

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÖPRÜ AYAĞI MODELİ ETRAFINDAKİ OYULMA VE BİRİKME
DESENLERİNİN FOTOGRAMETRİ VE YERSEL LAZER TARAMA
YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Furkan ÇELİK

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÖPRÜ AYAĞI MODELİ ETRAFINDAKİ OYULMA VE BİRİKME
DESENLERİNİN FOTOGRAMETRİ VE YERSEL LAZER TARAMA
YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Furkan ÇELİK
(501131612)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zaide DURAN

HAZİRAN 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501131612 numaralı Yüksek Lisans Mehmet Furkan ÇELİK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KÖPRÜ AYAĞI MODELİ ETRAFINDAKİ OYULMA VE BİRİKME DESENLERİNİN FOTOGRAMETRİ VE YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Zaide DURAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şinasi KAYA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 6 Haziran 2016

Anneme, babama ve kardeşlerime,

ÖNSÖZ

Bu tez İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimim sırasında yazılmıştır. Bu çalışma sırasında bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Zaide Duran'a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam süresince her konuda yardımlarıyla yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Emin Özgür Avşar'a, Ar. Gör. Serpil Ateş Aydar'a, Ar. Gör. Elif Demir Özbek'e, Ar. Gör. Hasan Tonbul'a, Ar. Gör. Raşit Uluğ'a, Ar. Gör. Baha Bilgilioğlu'na, Ar. Gör. Dr. Hüseyin Mercan'a ve Dr. Umut Aydar'a anlayışları ve destekleri için teşekkür ederim.

Çalışmanın konusunu oluşturan deneylerde birlikte çalışma fırsatı bulduğum ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Oral Yağcı'ya teşekkür ederim.

Tez çalışması sırasında tanıştığım ve çalışma boyunca her konuda göstermiş olduğu destekten dolayı Işıl Yıldıırım'a teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, beni destekleyen ve cesaretlendiren, ulaştığım her başarıda en büyük paya sahip aileme en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Haziran 2016

Mehmet Furkan ÇELİK
(Geomatik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. KULLANILAN YÖNTEMLER	5
2.1 Lazer Tarama Teknoloji Tanımı.....	5
2.1.1 Lazer tarayıcı sistem geometrisi	5
2.1.2 Lazer tarayıcı çalışma prensipleri	6
2.1.2.1 Uçuş süresi esaslı lazer tarayıcılar	6
2.1.2.2 Faz farkı esaslı lazer tarayıcılar.....	8
2.1.2.3 Üçgenleme esaslı lazer tarayıcılar.....	8
2.2 Fotogrametri Tanımı	10
2.2.1 Fotogrametri'nin matematiksel modeli	10
2.2.2 Fotogrametri'nin sınıflandırılması	11
2.2.2.1 Hava fotogrametrisi.....	11
2.2.2.2 Yersel fotogrametri	12
3. UYGULAMA.....	13
3.1 Verilerin Elde Edilmesi	13
3.1.1 Yersel lazer tarayıcı verilerinin elde edilmesi.....	13
3.1.1.1 Yersel lazer tarayıcının teknik özellikleri	14
3.1.1.2 Deney verilerinin elde edilmesi	16
3.1.2 Fotogrametrik verilerin elde edilmesi	17
3.1.2.1 Dijital kameranın teknik özellikleri	17
3.1.2.2 Deney verilerinin elde edilmesi	18
3.2 Yersel Lazer Tarama ve Fotogrametri Verilerinin Analizi	19
3.2.1 Hacim analizleri	25
3.2.2 Yüzey geometrisi analizleri	31
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	41
EKLER	43
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR

SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
YLT	: Yersel Lazer Tarama
KOH	: Karese Ortalama Hata
SfM	: Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (Structure from Motion)
YKN	: Yer Kontrol Noktası

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Leica Scanstation C10 çözünürlük seçenekleri.	15
Çizelge 3.2 : Hava fotogrametrisine göre hesaplanan görüntüleme planı.	19
Çizelge 3.3 : Yükseklik farklarının KOH.	23
Çizelge 3.4 : Tüm yüzeyin ve bölgelerin referans düzleme göre hacim hesapları. ...	26
Çizelge 3.5 : Fotogrametri ve YLT yöntemleri ile hesaplanan hacimlerin ortalamasına göre KOH hesabı.	28
Çizelge 3.6 : Fotogrametri yöntemi ile hesaplanan hacimlerin ortalamasına göre KOH hesabı.....	29
Çizelge 3.7 : YLT yöntemine göre hesaplanan hacimlerin ortalamasına göre KOH hesabı.	30
Çizelge 3.8 : En yüksek ve en düşük kotlar.	31
Çizelge 3.9 : Oyulma hacmi ve genişliği.	32
Çizelge 3.10 : Oyulma konisinde akım yönünde oluşan eğim.	33
Çizelge 3.11 : Enterpolasyon yöntemine göre veri elde etme yöntemlerinin kıyaslanması.....	34
Çizelge 3.12 : Veri elde etme yöntemine göre enterpolasyon yöntemlerinin birbirleriyle kıyaslanması	35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.4 : Lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.	5
Şekil 2.4 : Yersel lazer tarayıcı koordinat sistemi.	6
Şekil 2.4 : Uçuş süresi esasına dayalı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.	7
Şekil 2.4 : Faz farkı esaslı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.	8
Şekil 2.4 : Üçgenleme esaslı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.	9
Şekil 2.4 : Fotogrametrinin matematiksel modeli.	11
Şekil 3.1 : Deneyin yapıldığı kanal.....	13
Şekil 3.2 : Deneyin yapıldığı kanalın sanal gösterimi.	14
Şekil 3.3 : Çalışmada kullanılan Leica Scanstation C10 görseli.	14
Şekil 3.4 : Leica Scanstation C10 teknik özellikleri.....	15
Şekil 3.5 : Lazer tarama istasyon noktalarının planlaması (a), plana uygun verilerin elde edilmesi (b).....	16
Şekil 3.6 : Lazer tarayıcı istasyon noktası örneği.	16
Şekil 3.7 : Lazer tarama verisi örneği.	17
Şekil 3.8 : Çalışmada kullanılan dijital kamera görseli.	17
Şekil 3.9 : Fotoğraf çekimi planlaması (a), plana uygun görüntülerin elde edilişi (b).....	18
Şekil 3.10 : Yüksek çözünürlük verilerinin yükseklik değerlerinin ortalama değere göre sapmaları.	24
Şekil 3.11 : Orta çözünürlük verilerinin yükseklik değerlerinin ortalama değere göre sapmaları.	24
Şekil 3.12 : Düşük çözünürlük verilerinin yükseklik değerlerinin ortalama değere göre sapmaları.	24
Şekil 3.13 : a) Tüm yüzey, b) düz bölge, c) oyulma bölgesi, d) birikme bölgesi, e) dalgalı bölge.....	25
Şekil 3.14 : Hacim hesaplarında kullanılan referans düzlemi.	27
Şekil 3.15 : Oyulma genişliği.	32
Şekil 3.16 : Yersel lazer tarama verisi ile oyulma konisinde akım yönünde hesaplanan eğim örneği.	33
Şekil 3.17 : Silindir merkezi boyunca IDP yöntemi ile oluşturulan yüzey üzerinden üretilen enkesitler.....	34
Şekil A.1 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden IDW enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.	45
Şekil A.2 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden kriging enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.	46
Şekil A.3 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden NN enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.	47

