplan, 2023b) 39
Görsel 3.22. Alana ait görüntünün incelenmesi -2 (http-10) 40
Görsel 3.23. (a) Yakından incelenen alana ait Google Earth görüntüsü (http-10), (b) Yakından incelenen alana ait sınıflandırılan LİDAR nokta bulutu verisi -3 40
Görsel 3.24. Alana ait görüntünün incelenmesi -3 (http-10) 41
Görsel 3.25. CloudCompare yazılımında oluşturulan referans modelin Autocad Civil 3D yazılımına aktarılması (Sarıtaş & Kaplan, 2024) 42
Görsel 3.26. Autocad Civil 3D yazılımında ‘’Create TIN Surface from Point Cloud’’ penceresi 42
Görsel 3.27. Autocad Civil 3D yazılımında filtre yönteminin seçilmesi 43

Görsel 3.28. Autocad Civil 3D yazılımında oluşturulan üçgen model (Sarıtaş & Kaplan, 2024) 43
Görsel 3.29. (a) Gürültü noktaları temizlenen nokta bulutu, (b) CSF Algoritması örtü değerinin 0.1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (c) CSF Algoritması örtü değerinin 0.5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (d) CSF Algoritması örtü değerinin 1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (e) CSF Algoritması örtü değerinin 2 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (f) CSF Algoritması örtü değerinin 5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri karşılaştırması – 1 46
Görsel 3.30. (a) Gürültü noktaları temizlenen nokta bulutu, (b) CSF Algoritması örtü değerinin 0.1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (c) CSF Algoritması örtü değerinin 0.5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (d) CSF Algoritması örtü değerinin 1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (e) CSF Algoritması örtü değerinin 2 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (f) CSF Algoritması örtü değerinin 5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri karşılaştırması – 2 (Sarıtaş & Kaplan, 2023a) 47
Görsel 3.31. Referans SAM'ın ArcMap yazılımına aktarılması 51
Görsel 3.32. CSF 0.1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması 51
Görsel 3.33. CSF 0.5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması 52
Görsel 3.34. CSF 1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması 52
Görsel 3.35. CSF 2 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması 53
Görsel 3.36. CSF 5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması 53
Görsel 3.37. Referans SAM'a ait TIN veri modeli 54
Görsel 3.38. CSF 0.1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli 54
Görsel 3.39. CSF 0.5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli 55
Görsel 3.40. CSF 1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli 55
Görsel 3.41. CSF 2 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli 56

Görsel 3.42. CSF 5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli 56
Görsel 3.43. Referans modele ait raster görüntü 57
Görsel 3.44. CSF 0.1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü 57
Görsel 3.45. CSF 0.5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü 58
Görsel 3.46. CSF 1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü 58
Görsel 3.47. CSF 2 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü 59
Görsel 3.48. CSF 5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü 59
Görsel 3.49. Referans SAM ve CSF 0.1 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü 60
Görsel 3.50. Referans SAM ve CSF 0.5 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü 61
Görsel 3.51. Referans SAM ve CSF 1 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü 61
Görsel 3.52. Referans SAM ve CSF 2 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü 62
Görsel 3.53. Referans SAM ve CSF 5 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü 62
Görsel 3.54. Referans SAM ve CSF 0.1 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri 64
Görsel 3.55. Referans SAM ve CSF 0.5 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri 67
Görsel 3.56. Referans SAM ve CSF 1 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri 70
Görsel 3.57. Referans SAM ve CSF 2 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri 73
Görsel 3.58. Referans SAM ve CSF 5 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri 76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

3B	:	Üç Boyutlu
SYM	:	Sayısal Yükseklik Modeli
SAM	:	Sayısal Arazi Modeli
1D	:	Bir Boyutlu
MCC	:	Multiscale Curvature Classifaciton (Çok Ölçekli Eğrilik Sınıflandırması)
HRI	:	Hierarchical Robust İnterpolation (Hiyerarşik Sağlam Enterpolasyon)
ETEW	:	Elevation Threshold With Expanded Window (Genişletilmiş Pencereli Yükseklik Eşiği)
Morph	:	Prograssive Mor Phology 1D (Aşamalı Morf Folojisi 1D)
Morph2D	:	Prograssive Mor Phology 2D (Aşamalı Morf Folojisi 2D)
ATIN	:	Adaptive TIN Densification (Uyarlanabilir TIN Yoğunlaştırma)
nDSM	:	Normalized Digital Surface Model (Normalleştirilmiş Sayısal Yüzey Modeli)
2D	:	İki Boyutlu
LİDAR	:	Light Imaging Detection And Ranging (Işık Görüntüleme Algılama ve Değişme)
RGB	:	Kırmızı, Yeşil, Mavi
YLT	:	Yersel Lazer Tarama
MLT	:	Mobil Lazer Tarama
HLT	:	Hava Lazer Tarama
RMSE	:	Roor Mean Squared Error (Karesel Ortalama Hata)
m^2	:	Metre kare
m	:	Metre
%	:	Yüzde
nm	:	Nanometre
GPS	:	Global Positioning System (Küresel Konunlama Sİstemi)
IMU	:	Inertial Measurement Unit (Atalet Ölçü Birimi)
ASCII	:	American Standard Code for Information Interchange (Bilgi Değişimi İçin Amerikan Standart Kodu)
CSF	:	Cloth Simulation Filter (Kumaş Simülasyon Filtresi)

m^3	:	Metre Küp
ICF	:	Iterative Closest Point (Yinelemeli En Yakın Nokta)
TIN	:	Triangulated Irregular Network (Üçgen Düzensiz Ağ)

1. GİRİŞ

İnsanoğlu eski tarihlerden günümüze gelene kadar çevrelerinde olan olay ve yapıtlardan etkilenmiş olup, bu durumlara ait olan bilgilere ulaşma ihtiyacı duymuşlar ve bu bilgilere ulaşırken farklı disiplinlere sahip bilim alanlarından yararlanmaktadırlar. Bu alanların başında uzaktan algıma teknolojileri gelmektedir (Döş & Uysal, 2019).

Yaşamakta olduğumuz bilgi çağında, bilgiye doğrudan ulaşmanın yanı sıra bilgiyi daha az maliyetle, güvenilir ve hızlı bir biçimde elde etmek hedeflenmektedir (Başambar et al., 2021). Uzaktan algılama teknolojileri yer, hava, uydu platformlarında yer alan algılayıcılar sayesinde elde edilen veriler değerlendirilerek çalışma alanında yer alan nesneler ve çevreleri hakkındaki bilgilere ulaşılabilmektedir (Döş & Uysal, 2019).

Son yıllarda teknolojinin gelişmesindeki ivme genel olarak her alanda gerçekleştiği gibi uzaktan algılama alanında da görülmektedir (Yurtsever, 2023). Uzaktan algılama genel anlamıyla cisimlere direk temas etmeksizin cisimler hakkında veri toplama yöntemi olarak tanımlanabilmektedir. Uzaktan algılama yeryüzünün ve yer kaynaklarının incelenmesi amacı ile birçok alanda kullanılabilmektedir (Başambar et al., 2021).

İnsanoğlunun yaşam kalitesini arttıran önemli bir araç ortaya çıkmakla birlikte uzaktan algılamadaki gelişmeler gelecek nesilleri için insan yaşamına daha fazla fayda getirmeyi vaat etmektedir (Sevinç Tigin, 2023). İnsansız hava araçları ile yerden kontrol edilebilir olmak gibi otomatik uçuş planlaması da yapılabilir ve herhangi bir pilotaj bulunmaması cazip duruma gelmesini sağlamakta olup genellikle üzerlerine yerleştirilen kameralar ile çalışmaktadırlar ve haritacılıkta çok farklı alanlarda kullanılmaktadır (Akgül et al., 2016; Makineci, 2016).

3 boyutlu (3B) yoğun nokta bulutlarına duyulan ihtiyaç günümüzde gittikçe artmakta ve teknolojik gelişmeler ile üretilmektedir (Çakmak et al., 2022). Uzaktan algılama teknolojilerine bakıldığında özellikle son yıllarda artışa geçen coğrafi veri gereksinimini ve 3B yoğun nokta bulutu ihtiyacını hızlı bir biçimde karşılamakta önemli bir seçenek ortaya koymaktadır. İlk etaplarda düşük çözünürlüğe sahip uzaktan algılama verileri, gelişen teknoloji sayesinde uydu ve algılayıcı teknolojisinin yanı sıra yazılım ve bilgisayar alanlarında olan ilerlemeler ile optik çözümlerin yardımlarının özellikle 2000'li yılların başından itibaren çok daha yüksek çözünürlükteki veriler elde edilebilmekte ve yer temsiliyeti çok daha yüksek olan bu veriler mesleki ve akademik çalışmaların önemli bir bileşeni haline gelmektedir (Uça Avcı et al., 2015).

Modern uzaktan algılama teknolojileri bilhassa geniş çapta olan bölgelerin izlenmesi ve haritalanmasını kapsayan uygulamalarda geleneksel ölçü yöntemlerinin yerini kısımca almaktadır. Lazer tarama teknolojilerinden yersel lazer tarama (YLT), mobil lazer tarama (MLT) ve hava lazer tarama (HLT) teknolojileri gibi uydulardan, havadan yahut yerden elde edilen görüntülerin her biri uzaktan algılama yöntemlerindendir. Uzaktan algılama teknolojileri kullanım alanları incelendiğinde harita oluşturmanın yanı sıra 3B kent modelleri ile 3B bina modellerinin oluşturulması, arazi kullanım şekillerinin tespiti, doğal afetlerin izlenmesi gibi uygulamalar yer almaktadır. Uzaktan algılama yöntemleri ile yer yüzüne ait bütün yükseklik bilgilerini içeren sayısal yüzey modeli (SYM) oluşturulabilmektedir. Yer yüzeyinde yer almakta olan her çeşit insan yapımı olan yapılar ile her türlü insan yapımı olmayan yapıların 3B konum bilgileri yer alan modeller SYM olarak adlandırılırken yalnızca arazinin saf yüzeyinin yani literatürdeki isimlendirilmesi ile çıplak arazi yüzeyinin gösterildiği başka bir deyişle yer yüzeyine ait olmayan yani insan yapımı yapıların çıkartıldığı modeller ise sayısal arazi modeli (SAM) olarak isimlendirilmektedir (Uray, 2022)

1.1. Literatür Taraması

Podopnikar T. Ve Vrecko A. (2012) çalışmalarında homojen ve nitelikli bir SYM üretmek için çıplak araziye ait olan nokta bulutunun çıkartılması amaçlanmaktadırlar. Bu işlemlerini seçmiş oldukları açık kaynak yazılımlarda yer almakta olan çeşitli filtreleme teknikleri kullanarak çözüme kavuşturmaktadırlar. Çalışmalarının metodolojisine bakıldığında çalışma bölgelerinde uyguladıkları birbirinden farklı olan filtreleme yöntemlerinin avantalarını değerlendirdikleri gibi dezavantajlarını da değerlendirmektedirler. Çalışma bölgelerine en uygun filtreyi elde ettikleri ürüne göre bölgeselleştirme ve farklı filtrelenmeler ile elde edilen nokta bulutları, bu nokta bulutlarının bölgeleri dikkate alınarak veri füzyonu oluşturulması gibi son olarak standart bir algoritma kullanarak bir enterpolasyon yapmakta çalışmalarının metodolojileri arasında yer almaktadır. Elde etmiş oldukları SYM verisini hierarchical robust interpolation (HRI), multiscale curvature classifacition (MCC) ve LAStools filtrelemesi ile filtrelenen lokal nokta bulutlarının enterpolasyonu oluşturmaktadırlar. Uygulamakta oldukları metodolojinin en faydalı yanı seçilen veri kümesi ve peyzajın niteliklerinin uygulamalı uzman bilgisi ve otomatik teknikler ile daha bütünsel olarak ele alınması olarak görülmektedir. Sayısal, şekil ve anlamsal olarak nitelikli bir veri olarak SYM elde

etmektedirler. Çalışmalarında SYM üretmek için kullandıkları ana girdilere bakıldığında engeller, arazi yüzeyinin kompleksliği, arazi üzerindeki insan yapımı veya insan yapımı olmayan objeler ve bu objelerin nitelikleri, kullanmakta oldukları verilerin elde edilme esnasındaki hava koşulları, uçuş esnasında kullandıkları parametreler, kullanmış oldukları koordinat sisteminin tanıtılması, kullanmış oldukları sensör bilgileri yer almaktadır. Çalışmada kullanılan filtre algoritmalarına bakıldığında sırası ile elevation threshold with expanded window (ETEW), prograssive mor phology 1 boyutlu (Morph), prograssive mor phology 2 boyutlu (Morph2D), Slope (Eğim), adaptive TIN densification (ATIN), hierarchical robust interpolation (HRI), multiscale curvature classifacition (MCC) ve LAStools filtreleri yer almaktadır. LİDAR verilerinden daha fazla kalitede SYM üretmek için büyük bir potansiyel olarak farklı filtreleme algoritmaları kullanılarak elde edilmekte olan nokta bulutlarının füzyon metodolojisinin olduğu görülmektedir. Sonuç verilerinin değerlendirilmesine bakıldığında MCC, HRI ve LAStools filtreleme algoritmaları kullanılarak filtrelenmiş verilerden elde edilen SYM verilerinin klasik yöntemler ile elde edilen SYM yüzeylerinden daha kaliteli olmaktadır. Çalışmayı yapma amaçları filtreleme tekniklerinin en iyi sonucunu elde etmektir ancak yüksek doğruluğa sahip referans veri setlerinde bile en doğru sonucun elde edildiği yüzde yüz doğru değildir. Her filtrenin farklı test bölgelerindeki sonuçları, çözümlerinin tüm koşullarda, özellikle jeomorfolojik ve antropojenik olarak heterojen bölgelerde üniversal olmadığı görülmektedir. Sınıflandırma işlemlerindeki bu sorunun makine öğrenimi veya farklı otomatik teknikler ile gelecekte yapılacak araştırmalarda daha kaliteli sonuçların elde edebileceği görülse de bir uzmana ihtiyaç olacağı görülmektedir. Sınıflandırma usulünün otomatik ve üniversal olması gerektiği görülmektedir (Podobnikar & Vrečko, 2012).

Gonçalves G. Ve Pereira L. (2010) çalışmalarında sekiz farklı filtreleme algoritmasının zayıf ve güçlü özelliklerini değerlendirirken ortalama değer, standart sapma ve RMSE metrik değerleri kullanmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları filtreleme algoritmalarına bakılacak olursa bir tanesi ticari filtreleme yazılımlarından olan Terrascan yazılımına ait olan Axelsson filtreleme algoritması iken geriye kalan yedi adet filtreleme algoritması ise açık kaynak yazılımlarından ALDPAT yazılımına aittir. Çalışmada bahsi geçen bütün metrikler, hayli farklı morfolojilere ve bitki örtüsüne sahip topografik yüzeylere ait olan SAM verilerini kullanarak hesaplamaktadırlar. Çalışma bölgesine bakıldığında ortalama ağaç sıklığının hektar başına 1600 ağaç düşmektedir. Kırk üç tanesinde her bir tanesi 400 m2 ‘lik dairesel arazilerde bulunan farklı özelliklere sahip

olan çalı ağacı ve yönetilemeyen okaliptüs ormanlarından oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan sekiz filtreleme algoritmasının kullanılması ile ede edilen SAM yüzeyini değerlendirmek için GNSS alıcıları yardımı ile referans bir SAM yüzeyi oluşturulmaktadırlar. Çalışmanın sonuçlarına bakılacak olursa Axelsson algoritmasının varsayılan Polinom İki Yüzey Uydurma filtresinin karesel ortalama hatası (RMSE) değeri bakımından en kaliteli değeri elde ettiği görmektedirler. Söz konusu olan diğer filtreleme yöntemlerinin değerlendirilmesine bakıldığında ise sonuçların diğer tüm filtreler için ormancılık ile ilgili araştırmalarda kullanılan tam dalga biçimli LİDAR verilerinin filtrelenmesinde kullanılmak üzere uygun olduğu ve yüksek oranda yüksek çalı ağacı, kaotik okaliptüs ağacı dağılımını ve yüksek ağaç yoğunluğuna sahip alanlarda toplandığı sonuçlarına varıldığını görmektedirler. Bu tür özelliklere sahip olan ormanlık bölgeler için elde edilen sonuç verilerinin oldukça şaşırtıcı olduğu kanısına varmaktadırlar (Gonçalves & Pereira, 2010).

Karasaka L. Ve Keleş H. (2020) yapmış oldukları çalışmalarında Cloth Simulation Filter (CSF) algoritmasını kullanmışlardır. Çalışma bölgesine bakıldığında ise zorlu bir arazi yüzeyi olan dik yamaçlardan oluşan ve büyük çoğunluğunun sıkı ormanlık bölgelerden oluştuğu görülmektedir. LİDAR verileri ile eş zamanlı olarak elde edilmekte olan görüntüler ile üretimi sağlanan ortofotoları çalışmada referans veri olarak kullanılmışlardır. Toplamda 12.113.500 adet noktadan oluşan nokta bulutu verisi CloudCompare yazılımında işlenmektedir. Filtreleme işlemleri esnasında tercih ettikleri parametre değerlerine bakıldığında sınıflandırma eşiği 0.5 yineleme süresi 1000 ve farklı grid çözünürlükleri ise sırası ile 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1 ve 2 değerlerinin seçildiği görülmektedir. Grid çözünürlüğü değerinin artması ile SAM'da bozulmaların meydana geldiği daha az sayıda zemin sınıfı noktası elde ettiğini tespit etmişlerdir. Araştırma esnasında CSF algoritması içerisinde yer alan parametre değerleri farklı şekillerde girilerek oluşturulan filtrelemeler sonucunda CSF algoritmasının grid çözünürlüğü parametresinin zemin sınıfına ait olan noktaların belirlenmesi hususunda önemli olduğu, dik ve eğimli bir çalışma bölgesi için düşük değerlerle daha fazla zemin sınıfına ait olan noktaları belirlediğini tespit etmektedirler. Araştırma sonucunda elde edilen arazi modelleri incelendiğinde zemin sınıfına ait olmayan noktaların kaldırılabilmesi için manuel filtreleme gerektiği kanısına varmışlardır (Karasaka & Keleş, 2020).

Pereira J. Ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları çalışmalarında dijital yüzey modelleri ve dijital arazi modelleri üretiminde potansiyel sahibi olan LİDAR teknolojisini

kullanmaktadırlar. Çalışmalarının sonucunda sayısal arazi modelinin yanı sıra kontur çizgilerini de elde etmeyi amaçlamışlar ve bu amaç doğrultusunda üç farklı hesaplama paketini kullanarak değerlendirme yapmışlardır. LİDAR verileri 7 puan / m2 yoğunluğuna sahip nokta bulutu olduğu belirtilmektedir. Çeşitli konfigürasyonlar ile test edilen LAStools, ALDPAT ve MCC-LİDAR yazılımlarında yer almakta olan filtrelerin kullanılması çalışmalarının metodolojisidir. Filtreleme çalışmaları yapılan LİDAR modellerinin değerlendirilmesi, modellerin birbirleri arasında çıkarma ve modellerin kontur çizgilerinin değerlendirilmesi metodu kullanılarak Santa Catarina eyaletinin hava fotoğraflarına ait sayısal arazi modeli ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Sonuçların doğruluğunun daha iyi sonuçlar verebilmesi için test sayısının arttırılması gerektiği vurgulanmıştır. Değerlendirme çalışmaları yapar iken dijital fotogrametri ile elde edilen verilerin kullanılması sırasında ormanlık alanlara ait kısımlarda bozulmaların olduğunu görmüşlerdir. Bunun sebebi olarak arazi ölçmelerinin kanopi yüksekliklerinin referans alınarak yapılmasından kaynaklandığı belirtilmektedir. Çalışmada test edilen konfigürasyonlar her filtre için sayısal arazi modelleri ve 5 m eşit mesafeli kontur çizgileridir. ALDPAT yazılımına ait olan Morph filtresi ve ATIN filtresini kullanmışlardır. Filtreleme işlemleri ile elde edilen sayısal arazi modellerinin doğruluklarının değerlendirilmesi için referans veri ile çıkarma işlemleri yapılmıştır. En doğru sonucun referans veri ile çıkarma işlemi sonucunda sıfıra en yakın değerin elde edildiği model olduğunu görmüşlerdir. Söz konusu bu işlem ArcGIS 10.2.1. yazılımı kullanılarak yapılmaktadır. LAStools ve MCC- LİDAR yazılımlarının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş olsa da LAStools, MCC-LİDAR ve ALDPAT yazılımları kullanılarak elde edilen modellerin doğruluk değerlerini arttırmak amacı ile test verilerinin çoğaltılması gerektiği belirtilmektedir (João Paulo Pereira et al., 2014).

Sevgen S. Ve Karslı F. (2020) yapmış oldukları çalışmalarında arazi modellerinin çok etkili olduğu alanlar olarak boru hattı güzergâh planlaması, hacim hesaplamaları ve hidrolojik modelleme gibi farklı mühendislik çalışmaları gösterilmiştir. Arazi modellemelerinin yapılabilmesi amacı ile yer noktalarının çıkartılması gerekmekte olup, bu amaç doğrultusunda geliştirmiş oldukları yükseklik farklarının karşılaştırılması prensibine dayanan algoritmalarını önermiş olup test etmek amacı ile birbirinden farklı üç kentsel alan LİDAR verilerini kullanmışlardır. Algoritmanın doğruluğunu nitel ve nicel olarak değerlendirmişlerdir. Nitel değerlendirilmesi için görsel bir inceleme yapılmış olup temel olarak test edilmiş, nicel değerlendirilmesi için genel doğruluğu

hesaplamışlardır. CSF algoritmasından elde ettikleri sonuç verisi ile önermiş oldukları algoritmanın sonuç verisini karşılaştırarak doğruluk değerlendirmesini yapmışlardır. Çalışmanın genel doğruluk sonuçlarına bakılacak olur ise %95- %98 arasında olduğu görülmekte olup yer noktalarının çıkartılması amacı ile algoritmanın kullanılması hususunda güvenilir olduğu ümit vermiştir (Canaz Sevgen & Karsli, 2020).

Parent J. ve arkadaşları (2021) yapmış oldukları çalışmalarında binaların iç mekanlarının haritalanabilmesi amacı ile elde taşınabilir LİDAR tarayıcılar ile nokta bulutlarının elde edilmesi, elde edilen nokta bulutlarının sınıflandırılarak acil durum planlarının oluşturulması ve tesislerin yönetilmesi için altlık oluşturmayı hedeflemektedir. Paracosm'a ait olan PX-80 model elde taşınabilir LİDAR tarama cihazı ile mimari açıdan birbirinden farklı olan 11 adet bina taranarak nokta bulutunu oluşturmuşlardır. Nokta bulutunun sayısallaştırılması amacı ile ArcGIS yazılımını, sayısallaştırma sürecinin kolaylaştırmak amacıyla ise Python yazılımını kullanmışlardır. Sınıflandırma aşamasında ise binalarda görevli olan ilgili personellerin dikkatini çekebilecek 29 farklı bina özelliğinin sınıflandırılmasına odaklanmışlardır. Söz konusu özelliklere duvarlar, pencereler, fıskiyeler, yangın alarmları örnek olarak verilebilmektedir. Manuel yöntemlere dayalı olarak yapılan sayısallaştırma çalışmalarda süre ortalama 20 ila 40 saat arasında sürdüğü görülmektedir. Çalışmalarında geliştirdikleri yöntemin verimli olduğu ve küçük ayrıntıların dahi sınıflandırılarak haritanın oluşturulmasına olanak sağladığını görmektedirler. Sonuçların ayrıntılı olarak incelediklerinde yüksek ve karmaşık tavanlarda istikrarlı bir haritalamanın yapılamadığı görülmektedir. Bir başka sorun yaşadıkları kısım ise küçük odaların tarama işlemleri yapılır iken kapıdan tarama stratejilerini uygulamaktan kaynaklı olduğunu belirtmektedirler. Kapıdan tarama stratejileri ile bazı zamanlarda kısmi ayrıntıların haritalanmadığını belirtmektedirler. Sınıflandırma aşamasında duman dedektörlerinin 3B olarak modellerinin çıkartılması işlemi yapılır iken zorlandıkları, bu sebeple bir algoritma geliştirdikleri ancak test aşamasında iken devam etmedikleri belirtilmektedir. Söz konusu bu durumun sebebini ise duman dedektörleri ile renk, boyut ve şekil yönünden birbirleri ile benzer özelliklere sahip olan kameraları ayırt etmekte zorlanmaları olmuştur. Zaman kısıtlamasından dolayı göstermiş oldukları çabayı bıraktıklarını belirtmektedirler (Parent et al., 2021).

Lu Y. ve arkadaşları (LİDAR veri dönüştürme, görselleştirme ve işleme için Matlab araçları) yapmış oldukları çalışmalarında LİDAR verilerinin standart olarak kabul edilen

“.las” uzantılı dosya formatının görüntülenmesi ve işlenmesi genel olarak ticari yazılımlar ile gerçekleştirilmekte olduğundan dolayı LİDAR verilerinin veri dönüştürme, işleme ve görselleştirme için ücretsiz bir MATLAB aracı geliştirmek amacı ile yola çıkmışlardır. MATLAB yazılımının tercih edilmesinin sebebi olarak mükemmel grafik performansı ve yüksek popülaritesinin olması olarak belirtmektedirler. LAS2TXT adlandırılması verilen bir dönüştürücü tasarlamışlardır. Delaunay Üçgenleme ve Ağ dışında hızlı bağlaşım yöntemi kullanarak TXT verileri kullanarak 2B eşleme çıkartan bir dönüştürücüdür. GUI bu işlevleri entegre etmek amacı ile tasarlanmıştır. Dönüştürücü ile birlikte XYZ bilgilerine ulaşılabildiği gibi RGB ve yoğunluk değerlerine de ulaşılabilmektedir. Wang X. ve arkadaşları üzerine çalışmış oldukları LİDAR verileri yoğun nokta bulutu olduğundan dolayı, 2B harita oluşturma konusunda MATLAB yazılımında yüzey oluşturmak için elverişlidir. Verilerin bu özelliği sayesinde yalnızca XYZ bilgilerini kullanarak oluşturulan çizimlerde yükseklik bilgilerini Z değerini kullanır ve yüksekliğini gösteren renkler ile çizilmesi sağlanır. Yükseklik bilgilerinde birbirinden farklı renklerin kullanılması çalışma alanındaki topolojinin görsel olarak incelenmesine katkı sağlamasının yanı sıra MATLAB yazılımı ile kenar algılama, sırt algılama veyahut köşe algılama ile birlikte 2B çizimden özellik çıkartma gerçekleştirilebilmektedir. Yazarlar oluşturmuş oldukları GUI’ nin adını LAS-BOX olarak düzenlemişlerdir. LAS-BOX ekseriya tüm eylemin etkisi hakkında derhal görsel geri bildirim sağlamaktadır. Uygulama konusuna bakıldığında dönüşüm için kullanılan veriler Singapur’ da yer almakta olan bir bölgeden 475.937 adet nokta taranmış olup dosya boyutunun 23.227 KB olduğu bilgisini vermişlerdir. Değerlendirme sonuçlarına bakıldığında doğal komşu enterpolasyonu ve üçgenleme tabanlı enterpolasyon yöntemleri ile oluşturulan algoritmalar çalıştırıldığında elde edilen verilerin mükemmel ve verimli olduğunu kanıtlamışlardır. Yöntemlerin sonuçları önemsiz varyans ile benzer olduğundan dolayı zaman olarak daha avantajlı olan yöntemin daha verimli olduğu kanısına varmaları nedeni ile doğal komşu enterpolasyonu yönteminin daha verimli olduğunu belirtmişlerdir. Tasarlanan araç kutusunun başka bir işlevinin de yükseklik fitresidir ve belirli bir göreli yükseklik aralığında yer almakta olan nesnelerin bilgisine ihtiyaç duyulduğunda, yükseklik aralığındaki nesneler, SAM’ nin bu durumlarda görselleştirilmesi doğru olmadığı için yükseklik filtresi kullanılarak yakalanabileceği belirtilmiştir. Yükseklik filtresini, ilgilenilmekte olan morfolojiye göre yalnızca yüksekliğe ait morfolojik filtreye dayalı oluşturmuşlardır. Sonraki zamanlarda yapmış oldukları çalışmalarda, filtreleme

sırasında birkaç hata ile karşılaştıklarından dolayı insan etkileşimli filtreleme yönteminin filtreleme sonuçlarını hassaslaştırılacağını önermişlerdir (Lu et al., 2011).

Burada B. ve arkadaşları (2012) "Arkeoloji alanında coğrafi bilgi sistemleri ve LİDAR teknolojisinin kullanımı" başlıklı çalışmalarında amaçları CBS uygulamalarındaki ilk aşamaları ve söz konusu bu uygulamaların avantajlarını sunmaktır. Çalışma alanı olarak Gala şehrinin batı kesimini seçmişlerdir. Girdi verileri olarak bölgenin ortofotoları, topografik haritaları, helikopter yardımı ile çekilen fotoğraflar ve LİDAR veri setlerini kullanmışlardır. İlk olarak sayısallaştırılmış verilere dayalı bir durum planı hazırlamıştır. Ardından topografik haritalar kullanılarak yükseklik hatlarını ve noktalarını kullanarak SAM oluşturmuşlardır. Söz konusu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için tarama bölgesinde bulunan 19 adet arkeolojik alanı kapsamak amacı ile 12 adet haritayı 1:25000 ölçeğinde birleştirmişlerdir. Referans haritaları Gauss Kruger projeksiyonu kullanarak oluşturmuş olup, coğrafi referanslama işlemlerini köşelere ait coğrafi koordinatlar yardımı ile tamamlanmış olmak ile birlikte söz konusu bu koordinatları NEGO yazılımının yardımı ile Stereo 70 projeksiyon sistemine dönüştürmüşlerdir. Ellerinde yer alan konturları SAM oluşturmak için girdi verisi olarak kullanmışlar ve ArcGIS yazılımında yer almakta olan Topo to Raster yöntemi ile SAM oluşturmuşlardır. SAM' nin oluşturulmasının ardından ortofotolar ile ayırt edilemeyen arkeolojik alanları helikopter yardımı ile çekilen fotoğraflar kullanarak tespit etmişlerdir. Arkeolojik alanların uçuş zamanı ölçüm tekniği ile taranması sonucunda elde etmiş oldukları nokta bulutlarının yalnızca yere ait olan noktaları ayırt etmek amacıyla filtreleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda ALDPAT yazılımında ETEW filtresini kullanmışlardır. Filtreleme sonucu elde edilen nokta bulutunu Cyclon yazılımında görüntülemişler ve elde etmiş oldukları SAM ile hesaplamalar ve karmaşık analizler yapılabileceğini belirtmişlerdir (Burada et al., 2012).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak referans veri olarak GNSS alıcıları ile yapılan ölçmeler kullanılarak veya hava fotoğrafları kullanılarak elde edilmektedir. Farklı filtreleme algoritmalarının doğruluk değerleri araştırılarak zemin noktalarının elde edilmesinde hangi algoritmanın daha doğru sonuçlar verdiğinin kararlaştırılması sağlanmaktadır. Literatürün incelenmesi ile ortak sonuç olarak yüksek doğruluğa sahip olan veri setlerinde dahi manuel müdahalelerde bulunulması gerektiği görülmektedir.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı

Tezin oluşturulma amacına bakıldığında, güncel araştırma konularından biri olarak görülmekte olan Light Imaging Detection and Ranging (LIDAR) teknolojileri ile elde edilen nokta bulutlarının CSF algoritmasında farklı parametreler girdi verisi olarak seçilerek LİDAR verilerine ait zemin sınıfına ait olan alanların belirlenmesi aşamasında hangi parametrenin LİDAR verisinde etkili sonuç verdiğinin araştırılması ve yapılan doğruluk analizinde farklı bir öneri olarak kübaj (hacim) hesabının yapılarak araştırılmasıdır. Söz konusu sınıflandırma ve filtreleme algoritması olan CSF algoritması ile kentsel alan özellikleri yer alan LİDAR nokta bulutunda farklı parametre değerlerine göre ayrı ayrı test edilerek doğruluk oranlarının kıyaslanması ve konumsal doğruluğun araştırılması sağlanmıştır. Bu sayede hangi parametre değerinin nokta bulutunda daha başarılı filtreleme sonuçları verdiği araştırılmıştır ve söz konusu doğruluk düzeyi araştırılırken farklı bir yöntemin önerilmesi araştırılmıştır (Sarıtaş & Kaplan, 2023a).

1.3. Tez Çalışmasının Yapısı

Tez çalışmasının ilk bölümüne bakıldığında çalışmanın ana konusu olan uzaktan algılama ve LİDAR konularına giriş yapılmakta olup, ardından literatürde daha evvel yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilerek tez çalışmasının genel yapısından bahsedilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümüne bakıldığında LİDAR hakkında genel bilgiler verilmiş olup, ardından sırası ile yersel lazer tarama, havadan lazer tarama, nokta bulutu, nokta bulutu filtreleme, sayısal yüzey modeli, sayısal arazi modeli ve LAS dosya formatı konularına ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde kullanılan yazılımlar, uygulamanın metodolojisi ve çalışmaya ait sonuçların yer aldığı bilgiler ayrıntılı olarak aktarılmıştır.

Tez çalışmasının dördüncü ve beşinci bölümünde tartışma ve öneri kısımlarına yer verilmiştir.

Tez Çalışmasının son kısımlarında ise kaynakça, ekler ve yazara ait özgeçmiş yer almıştır.

2. LİDAR

LİDAR teknolojisinin kullanılması ile yapılmakta olan ölçmeler insan yapımı olmayan objeleri ve insan yapımı olan objeleri yani yer yüzeyinde bulunan bütün özelliklere ilişkin ham verilerin toplanmasını sağlamaktadır (Kostrikov, 2019). Aktif bir sensör teknolojisi olan LİDAR teknolojisi birbirinden farklı amaç doğrultusunda oldukça yoğun kullanılmakta olan bir teknolojidir. Menzil ve ışık algılama için kısa bir terim olmak ile birlikte diğer bilgileri ölçmek amacı ile dağınık ışık ölçülerini ölçmektedir (Lu et al., 2011). LİDAR teknolojisi fiziksel verilerin yoğun ve hassas bir biçimde elde edilmesinin kısa sürelerde sağlanması konusunda olanak sağlamaktadır. LİDAR teknolojisi insan yapımı veya insan yapımı olmayan verilerin 3B modellerinin hiçbir temasta bulunmadan hassas ve otomatik bir biçimde oluşturulmasını sağlamaktadır (Fidan & Fidan, 2021). LİDAR verileri nokta bulutu olarak adlandırılmaktadır. Bunun sebebi ise hedeflerin değişmesinin ve tarama yapılan uçağın hareketlerinin sonucu olarak tarama verilerinin düzensizliğinden dolayıdır (Lu et al., 2011).

3B SAM yer yüzeyine ait ayrıntıların tespit edilmesinde ve projelerin hazırlanması hususunda bir hayli önemi bir kaynaktır. LİDAR teknolojisinin en büyük avantajı olarak öne çıkan özelliği yer yüzeyinin sayısal modellerinin oluşturulmasında geleneksel yöntemleri ile kıyaslandığında ortaya çıkmaktadır. Söz konusu bu avantajlar emek, zaman ve doğruluk değerleridir (Karasaka & Keleş, 2020).

LİDAR teknolojisinin kullanım alanlarına bakıldığında yersel LİDAR ve hava LİDAR olmak üzere iki farklı türü yer almaktadır. Tapu ve kadastro hizmetleri, anıt ve bina gibi mimari eserler gibi yol ve köprü gibi mühendislik yapılarının 3B belgelerinin hazırlanması için yersel LİDAR teknolojisinin kullanılması gibi hava LİDAR teknolojisinin kullanım alanları incelendiğinde ormanlık alanlar, enerji nakil hatları, şehir adres bilgi sistemleri benzeri ölçme işlemlerinin gerçekleştirilmesinin zorluk gösterdiği alanlarda kullanılmaktadır (Çelik et al., 2014).

Lazer sinyallerini kısa elektromanyetik dalgalar şeklinde ileterek veri elde edilmesini sağlayan LİDAR teknolojisi mikro dalgalar ile veri etmeyi sağlayan RADAR teknolojisine benzer bir şekilde aktif uzaktan algılama sistemidir (Çelik et al., 2014).

LİDAR teknolojilerinin Radar teknolojisine nazaran yüksek doğruluklu veri elde edilmesi sebebi ile uzaktan algılama, coğrafya, jeoloji ve ulaşın gibi alanlarda sıklıkla kullanılması kabul görmüş ve uygulanması sağlanmıştır. LİDAR topografik haritalamada kullanımı kabul gören bir teknolojidir. Hassasiyet ve kullanım alanları bakımından radar

teknolojilerinden daha üstün konumdadır (Lu et al., 2011). Yer yüzeyine binlerce kez sinyal göndererek 3B veri elde edilmesini sağlamaktadır. Hava fotogrametrisinden daha hızlı olmak ile beraber klasik yersek ölçmeler ile eşit doğrulukta veri elde etmeye eğilimli bir sistemdir (Çelik et al., 2014).

LİDAR sistemleri incelendiğinde nokta yoğunluğunun fazla ve yüksek doğruluklu referans sayısal yükseklik verisi elde etmeyi sağlaması kadar düşük maliyeti, klasik yersel ölçmeler ve sayısal hava fotogrametrisi ile karşılaştırıldığında arazi çalışmalarının daha az olması sistemin avantajları olarak gösterilebilmektedir (Çelik et al., 2014; Ekercin & Üstün, 2004).

LİDAR sistemlerinde yer alan lazerlerin spektral nitelikleri incelendiğinde, görünür ve yakın kızılötesinden, 50-30000 nm gibi çok geniş spektrumlar içerinde yer almaktadır. LİDAR sistemlerinde yer alan lazerler yakın kızılötesi spektral bölgesine kadar sınırlıdır. Bunun nedeni ise gece gündüz, gölgede yahut bulutlar arasında veri elde edilmesini sağlamak amacıyladır (Çelik et al., 2014; Wehr & Lohr, 1999).

LİDAR teknolojileri iki farklı sınıfa ayrılmaktadır. Söz konusu bu sınıflar hava LİDAR ve yersel LİDAR olarak isimlendirilmektedir. Son zamanlarda 3B modelleme ve harita oluşturmak gibi farklı amaçlar için geniş bir çalışma alanı bulunan mobil lazer taramada yersel LİDAR sınıfına girmektedir (Karasaka & Keleş, 2020). LİDAR, objeler üzerindeki en ince ayrıntılı değişimleri bile yoğun nokta bulutu verisi ile belirleyerek enerji nakil hatları, binalar ve bitki örtüsü gibi alanların modellenmesini sağlayabilmektedir (Varlık & Uray, 2017).

2.1. Yersel Lazer Tarama

Yersel Lazer Tarama (YLT) teknolojisi nesnelerin doğrudan, hassas ve otomatik olarak 3B koordinatlarının temin edilmesini sağlamaktadır (Çömert et al., 2012; Yuriy Reshetyuk, 2009). İncelendiğinde kültürel mirasın kayıt işlemleri ve mühendislik projeleri gibi alanlarda uygulanmaktadır (Çömert et al., 2012; Lichti & Gordon, 2004). YLT teknolojisi, kültürel miras objelerinin yüksek hassasiyetli 3B modellerinin oluşturulması, obje ile alakalı yüksek oranda ayrıntı içermesi, yüksek çözünürlüklü eşleşme, değişimlerinin incelenmesi ve sunum olanaklarına sahip olmasından dolayı kültürel mirasa ve arkeolojik alanlara yönelik yapılmakta olan çalışmalarda çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Çömert et al., 2012; Fabris et al., 2009).

YLT teknolojisinin en mühim bileşeni yersel lazer tarayıcılardır. Birkaç saniyede binlerce noktanın ölçme işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan motorize bir total station olarak göz önüne alınabilmektedir. Tarayıcılar düşey ve yatay istikamette dönebilen düzeneğe sahiptir. YLT kullanıldığında ölçülmekte olan noktaların koordinatlandırma işlemlerini dahili bir koordinat sisteminde gerçekleştirmektedir (Bornaz et al., 2004; Yılmaz & Yakar, 2006). Söz konusu olan koordinat sistemi bir kutupsal koordinat sistemidir (Yılmaz & Yakar, 2006).

YLT teknolojisi kullanılarak taranmakta nesnelerin yüzeylerinin tam olarak taranması için çoğunlukla farklı noktalardan tarama işlemi gerçekleştirilir (Impyeong & Yunsoo, 2004; Yılmaz & Yakar, 2006). Tarama yapılır iken nesnelerin köşelerinde birbirleri üzerinde bindirmelerin olması dikkate alınmalıdır. Bindirme işleminin nedenine bakıldığında çeşitli noktalardan taranan nesne yüzeylerinin hassas olarak birleştirilmesini sağlamaktır. Tarama cihazının konumlandırıldığı noktaların koordinatları jeodezik ölçme yöntemleri ile tespit edilmektedir. Taranan nesnelerin koordinatlarının doğrudan belirlenmesi gerektiğinde tarayıcıya ait her bir konumuna karşılık gelen yöneltme açılarının ve koordinatlarının bilinmesi gereklidir. Nesne üzerinde ölçülmekte olan noktalara ait koordinat değerlerinin doğrulukları tarayıcının konum doğruluğu, yöneltme elemanlarının doğruluğu, lazer ışınının yoğunluğu, nesne yüzeyinin özelliği ve tarayıcıdan iletilen ışının nesne yüzeyine gidiş açısı da mühim bir faktördür (Yılmaz & Yakar, 2006).

Tarayıcıların konum ve yöneltmelerinin bilmediği durumlarda dolaylı olarak hesaplanması gerekmektedir ve bu durum yer kontrol noktaları ile gerçekleştirilir. Yer kontrol noktalarında çoğunlukla geri yansıtmalı işaretler kullanılmaktadır. Tüm taramaların 6 adet yöneltme parametresinin hesaplanması gerekmektedir ve bu hesaplama için taramaların her birinde en az 3 adet yer kontrol noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Birinden farklı taramaların nokta bulutlarını biliştirmek amacı ile bağlantı noktalarına ihtiyaç vardır ve çoğunlukla bu bağlantı noktaları geri yansıtmalı işaretlerdir ve değerlendirme aşamasında sistem tarafından otomatik olarak tespit edilmektedirler (Yılmaz & Yakar, 2006).

2.2. Havadan Lazer Tarama

Uçağa yahut helikoptere takılan lazer tarama cihazlarından iletilen lazerler cisimler üzerinden yansıma yapmaktadır ve cihaz ile taranmakta olan cisim arasındaki uzaklık

impulsun gidiş dönüş süresinden hesaplanmaktadır. Hava LİDAR sistemleri global positioning system (GPS), inertial measurement unit (IMU) ve tarayıcının yer aldığı üç adet bileşenden oluşmaktadır. Söz konusu bu bileşenler incelendiğinde IMU ile elde edilmekte olan hava aracına ait yöneltme parametreleri sayesinde nokta bulutunun kalibrasyonlarının yapılmasını sağladığı gibi kullanılan tarayıcılar yansıma değerlerini, GPS ise nokta bulutuna ait konum bilgisini kayıt etmektedir (Civelekoğlu, 2015).

Lazer ölçüm sistemleri gönderici, alıcı, kontrol ünitesi ve tarayıcı aynasından oluşmak ile beraber uçuş şeridinde ilerlemekte olan hava aracında yer alan lazer tarama ünitesinin LİDAR sensörü, tarayıcı aynası ile birlikte lazer ışınını gönderir, lazer ışının tarama açısını ölçer ve bütün ışının eğim açısını tarama açısı ve IMU değerleri ile birlikte kayıt eder. Bunun ile birlikte lazer ışınının gidiş ve dönüşleri arasında geçen süre kayıt edilmektedir. Lazer ölçüm sistemlerinin son bileşeni IMU ise X, Y ve Z koordinatlarının "roll, pitch ve heading" değerlerinin karşılığı olur ve koordinat düzleminde yer alan açısal sapmaları belirtmektedir (Civelekoğlu, 2015; Soycan et al., 2011a).

Hava LİDAR teknolojileri tarama şekillerine bakıldığında birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Hava aracı birbiri üzerine bindirmeli alanlar oluşturacak biçimde ve şeritler halinde uçuşlar yapmaktadır. Bu sebepten dolayı veri setlerinin saha doğru biçimde değerlendirilmesini gerçekleştirmek için uçuş geçekleşmeden evvel uçuş hattının belirlenmesi gerekmektedir (Civelekoğlu, 2015).

Hava LİDAR teknolojisi kullanılarak elde edilen nokta bulutu verisinin formatları değişiklik gösterebildiği gibi sıklıkla elde edilen format ".las" uzantılı yapıdır. Bu formatın haricinde kullanılan formatlara bakıldığında American standard code for informatinon (ASCII), ".xyz text", fast binary, scan binary ve grass sites formatları biçiminde de nokta bulutu verisi elde edilebilmekte ve veri işleme çalışmaları yapılabilmektedir (Civelekoğlu, 2015; Habib & Rens, 2017).

Hava LİDAR teknolojisinde görüş mesafe hatası, görüş açısı hatası, lazer aralığı hatası, lazer ışınının açısal hatası, lazer aralığı, GPS, IMU ve lazer ışınının açısal gürültüsü sistemin temel hata kaynaklarıdır. Elde edilen nokta bulutunun alanı ise yapılan uçuşun süratine ve yüksekliğine bağlı olduğu gibi kullanılan lazer ışınının sapmasına, tarama açısına ve lazer puls aralığına bağlı olmak ile birlikte söz konusu bütün parametreler elde edilmekte olan nokta bulutu verisinin yoğunluğuna etki etmektedir (Civelekoğlu, 2015; Stoker, 2007).

Hava LİDAR sistemleri elde edilen veriler bakımından incelendiğinde, hava LİDAR sistemlerinin yansıma özelliklerinden kaynaklı havanın yağmurlu yahut sisli olduğu durumda elde edilen nokta bulutunda gürültü noktaları olarak da isimlendirilen noktalar yer alabilmektedir (Civelekoğlu, 2015).

Havadan lazer tarama teknolojisi kullanılarak elde edilmekte olan nokta bulutları, arazi hakkında diğer birçok veri elde etme kaynağından daha çok bilgi elde etmemizi sağlamaktadır. Son zamanlarda hava kaynaklı (uçak, helikopter) lazer tarama ile verilerin elde edilmesi sonucu oluşturulan LİDAR nokta bulutları, yüksek çözünürlüklü SYM ya da SAM üretilebilmesi amacı ile ana veri kaynağı vaziyetindedir (Podobnikar & Vrečko, 2012).

SYM yüzeyi oluşturmak için LİDAR verilerinin kullanılması tercih edilen yöntemlere, kullanılan algoritmalara, değer olarak girilen parametrelere ve eldeki LİDAR verisinin kalitesinin farklı yönlerine bağlı olarak kompleks bir aşamadır (Podobnikar & Vrečko, 2012). LİDAR verilerinin klasik işleme usulüne bakacak olursak ana işlem basamakları;

- Veri toplama
- Şeritlerin kaydedilmesi ve coğrafi referanslanması
- LİDAR Nokta bulutunun filtrelenmesi
- SYM'nin enterpolasyonu ve kimi zamanda yumuşatılmasıdır (Vosselman & Maas, 2010).

2.3. Nokta Bulutu

LİDAR sistemleri ile taranmak için ele alanın objelerin yüzeyini 3B olarak elde etmektedir. Tarama işlemi sistematik, hızlı ve otomatik bir biçimde yapılmakta olup saniyede birçok noktaya ait X, Y ve Z koordinat bilgilerine ulaşılabilmektedir. Tarama ile elde edilmekte olan noktalar kümesi, tarama esnasında genelde nokta bulutu olarak toplanmaktadır (Gümüş & Erkaya, 2007).

Nokta bulutu bir objeye ait metrik ve görsel veya tematik bilgileri vermesinin yanı sıra objelerin genel referans sistemindeki X, Y ve Z koordinatlarının toplamıdır. Söz konusu özellikler incelenecek olur ise objelerin birbirleri arasında yer alan mekânsal ilişki ve objelerin geometrisine metrik özelik, yoğunluk veya RGB değerlerinin bulunduğu obje

yüzeyinin niteliklerini açıklayabilmek için kullanılan özellikler ise görsel veya tematik özellik olarak adlandırılmaktadır (Fröhlich et al., 2000).

2.4. Nokta Bulutu Filtreleme

Ham LİDAR nokta bulutu yer yüzeyinde yar alan insan yapımı veya insan yapımı olmayan tüm noktaların yansımalarını içerisinde barındırır (Doğruluk et al., 2018). LİDAR ile SAM oluşturmak için zemin sınıfına ait olan noktaların zemin sınıfına ait olmayan yani ağaç ve bina gibi objelerden arındırılması gerekmektedir. Söz konusu bu işlem ise filtreleme olarak isimlendirilmektedir (Soycan et al., 2011b). SYM yüzeyinin yüksek nitelikte elde edilebilmesi için nokta bulutunun hassas ve etkili bir bircimde filtrelenmesi bir hayli önemlidir (Liu, 2008).

Zemin noktalarının fiziksel özelleri dikkate alındığında dört farklı şekilde gruplandırılmaktadır (Süleymanoğlu & Soycan, 2017; Meng et al., 2010). Söz konusu gruplar:

- En düşük yükseklik: Zemin noktaları eldeki LİDAR verisinde ek düşük yükseklikte yer alan noktalardır.
- Zemin yüzeyinin dikliği: Zemin ve zemine ait olmayan noktalar arasındaki eğime bakıldığında komşu zemin noktaları arasındaki eğime oranla daha diktir.
- Zemin noktaları arasındaki yükseklik farkı: Noktaların birbirleri arasındaki kot farklarının yüksek olması bina ve ağaç gibi objelere ait olan noktaları gösterirken kot farklarının düşük olması zemin noktası olduğunu göstermektedir.
- Zemin yüzeyinin homojenliği: Zemine ait olan noktaların kısmen diğer objelere ait olan noktalara göre daha pürüzsüz ve daha süreklidir.

Düzensiz nokta bulutlarından oluşan sayısal modellerin oluşturulması sürecinde LİDAR verilerini işlemek önemli süreçtir. Söz konusu süreçte önemli aşama ham LİDAR verisinin filtrelenmesidir. LİDAR nokta bulutunun filtreleme algoritmaları kullanılarak zemin sınıfına ait olan noktaların belirlenmesi hususunda birçok ücretsiz yani açık kaynak kodlu ve birçok ticari yazılım mevcuttur. Literatüre bakıldığında her bir filtreleme algoritmasının farklı arazi yüzeyleri için güçlü ve zayıf yönlerinin öne çıktığı görülmektedir (Karasaka & Keleş, 2020). SYM yüzeyinin yüksek nitelikte elde

edilebilmesi için nokta bulutunun hassas ve etkili bir bircimde filtrelenmesi bir hayli önemlidir (Liu, 2008).

Filtreleme yöntemlerinin birçoğu noktaların zeminde olup olmadığı konusunu belirlemek için komşu noktaları arasında yer alan geometrik ilişkileri kullanılmaktadır. Düşük bitki örtüsü ile kaplı bölgelerde daha çok etkili sonuçlar veren elde edilen sinyalin tam dalga biçiminden gelen darbe genişliği gibi bilgiler istenilen sonucu iyileştirilebilmektedir (Vosselman & Maas, 2010). Normalized digital surface model (nDSM) oluşturan bir nesnenin özellikleri ve arazi yüzeyi filtrelemenin büyük ölçüde kalitesini arttırmaktadır. Hemen hemen bütün filtreleme yöntemleri zemin sınıfı dışında kalmakta olan noktaları güçlükle ortadan kaldırdığı ya da SYM'lerin oluşturulabilmesi için uygun biçimde koruduğu durumlar vardır. Bu durumlara daha büyük binalar, sıkı bitki örtüsü, rampalar, köprüler, dik yamaçlar, hidrolojik gövdeler ve farklı jeomorfolojik kenarlar yani uçurumlar ve nehir kıyıları örnek olarak gösterilebilmektedir (Podobnikar & Vrečko, 2012).

Filtrelemenin doğruluğunun kontrol edilmesi şu ana kadar görsel olarak ya da filtreleme sonuç verilerinin manuel olarak filtrelenen referans nokta bulutu verisi ile kıyaslanarak tahmin edilebilmektedir. Bu hususta yapılan filtrelemenin doğruluğu tip 1 ve tip 2 hatalarının yüzdesi ile tanımlanabilmektedir. Tip 1 olarak isimlendirmekte olan hatalar arazi noktası olmayan fakat arazi noktası olarak sınıflandırılan noktaları temsil ederken tip 2 olarak isimlendirilen hatalar arazi dışı olmayan noktaların arazi dışı noktalar olarak sınıflandırılan noktaları temsil etmektedir (Podobnikar & Vrečko, 2012).

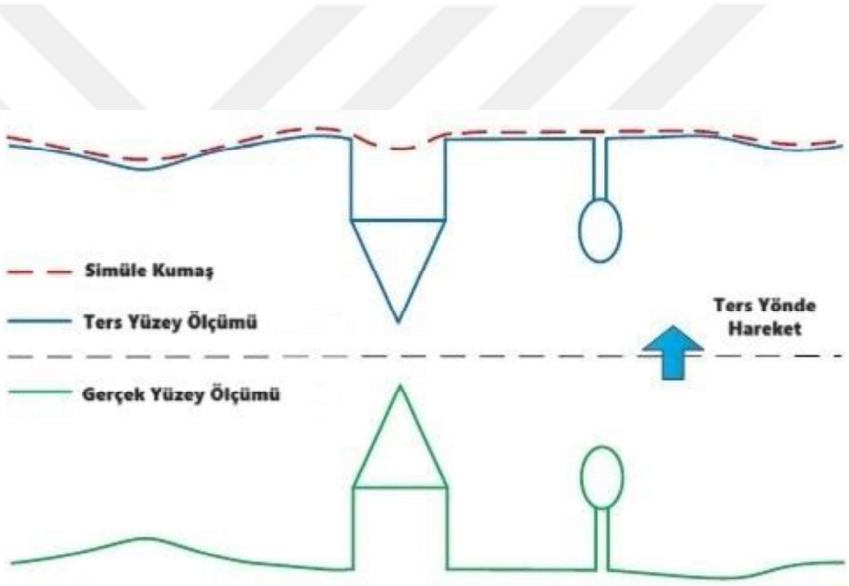
3B nokta bulutu verisinin filtrelenmesi için bir hayli algoritma geliştirilmiştir. Filtreleme algoritmaları Morfolojik Filtreleme Algoritmaları, Kademeli Sıklaştırma Algoritmaları, Yüzey-temelli Filtreleme Algoritmaları ve Bölümleme Temelli Filtreleme Algoritmaları olarak 4 ayrı gruba ayrılmaktadır (Süleymanoğlu, 2016; Briese, 2010).

2.4.1. Cloth Simulation Filter (Kumaş Simülasyon Filtrelemesi) algoritması

Zhang W. ve arkadaşlarının tasarladıkları ayrık dönüşlü LİDAR nokta bulutlarında yer noktalarının çıkarılmasına yönelik bir araç olan kumaş simülasyon filtresi (CSF) nokta bulutlarının yer ve yer dışı ölçümler olarak ikiye bölünmesi, hava LİDAR verilerinden SAM oluşturması için mühim bir adımdır. Bununla birlikte, diğer filtreleme algoritmaları ile yüksek doğruluğun elde edilmesi için bir sıra karmaşık parametreyi

dikkatli bir biçimde ayarlanması gerekir iken CSF algoritmasında birkaç tamsayı ve Boole parametresine ihtiyaç duyulmaktadır (Zhang et al., 2016; http-1).

Bir 3 boyutlu bilgisayar grafik algoritması olan kumaş simülasyonuna dayanmaktadır ve bir bilgisayar programı dahilinde kumaşın simüle edilmesi için kullanılır. Algoritmada bir kumaş kullanılmaktadır ve ters çevrilen LİDAR nokta bulutunun yüzeyi kumaş ile kaplanmaktadır. Kumaş düğümleri ve karşılık gelen LiDAR noktaları arasındaki etkileşimler analiz edilerek, kumaş düğümlerinin konumları, zemin yüzeyinin bir yaklaşımı oluşturacak şekilde belirlenebilir. Son olarak, orijinal LiDAR noktaları ve oluşturulan yüzey karşılaştırılarak LiDAR nokta bulutundan yer noktaları çıkarılabilir. Bu filtreleme algoritmasına CSF adı verilmektedir (Zhang et al., 2016; http-1).



Şekil 2.1. *CSF Algoritması çalışma prensibi (http-2)*

2.4.2. Filtreleme algoritmalarının türleri

2.4.1.1 Morfolojik filtreleme algoritmaları

Bu grupta yer alan filtreleme algoritmaları matematiksel morfoloji temellidir ve nesnelerin şekilleriyle veya şekil ölçüleri ile ilgilenmektedir (Haralick & Shapiro, 1992; Uray, 2016). Morfolojik filtreler kullanılarak LİDAR verileri üzerinde yapılan türlü deneyler, söz konusu bu filtrelerin zemin dışı nesneleri ayırt edebilme kabiliyetinin olduğunu göstermektedir (Kobler et al., 2007; Uray, 2016). Sayısal görüntü işlemede kullanılan morfolojik operatörleri temel alarak çalışmaktadır ve söz konusu operatörler

aşınma (erosion), genişleme(dilation), açınım (Opening) ve kapanım (Closing). Bu dört operatörden aşınma ve genişleme operatörleri matematiksel morfolojinin temelini oluşturmaktadır (Süleymanoğlu, 2016; Haralick & Shapiro, 1992).

- Aşınma operatörü: Temel görevi görüntüyü veyahut modeli kenarlarından erozyona uğratmaktır. Sonuç olarak piksel grupları ve aralarındaki boşluklar küçülür. Seçilen yapı taşı elemanına göre gürültülü şekiller düzeltilir (Uray, 2016).
- Genişleme operatörü: Görüntüyü veyahut modeli kenarlarından genişleterek piksel gruplarını büyütür ve aralarındaki boşlukları küçültür (Uray, 2016).
- Açınım operatörü: Temel olarak aşıma operatörünü takip eden genleşme operatörü işlemidir (Uray, 2016).
- Kapanım operatörü: Açınım operatörünün tam karşıtı yani genleşme operatörünü takip eden aşıma işlemidir (Uray, 2016).

2.4.1.2. Kademeli sınıflandırma filtreleme algoritmaları

Az sayıda nokta bulutu verileri kullanılarak filtreleme işlemine başlanılarak iteratif bir biçimde nokta bulutu verisini sınıflandırmaktadır (Süleymanoğlu, 2016; Briese, 2010).

Zemin yüzeyinin pürüzsüzlüğü prensibini temel alarak geliştirilen algoritmalardır. Nokta bulutu verilerinin içerisinde ani değişimlerin ve sapmaların yaşandığı noktalar zemin dışı noktalar olarak kabul edilir. Yerel sapmaların ve ani değişimlerin yaşandığı alanların tespiti için nokta bulutu verisinden TIN metodu kullanılarak yüzey oluşturulur ve bu sayede yüzey geometrisindeki değişimler hassas bir şekilde gözlemlenebilir (Süleymanoğlu, 2016; Haugerud & Harding, 2001; Meng et al., 2010).

2.4.1.3. Yüzey temelli filtreleme algoritmaları

Nokta bulutu verilerinin filtrelenmesi amacı ile tüm veri kümesinin kullanılması ile oluşturulan SYM'leri kullanmaktadır. Bu yönü ile kademeli sınıflandırma algoritmaları ile benzerlik göstermektedir fakat yüzey temelli filtreleme algoritmalarının kademeli sınıflandırma algoritmalarından farklı olarak nokta verilerini zemin sınıfına adım adım eklemek yerine, yüzey temelli filtreleme algoritmaları başlangıçta bütün noktaları zemin

noktası kabul eder ve bu noktaları kullanarak geçici SYM oluşturur. Bir sonraki adımda tüm noktaların bu yüzeye katkısı azalır, silinir veyahut arttırılır (Süleymanoğlu, 2016; Briese, 2010).

2.4.1.4. Parçalara ayırma ve kümeleme tabanlı filtreleme algoritmaları

Noktaların birer birer filtrelenerek sınıflandırılması yerine nokta gruplarının toplu bir biçimde filtreleme ile sınıflandırılması yaklaşımına dayanmaktadır (Süleymanoğlu, 2016; Briese, 2010).

Stithole G. ve Vosselman G. yapmış oldukları çalışmalarında tarama hattı sınıflandırma yöntemini kullanarak nokta bulutu verilerinin filtrelenerek sınıflandırılmasını sağlamışlardır. Veri kümesinde yer almakta olan noktalar arasındaki benzerliklerin saptanması bu filtre algoritmasının başlangıç aşamasıdır. Benzerlikleri saptanan noktalar aynı kümeye dahil edilir. Kümelerin sınıflandırılması ise topolojik ilişkilere bağlı olarak yapılmıştır (Süleymanoğlu & Soycan, 2017; Sithole & Vosselman, 2005).

Tovari D. ve Pfeifer N. geliştirdikleri yaklaşımda kümeleme işlemi iteratif bir biçimde yapılmışlardır. Bu yaklaşımda işlem tek bir noktadan başlar ve diğer noktalar belirli koşulları sağladıkları sürece kümelere eklenirler (Süleymanoğlu & Soycan, 2017; Tóvári & Pfeifer, 2005).

2.5. Sayısal Yüzey Modeli (SYM)

Sayısal yüzey modeli X, Y ve Z değerlerinin 3B koordinat sisteminde ifade edilen model olarak belirtilebilmektedir. SYM, yer betimsel yüzeyin dijital olarak ifade edilmesi amacı ile yerküre üzerinde bulunmakta olan insan yapımı ve insan yapımı olan bütün objelerin gösterilmesi sonucunda oluşan modeldir. SYM'ler her pikselde bir yükseklik değeri bulunduran sayısal görüntü olarak belirtildiği gibi birbirinden bağımsız, gelişigüzel dağılmış olan X, Y ve Z değerleri bilinen noktaların birbirleriyle kesişmeyen üçgenler kümesi olarak da ifade edilebilmektedir. Bu modeller ile yüzey alanları, hacim hesapları, eğim ve izohipslerin oluşturulmasında kullanılabilmektedir (Uray, 2016).

2.6. Sayısal Arazi Modeli (SAM)

Sayısal arazi modeli terimi Massacusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından, bilinen X, Y ve Z koordinatlarına sahip birçok noktaya sahip sürekli bir yüzeyin basitleştirilmiş istatistiksel temsili olarak tanımlanmaktadır (Malıqı et al., 2017; Pedersen, 2022). SYM ile aynı manada kullanılan lakin insan yapımı olan bütün objeler ile birlikte bitki örtüsünde olmayan modellere sayısal arazi modeli denilmektedir. SAM, yer yüzeyinin gerçek şeklinin daha iyi şekilde gösterildiği yüksek değerleri bulunan noktalardan oluşmaktadır. SYM ile üretilen SAM kullanılarak elde edilen eşyükselti eğrileri yer yüzeyinin gerçek şeklini daha üstün bir biçimde göstermektedir. SAM, sade arazi yüzeyine dair SYM'nin eş anlamlısıdır (Maune, 2011; Uray, 2016).

SAM' nin kullanım alanlarına bakacak olursak; şehir planlaması, orman yönetimi, topografik harita, ulaşım, taşkın tehlike ve risk haritaları gibi birçok alan yer almaktadır (Hill et al., 2000; Uray, 2016).

Farklı enterpolasyon algoritmaları ile sayısal arazi modeli üretmek mümkündür. Sayısal arazi modelinin kullanım ve üretim amacı, sayısal arazi modeli oluştururken hangi enterpolasyon algoritmasının kullanılması gerektiğini belirlemektedir. Jeodezik ve mühendislik amaçları ile üretimi sağlanan sayısal arazi modelleri, sayısal arazi modelinin yüzey yüksekliklerini (GRİD), düzensiz bir ızgarayı (TIN) ve vektör çizgilerini yeniden üreten düzenli bir nokta ızgarası ile temsil edilmesi yaygındır (Maliqi et al., 2017; Pedersen, 2022). Sayısal arazi modeli rasterinden üretimi gerçekleşen başka bir görselleştirme yöntemleri de vardır. Bunlardan bir tanesi, Sayısal arazi modeli rasterinde yer alan matematiksel bir işlemden kaynaklanan eğim kabartmasıdır (Pedersen, 2022; Vosselman & Maas, 2010).

Grid: Sayısal arazi modelinin normal bir ızgarada raster olarak temsilidir. Arazi yüzeyi, düzgün dağılmış X ve Y koordinatları ile ilişkili olan yükseklik değerleri kümesi olarak temsil edilir (Maliqi et al., 2017; Pedersen, 2022).

TIN: Çoklu CBS yazılımı ve otomatik haritalama yazılımı tarafından uyarlanan sayısal arazi modelidir (Bjørke, 2010; Pedersen, 2022). TIN modelleri, üçgenleri oluşturan çizgiler ile birbirine bağlanan noktalardan oluşmaktadır ve bütün üçgenler içerilerinde sürekli yüzeyler oluştururlar. Oluşan yüzeyler üçgenlerin üç köşe noktasına ait yükseklikler ile tanımlanmaktadır (Maliqi et al., 2017; Pedersen, 2022).

Eğim kabartması: Yükseklik modelinin bir görselleştirme yöntemidir. Bunlar, yerel yükseklik değişikliklerini bir yükseklik ızgarasından daha net gösterir (Pedersen, 2022; Vosselman & Maas, 2010).

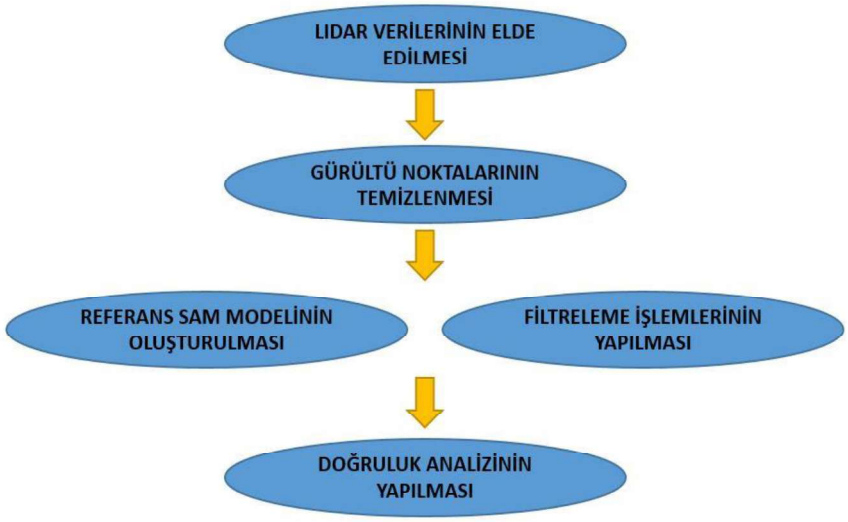
2.7. LAS Dosya Formatı

3B nokta bulutlarına ait olan verilerin kullanıcılar arasındaki veri alışverişini sağlayan bir dosya biçimidir. İlk oluşturulduğunda LİDAR nokta bulutlarına ait veri alışverişleri için geliştirilmesine rağmen, herhangi bir 3B X, Y ve Z verisinin alışverişini sağlayabilmektedir. Genel olarak kullanılan ASCII dosya değişim formatı ve diğer tescilli sistemlere alternatif olarak geliştirilmektedir. Söz konusu sistemlerden olan tescilli sistemler verilerin bir sistemden diğerine kolayca alınamaması nedeni ile sorun teşkil ederken ASCII dosya formatı ile alakalı iki sorun mevcuttur. ASCII dosya biçiminin sorunlarına bakıldığında verilerin okunması ve yorumlanması çok yavaş olduğu için ilk sorun performanstır. ASCII dosya formatı ile alakalı ikinci soruna bakıldığında LİDAR verilerine özgü olan tüm bilgilerin kaybolmasıdır. LAS dosya biçimi, LİDAR verilerine özgü bilgileri koruyan ve aşırı karmaşık olmayan bir dosya biçimidir (*Laser (LAS) File Format Exchange Activities – ASPRS*, n.d.).

3. UYGULAMA

Tez çalışmasında kentsel özellik taşıyan alana ait olan LİDAR nokta bulutu verisi kullanılmıştır. Verilerin her biri CSF algoritmasında farklı parametre değerleri girdi olarak kullanılarak sadece zemine ait noktaların elde edilmesi sağlanmıştır. 3B nokta bulutu verileri açık kaynak kodlu CloudCompare yazılımında yer almakta olan filtreleme algoritmasının kullanılması ile deneme yanılma yolu olarak isimlendirilen yöntem ile filtrelenmiştir (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).

CSF algoritmasında uygulanan her bir parametre değeri için SAM oluşturulmuş olup elde edilen SAM'ın doğruluk analizinin yapılması hedeflenerek filtreleme algoritması için 3B LİDAR nokta bulutu veri setinde optimum parametre değerlerinin hangi değerlere karşılık geldiğine karar verilmiştir(Sarıtaş & Kaplan, 2023a).