Şekil A.4 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden lineer enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.	48
Şekil A.5 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden IDW enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.	49
Şekil A.6 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden kriging enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.	50
Şekil A.7 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden NN enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.	51
Şekil A.8 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden lineer enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.	52
Şekil B.1 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden IDW enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.....	53
Şekil B.2 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden kriging enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.....	54
Şekil B.3 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden NN enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.....	55
Şekil B.4 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden lineer enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.....	56
Şekil B.5 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden IDW enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.....	57
Şekil B.6 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden kriging enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.	58
Şekil B.7 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden NN enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.	59
Şekil B.8 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden lineer enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.	60

KÖPRÜ AYAĞI MODELİ ETRAFINDAKİ OYULMA VE BİRİKME DESENLERİNİN FOTOGRAMETRİ VE YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Köprü ayakları akarsular içine inşa edildiklerinde akım çevresinde, akımın izlediği yola bağlı olarak köprü ayağının yerleştirildiği akarsu yatağında ve kum yüzeyinde çeşitli oyulma ve birikme bölgeleri oluştururlar. Bu bağlamda İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda köprü ayağı modeli etrafında oluşan oyulma ve birikme desenlerinin incelenmesi için deneyler yapılmıştır. Deney öncesinde düz bir yüzey haline getirilen kum, deney sırasında geçen su akımı ile birlikte akım-yapı etkileşimine bağlı olarak bir desen oluşturmuştur. Bu desen; köprü ayağı modeli önünde düz bir yüzey, model etrafında oyulma konisi, oyulma konisi ilerisinde birikme ve son bölümde de dalgalı bir kum yüzeyi olarak meydana gelmektedir. Bu desenlerin modelleri çıkarılarak oyulma konisinin derinliğinin, genişliğinin, akım doğrultusunda her iki yöndeki eğiminin, birikmenin şeklinin, hacminin, yüksekliğinin, ve son bölümde oluşan dalgalı yapının incelenmesi, modelin boşluklu yapısının akım ve yapay taban üzerindeki etkisinin anlaşılması açısından önemlidir.

Yukarıda bahsedilen deneylere ait yüzey modellerinin incelenmesi için yapılan çalışmada yersel lazer tarayıcı ile elde edilen düşük, orta ve yüksek çözünürlükteki nokta bulutları ve fotogrametrik modelden üretilen düşük, orta ve yüksek çözünürlükteki nokta bulutları; kriging, doğal komşuluk, lineer ve ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemleri ile enterpole edilerek yüzey modelleri oluşturulmuştur.

Öncelikle veri çözünürlüğün yüzey modeli oluşturulmasına etkisinin analizi için her iki yöntemle elde edilen her bir çözünürlükteki nokta bulutları yukarıda açıklanan yöntemler ile enterpole edilmiştir. Bu enterpolasyon sırasında gridlerin başlangıç koordinatları (X, Y, Z) ve grid aralıkları (1 mm) sabit alınmıştır. Üretilen grid noktaları kullanılarak Z eksenindeki farklardan karesel ortalama hata (KOH) hesabı yapılmıştır. Hesaplanan KOH değerleri çözünürlüğe ve enterpolasyon yöntemine bağlı olarak 0.1 mm ile 0.8 mm arasında değişim göstermektedir.

Daha sonra enterpolasyon yöntemlerinin, veri türünün ve farklı çözünürlüklerin hacim hesabına etkisinin araştırılması için, iki veri türünde de, her bir enterpolasyon yöntemi kullanılarak her bir çözünürlükte sayısal yükseklik modelleri (SYM) üretilmiştir. Veri türü ve enterpolasyon yöntemleri sabit tutularak referans düzleme (9.000 m) göre hesaplanan hacimlerde çözünürlüğün hacim hesabında anlamlı bir farka neden olmadığı görülmüştür. Enterpolasyon yönteminin; çalışma alanında bulunan dört farklı bölgedeki performansını gözlemlemek amacıyla her bir bölgenin SYM'ler oluşturulmuş ve referans düzleme göre hacimleri hesaplanmış ve bölgeler toplamından gelen hacim değerleri, tüm yüzey kullanılarak yapılan hacim ile karşılaştırılmıştır. Doğal komşuluk ve lineer enterpolasyon yöntemleri çalışmada kullanılan diğer iki yönteme göre farklılıklar göstermiştir. Çalışmada kullanılan veri

elde etme yöntemleri kendi içinde çözünürlüğe ve enterpolasyon yöntemine göre hesaplanan hacme bağlı olarak kıyaslanmıştır. Her iki veri türü için de doğal komşuluk yönteminde hata miktarının en yüksek olduğu belirlenmiştir. Enterpolasyon yöntemlerinin farklılığı her iki veri türü için de kum yüzeyinin en yüksek ve en düşük kotları arasında en fazla 1 mm'lik bir farka sebep olmaktadır. Veri türleri kıyaslandığında ise fotogrametri yöntemi en yüksek kotu, yersel lazer tarama yöntemine göre 5 mm düşük, en yüksek kotu ise 4 mm yüksek olarak göstermektedir. Oyulma konisinin hacmi fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri arasında ortalama olarak 450 cm^3 (%4) farklı çıkmıştır. Oyulma genişliği ise her iki yönteme göre 0.3 mm farklılık göstermiştir. Oyulma konisinin akım yönünde oluşan eğimi ise veri elde etme yöntemlerine yaklaşık olarak %2'lik farklılık göstermiştir. Veri türleri kendi içinde kıyaslandığında enterpolasyon yöntemlerinin eğim hesabına etkisinin olmadığı görülmüştür. Yapılan deneylerde laboratuvar koşulları, su akımındaki değişiklikler, kum özellikleri, deney öncesi kum yüzeyinin düzlemsel farklılıkları gibi etkenlerden kaynaklanan hatalar göz önüne alındığında hem fotogrametri hem yersel lazer tarama ölçmelerinden ve enterpolasyon yöntemlerinden kaynaklanan hataların göz ardı edilecek seviyede olduğu düşünülmektedir.

THE INVESTIGATION OF SCOUR AND DEPOSITION PATTERN AROUND PIER MODEL WITH PHOTOGRAMMETRY AND TERRESTRIAL LASER SCANNING

SUMMARY

When engineers design a structure, they have to consider the potential negative effects of their design and take some precautions against them. Similar to other engineering structures bridges cause significant changes near the structure. When a bridge pier placed in a river significant changes may occur on the surface of the river bed, near the structure because of change in the flow. To investigate these changes, a set of experiments were conducted in an open flow channel in Istanbul Technical University Hydraulics Laboratory.

The channel where the experiments were conducted is 26 m in length. In order to see the scour pattern, by using a false bottom, a 3.5 m long sand pool was placed in the middle of the channel. Before the experiments, the pier model was fixed to the channel bed and the sand bottom was smoothed out. While the flow passed around the pier model, a pattern on the sand bottom occurred because of the flow-body interaction. This pattern was shown as four areas around the model. These four areas are a smooth surface before the pier model, a conical scour hole around the pier model, a deposition area after the pier model and a rippled area at the end of the sand bottom. In order to understand the effect of porosity of the pier model on the flow characteristics and the sand bottom pattern, three dimensional models were created by using laser scanning and photogrammetric method. From these models, scour volume and scour depth, scour width, slopes of the scour hole on both flow directions, shape and volume of the deposition were determined.

In the study, which was carried out for the analysis of surface models of the abovementioned experiments; first, point clouds in low, medium and high resolutions, which were produced through terrestrial laser scanning. Since the channel was 2.5 high from the ground and the area around the channel was not enough to set the terrestrial laser scanner, six different setup location were used as station points. These six point clouds that was obtained from the terrestrial laser scanner registered by using black and white targets, which were placed around the working area. Secondly, point clouds in low, medium and high resolutions were produced through photogrammetric models. In order to create photogrammetric models from images seventy-five images were taken by using digital camera, which has high resolution. Flight planning principal of aerial photogrammetry was used in order to calculate base and band length and then these parameters were used while obtaining images. The images of the working area were taken from 1.5 m height by using 50 mm lens. The data obtained from these two methods were interpolated through kriging, natural neighborhood, linear and inverse distance weighted interpolation methods so that surface models were created.

Firstly, point clouds in each resolution, which were produced through both methods, have been interpolated through abovementioned methods for the analysis of the impact of data resolution on the creation of surface model. During this interpolation, initial coordinates of grids (X, Y, Z) and grid spaces (1 mm) have been fixed. Root-mean-square error (RMS) calculation has been made from the differences in Z axis by using the produced grid points. Calculated RMS values range between 0.1 mm and 0.8 mm based on resolution and interpolation method.

Then, numeric height models were produced in each resolution by using each interpolation method in both data types in order to research the impact of interpolation methods, data type and different resolutions on the volume calculation. The data types were compared within themselves according to the volumes, which were obtained from terrestrial laser scanning and photogrammetric methods. The RMS of the average volume that was produced by photogrammetric method was 336 cm³. The RMS of the average volume that was produced by terrestrial laser scanning method was 329 cm³. Data type and interpolation methods were applied and it has been realized that resolution does not lead to any meaningful difference in volumes, which are calculated in accordance with the reference plane (9.000 m).

In order to observe the performance of interpolation method in four different areas in the working area, SYMs have been created for each area and their volumes have been calculated in accordance with the reference plane; volume values obtained from total area have been compared to the volume of the whole surface. Natural neighborhood and linear interpolation methods have indicated differences compared to the other two methods which are used in the study.

Data collection methods in the study have been compared within themselves based on the volume which is calculated in accordance with the resolution and interpolation method. It has been determined that error level is at the highest level in natural neighborhood method for both data types. Difference between interpolations methods lead to a difference of 1 mm at max. between the highest and the lowest grades of sand surface for both data types.

When data types were compared, photogrammetric model shows the highest grade 5 mm lower and the lowest grade 4 mm higher in accordance with the terrestrial laser scanning method. Volume of the scouring cone has differed in average 450 cm³ (4%) between photogrammetric and terrestrial laser scanning methods. Scour width has differed as 0.3 mm compared to both methods.

When data types were compared within themselves, it was realized that there is no impact of interpolation methods on the calculation of inclination. Inclination of scouring cone in flow direction has differed as approximately 2 % compared to data collection methods.

Profiles and cross-sections of the sand bottom according to the center of the cylindrical pier model were created. These profiles and cross-sections were analyzed according to both data type and interpolation method, then compared according to height. The comparison showed that there were no significant differences for the cross-sections while there were some differences between profiles between the two methods. The reason behind the differences in the profiles were considered as the difference of the heights, which were caused, by the method differences.

When errors in the experiments arising out of such factors as laboratory conditions, changes in water flow, sand characteristics and planar differences of the sand surface

prior to experiments were taken into consideration, it was thought that errors arising out of both photogrammetric and terrestrial laser scanning measurements and interpolation methods can be ignored.

Considering the results of the study, both photogrammetric and terrestrial laser-scanning methods can be used for this kind of applications. For different interpolation methods, photogrammetric and terrestrial laser-scanning methods showed some differences. Yet, these differences were considered negligible.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Köprü ayakları akarsular içine inşa edildiklerinde akım çevresinde çeşitli değişikliklere yol açarlar. Bu değişiklikler, akımın izlediği yola bağlı olarak köprü ayağının yerleştirildiği akarsu yatağında ve kum yüzeyinde çeşitli oyulma ve birikme bölgeleri oluştururlar. Köprü ayağı çevresindeki oyulma bölgesi; derinliğine bağlı olarak yapı stabilitesinin bozulmasına sebep olur. Bu da köprünün yıkılmasına kadar varabilecek hasarlara neden olabilir. Bu tarz hasarların önüne geçebilmek amacıyla oyulma ve birikmeyi azaltmaya odaklanan çalışmalar yürütülmektedir.