Şekil 3.1. *İş akış diyagramı (Sarıtaş & Kaplan, 2024)*

İlk olarak CloudCompare yazılımında gürültü noktalarının giderilmesi amacı ile Noise Filtresi kullanılmıştır. Filtrede yer alan parametreler farklı kombinasyonlar halinde girdi verisi olarak kullanılarak LİDAR veri setlerinde yer alan gürültü noktalarının giderilmesi sağlanmıştır. Filtrelenen veri setleri değerlendirildiğinde bina köşesi gibi keskin yapılarda veri kaybının olduğu tespit edildiğinden dolayı nokta bulutunda manuel olarak gürültü giderilmesinin yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Manuel olarak tespit edilen gürültü noktalarının temizleme işlemi yapılmış olup veri setlerinde yalnızca gerçek

çevreye ait olan noktaların yer aldığı 3B nokta bulutunun yer alması sağlanmıştır(Sarıtaş & Kaplan, 2023a).

Zemine ait noktaların sınıflandırılması amacı ile ilk olarak CloudCompare yazılımı içerisinde yer alan CSF algoritması kullanılmıştır. Örtü değeri olarak isimlendirilen parametre faklı kombinasyonlarda değerlendirilmiş olup örtü değerinin büyümesi ile veri kaybının büyüklüğünün göz ile tespit edilebilecek aşamada olduğu görülebilmektedir(Sarıtaş & Kaplan, 2023a).

Çalışmada yer alan CSF algoritmasının kullanılması ile oluşturulan SAM'ların doğruluk analizleri yapılarak CSF algoritmasında hangi parametre değerlerinin kullanımı sonucunda daha doğru SAM ürettiğine karar verilebilmektedir(Sarıtaş & Kaplan, 2023a).

3.1. Çalışma Esnasında Kullanılan Yazılımlar

3.1.1. CloudCompare

Lazer tarama cihazları kullanılarak elde edilen nokta bulutları gibi 3B nokta bulutlarını işleyen bir yazılım olmasının yanı sıra kalibre edilmiş görüntüleri ve üçgen ağları da işleyebilmektedir. Oluşturulma amacına bakıldığında yalnızca lazer tarayıcılar kullanılarak endüstriyel tesislerde veyahut şantiyelerde elde edilmekte olan 3B yüksek yoğunluğa sahip nokta bulutlarında olan değişiklikleri hızlıca tespit etmektir fakat daha sonralarda, daha gelişmiş ve daha genel bir 3B veri işleme yazılımı olmaya evrilmektedir. Bağımsız açık kaynak projesi olan CloudCompare ücretsiz bir yazılımdır (http-3).

3B nokta bulutlarını ve üçgen ağları manuel olarak düzenlemek için bir dizi temel araç sağlamaktadır. Eksen tabanlı, silindir veya koni açılımı gibi projeksiyonlar, Iterative closest point (ICF) gibi kayıt algoritmaları, bulut-bulut veya bulut-mesh en yakın komşu mesafesi gibi mesafe hesaplama yöntemleri, uzaysal Ki-kare testi gibi istatistik hesaplama yöntemleri, ön yayılım tabanlı veya bağlı bileşenler etiketleme algoritmaları gibi segmentasyon yöntemleri ve son olarak da yoğunluk, eğrilik, pürüzsüzlük ve jeolojik düzlem yönü gibi bilgilerin elde edilebilmesi için geometrik özellik tahmini yapabilme özelliğine sahip bir yazılımdır (http-3).

CloudCompare yazılımı değişiklik tespiti yapmak üzere tasarlandığından ve üçgen ağ bir referans sekli temsil etmenin çok yaygın bir yolu olduğundan, çok kullanışlıdır. Bununla birlikte, özellikle CloudCompare, bir ara ağ oluşturmaya gerek kalmadan iki nokta bulutunu doğrudan karşılaştırabildiğinden, ikincil bir varlık olarak kalır. Bunun

nedenlerine bakıldığında ağları gerçek hayattaki sahnelerde düzgün bir şekilde oluşturmasının özellikle lazer tarayıcı ile tarandığında genellikle çok zor olması ve HLT veya YLT ile elde edilen nokta bulutları genellikle çok yoğun olduğundan, ihtiyaç olunan tüm bilgilere sahip olunmasıdır (http-4).

3.1.2. Autodesk ReCAP

Gerçek dünyadaki bina ve altyapı projeleri için 3B modeller oluşturmak amacı ile kullanılır. Tasarımcıların veya mühendislerin gerçek dünyadaki varlıkların yüksek kaliteli ve ayrıntılı modellerini yakalamasına yardımcı olmaktadır. İçgörü kazanmak ve daha iyi kararlar almak için mevcut koşuları ve inşa edilmiş varlıkları anlamak ve doğrulamak, yapı bilgi modellemesi (BIM) süreçlerini desteklemek için bir nokta bulutu veya ağ sunun ve gerçek dünya bağlamında ekipler arasındaki iş birliğinin sağlanması veya bina ve altyapı projelerinin araştırılması, planlanması, inşa edilmesi ve yenilenmesi gibi çalışmalarda kullanılmaktadır (http-5).

3.1.3. AutoCAD Civil 3D

Mühendislerin 3B model tabanlı bir ortamda karmaşık altyapı zorluklarının üstesinden gelmesini sağlamaktadır. Tasarımı ve dokümantasyonu hızlandırmak, gelişmiş tasarım otomasyonu ile iş birliği ve koordinasyonu arttırmaktadır (http-6).

Autocad Civil 3D nesneler arasında akıllı ilişkiler kurmaktadır. Tasarımda herhangi bir değişikliğin olması durumunda işlem yapılan nesneler de dinamik bir biçimde güncellenmektedir. Autocad Civil 3D yazılımında yer almakta olan tüm nesneler birbirleri ile bir bağlantı içerisindedirler. Autocad Civil 3D yazılımında tasarım, analiz, raporlama ve 3B görselleştirme gibi işlemlerin her birini yapmak mümkündür (http-7).

Autocad Civil 3D yazılımı ile birçok farklı veriyi kullanarak SAM oluşturulabilmektedir. Arazi modelleri, noktalar, eş yükselti eğrileri, AutoCAD nesneleri, şev nokta veya hatları gibi veriler, çoklu çizgiler, ASCII nokta dosyaları, SAM dosyaları tek tek veya bir arada kullanılarak oluşturulabilmektedir. Oluşturulan arazi modelleri dinamik bir yapıya sahiptirler ve modeli oluşturan verilerde herhangi bir değişiklik olduğunda otomatik olarak güncellenmektedir. Birçok farklı kaynaktan gelen veri kullanılarak arazi modeli oluşturulmaktadır ve model üzerinde analizler yapılıp 3B görüntüler elde edilebilmektedir (http-8).

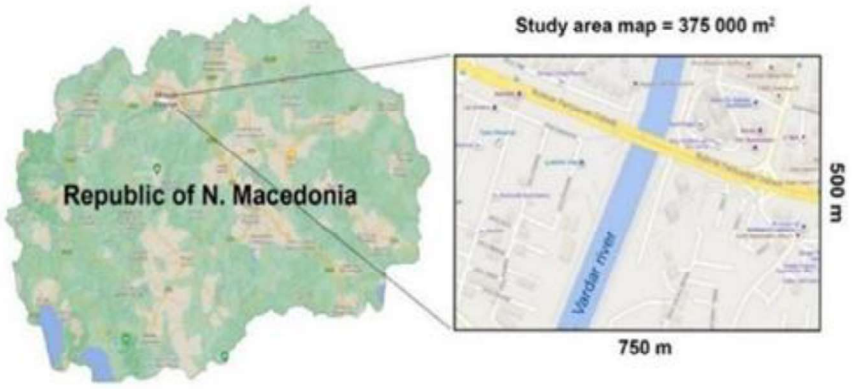
3.1.4. ArcMap

Öncelikle coğrafi verileri görüntülemek, düzenlemek, oluşturmak ve analiz etmek için kullanılır. ArcMap, kullanıcının bir veri seti içindeki verileri keşfetmesine, özellikleri buna göre sembolize etmesine ve haritalar oluşturmasına olanak tanır (http-9).

3.2. Çalışma Alanı ve LİDAR Nokta Bulutuna Ait Özellikler

3.2.1. Çalışma alanı

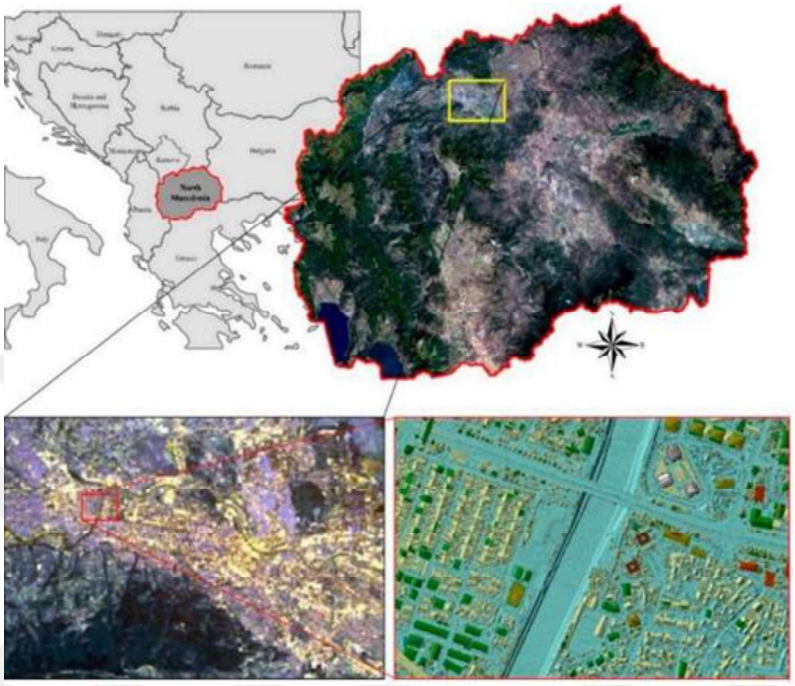
Çalışma alanı (300 hektar), Kuzey Makedonya'nın başkenti Üsküp'ün batı kesiminde toplam 312 binadan oluşan bir kentsel alandan oluşmaktadır. Çalışma alanı yaklaşık 60 m genişliğinde Vardar nehri ile ikiye ayrılırken, çalışma alanının sol kısmında maksimum 10 m yüksekliğinde yoğun ve alçak konut ızgarası benzeri binalar bulunurken, sağ tarafta daha yüksek konut ve ticari binalar bulunmaktadır. Maksimum yükseklik 70 m'dir. Çalışma alanı genellikle düzdür ve çalışma alanının yüzey yüksekliği 250-327 arasında değişirken arazi yüksekliği 250-325 arasındadır. Binaların yanı sıra, çalışma alanında her iki taraftan da çok sayıda ağaç, üç köprü ve 20 m genişliğinde bir nehir kıyısı bulunmaktadır (Kaplan et al., 2022).



Görsel 3.1. *Analizler için kullanılan Üsküp Şehrindeki çalışma alanı* (Adjiski et al., 2023)

Çalışma alanı, yıkıcı deprem geçmişi olan yüksek riskli bir sismik bölgede yer almaktadır. Böylece, yoğunluk derecesi IX (Mercalli ölçeği) olan sığ, 6,1 büyüklüğünde bir deprem, felaketin önemli can ve mal kaybına neden olduğu 1963'te şehre çarptı. 1000'den fazla kişi öldü, 4000 kişi yaralandı ve 200.000'den fazla yerinden edildi(Kaplan et al., 2022).

Şehrin neredeyse % 80'i yıkıldı ve birçok kamu binası, okul, hastane ve tarihi mekan ciddi şekilde hasar gördü. Daha yakın zamanlarda, 2016 yılında, güçlü, büyüklükteki bir ML5.3 depremi başkenti vurdu(Kaplan et al., 2022; Sinadinovski et al., 2022).

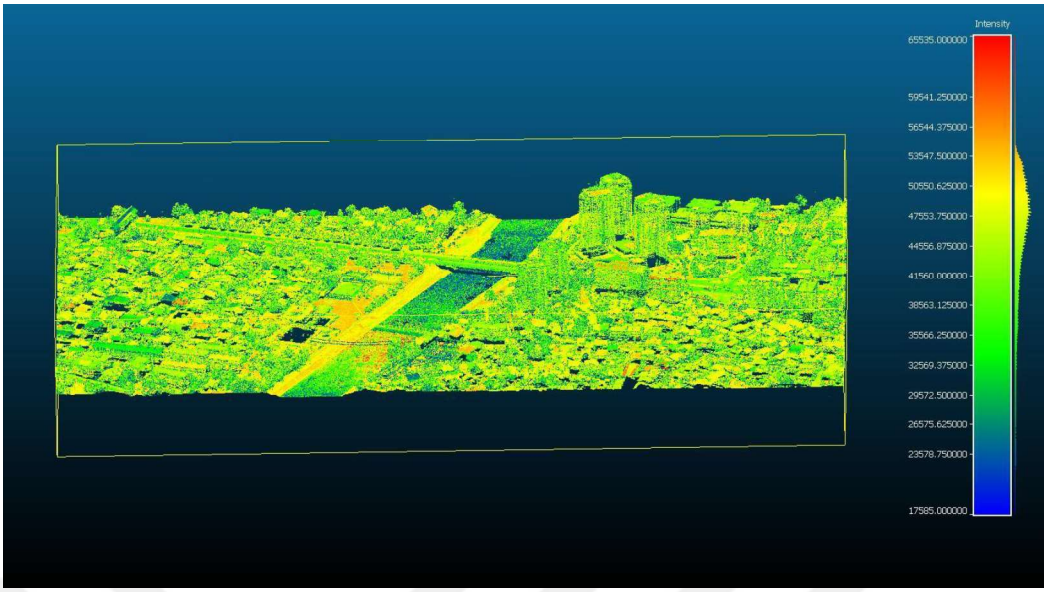


Görsel 3.2. *LiDAR çalışma alanı* (Kaplan et al., 2022)

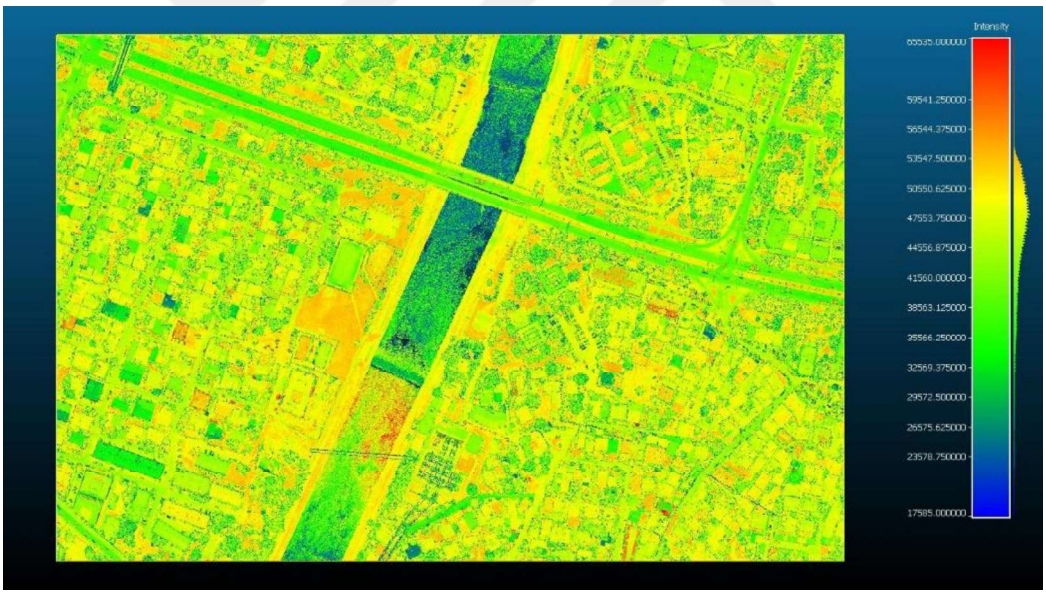
3.2.2. LİDAR nokta bulutu verisi

Bu çalışmadaki birincil veriler LİDAR uzaktan algılamadır. LİDAR verileri Kuzey Makedonya Kadastro Dairesi'nden elde edildi. Veri toplama bir hava platformu, Cessna 402B ve Riegl VQ-780i sensör sistemi ile yapılmıştı. Veri toplama 3 Mayıs 2019'da açık bir gökyüzü ve 11 ° C hava sıcaklığı altında yapıldı. LİDAR verilerinin toprak örnekleme mesafesi 5 puan / m2'dir (Kaplan et al., 2022).

Kentsel alana ait 3B LİDAR nokta bulutunda toplamda 4.540.667 adet nokta yer almaktadır (Sarıtaş & Kaplan, 2023a).



Görsel 3.3. *Kentsel alan LİDAR verilerinin CloudCompare yazılımında görüntülenmesi (Sarıtaş & Kaplan, 2023a)*



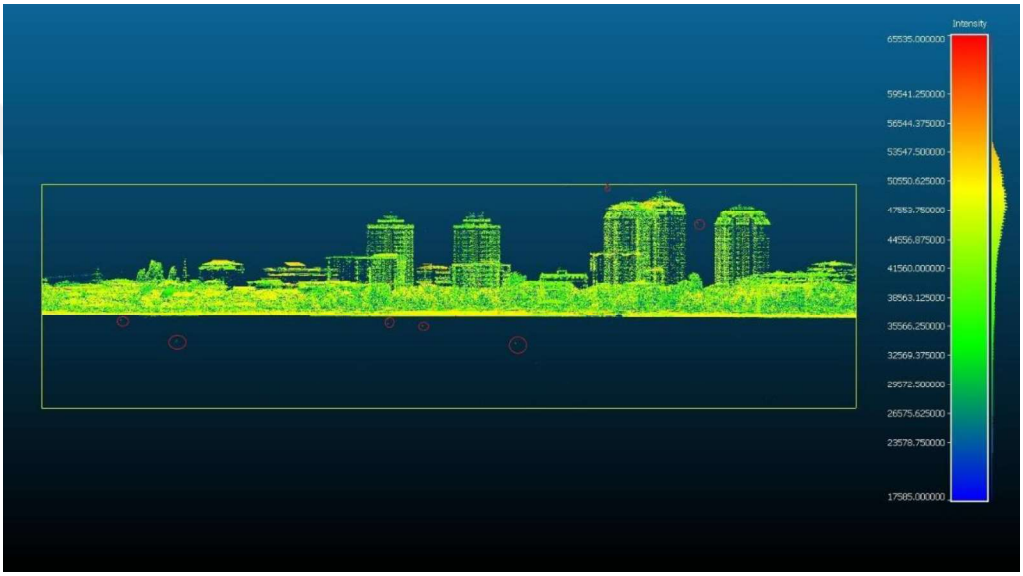
Görsel 3.4. *Kentsel alan LİDAR verilerinin üstten bakış açısı ile CloudCompare yazılımında görüntülenmesi*

3.3. Metadoloji

3.3.1. LİDAR verilerinde Noise Filtresinin kullanımı

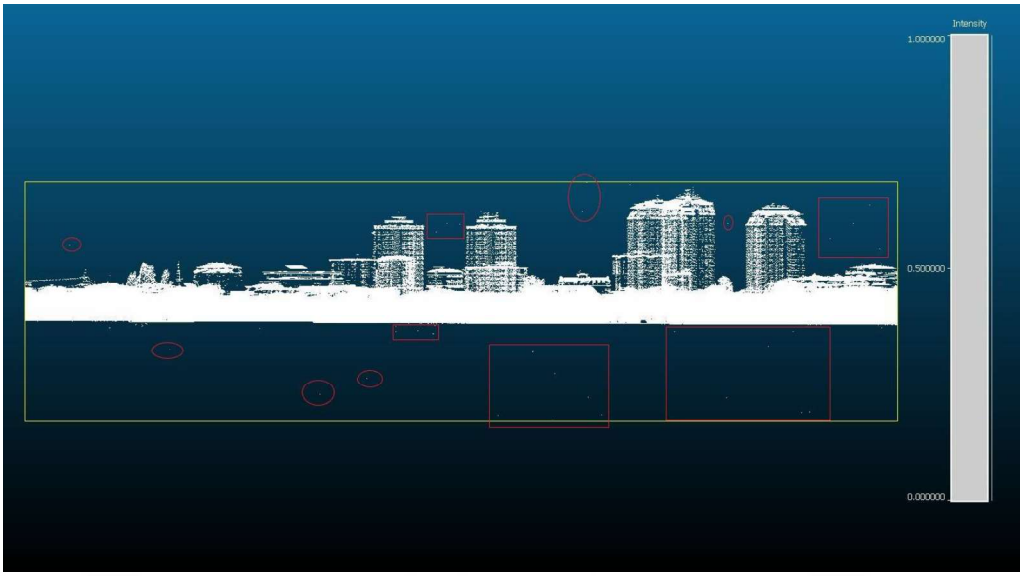
LİDAR nokta bulutları elde edilme aşamasında yansımalardan dolayı kaynaklanmakta olan hava durumunun sisli veya yağmurlu olması halinde nokta bulutlarında gürültü (noise) noktaları oluşmaktadır.

Noise filtresinin uygulanması amacı ile komşuluk değeri olarak isimlendirilen parametre değeri çeşitli değerler ile değiştirilerek filtreleme işlemleri yapılmıştır.



Görsel 3.5. *Kentsel alan LİDAR verilerinde yer alan gürültü noktalarının CloudCompare yazılımında görüntülenmesi*

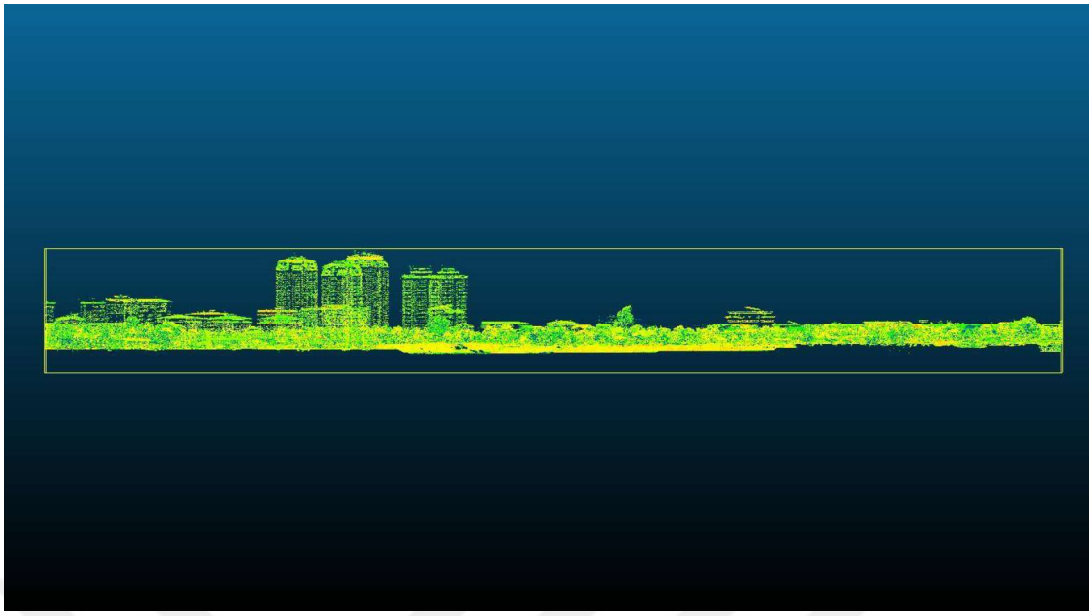
Gürültü noktalarının daha net görüntülenebilmesi amacı ile renk skalası intensity olarak ayarlanarak LİDAR nokta bulutu verilerinin yoğunluk görüntüsü ekrana yansıtılmıştır. Bu sayede LİDAR verimizde olmaması gereken noktaların tespiti daha kolay yapılabilmektedir.



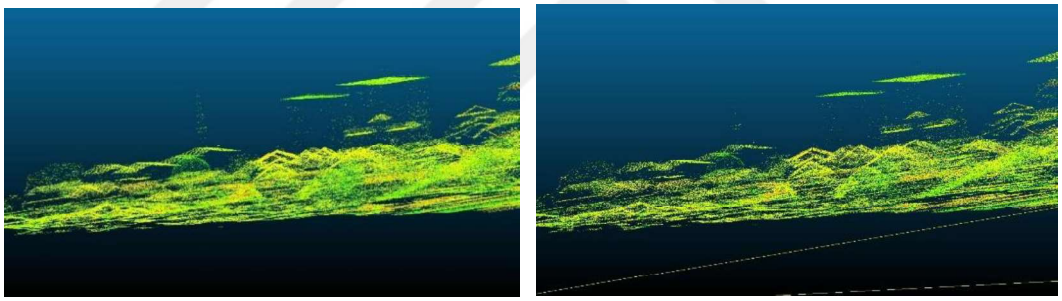
Görsel 3.6. *Kentsel alan LİDARverilerinde yer alan gürültü noktalarının yoğunluk renk skalası olarak CloudCompare yazılımında görüntülenmesi*

LİDAR nokta bulutu verimizde yer alan gürültü noktalarının giderilmesi amacı ile CloudCompare yazılımında yer alan Noise filtresi kullanılmıştır. Noise Filtresi noktaların yüzeydeki uzaklıklarını dikkate alarak gürültü noktalarının temizlenmesini sağlamıştır. Noise Filtresinin çalışma temeline göre eğer nokta belirlenen düzlemden uzakta ise bu nokta gürültü olarak algılanarak kaldırılır. Kullanıcı ise bu mesafeyi kendisi belirleyebilmektedir. Noise filtresini çalıştırmak için sırası ile CloudCompare yazılımında "Tools –> Clean –> Noise Filter" seçenekleri seçilmektedir. Filtreleme işlemleri komşuluk değerine göre yapılmakta olup sırası ile 1, 3, 5, 7 ve 9 değerleri için 5 adet filtreleme gerçekleştirilmiştir.

Komşuluk değerinin 1 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 1.748.797 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 2.791.870 adet LİDAR noktası yer almıştır.

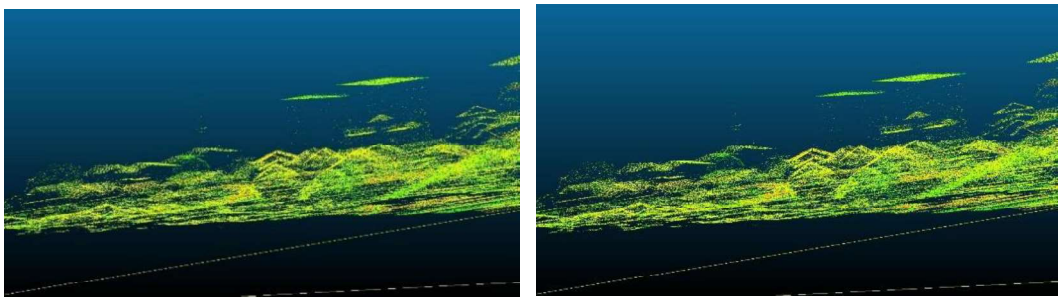


Görsel 3.7. *Noise Filtresinde komşuluk değerinin 1 olarak seçilmesi sonucunda elde edilen LİDAR nokta bulutu*



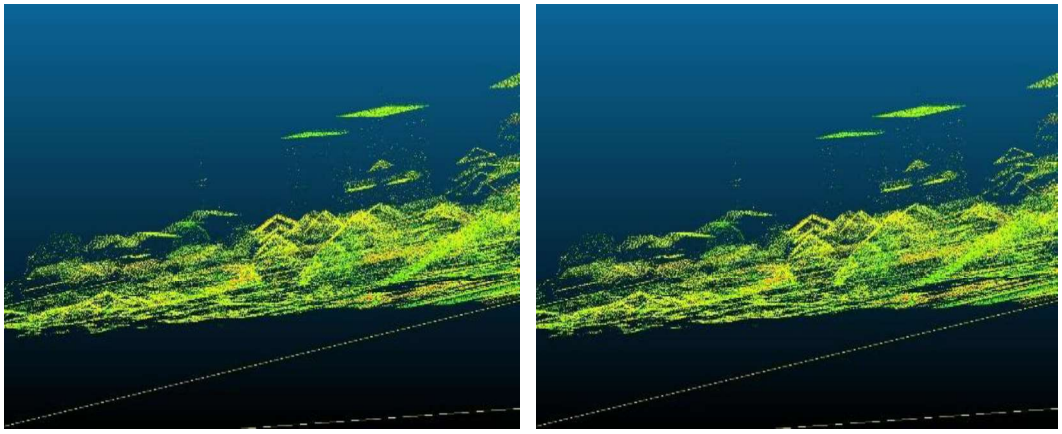
(a) (b)

Görsel 3.8. *(a) Komşuluk değeri 1 olarak kabul edilen Noise Filtrelemesi sonucunda elde edilen veri ile (b) Orjinal nokta bulutunun karşılaştırılması – 1*



(a) (b)

Görsel 3.9. *(a) Komşuluk değeri 1 olarak kabul edilen Noise Filtrelemesi sonucunda elde edilen veri ile (b) Orjinal nokta bulutunun karşılaştırılması – 2*



(a) (b)

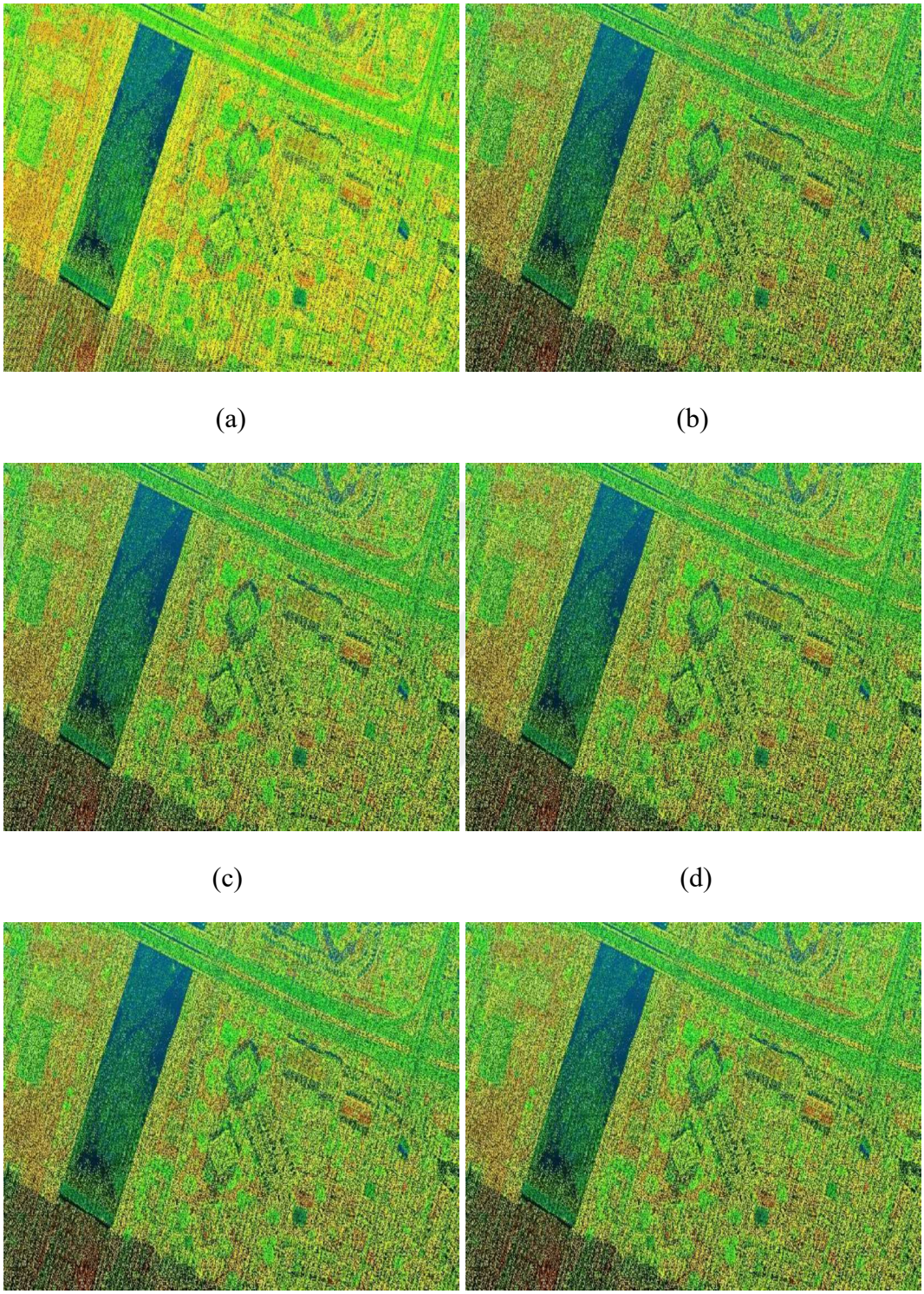
Görsel 3.10. *(a) Komşuluk değeri 1 olarak kabul edilen Noise Filtrelemesi sonucunda elde edilen veri ile (b) Orjinal nokta bulutunun karşılaştırılması- 3*

Komşuluk değerinin 3 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 1.795.699 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 2.744.968 adet LİDAR noktası yer almıştır.

Komşuluk değerinin 5 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 1.782.484 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 2.758.183 adet LİDAR noktası yer almıştır.

Komşuluk değerinin 7 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 1.717.972 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 2.822.695 adet LİDAR noktası yer almıştır.

Komşuluk değerinin 9 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 1.203.0400 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 3.337.627 adet LİDAR noktası yer almıştır.

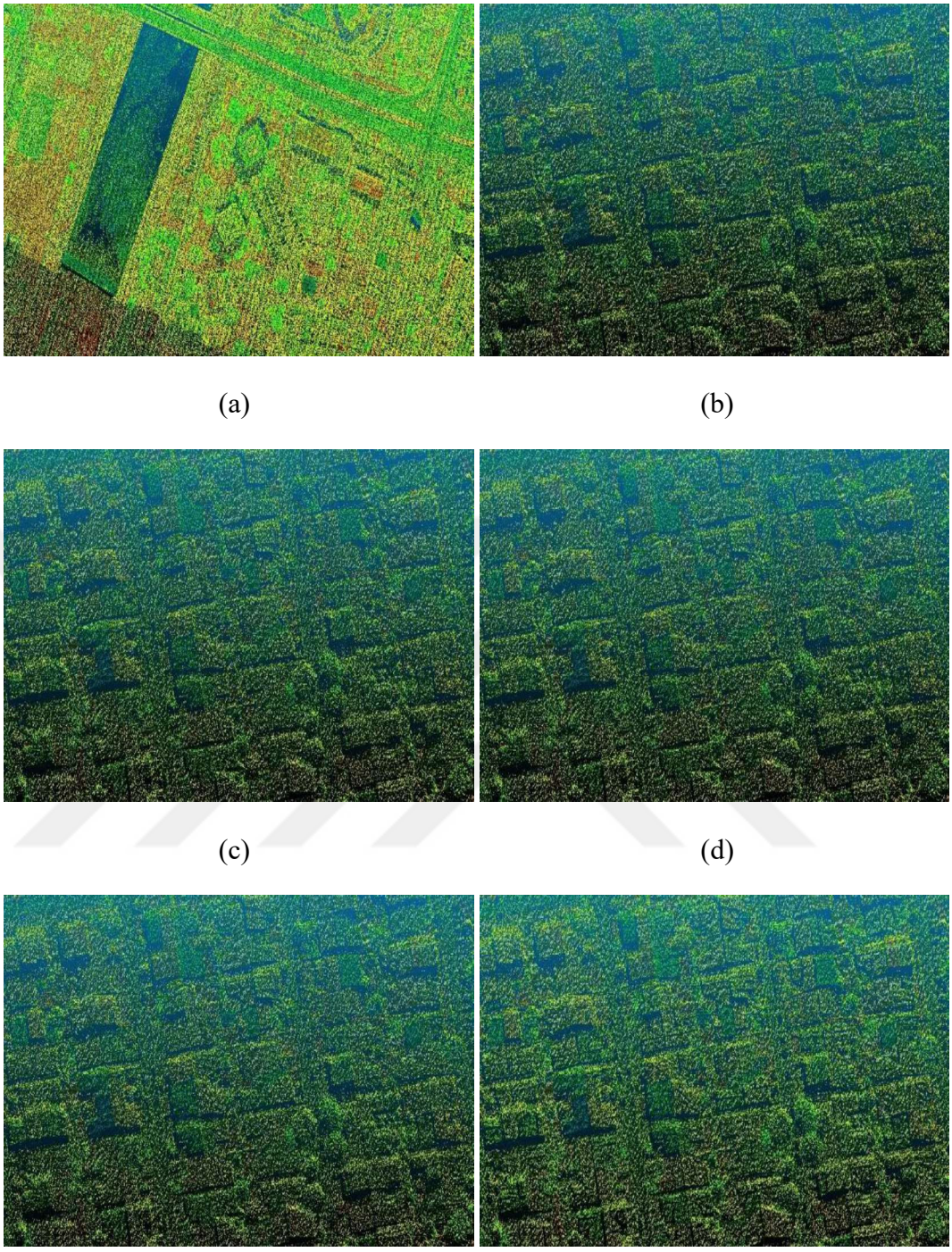


(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

Görsel 3.11. *(a) Orjinal nokta bulutu , (b) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri , (c) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 3 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (d) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (e) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 7 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (f) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 9 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri karşılaştırması - 1*



Görsel 3.12. *(a) Orjinal nokta bulutu , (b) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri , (c) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 3 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (d) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (e) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 7 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (f) Noise Filtrelemesi komşuluk değerinin 9 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri karşılaştırması – 2*

Tablo 3.1. *Noise Filtrelemesi kullanılarak temizlenen nokta bulutuna ait nokta sayıları*

Komşuluk Değeri	Kalan LİDAR Nokta Sayısı	Silinen LİDAR Nokta Sayısı
1	2.791.870	1.748.797
3	2.744.968	1.795.699
5	2.758.183	1.782.484
7	2.822.695	1.717.972
9	3.337.627	1.203.040

Noise filtreleme sonuçları incelendiğinde komşuluk değerinin artması ile doğru orantılı olarak LİDAR nokta bulutundan silinen verilerin azaldığı fakat veri kaybının devam ettiği görülmüştür. Noise filtresi sonucunda bina kenarları gibi geometrik özellik taşıyan yapıların sınırlarının belirlenmesinde güçlük çektiği belirlenmiştir. Çatı noktalarında olduğu gibi su kenarı, zemin ve ağaç özelliği taşıyan objelerinde veri kaybından etkilendikleri görülmüştür.

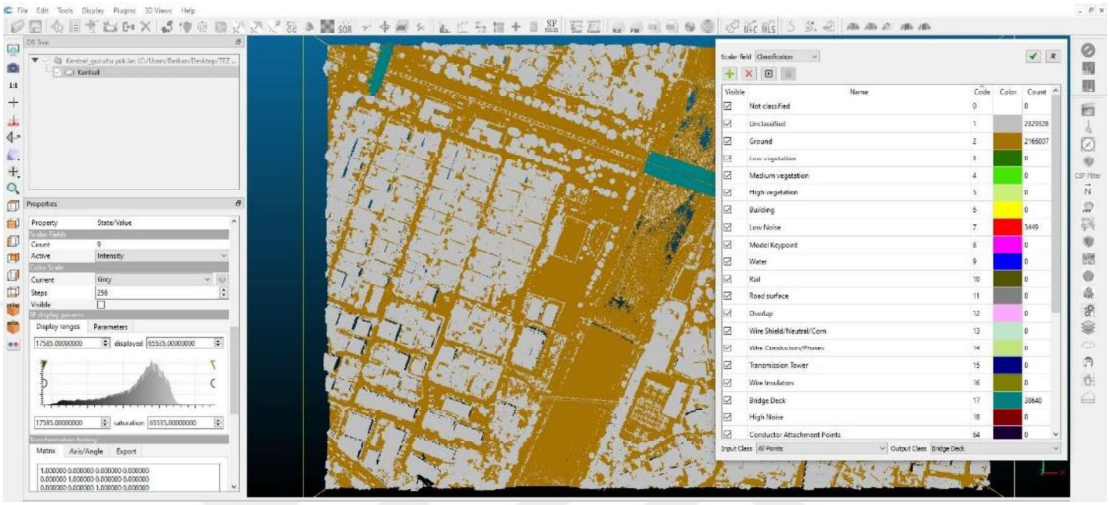
LİDAR nokta bulutundaki söz konusu veri kayıplarının olmasından dolayı Noise filtresinde herhangi bir parametrenin kullanılması ile elde edilen nokta bulutlarının çalışmada kullanılmamasına karar verilmiştir. Nokta Bulutunda yer alan gürültü noktalarının manuel olarak temizlenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Gürültü noktalarının manuel olarak temizlenmesi ile çalışma noktalarının sayısı 4.537.384 olarak elde edilmiştir.

3.3.2. Referans SAM oluşturulması

Filtreleme işlemleri sonucunda elde edilen modellerin doğruluğunun tespit edilmesi gerekmektedir. Referans alınacak herhangi bir model bulunmadığından dolayı analiz işlemlerinde kullanılacak olan referans SAM'ın çalışmalar esnasında oluşturulması gerekmektedir. Herhangi bir yersel veya uzaktan algılama yöntemlerini kullanma imkanı bulunmadığından dolayı referans model manuel olarak filtreleme işlemleri yapılarak oluşturulmuştur. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak CloudCompare yazılımı kullanılmıştır (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).

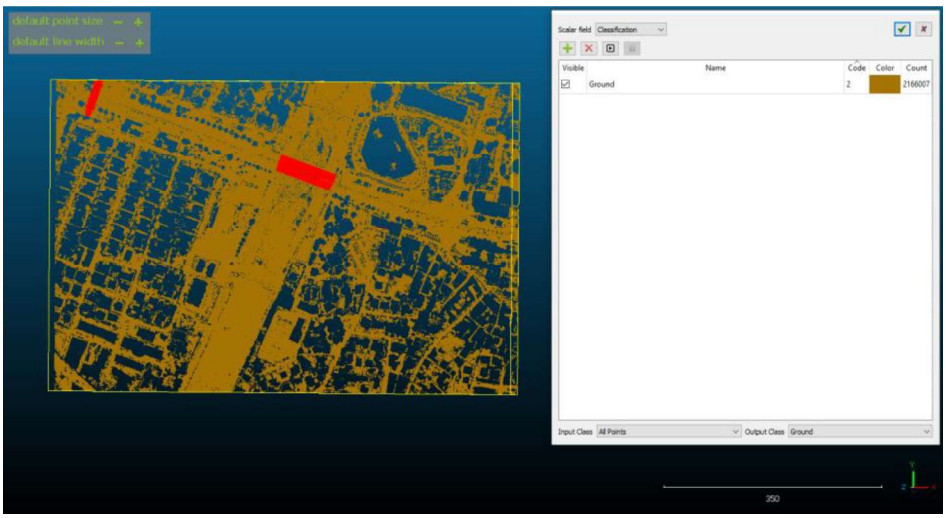
Yazılıma aktarılan "Kentsel.las" verisine ait zemin noktalarının tespit edilmesi işlemi filtre kullanmadan otomatik sınıflandırma ile belirtilmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda "Cloud layer" penceresi çalıştırılmıştır. Veri setinde yazılım tarafından tespit edilen sınıfların ve bu sınıflarda kaç adet LİDAR noktasının yer aldığı

görüntülenmektedir. Yalnızca ground (zemin) isimli sınıfın aktif bırakılması ve kalan tüm sınıfların silinmesi ile yalnızca zemin sınıfına ait noktaların yine tek bir sınıfta yer alması ve kalan diğer sınıflara ait verilerin ise toplu bir şekilde tek bir sınıfta yer aldığı görülmektedir.



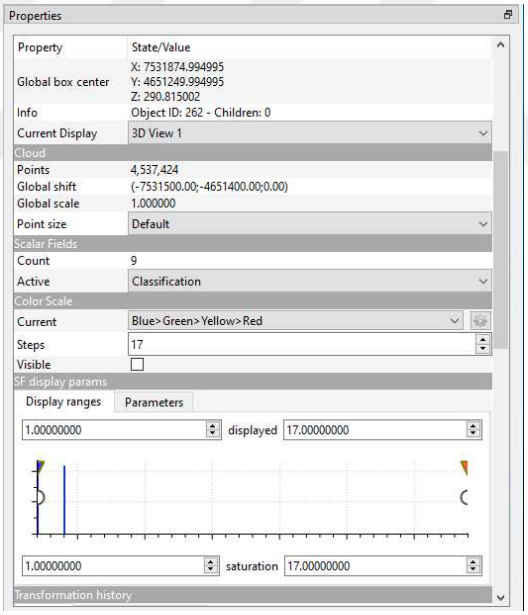
Görsel 3.13. *Cloud Layer penceresinin çalıştırılması*

Yalnızca zemin noktalarının ekrana yansıtılması, zemin dışı olarak yer alan bütün sınıfların silinmesi için yapılan işlem sonucunda üst geçit ve köprüye ait nokta kümesinin de zemin noktası olarak kabul edildiği fakat farklı bir renkte ekrana yansıtıldığı görülmektedir. Tek bir grup içerisinde iki farklı sınıf gibi algılanmıştır.

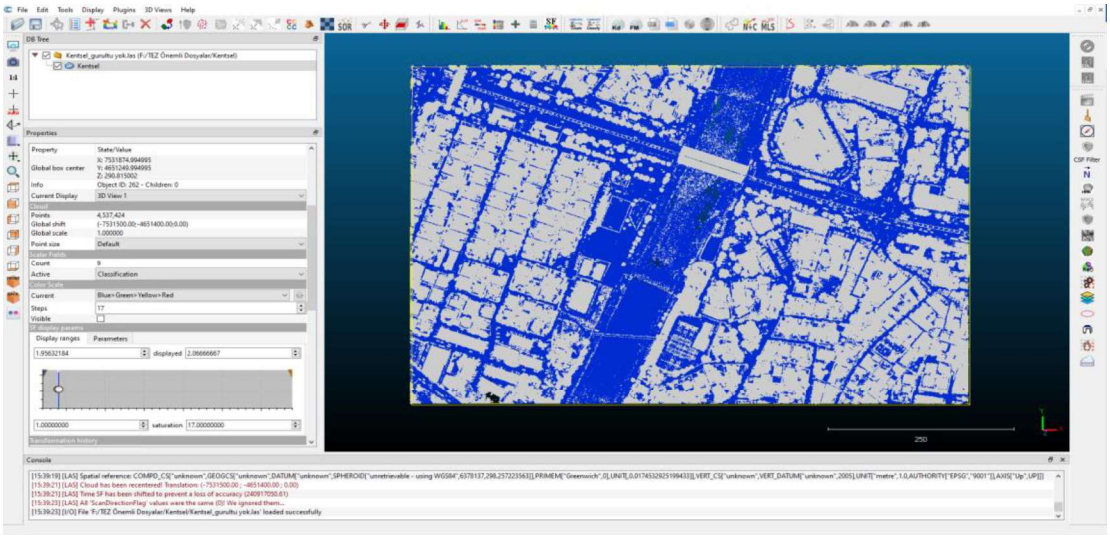


Görsel 3.14. *Zemin harici sınıfların silinmesi ile yalnızca zemin ve zemin harici verilerin iki farklı sınıfta ekrana yansıması*

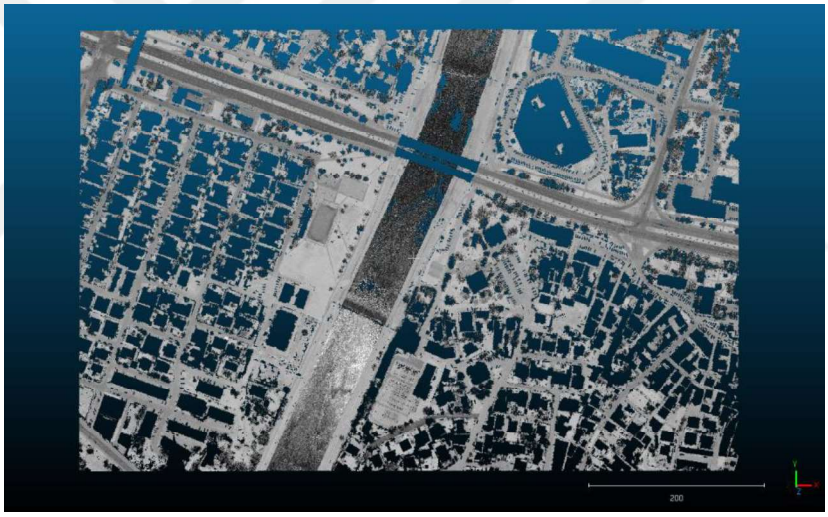
Köprü ve üst geçit nokta kümelerinin silinmesi gerekmektedir. İki farklı veri sınıfı elde edilmesi ile yalnızca zemin veri sınıfına ait verilerin kullanımda kalması ve kalan noktaların çalışma sınıfından temizlenmesi için SF Display params alanında yer alan grafik kullanılmıştır. Tek bir değere sahip olan iki farklı renk yani iki farklı sınıfın olduğu tespit edilmektedir. Zemin sınıfının yalnız bırakılması için veri değerleri aralığının kısaltılması gerekmektedir. Kısaltılan veri değeri ile yalnızca zemin sınıfının elde edilmesi sağlanır. Skalada yer alan mavi ve kırmızı renk değerlerinden yalnızca kırmızı değerinin seçilebilmesi için skala aralığı değiştirilmektedir. Bu sayede üst geçit ve köprünün zemin sınıfında yer almaması sağlanmıştır. Ekrana yansıyan görüntüde mavi olarak yalnızca zemin noktalarının, gri olarak ise zemin dışı yer alan bütün nokta kümesinin yer aldığı görülmektedir. Belirlenen skala aralığı ile elde edilen nokta bulutu export edilerek zemin sınıfına ait nokta bulutunun elde edilmesi sağlanmıştır.



Görsel 3.15. *SF Display Params alanında yer alan grafikte verinin iki farklı sınıfta yer aldığının görüntülenmesi*



Görsel 3.16. *Zemin ve zemin dışı verinin elde edilmesi*



Görsel 3.17. *Zemin sınıfına ait nokta bulutunun yalnız bırakılması sonucu elde edilen veri (Sarıtaş & Kaplan, 2023a)*

Veri incelendiğinde kısmen manuel temizleme yapılması gereken alanların olduğu görülmektedir. Daha doğru bir temizleme işlemi yapılabilmesi için noktaların fiziksel görünümlerinin yanı sıra Google Earth görüntülerinden de yardım alınarak temizlenmek istenilen noktaların gerçekten zemine mi ait olduğu yoksa görsel olarak hata yapmaya müsait bir alan mı olduğu daha doğru bir biçimde tespit edilebilmektedir. Bu işlemi yapmanın diğer bir amacı ise yanlış noktaların silinmesinin yanı sıra silinmesi gereken zemin olmayan noktaların temizlenmesini sağlamaktır. Bu sayede manuel müdahaleler daha hassas bir biçimde tamamlanmıştır (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).



Görsel 3.18. *Çalışma bölgesine ait Google Earth görüntüsü (http-10)*

Filtrelenen LİDAR verisi yakından incelenerek bire bir şekilde Google Earth görüntüsü ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede herhangi bir yanlış sınıflandırma yapılmasının önüne geçilmesine çalışılmıştır.



(a) (b)

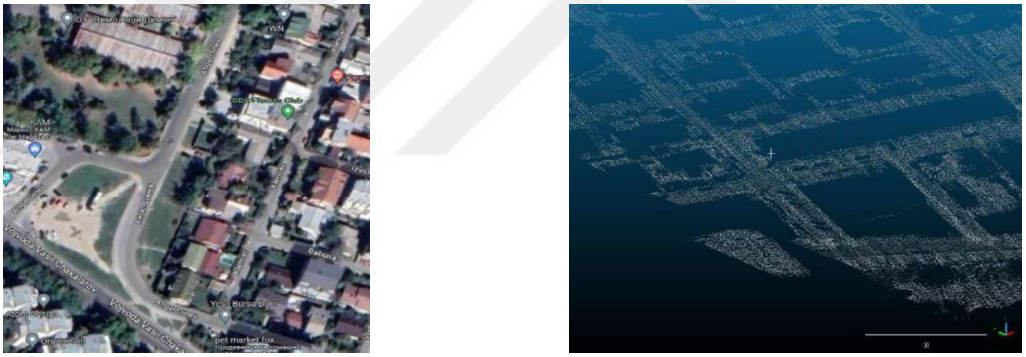
Görsel 3.19. *(a) Yakından incelenen alana ait Google Earth görüntüsü (http-10), (b) Yakından incelenen alana ait sınıflandırılan LİDAR nokta bulutu verisi -1*

Alana ait Google Earth görüntülerinin incelenmesi aşamasında üstten çekilen fotoğraflar yardımı ile tespit edilemeyen bölgelerde alana yandan çekilen görüntüler yardımı ile bakılarak incelemeler sağlanmıştır. İnceleme yapılan bölgede binalar arasında kısım kısım zemin noktalarının yer aldığı tespit edilmiş olup bu bölgede manuel olarak bir temizliğin yapılmamasına karar verilmiştir.



Görsel 3.20. *Alana ait görüntünün incelenmesi -1 (http-10)*

Nokta bulutunun incelenmesi ile emin olunamayan bir başka alanda ise nokta kümesinin çevresinde bulunan nokta kotlarından düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun gerçek dünyada da bu şekilde olup olmadığının tespit edilebilmesi için yine Google Earth görüntülerine başvurulmuştur.



(a) (b)

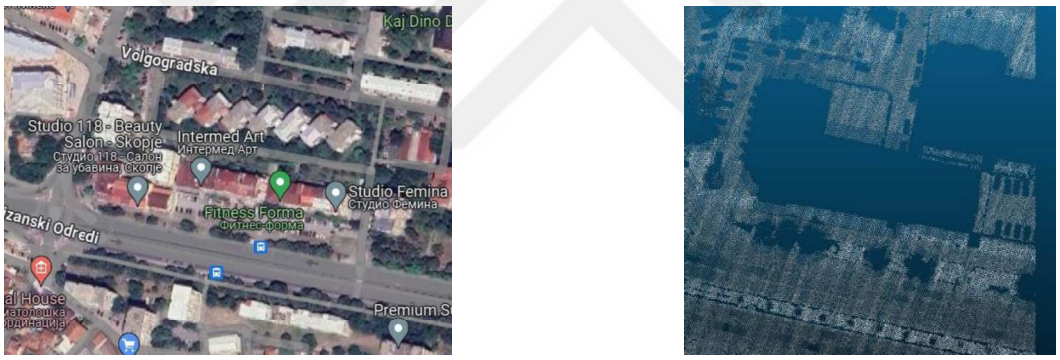
Görsel 3.21. *(a) Yakından incelenen alana ait Google Earth görüntüsü (http-10), (b) Yakından incelenen alana ait sınıflandırılan LİDAR nokta bulutu verisi -2 (Sarıtaş & Kaplan, 2023b)*

Üst görünüm ile tespit edilmesi zor olduğundan dolayı yan görünümden incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu nokta kümesinin gerçek dünyada da yol kotunun altında yer aldığı tespit edilmiştir (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).



Görsel 3.22. *Alana ait görüntünün incelenmesi -2 (http-10)*

Farklı bir bölgenin incelenmesi esnasında zemin olarak belirlenen alanın aslında zemin olmadığı tespit edilmiştir. Nokta bulutunda araçların temizlendiği ve yalnızca zemine ait olan nokta bulutunun elde edilmesinin sağlandığı görülmüştür fakat incelemeler yapıldığında durumun bu şekilde olmadığı görüşmüştür.



(a) (b)

Görsel 3.23. *(a) Yakından incelenen alana ait Google Earth görüntüsü (http-10), (b) Yakından incelenen alana ait sınıflandırılan LİDAR nokta bulutu verisi -3*

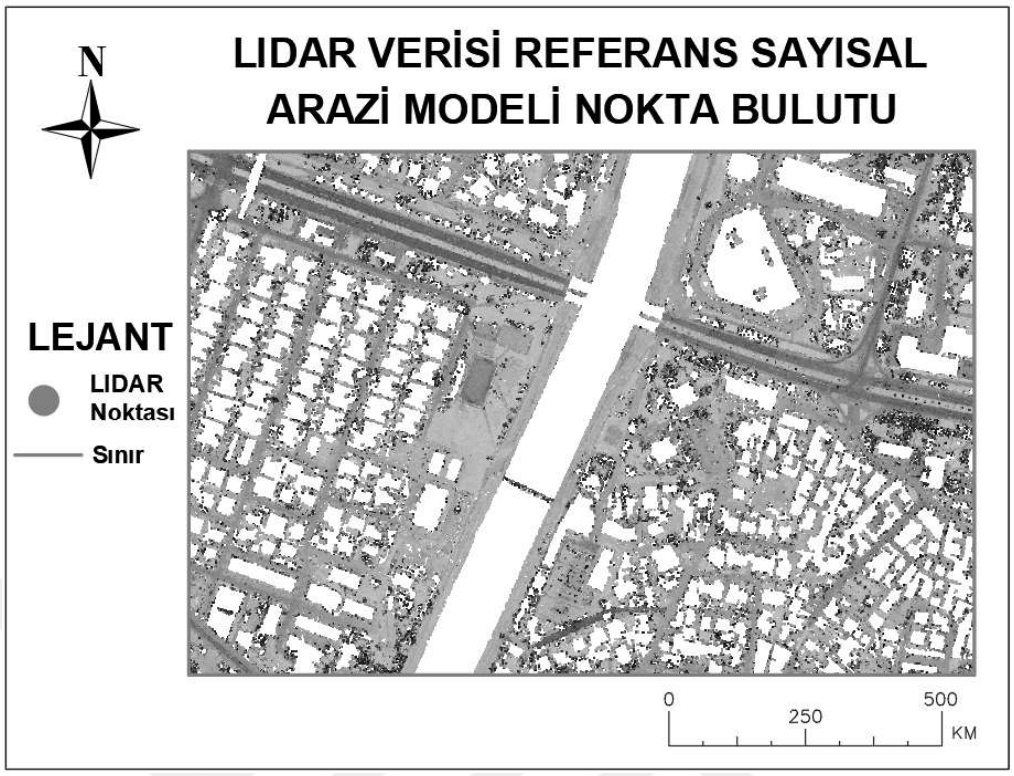
Üst görünüm ile tespit edilmesi zor olduğundan dolayı yan görünümden incelemeler yapılmıştır. Alan incelendiğinde araçların park edebilmesi için yol kotundan yüksek olarak inşa edilen bir otopark alanı olduğu tespit edilmiş ve noktaların referans modelden arındırılması sağlanmıştır.



Görsel 3.24. *Alana ait görüntünün incelenmesi -3 (http-10)*

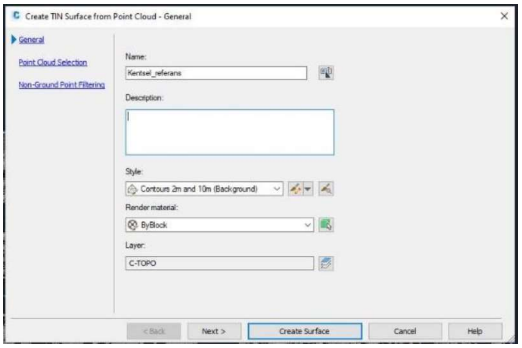
Bütün nokta bulutunun Google Earth görüntüleri ile eş zamanlı olarak incelenmesi ile gözle görülebilecek sorunların tespit edilip manuel nokta silme ile temizlenmesi sağlanmış olup zemine ait olmayan fakat gözle tespit edilemeyecek olan sorunların tespiti için bir sonraki aşama olan üçgen model ile inceleme aşamasına geçilmektedir (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).

Referans modelin doğrulunun daha iyi sağlanması için üçgen model oluşturularak yüzeyde herhangi ani sapmaların olup olmadığının tespit edilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Üçgen model oluşturma işlemi Autodesk firmasına ait olan Autocad Civil 3D yazılımı kullanılarak tamamlanmıştır. CloudCompare yazılımında tamamlanan işlemlerin ardından ".las" veri dışarıya aktarılmıştır fakat aktarılan bu veri Autocad Civil 3D yazılımında çalıştırılmamaktadır. Autocad Civil 3D yazılımında LİDAR verilerinin çalıştırılabilmesi için veri formatının ".rcp" olması gerekmektedir. ".las" veri formatının ".rcp" veri formatına dönüşümünün yapılabilmesi için yine Autodesk firmasına ait bir başka yazılım olan ReCAP kullanılmıştır. Yalnızca veri dönüşümü amacı ile kullanılan yazılım ile ihtiyaç olan ".rcp" formatlı veri elde edilmiştir. "Kentsel.rcp" isimli veri Autocad Civil 3D yazılımında çalıştırılmıştır. Autocad Civil 3D yazılımında yer alan ribon menüleri altında yer alan Insert menüsü açılır ve Point Cloud alanında yer alan Attach butonuna tıklanarak daha ".rcp" uzantılı veri yazılıma aktarılır (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).

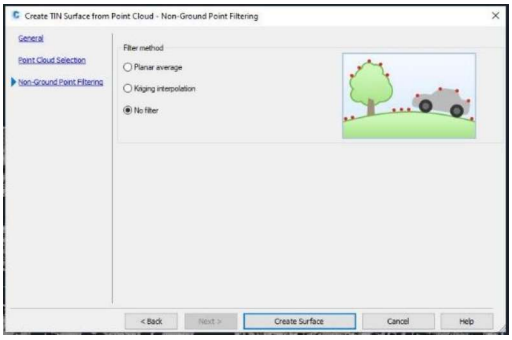


Görsel 3.25. *CloudCompare yazılımında oluşturulan referans modelin Autocad Civil 3D yazılımına aktarılması (Sarıtaş & Kaplan, 2024)*

Nokta bulutuna ait üçgen modelin oluşturulması gerekmektedir. Nokta bulutu seçilerek "Create TIN Surface from Point Cloud" penceresi açılarak oluşturulacak olan üçgen modelin ismi ve sitilinin yanı sıra herhangi bir filtreleme metodunun uygulanıp uygulanmayacağı seçilmektedir. Çalışmamızda bu aşamada herhangi filtreleme çalışması yapılmamıştır. Manuel müdahaleler ile doğru bir model oluşturulmak istendiği için bu model yazılımın sahip olduğu herhangi bir algoritma ile oluşturulmamalıdır. Filtresiz seçeneği seçilerek üçgen model oluşturulması sağlanmıştır (Sarıtaş & Kaplan, 2024).

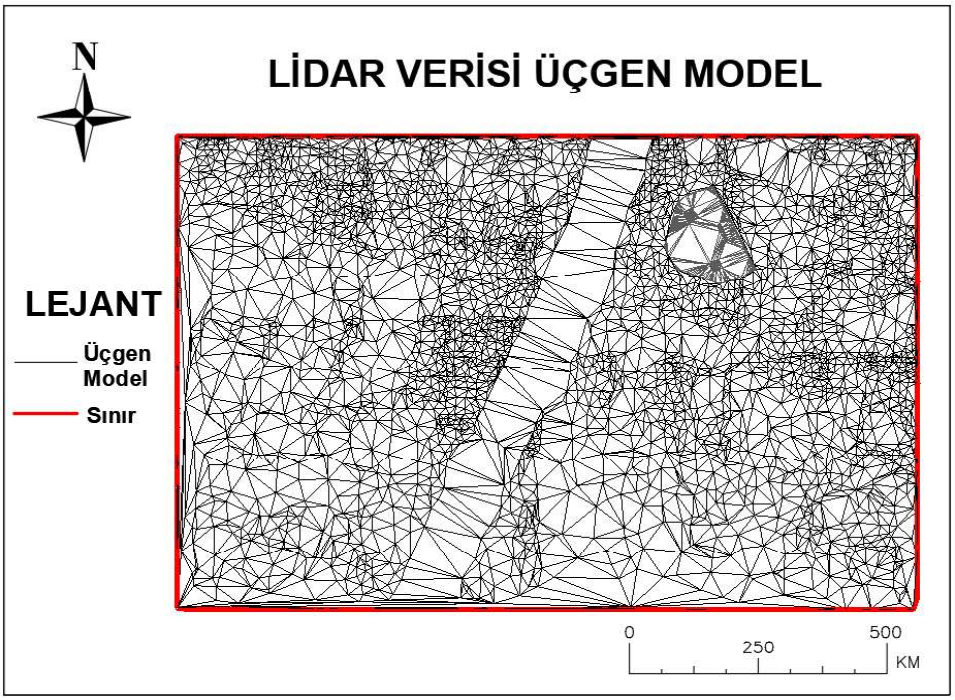


Görsel 3.26. *Autocad Civil 3D yazılımında ''Create TIN Surface from Point Cloud'' penceresi*



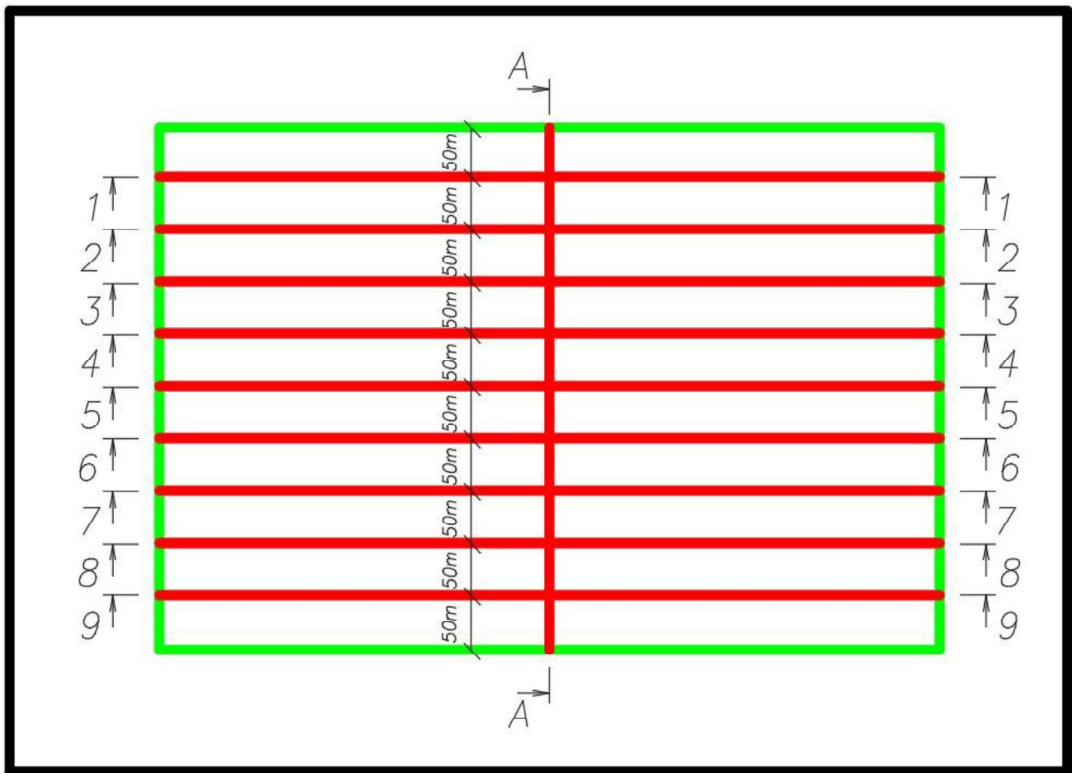
Görsel 3.27. *Autocad Civil 3D yazılımında filtre yönteminin seçilmesi*

Elde edilmek istenilen SAM 'ın doğru bir şekilde elde edilmesi için üçgen modelinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ani sapmaların olduğu alanların yanlış bir üçgen yapısına sahip olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle bu alanlarda yer alan LİDAR nokta bulutu verileri tekrar değerlendirilmektedir. Oluşturulan üçgenlerin döndürülmesi ile düzeltilen model kısımları olduğu gibi kot farklının bir anda değiştiği yerler Google Earth görüntüleri ile destekli bir biçimde üçgen model üzerinde oluşturulan profil ve kesitler ile kontrol edilerek düzenlenmekte olup gerekli durumlarda üçgen modellerin ve LİDAR noktalarının temizleme işlemlerinin yapılması sağlanmıştır.



Görsel 3.28. *Autocad Civil 3D yazılımında oluşturulan üçgen model (Sarıtaş & Kaplan, 2024)*

Oluşturulan üçgen modele ait profil ve kesitler oluşturularak modelin doğruluğu araştırılmıştır. Oluşturulan kesitler 50 metre aralıklar ile geçirilerek arazi hakkında daha net bilgi edinilmesine olanak sağlamıştır. Bir adet profil ve dokuz adet kesit oluşturulmuştur. Şekil 3.2'de görüldüğü düzende oluşturulan profil ve kesitler ekler kısmında yer almaktadır. Profil ve kesitlerin inceleme işlemlerinin ardından oluşturulan modelin referans veri olarak kullanılabilir olmasına karar verilmiştir ve LİDAR verisine ait filtreleme işlemleri aşamasına geçilmiştir (Sarıtaş & Kaplan, 2024).



Şekil 3.2. *Kesit düzeni*

Referans SAM'ın oluşturulması ile birlikte nokta bulutunda zemine ait toplamda 2.150.916 adet yer almıştır.

3.3.3. LİDAR verilerinde CSF Algoritmasının kullanılması

Zemine ait noktaların filtrelenerek çıkartılması CSF algoritmasının kullanılması ile SAM verilerinin oluşturulmasını sağlanmıştır. CSF algoritması içerisinde yer alan örtü

değeri parametresi sırası ile 0.1, 0.5, 1, 2 ve 5 değerleri ile değerlendirerek sınıflandırmalar yapılmıştır (Sarıtaş & Kaplan, 2023a).