Bu amaçla bitkilerle yapılan deneysel çalışmalarda, bitkilerdeki boşluklu yapının oyulmayı azalttığı görülmüştür. Bu gözlemden yola çıkıldığında köprü ayaklarında da boşluklu bir yapının oluşturulmasının oyulmayı azaltılabileceği fikri ortaya çıkmıştır.

Bu bağlamda İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda köprü ayağı modeli etrafında oluşan oyulma ve birikme desenlerinin incelenmesi amacıyla deneyler yapılmaktadır. Bu deneyler; içine 3.5 m uzunluğunda yapay bir kum taban yerleştirilen 26 m uzunluğundaki akım kanalında gerçekleştirilmiştir. Deney öncesinde düz bir yüzey haline getirilen kum, deney sırasında geçen su akımı ile birlikte akım-yapı etkileşimine bağlı olarak bir desen oluşturmuştur. Bu desen; köprü ayağı modeli önünde düz bir yüzey, model etrafında oyulma konisi, oyulma konisi ilerisinde birikme ve son bölümde de dalgalı bir kum yüzeyi olarak meydana gelmiştir.

Bu desenlerin modelleri çıkarılarak oyulma konisinin derinliğinin, genişliğinin, akım doğrultusunda her iki yöndeki eğiminin, birikmenin şeklinin, hacminin, yüksekliğinin, ve son bölümde oluşan dalgalı yapının incelenmesi, modelin boşluklu yapısının akım ve yapay taban üzerindeki etkisinin anlaşılması açısından önemlidir.

Bu tez kapsamında bu desenlerin incelenmesi amacıyla lazer tarama ve fotogrametri yöntemleri ile elde edilen veriler değerlendirilerek analiz edilmiştir. Lazer tarama

yöntemi için lazer ışınının gidiş geliş süresinin (time of flight) hesabı ile çalışan yersel lazer tarayıcı, fotogrametrik değerlendirme için ise yüksek çözünürlüklü dijital kamera ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Her iki yöntemden farklı çözünürlükte veriler elde edilmiş ve farklı enterpolasyon yöntemleri ile sayısal arazi modelleri üretilmiştir. Sensörlerin her ikisinden elde edilen düşük, orta ve yüksek çözünürlükte verilerden; ters mesafe ağırlıklı (IDW), kriging, doğal komşuluk (NN) ve lineer enterpolasyon yöntemleri ile üretilmiş SYM'lerinden gridler oluşturulmuştur. Üretilen gridlerde derinlik (z) eksenindeki farklılıklar incelenerek her iki veri elde etme yönteminde ve farklı enterpolasyon yöntemlerinde verinin çözünürlüğün SYM üretimindeki etkisi araştırılmıştır. Daha sonra her bir veri türü ve her bir enterpolasyon yöntemi için optimum çözünürlükteki veri kullanılarak sayısal arazi modelleri oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Son olarak hidrolik açıdan ele alınması gerekli olan parametreler hesaplanarak aralarındaki farklılıklar incelenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Fan ve Atkinson (2015) tarafından yapılan çalışmada, arazi yüzey özelliklerinin SYM doğruluğuna etkisini incelemek amacı ile 3 farklı yüzey özelliğine sahip bölgeyi temsil eden yersel lazer tarama (YLT) ölçme verileri değerlendirilmiştir. Leica Stanstation C10 lazer tarayıcı kullanılarak yapılan ölçmeler eğik, düz ve engebeli yüzey olmak üzere 3 farklı yüzeyde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya göre SYM üretiminde en çok kullanılan veri yapılarından biri düzensiz üçgen ağıdır. Bu uygulamada lineer enterpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş düzensiz üçgen ağı veri modeli kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüğe sahip referans verisi (örneğin YLT verisi) için daha karmaşık enterpolasyon yöntemi kullanılması amacı ile dengeleme işlemi yapılmıştır. Yine bu çalışmaya göre SYM doğruluğunun belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem KOH yöntemidir. SYM'lerin doğruluk değerlerinin belirlenmesinde incelenen iki hata bileşeni SYM'leri oluşturan noktalara atanan yükseklik değerlerindeki hatalar ve enterpolasyon hataları olarak sıralanmıştır. SYM'lerindeki hatalar genellikle bu iki bileşenin kombinasyonundan meydana gelmiştir. SYM'lerin doğruluğunun KOH cinsinden tanımı ile lineer regresyon modelleri birbiri ile uyumlu sonuçlar göstermiştir. Her iki yöneme göre; YLT nokta verisi yoğunluğunun artması ile KOH değerleri de artmaktadır. Karesel ortalama hata değerlerindeki farklılıklar ile yüzey karmaşıklığının SYM'lerin doğruluğuna

etkisinin önemli olabileceği öngörülmüştür. Çalışmada engebeli yüzey dikkate alınan diğer tüm yüzeyler (düz ve eğik yüzey) arasından en zorlu olanı olarak ortaya konulmuştur.