Örtü değerinin 0.1 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 1.998.255 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 2.539.129 adet LİDAR noktası yer almıştır.

Örtü değerinin 0.5 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 2.410.571 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 2.126.813 adet LİDAR noktası yer almıştır.

Örtü değerinin 1 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 2.650.362 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 1.887.022 adet LİDAR noktası yer almıştır.

Örtü değerinin 2 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 3.007.525 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 1.529.859 adet LİDAR noktası yer almıştır.

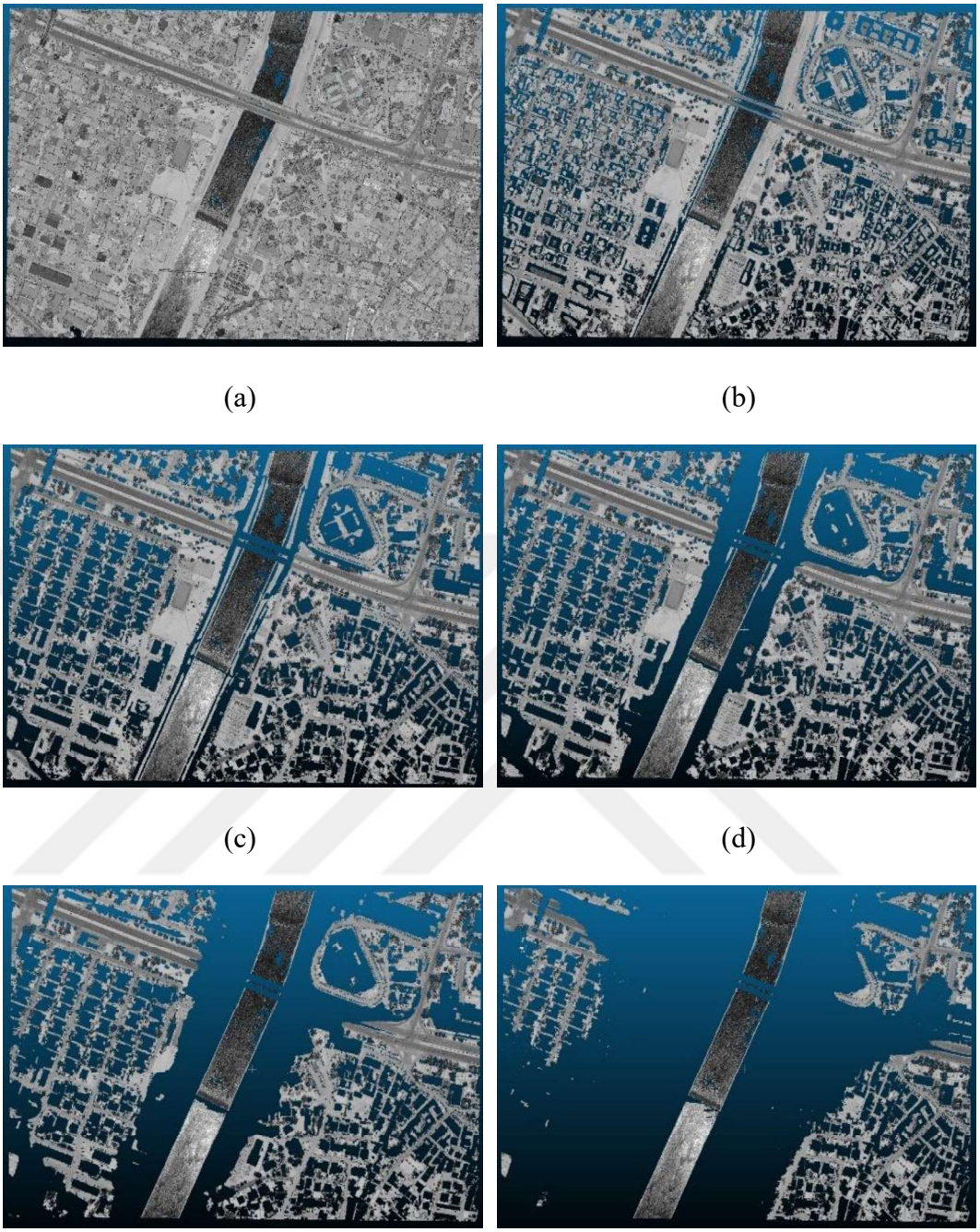
Örtü değerinin 5 olarak seçilmesi ile gerçekleştirilen filtreleme sonucunda 3.718.760 adet LİDAR noktası silinmiş olup gürültünün giderilmesi ile oluşan LİDAR nokta bulutunda 818.624 adet LİDAR noktası yer almıştır.

Tablo 3.2. *CSF Algoritması ile oluşturulan LİDAR verilerine ait nokta sayıları*

Örtü Değeri	Zemin Dışı Nokta Sayısı	Zemin Nokta Sayısı
0.1	1.998.255	2.539.129
0.5	2.410.571	2.126.813
1	2.650.362	1.887.022
2	3.007.525	1.529.859
5	3.718.760	818.624



Görsel 3.29. *(a) Gürültü noktaları temizlenen nokta bulutu, (b) CSF Algoritması örtü değerinin 0.1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (c) CSF Algoritması örtü değerinin 0.5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (d) CSF Algoritması örtü değerinin 1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (e) CSF Algoritması örtü değerinin 2 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (f) CSF Algoritması örtü değerinin 5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri karşılaştırması – 1*



Görsel 3.30. *(a) Gürültü noktaları temizlenen nokta bulutu, (b) CSF Algoritması örtü değerinin 0.1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (c) CSF Algoritması örtü değerinin 0.5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (d) CSF Algoritması örtü değerinin 1 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (e) CSF Algoritması örtü değerinin 2 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri, (f) CSF Algoritması örtü değerinin 5 olarak girilmesi sonucu elde edilen veri karşılaştırması – 2 (Sarıtaş & Kaplan, 2023a)*

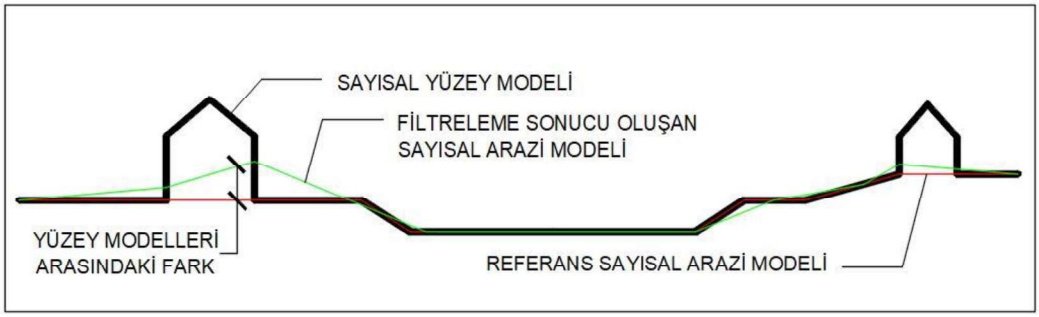
CSF algoritması ile sınıflandırılan zemin noktaları incelendiğinde örtü değerinin artması ile birlikte zemin noktalarında veri kaybının olduğu ve sınıflandırmanın gözle

görülür bir şekilde yanlış yapıldığı görülmektedir. Örtü değerinin düşmesi ile gerçek zemin noktalarının tespit edildiği ön görülmesine rağmen bina çatılarının zemin noktası olarak kabul edildiği görülmektedir.

3.3.4. Filtreleme çalışmalarına ait doğruluk analizi

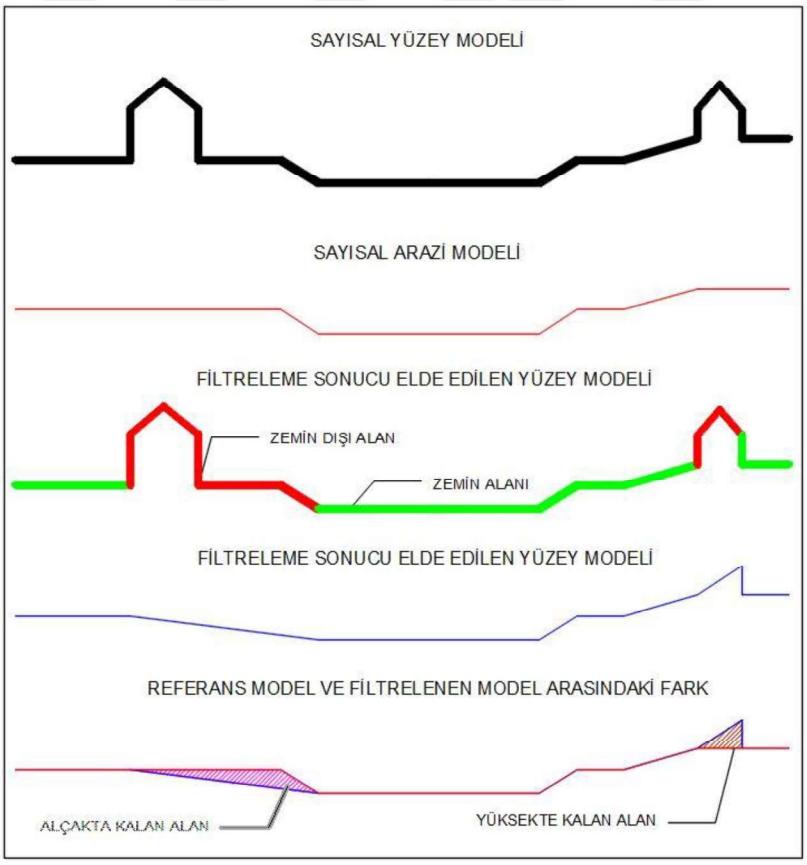
Yapılan çalışmada literatürde yer alan klasik doğruluk analizi yöntemlerine alternatif bir öneri olarak kübaj hesabı yöntemi kabul edilmiştir. Doğruluğu kanıtlanmış bir SAM ve jeodezik ölçmeler ile zemin noktalarının kontrol edilebilme imkanının olmamasından dolayı manuel olarak hazırlanan referans SAM ile filtreleme çalışmaları ile elde edilen SAM arasında kübaj hesabı yapılarak sonuç verisine ulaşılmıştır (Sarıtaş & Kaplan, 2024).

Referans SAM ve filtreleme sonucu elde edilen SAM verileri arasında yapılan kübaj hesaplarında sonucun en düşük hesaplandığı model en doğru filtrelenen model olarak kabul edilmiştir. Söz konusu bu durumun sebebine bakıldığında ise referans olarak kabul edilecek olan SAM kullanılarak oluşturulan üçgen model ve filtreleme ile oluşturulan SAM kullanılarak oluşturulan üçgen model arasındaki benzerlik oranının yüksek olması filtreleme ile oluşturulan SAM verisinin daha doğru olduğu kanısına varılmasıdır. Birbirleri ile aynı olan üçgen modeller arasındaki hacim farkının sıfır olduğu kabul edilerek birbirleri arasındaki benzerliğin en yüksek olduğu modeller arasındaki farkın sıfıra en yakın olması beklenmiştir. Farkın fazla olduğu durumlarda modelde sapmaların olduğu ve verinin doğruluğunun düşük olduğu ve hacimsel farkın büyük kabul edilmektedir. Şekil 3.3'te oluşturulan iki farklı model arasında farkın oluştuğu görülmektedir (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).



Şekil 3.3. *Referans SAM ve filtreleme sonucu oluşturulan SAM arasındaki fark (Sarıtaş & Kaplan, 2023b)*

CloudCompare yazılımında farklı parametreler ile CSF algoritması uygulanan ".las" uzantılı LİDAR nokta bulutu verisi ilk olarak ReCAP yazılımında ".rcp" uzantılı veri yapına dönüştürülmüştür. Filtreleme sonucu elde edilen nokta bulutlarının Autocad Civil 3D yazılımına aktarımı sağlanamamıştır ve teker teker üçgen modelleri oluşturulmuştur. Tüm bu işlemler yapılırken yalnızca CSF algoritmasının çalışma doğruluğunun belirlenebilmesi için ek olarak herhangi bir yazılımda filtrele işlemi yapılmadığı gibi manuel olarak bir müdahalede bulunulmaması gerekmektedir. Referans model en doğru zemin verisine ait kabul edildiğinden dolayı filtreleme ile oluşturulan modellerin kot olarak referans modelin üzerinde yer alması filtrelemeler ile zemin dışı noktaların zemin noktası gibi kabul edildiğinin ve bu neden dolayısıyla oluşturulan modelin referans modele göre yüksek kotta olduğu görülmektedir. Benzer bir şekilde filtreleme sonucunda zemin verisi olan noktaların zemin dışı olarak kabul edilerek silinmesi sonucunda ise kot değerinin referans modelden daha düşük olmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum şekil 3.4 'de daha net açıklanmıştır (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).



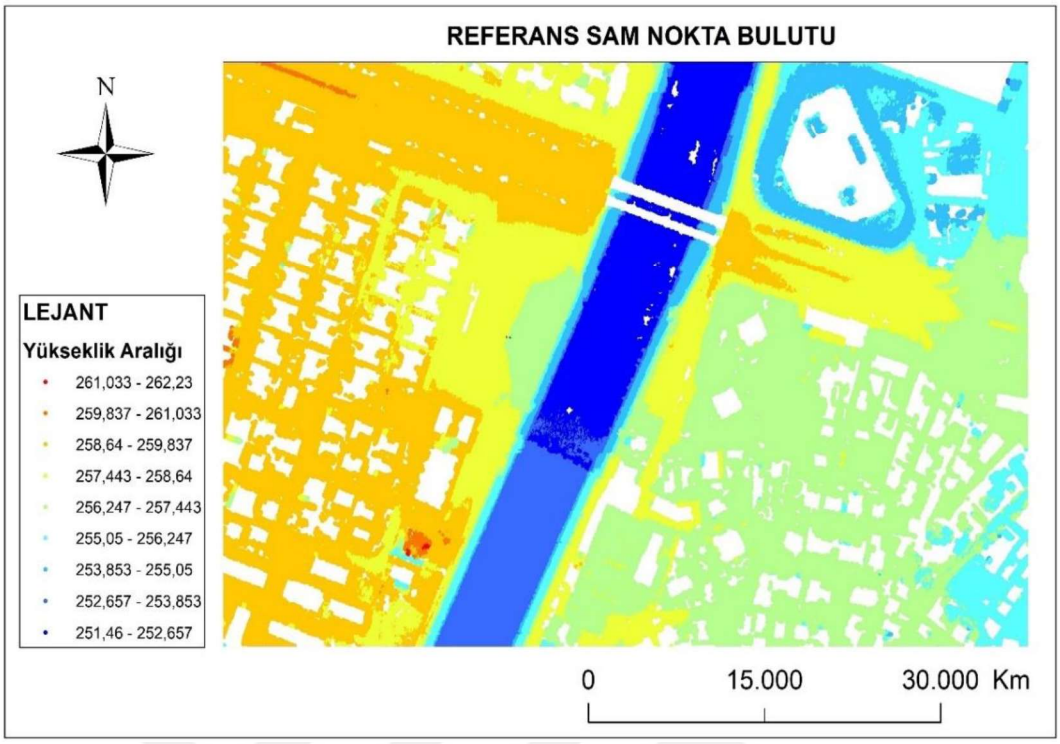
Şekil 3.4. *Sayısal arazi modellerinin karşılaştırılması (Sarıtaş & Kaplan, 2023b)*

Autocad Civil 3D yazılımında her bir SAM verisi için ayrı ayrı üçgen model oluşturulmuştur. Filtreleme işlemleri sonucunda elde edilen SAM verileri için oluşturulan üçgen modellerin her biri teker teker referans olarak kabul edilen SAM verisi için oluşturulan üçgen model arasında analiz yöntemi ile kübaj hesabı yapılması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar verilerin doğruluğunun göstergesini oluşturmuştur. Sonuç verileri değerlendirilirken Şekil 3.4 'da görüldüğü gibi referans modele göre alçakta kalan ve yüksekte kalan alan beraber değerlendirilmekte olup toplam fark göz önüne alınmıştır. Zemin dışı noktaların filtrelenmemesi yüksekte kalmasına, zemin noktalarının filtrelenmesi ise alçakta kalmasına sebebiyet vermesi nedeni ile iki durumda da elde edilen sonuçların birlikte değerlendirilerek doğrulukların değerlendirilmesi ve optimum doğruluğun elde edilmesine olanak gösteren parametrenin belirlenmesi sağlanabilmektedir (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).

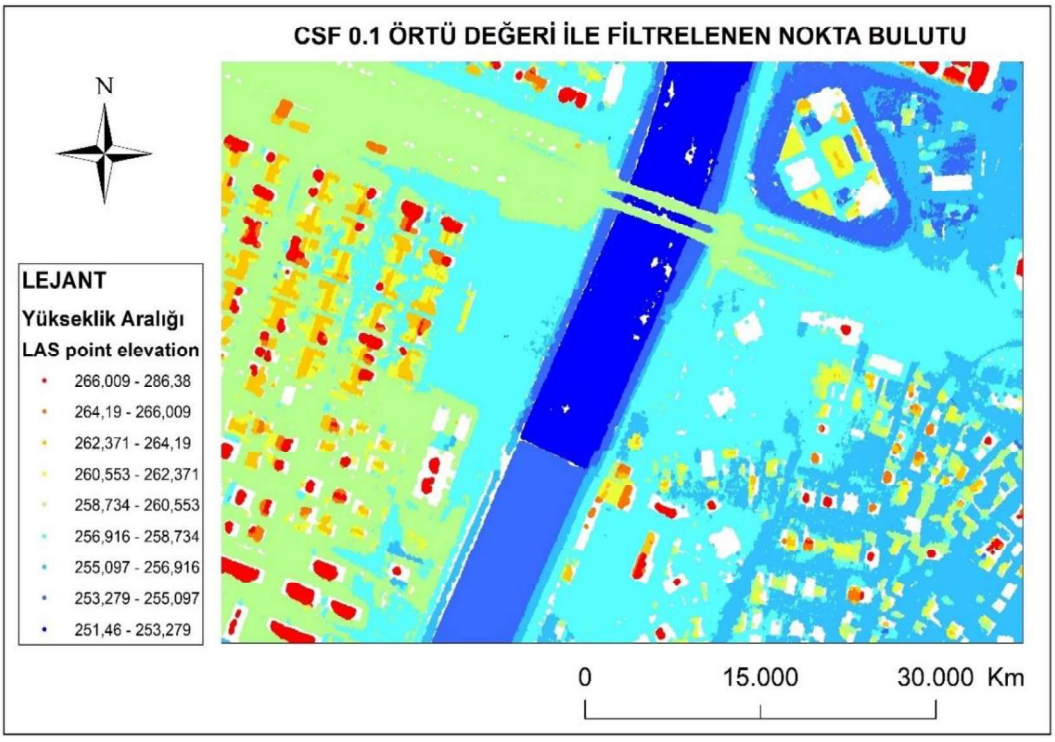
3.3.5. Doğruluk analizi işlemlerinin raster verileri ile desteklenmesi

Doğruluk analizi için elde edilmek istenilen hacimsel farkların ne kadarlık alanda hacimsel farkların oluştuğunu ve bu farkların çalışma alanının hangi kısımlarında ortaya çıktığının analiz edilebilmesi için fark yüzeylerine ait raster görüntülerinin elde edilmesi gerekmektedir.

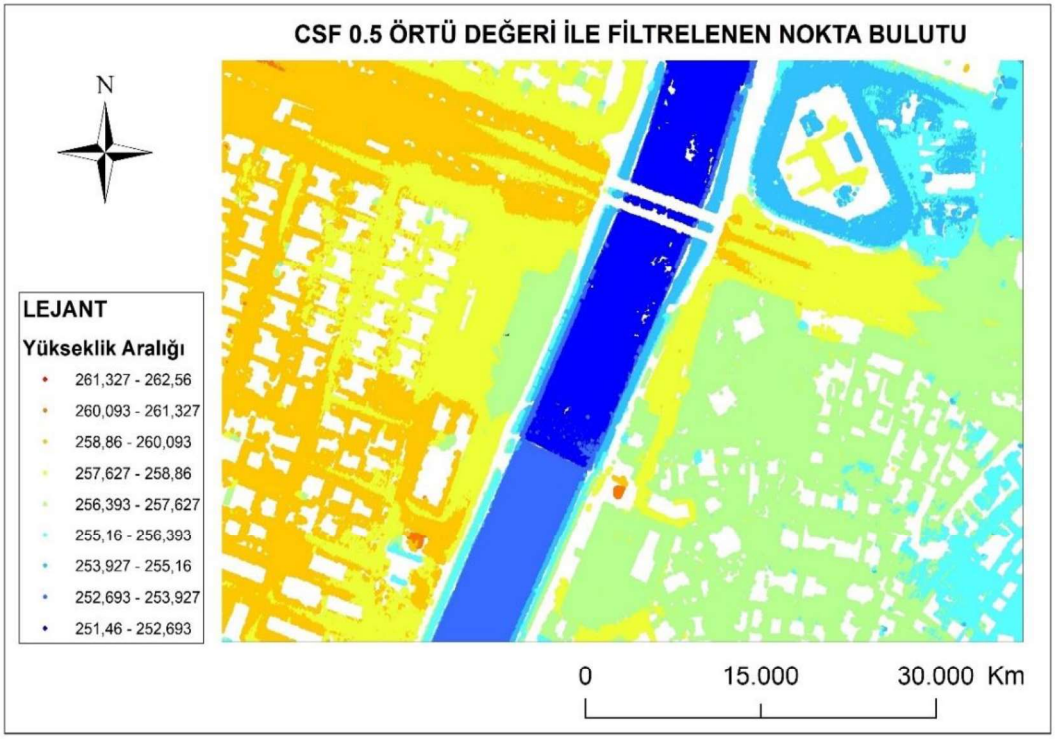
Raster görüntülerin elde edilmesi için ilk olarak referans nokta bulutu ve filtreleme çalışmaları ile elde edilen nokta bulutları ArcMap yazılımına aktarılmıştır. Bu işlem için ArcMap yazılımında yer alan ArcToolbox araçları içerisinde yer alan Data Management Tools fonksiyonlarından LAS Dataset içerisinde yer alan Create LAS Dataset fonksiyonu kullanılmıştır.



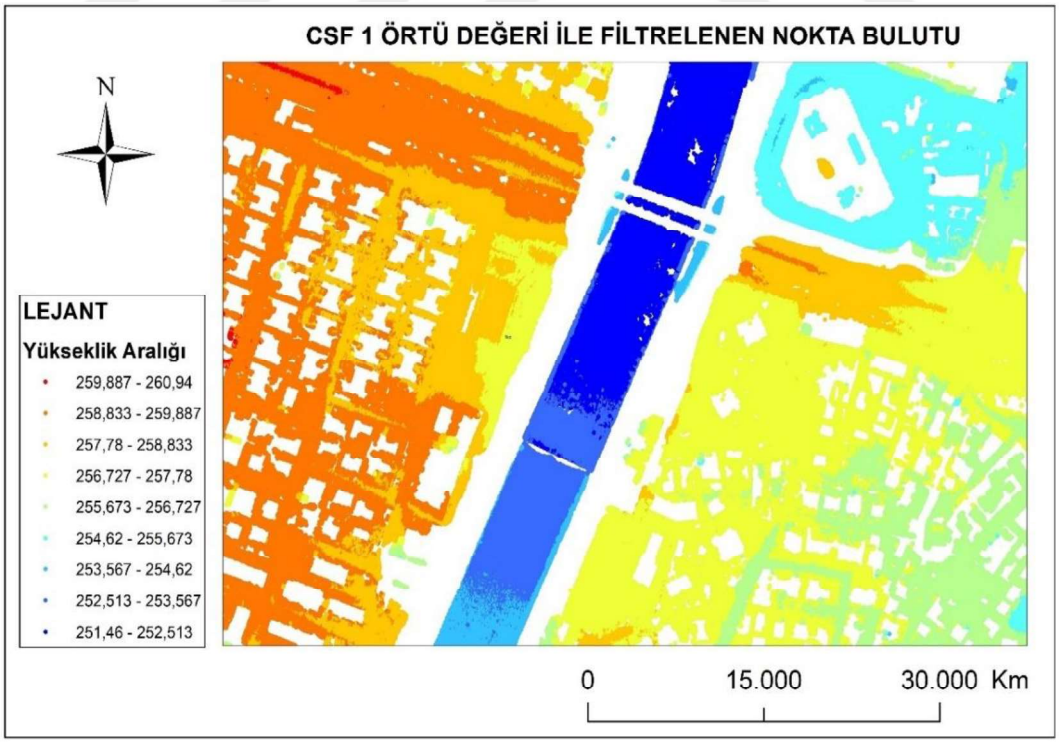
Görsel 3.31. *Referans SAM'ın ArcMap yazılımına aktarılması*



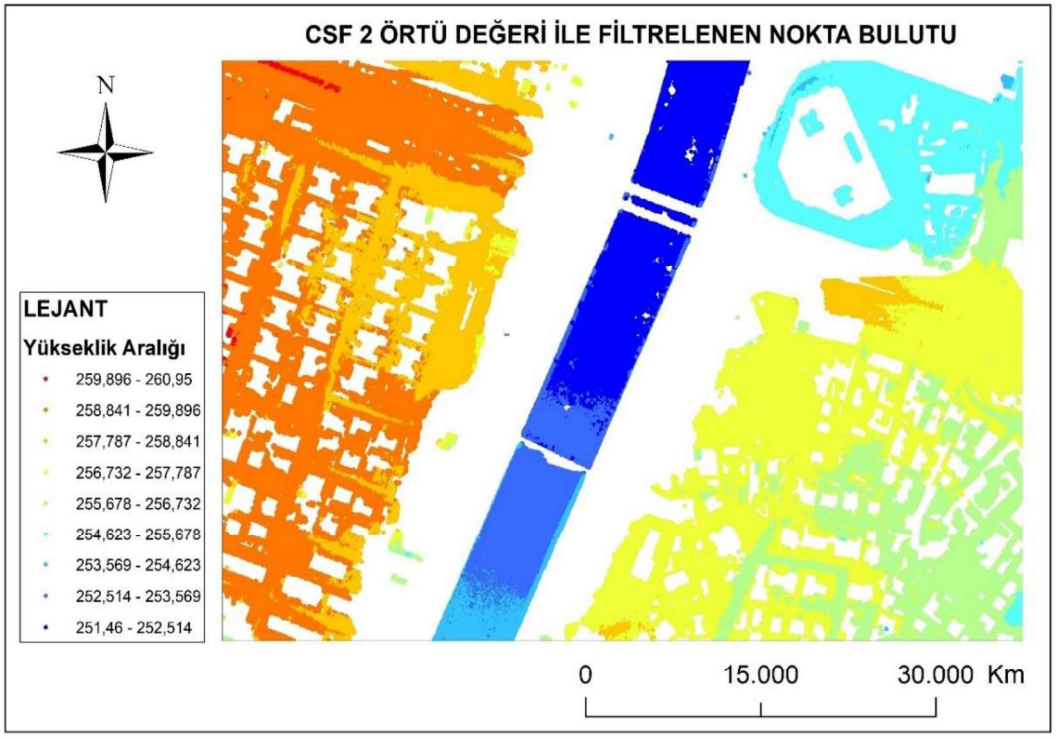
Görsel 3.32. *CSF 0.1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması*



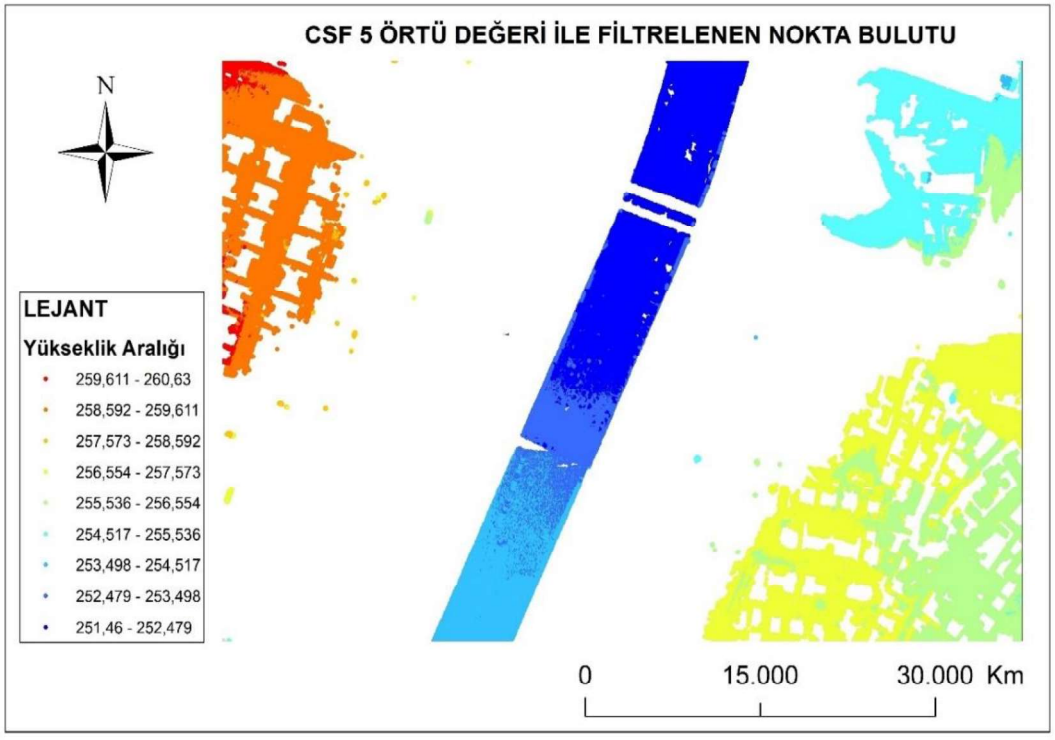
Görsel 3.33. *CSF 0.5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması*



Görsel 3.34. *CSF 1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması*

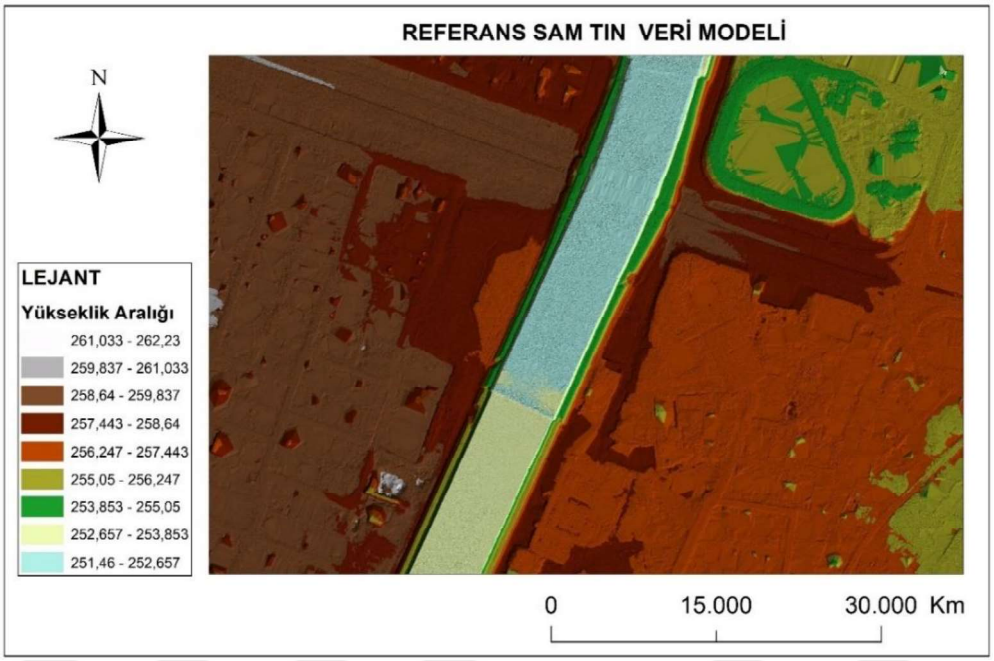


Görsel 3.35. *CSF 2 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması*

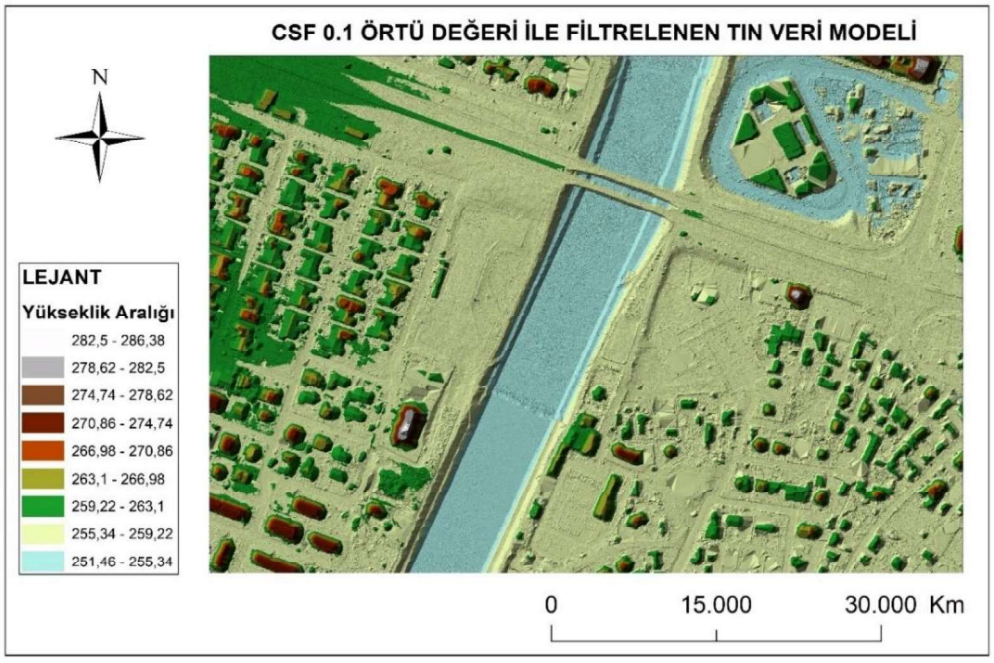


Görsel 3.36. *CSF 5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutunun ArcMap yazılımına aktarılması*

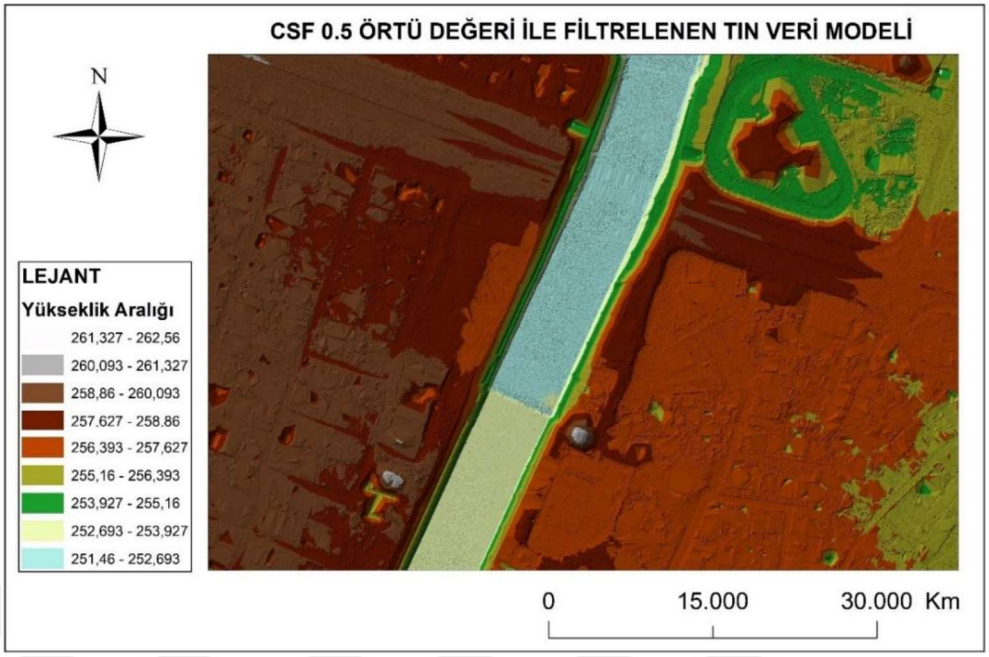
Nokta bulutlarının ArcMap yazılımına aktarılmasının ardından Triangulated Irregular Network (TIN) oluşturmak amacı ile ArcToolbox araçları içerisinde yer alan 3D Analyst Tools fonksiyonlarından From LAS Dataset içerisinde yer alan LAS Dataset to TIN fonksiyonu kullanılmıştır.



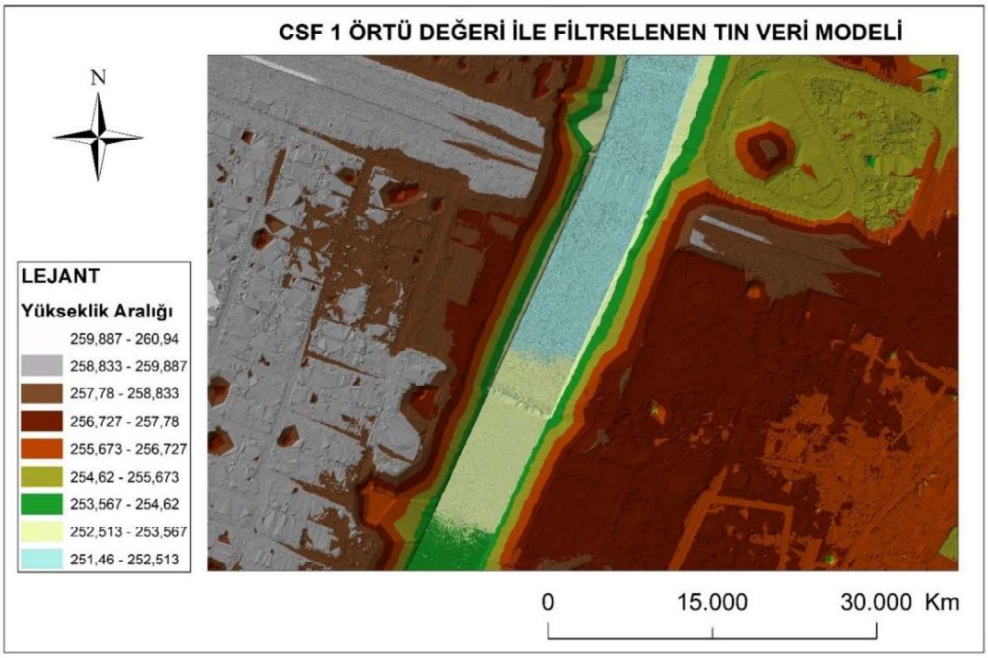
Görsel 3.37. *Referans SAM'a ait TIN veri modeli*



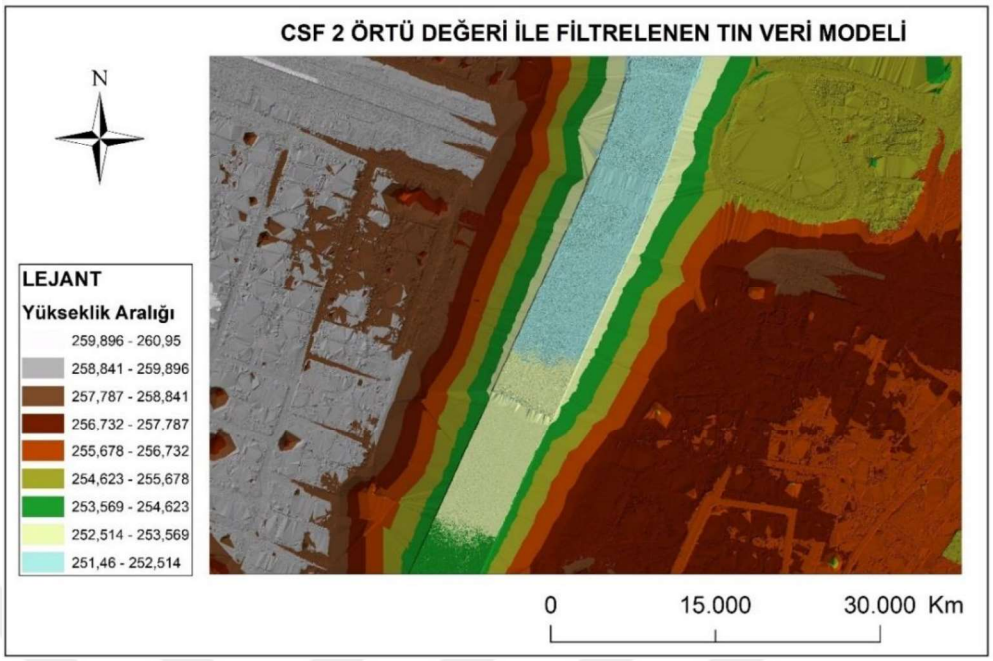
Görsel 3.38. *CSF 0.1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli*



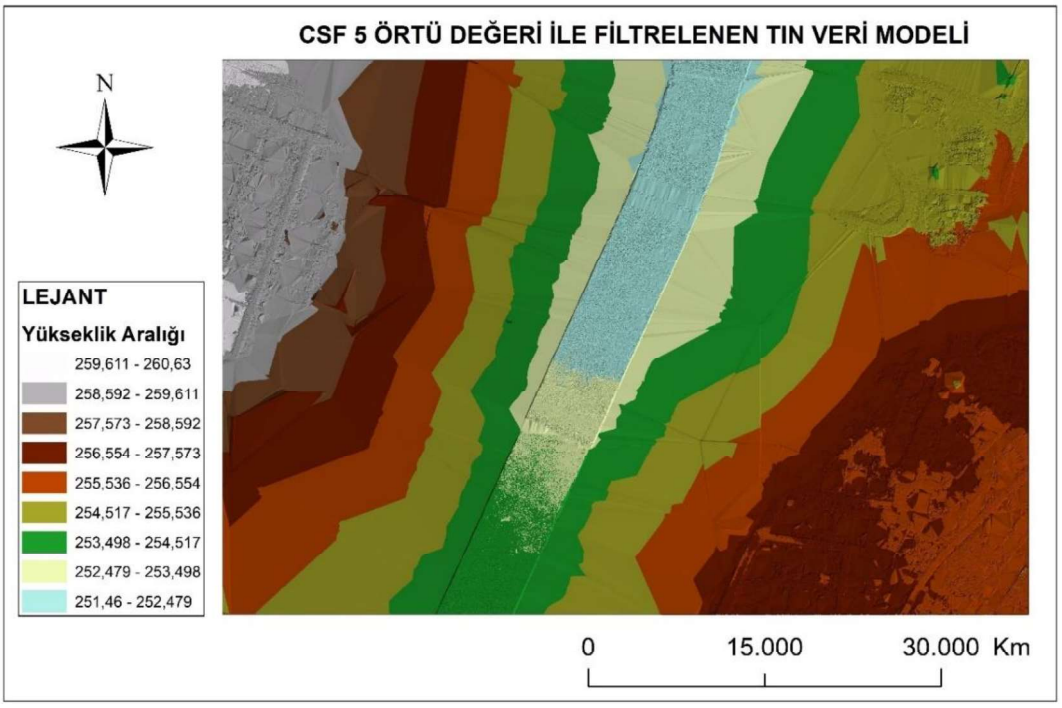
Görsel 3.39. *CSF 0.5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli*



Görsel 3.40. *CSF 1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli*



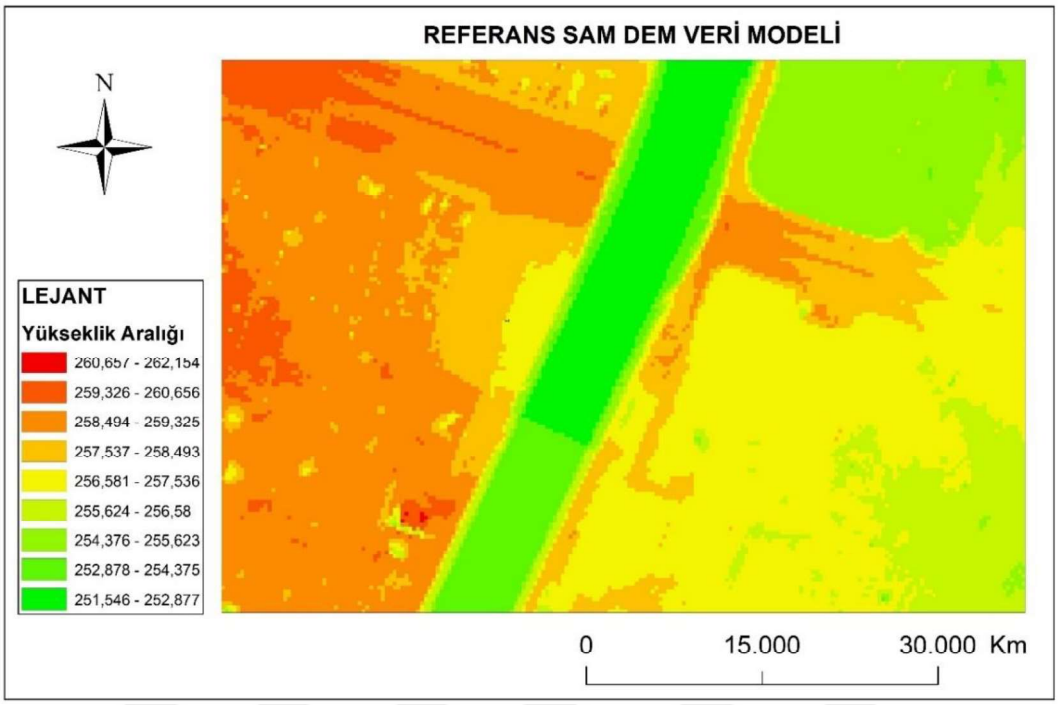
Görsel 3.41. *CSF 2 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli*



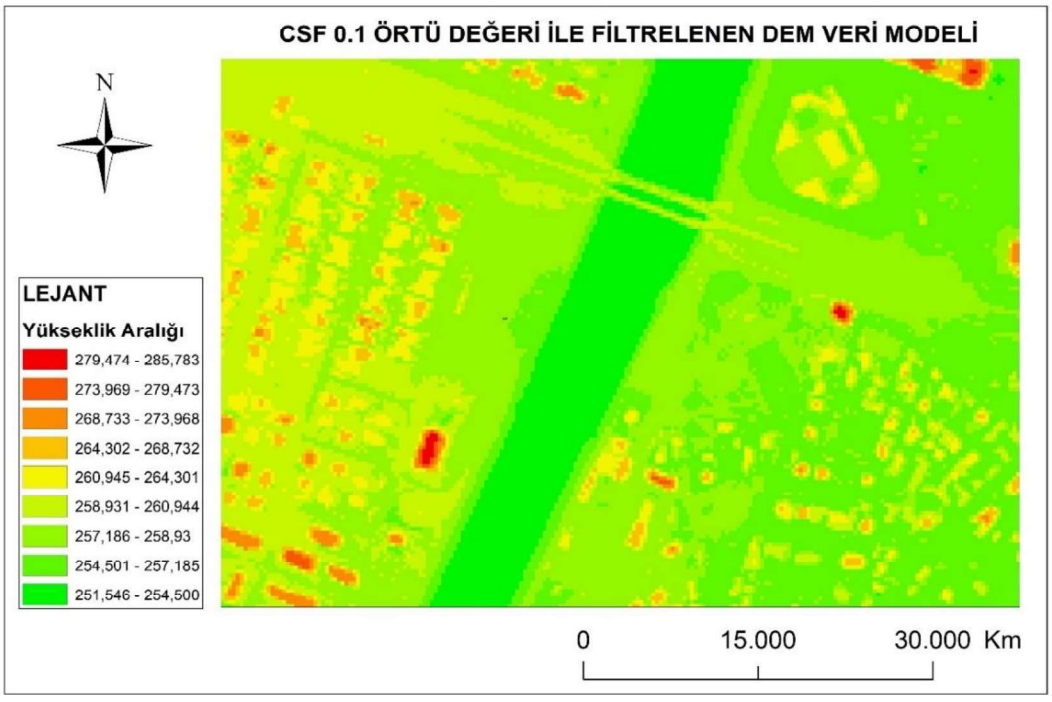
Görsel 3.42. *CSF 5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait TIN veri modeli*

Filtrelenen nokta bulutları ve referans nokta bulutu arasındaki fark modelinin elde edilebilmesi için TIN veri modellerinin her birine ait raster görüntülerin oluşturulması

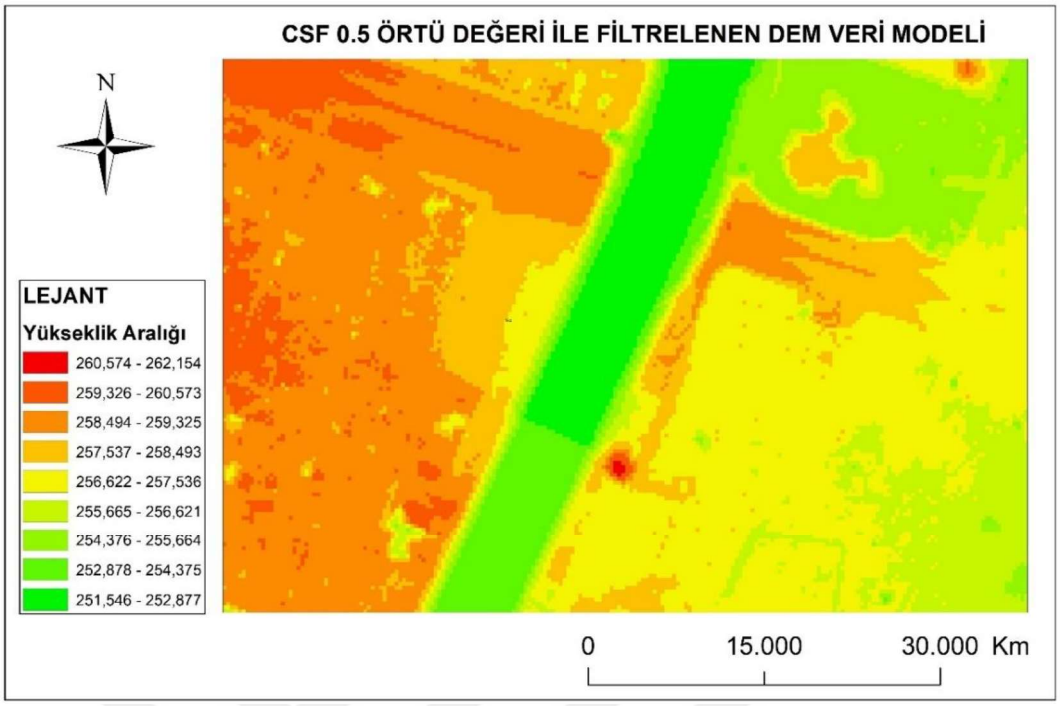
sağlanmıştır. Oluşturulan raster modellerin çözünürlük değerleri 1 m olarak belirlenmiştir.



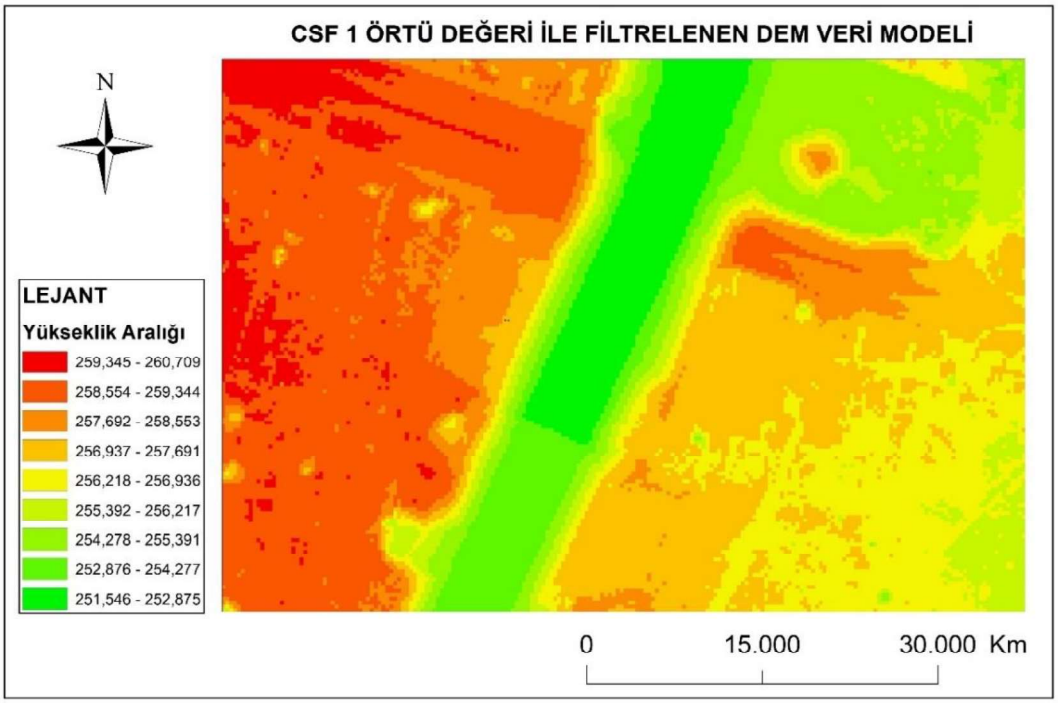
Görsel 3.43. *Referans modele ait raster görüntü*



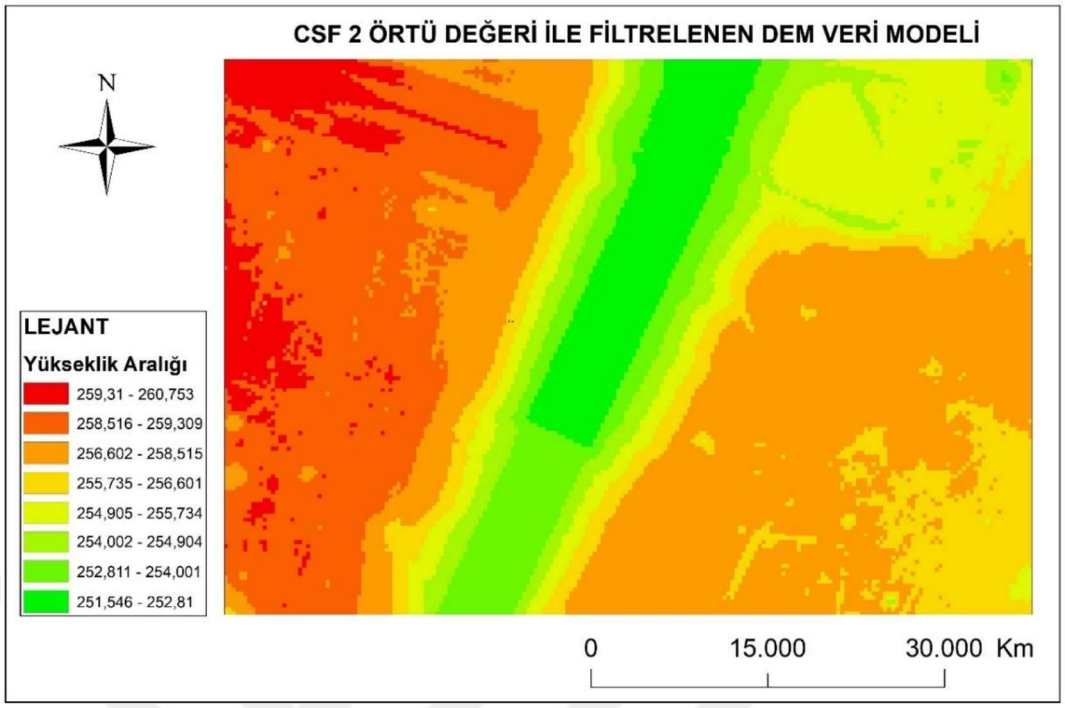
Görsel 3.44. *CSF 0.1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü*



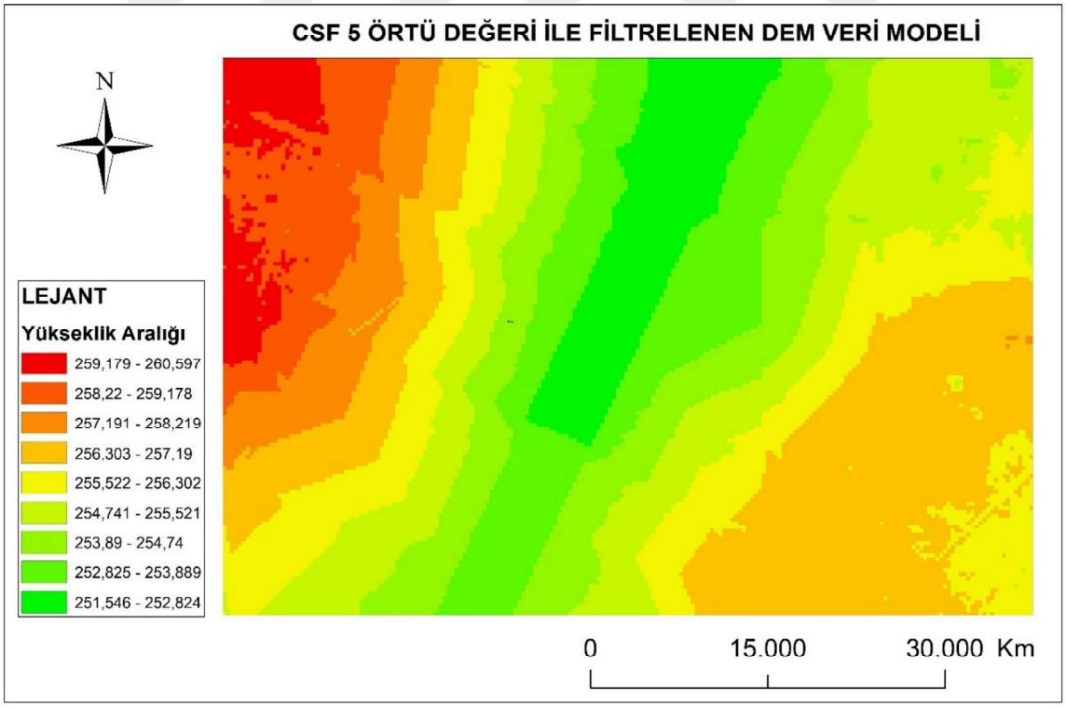
Görsel 3.45. *CSF 0.5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü*



Görsel 3.46. *CSF 1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü*

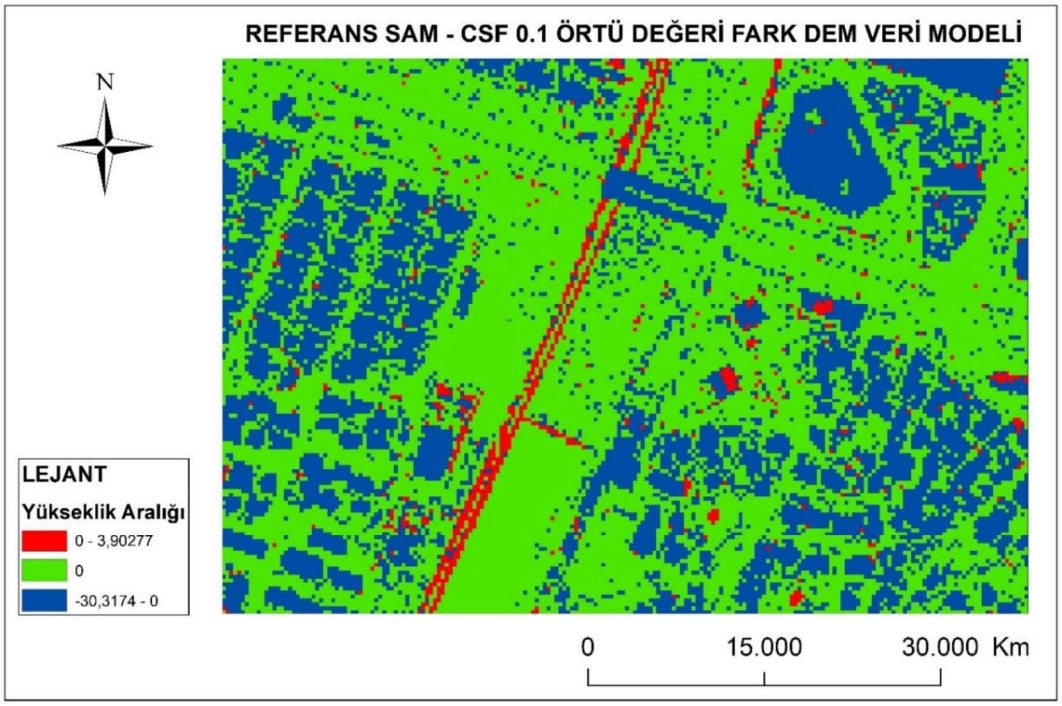


Görsel 3.47. *CSF 2 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü*

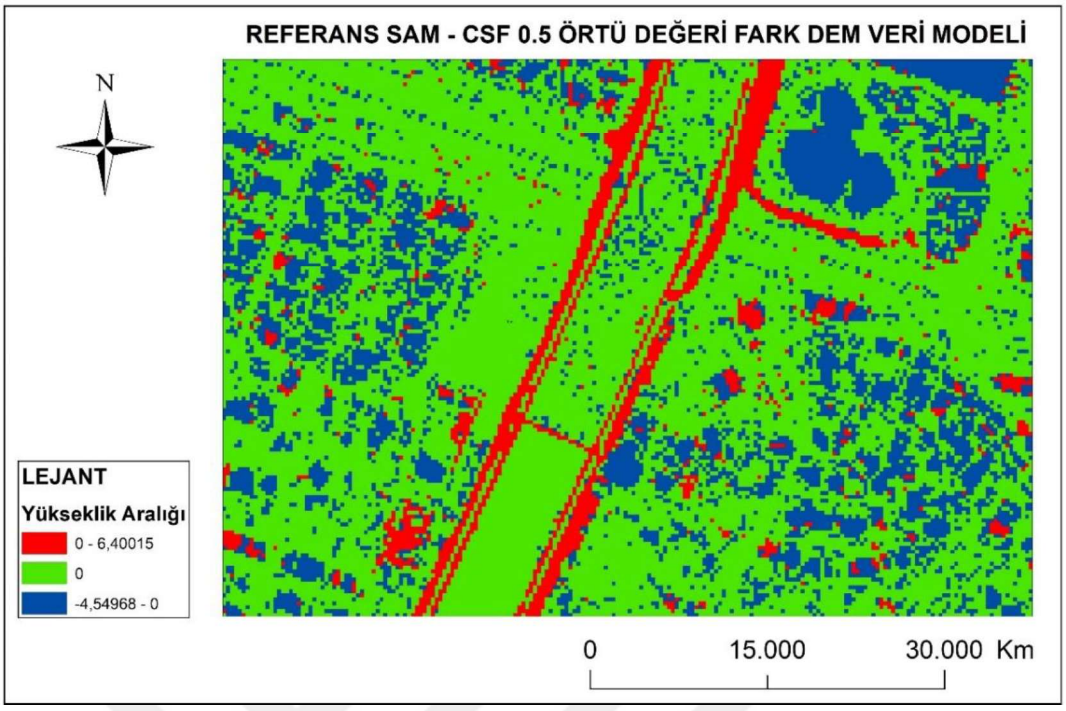


Görsel 3.48. *CSF 5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutuna ait raster görüntü*

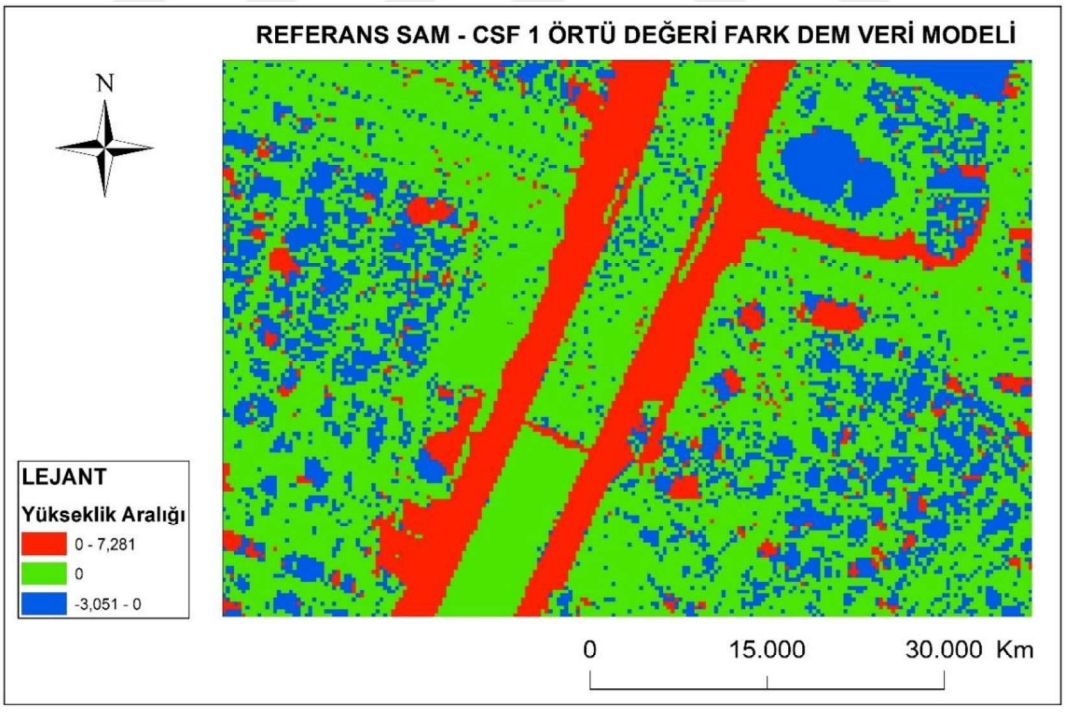
Analiz işlemlerinin daha net ve doğru olarak yorumlanabilmesi amacı ile fark yüzeylerine ait raster görüntüler oluşturulmuştur. Bu sayede hangi alanlarda ne tür farkların oluştuğu, hangi alanlarda doğru bir modellemenin elde edilebileceği görülmüştür. ArcToolbox araçları içerisinde yer alan Spatial Analyst Tools fonksiyonlarından Math içerisinde yer alan Minus fonksiyonu kullanılmıştır. Bu sayede iki farklı raster yüzey arasındaki fark modeli oluşturulmuştur.



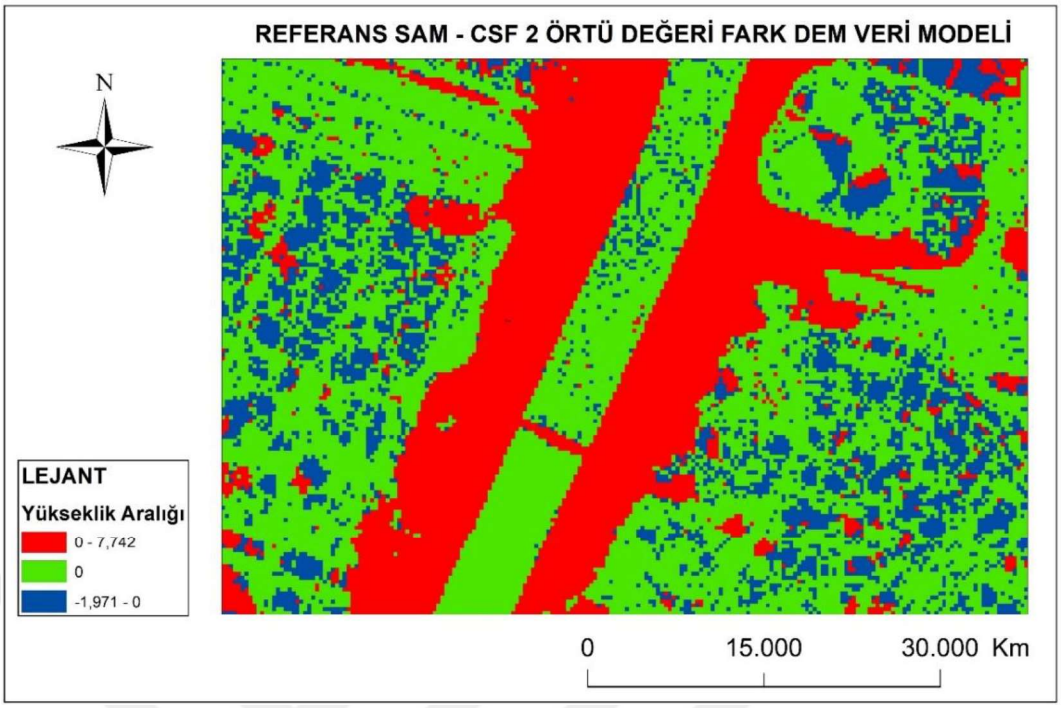
Görsel 3.49. *Referans SAM ve CSF 0.1 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü*



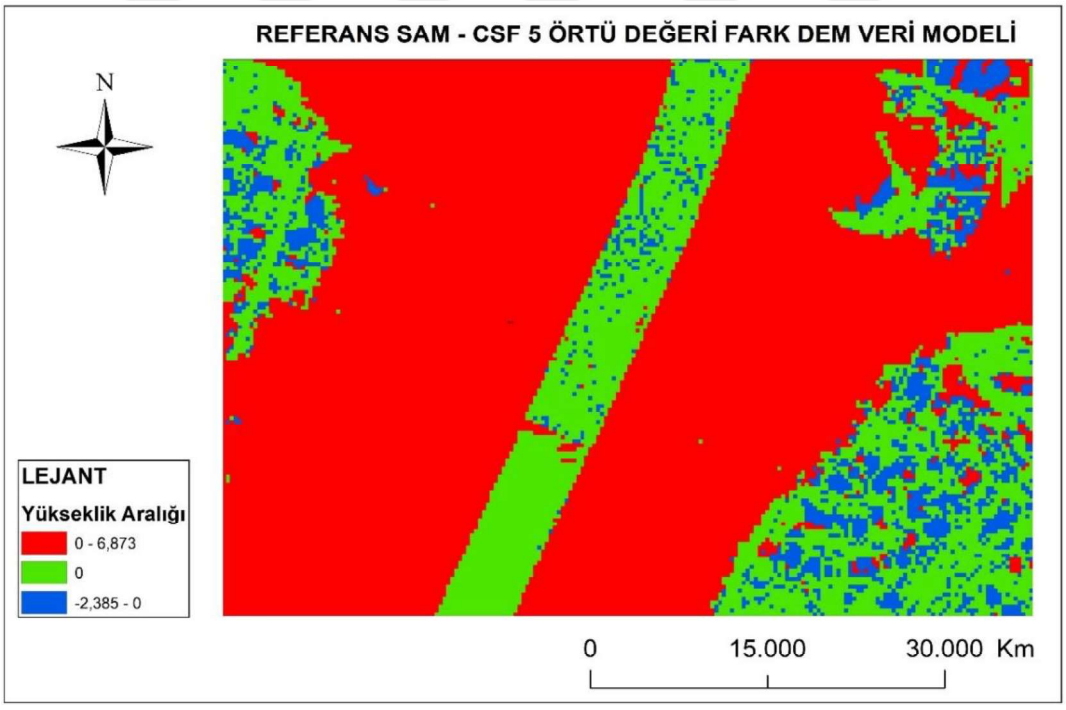
Görsel 3.50. *Referans SAM ve CSF 0.5 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü*



Görsel 3.51. *Referans SAM ve CSF 1 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü*



Görsel 3.52. *Referans SAM ve CSF 2 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü*



Görsel 3.53. *Referans SAM ve CSF 5 örtü değeri ile oluşturulan model arasındaki farka ait raster görüntü*

3.4. Sonuç

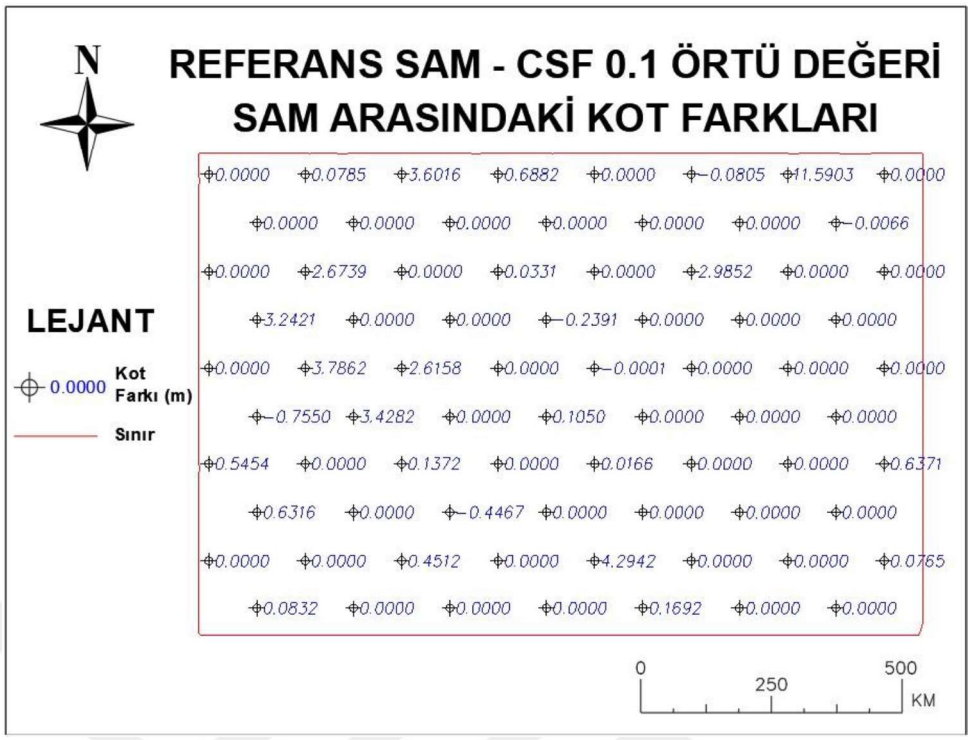
Tablo 3.3. *Kentsel LİDAR verisi doğruluk analizi sonuçları*

CSF Algoritması Parametre Değeri	Alçakta Kalan Alan (m^3)	Yüksekte Kalan Alan (m^3)	Toplam Fark (m^3)
0.1	2670,57	381554,05	384224,62
0.5	19973,49	28437,93	48411,42
1	78166,30	16338,54	94504,84
2	177420,66	8718,76	186139,42
5	502537,19	4254,97	506792,16

Konumsal doğruluğun değerlendirilmesinde kübaj hesabı ile mümkün hale gelmiştir. Analiz yöntemi ile elde edilen kübaj değerlerinin yanı sıra kübaj hesabının yapılmasında kullanılan iki üçgen model arasındaki fark yüzeyinin de oluşturulmasını sağlamıştır. Bu sayede elde edilen fark yüzeyinin herhangi bir yerinden elde edilen yükseklik bilgisi ile konumsal doğruluğun elde edilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Kübaj hesabı ile elde edilen fark yüzeyine Spot Elevations (Nokta Yükseklikleri) komutu ile konumsal olarak farklar tespit edilebilmiştir. Rastgele olarak nokta işaretlenerek fark yüzeyine ait ortalama yükseklikler tespit edilmiştir. Rastgele işaretlenen noktalar için filtreleme işlemleri sonucunda elde edilen SAM'ın her biri ile referans SAM arasındaki Z değerleri değerlendirilerek karesel ortalama hata (RMSE) değerleri hesaplanmıştır.

CSF algoritması 0.1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutu ile referans SAM arasındaki fark yüzeyine rastgele nokta işaretlenerek ortalama fark miktarları tespit edilmiştir. Tablo 3.4'te belirtildiği üzere RMSE değeri 1,7551 olarak hesaplanmıştır.



Görsel 3.54. *Referans SAM ve CSF 0.1 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri*

Tablo 3.4. *CSF 0.1 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu*

Nokta Numarası	CSF 0.1 Z Değeri (m)	Referans SAM Z Değeri (m)	Z Değerleri Arasındaki Fark (m)	Farkların Karesi (m^2)
1	259,8500	259,8500	0,0000	0,0000
2	259,7447	259,6662	0,0785	0,0062
3	261,9682	258,3667	3,6016	12,9715
4	258,6772	257,9891	0,6882	0,4736
5	253,1390	253,1390	0,0000	0,0000
6	255,4190	255,4995	-0,0805	0,0065
7	266,7585	255,1682	11,5903	134,3351
8	255,0111	255,0111	0,0000	0,0000
9	255,4355	255,4422	-0,0066	0,0000
10	254,8276	254,8276	0,0000	0,0000
11	252,5463	252,5463	0,0000	0,0000
12	256,9144	256,9144	0,0000	0,0000
13	259,0869	259,0869	0,0000	0,0000
14	259,2960	259,2960	0,0000	0,0000

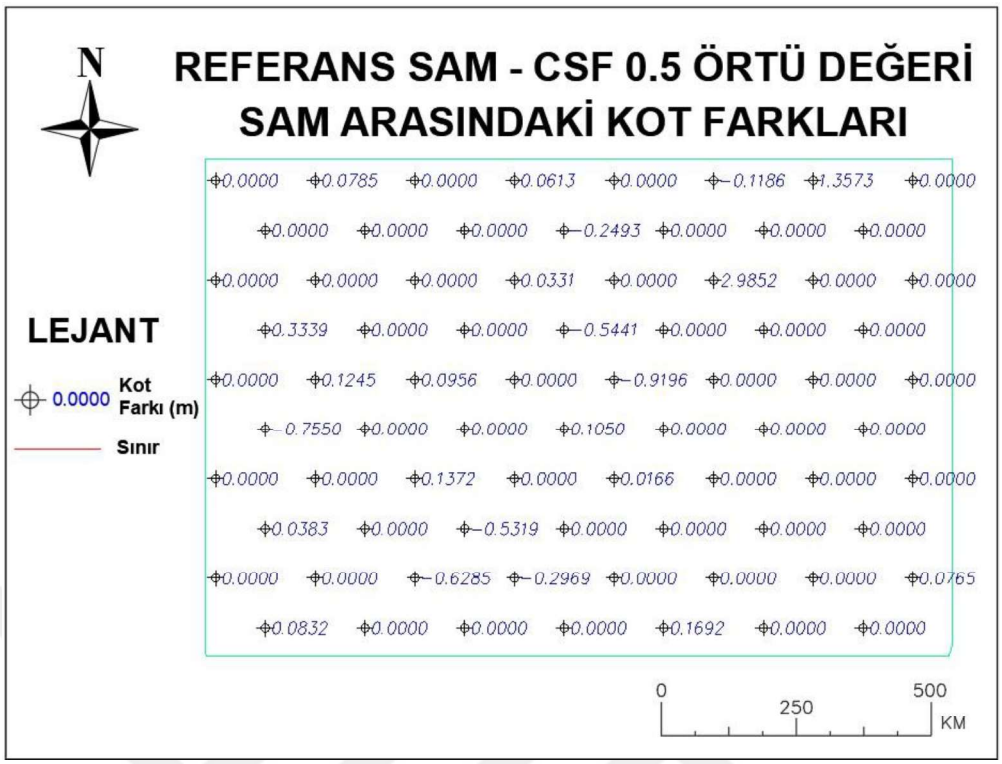
Tablo 3.4. *CSF 0.1 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

15	259,3224	259,3224	0,0000	0,0000
16	260,1053	260,1053	0,0000	0,0000
17	261,8219	259,1480	2,6739	7,1497
18	258,5511	258,5511	0,0000	0,0000
19	258,8733	258,8402	0,0331	0,0011
20	251,9366	251,9366	0,0000	0,0000
21	258,0645	255,0794	2,9852	8,9114
22	254,4100	254,4100	0,0000	0,0000
23	255,9293	255,9293	0,0000	0,0000
24	256,4182	256,4182	0,0000	0,0000
25	255,2812	255,2812	0,0000	0,0000
26	258,8028	258,8028	0,0000	0,0000
27	253,9886	254,2277	-0,2391	0,0572
28	258,2397	258,2397	0,0000	0,0000
29	258,7059	258,7059	0,0000	0,0000
30	262,8057	259,5636	3,2421	10,5112
31	260,0895	260,0895	0,0000	0,0000
32	263,0161	259,2299	3,7862	14,3353
33	261,2334	258,6176	2,6158	6,8424
34	257,1075	257,1075	0,0000	0,0000
35	256,7257	256,7259	-0,0001	0,0000
36	258,0127	258,0127	0,0000	0,0000
37	257,6196	257,6196	0,0000	0,0000
38	256,8875	256,8875	0,0000	0,0000
39	256,8646	256,8646	0,0000	0,0000
40	256,9377	256,9377	0,0000	0,0000
41	257,2585	257,2585	0,0000	0,0000
42	252,5179	252,4129	0,1050	0,0110
43	257,8712	257,8712	0,0000	0,0000
44	262,3741	258,9459	3,4282	11,7526
45	258,8590	259,6140	-0,7550	0,5700
46	260,2689	259,7234	0,5454	0,2975
47	259,2000	259,2000	0,0000	0,0000
48	259,0227	258,8855	0,1372	0,0188
49	253,4977	253,4977	0,0000	0,0000
50	257,2384	257,2218	0,0166	0,0003

Tablo 3.4. *CSF 0.1 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

51	256,8157	256,8157	0,0000	0,0000
52	256,7161	256,7161	0,0000	0,0000
53	257,3321	256,6950	0,6371	0,4059
54	256,2202	256,2202	0,0000	0,0000
55	256,6113	256,6113	0,0000	0,0000
56	257,3935	257,3935	0,0000	0,0000
57	257,2130	257,2130	0,0000	0,0000
58	257,6379	258,0847	-0,4467	0,1995
59	258,9423	258,9423	0,0000	0,0000
60	259,6683	259,0367	0,6316	0,3989
61	253,0400	253,0400	0,0000	0,0000
62	259,0695	259,0695	0,0000	0,0000
63	259,3332	258,8819	0,4512	0,2036
64	255,2676	255,2676	0,0000	0,0000
65	261,6305	257,3363	4,2942	18,4402
66	256,7999	256,7999	0,0000	0,0000
67	256,3400	256,3400	0,0000	0,0000
68	255,9512	255,8746	0,0765	0,0059
69	255,9731	255,9731	0,0000	0,0000
70	257,0275	257,0275	0,0000	0,0000
71	257,3756	257,2064	0,1692	0,0286
72	257,3668	257,3668	0,0000	0,0000
73	253,6865	253,6865	0,0000	0,0000
74	258,5504	258,5504	0,0000	0,0000
75	256,2834	256,2003	0,0832	0,0069
			RMSE :	1,7551

CSF algoritması 0.5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutu ile referans SAM arasındaki fark yüzeyine rastgele nokta işaretlenerek ortalama fark miktarları tespit edilmiştir. Tablo 3.5'te belirtildiği üzere RMSE değeri 0,4276 olarak hesaplanmıştır.



Görsel 3.55. *Referans SAM ve CSF 0.5 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri*

Tablo 3.5. *CSF 0.5 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu*

Nokta Numarası	CSF 0.5 Z Değeri (m)	Referans SAM Z Değeri (m)	Z Değerleri Arasındaki Fark (m)	Farkların Karesi (m^2)
1	259,8500	259,8500	0,0000	0,0000
2	259,7447	259,6662	0,0785	0,0062
3	258,3667	258,3667	0,0000	0,0000
4	258,0504	257,9891	0,0613	0,0038
5	253,1390	253,1390	0,0000	0,0000
6	255,3810	255,4995	-0,1186	0,0141
7	256,5255	255,1682	1,3573	1,8423
8	255,0111	255,0111	0,0000	0,0000
9	255,4422	255,4422	0,0000	0,0000
10	254,8276	254,8276	0,0000	0,0000
11	252,5463	252,5463	0,0000	0,0000
12	256,6651	256,9144	-0,2493	0,0622
13	259,0869	259,0869	0,0000	0,0000
14	259,2960	259,2960	0,0000	0,0000

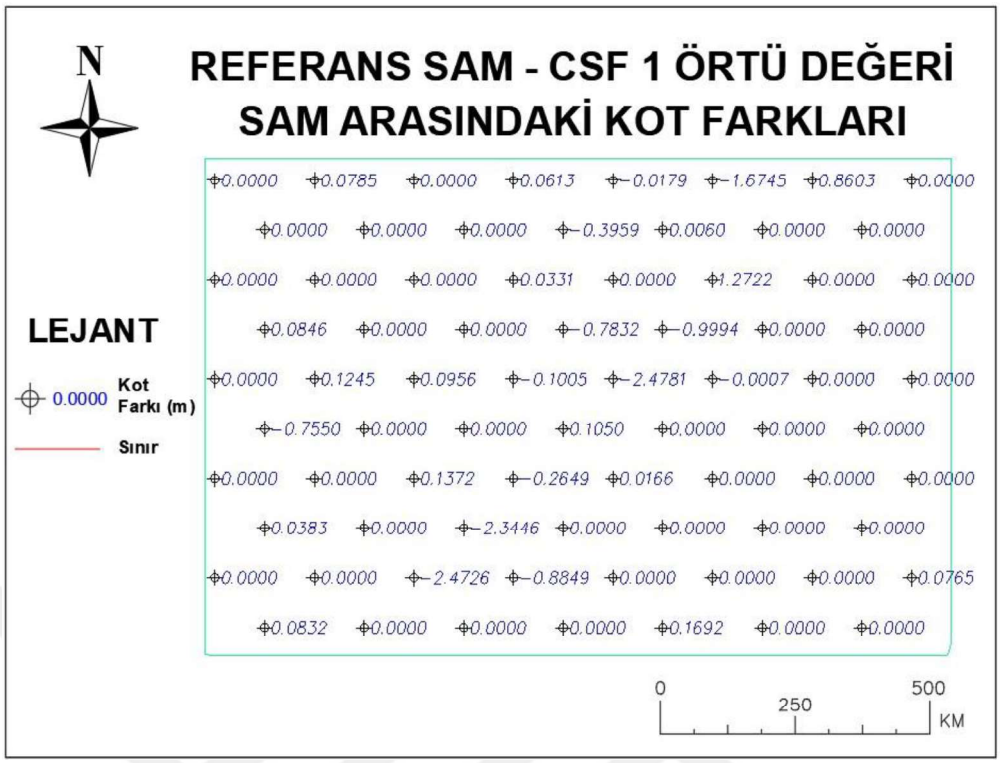
Tablo 3.5. *CSF 0.5 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

15	259,3224	259,3224	0,0000	0,0000
16	260,1053	260,1053	0,0000	0,0000
17	259,1480	259,1480	0,0000	0,0000
18	258,5511	258,5511	0,0000	0,0000
19	258,8733	258,8402	0,0331	0,0011
20	251,9366	251,9366	0,0000	0,0000
21	258,0645	255,0794	2,9852	8,9114
22	254,4100	254,4100	0,0000	0,0000
23	255,9293	255,9293	0,0000	0,0000
24	256,4182	256,4182	0,0000	0,0000
25	255,2812	255,2812	0,0000	0,0000
26	258,8028	258,8028	0,0000	0,0000
27	253,6836	254,2277	-0,5441	0,2960
28	258,2397	258,2397	0,0000	0,0000
29	258,7059	258,7059	0,0000	0,0000
30	259,8976	259,5636	0,3339	0,1115
31	260,0895	260,0895	0,0000	0,0000
32	259,3544	259,2299	0,1245	0,0155
33	258,7132	258,6176	0,0956	0,0091
34	257,1075	257,1075	0,0000	0,0000
35	255,8063	256,7259	-0,9196	0,8457
36	258,0127	258,0127	0,0000	0,0000
37	257,6196	257,6196	0,0000	0,0000
38	256,8875	256,8875	0,0000	0,0000
39	256,8646	256,8646	0,0000	0,0000
40	256,9377	256,9377	0,0000	0,0000
41	257,2585	257,2585	0,0000	0,0000
42	252,5179	252,4129	0,1050	0,0110
43	257,8712	257,8712	0,0000	0,0000
44	258,9459	258,9459	0,0000	0,0000
45	258,8590	259,6140	-0,7550	0,5700
46	259,7234	259,7234	0,0000	0,0000
47	259,2000	259,2000	0,0000	0,0000
48	259,0227	258,8855	0,1372	0,0188
49	253,4977	253,4977	0,0000	0,0000
50	257,2384	257,2218	0,0166	0,0003
51	256,8157	256,8157	0,0000	0,0000

Tablo 3.5. *CSF 0.5 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

52	256,7161	256,7161	0,0000	0,0000
53	256,6950	256,6950	0,0000	0,0000
54	256,2202	256,2202	0,0000	0,0000
55	256,6113	256,6113	0,0000	0,0000
56	257,3935	257,3935	0,0000	0,0000
57	257,2130	257,2130	0,0000	0,0000
58	257,5527	258,0847	-0,5319	0,2829
59	258,9423	258,9423	0,0000	0,0000
60	259,0750	259,0367	0,0383	0,0015
61	253,0400	253,0400	0,0000	0,0000
62	259,0695	259,0695	0,0000	0,0000
63	258,2534	258,8819	-0,6285	0,3950
64	254,9707	255,2676	-0,2969	0,0881
65	257,3363	257,3363	0,0000	0,0000
66	256,7999	256,7999	0,0000	0,0000
67	256,3400	256,3400	0,0000	0,0000
68	255,9512	255,8746	0,0765	0,0059
69	255,9731	255,9731	0,0000	0,0000
70	257,0275	257,0275	0,0000	0,0000
71	257,3756	257,2064	0,1692	0,0286
72	257,3668	257,3668	0,0000	0,0000
73	253,6865	253,6865	0,0000	0,0000
74	258,5504	258,5504	0,0000	0,0000
75	256,2834	256,2003	0,0832	0,0069
			RMSE :	0,4276

CSF algoritması 1 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutu ile referans SAM arasındaki fark yüzeyine rastgele nokta işaretlenerek ortalama fark miktarları tespit edilmiştir. Tablo 3.6'te belirtildiği üzere RMSE değeri 0,5954 olarak hesaplanmıştır.



Görsel 3.56. *Referans SAM ve CSF 1 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri*

Tablo 3.6. *CSF 1 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu*

Nokta Numarası	CSF 1 Z Değeri (m)	Referans SAM Z Değeri (m)	Z Değerleri Arasındaki Fark (m)	Farkların Karesi (m^2)
1	259,8500	259,8500	0,0000	0,0000
2	259,7447	259,6662	0,0785	0,0062
3	258,3667	258,3667	0,0000	0,0000
4	258,0504	257,9891	0,0613	0,0038
5	253,1211	253,1390	-0,0179	0,0003
6	253,8250	255,4995	-1,6745	2,8040
7	256,0285	255,1682	0,8603	0,7401
8	255,0111	255,0111	0,0000	0,0000
9	255,4422	255,4422	0,0000	0,0000
10	254,8276	254,8276	0,0000	0,0000
11	252,5523	252,5463	0,0060	0,0000
12	256,5185	256,9144	-0,3959	0,1567
13	259,0869	259,0869	0,0000	0,0000
14	259,2960	259,2960	0,0000	0,0000
15	259,3224	259,3224	0,0000	0,0000

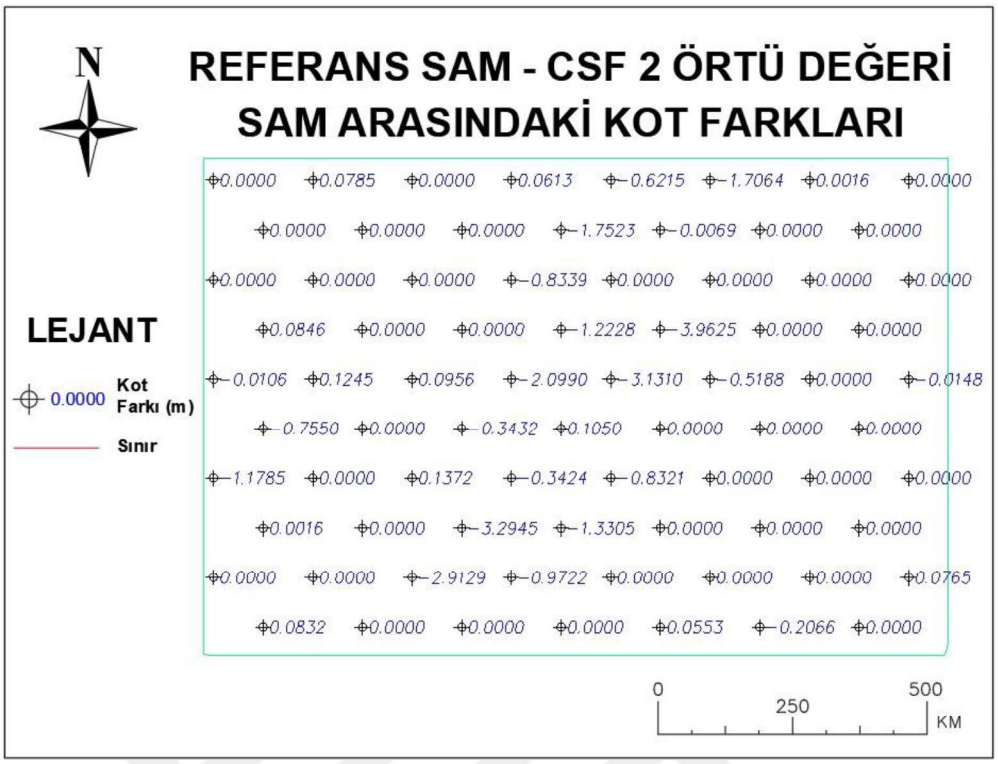
Tablo 3.6. *CSF 1 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

16	260,1053	260,1053	0,0000	0,0000
17	259,1480	259,1480	0,0000	0,0000
18	258,5511	258,5511	0,0000	0,0000
19	258,8733	258,8402	0,0331	0,0011
20	251,9366	251,9366	0,0000	0,0000
21	256,3516	255,0794	1,2722	1,6185
22	254,4100	254,4100	0,0000	0,0000
23	255,9293	255,9293	0,0000	0,0000
24	256,4182	256,4182	0,0000	0,0000
25	255,2812	255,2812	0,0000	0,0000
26	257,8033	258,8028	-0,9994	0,9988
27	253,4445	254,2277	-0,7832	0,6134
28	258,2397	258,2397	0,0000	0,0000
29	258,7059	258,7059	0,0000	0,0000
30	259,6482	259,5636	0,0846	0,0072
31	260,0895	260,0895	0,0000	0,0000
32	259,3544	259,2299	0,1245	0,0155
33	258,7132	258,6176	0,0956	0,0091
34	257,0070	257,1075	-0,1005	0,0101
35	254,2478	256,7259	-2,4781	6,1410
36	258,0121	258,0127	-0,0007	0,0000
37	257,6196	257,6196	0,0000	0,0000
38	256,8875	256,8875	0,0000	0,0000
39	256,8646	256,8646	0,0000	0,0000
40	256,9377	256,9377	0,0000	0,0000
41	257,2585	257,2585	0,0000	0,0000
42	252,5179	252,4129	0,1050	0,0110
43	257,8712	257,8712	0,0000	0,0000
44	258,9459	258,9459	0,0000	0,0000
45	258,8590	259,6140	-0,7550	0,5700
46	259,7234	259,7234	0,0000	0,0000
47	259,2000	259,2000	0,0000	0,0000
48	259,0227	258,8855	0,1372	0,0188
49	253,2328	253,4977	-0,2649	0,0702
50	257,2384	257,2218	0,0166	0,0003
51	256,8157	256,8157	0,0000	0,0000
52	256,7161	256,7161	0,0000	0,0000

Tablo 3.6. *CSF 1 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

53	256,6950	256,6950	0,0000	0,0000
54	256,2202	256,2202	0,0000	0,0000
55	256,6113	256,6113	0,0000	0,0000
56	257,3935	257,3935	0,0000	0,0000
57	257,2130	257,2130	0,0000	0,0000
58	255,7400	258,0847	-2,3446	5,4971
59	258,9423	258,9423	0,0000	0,0000
60	259,0750	259,0367	0,0383	0,0015
61	253,0400	253,0400	0,0000	0,0000
62	259,0695	259,0695	0,0000	0,0000
63	256,4093	258,8819	-2,4726	6,1138
64	254,3827	255,2676	-0,8849	0,7830
65	257,3363	257,3363	0,0000	0,0000
66	256,7999	256,7999	0,0000	0,0000
67	256,3400	256,3400	0,0000	0,0000
68	255,9512	255,8746	0,0765	0,0059
69	255,9731	255,9731	0,0000	0,0000
70	257,0275	257,0275	0,0000	0,0000
71	257,3756	257,2064	0,1692	0,0286
72	257,3668	257,3668	0,0000	0,0000
73	253,6865	253,6865	0,0000	0,0000
74	258,5504	258,5504	0,0000	0,0000
75	256,2834	256,2003	0,0832	0,0069
			RMSE :	0,5954

CSF algoritması 2 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutu ile referans SAM arasındaki fark yüzeyine rastgele nokta işaretlenerek ortalama fark miktarları tespit edilmiştir. Tablo 3.7'te belirtildiği üzere RMSE değeri 0,9286 olarak hesaplanmıştır.



Görsel 3.57. *Referans SAM ve CSF 2 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri*

Tablo 3.7. *CSF 2 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu*

Nokta Numarası	CSF 2 Z Değeri (m)	Referans SAM Z Değeri (m)	Z Değerleri Arasındaki Fark (m)	Farkların Karesi (m^2)
1	259,8500	259,8500	0,0000	0,0000
2	259,7447	259,6662	0,0785	0,0062
3	258,3667	258,3667	0,0000	0,0000
4	258,0504	257,9891	0,0613	0,0038
5	252,5175	253,1390	-0,6215	0,3863
6	253,7931	255,4995	-1,7064	2,9118
7	255,1698	255,1682	0,0016	0,0000
8	255,0111	255,0111	0,0000	0,0000
9	255,4422	255,4422	0,0000	0,0000
10	254,8276	254,8276	0,0000	0,0000
11	252,5394	252,5463	-0,0069	0,0000
12	255,1621	256,9144	-1,7523	3,0706
13	259,0869	259,0869	0,0000	0,0000
14	259,2960	259,2960	0,0000	0,0000
15	259,3224	259,3224	0,0000	0,0000

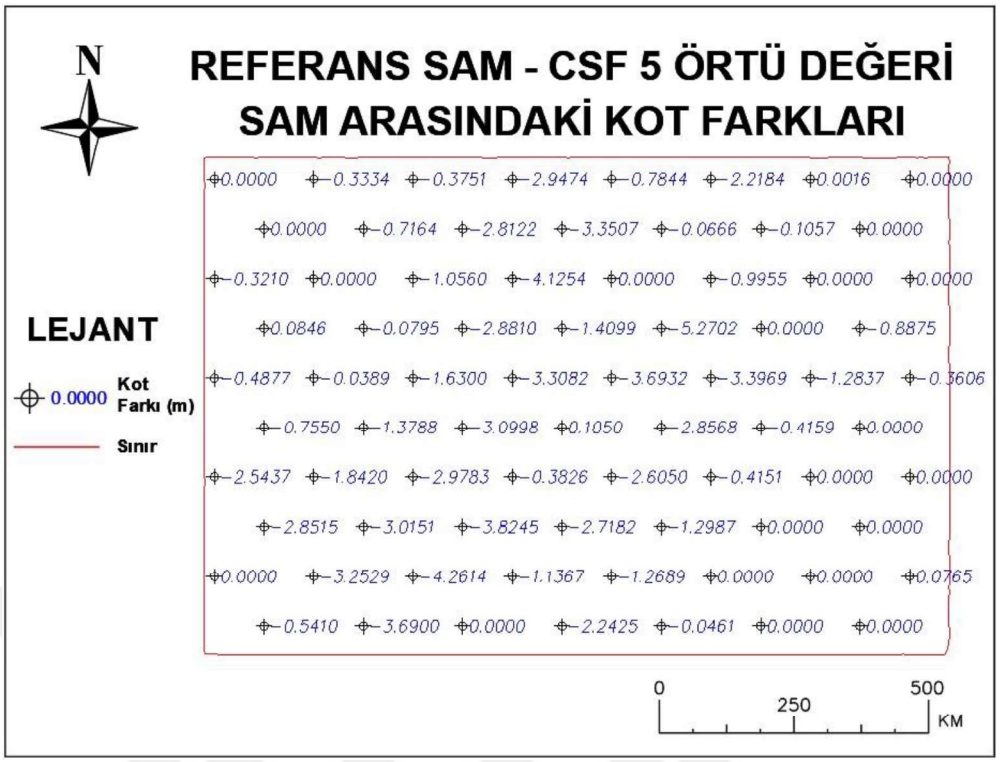
Tablo 3.7. *CSF 2 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

16	260,1053	260,1053	0,0000	0,0000
17	259,1480	259,1480	0,0000	0,0000
18	258,5511	258,5511	0,0000	0,0000
19	258,0063	258,8402	-0,8339	0,6954
20	251,9366	251,9366	0,0000	0,0000
21	255,0794	255,0794	0,0000	0,0000
22	254,4100	254,4100	0,0000	0,0000
23	255,9293	255,9293	0,0000	0,0000
24	256,4182	256,4182	0,0000	0,0000
25	255,2812	255,2812	0,0000	0,0000
26	254,8403	258,8028	-3,9625	15,7014
27	253,0049	254,2277	-1,2228	1,4952
28	258,2397	258,2397	0,0000	0,0000
29	258,7059	258,7059	0,0000	0,0000
30	259,6482	259,5636	0,0846	0,0072
31	260,0789	260,0895	-0,0106	0,0001
32	259,3544	259,2299	0,1245	0,0155
33	258,7132	258,6176	0,0956	0,0091
34	255,0086	257,1075	-2,0990	4,4058
35	253,5949	256,7259	-3,1310	9,8032
36	257,4939	258,0127	-0,5188	0,2692
37	257,6196	257,6196	0,0000	0,0000
38	256,8727	256,8875	-0,0148	0,0002
39	256,8646	256,8646	0,0000	0,0000
40	256,9377	256,9377	0,0000	0,0000
41	257,2585	257,2585	0,0000	0,0000
42	252,5179	252,4129	0,1050	0,0110
43	257,5280	257,8712	-0,3432	0,1178
44	258,9459	258,9459	0,0000	0,0000
45	258,8590	259,6140	-0,7550	0,5700
46	258,5449	259,7234	-1,1785	1,3889
47	259,2000	259,2000	0,0000	0,0000
48	259,0227	258,8855	0,1372	0,0188
49	253,1553	253,4977	-0,3424	0,1172
50	256,3897	257,2218	-0,8321	0,6924
51	256,8157	256,8157	0,0000	0,0000
52	256,7161	256,7161	0,0000	0,0000

Tablo 3.7. *CSF 2 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

53	256,6950	256,6950	0,0000	0,0000
54	256,2202	256,2202	0,0000	0,0000
55	256,6113	256,6113	0,0000	0,0000
56	257,3935	257,3935	0,0000	0,0000
57	255,8825	257,2130	-1,3305	1,7702
58	254,7902	258,0847	-3,2945	10,8537
59	258,9423	258,9423	0,0000	0,0000
60	259,0384	259,0367	0,0016	0,0000
61	253,0400	253,0400	0,0000	0,0000
62	259,0695	259,0695	0,0000	0,0000
63	255,9690	258,8819	-2,9129	8,4850
64	254,2954	255,2676	-0,9722	0,9452
65	257,3363	257,3363	0,0000	0,0000
66	256,7999	256,7999	0,0000	0,0000
67	256,3400	256,3400	0,0000	0,0000
68	255,9512	255,8746	0,0765	0,0059
69	255,9731	255,9731	0,0000	0,0000
70	256,8209	257,0275	-0,2066	0,0427
71	257,2616	257,2064	0,0553	0,0031
72	257,3668	257,3668	0,0000	0,0000
73	253,6865	253,6865	0,0000	0,0000
74	258,5504	258,5504	0,0000	0,0000
75	256,2834	256,2003	0,0832	0,0069
			RMSE :	0,9286

CSF algoritması 5 örtü değeri ile filtrelenen nokta bulutu ile referans SAM arasındaki fark yüzeyine rastgele nokta işaretlenerek ortalama fark miktarları tespit edilmiştir. Tablo 3.8'te belirtildiği üzere RMSE değeri 1,9130 olarak hesaplanmıştır.



Görsel 3.58. *Referans SAM ve CSF 5 örtü değeri ile elde edilen fark yüzeyi kot değerleri*

Tablo 3.8. *CSF 5 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu*

Nokta Numarası	CSF 5 Z Değeri (m)	Referans SAM Z Değeri (m)	Z Değerleri Arasındaki Fark (m)	Farkların Karesi (m^2)
1	259,8500	259,8500	0,0000	0,0000
2	259,3328	259,6662	-0,3334	0,1112
3	257,9915	258,3667	-0,3751	0,1407
4	255,0417	257,9891	-2,9474	8,6872
5	252,3546	253,1390	-0,7844	0,6153
6	253,2811	255,4995	-2,2184	4,9213
7	255,1698	255,1682	0,0016	0,0000
8	255,0111	255,0111	0,0000	0,0000
9	255,4422	255,4422	0,0000	0,0000
10	254,7219	254,8276	-0,1057	0,0112
11	252,4797	252,5463	-0,0666	0,0044
12	253,5637	256,9144	-3,3507	11,2272
13	256,2748	259,0869	-2,8122	7,9085
14	258,5796	259,2960	-0,7164	0,5132
15	259,3224	259,3224	0,0000	0,0000

Tablo 3.8. *CSF 5 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

16	259,7844	260,1053	-0,3210	0,1030
17	259,1480	259,1480	0,0000	0,0000
18	257,4951	258,5511	-1,0560	1,1151
19	254,7148	258,8402	-4,1254	17,0189
20	251,9366	251,9366	0,0000	0,0000
21	254,0838	255,0794	-0,9955	0,9910
22	254,4100	254,4100	0,0000	0,0000
23	255,9293	255,9293	0,0000	0,0000
24	255,5307	256,4182	-0,8875	0,7877
25	255,2812	255,2812	0,0000	0,0000
26	253,5325	258,8028	-5,2702	27,7750
27	252,8177	254,2277	-1,4099	1,9878
28	255,3587	258,2397	-2,8810	8,3002
29	258,6264	258,7059	-0,0795	0,0063
30	259,6482	259,5636	0,0846	0,0072
31	259,6018	260,0895	-0,4877	0,2379
32	259,1910	259,2299	-0,0389	0,0015
33	256,9876	258,6176	-1,6300	2,6569
34	253,7994	257,1075	-3,3082	10,9442
35	253,0327	256,7259	-3,6932	13,6397
36	254,6158	258,0127	-3,3969	11,5389
37	256,3360	257,6196	-1,2837	1,6479
38	256,5269	256,8875	-0,3606	0,1300
39	256,8646	256,8646	0,0000	0,0000
40	256,5219	256,9377	-0,4159	0,1730
41	254,4017	257,2585	-2,8568	8,1613
42	252,5179	252,4129	0,1050	0,0110
43	254,7714	257,8712	-3,0998	9,6088
44	257,5671	258,9459	-1,3788	1,9011
45	258,8590	259,6140	-0,7550	0,5700
46	257,1797	259,7234	-2,5437	6,4704
47	257,3580	259,2000	-1,8420	3,3930
48	255,9073	258,8855	-2,9783	8,8703
49	253,1151	253,4977	-0,3826	0,1464
50	254,6169	257,2218	-2,6050	6,7860
51	256,4006	256,8157	-0,4151	0,1723
52	256,7161	256,7161	0,0000	0,0000

Tablo 3.8. *CSF 5 örtü değeri RMSE değeri hesap tablosu (Devam)*

53	256,6950	256,6950	0,0000	0,0000
54	256,2202	256,2202	0,0000	0,0000
55	256,6113	256,6113	0,0000	0,0000
56	256,0948	257,3935	-1,2987	1,6866
57	254,4948	257,2130	-2,7182	7,3886
58	254,2601	258,0847	-3,8245	14,6268
59	255,9272	258,9423	-3,0151	9,0908
60	256,1853	259,0367	-2,8515	8,1311
61	253,0400	253,0400	0,0000	0,0000
62	255,8167	259,0695	-3,2529	10,5814
63	254,6206	258,8819	-4,2614	18,1595
64	254,1309	255,2676	-1,1367	1,2921
65	256,0675	257,3363	-1,2689	1,6101
66	256,7999	256,7999	0,0000	0,0000
67	256,3400	256,3400	0,0000	0,0000
68	255,9512	255,8746	0,0765	0,0059
69	255,9731	255,9731	0,0000	0,0000
70	257,0275	257,0275	0,0000	0,0000
71	257,1603	257,2064	-0,0461	0,0021
72	255,1243	257,3668	-2,2425	5,0288
73	253,6865	253,6865	0,0000	0,0000
74	254,8604	258,5504	-3,6900	13,6161
75	255,6593	256,2003	-0,5410	0,2927
			RMSE :	1,9130

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde filtreleme işlemi için parametre değeri 0.5 olarak seçilerek elde edilen SAM'ın gerçeğe en yakın model olduğu tespit edilmiştir. Parametre değerinin 0.5 olarak seçilmesi ile oluşturulan SAM'ın RMSE değeri 0,4276 olarak hesaplanmış olup modelin doğruluğu kanıtlanmıştır. Değerlendirmeye alınan parametre değerleri arasında gerçeğe en uzak modelin oluşmasını sağlayan değerin ise 5 olduğu görülmüştür. Modellerin her biri incelendiğinde referans modele en yakın sonucu veren parametre değerinde dahi manuel müdahalelerin yapılması daha doğru bir sonuç elde edilmesine etki edeceği görülmüştür (Sarıtaş & Kaplan, 2023b).

4. TARTIŞMA

Çalışmamızın odak noktasına bakıldığında farklı ölçme yöntemleri ile elde edilemeyen referans SAM'ın manuel olarak müdahalelerde bulunulması ile oluşturulması ve CSF algoritması ile farklı parametre değerleri ile elde edilen SAM' ların doğruluk analizinin yapılması esnasında SAM'lar arasındaki hacim farklarının tespit edilebilmesi amacı ile kübaj hesabı yönteminin kullanılarak optimum parametre değerinin tespit edilmesi olduğu görülmektedir.

Yapılmakta olan çalışma verilerimiz literatür taraması kısmında belirtmekte olduğumuz çalışmalar ile karşılaştırılmak istendiğinde;

Gonçalves G. ve Pereira L.' nin birlikte yapmış oldukları çalışmalarında bizim çalışmamızdan farklı olarak sekiz farklı filtreleme algoritmasının birbirleri arasındaki kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmak istedikleri kullanılabilirlik özellerini değerlendirirken ortalama değer, standart sapma ve RMSE metrik değerlerini kullanırken bizler çalışmamızda yalnızca CSF algoritmasını kullanmakta olup değerlendirme aşamasında ise kübaj hesabı ile fark yüzeyi elde etme metodunu kullanmaktayız. Yapmış olduğumuz çalışma ile bir başka fark ise referans veri olarak kullanmak istedikleri veriyi yazarlar GNSS alıcıları yardımı ile ede eder iken bizler manuel olarak müdahalelerde bulunarak elde etmekteyiz. Referans veriyi GNSS alıcıları ile destekleyerek elde etmek bir avantaj olarak değerlendirilmesinin yanında çalışma yapılacak olan bölgede yersel çalışmaların yapılamaması, LİDAR verileri ile değerlendirme çalışmaları yapacak olan araştırmacıların yalnızca nokta bulutu verisine ulaşabilmesi gibi etkenler göz önünde bulundurulduğunda dezavantaj olabileceği kanısına varılmakta olup bizlerin öne sürdüğü manuel müdahaleler ile referans verinin elde edilmesi yöntemini söz konusu bu çalışmaya göre ön plana çıkartmıştır.

Literatür taramaları esnasında incelenmekte olan bir başka çalışmada Karasaka L. Ve Keleş H.' nin çalışmalarında bizler gibi CSF algoritmasını kullandığı ve yine aynı şekilde farklı parametre değerlerinin girdi verisi olarak değerlendirilerek filtreleme algoritmasının doğrulunun araştırıldığı görülmektedir. Bizler çalışmamızda şehir özelliklerinin (bina, yol, köprü, nehir vb.) yoğun olduğu bir LİDAR nokta bulutu verisinin değerlendirme çalışmalarını yapar iken Karasaka L. Ve Keleş H. dik yamaçların ve sıkı ormanlıkların olduğu bir bölgeye ait olan LİDAR nokta bulutu verisinde CSF algoritmasının başarısının değerlendirmesini yapmaktadırlar. Bizlerin yapmış olduğu çalışmaya göre bir başka fark ise referans modelin elde edilmesi aşaması olarak

görülmektedir. Yazarlar çalışmalarında ortofotoları referans veri olarak kullanmaktadırlar.

Bir başka çalışmada bölgeye ait olan kontur çizgilerinin çıkartılmasını amaç edinen Pereira J. ve arkadaşları üç farklı yazılımda yer alan filtreleri kullanarak amaçlarına ulaşmayı hedeflemektedirler. Elde etmiş oldukları verilerin değerlendirme aşamasında hava fotoğraflarını referans veri olarak kullanmışlar ve elde etmiş oldukları SAM verileri ile birbirleri arasında çıkartma işlemi yaparak hangi filtrenin istenilen değere yakın sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Bizler değerlendirme yapar iken benzer bir mantıkta elde ettiğimiz referans veriyi ve SAM verisi arasındaki hacim farkını tespit ederek istenilen sonuç verisine yakınlığına göre doğruluğunun tespitini yapmaktayız. Bizler doğruluk analizi işlemlerini AutoCAD Civil 3D yazılımı ile tamamlarken söz konusu yazarlar araştırmalarında kullandıkları yöntemi ArcGIS yazılımı vasıtası ile tamamlamaktadırlar. Kullanmış oldukları referans veriyi dijital fotogrametri yöntemi ile elde etmiş olup bozulmaların olduğunu tespit etmişler ve bu durumun sebebi olarak ise arazi ölçmelerinin kanopi yüksekliklerinin referans alınarak yapılması öne sürülmüştür. Bu durumda referans veriye bizler gibi manuel müdahalelerde bulunulması veya yersel ölçme yöntemleri ile referans verinin zenginleştirilmesi verinin daha güvenilir olarak kullanılmasını sağlama imkanı ortaya çıkarabilir. Yazarlar doğruluğun artırılabilmesi için kullandıkları test verilerinin çoğaltılması gerekliliğine vurgu yapmışlardır.

Sevgen S. ve Karslı F. çalışmalarında bizler gibi farklı mühendisliklere ait altlık veri olarak etkili olduğu vurgulanmaktadır. Çalışmalarında önerdikleri algoritmayı CSF algoritması kullanılarak elde edilen veri ile karşılaştırarak doğruluk değerlendirmesi yapmaktadırlar. Referans veri olarak CSF algoritmasından elde edilen veriyi kullanırlar iken bizler CSF algoritmasının doğruluğunun tespitini araştırmaktayız.

Bizlerin çalışmamızda dış mekana ait hava LİDAR verilerini kullanırken farklı bir çalışma olarak Parent J. ve arkadaşları iç mekan modellemesi konusunda çalışmalarını yapmışlardır. Manuel olarak uzun sürelerin harcanmasına yol açan çalışmalara alternatif olarak bir yöntem önerisinde bulunmaktadırlar. Çalışmalarında karmaşık yapıda olan tavan verileri ve birbirlerine benzer olan küçük objelerin sınıflandırılmasında yöntemin istikrarlı bir harita oluşturmadığını görmüşlerdir. Yapmış olduğumuz çalışma ile sonuç verilerinin değerlendirmesi Parent J. ve arkadaşlarının zaman kısıtlamasının olmasından dolayı çalışmalarını tamamlamamaları nedeni ile yapılamamaktadır.

Literatürdeki çalışmalarda yeni bir algoritma önerisinde Lu Y. ve arkadaşları Matlab yazılımı kullanarak LAS2TXT adını verdikleri algoritmalarında doğal komşu enterpolasyonu ve üçgenleme tabanlı enterpolasyon yöntemlerini kullanarak çalışmalarının verimliliğini göstermektedirler. Filtreleme çalışmalarındaki karşılaştığı hatalar nedeni ile tıpkı bizlerin yapmış olduğu çalışmada elde ettiğimiz sonuç verilerinde olduğu gibi manuel müdahalelerde bulunmanın sonucu olumlu yönde etkileyeceğini önermektedirler.

Burada ve arkadaşları çalışmalarında girdi verisi olarak ortofotoları, topografik haritaları, helikopter yardımı ile çekilen fotoğrafları ve LİDAR verilerini kullanmaktadırlar. LİDAR verileri ile elde edilen veriler diğer girdi verileri ile karşılaştırılarak SAM verisinin doğruluğunun değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bizler yalnızca LİDAR verilerini kullanarak bir model oluşturmaya çalışmaktayız ancak Burada ve arkadaşları LİDAR verilerinin yanı sıra kullandıkları veriler çalışma maliyetini arttırabileceği gibi çalışmada veri yoğunluğunun ve değerlendirmede farklı verileri değerlendirmekte olan zorluğu öne çıkartabilmektedir. Bu dezavantajın yanı sıra farklı veriler ile elde desteklenen referans verinin güvenilirliği arttırılabilmesi sağlanabilmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışma ile söz konusu literatür çalışmalarından farklı olarak referans modelin elde edilme yöntemi ve değerlendirilmesi esnasında kullanılan metot konuları öne çıkmıştır. Yersel ölçme yöntemleri veyahut uzaktan algılama yöntemlerinden hava fotoğrafları, LİDAR verileri, uydu görüntülerine ulaşılamayan durumlarda değerlendirmek amacı ile referans bir modele ihtiyaç duyulması esnasında kullanılabilmesi için manuel müdahalelerde bulunularak doğruluğunun güvenilir olduğu bir referans modelin nasıl oluşturulması gerektiği ve bu modelde nelere dikkat edilmesi gerektiği araştırılmıştır. Referans model oluşturulmaya ilk etapta gürültü noktalarının temizlenmesi ile başlamıştır. Referans modelin güvenilir olarak elde edilmesi için nokta bulutundaki kot farkları ve Google Earth görüntüleri dikkate alınarak yalnızca zemine ait noktaların elde tutulması ve geriye kalan noktaların temizlenmesi ile elde edilmiştir. Literatür çalışmalarından farklı olarak referans modelin oluşturulması için elde edilen temizlenmiş nokta bulutu verisinin AutoCAD Civil 3D yazılımı vasıtası ile üçgen modelinin oluşturulması ve üçgen modele ait en kesit grafiklerinin oluşturulması sağlanmıştır. Kesitlerin incelenmesi üçgen modelin doğrulu kontrol altına alınabilir ve bu

sayede zemine ait olmayan noktaların temizlenip temizlenmediği tespit edilerek modelin doğruluğu güven altına alınmıştır.

Araştırma konusu olan CSF algoritması kullanılarak elde edilen modellerin doğruluğunun değerlendirilmesi için referans modelde olduğu gibi filtreleme sonucunda oluşturulan tüm SAM verilerinin üçgen modellerinin oluşturulması sağlanmıştır. Ardından kullanılan yöntem ise referans model ve algoritma kullanılarak elde edilen SAM verileri arasındaki hacim farklarının tespit edilmesidir.

AutoCAD Civil 3D yazılımında yapılan çalışmalar esnasında oluşturulan kesitler ve üçgen modeller büyük ölçekli projelerde (yol, tünel, baraj vb.) altlık veri olarak kullanılabilme avantajını sağlamıştır. Söz konusu veriler proje maliyetlerinden projenin sonuçlandırılmasına kadar geçen tüm aşamalarda kullanılabilecek bir verinin oluşturulmasını sağlamıştır. Kübaj hesabının oluşturulması esnasında elde edilen fark yüzeyi ile konum bazlı olarak referans ve filtreleme sonucunda elde edilen SAM verileri arasındaki konumsal farkların tespit edilmesi kullanılmakta olan yöntemin farklı bir avantajı olarak görülmektedir.

Literatürde olduğu gibi referans modelin herhangi bir farklı ölçme metodu ile desteklenerek oluşturulmaması modelin güvenilirlik düzeyini etkilemekte ve bu durum çalışmanın dezavantajı olarak görülmüştür.

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde örtü değeri parametresine ait olan veri değerinin yükselmesi sonucunda elde edilen SAM'ların referans model ile karşılıklı kübaj hesaplarına bakıldığında hacim farkının büyüdüğü görülmüştür. Optimum sonuç ise referans model ile hacim farkı değerinin 48411,42 m3 olarak hesap edilen parametre değerinin 0.5 olduğu görülmüştür. Parametre değerinin 0.5 seçilmesi ile elde edilen SAM'ın RMSE değeri 0,4276 olarak hesaplanmıştır. Değerlendirmeye alınan değerler arasında referans model ile hacim farkı değerinin 506792,16 m3 olarak hesap edilmesi ile en büyük farkın oluşmasını sağlayan parametre değerinin 5 olduğu tespit edilmiştir. Parametre değerinin 5 olarak seçilmesi ile elde edilen SAM'ın RMSE değeri 1,9130 olarak hesaplanmıştır. Referans model ile hacim farkının en küçük değerin hesaplandığı SAM modelde dahi filtreleme çalışmasının haricinde manuel olarak temizleme çalışmalarının yapılmasının gerektiği görülmüştür.

5. ÖNERİLER

Filtreleme çalışmaları esnasında farklı filtreleme algoritmalarının bir arada kullanılması ile daha etkin sonuçların elde edilmesine katkıda bulunabilir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda farklı filtreleme algoritmalarının farklı kombinasyonlar vasıtası ile elde etmiş oldukları SAM verilerinin doğruluk değerlendirmesinin yapılması bu durumun daha etkin bir biçimde etkin olabileceğini göstermesi açısından önemli bir durumdur.

Filtreleme çalışmalarında coğrafi durumun etkisi çok büyüktür. Farklı coğrafi özelliklere sahip veri setlerinin her birinde farklı hataların çıkması muhtemel bir durumdur. Söz konusu bu hataların önüne geçebilmek için yeni algoritma tasarımları yapılarak değerlendirme süreci yapılabilmesinin yanı sıra makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılmasının ardından tasarlanan filtrelerin geliştirilmesi ile gelecekte yapılacak olan çalışmaların doğruluğuna katkı sağlaması beklenebilmektedir.

Yapılmakta olan çalışmanın genel odağına bakıldığında referans modelin oluşturulması manuel müdahalelere dayalı bir biçimde gerçekleştirilmektedir. İlerleyen dönemlerde yapılacak olan çalışmalarda farklı uzaktan algılama yöntemlerinin de devreye alınarak referans modellerin oluşturulmasına katkı sağlanmalı ve kapsamlı bir karşılaştırma yapılarak güvenilirlik düzeyinin arttırılması sağlanabilmektedir.

Çalışma genel olarak şehirsel özelliklere sahip bir LİDAR verisini kapsamaktadır. Orman veya kırsal alan özelliklerine sahip farklı veri setlerinin de değerlendirme sürecine alınması ve yapılan tüm işlemlerinin bu tip farklı coğrafi özelliklere sahip olan LİDAR veri setlerinde de yapılması sağlanabilir. Bu sayede önerilmekte olan metodun farklı coğrafi bölgelerde de ne düzeyde etkili olduğu araştırılarak çalışmanın farklı boyutlara evrilmesine katkıda bulunulabilir.

Çalışmanın doğruluk analizi esnasında kullanılan yöntem olan kübaj hesabı sonucunda elde edilen fark yüzeyinde daha fazla noktada konumsal doğruluk tespiti yapılarak coğrafi olarak daha kapsamlı analiz yapılabileceği gibi elde edilen fark yüzeyi sayesinde elde edilecek kontur çizgileri sayesinde farklı çalışmalarda kullanılmak üzere altlık projelerin hazırlanması sağlanabilir.

LİDAR verilerinin toplanması esnasında veri kalitesinin önemini ve çalışmanın doğruluğuna etkisinin araştırılması üzerine durularak çalışmanın başlangıç aşamasında daha doğru verilerin elde edilmesine katkı sağlanmalı ve bu durumun çalışmaların genel başarısını arttırması sağlanabilir.

Farklı dönemlerde aynı bölgeye ait olan LİDAR veri setleri üzerinde yapılacak olan filtreleme çalışmaları sonucunda elde edilen SAM verileri karşılaştırılarak bölgeler üzerindeki zamansal değişimin tespiti kolay bir şekilde yapılabilir. Örnek vermek gerekirse ormansal alanlarda belirli aralıklar ile yapılacak olan LİDAR ölçmeleri sayesinde herhangi bir orman yangınının ne kadarlık alanda tahribata yol açtığı tespit edilebilir.

KAYNAKÇA

Adjiski, V., Kaplan, G., & Mijalkovski, S. (2023). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LiDAR datasets and GIS based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, *8*(2), 188–199. https://doi.org/10.26833/ijeg.1112274

Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A. E., Gülci, S., & Öztürk, T. (2016). İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *66*(1). https://doi.org/10.17099/jffiu.23976

Barış Süleymanoğlu. (2016). *Lidar Tekniği ile Elde Edilen Nokta Bulutların Sınıflandırılması ve Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Barış Süleymanoğlu, & Metin Soycan. (2017, May). *Hava Lidar Verilerinde Kullanılan Filtreleme Algoritmalarının İncelenmesi*.

Başambar, Ş., Karimi, Z. K., Öztürk, F., Acet, Ş. B., & Pekkan, Ö. I. (2021). Uzaktan Algılama Tekniklerinden Yararlanarak Tarımsal Faaliyetlerin İzlenmesi. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies* , *4*(2), 58–79.

Bilge Civelekoğlu. (2015). *Hava Lidar Verilerinin Sınıflandırılması Ve Orman Ağaçlarına Ait Öznitelik Değerlendirilmesi İstanbul Belgrad Ormanı Örneği* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Bjørke, J. T. (2010). *Digitale Terrengmodeller Universitetet for Miljø og Biovitenskap*.

Bornaz, L., Lingua, A., & Rinaudo, F. (2004, July). *Engineering and Environmental Applications of Laser Scanner Tecniques*.

Briese, C. (2010). Extraction of Digital Terrain Models. *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*, 135–167. https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/26779

Burada, B., Mihai, D., Mudura, R., Ţentea, O., BReazu, M., & Venedict, B. (2012). The Use of Geographical Information Systems and Lidar TEchnology In The Fıeld of Archaeology. *LANDRECLAMATION JOURNAL USAMV*, *3*(3), 87–92.

Çakmak, Z. B., Akpinar, B., & Selbesoğlu, M. O. (2022). Taşınabilir Lazer Tarama Sistemleri ile Farklı Alanlarda Doğruluk Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *22*(5), 1075–1086. https://doi.org/10.35414/AKUFEMUBID.1139569

Canaz Sevgen, S., & Karsli, F. (2020). AUTOMATIC GROUND EXTRACTION FOR URBAN AREAS FROM AIRBORNE LIDAR DATA. *Turkey Turkish Journal of Engineering (TUJE)*, *4*(3), 113–122. https://doi.org/10.31127/tuje.641501

Çelik, H., Baş, N., & Coşkun, H. G. (2014). Taşkın Modelleme ve Risk Analizinde LiDAR Verisiyle Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *4*(1), 117. https://doi.org/10.17714/GUFBED.2014.04.009

Çömert, R., Avdan, U., Tün, M., & Ersoy, M. (2012). Mimari Belgelemede Yersel Lazer Tarama Yönteminin Uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *4*(1), 1–18. www.teknolojikarastirmalar.com

Doğruluk, M., Coşkun Aydin, C., & Yanalak, M. (2018). Kırsal Alanlarda SYM Üretiminde Filtreleme Yöntemlerinin Performans Analizi: Hava LiDAR Uygulaması; İstanbul Örneği. *Geomatik Dergisi*, *3*(3), 242–253. https://doi.org/10.29128/geomatik.414412

Döş, M. E., & Uysal, M. (2019). Uzaktan algılama verilerinin derin öğrenme algoritmaları ile sınıflandırılması. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, *1*(1), 28–34. https://dergipark.org.tr/tr/pub/tuzal/issue/50531/648988

Ekercin, S., & Üstün, B. (2004). Uzaktan algılamada yeni bir teknoloji: Lidar. *HKM Jeodezi Jeoinformasyon Arazi Yönetimi Dergisi*, *0*(91), 34–38. http://search/yayin/detay/59216

Fabris, M., Achilli, V., Artese, G., Boatto, G., Bragagnolo, D., Concheri, G., Meneghello, R., Menin, A., & Trecroci, A. (2009). High Resolution Data From Laser Scanning and Digıtal Photogrammetry Terrestrial Methodologies Test Site: An Architectural Surface. *ISPRS*, *38*(3/W8), 43–48.

Fidan, D., & Fidan, Ş. (2021). Yersel lazer tarama teknolojileriyle oluşturulan 3B modellerin akıllı kent uygulamalarında kullanımı: Mersin Süslü Çeşme örneği. *Türkiye LİDAR Dergisi*, *3*(2), 48–57. https://doi.org/10.51946/melid.1021819

Fröhlich, C., Mettenleiter, M., Härtl, F., Dalton, G., & Hines, D. (2000). Imaging Laser Radar for 3-D Modelling of Real World Environments. *Sensor Review*, *20*(4), 273–282. https://doi.org/10.1108/02602280010351019

Gonçalves, G. R., & Pereira, L. G. (2010). Assessment of the performance of eight filtering algorithms by using full-waveform LiDAR data of unmanaged eucalypt forest. *Silvilaser*, 187–196. https://www.researchgate.net/publication/353307644

Gümüş, K., & Erkaya, H. (2007). Mühendislik uygulamalarında kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemler. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2-6 Nisan*.

Habib, A., & Rens, J. V. (2017). Quality Assurance and Quality Control of Lidar Systems and Derived Data. *Advanced Lidar Workshop, University of Northern Iowa*, *10*, 269–294. https://doi.org/10.1201/9781420051438.CH9

Haralick, R. M., & Shapiro, L. G. (1992). Computer and Robot Vision. In *Addison-Wesley: Reading*. Longman Publishing Co. Inc. https://scholar.google.com.tr/citations?hl=tr&user=X8NqGhsAAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate

Haugerud, R. A., & Harding, D. J. (2001). SOME ALGORITHMS FOR VIRTUAL DEFORESTATION (VDF) OF LIDAR TOPOGRAPHIC SURVEY DATA. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 211–217. http://pugetsoundlidar.org

Hill, J., Graham, L., Henry, R., Cotter, D., & Young, D. (2000). Wide-area topographic mapping and applications using airborne light detection and ranging (LIDAR) technology. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *66*, 908–914.

Impyeong, L., & Yunsoo, C. (2004, July 12). Fusion of Terrestrial Laser Scanner Data and Images for Building Reconstructions. *ISPRS Xx. Symposium, Com. V., WG V/4*.

João Paulo Pereira, Tainara Boesing, Tamiles Rodrigues, Marcos Benedito Schimalski, & Jorgeane Schaefer. (2014, October). VALIAÇÃO DE SOFTWARES LIVRES NA FILTRAGEM DE DADOS LiDAR PARA AGERAÇÃO DE CURVAS DE NÍVEL. *SENGEF - XI Seminário de Atualização Em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal.* https://www.researchgate.net/publication/313124677_AVALIACAO_DE_SOFTWARES_LIVRES_NA_FILTRAGEM_DE_DADOS_LiDAR_PARA_A_GERACAO_DE_CURVAS_DE_NIVEL

Kaplan, G., Comert, R., Kaplan, O., Matci, D. K., & Avdan, U. (2022). Using Machine Learning to Extract Building Inventory Information Based on LiDAR Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *11*(10). https://doi.org/10.3390/IJGI11100517

Karasaka, L., & Keleş, H. (2020). CSF (Cloth simulation filtering) Algoritmasının Zemin Noktalarını Filtrelemedeki Performans Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 267–275. https://doi.org/10.35414/akufemubid.660828

Kobler, A., Pfeifer, N., Ogrinc, P., Todorovski, L., Oštir, K., & Džeroski, S. (2007). Repetitive interpolation: A robust algorithm for DTM generation from Aerial Laser Scanner Data in forested terrain. *Remote Sensing of Environment*, *108*(1), 9–23. https://doi.org/10.1016/J.RSE.2006.10.013

Kostrikov, S. (2019). Urban remote sensing with lidar for the Smart City Concept implementation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology," 50*. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08

Laser (LAS) File Format Exchange Activities – ASPRS. (n.d.). Retrieved March 26, 2023, from https://www.asprs.org/divisions-committees/lidar-division/laser-las-file-format-exchange-activities

Lichti, D. D., & Gordon, S. J. (2004, May). Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording . *FIG Working Week*.

Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0309133308089496*, *32*(1), 31–49. https://doi.org/10.1177/0309133308089496

Lu, Y., Wang, X., Zhou, K., & Yang, J. (2011). MATLAB Tools for LIDAR Data Conversion, Visualization, and Processing. In X. He, J. Xu, & V. G. Ferreira (Eds.), *International Symposium on Lidar and Radar Mapping 2011: Technologies and Applications*. https://doi.org/10.1117/12.912529

Makineci, H. B. (2016). İnsansız Hava Araçları Lidar Etkileşimi. *Geomatik*, *1*(1), 19–23. https://doi.org/10.29128/geomatik.294076

Maliqi, E., Penev, P., & Kelmendi, F. (2017). Creating and Analysing the Digital Terrain Model of the Slivovo Area Using QGIS Software. *Geodesy and Cartography*, *43*(3), 111–117. https://doi.org/10.3846/20296991.2017.1376445

Maune, D. (2011). Digital Elevation Model (DEM) Whiepaper NRCS High Resolution Elevation Data. *USDA Natural Resources Conversation Service National Geospatial Management Center*.

Meng, X., Currit, N., & Zhao, K. (2010). Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues. *Remote Sensing 2010, Vol. 2, Pages 833-860*, *2*(3), 833–860. https://doi.org/10.3390/RS2030833

Parent, J. R., Witharana, C., & Bradley, M. (2021). MAPPING BUILDING INTERIORS WITH LIDAR: CLASSIFYING THE POINT CLOUD WITH ARCGIS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *XLIV-M-3–2021*(M–3), 133–137. https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLIV-M-3-2021-133-2021

Pedersen, V. F. (2022). *Filtrering av LiDAR-punktsky for opprettelse av nøyaktig DTM : en prestasjonsanalyse av to punktskybehandlingssystem* [Masteroppgave]. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Podobnikar, T., & Vrečko, A. (2012). Digital Elevation Model from the Best Results of Different Filtering of a LiDAR Point Cloud. *Transactions in GIS*, *16*(5), 603–617. https://doi.org/10.1111/J.1467-9671.2012.01335.X

Sarıtaş, B., & Kaplan, G. (2023a). Enhancing Ground Point Extraction in Airborne LiDAR Point Cloud Data Using the CSF Filter Algorithm. *Advanced LiDAR*, *3*(2), 53–61.

Sarıtaş, B., & Kaplan, G. (2023b). Sarıtaş, B., & Kaplan, G. (2023). A comprehensive study on enhanced accuracy analysis of LIDAR data. Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 7, 213-216, Peshawar, Pakistan. In *Intercontinental Geoinformation Days (IGD)* (Vol. 7).

Sarıtaş, B., & Kaplan, G. (2024). A comprehensive study on enhanced accuracy analysis of LİDAR data: the example of Skopje. *Advanced LiDAR*

Sevinç Tigin, Ö. (2023). Investigation of Technological Developments in Remote Sensing And Geographical Information Systems With Patent Statistics. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, *6*(2), 20–30.

Sinadinovski, C., Markušić, S., Stanko, D., McCue, K. F., & Pekevski, L. (2022). Seismic Analysis of Moderate Size Earthquakes Recorded on Stations at Close Epicentral Distances. *Applied Sciences* , *12*(1), 470. https://doi.org/10.3390/APP12010470

Sithole, G., & Vosselman, G. (2005). *Filtering Of Airborne Laser Scanner Data Based On Segmented Point Clouds* (pp. 66–71). International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. https://research.utwente.nl/en/publications/filtering-of-airborne-laser-scanner-data-based-on-segmented-point

Soycan, M., Tunalioğlu, N., Öcalan, T., Soycan, A., & Gümüş, K. (2011a). Three Dimensional Modeling of a Forested Area Using an Airborne Light Detection and Ranging Method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *36*(4), 581–595. https://doi.org/10.1007/S13369-011-0054-8

Soycan, M., Tunalioğlu, N., Öcalan, T., Soycan, A., & Gümüş, K. (2011b). Three Dimensional Modeling of a Forested Area Using an Airborne Light Detection and Ranging Method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *36*(4), 581–595. https://doi.org/10.1007/S13369-011-0054-8/METRICS

Stoker, J. (2007). Introduction to Lidar Technology. *New Jersey Lidar Remote SensingWorkshop, Rutgers University,New Brunswick*.

Tóvári, D., & Pfeifer, N. (2005). Segmentation Based Robust Interpolation-A New Approach to Laser Data Filtering. *Proceedings of the ISPRS Workshop Laser Scanning 2005*, 79–84.

Uça Avcı, Z. D., Uça Güneş, E. P., & Çabuk, A. (2015). An Evaluation of 'Remote Sensing' and 'Geographic Information Systems' Training in Distance Education. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *7*(3), 53–68. https://doi.org/10.15659/hartek.15.11.90

Uray, F. (2016). *Hava Lidar Nokta Bulutu Verileri Fİltreleme Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Performanslarının Karşılaştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi.

Uray, F. (2022). *Derin öğrenme tekniklerini kullanarak hava lidar nokta bulutlarının sınıflandırılması* [Doktora Tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi.

Varlık, A., & Uray, F. (2017). Üçgenleme ve Enterpolasyon Temelli Lidar Filtreleme Algoritmalarının Performans Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Degisi*, 156–165.

Vosselman, G., & Maas, H.-G. (2010). *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing. https://www.whittlespublishing.com/Airborne_and_Terrestrial_Laser_Scanning

Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning - An introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *54*(2–3), 68–82. https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8

Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). Yersel Lazer Tarama Teknolojisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *2*, 43–48. www.teknolojikarastirmalar.com

Yuriy Reshetyuk. (2009). *Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning* [Doctoral thesis in Infrastructure, Geodesy]. Royal Institute of Technology (KTH),Department of Transport and Economics Division of Geodesy.