Jensen ve Mathews (2016) tarafından yapılan çalışma Teksas merkezinde bulunan Teksas Üniversitesi'ne ait olan Edwards platosunun yaklaşık 15 hektar büyüklüğündeki bir bölümünde gerçekleştirilmiştir. SfM (Structure from Motion - Hareket Tabanlı Yapısal Algılama) ile elde edilen görüntü bindirilmesi ve çalışma alanında yeterli kapsamanın sağlanması için çalışma alanına ait 1166 görüntü elde edilmiştir. SfM mozaığının belirlenen coğrafi koordinat sistemine dönüşümü için görüntü alımından önce 8 adet YKN araziye tesis edilmiştir. Tüm YKN'ları Trimble GeoXH GPS ile ölçülmüştür. SfM ile elde edilen görüntü mozağından; nokta bulutu Agisoft PhotoScan yazılımı ile otomatik olarak üretilmiştir. Agisoft PhotoScan yazılımı ile üretilen nokta bulutları koordinatsız ve ölçeksiz olduğundan nokta bulutunun koordinatları bilinen YKN'lar yardımı ile manuel olarak coğrafi referanslandırılması gerçekleştirilmiştir. Agisoft PhotoScan yazılımından elde edilen düşük çözünürlüklü nokta bulutu yaklaşık dokuz milyon nokta veya başka bir deyişle metrakarede 198 nokta içermektedir. Aynı çalışmada, SfM ve LiDAR verisinden SYM üretmek amacı ile doğal komşuluk kullanılmış ve üretilen modeller karşılaştırılmıştır. GPS ölçmeleri yapılan 16 noktanın, her iki veri türü için üretilen SYM'ler üzerinde karşılık gelen noktalar ile arasındaki farklar hesaplanmıştır. Buna ek olarak LiDAR verisinden üretilen SYM, SfM verisinden üretilen SYM'inden çıkartılarak düşey hataların çalışma alanındaki konumsal dağılımı belirlenmiştir. LiDAR verisinden elde edilen noktalar çalışma bölgesine eşit olarak dağılım gösterirken, SfM veri setindeki noktalar ise yüksek yoğunlukta kümelenmiş olup çalışma bölgesinin büyük bir bölümünde bulunmamaktadır. Nokta yüksekliklerinin tahmininde SfM verisi LiDAR verisine göre yaklaşık iki kat kadar hata içermektedir. Yine bu çalışmaya göre model tahminleri arasındaki farklar ve LiDAR verisi ve SfM verisi arasında hesaplanan hatalar çok küçüktür ve farklı sınıflandırma algoritmaları veya sayısal arazi modeli çözünürlüğü gibi etkenlerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Belirli bir bölgede gerçekleştirilen bu çalışma ile SfM ile elde edilen nokta bulutu verisinin bitki örtüsü olan bazı bölgelerde yüksek doğruluklu SYM üretiminde kullanılabileceği, kapalı kanopi bölgelerinde çok iyi sonuç vermediği ortaya konmuştur.

Glenn ve arkadaşları (2016) entepole edilmiş SYM'lerinin doğruluklarında; kesit alınan yerin, alınan kesitlerin aralıkları ve entepolasyon yöntemlerinin etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Lokal ölçekte SYM'lernin arasında derinlik ve yükseklik hatalarının nasıl dağıldığını belirlemek amacı ile her bir yüzey boyunca yükseklik değişiminin KOH ve ortalama hatası, yüzey alanının plan alanına oranı, su derinliği varyasyonunun katsayısı ve oluşturulan yüzey modelleri arasındaki farklar kullanılmıştır. Çalışma alanına ait veriler farklı entepolasyon yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Kartezyen koordinatlara delaunay üçgenlemesi ve doğal komşuluk, coğrafi koordinatlara ise delaunay üçgenlemesi, kriging ve lineer entertpolasyon yöntemleri uygulanmıştır. Topografik yüzeyler arasındaki farkların belirlenmesinde; SYM'inde birbirine karşılık gelen noktalarda yükseklik farklarının SYM'ini üreten bir yazılım kullanılmıştır. Bu çalışmada batimetri doğruluğunun belirlenmesinde; entepolasyon yönteminin, entepolasyon yönteminde kullanılan koordinat sisteminin seçilmesinden daha az bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. SYM'leri karşılaştırıldığında; kartezyen koordinatlarda delaunay üçgenlemesi ve doğal komşuluk entepolasyon yöntemlerinin kısıtlı modelleme yetenekleri açıkça görülmektedir. Üretilen SYM'ler karşılaştırıldığında alınan kesitlerin konumu ve entepolasyon yöntemlerinin anlamlı bir farka sebep olmadığı çalışma sonucunda ortaya konulmuştur.

2. KULLANILAN YÖNTEMLER

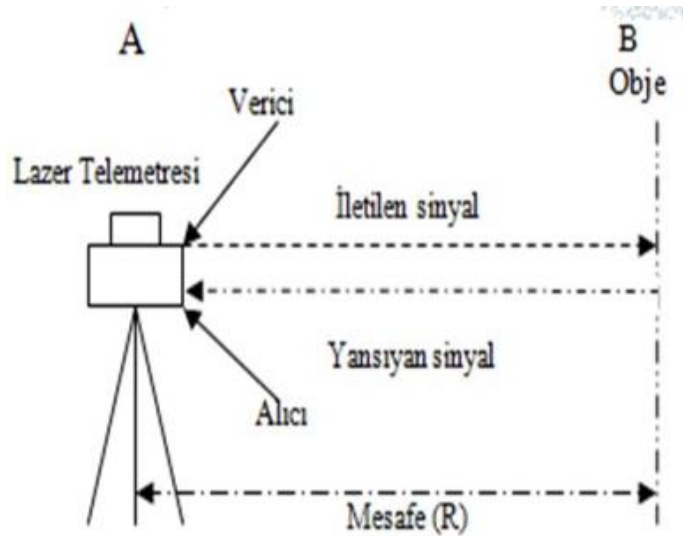
2.1 Lazer Tarama Teknoloji Tanımı

Lazer tarama sistemleri, son yıllarda olağanüstü gelişmelere konu olmuş ve şüphesiz son bin yılda ortaya çıkan en önemli mekânsal veri edinim teknolojisi haline gelmiştir (Shan ve Toth, 2008).

Lazer tarama, yüzey tabanlı üç boyutlu bir ölçme tekniğidir. Sistematik bir modelde yapılan bir tarama sonucunda çok miktarda nokta elde edilir. Ham verilerin işlenmesinden sonra ortaya çıkan nihai sonuç; taranmış resimler, CAD modelleri, üç boyutlu yüzey modelleri ve video animasyonları olabilir. 3 boyutlu lazer tarayıcılar, mühendislik ve yapılar için bina ve peyzaj çizimlerinin oluşturulmasında kullanılmasının yanı sıra tasarım, geliştirme, kalite kontrol ve hızlı prototiplendirme amaçları için endüstride de kullanılmaktadır (Boehler ve Marbs, 2004).

2.1.1 Lazer tarayıcı sistem geometrisi

Lazer tarayıcı sistemleri, lazer sensörleri ile nesne arasındaki mesafeyi lazer ışığından gönderilen ve alınan sinyaller yardımıyla hesaplamaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.4 : Lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.