Yurtsever, A. (2023). Taşınır ve taşınmaz kültür varlıklarının yeni nesil LiDAR sensörlü tablet bilgisayar ile belgelenmesi. *Geomatik*, *8*(2), 200–207. https://doi.org/10.29128/geomatik.1209701

Zhang, W., Qi, J., Wan, P., Wang, H., Xie, D., Wang, X., & Yan, G. (2016). An easy-to-use airborne LiDAR data filtering method based on cloth simulation. *Remote Sensing*, *8*(6). https://doi.org/10.3390/rs8060501

http-1:https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/CSF_(plugin) (Erişim Tarihi: 24.01.2024)

http-2:http://ramm.bnu.edu.cn/projects/CSF/ (Erişim Tarihi: 24.01.2024)

http-3:https://en.wikipedia.org/wiki/CloudCompare (Erişim Tarihi: 14.08.2023)

http-4:https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/Introduction (Erişim Tarihi: 14.08.2023)

http-5:https://www.autodesk.com/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RECAP (Erişim Tarihi: 14.08.2023)

http-6:https://www.autodesk.com.tr/products/civil-3d/overview (Erişim Tarihi: 14.08.2023)

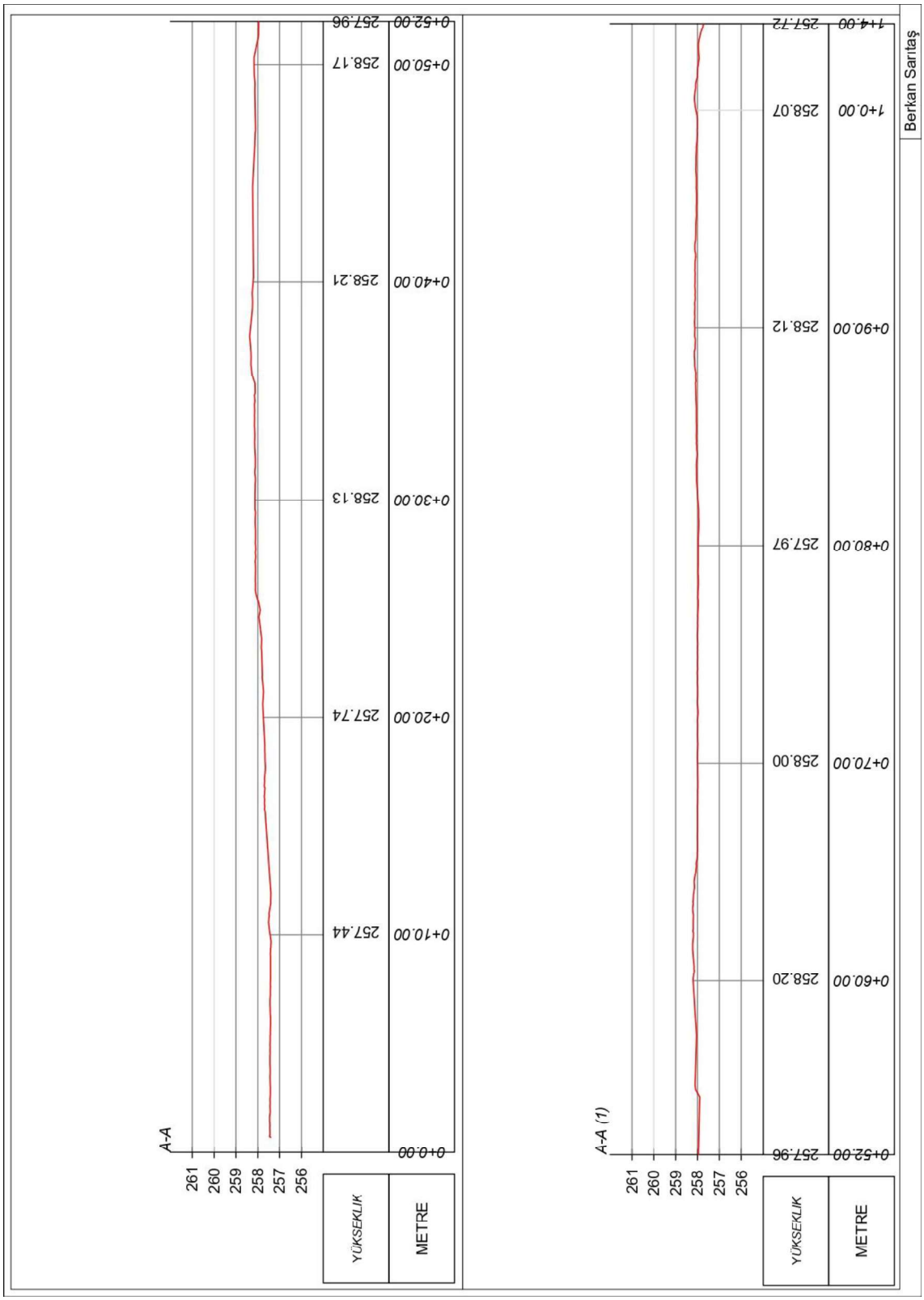
http-7:https://www.penta.com.tr/markalar/autodesk/urunler/autocad-civil-3d/autocad-civil-3d-nedir-/en/ (Erişim Tarihi: 14.08.2023)

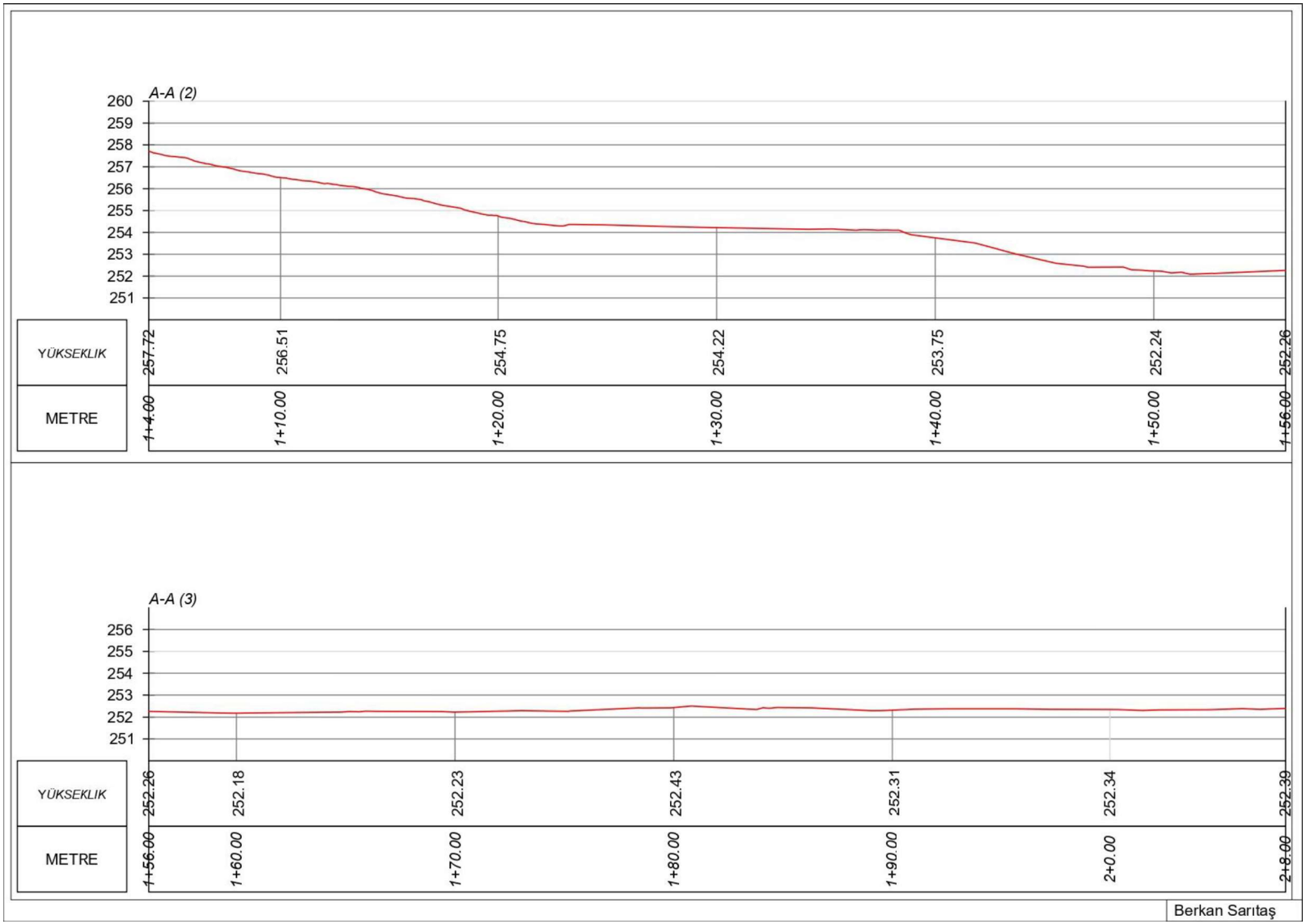
http-8:https://www.penta.com.tr/markalar/autodesk/urunler/autocad-civil-3d/ayrintili-bilgi/en/ (Erişim Tarihi: 14.08.2023)

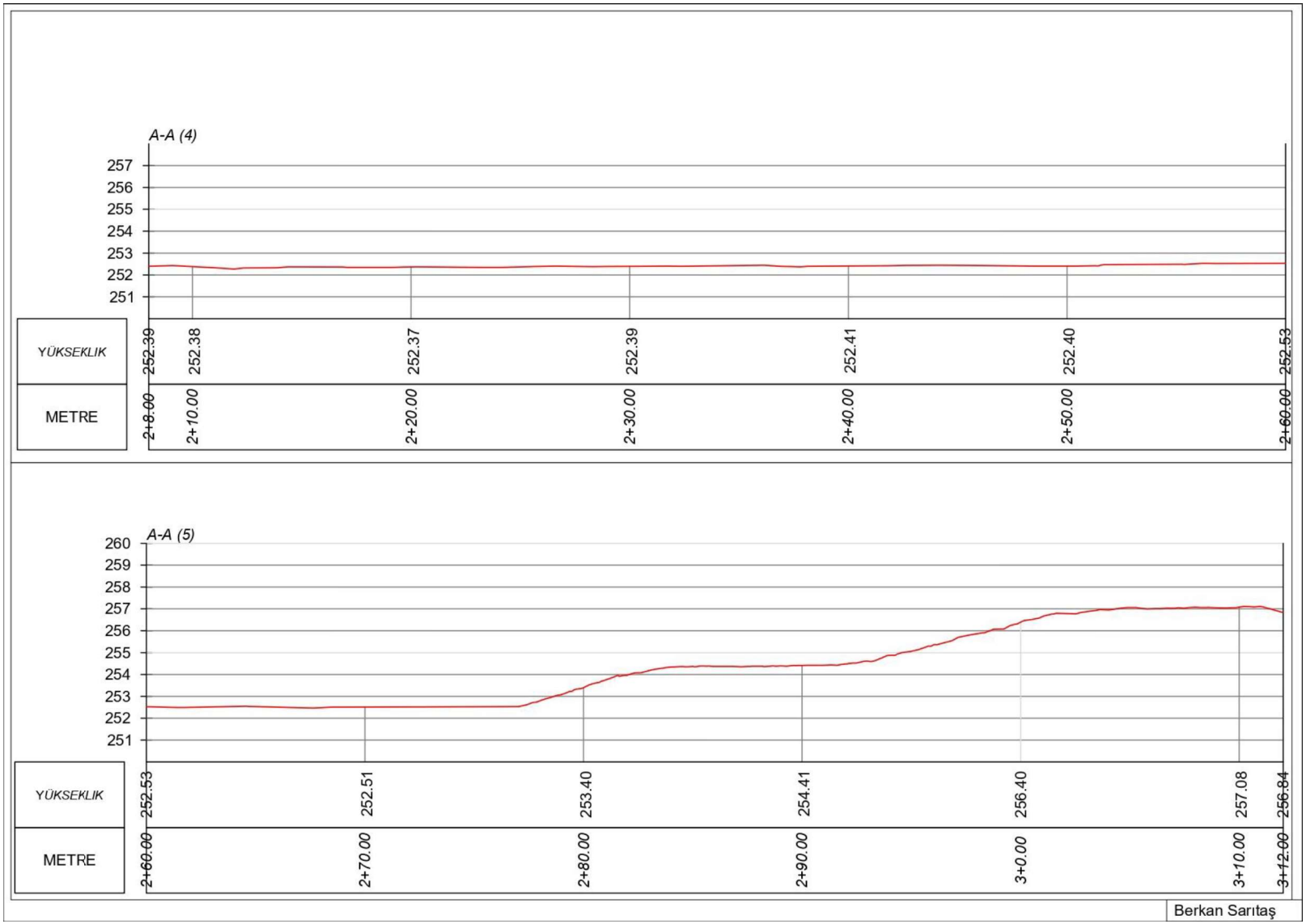
http-9: https://en.wikipedia.org/wiki/ArcMap (Erişim Tarihi: 24.01.2024)

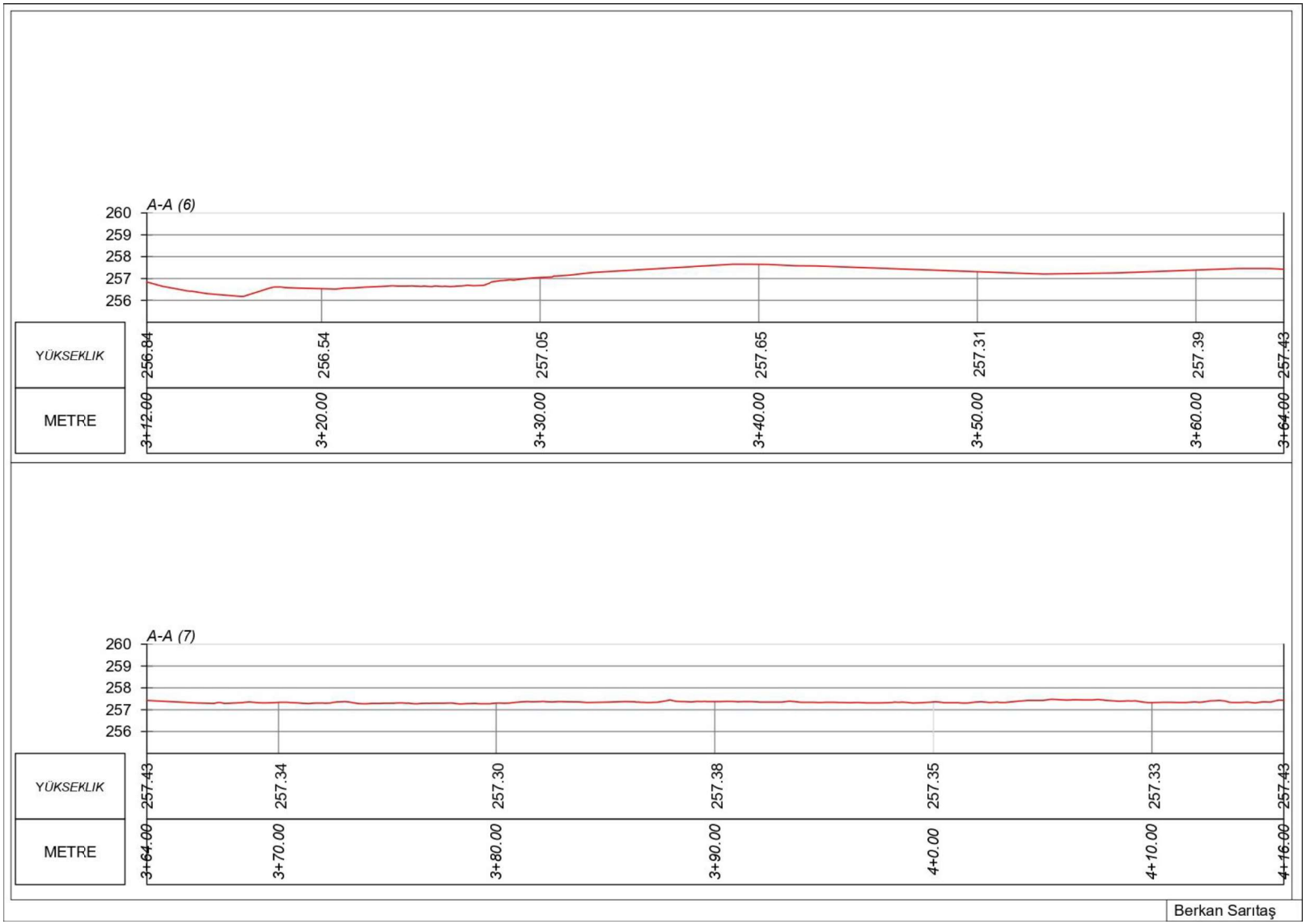
http-10: https://earth.google.com/web/search/Partizanski+Odredi+87,+Boulevard+Partizanski+Odredi,+%c3%9csk%c3%bcp,+Kuzey+Makedonya/@42.00585824,21.3618348,265.50010264a,2966.21743366d,35y,178.08009325h,0t,0r/data=CigiJgokCXBCgJB73ERAEb4DjSnX2kRAGaAp-XmozDVAIdb_99uWwzVAOgMKATA (Erişim Tarihi:18.07.2023)

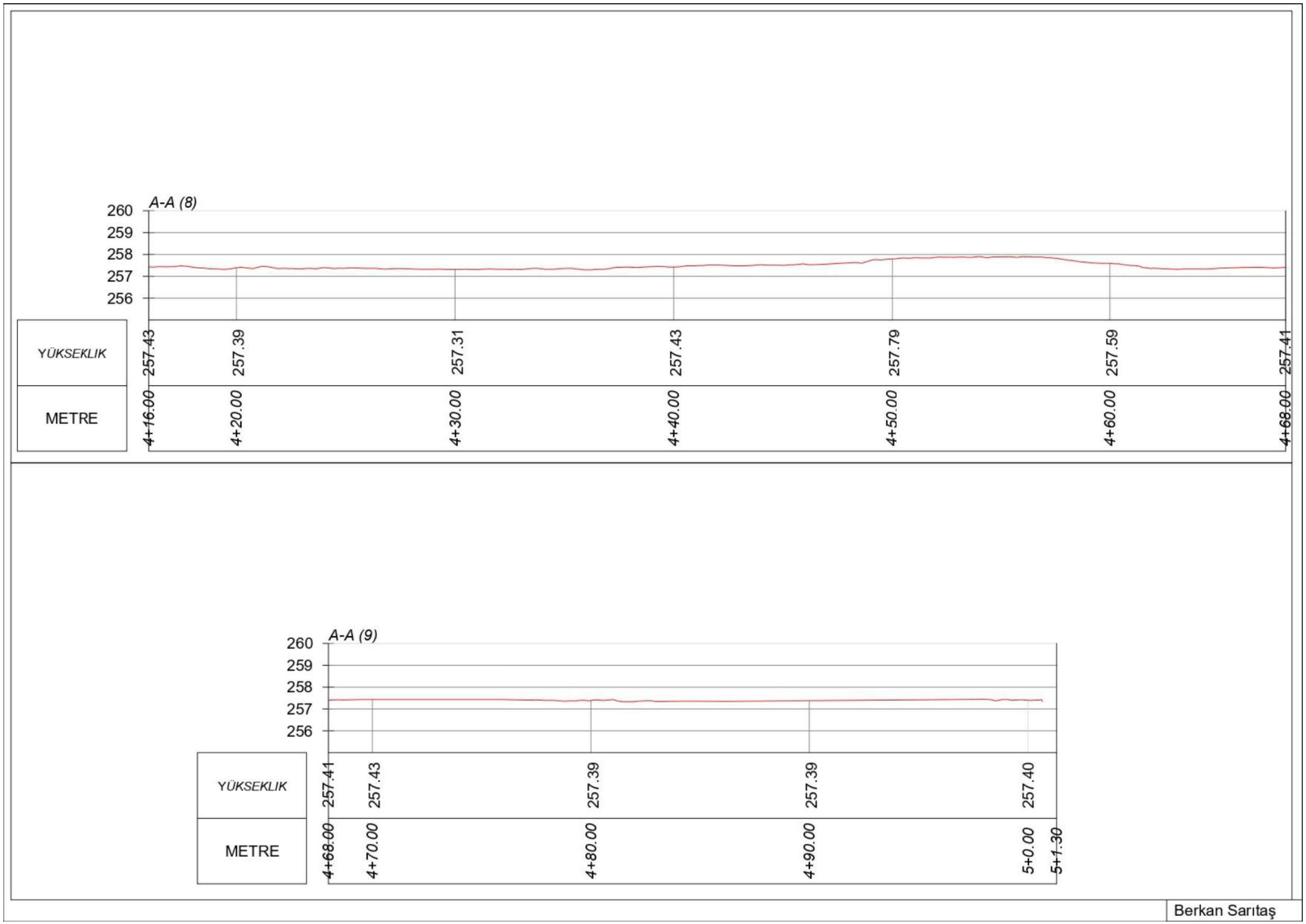
EKLER

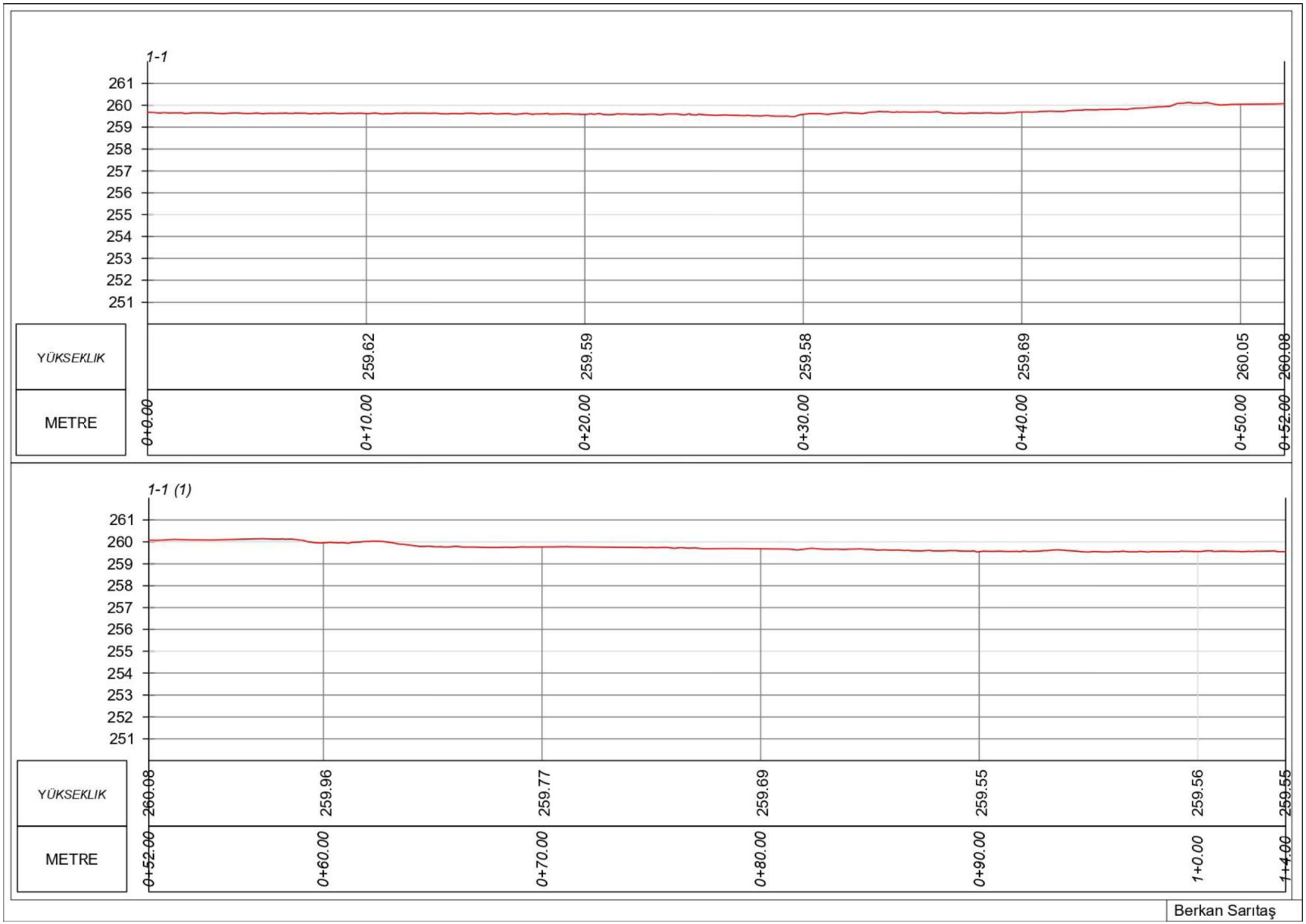

A-A
A-A (1)
METRE
YÜKSEKLİK
261
260
259
258
257
256
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
257.44
257.74
258.13
258.21
258.17
257.96
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
258.20
258.00
257.97
258.12
258.07
257.72
Berkan Saritaş

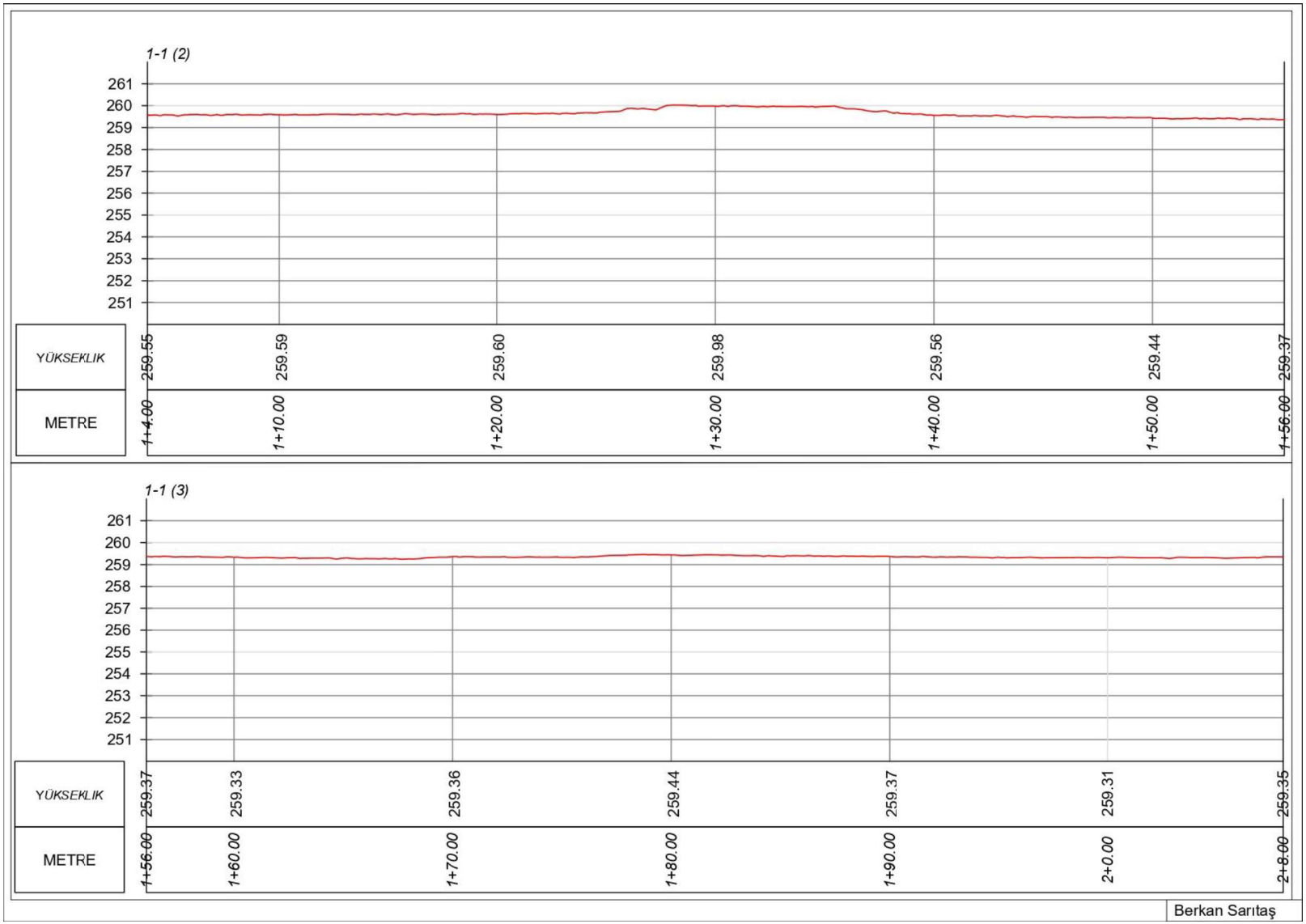

A-A (2)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
257.72
256.51
254.75
254.22
253.75
252.24
252.26
1+4.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
A-A (3)
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
252.26
252.18
252.23
252.43
252.31
252.34
252.39
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

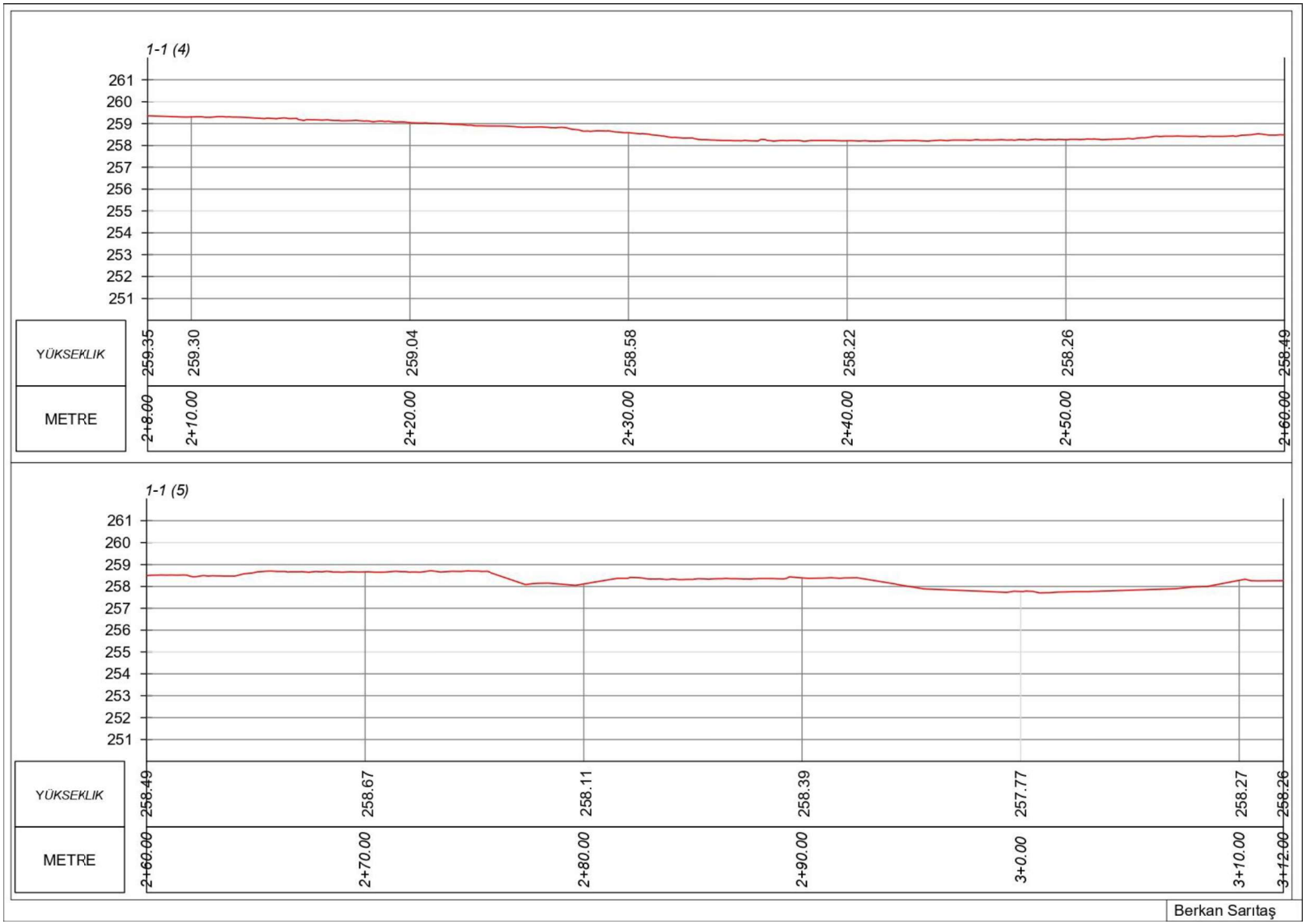

A-A (4)
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
252.39
252.38
252.37
252.39
252.41
252.40
252.53
2+8.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
A-A (5)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
252.53
252.51
253.40
254.41
256.40
257.08
256.84
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş

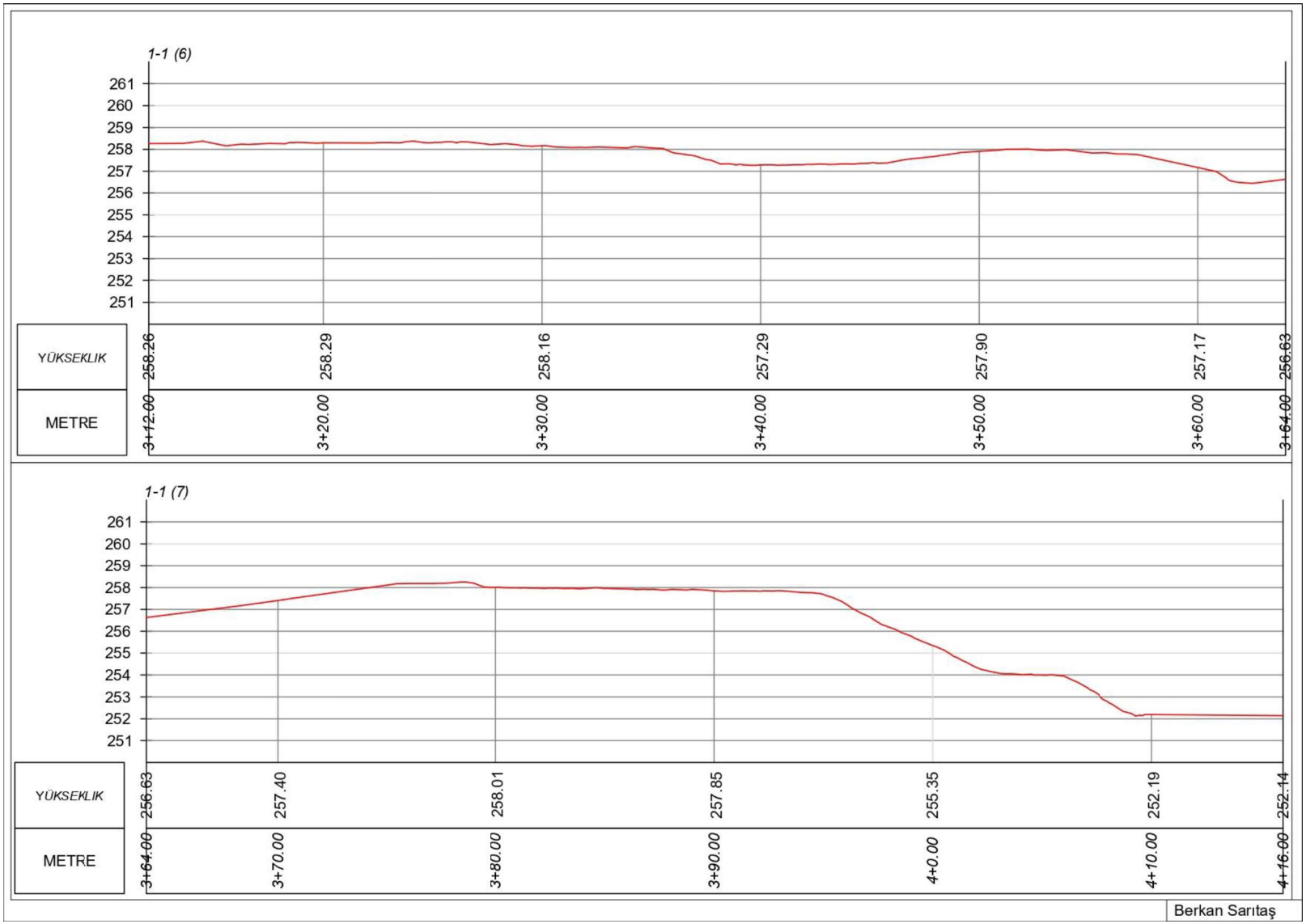

A-A (6)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.84
256.54
257.05
257.65
257.31
257.39
257.43
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
A-A (7)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.43
257.34
257.30
257.38
257.35
257.33
257.43
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

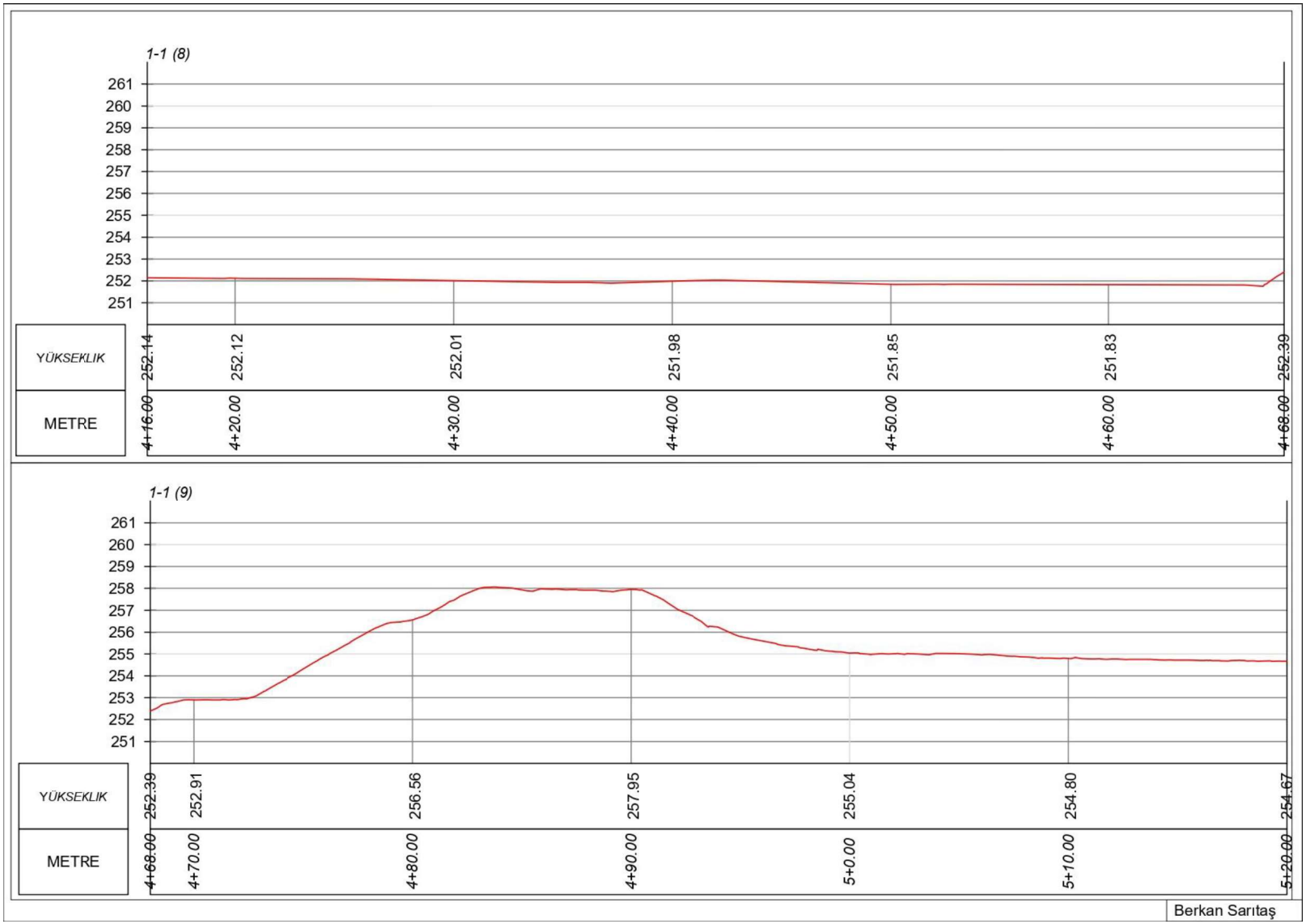

A-A (8)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.43
257.39
257.31
257.43
257.79
257.59
257.41
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
A-A (9)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.41
257.43
257.39
257.39
257.40
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+1.30
Berkan Sarıtaş

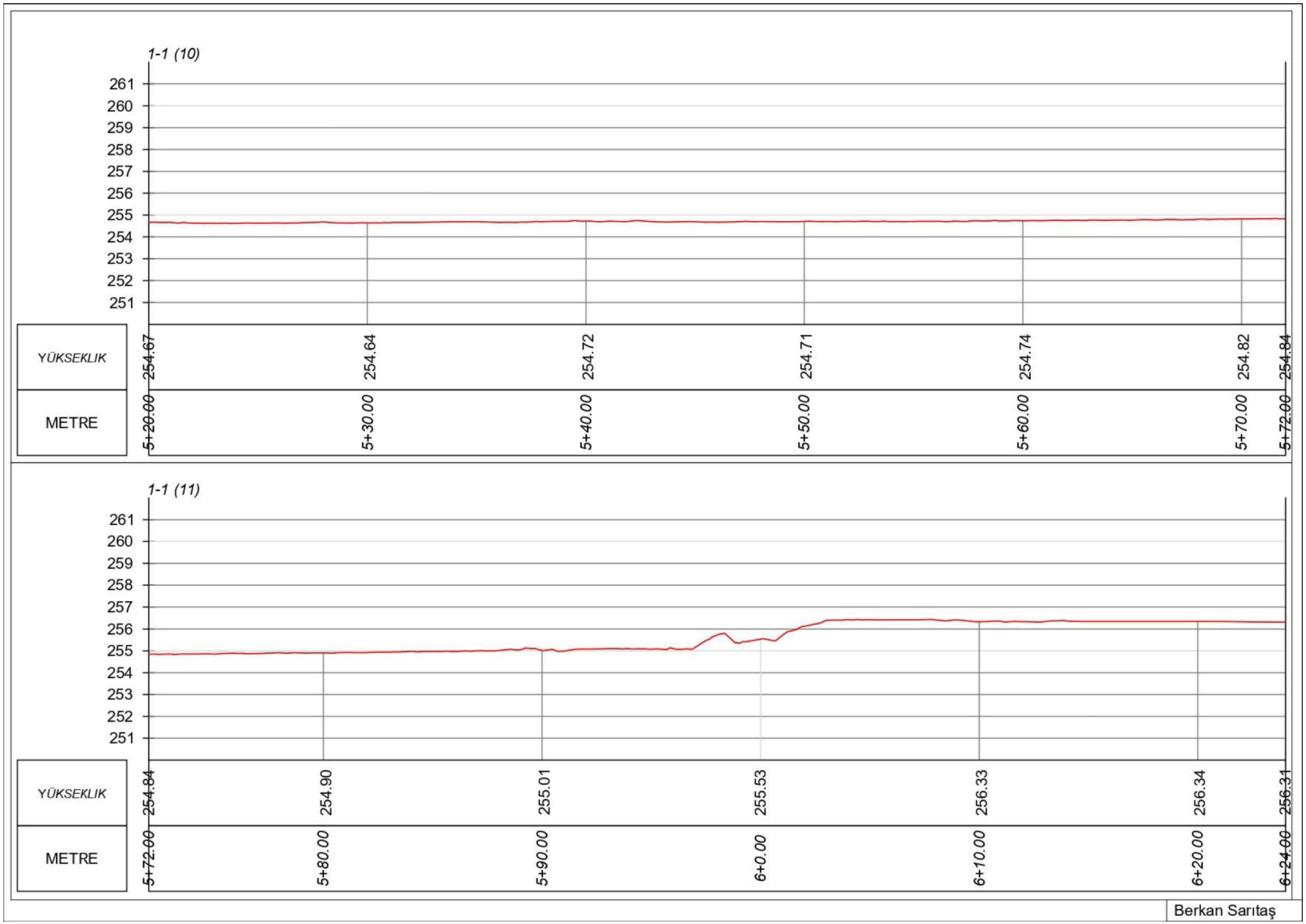

1-1
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
259.62
259.59
259.58
259.69
260.05
260.08
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
1-1 (1)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
260.08
259.96
259.77
259.69
259.55
259.56
259.55
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

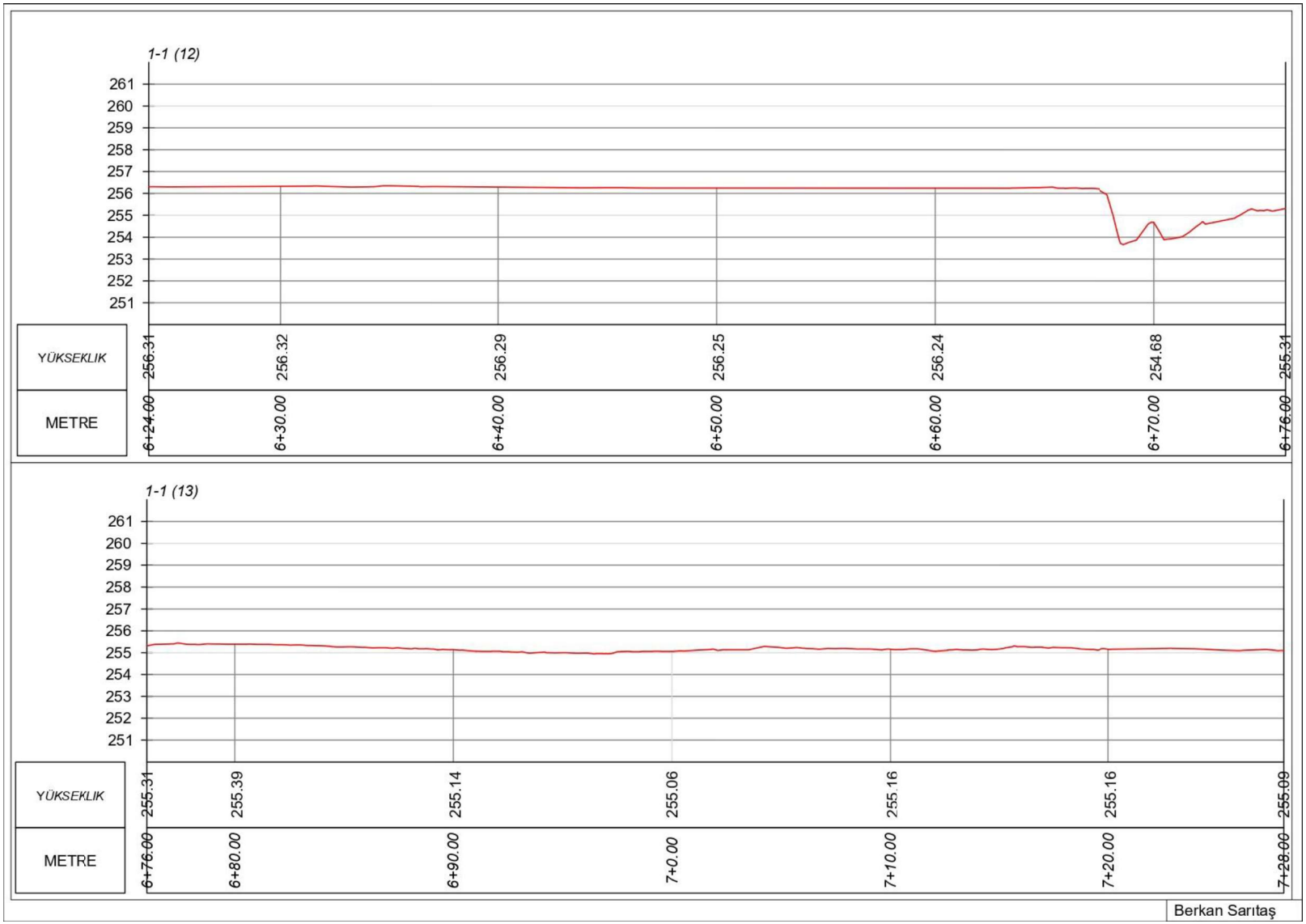

1-1 (2)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
259.55
259.59
259.60
259.98
259.56
259.44
259.37
1+4.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
1-1 (3)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
259.37
259.33
259.36
259.44
259.37
259.31
259.35
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

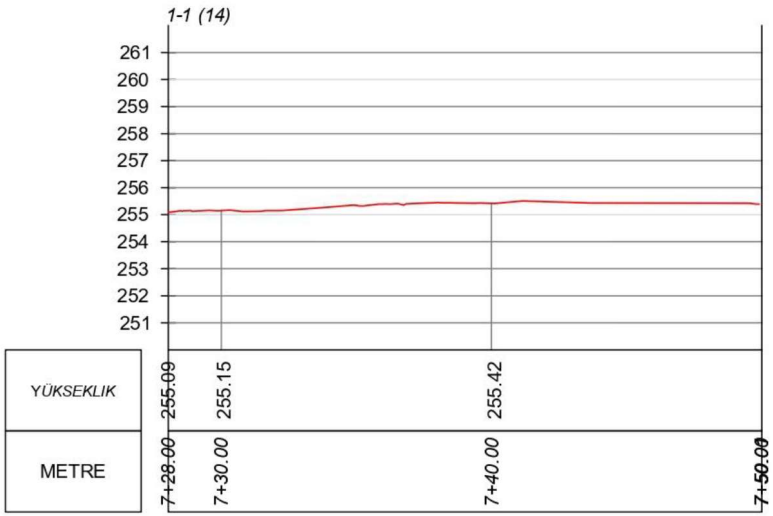

1-1 (4)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
259.35
259.30
259.04
258.58
258.22
258.26
258.49
2+8.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
1-1 (5)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
258.49
258.67
258.11
258.39
257.77
258.27
258.26
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


1-1 (6)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
258.26
258.29
258.16
257.29
257.90
257.17
256.63
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
1-1 (7)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
256.63
257.40
258.01
257.85
255.35
252.19
252.14
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

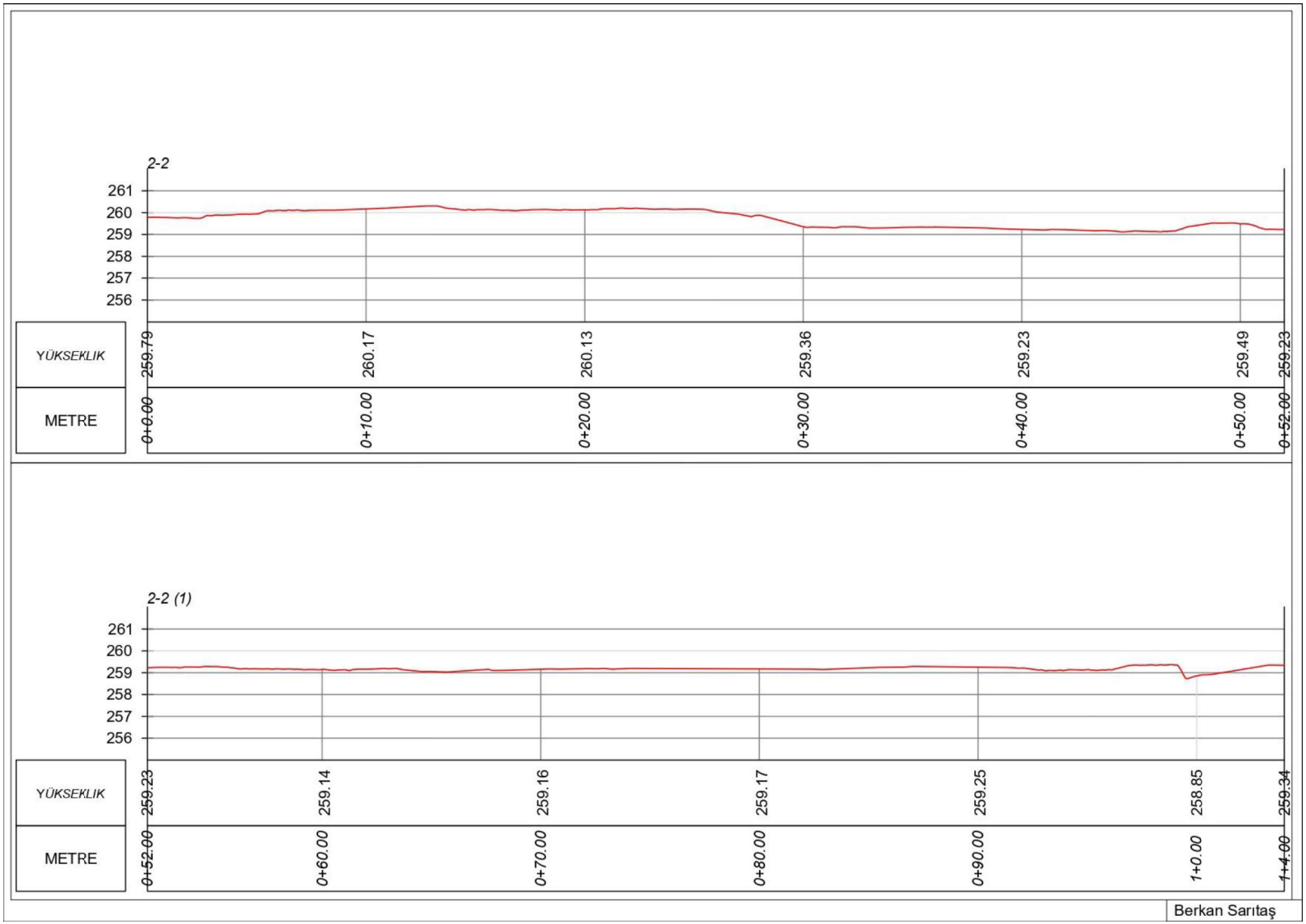

1-1 (8)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
252.14
252.12
252.01
251.98
251.85
251.83
252.39
METRE
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
1-1 (9)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
252.39
252.91
256.56
257.95
255.04
254.80
254.67
METRE
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş

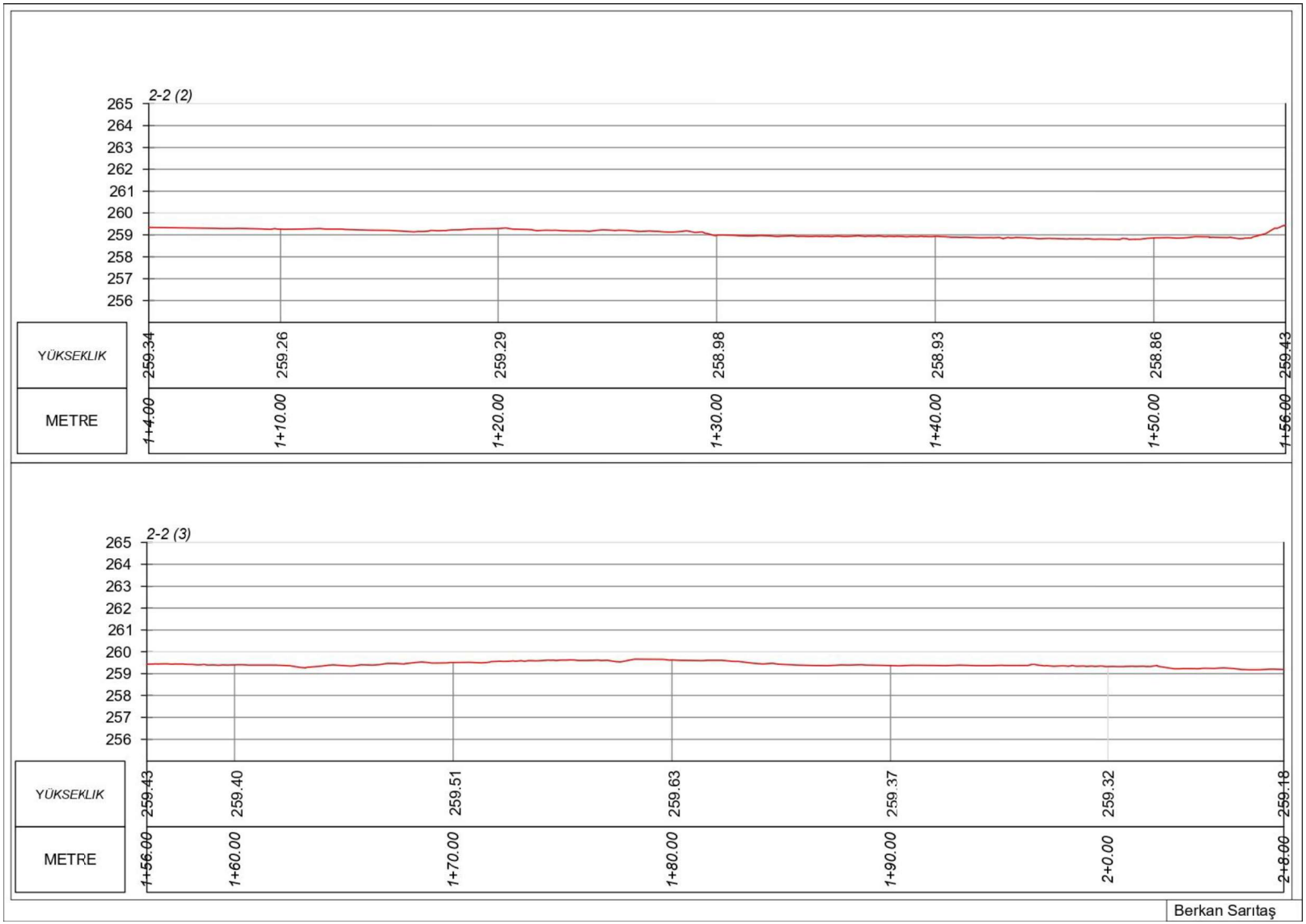

1-1 (10)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
254.67
254.64
254.72
254.71
254.74
254.82
254.84
METRE
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
1-1 (11)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
254.84
254.90
255.01
255.53
256.33
256.34
256.31
METRE
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş

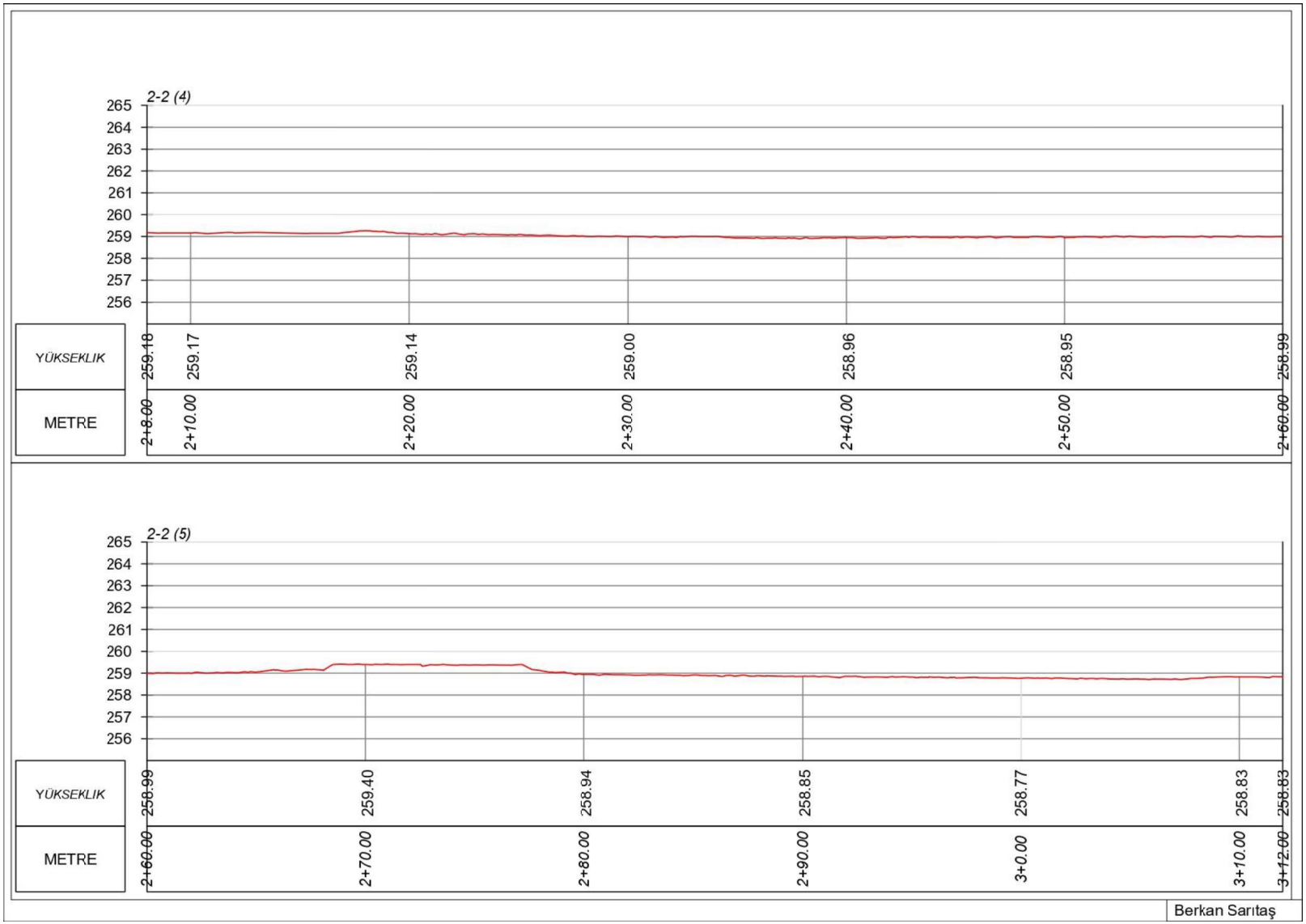

1-1 (12)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
256.31
256.32
256.29
256.25
256.24
254.68
255.31
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
1-1 (13)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
255.31
255.39
255.14
255.06
255.16
255.16
255.09
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş

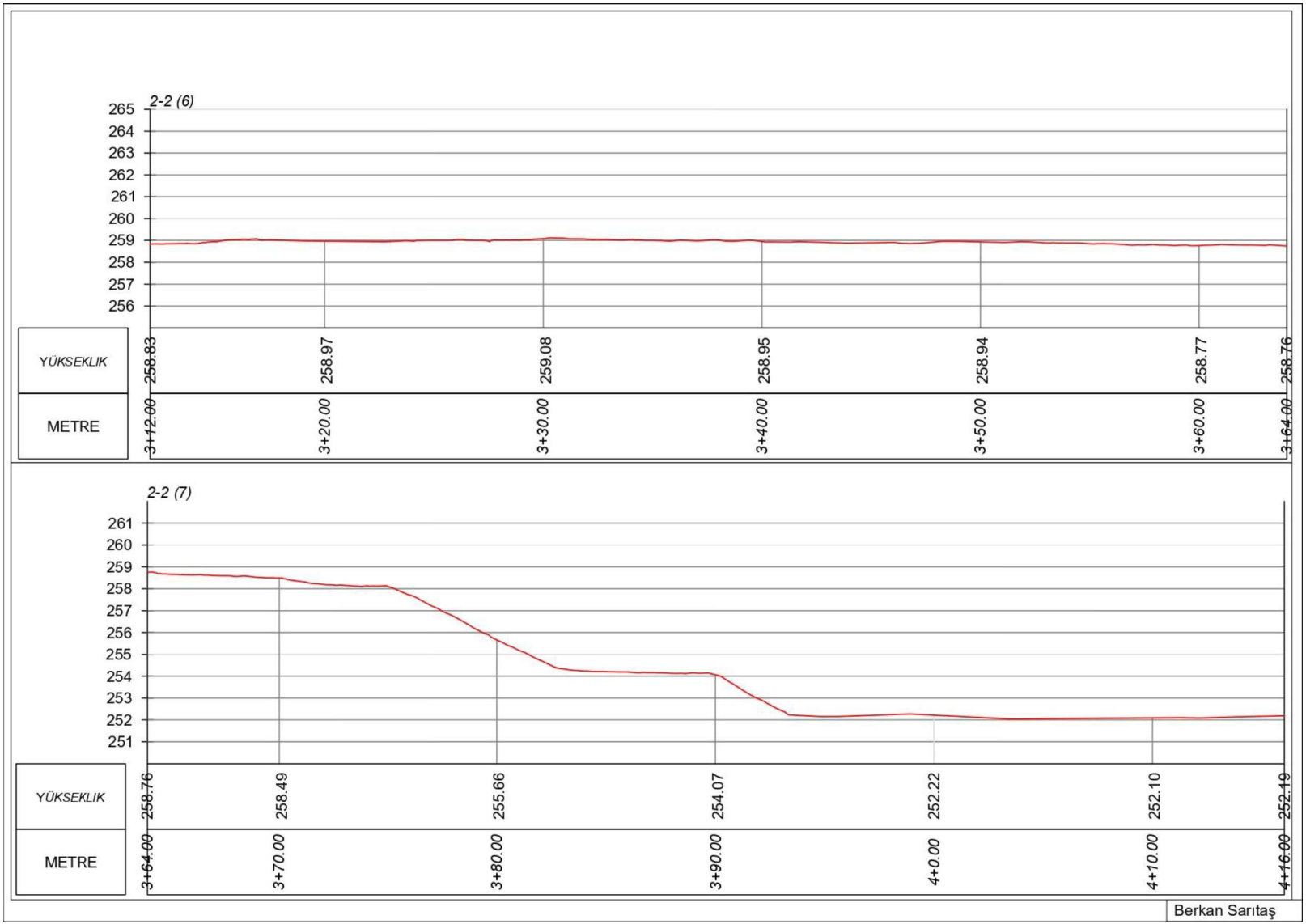


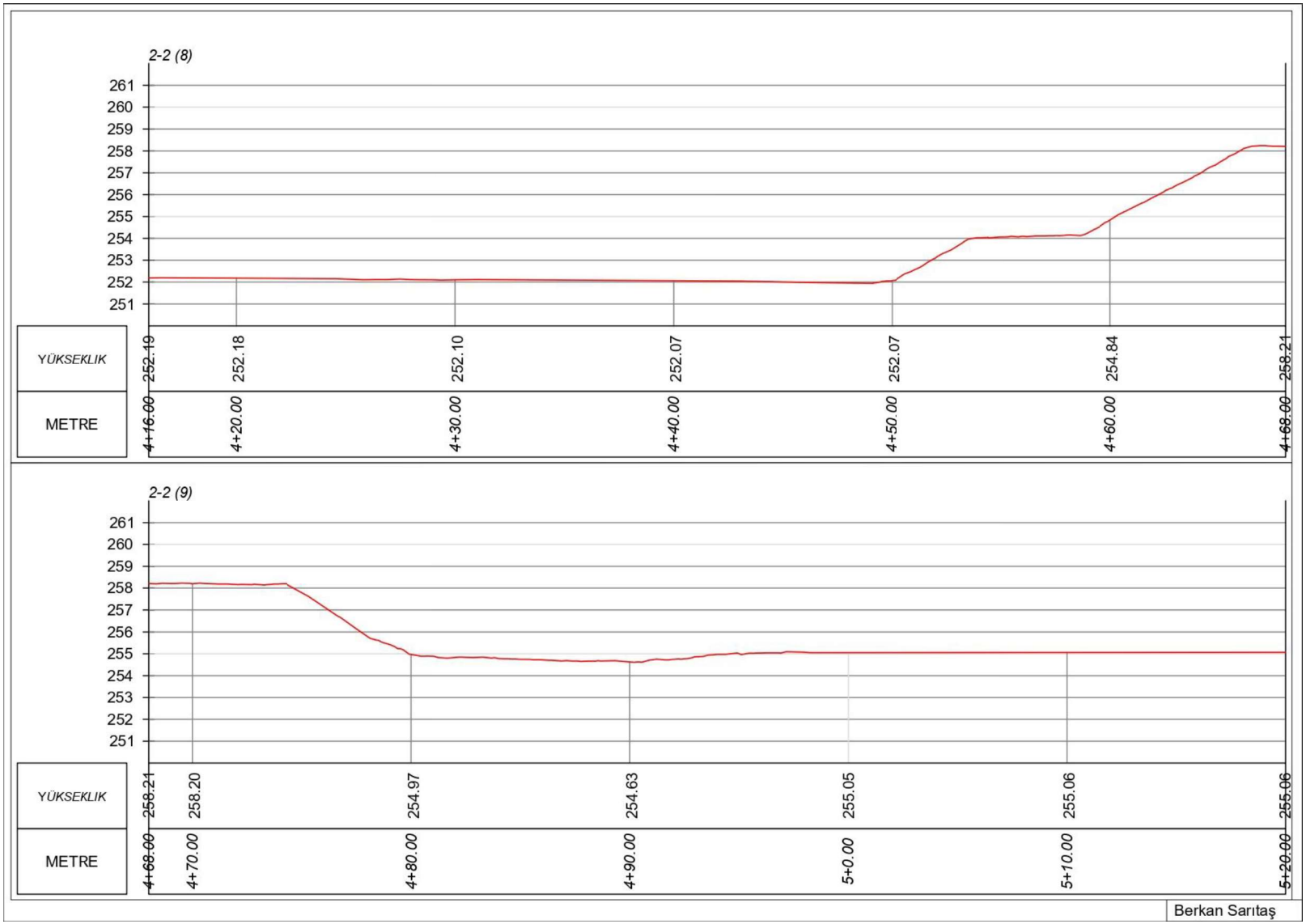
Berkan Sarıtaş

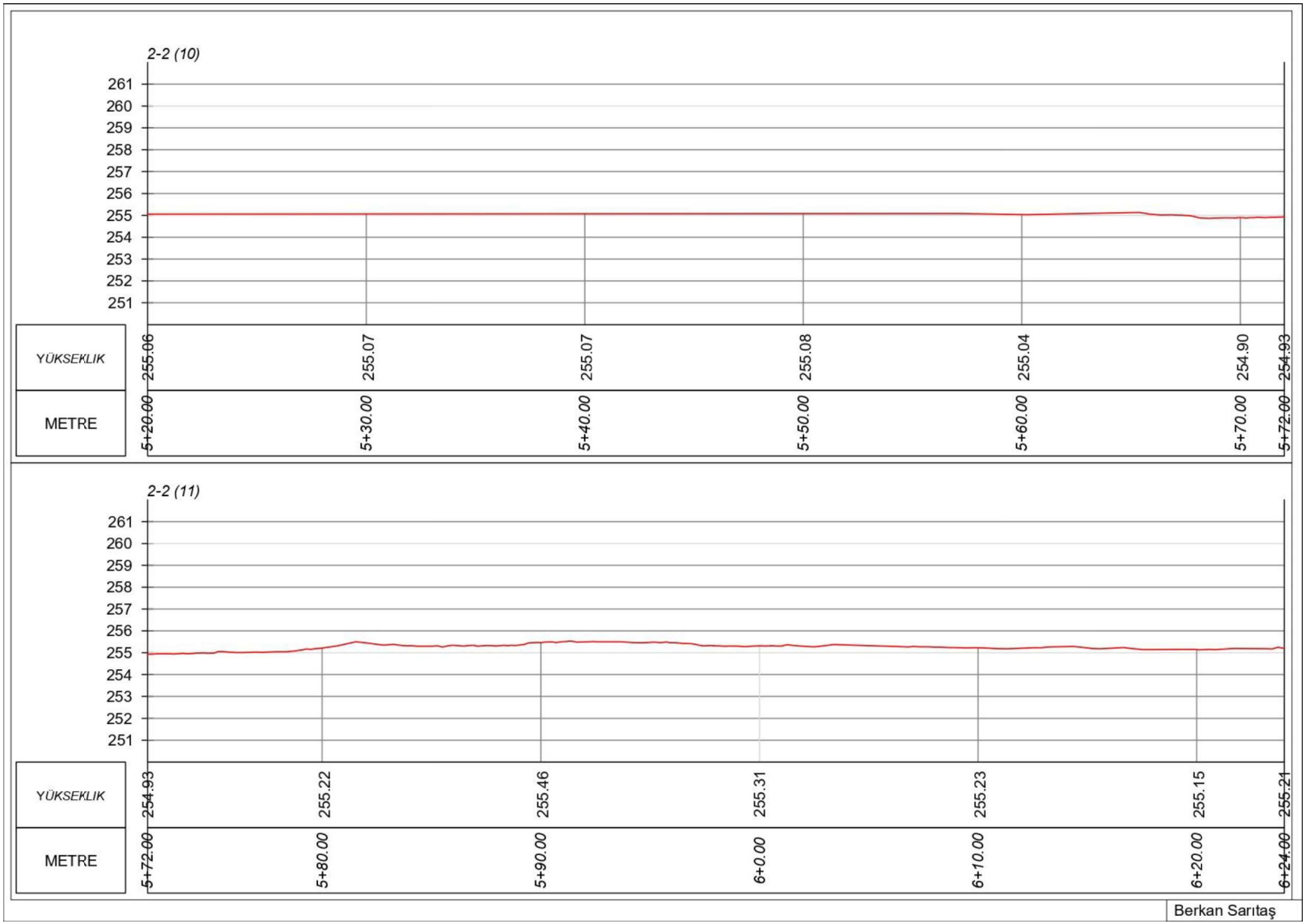

2-2
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
259.79
260.17
260.13
259.36
259.23
259.49
259.23
METRE
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
2-2 (1)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
259.23
259.14
259.16
259.17
259.25
258.85
259.34
METRE
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