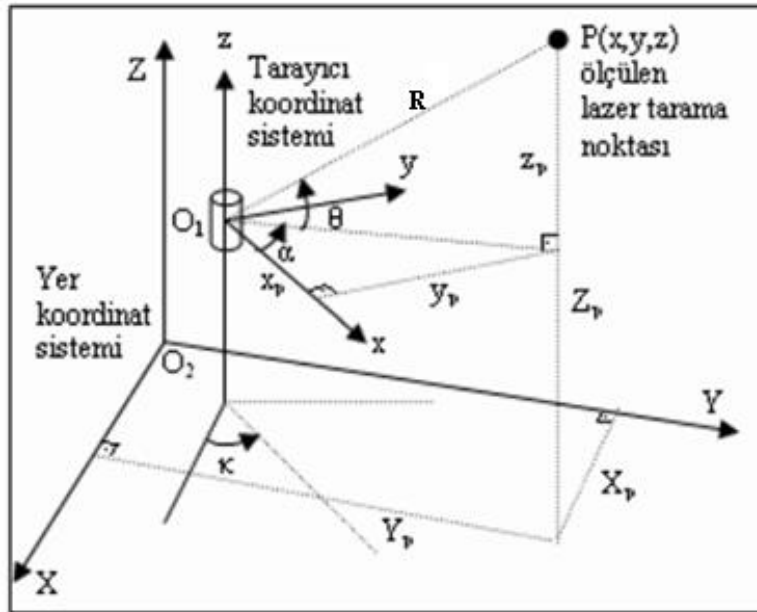
Ayrıca, lazer sensörünün merkezine göre hedef objenin 3 boyutlu koordinatlarını hesaplamak için düşey ve yatay açıları kaydetmektedir (Şekil 2.2).

Kaydedilen parametreler ile ölçülen noktanın 3 boyutlu koordinatları Denklem 2.1’de gösterilen bağıntılar ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} X_p &= O_{1X} + R * \cos \theta * \cos \alpha \\ Y_p &= O_{1Y} + R * \cos \theta * \sin \alpha \\ Z_p &= O_{1Z} + R * \sin \theta \end{aligned} \quad (2.1)$$

Burada;

R : Lazer tarayıcı ile obje arasındaki mesafeyi,
 α : Ölçülen nokta ile lazer tarayıcı arasındaki yatay açıyı,
 θ : Ölçülen nokta ile lazer tarayıcı arasındaki düşey açıyı,
 O_1 : Lazer tarayıcının bir üst koordinat sistemindeki konumunu,
P : Lazer tarayıcı ile ölçülen noktanın 3 boyutlu koordinatını ifade etmektedir.



Şekil 2.4 : Yersel lazer tarayıcı koordinat sistemi.

2.1.2 Lazer tarayıcı çalışma prensipleri

2.1.2.1 Uçuş süresi esaslı lazer tarayıcılar

Ölçme cihazının cisme olan eğik uzaklığını tespit etmek için kullanılan uçuş süresi esaslı yöntem, lazer ışınının kısa bir titreşiminin hedefe gidip gelmesi için gerekli zamanı hassas olarak ölçmektedir (Shan ve Toth, 2008).

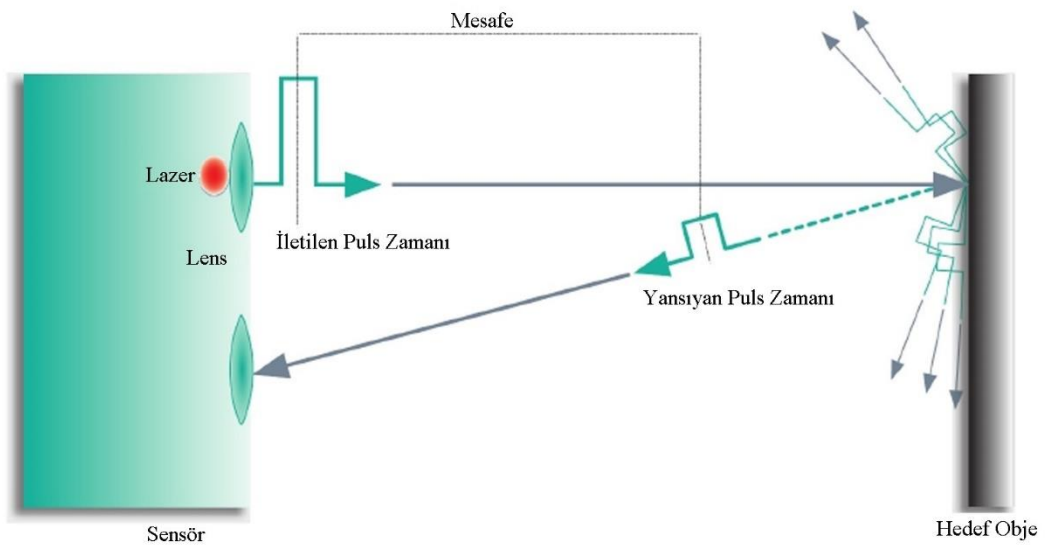
Bir ayna tarama sistemi ve kaynak titreşiminin anlık hızının ölçülmesine ilişkin olarak eş-eksenli geri dönen ışık titreşimi gecikmesi kullanılarak hareket süresi ve dolayısıyla yansıma yüzeyine olan uzaklık ölçülmektedir. Darbe büyüklüğünden bağımsız olarak darbenin geri dönüş zamanını doğru şekilde tespit etmek için sabit bölüm ayırıcı kullanılmaktadır. Darbe yükseklik analizörünün belirli bir zamanı, yüksekliği geçiş süresi ile doğru orantılı olarak değişen darbeye ara vermek için, başlama (lazer darbe zamanı) ve durma (geri dönen darbe zamanı) aralığına dönüşür. Bu darbe yüksekliği birçok darbenin ortalaması alınarak bulunmakta ve sonuç kontrol bilgisayarı tarafından sayısallaştırılarak elde edilmektedir (Jarvis, 1983).

Işık hızını bilmek suretiyle; tarayıcıdan nesneye olan uzaklık, azimut, ışın açısı ve ışıktan yayılan her bir noktanın konumu hesaplanabilmektedir (Slop ve Hack, 2004).

Uçuş süresi esaslı lazer tarayıcılar ile uzaklık Denklem 2.2’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (Şekil 2.3).

$$R = \frac{1}{2} * c * t \quad (2.2)$$

R : Lazer tarayıcı ile obje arasındaki mesafe,
c : Işık hızı,
t : Lazer ışınının gidiş geliş süresini ifade etmektedir.



Şekil 2.4 : Uçuş süresi esasına dayalı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.

2.1.2.2 Faz farkı esaslı lazer tarayıcılar

Lazer sürekli sinyal iletir ve uzaklığı lazer ışınına ait ışın yoğunluğu modülasyonu veya sinüsoidal sinyal gibi etkenlerle belirlenebilir. Sinusoidal sinyal, uçuş süresi esaslı lazerde olduğu gibi zaman gecikmesi yoluyla alınır. Ancak, sinyalin periyodu bilinmemektedir ve dolayısıyla hareket süresi alınan ve iletilen sinyal arasındaki faz farkı ile doğru orantılıdır (Wehr ve Lohr, 1999).

Faz farkı esaslı lazer tarayıcılar ile mesafe Denklem 2.3’de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır (Şekil 2.4).

$$R = \frac{1}{2} * c * \frac{\phi}{2\pi} * T \quad (2.3)$$

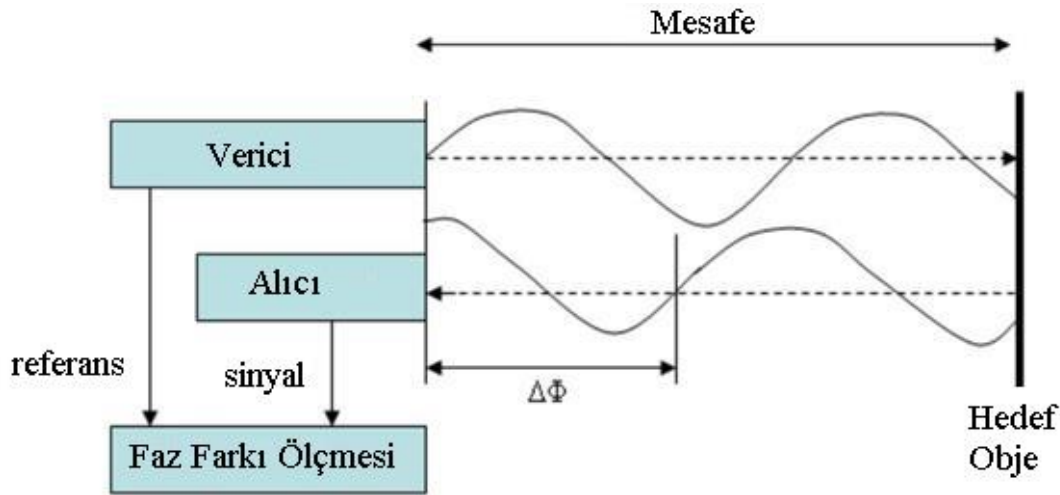
Denklem 2.2’deki eşitlikte;

R : Lazer tarayıcı ve obje arası mesafe,

c : Işık hızı,

ϕ : Faz farkı,

T : Gönderilen dalga boyunu ifade etmektedir.



Şekil 2.4 : Faz farkı esaslı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.

2.1.2.3 Üçgenleme esaslı lazer tarayıcılar

Üçgenleme fikrinin esası, bir yerine iki lazer ışını olmasıdır. İki ışın iki ayrı lazerle veya tek bir lazerin ışınlarına ayrılmasıyla oluşturulabilmektedir. İki ışın hedef objesinde kesişir. İki lazer ışın kaynağının konumu bilinmektedir. İki ışının

kesişmesiyle oluşan açı ölçülerek, hedef objesine olan uzaklığı hesaplanabilmektedir (Angelopoulou ve Wright, 1999).

Bir lazer kaynağı ilgili yüzeye bir ışık demeti yöneltir. Yüzeyden dağılan ışık, yöneltilen ışık ışımına göre belirli bir noktada toplanır. Bu ışık pozisyon duyarlı bir detektör üzerine odaklanır. Bir referans baz uzunluğuna (B) göre göreceli yöneltme ve toplanma açıları (a ve b) bilgisi ile bir üçgenin boyutları (kosinüs teoremi) ve dolayısıyla bir yüzey üzerindeki noktanın koordinatları (X, Z) tespit edilmektedir. Tüm şekil ve çizelgeler ile bunların açıklamaları yazı bloğuna göre ortalı olarak yerleştirilmelidir (Vosselman, G. ve Mass, H.G., 1999).

Üçgenleme esaslı lazer tarayıcılar ile koordinatlar Denklem 2.4’de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır (Şekil 2.5).

$$\begin{aligned} X &= Z * \tan(\alpha) \\ Z &= \frac{B * f_0}{p + f_0 * \tan(\alpha)} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Denklem 2.4’deki eşitlikte;

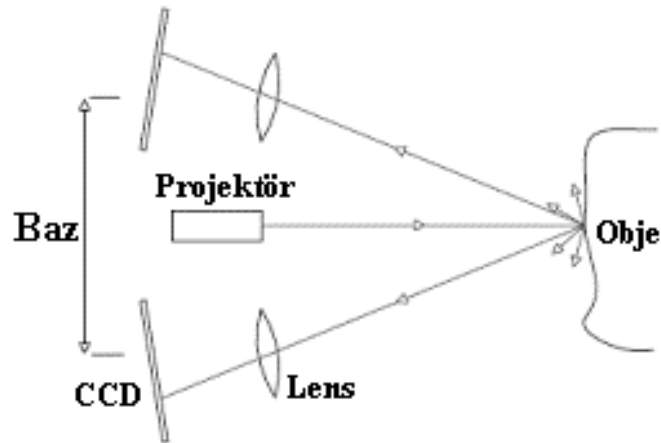
X,Z : Ölçülen noktanın koordinatları,

B : Baz uzunluğu,

f_0 : Kameranın odak uzaklığı,

p : Spot dedektörün pozisyonu,

α : Oluşan üçgenin açısı,



Şekil 2.4 : Üçgenleme esaslı lazer tarayıcı ile mesafenin hesaplanması.

2.2 Fotogrametri Tanımı

Fotogrametri ASPRS tarafından bir sanat bilimi olarak, fiziksel objelerin fotografik görüntülerini ve örneklerini kaydetmek, ölçmek ve yorumlamak suretiyle fiziksel objeler ve ortamlar hakkında güvenilir bilgi elde etme teknolojisi olarak tanımlanmaktadır.

Fotogrametri; genel olarak, görüntüler ve diğer bilgi kaynaklarından yararlanarak noktaların göreceli konumlarını belirlemek için hassas ölçümler yapmayı kapsamaktadır. Böylece objelerin uzaklıklarını, açılarını, alanlarını, hacimlerini, yükseltilerini, boyut ve şeklini bulmak mümkün olmaktadır (Wolf ve Dewitt, 2000).