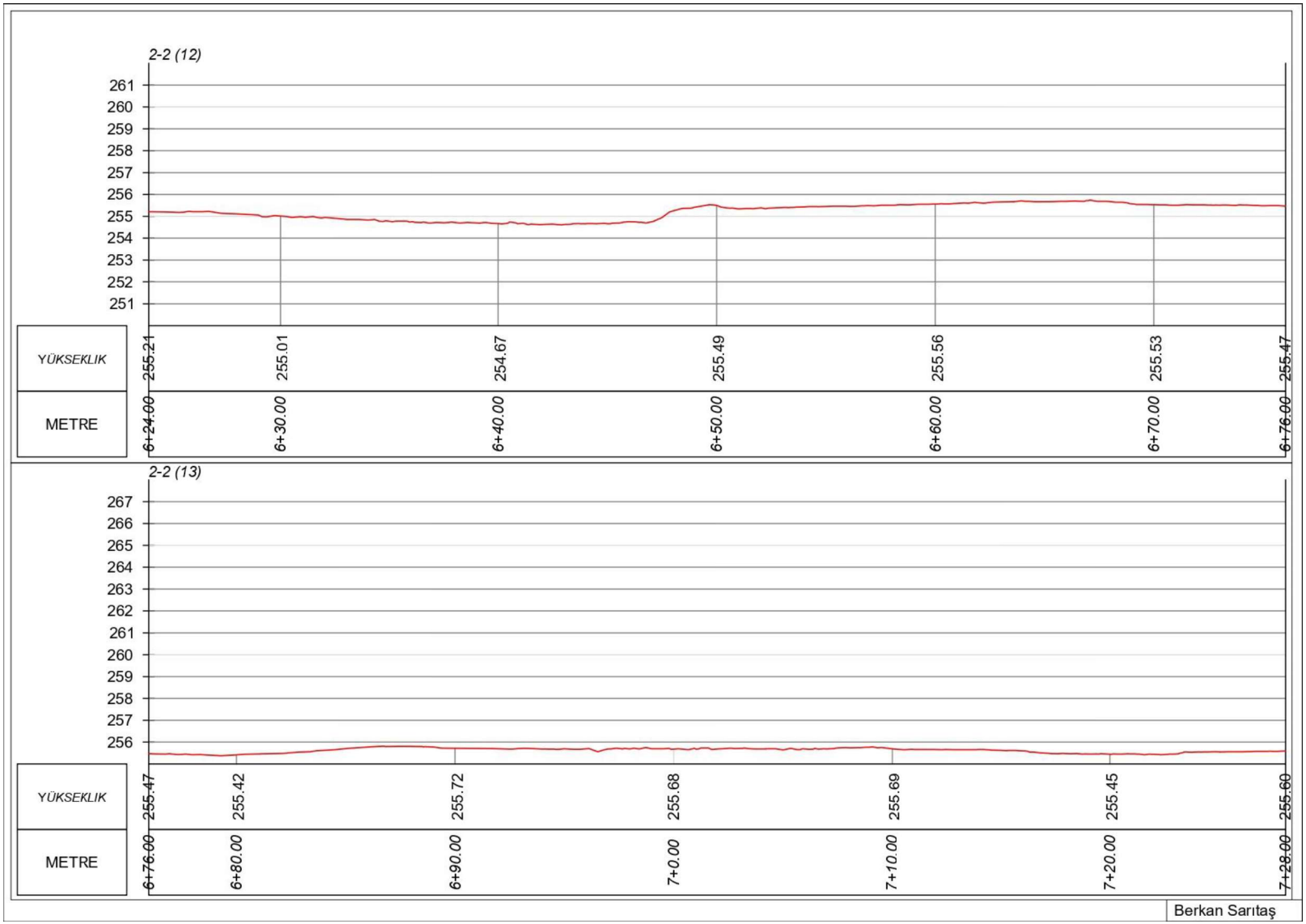

2-2 (2)
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.34
259.26
259.29
258.98
258.93
258.86
259.43
1+4.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
2-2 (3)
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.43
259.40
259.51
259.63
259.37
259.32
259.18
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

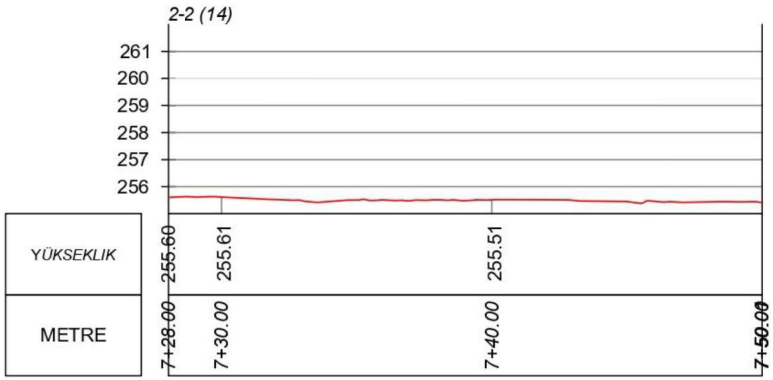

2-2 (4)
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.18
259.17
259.14
259.00
258.96
258.95
258.99
2+00.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
2-2 (5)
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.99
259.40
258.94
258.85
258.77
258.83
258.83
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+00.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


2-2 (6)
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.83
258.97
259.08
258.95
258.94
258.77
258.76
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
2-2 (7)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
258.76
258.49
255.66
254.07
252.22
252.10
252.19
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

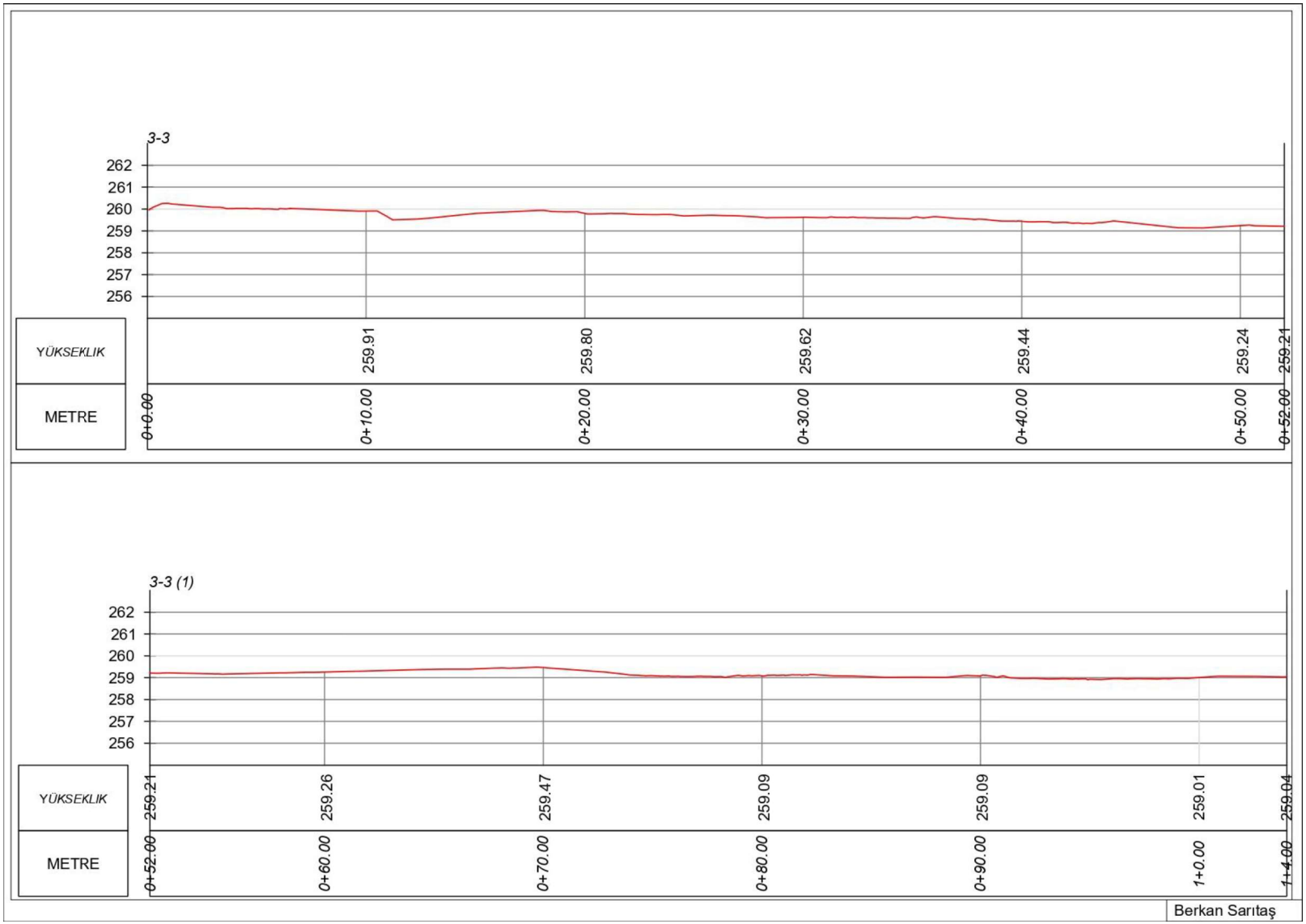

2-2 (8)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
252.19
252.18
252.10
252.07
252.07
254.84
258.21
METRE
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
2-2 (9)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
258.21
258.20
254.97
254.63
255.05
255.06
255.06
METRE
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş

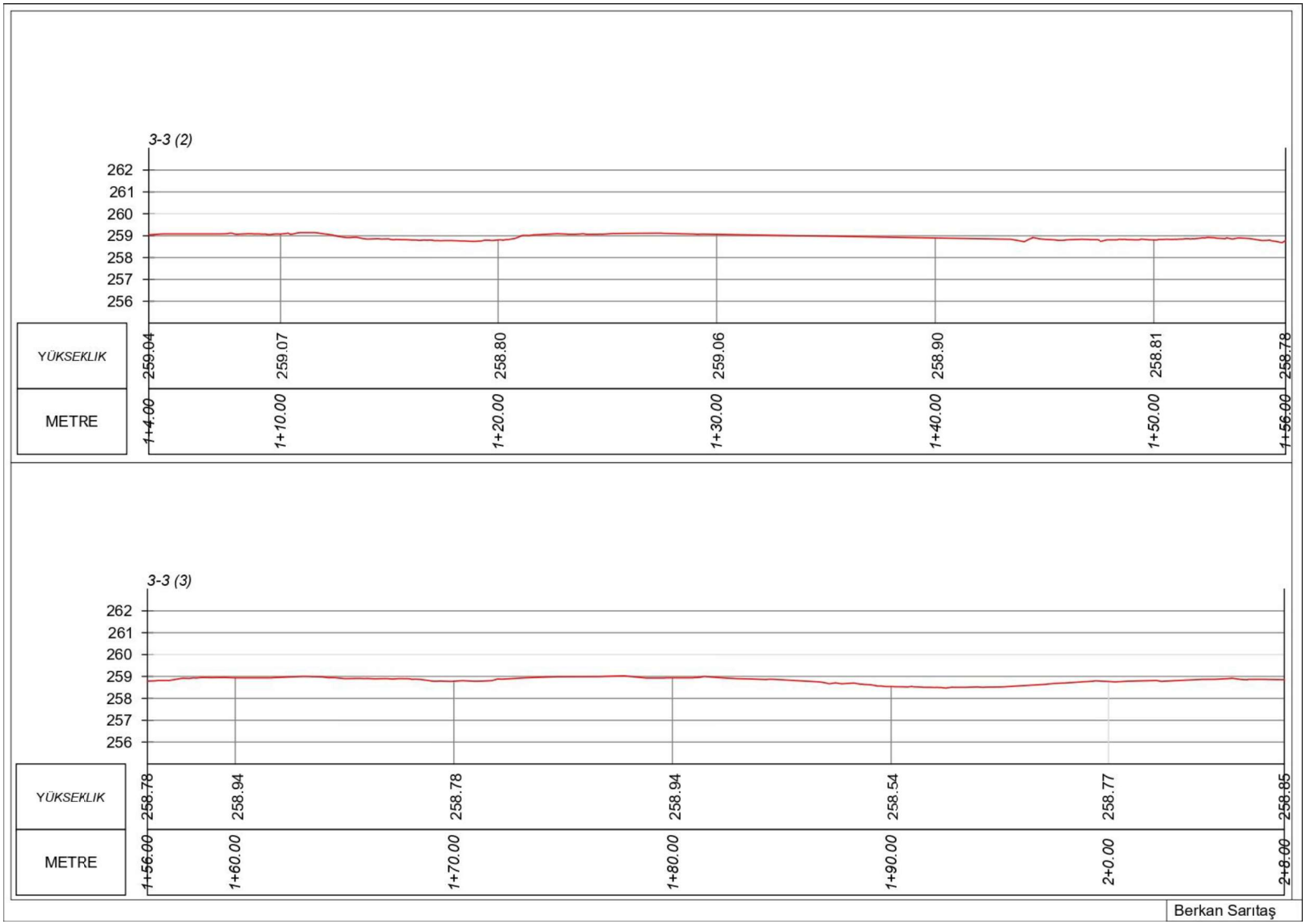

2-2 (10)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
255.06
255.07
255.07
255.08
255.04
254.90
254.93
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
2-2 (11)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
254.93
255.22
255.46
255.31
255.23
255.15
255.21
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş

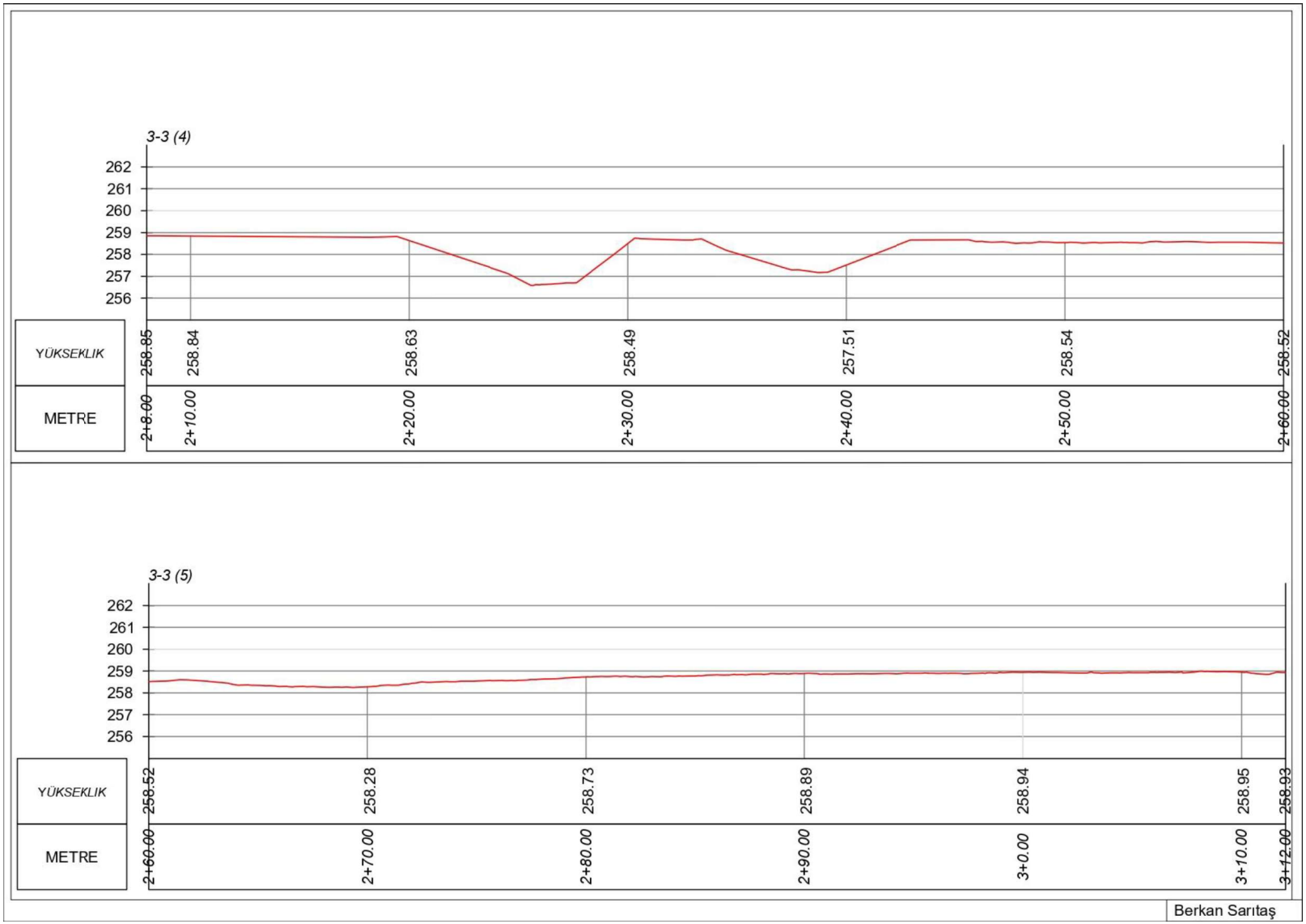

2-2 (12)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
255.21
255.01
254.67
255.49
255.56
255.53
255.47
METRE
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
2-2 (13)
267
266
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
255.47
255.42
255.72
255.68
255.69
255.45
255.60
METRE
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş

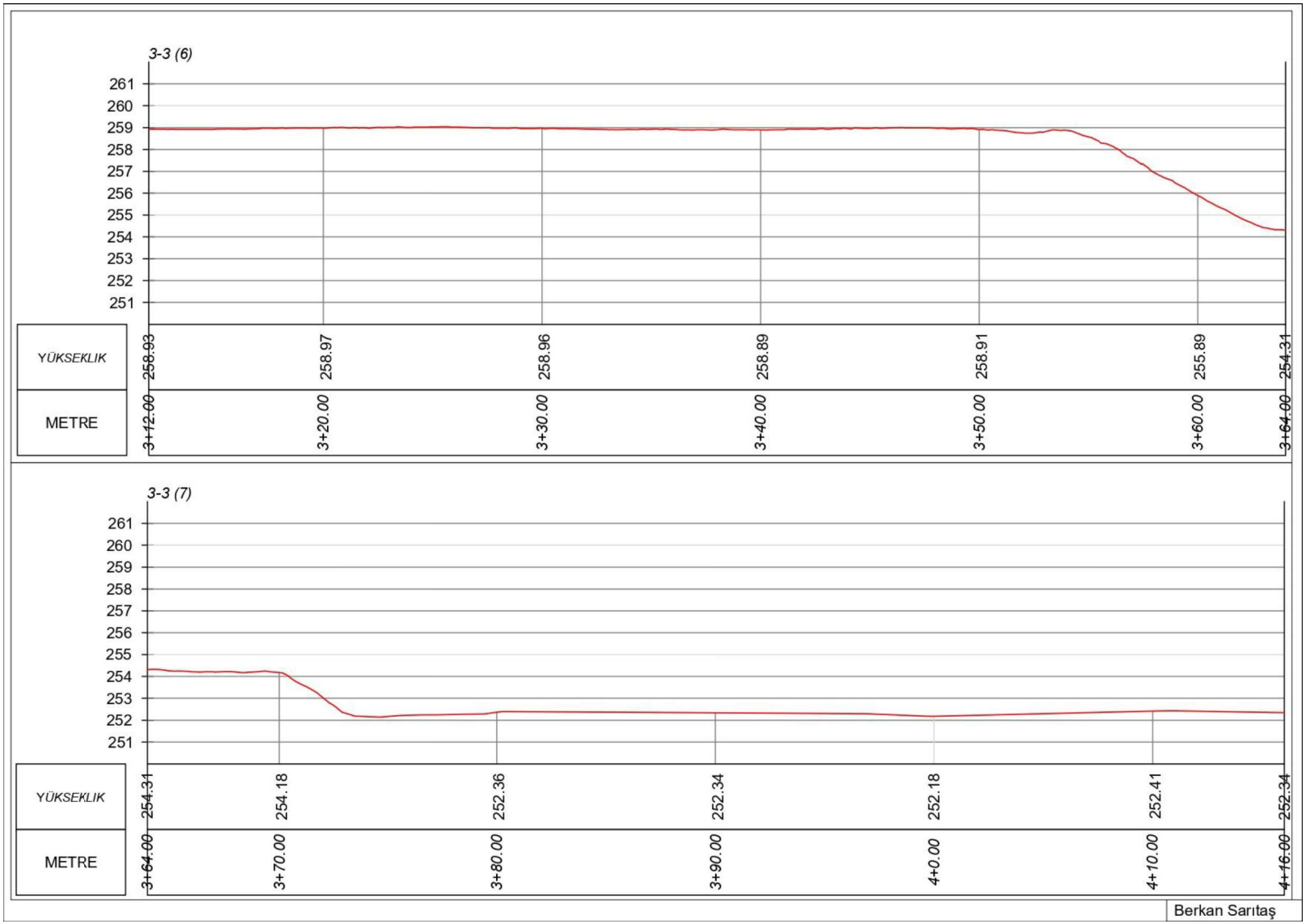


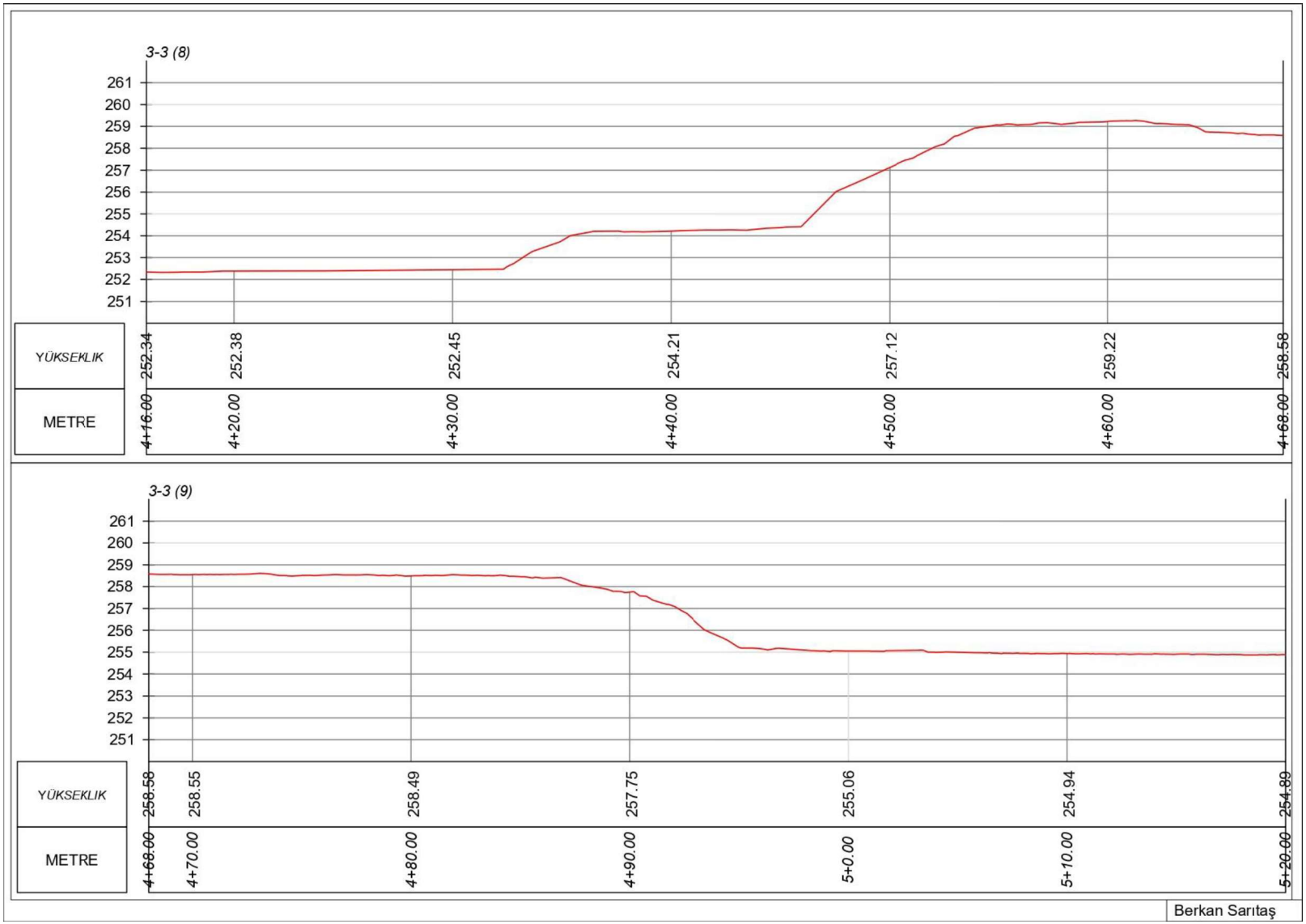
Berkan Sarıtaş

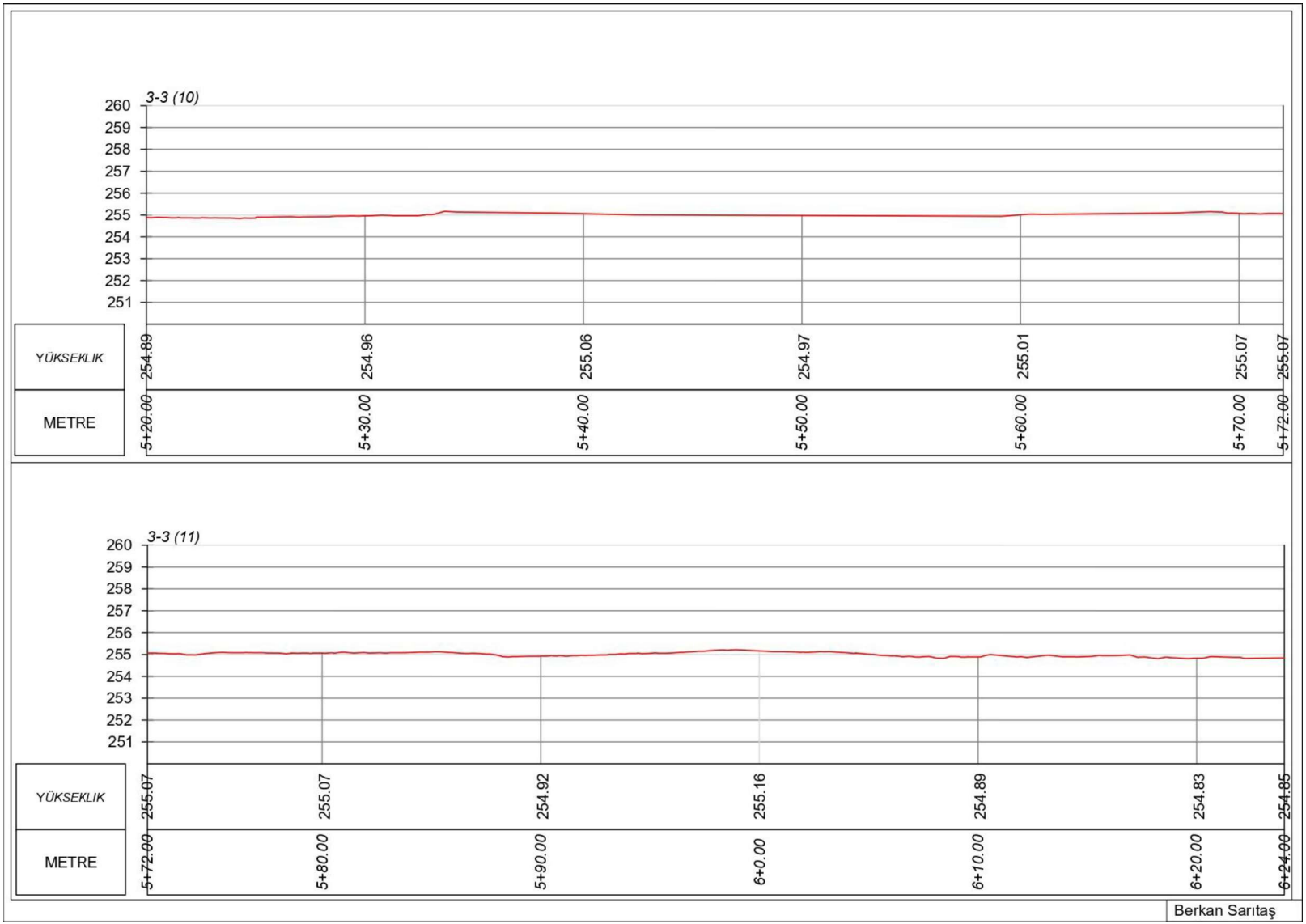

3-3
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.91
259.80
259.62
259.44
259.24
259.21
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
3-3 (1)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.21
259.26
259.47
259.09
259.09
259.01
259.04
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

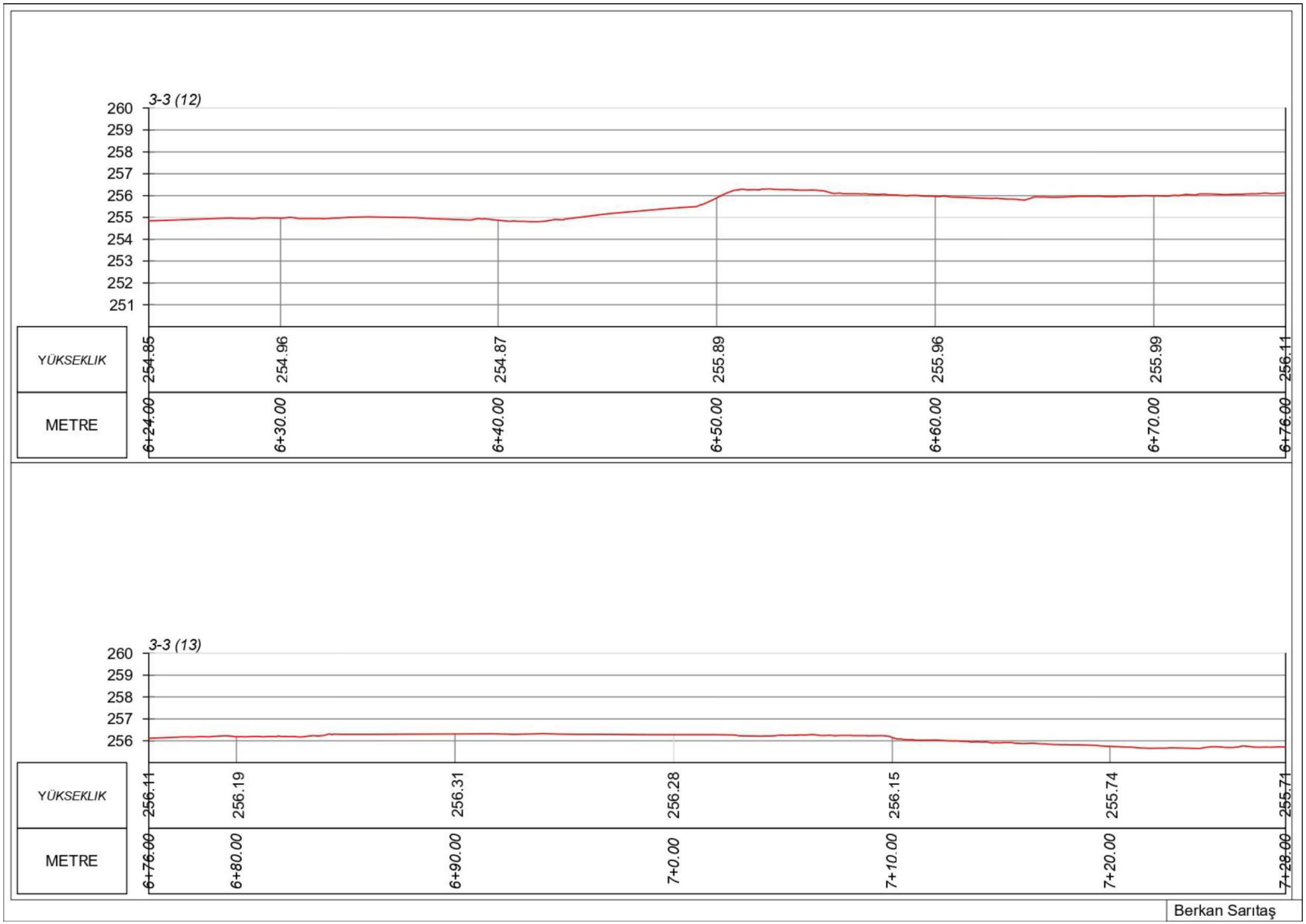

3-3 (2)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.04
259.07
258.80
259.06
258.90
258.81
258.78
1+4.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
3-3 (3)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.78
258.94
258.78
258.94
258.54
258.77
258.85
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

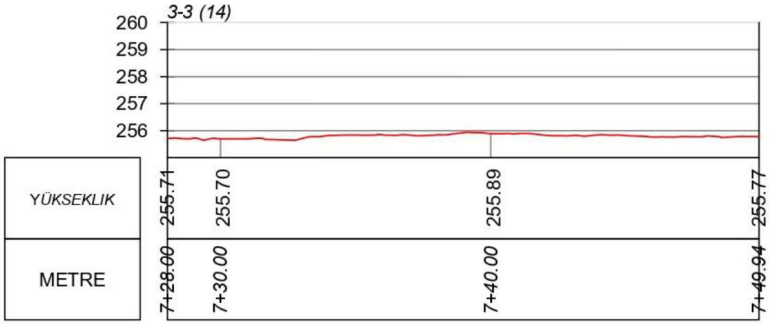

3-3 (4)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.85
258.84
258.63
258.49
257.51
258.54
258.52
2+00.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
3-3 (5)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.52
258.28
258.73
258.89
258.94
258.95
258.93
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


3-3 (6)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
258.93
258.97
258.96
258.89
258.91
255.89
254.31
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
3-3 (7)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
254.31
254.18
252.36
252.34
252.18
252.41
252.34
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

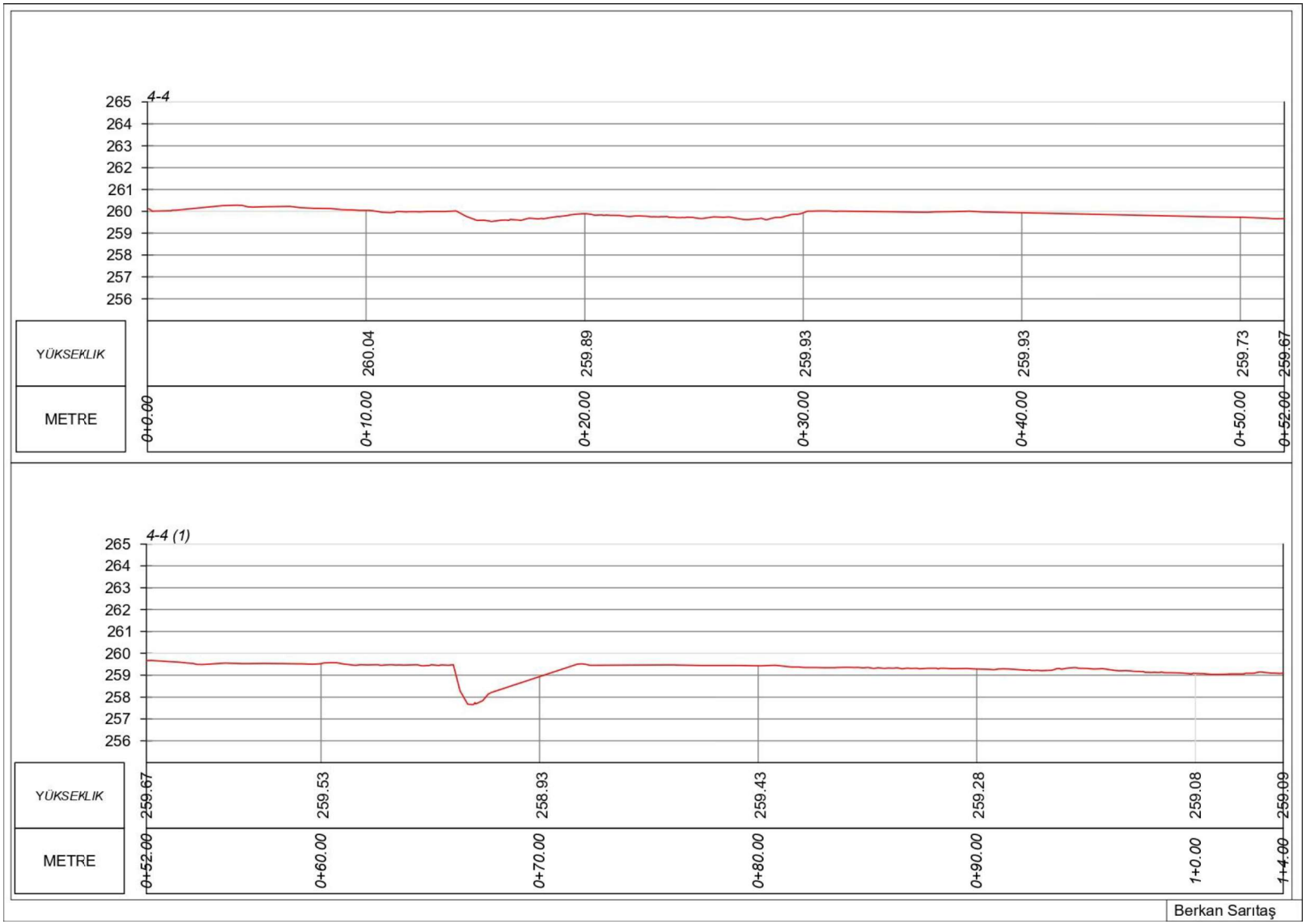

3-3 (8)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
252.34
252.38
252.45
254.21
257.12
259.22
258.58
METRE
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
3-3 (9)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
258.58
258.55
258.49
257.75
255.06
254.94
254.89
METRE
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş

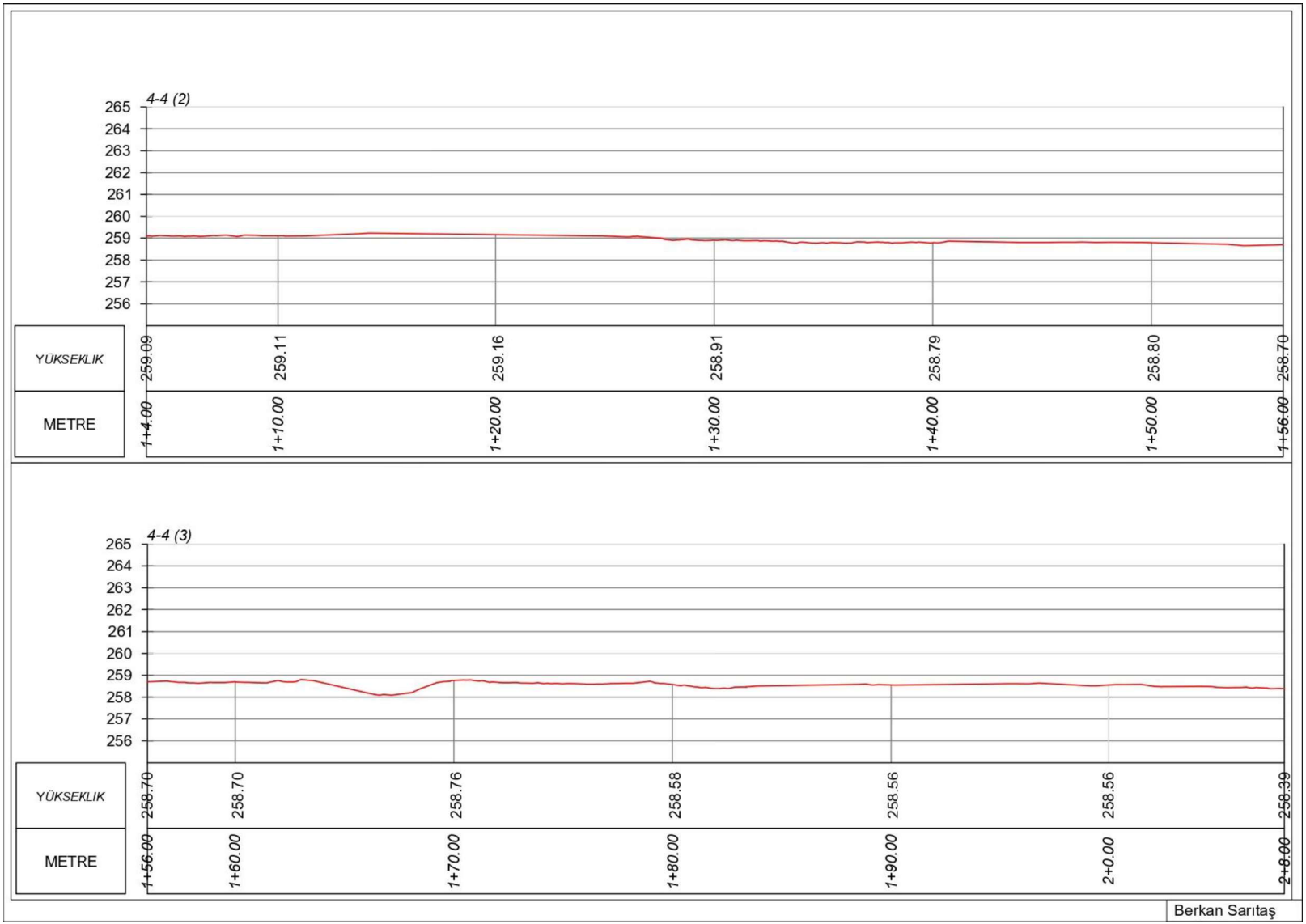

3-3 (10)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
254.89
254.96
255.06
254.97
255.01
255.07
255.07
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
3-3 (11)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
255.07
255.07
254.92
255.16
254.89
254.83
254.85
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş

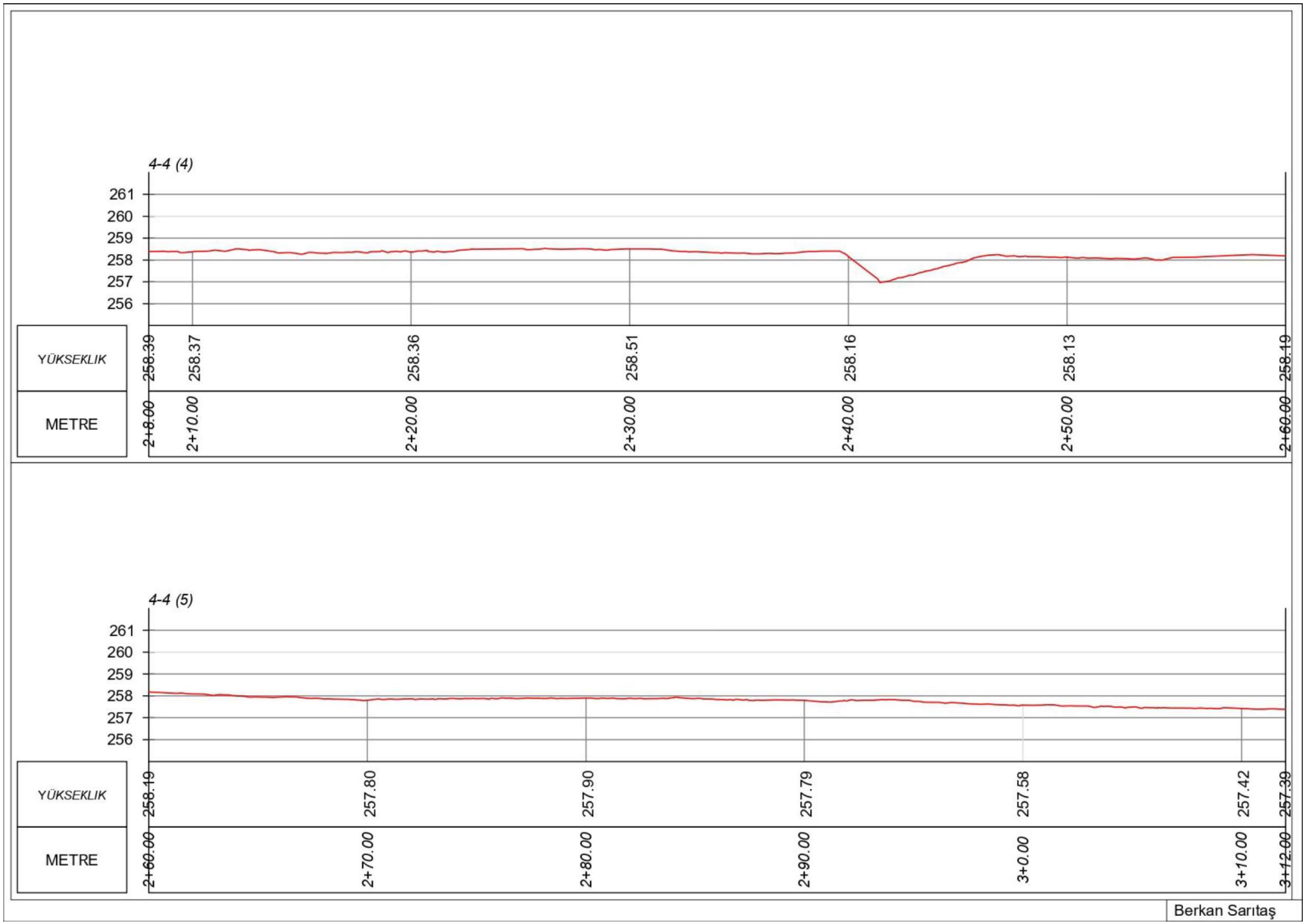

3-3 (12)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
254.85
254.96
254.87
255.89
255.96
255.99
256.11
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
3-3 (13)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.11
256.19
256.31
256.28
256.15
255.74
255.71
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş

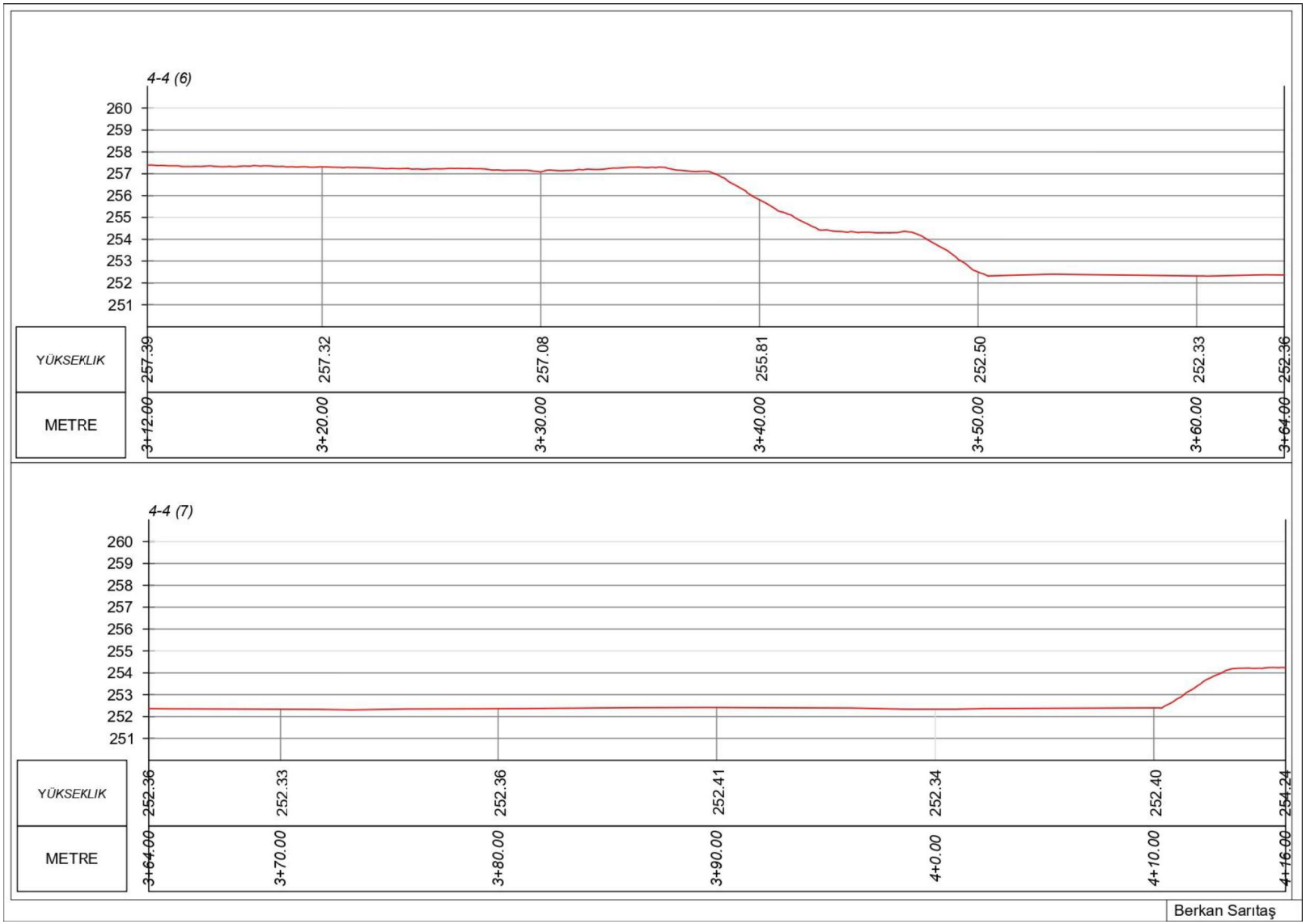


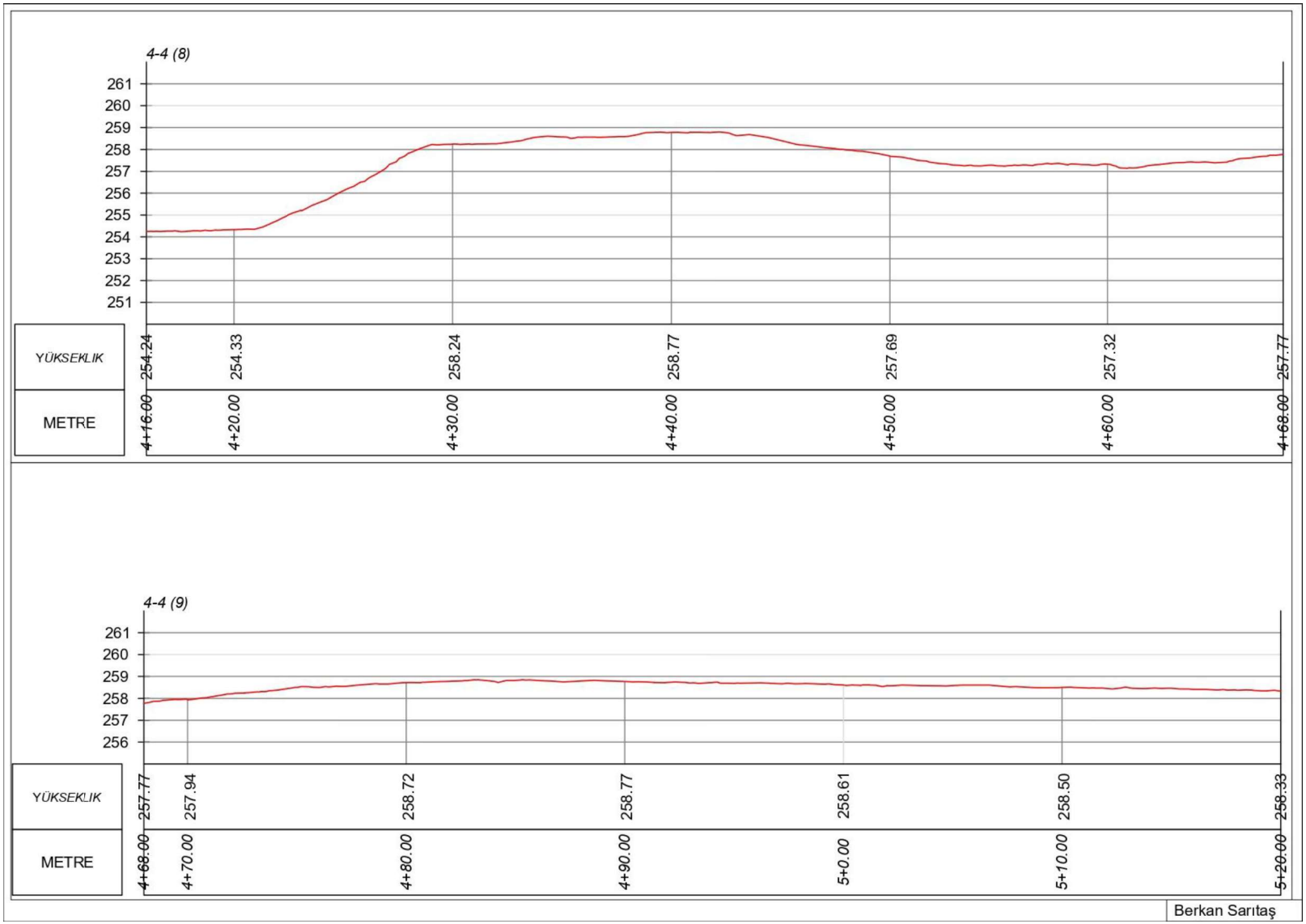
Berkan Sarıtaş

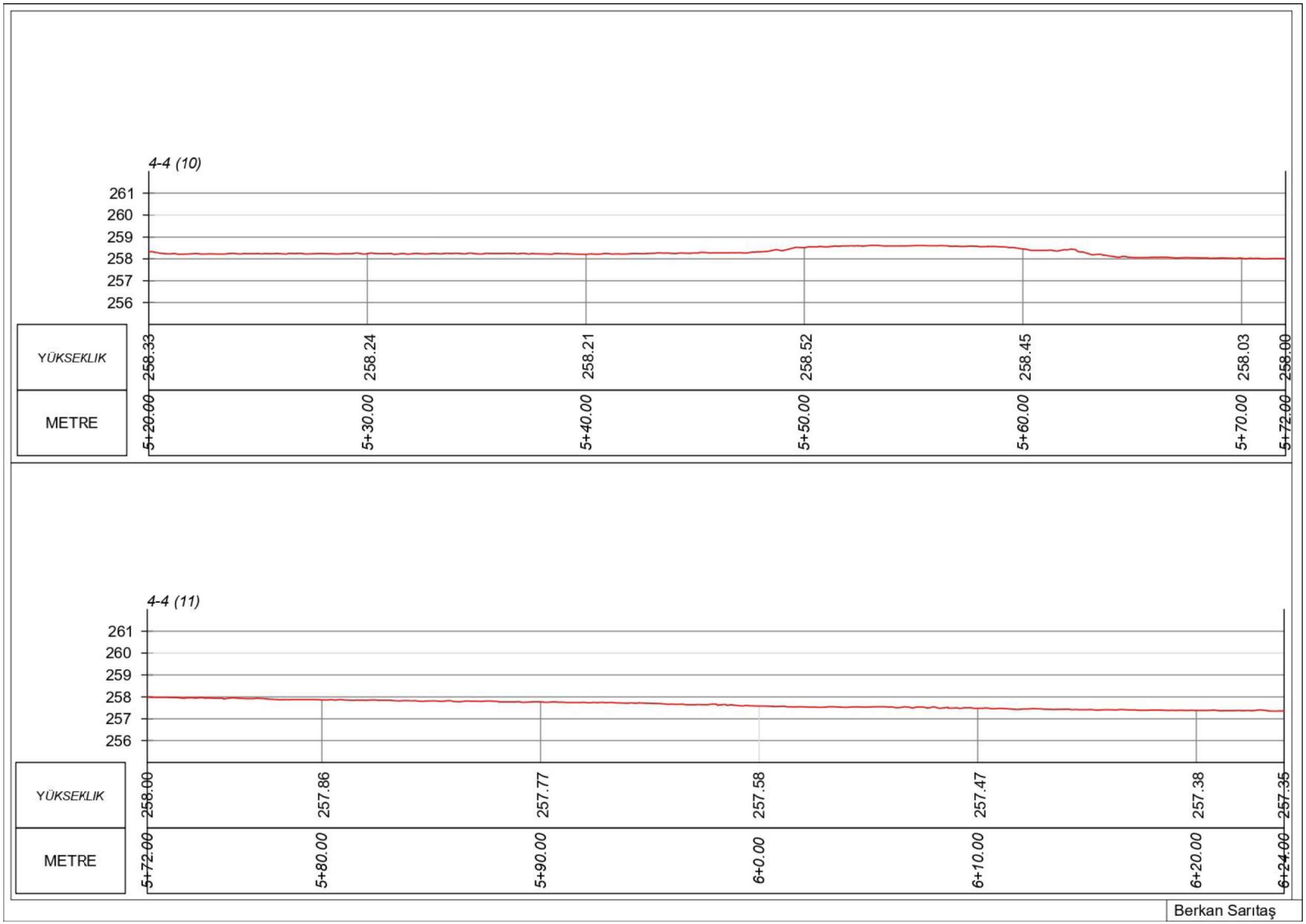

4-4
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
260.04
259.89
259.93
259.93
259.73
259.67
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
4-4 (1)
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.67
259.53
258.93
259.43
259.28
259.08
259.09
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

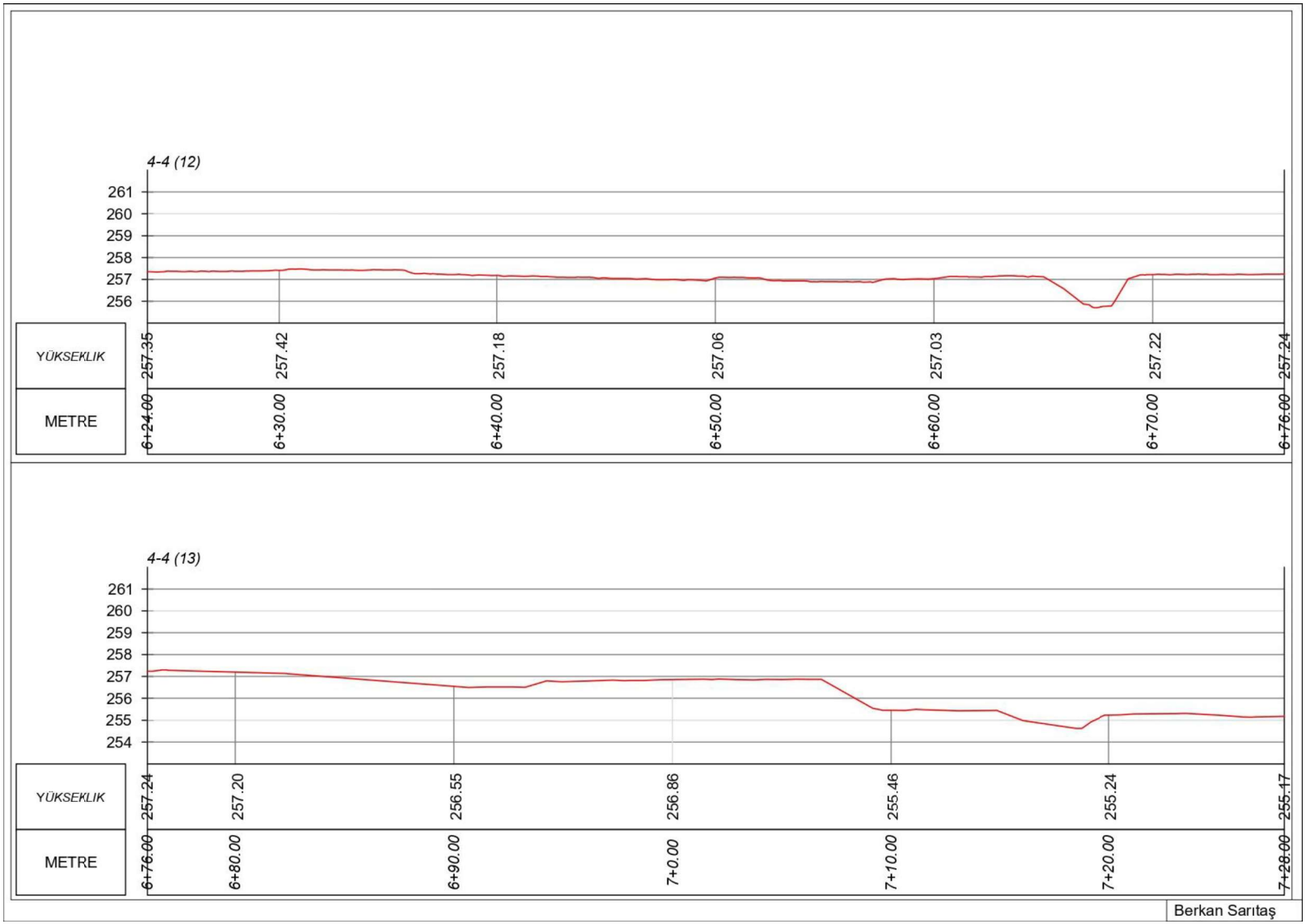

4-4 (2)
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.09
259.11
259.16
258.91
258.79
258.80
258.70
1+4.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
4-4 (3)
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.70
258.70
258.76
258.58
258.56
258.56
258.39
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

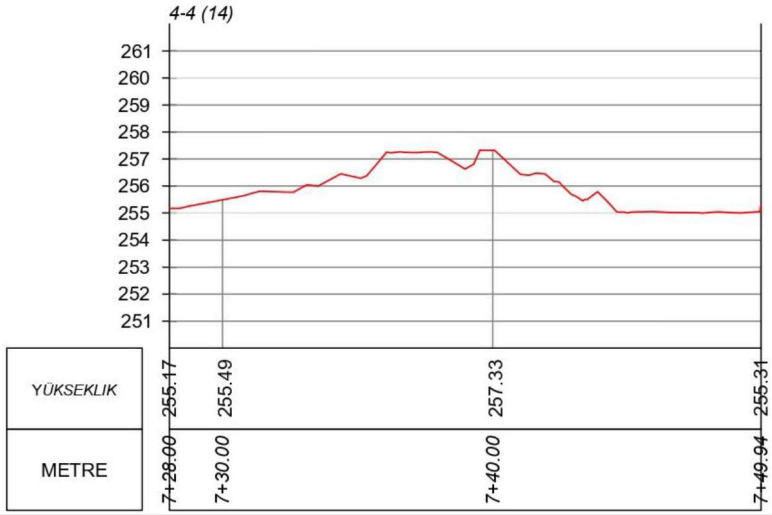

4-4 (4)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.39
258.37
258.36
258.51
258.16
258.13
258.19
2+8.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
4-4 (5)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.19
257.80
257.90
257.79
257.58
257.42
257.39
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


4-4 (6)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
257.39
257.32
257.08
255.81
252.50
252.33
252.36
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
4-4 (7)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
252.36
252.33
252.36
252.41
252.34
252.40
254.24
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

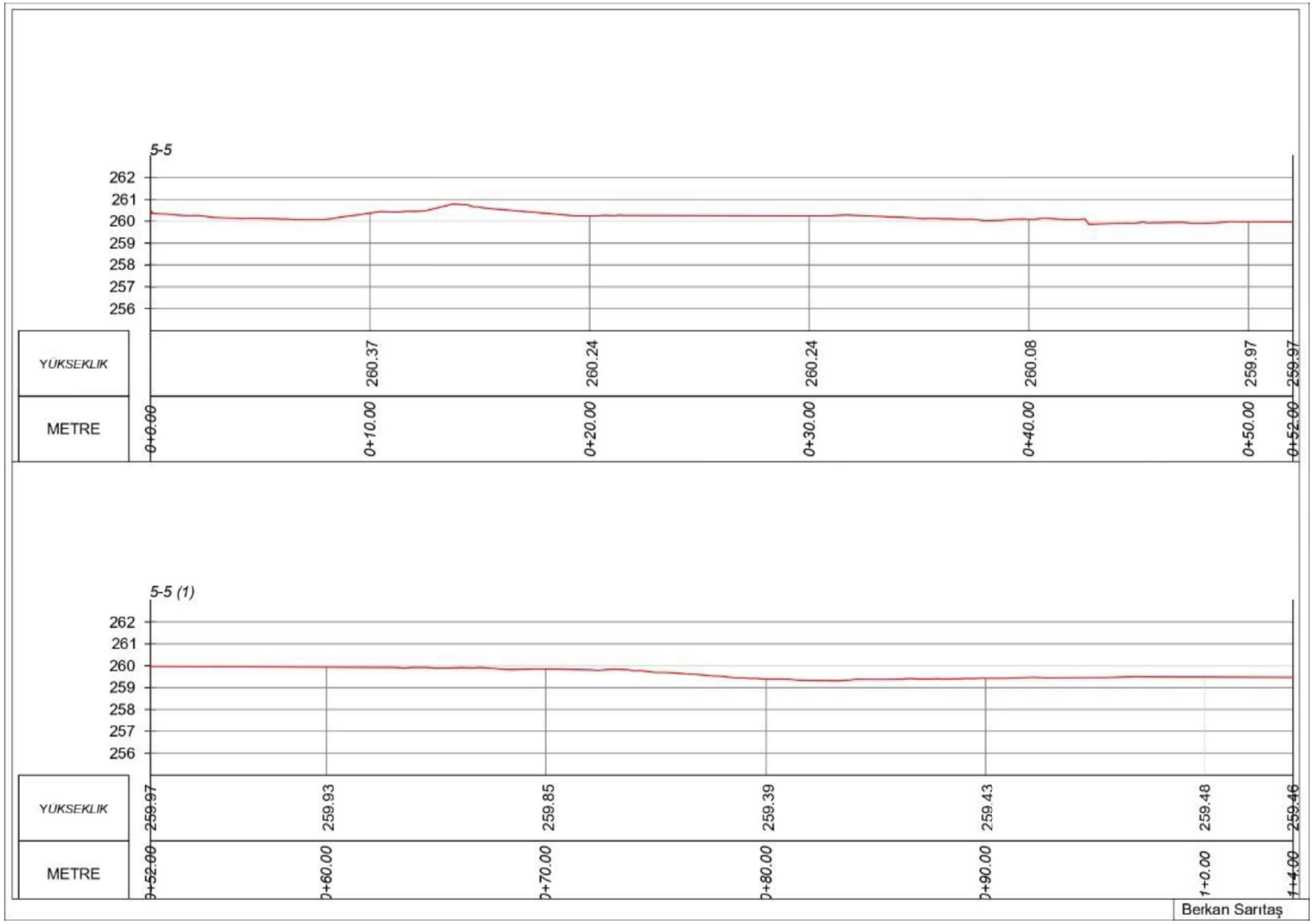

4-4 (8)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
254.24
254.33
258.24
258.77
257.69
257.32
257.77
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
4-4 (9)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.77
257.94
258.72
258.77
258.61
258.50
258.33
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş

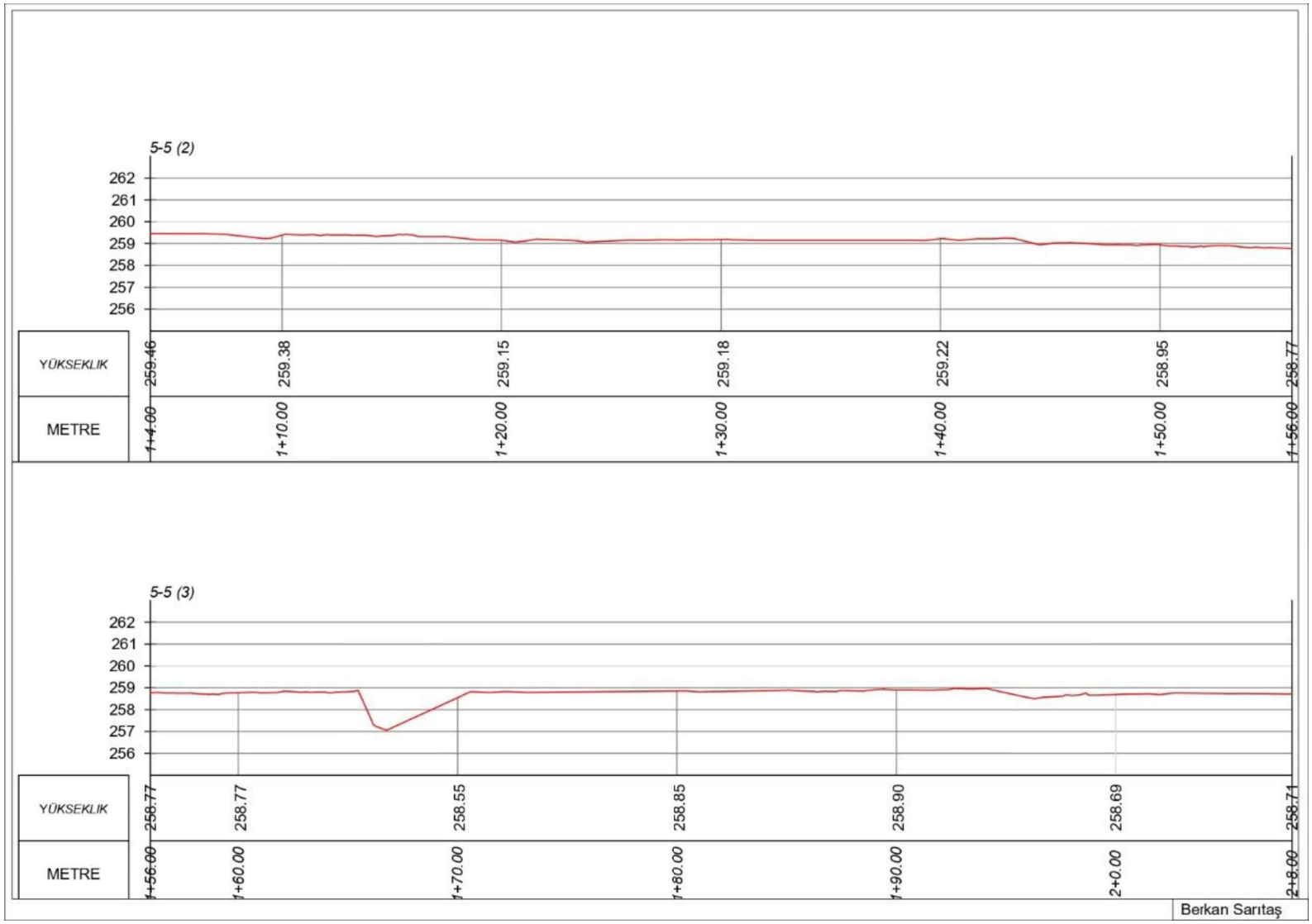

4-4 (10)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.33
258.24
258.21
258.52
258.45
258.03
258.00
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
4-4 (11)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.00
257.86
257.77
257.58
257.47
257.38
257.35
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş

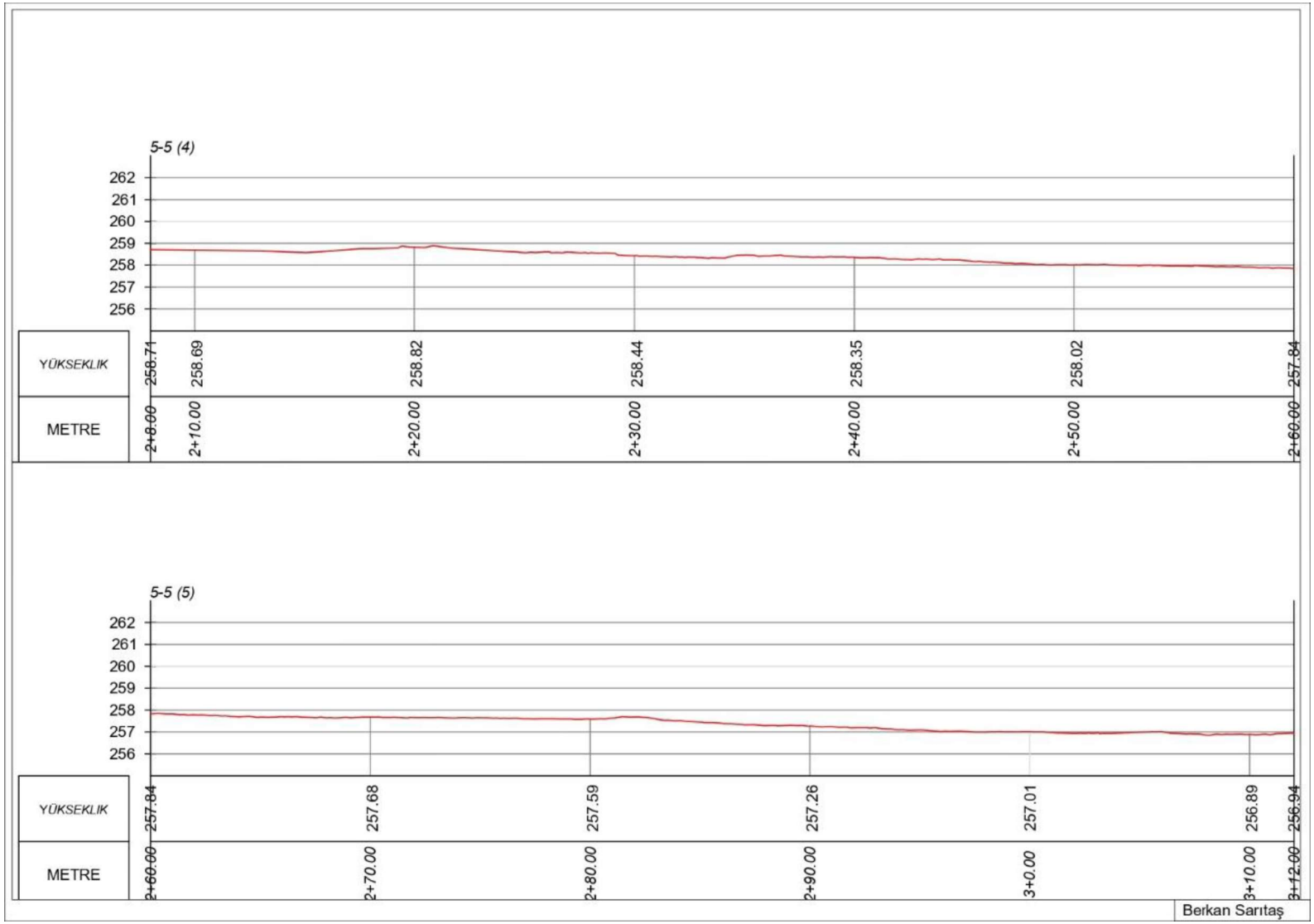

4-4 (12)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
257.35
257.42
257.18
257.06
257.03
257.22
257.24
METRE
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
4-4 (13)
261
260
259
258
257
256
255
254
YÜKSEKLIK
257.24
257.20
256.55
256.86
255.46
255.24
255.17
METRE
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş

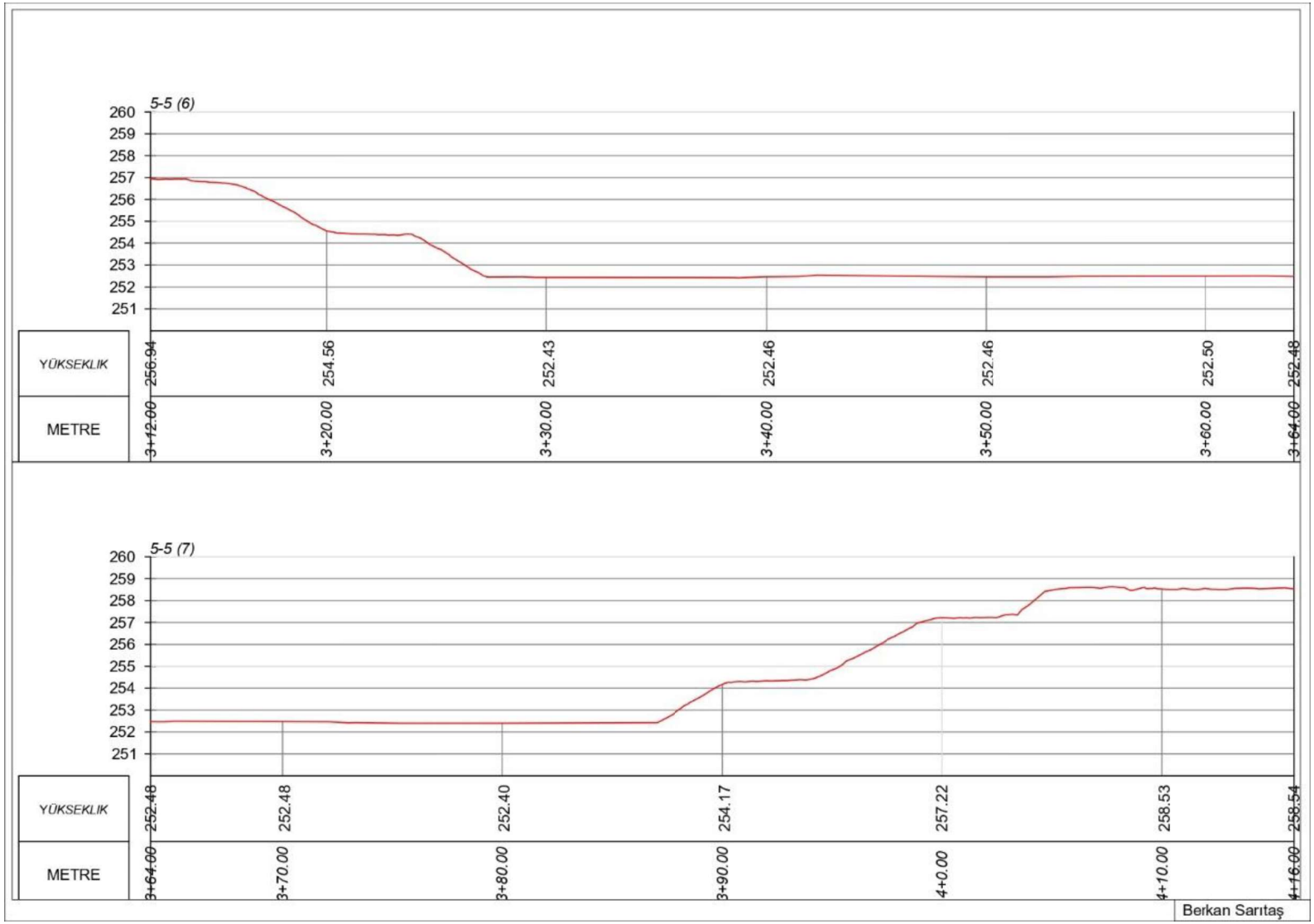


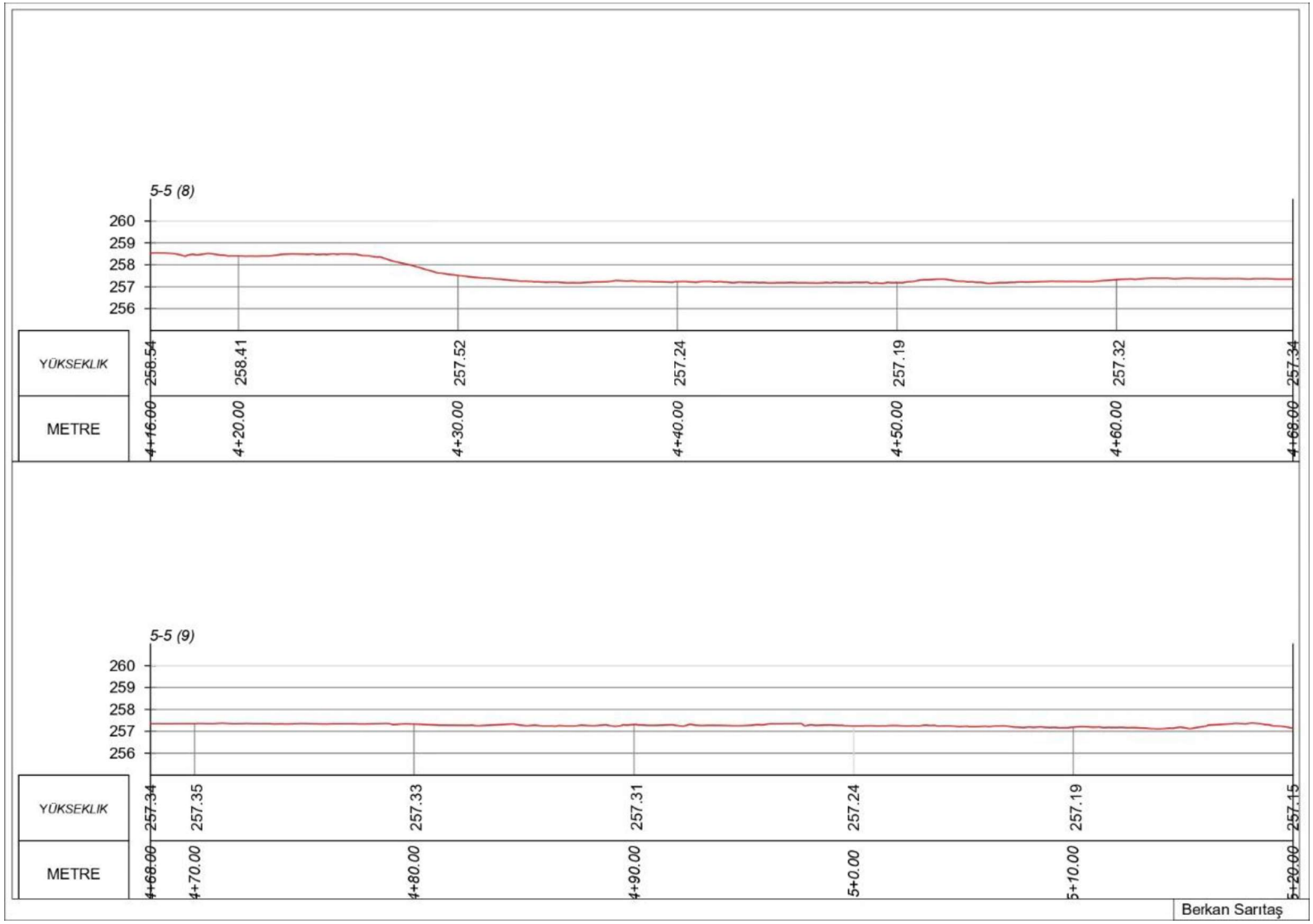
Berkan Sarıtaş

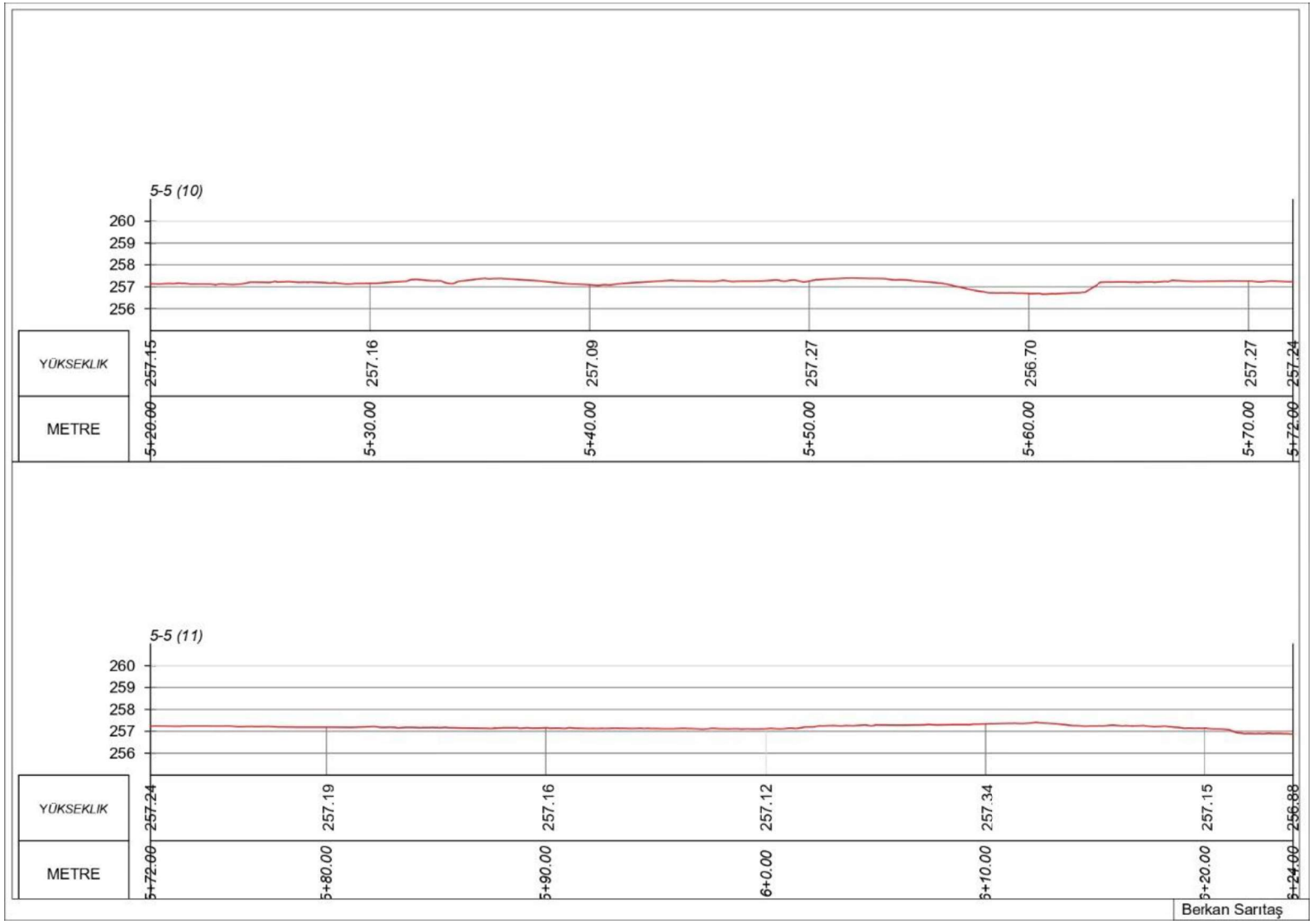

5-5
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLİK
METRE
260.37
260.24
260.24
260.08
259.97
259.97
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
5-5 (1)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLİK
METRE
259.97
259.93
259.85
259.39
259.43
259.48
259.46
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

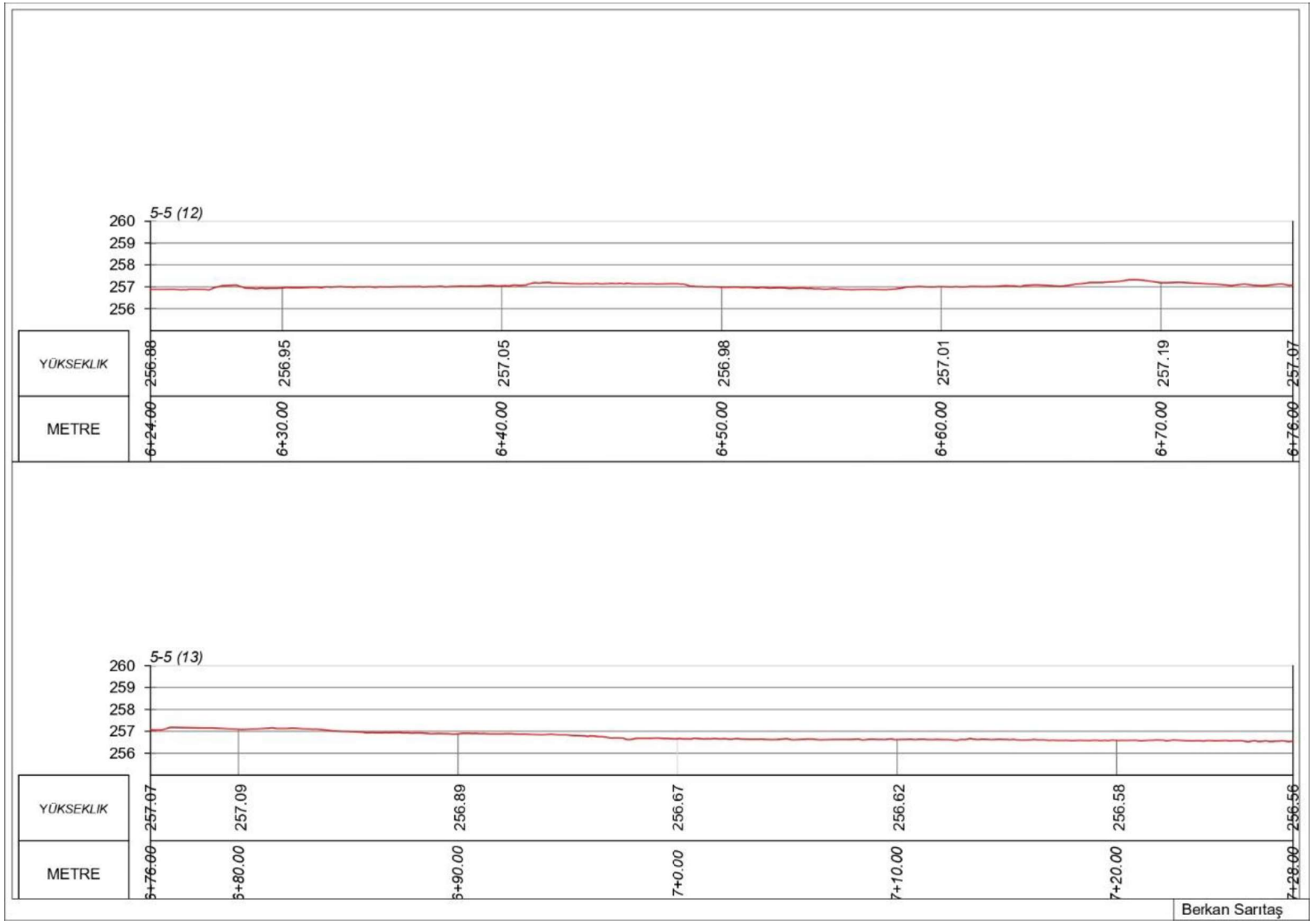

5-5 (2)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.46
259.38
259.15
259.18
259.22
258.95
258.77
1+4.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
5-5 (3)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.77
258.77
258.55
258.85
258.90
258.69
258.71
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

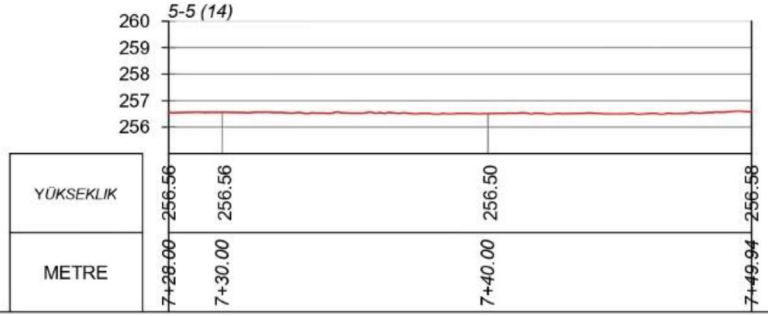

5-5 (4)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.71
258.69
258.82
258.44
258.35
258.02
257.84
2+00.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
5-5 (5)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.84
257.68
257.59
257.26
257.01
256.89
256.94
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


5-5 (6)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
256.94
254.56
252.43
252.46
252.46
252.50
252.48
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
5-5 (7)
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
252.48
252.48
252.40
254.17
257.22
258.53
258.54
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

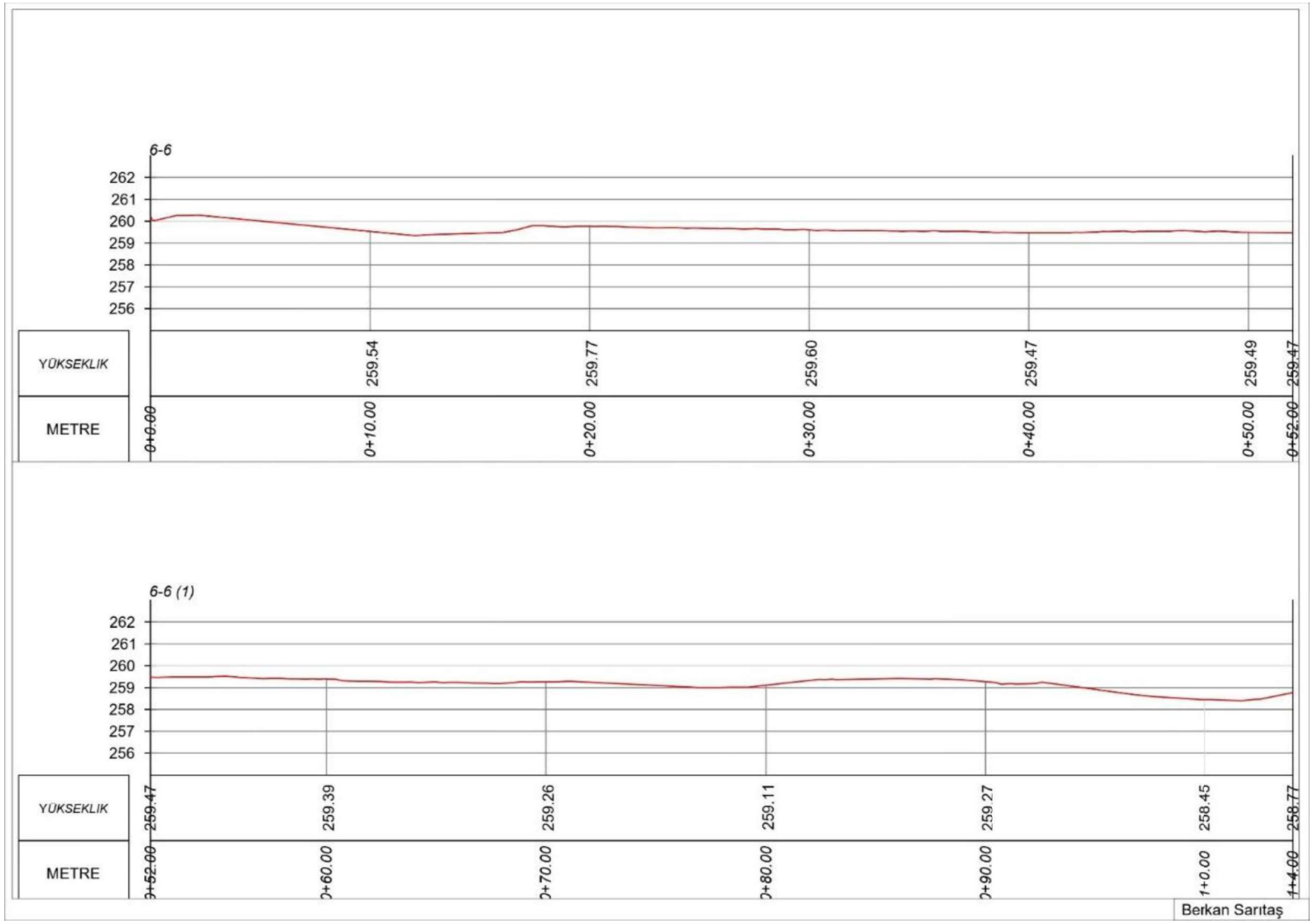

5-5 (8)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.54
258.41
257.52
257.24
257.19
257.32
257.34
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
5-5 (9)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.34
257.35
257.33
257.31
257.24
257.19
257.15
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş


5-5 (10)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
257.15
257.16
257.09
257.27
256.70
257.27
257.24
METRE
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
5-5 (11)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
257.24
257.19
257.16
257.12
257.34
257.15
256.88
METRE
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş

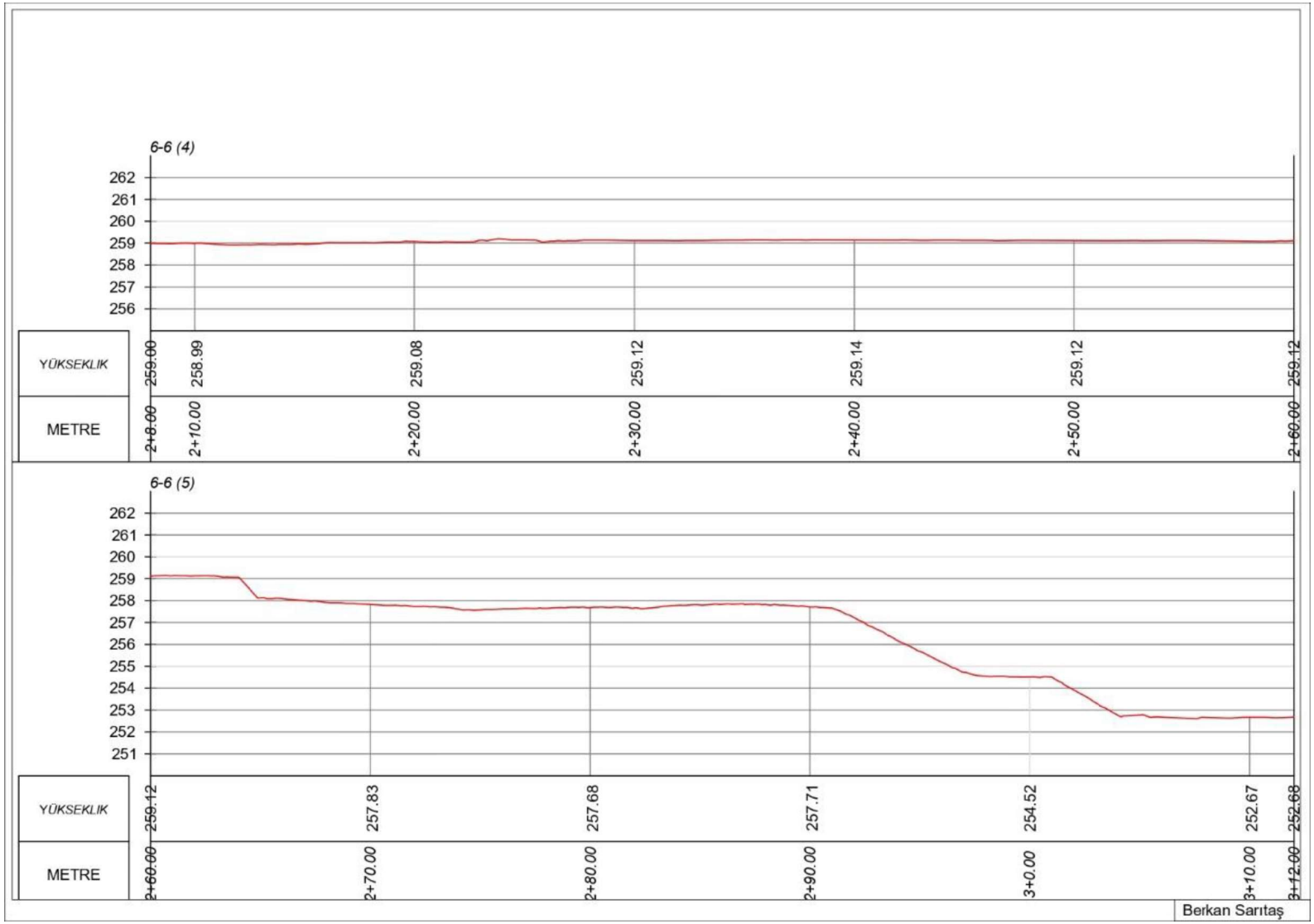

5-5 (12)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.88
256.95
257.05
256.98
257.01
257.19
257.07
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
5-5 (13)
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.07
257.09
256.89
256.67
256.62
256.58
256.56
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş

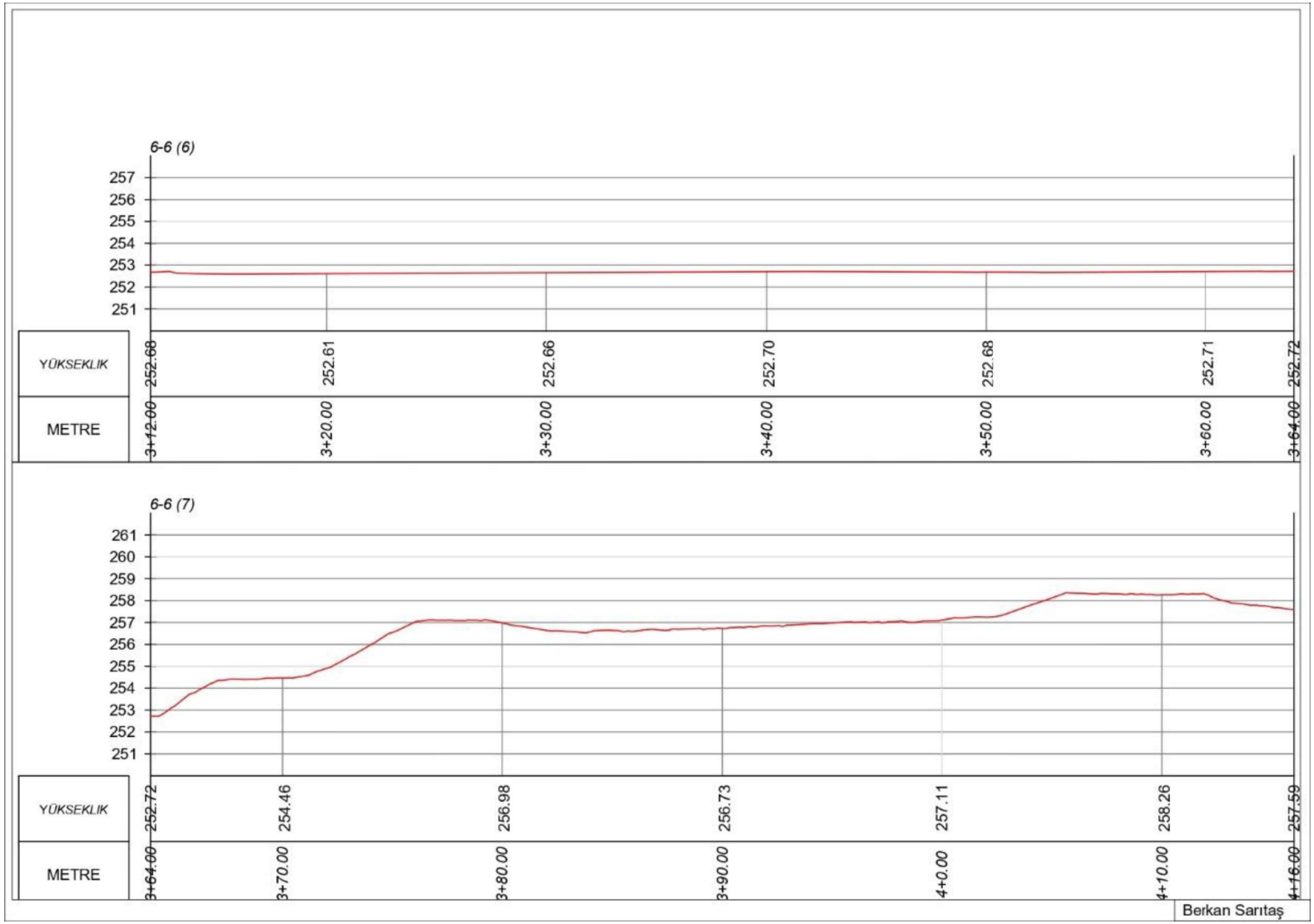


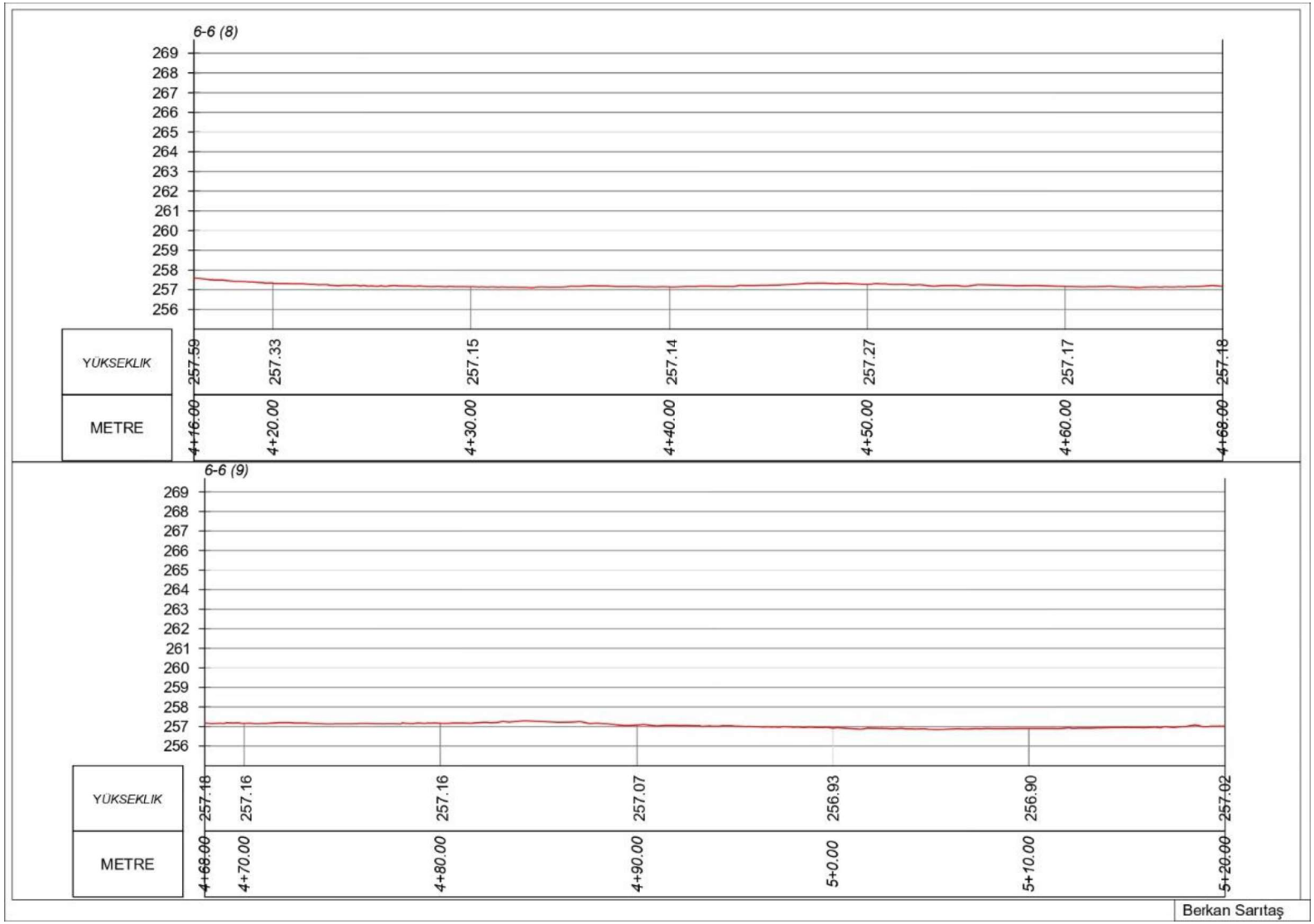
Berkan Sarıtaş

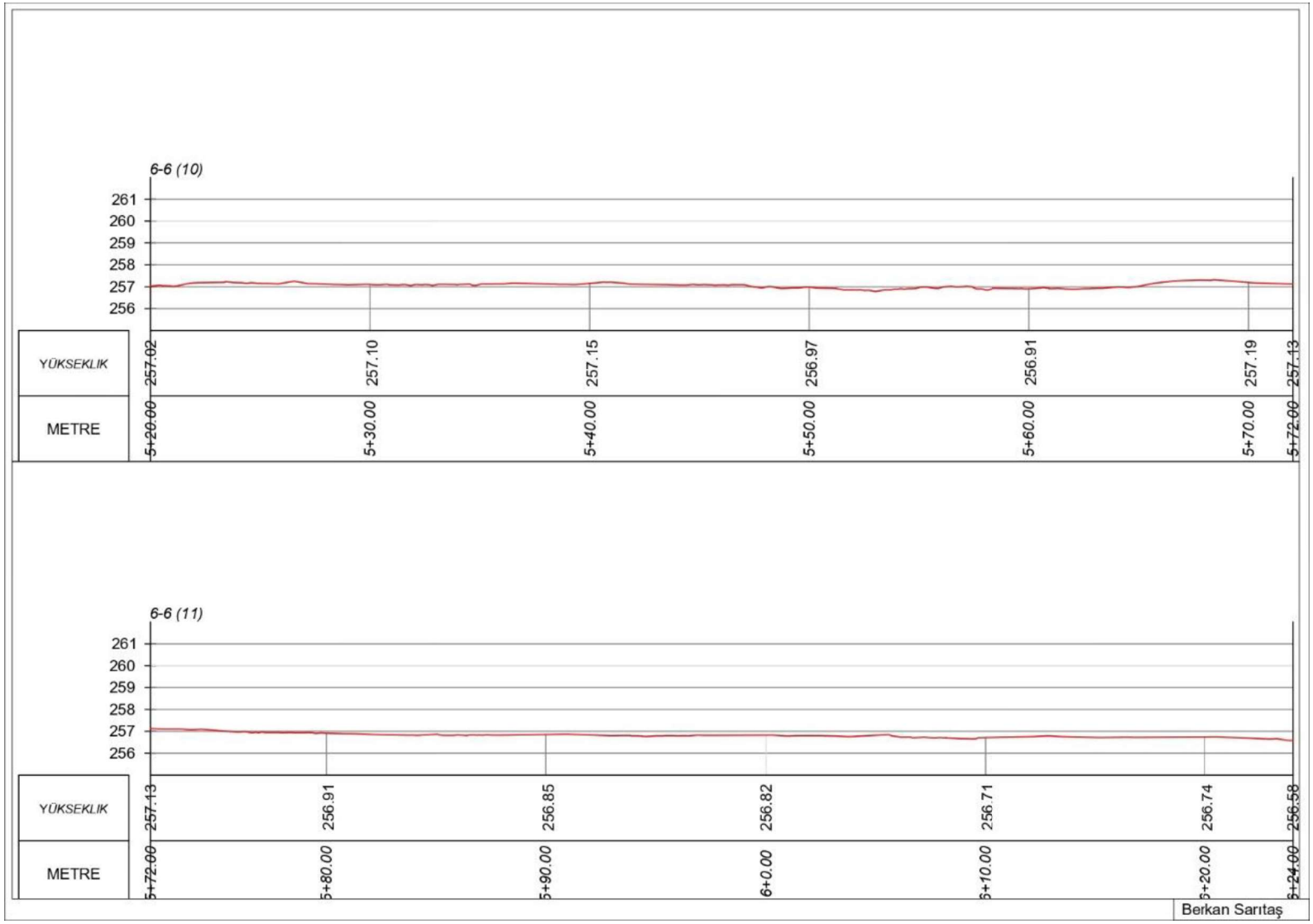

6-6
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.54
259.77
259.60
259.47
259.49
259.47
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
6-6 (1)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.47
259.39
259.26
259.11
259.27
258.45
258.77
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

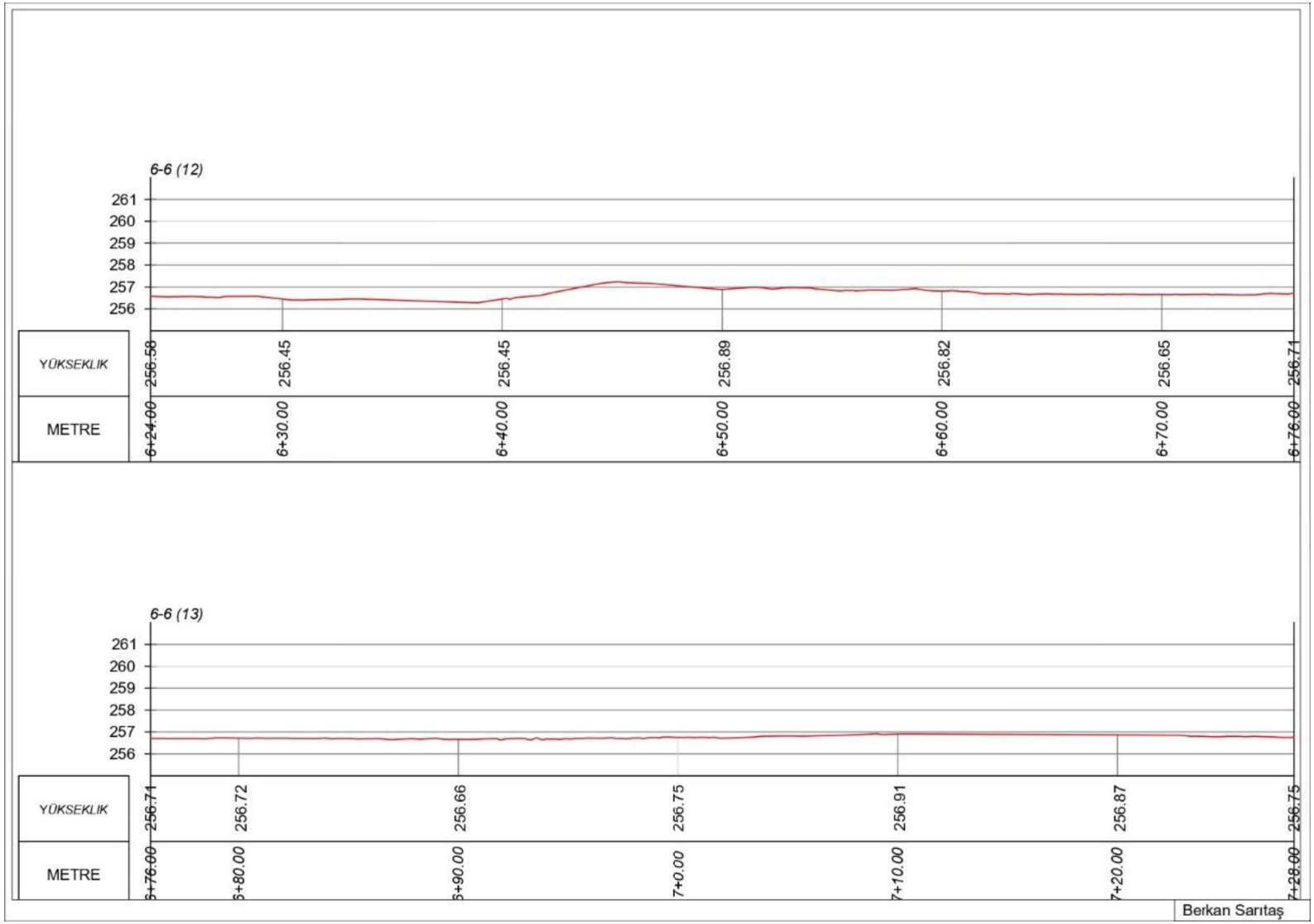

6-6 (2)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.77
259.09
259.02
259.07
258.89
259.07
259.05
1+00.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
6-6 (3)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.05
259.03
259.08
259.01
258.88
258.86
259.00
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

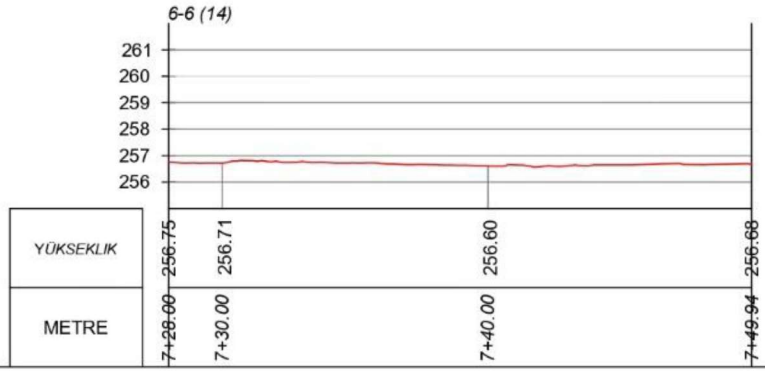

6-6 (4)
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
259.00
258.99
259.08
259.12
259.14
259.12
259.12
METRE
2+00.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
6-6 (5)
262
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
259.12
257.83
257.68
257.71
254.52
252.67
252.68
METRE
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


6-6 (6)
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
252.68
252.61
252.66
252.70
252.68
252.71
252.72
METRE
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
6-6 (7)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
252.72
254.46
256.98
256.73
257.11
258.26
257.59
METRE
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

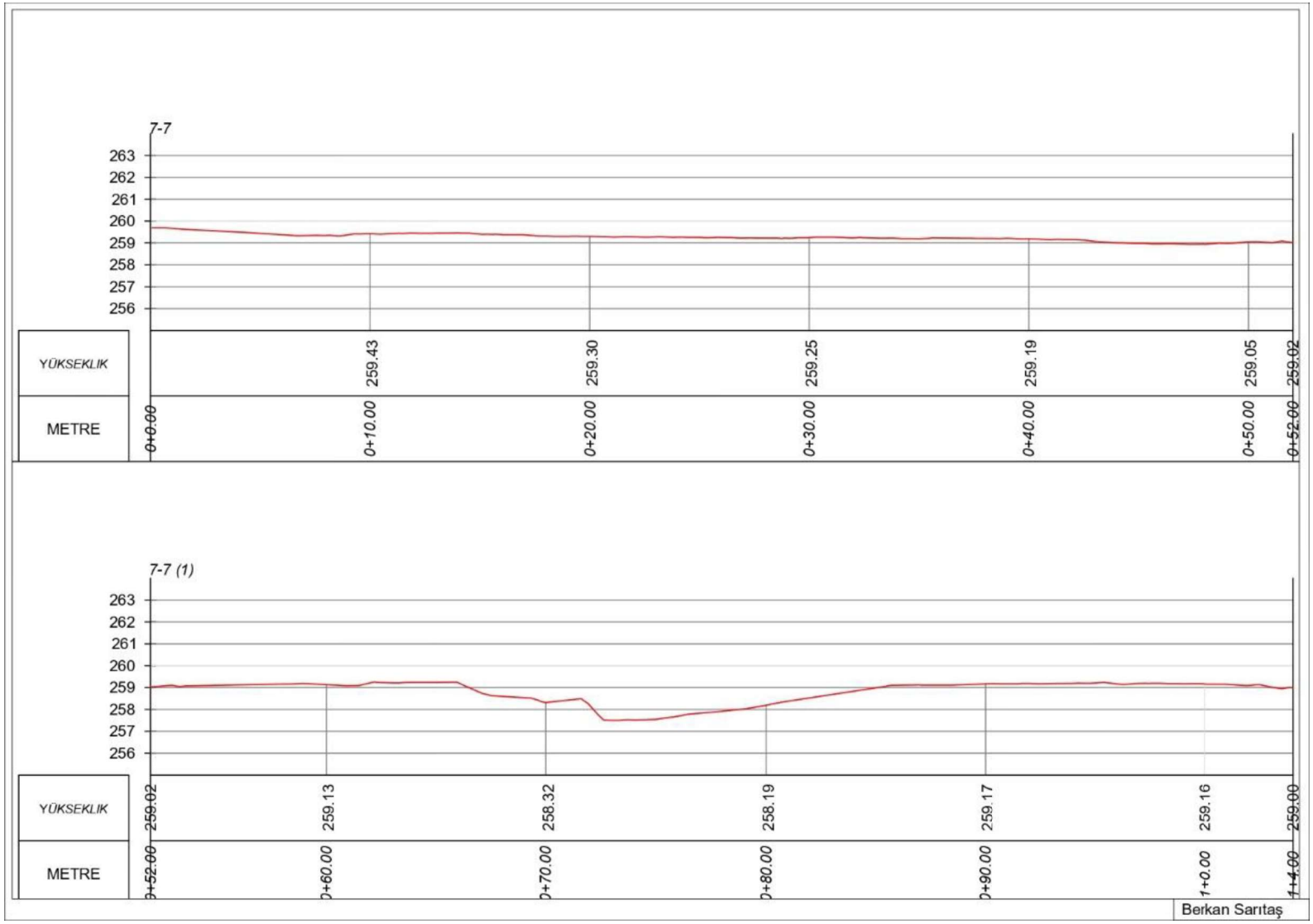

6-6 (8)
269
268
267
266
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.59
257.33
257.15
257.14
257.27
257.17
257.18
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
6-6 (9)
269
268
267
266
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.18
257.16
257.16
257.07
256.93
256.90
257.02
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş

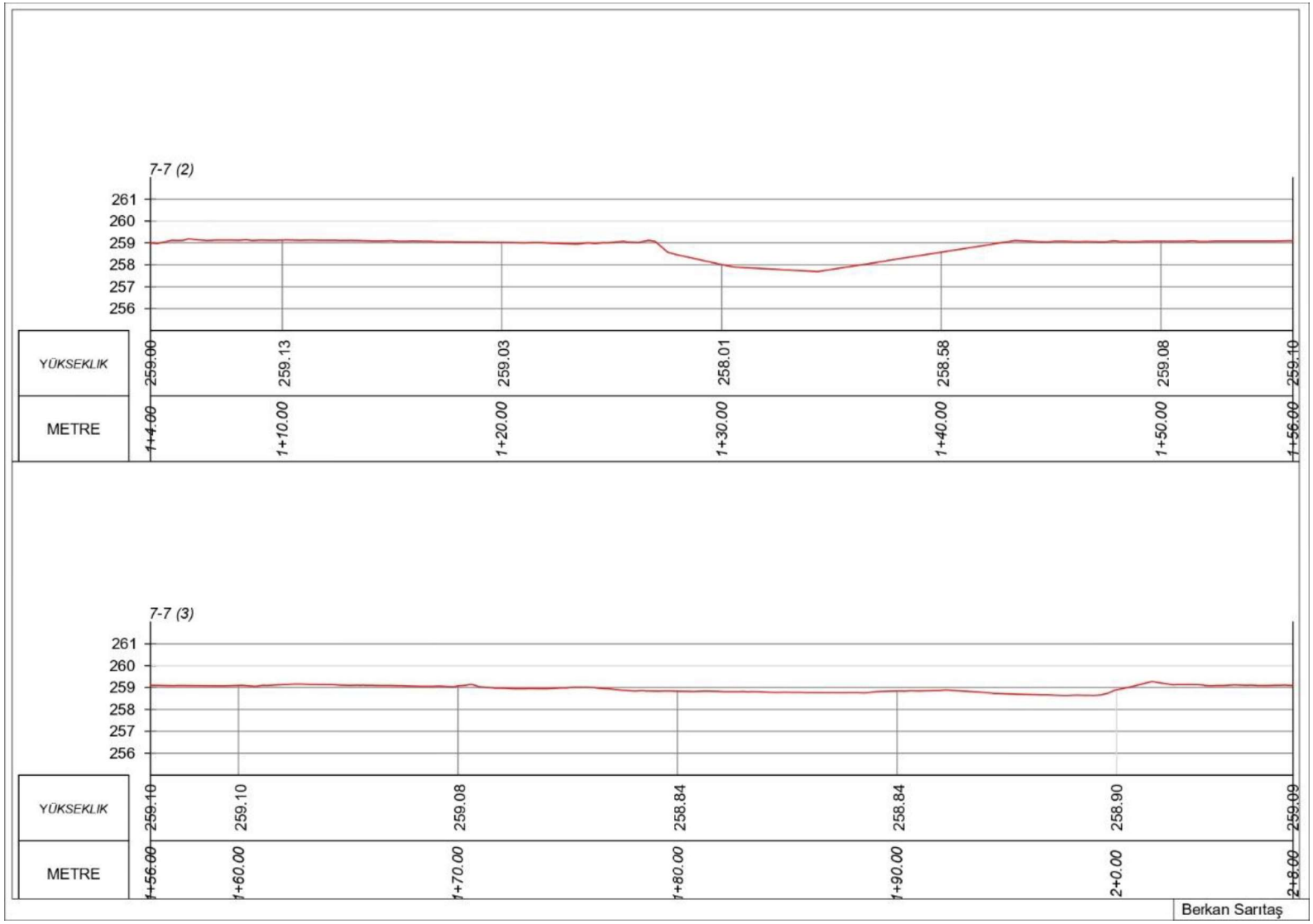

6-6 (10)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.02
257.10
257.15
256.97
256.91
257.19
257.13
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
6-6 (11)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.13
256.91
256.85
256.82
256.71
256.74
256.58
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş

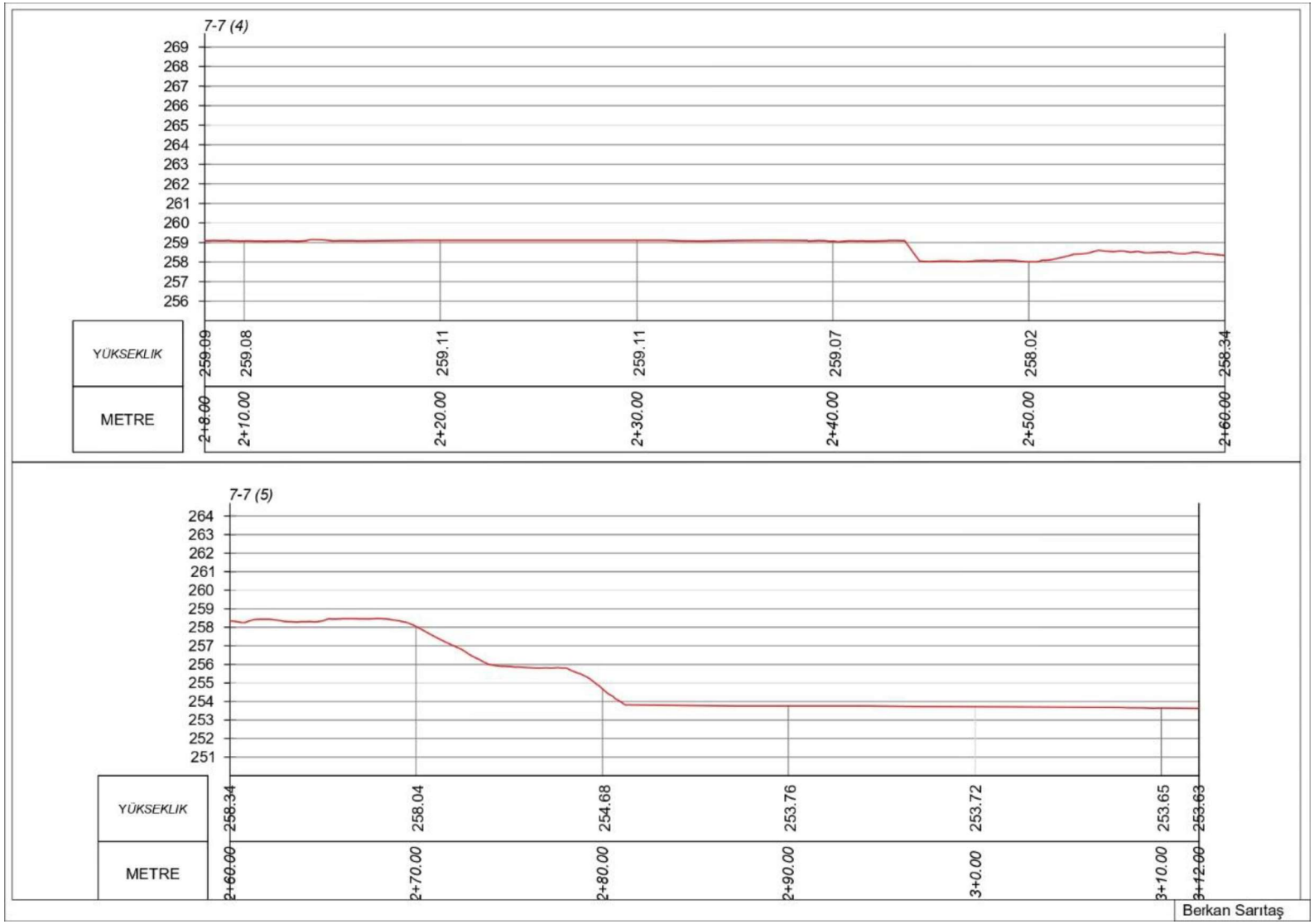

6-6 (12)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.58
256.45
256.45
256.89
256.82
256.65
256.71
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
6-6 (13)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.71
256.72
256.66
256.75
256.91
256.87
256.75
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş

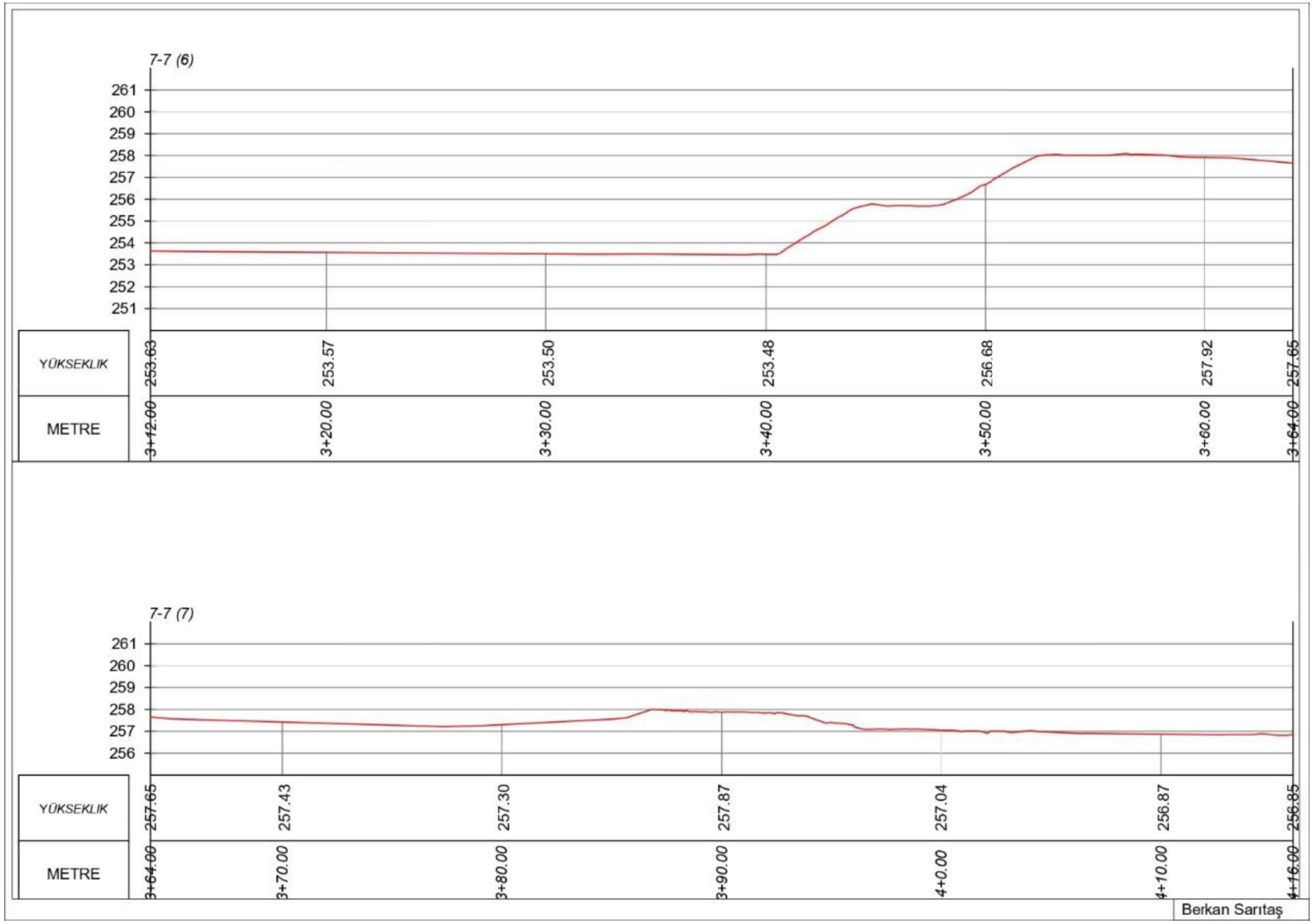


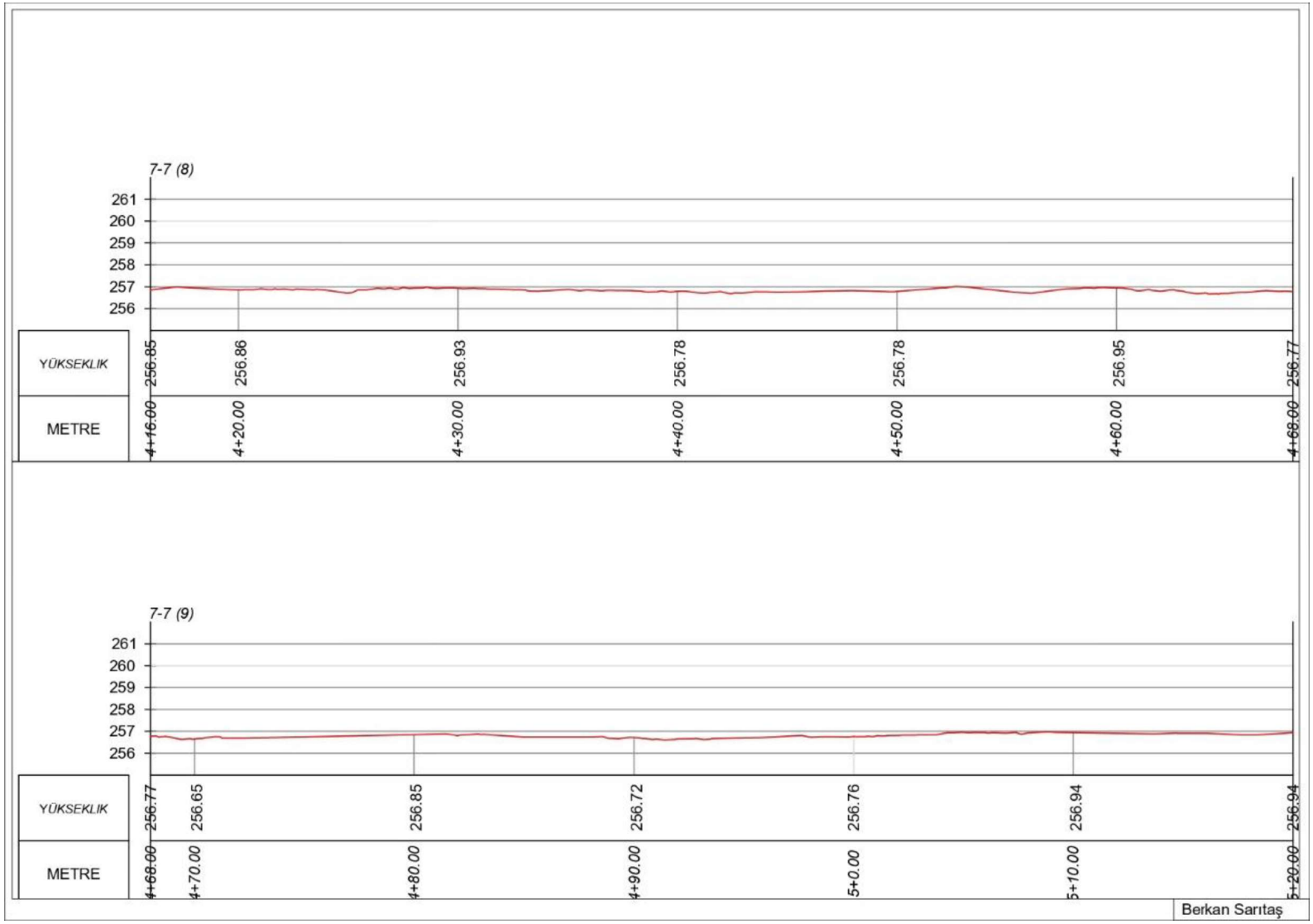
Berkan Sarıtaş

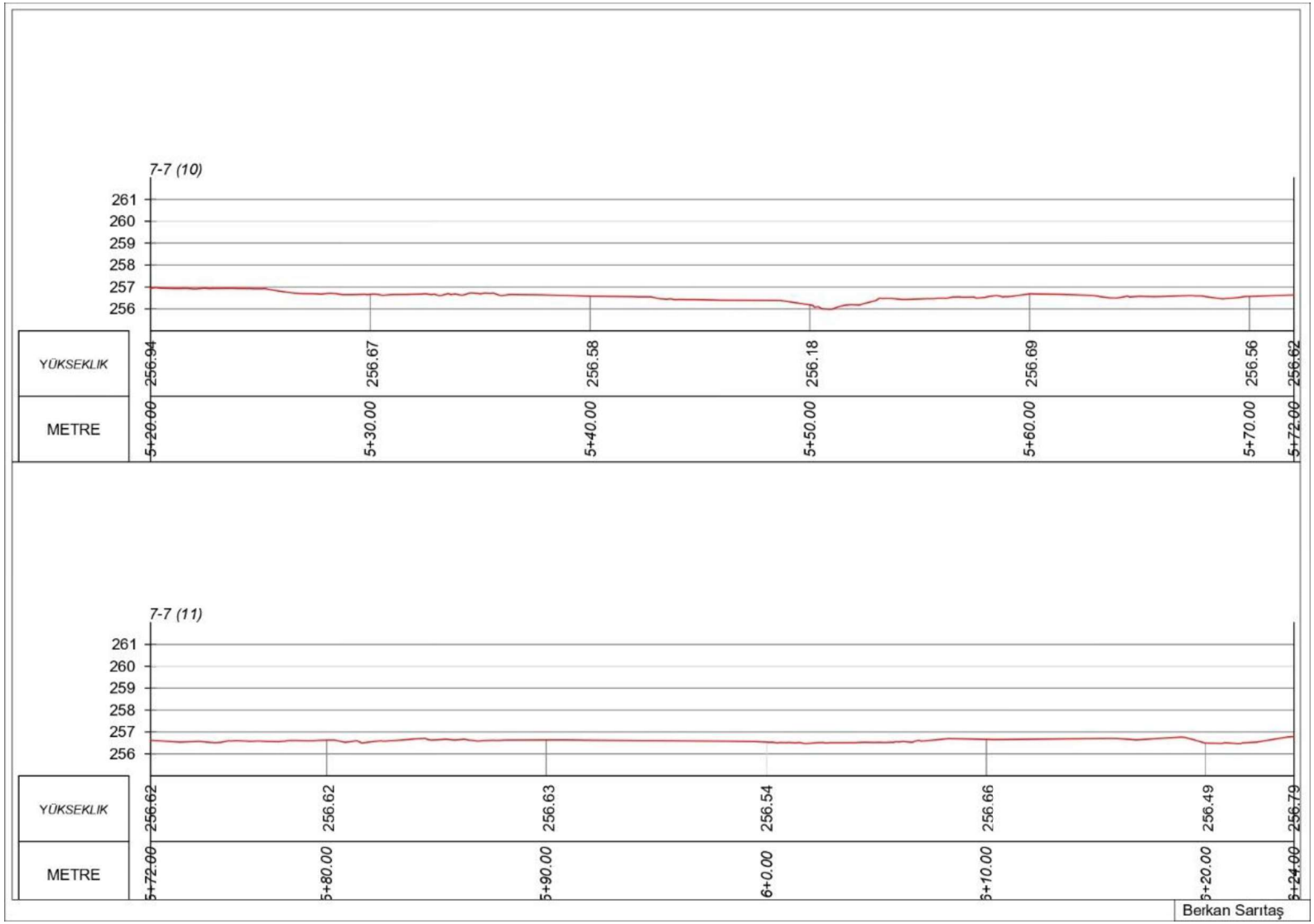

7-7
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.43
259.30
259.25
259.19
259.05
259.02
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
7-7 (1)
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.02
259.13
258.32
258.19
259.17
259.16
259.00
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

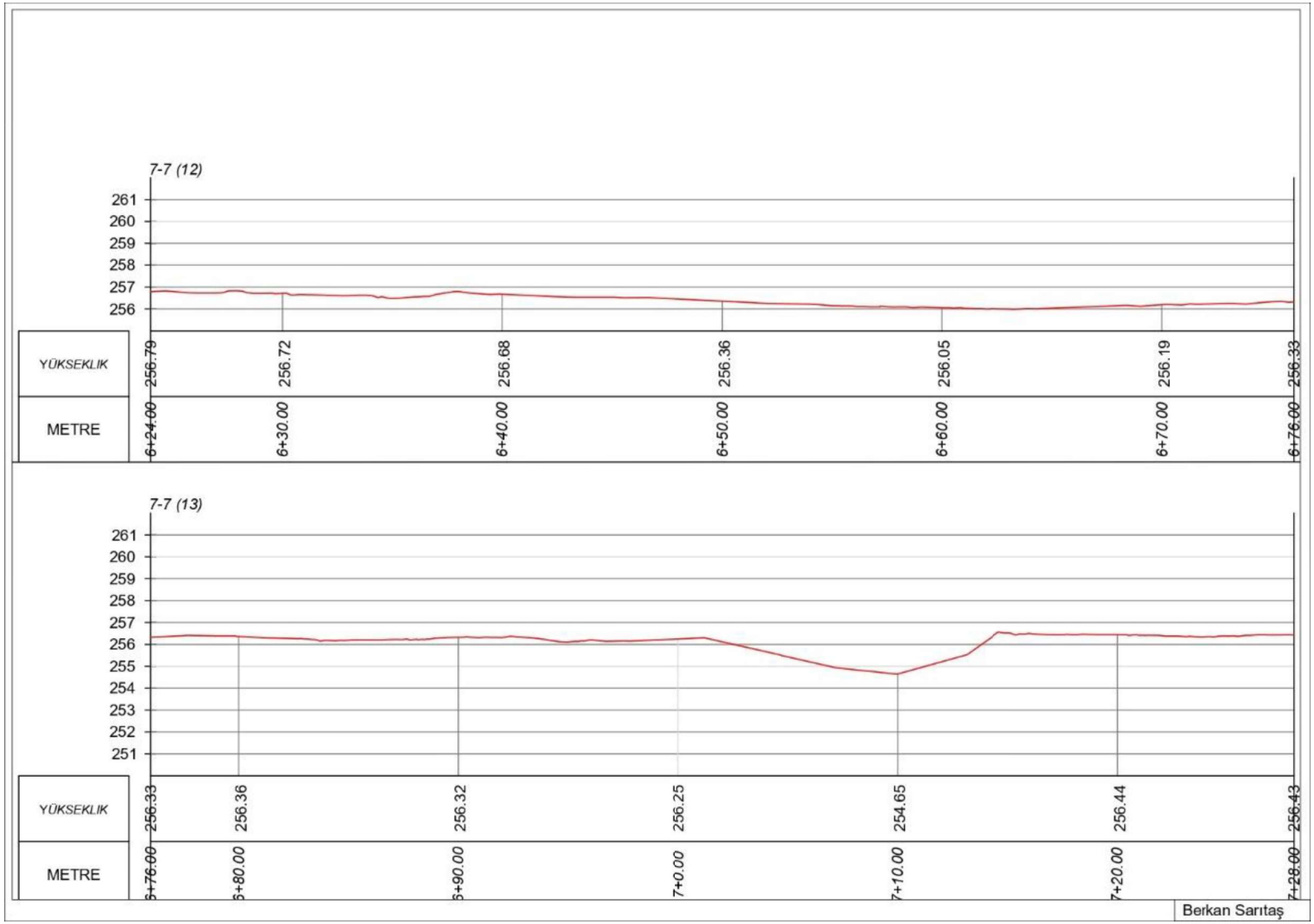

7-7 (2)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.00
259.13
259.03
258.01
258.58
259.08
259.10
1+44.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
7-7 (3)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.10
259.10
259.08
258.84
258.84
258.90
259.09
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

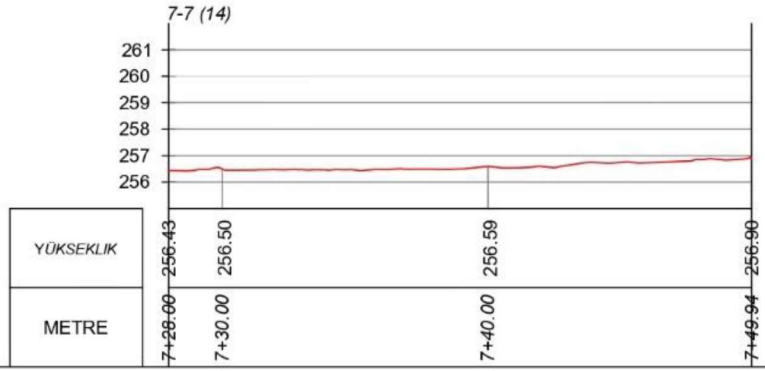

7-7 (4)
269
268
267
266
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.09
259.08
259.11
259.11
259.07
258.02
258.34
2+8.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
7-7 (5)
264
263
262
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
258.34
258.04
254.68
253.76
253.72
253.65
253.63
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


7-7 (6)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
253.63
253.57
253.50
253.48
256.68
257.92
257.65
METRE
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
7-7 (7)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
257.65
257.43
257.30
257.87
257.04
256.87
256.85
METRE
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

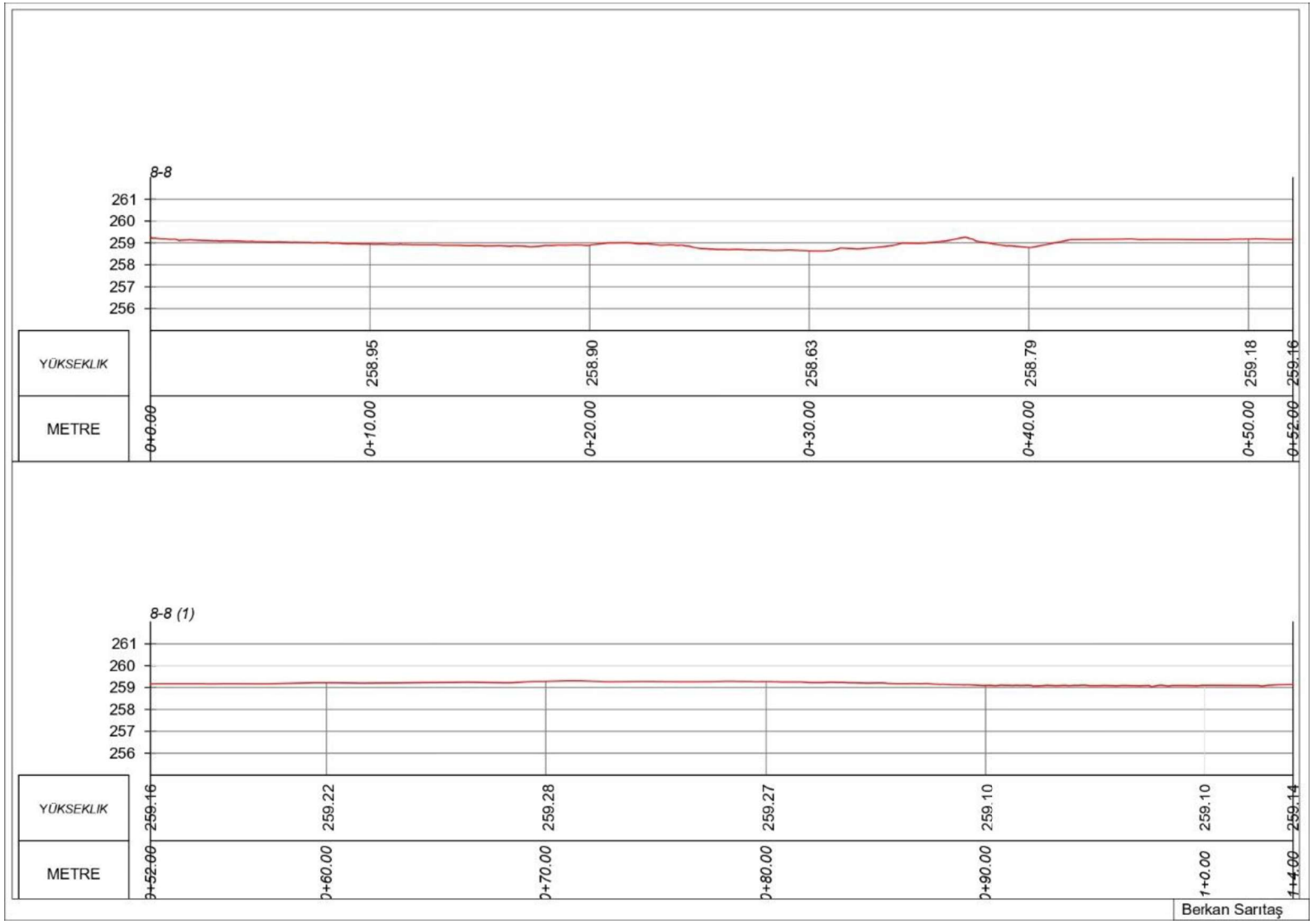

7-7 (8)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.85
256.86
256.93
256.78
256.78
256.95
256.77
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
7-7 (9)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.77
256.65
256.85
256.72
256.76
256.94
256.94
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş

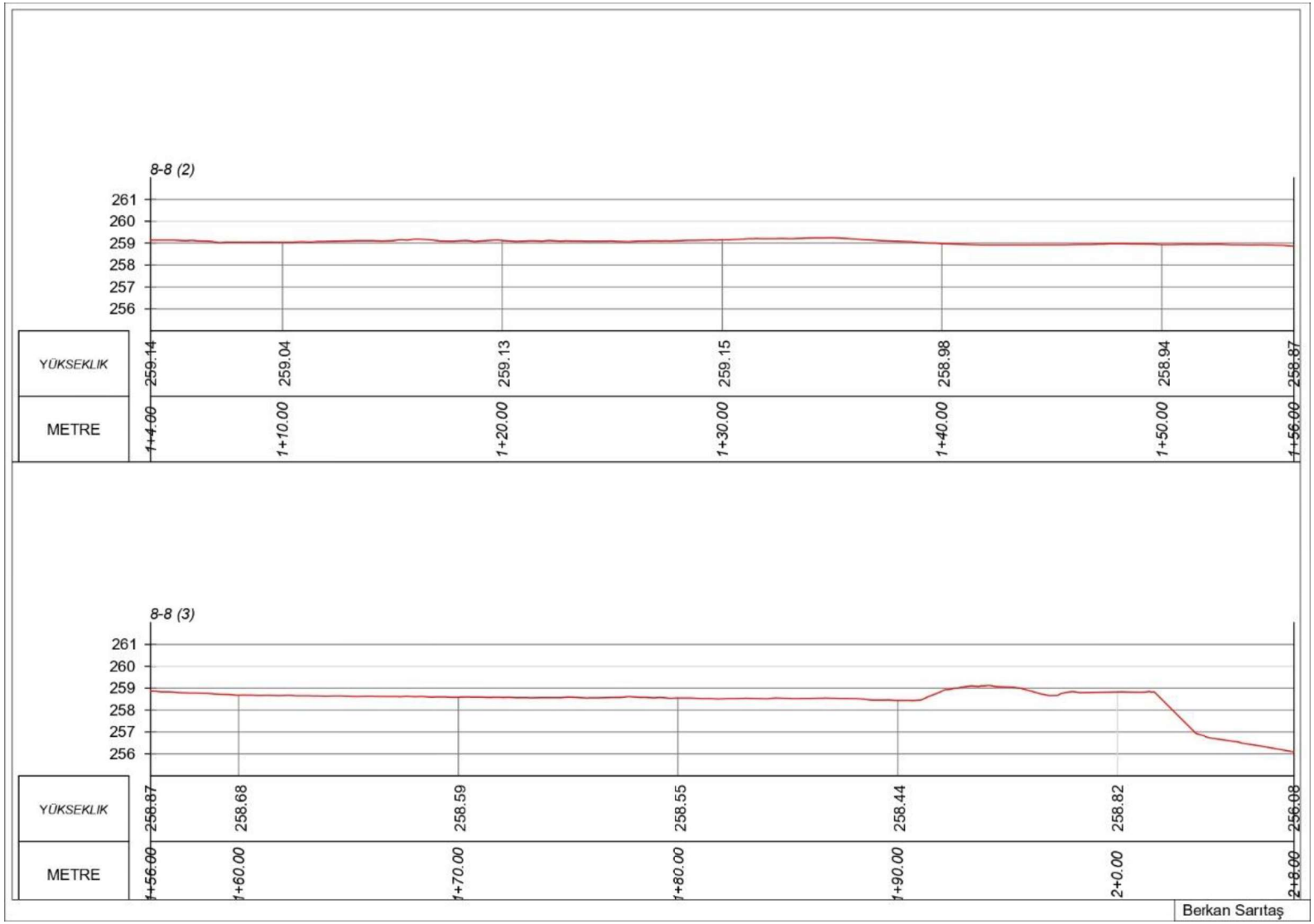

7-7 (10)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.94
256.67
256.58
256.18
256.69
256.56
256.62
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
7-7 (11)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.62
256.62
256.63
256.54
256.66
256.49
256.79
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş

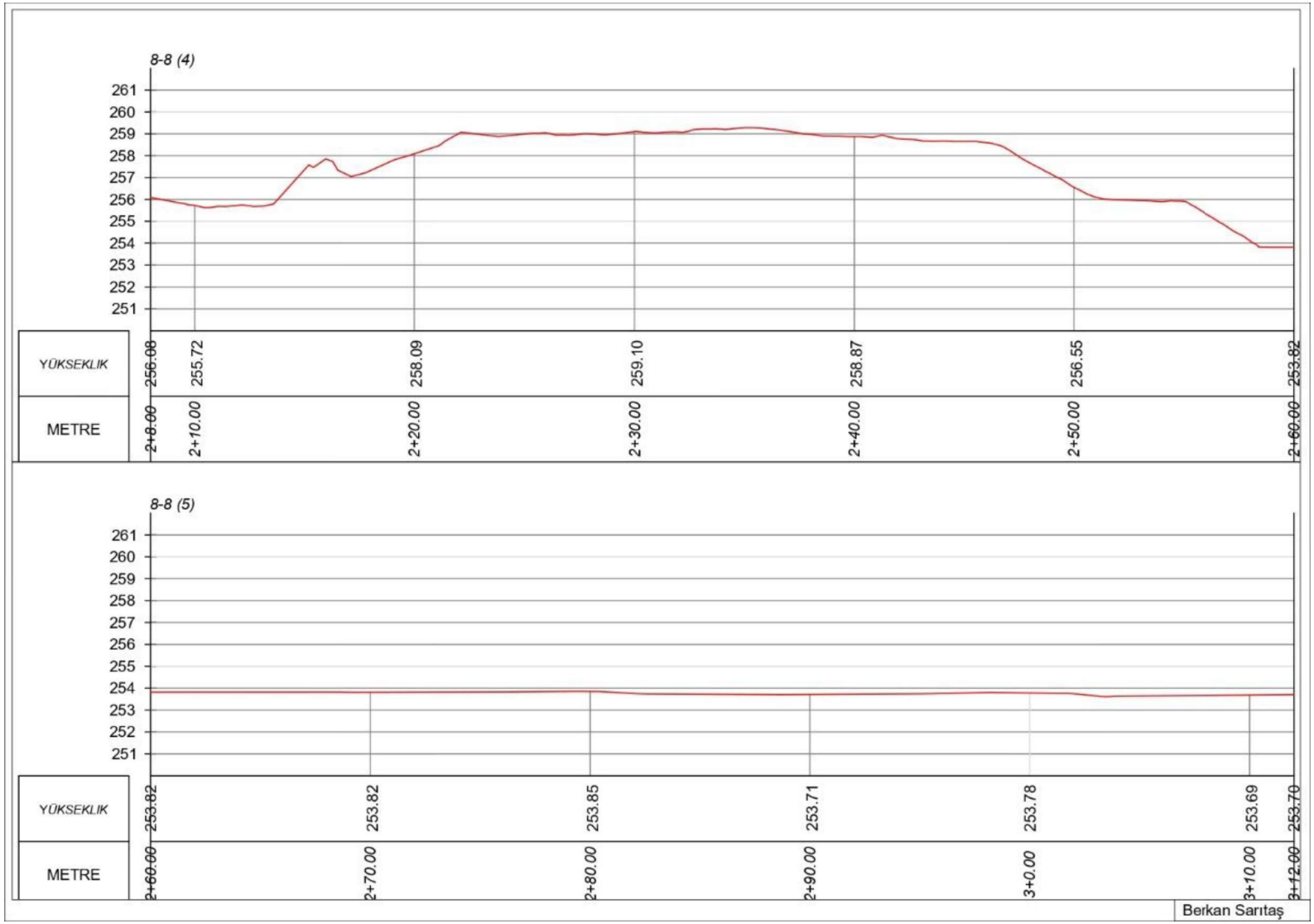

7-7 (12)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
256.79
256.72
256.68
256.36
256.05
256.19
256.33
METRE
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
7-7 (13)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
256.33
256.36
256.32
256.25
254.65
256.44
256.43
METRE
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş

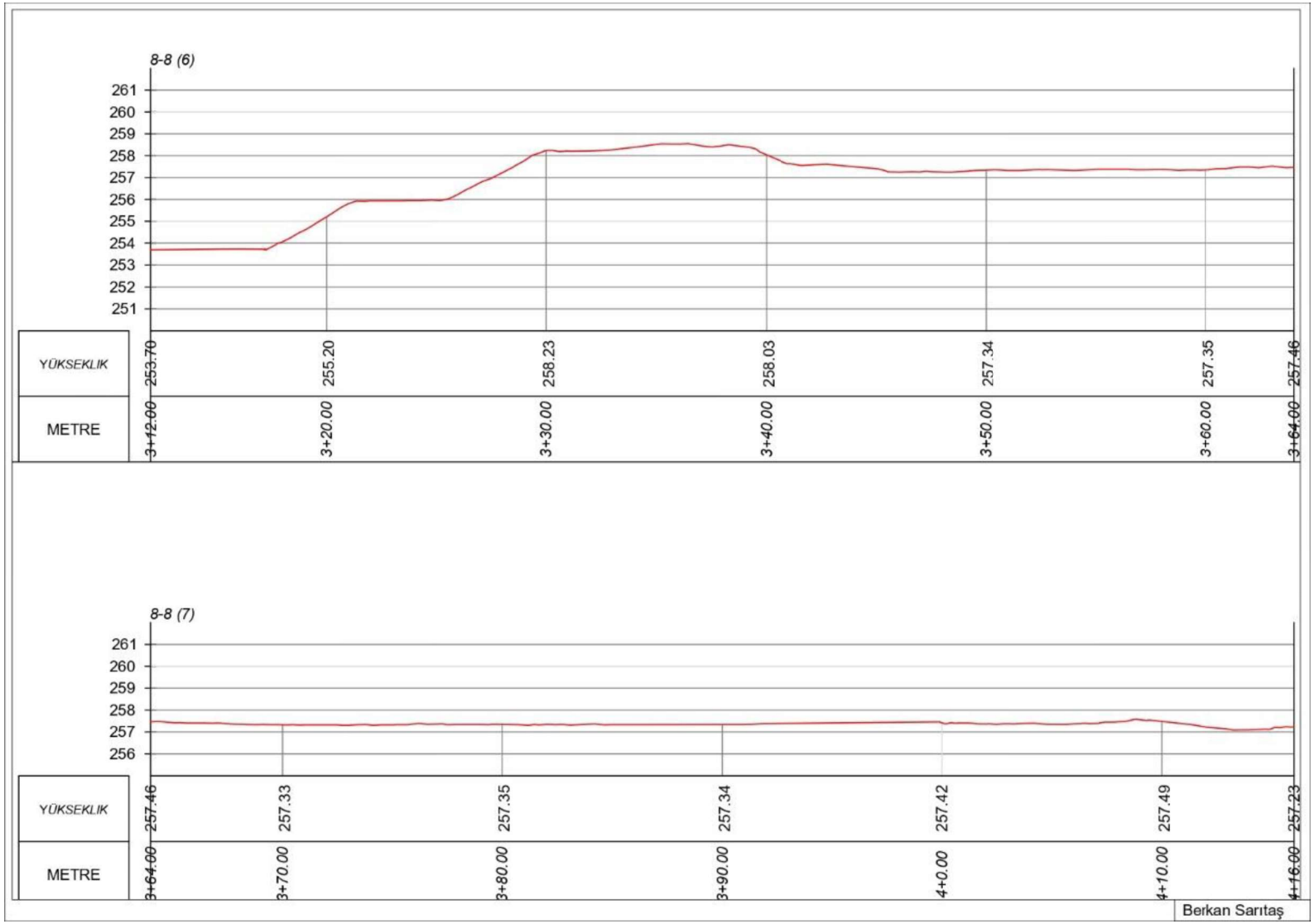


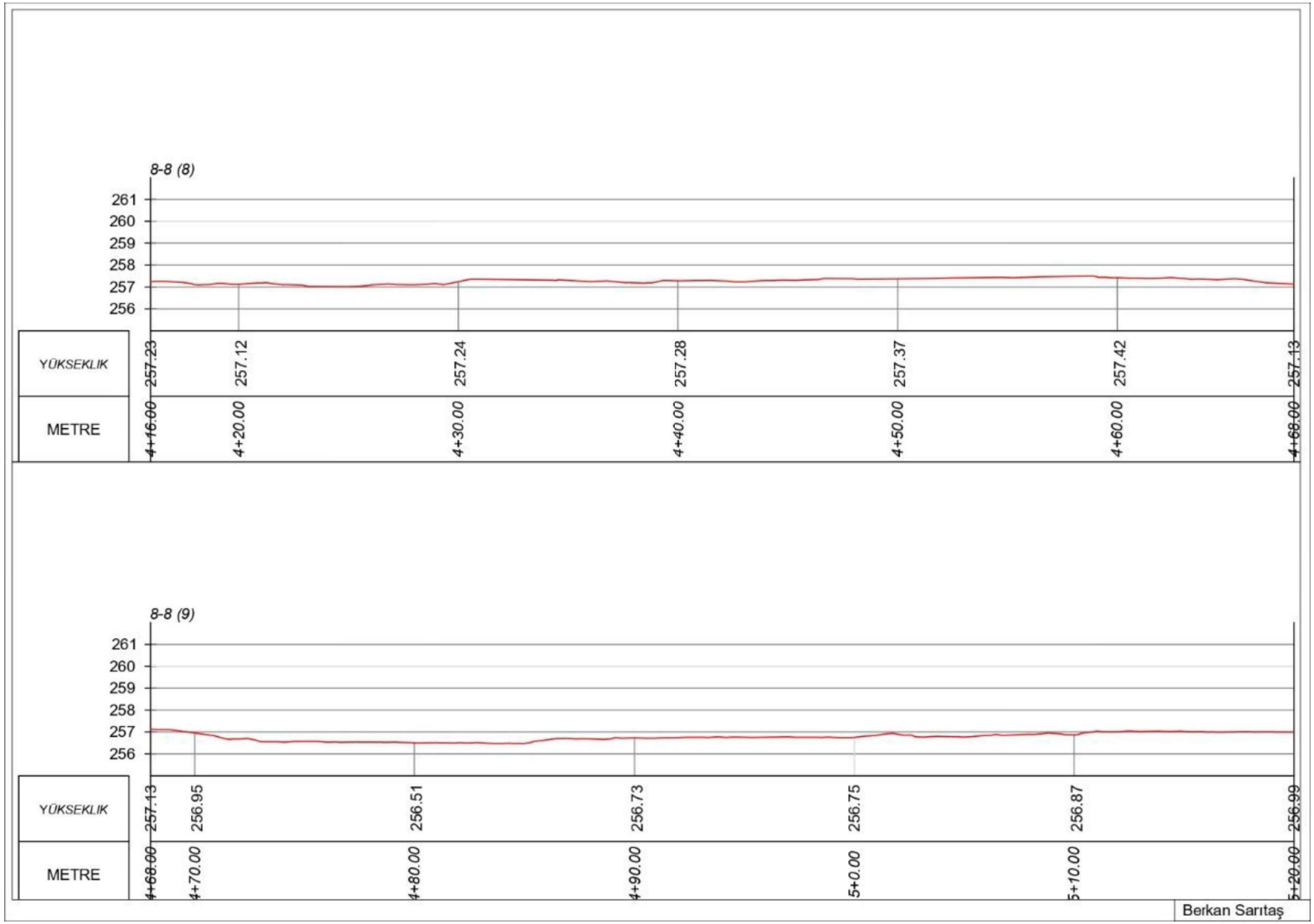
Berkan Sarıtaş

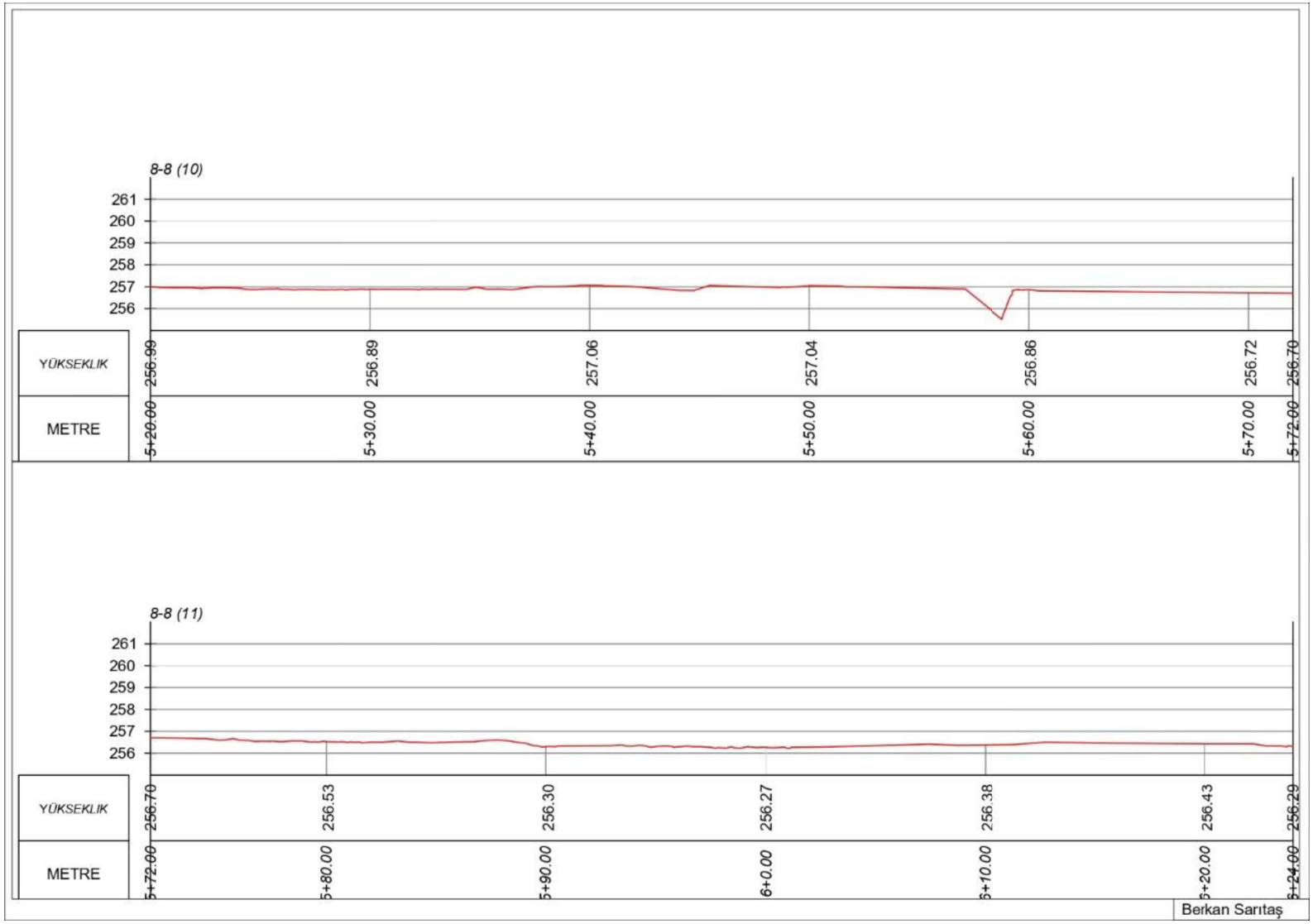

8-8
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.95
258.90
258.63
258.79
259.18
259.16
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
8-8 (1)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.16
259.22
259.28
259.27
259.10
259.10
259.14
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

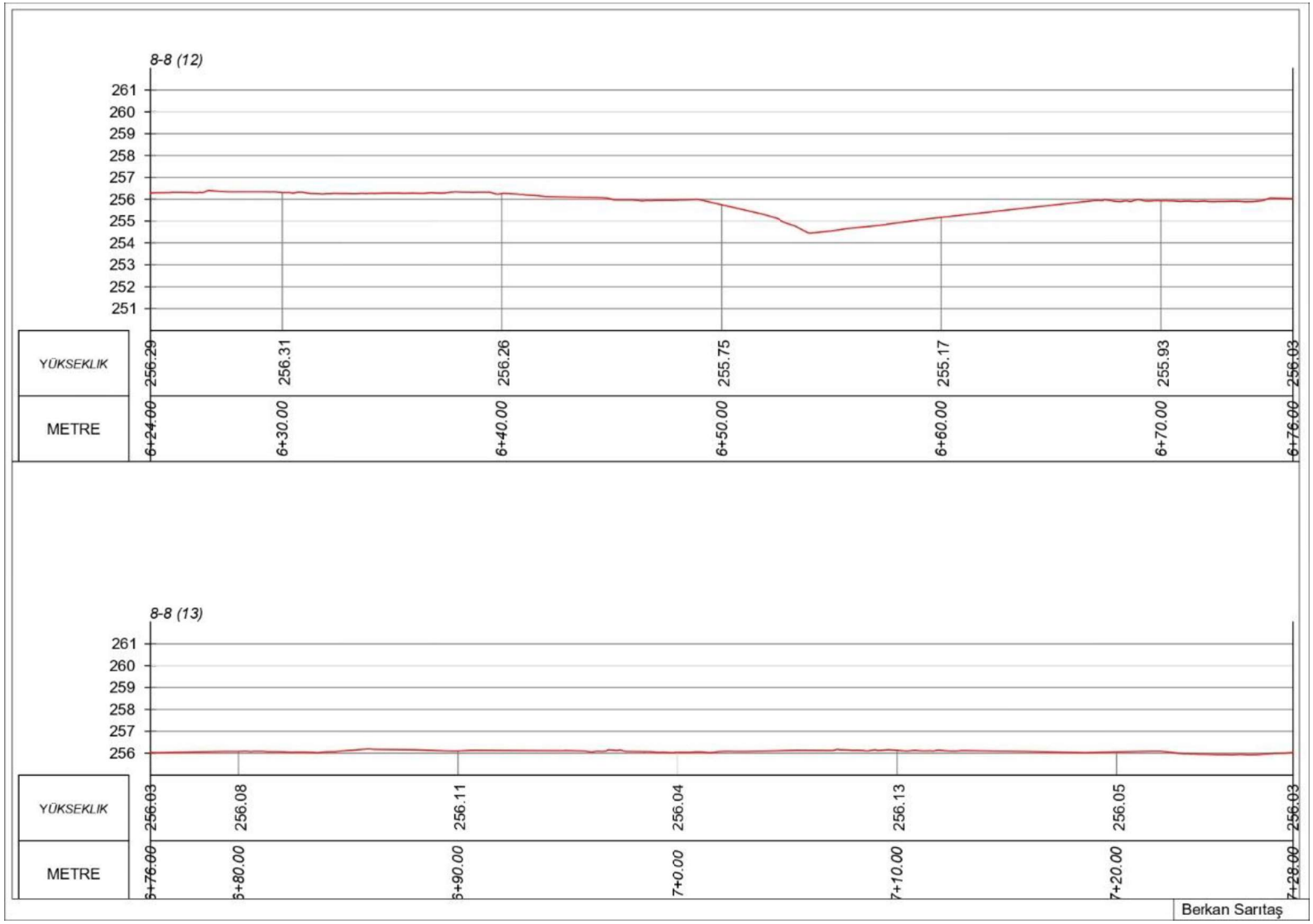

8-8 (2)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.14
259.04
259.13
259.15
258.98
258.94
258.87
1+44.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
8-8 (3)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.87
258.68
258.59
258.55
258.44
258.82
256.08
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

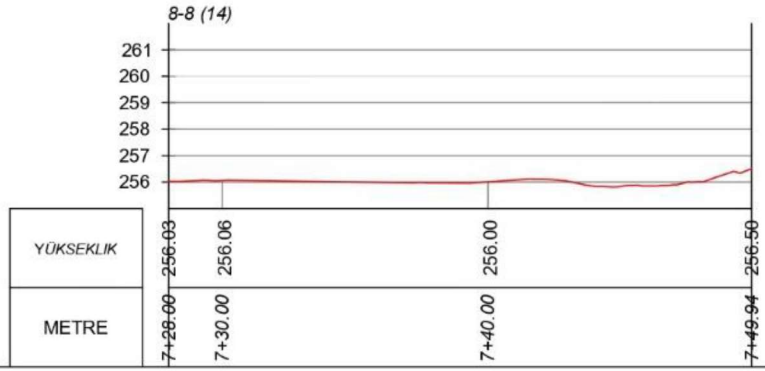

8-8 (4)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
256.08
255.72
258.09
259.10
258.87
256.55
253.82
2+00.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
8-8 (5)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
253.82
253.82
253.85
253.71
253.78
253.69
253.70
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


8-8 (6)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
253.70
255.20
258.23
258.03
257.34
257.35
257.46
METRE
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
8-8 (7)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
257.46
257.33
257.35
257.34
257.42
257.49
257.23
METRE
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş

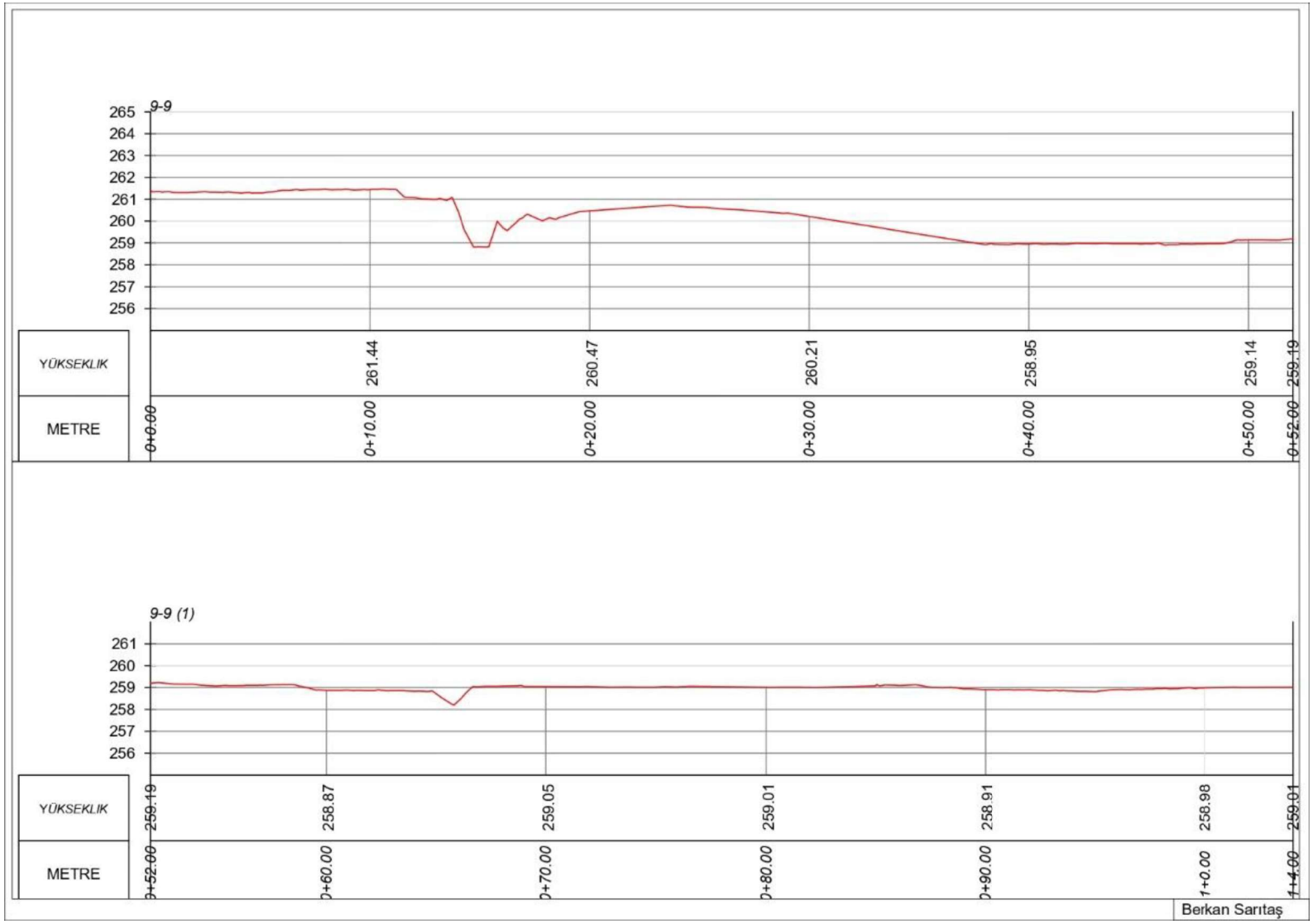

8-8 (8)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.23
257.12
257.24
257.28
257.37
257.42
257.13
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
8-8 (9)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.13
256.95
256.51
256.73
256.75
256.87
256.99
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş

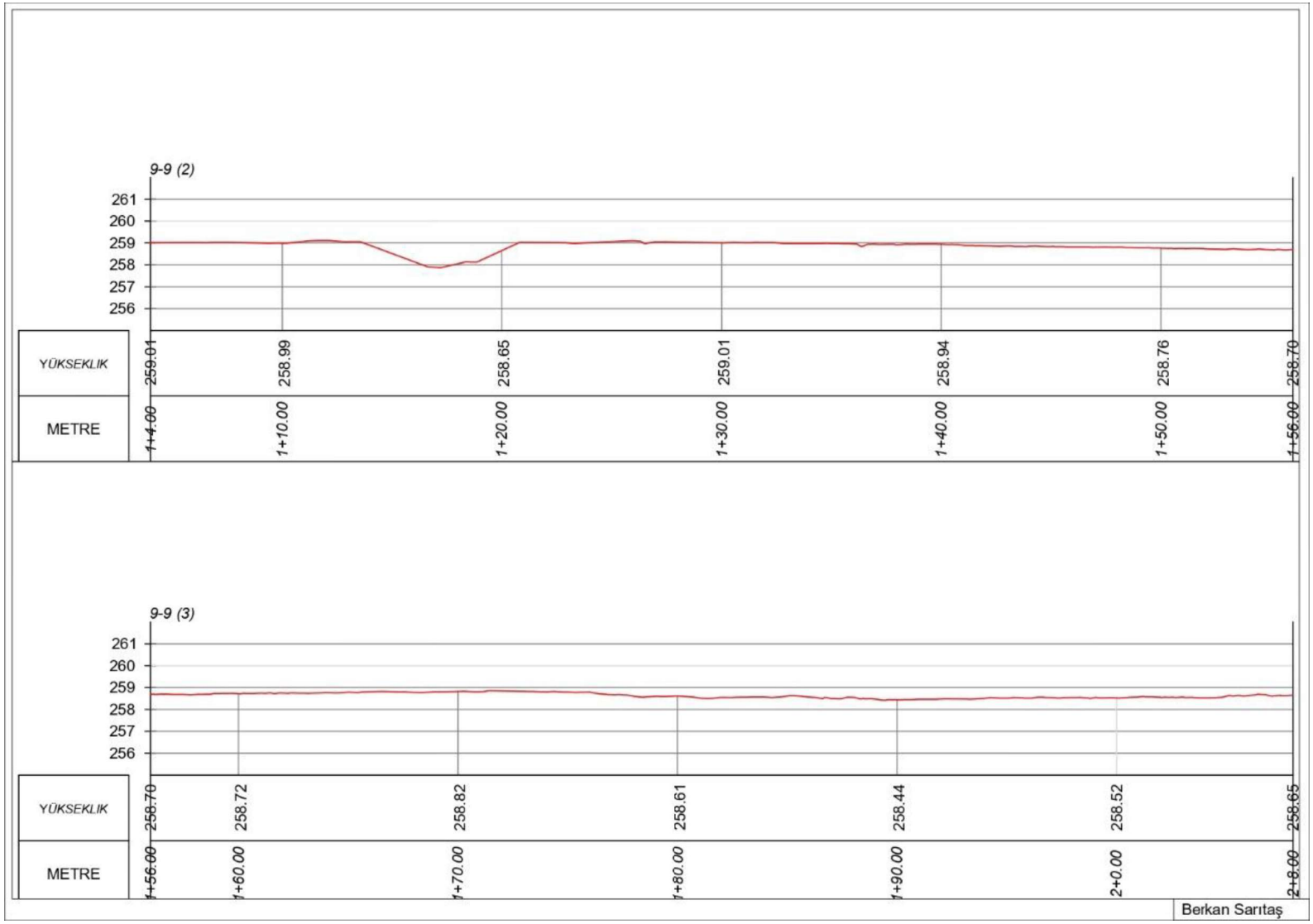

8-8 (10)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.99
256.89
257.06
257.04
256.86
256.72
256.70
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
8-8 (11)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.70
256.53
256.30
256.27
256.38
256.43
256.29
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş

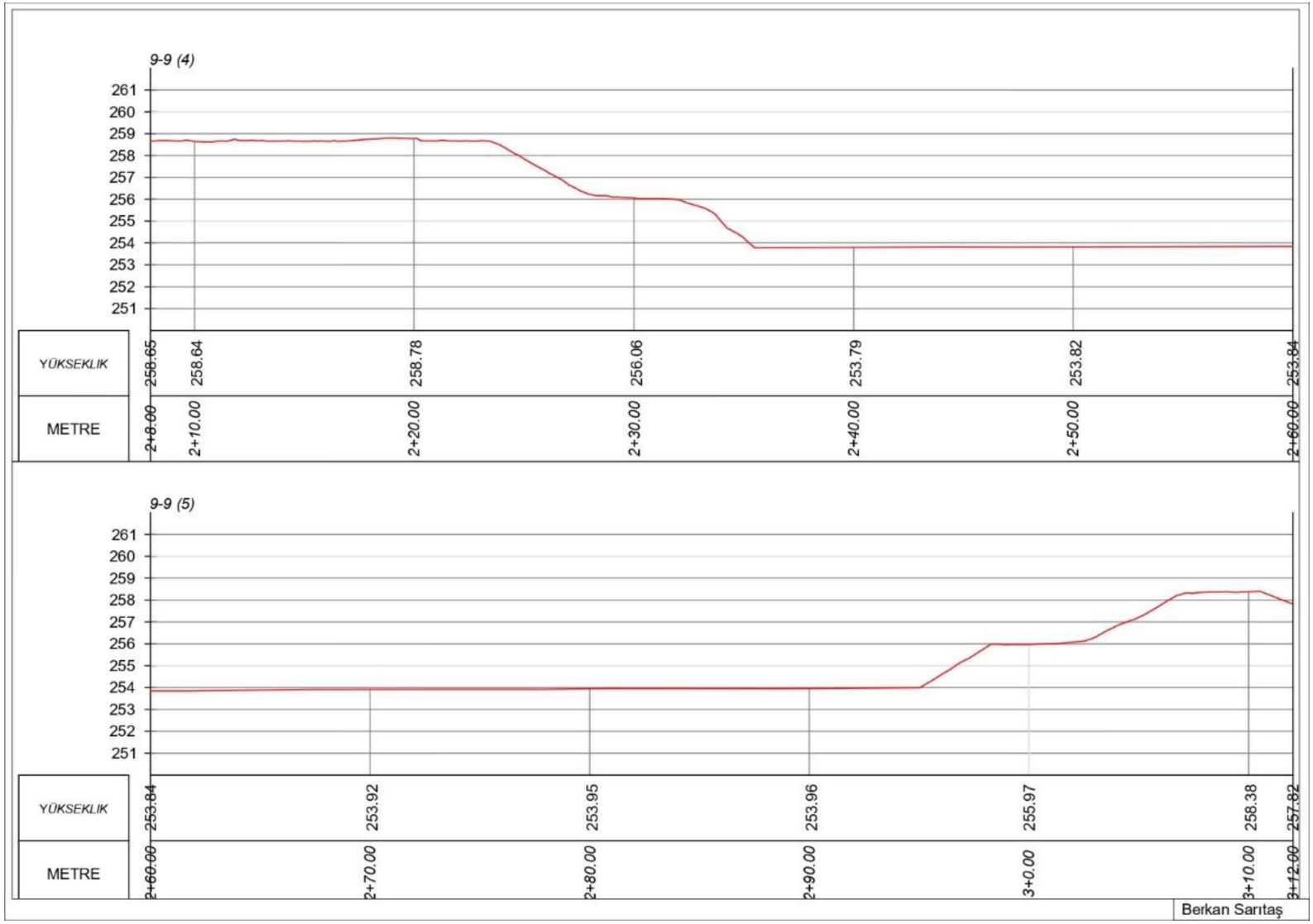

8-8 (12)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
256.29
256.31
256.26
255.75
255.17
255.93
256.03
METRE
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
8-8 (13)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
256.03
256.08
256.11
256.04
256.13
256.05
256.03
METRE
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş

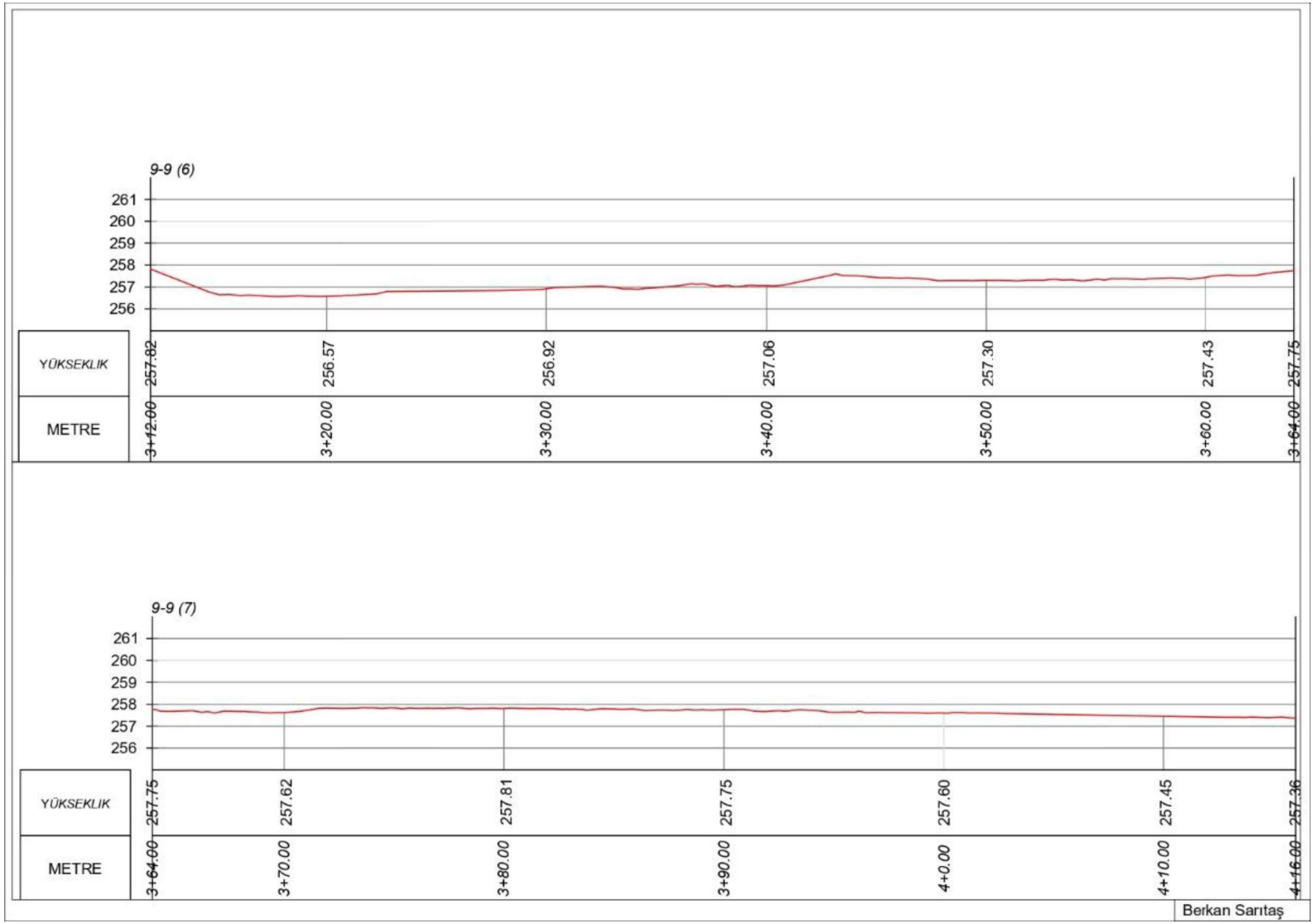


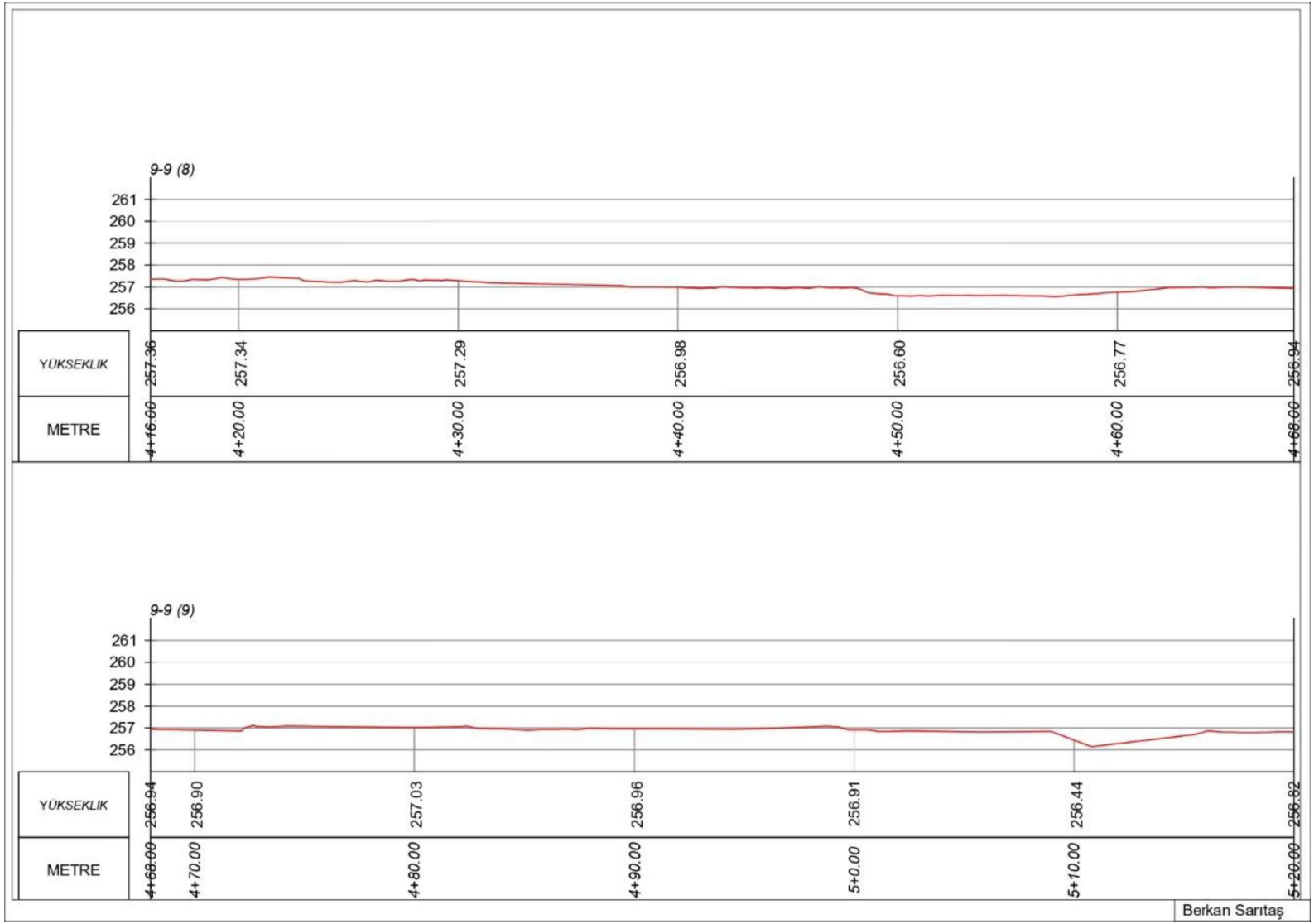
Berkan Sarıtaş

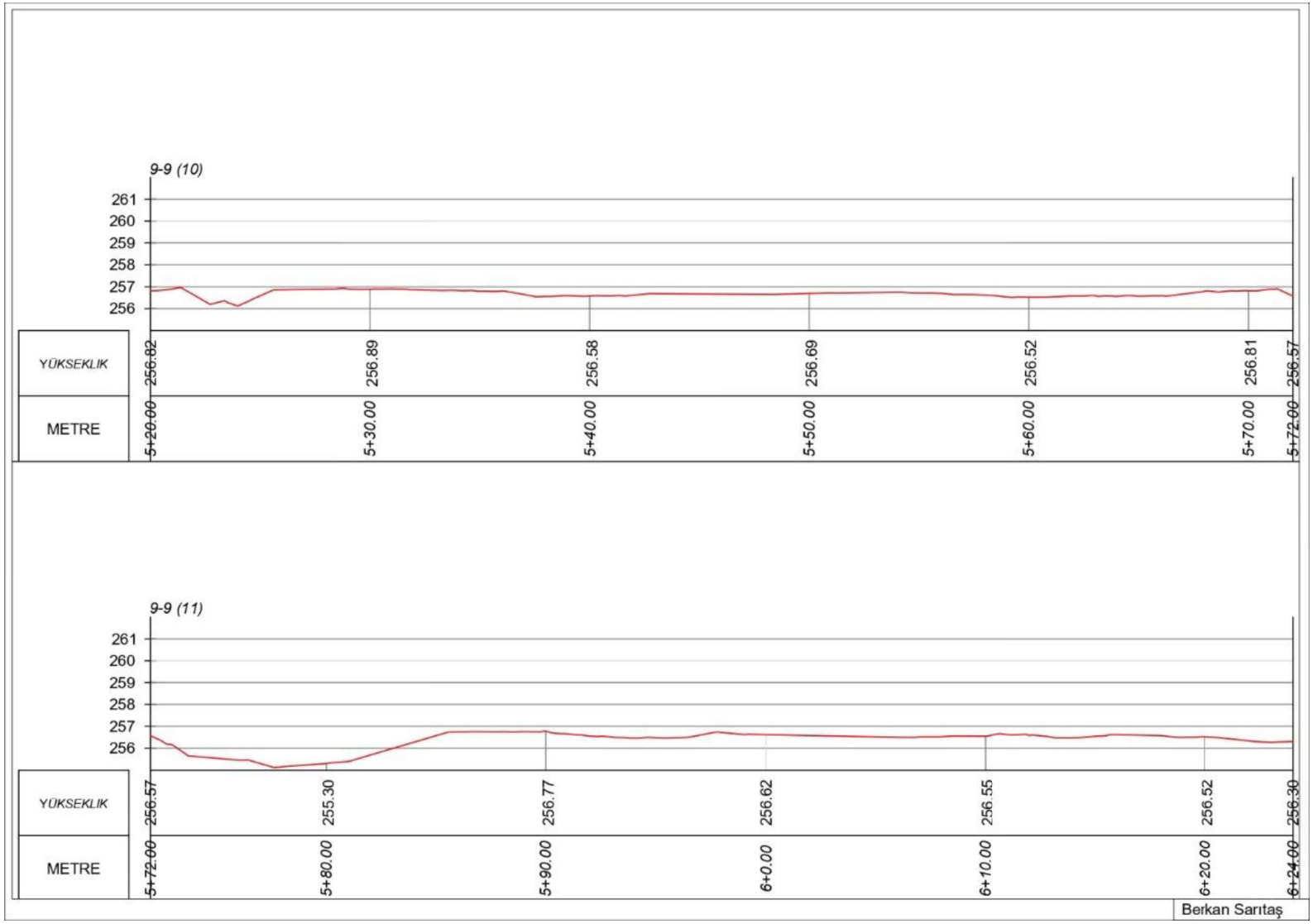

9-9
265
264
263
262
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
261.44
260.47
260.21
258.95
259.14
259.19
0+0.00
0+10.00
0+20.00
0+30.00
0+40.00
0+50.00
0+52.00
9-9 (1)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.19
258.87
259.05
259.01
258.91
258.98
259.01
0+52.00
0+60.00
0+70.00
0+80.00
0+90.00
1+0.00
1+4.00
Berkan Sarıtaş

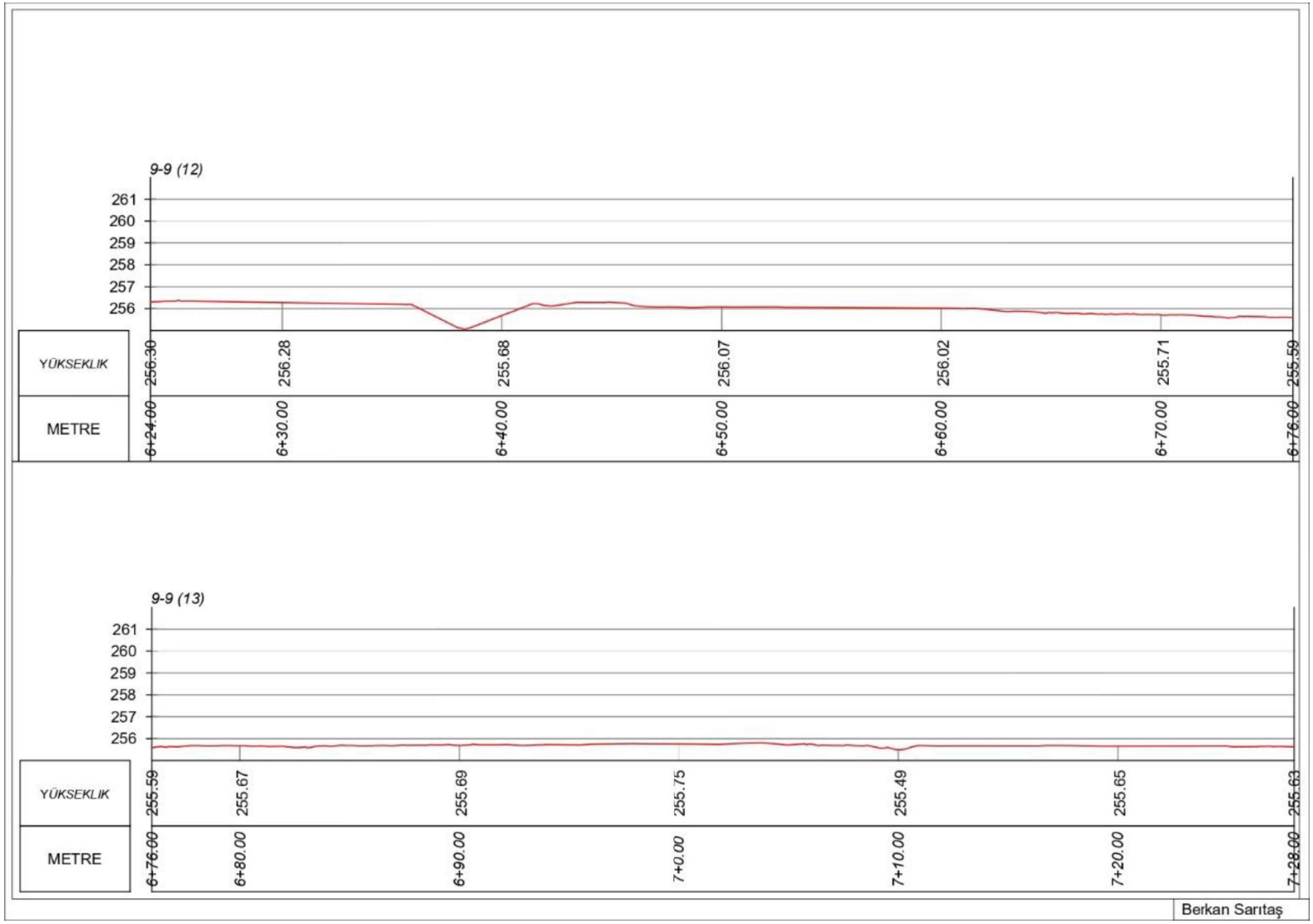

9-9 (2)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
259.01
258.99
258.65
259.01
258.94
258.76
258.70
1+4.00
1+10.00
1+20.00
1+30.00
1+40.00
1+50.00
1+56.00
9-9 (3)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
258.70
258.72
258.82
258.61
258.44
258.52
258.65
1+56.00
1+60.00
1+70.00
1+80.00
1+90.00
2+0.00
2+8.00
Berkan Sarıtaş

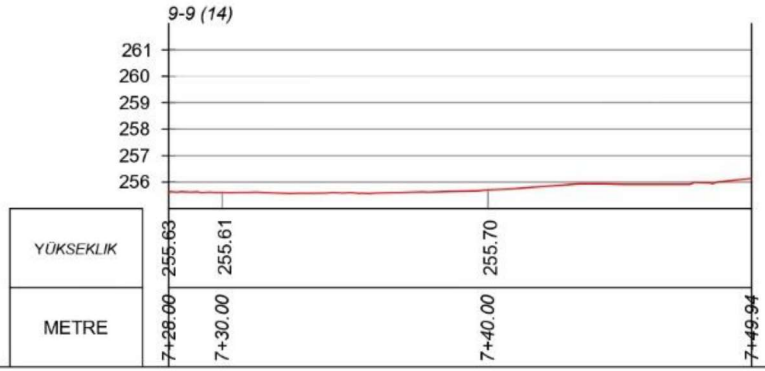

9-9 (4)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
258.65
258.64
258.78
256.06
253.79
253.82
253.84
2+00.00
2+10.00
2+20.00
2+30.00
2+40.00
2+50.00
2+60.00
9-9 (5)
261
260
259
258
257
256
255
254
253
252
251
YÜKSEKLIK
METRE
253.84
253.92
253.95
253.96
255.97
258.38
257.82
2+60.00
2+70.00
2+80.00
2+90.00
3+0.00
3+10.00
3+12.00
Berkan Sarıtaş


9-9 (6)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.82
256.57
256.92
257.06
257.30
257.43
257.75
3+12.00
3+20.00
3+30.00
3+40.00
3+50.00
3+60.00
3+64.00
9-9 (7)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.75
257.62
257.81
257.75
257.60
257.45
257.36
3+64.00
3+70.00
3+80.00
3+90.00
4+0.00
4+10.00
4+16.00
Berkan Sarıtaş


9-9 (8)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
257.36
257.34
257.29
256.98
256.60
256.77
256.94
4+16.00
4+20.00
4+30.00
4+40.00
4+50.00
4+60.00
4+68.00
9-9 (9)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.94
256.90
257.03
256.96
256.91
256.44
256.82
4+68.00
4+70.00
4+80.00
4+90.00
5+0.00
5+10.00
5+20.00
Berkan Sarıtaş


9-9 (10)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
256.82
256.89
256.58
256.69
256.52
256.81
256.57
METRE
5+20.00
5+30.00
5+40.00
5+50.00
5+60.00
5+70.00
5+72.00
9-9 (11)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
256.57
255.30
256.77
256.62
256.55
256.52
256.30
METRE
5+72.00
5+80.00
5+90.00
6+0.00
6+10.00
6+20.00
6+24.00
Berkan Sarıtaş


9-9 (12)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
256.30
256.28
255.68
256.07
256.02
255.71
255.59
6+24.00
6+30.00
6+40.00
6+50.00
6+60.00
6+70.00
6+76.00
9-9 (13)
261
260
259
258
257
256
YÜKSEKLIK
METRE
255.59
255.67
255.69
255.75
255.49
255.65
255.63
6+76.00
6+80.00
6+90.00
7+0.00
7+10.00
7+20.00
7+28.00
Berkan Sarıtaş



Berkan Sarıtaş

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0003-1429-0304

Ad Soyad : Berkan SARITAŞ

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2021-…, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı
- 2015-2019, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü
- 2023-…, Harita Mühendisi, Limak Construction Europe SL, Future Spotify Camp Nou Stadium Projesi / Ölçme – Etüt Birimi, Barcelona/İspanya

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Aydınlı, H. O., Ekincek, A., Aykanat-Atay, M., Sarıtaş, B., & Özenen-Kavlak, M. (2022). Sea surface temperature prediction model for the Black Sea by employing time-series satellite data: A machine learning approach. Applied Geomatics, 14(4), 669-678.
- Sarıtaş, B., Aydar, U., & Karademir, B. (2023). The Use of Terrestrial Laser Scanning Technology in the Documentation of Cultural Heritage: The Case of Bezmialem Valide Sultan Fountain. Advanced LiDAR, 3(1), 62-69.
- Sarıtaş, B., & Kaplan, G. (2023). Obtaining ground points using CSF Filter algorithm in various airborne LİDAR point cloud data. Intercontinental Geoinformation Days, 6, 379-382, Baku, Azerbaijan
- Sarıtaş, B., Aydar, U., & Karademir, B. (2023). Creation of a point cloud of a historical structure using the terrestrial laser scanning method–The Example of Bezmialem Valide Sultan Fountain. Advanced Engineering Days (AED), 7, 30-32.
- Sarıtaş, B., & Kaplan, G. (2023). Enhancing Ground Point Extraction in Airborne LiDAR Point Cloud Data Using the CSF Filter Algorithm. Advanced LiDAR, 3(1), 53-61.

- Sarıtaş, B., & Kaplan, G. (2023). A comprehensive study on enhanced accuracy analysis of LIDAR data. Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 7, 213-216, Peshawar, Pakistan

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2019-…, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, İstanbul