2.2.1 Fotogrametri'nin matematiksel modeli

“Matematik model, cisim uzay koordinat sisteminde noktaların fiziksel oluşum esaslarının matematiksel ifadeler olarak gösterimidir. Kolinearite koşuluna göre, cisim uzayındaki noktaları gösteren ışınlar resim çekme makinesi izdüşüm merkezinden gerçek resim düzlemine bir doğru boyunca izdüşürülür. Bu şekilde oluşan görüntüler, yeniden inşa probleminin çözümünü iki adımda gerçekleştirir. İlk adım resim çekme makinesi iç yöneltme parametrelerinin belirlenmesidir. İkinci adım ise dış yöneltme adımıdır. Burada X_0, Y_0, Z_0 koordinatlarına sahip istasyon noktasından ω, ϕ, χ dönüklük değerleri ile çekilen resimlerin çizim uzay koordinat sistemindeki koordinatlarının hesaplanması amaçlanmıştır. Cisim uzay koordinat sistemi, noktaların X, Y, Z cisim koordinatlarını, resim koordinat sistemi x, y, z resim koordinatlarını gösteren sağ el kartezyen koordinat sistemidir” (Şekil 2.6). (Duran, 2003)

Resim cisim koordinat dönüşümünü ifade eden matematiksel bağıntı Denklem 2.5 gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} x_p - x_0 \\ y_p - y_0 \\ 0 - c \end{pmatrix} = k * D * \begin{pmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Denklem 2.5'deki eşitlikte;

x_p, y_p : Resim koordinatları,

x_0, y_0 : Resim ana nokta koordinatları,

bilgilerini kullanır. Bu sanal ortamda, güvenilir yatay ve düşey ölçümler yapılabilir ve doğrudan konumsal bir veri dosyası içine kaydedilebilir veya derlenebilir. Aşağıda belirtilen koşullar sağlandığı zaman geleneksel yöntemler ile hava fotoğrafı görüntüleri ile doğru ölçümler kaydedilebilir: a) stereoskopik görüntü çiftleri (iki ya da daha fazla üst üste binen fotoğraf) incelenecek olan objeyi içermesi. b) üst üste binen görüntülerde tanımlanan en az üç obje noktasının x, y ve z, koordinatları doğru olarak bilinmesi c) fotoğraf çekmek için, kalibre edilmiş kamera kullanılması olarak ifade edilebilir (Matthews, 2008).

2.2.2.2 Yersel fotogrametri

Yersel fotogrametri, fotogrametri biliminin önemli bir koludur. Yeryüzüne yerleştirilmiş kameralarla elde edilen görüntülerle ilgilenir. Kameralar taşınabilir, tripodlar üzerine monte edilebilir, kulelere monte edilebilir veya diğer özel olarak tasarlanmış dayanaklara asılabilir. Yersel fotogrametride, kameralar genellikle erişilebilir olarak konumlandırılır, böylelikle hava fotogrametrisindeki GPS kontrolüne benzer şekilde, istasyonların konumlarını belirlemek için direkt ölçümler yapılabilir. Bazı yersel kameralarda, kameranın açısal dönüklükleri doğrudan ölçülebilir ya da sabit bir değer olarak ayarlanabilir. Bu sayede dış yöneltme parametreleri doğrudan hesaplanabilir. Bu dış yöneltme parametreleri yersel fotogrametri için obje alanına kontrol noktaları yerleştirme gereksinimini tamamen veya kısmen ortadan kaldıracaktır (Wolf ve Dewitt, 2000). Tüm şekil ve çizelgeler ile bunların açıklamaları yazı bloğuna göre ortalı olarak yerleştirilmelidir.

3. UYGULAMA

3.1 Verilerin Elde Edilmesi

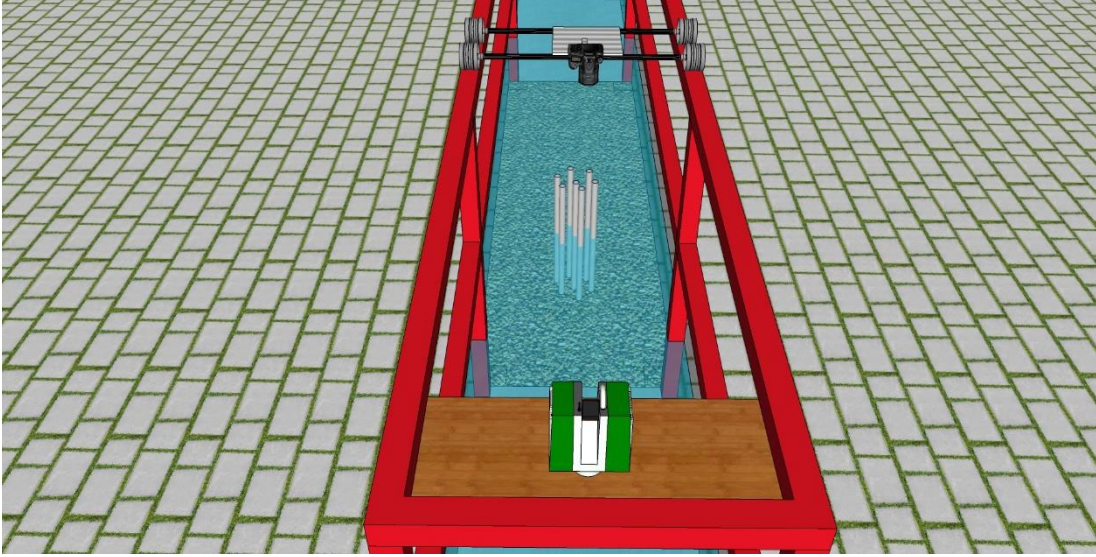
3.1.1 Yersel lazer tarayıcı verilerinin elde edilmesi

Çalışmada kullanılan veriler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen köprü ayağı modelinin su akımı üzerindeki etkisi sonucunda kum yüzeyi üzerindeki değişikliklerin incelendiği deneylerden elde edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Deneyin yapıldığı kanal.

Kullanılan su kanalı 26 m uzunluğunda, 0.98 m genişliğinde ve 0.85 m yüksekliğindedir. Kanalın içinde, 3.5 metre uzunluğunda, 1 m genişliğinde oluşturulan kum yüzeyi çalışma bölgesini oluşturmaktadır. Çalışma bölgesine ait değerlendirmede bulunmak amacıyla; çalışma bölgesine ait veriler yersel lazer tarama ve fotogrametri yöntemleriyle elde edilmiştir (Şekil.3.2).



Şekil 3.2 : Deneyin yapıldığı kanalın sanal gösterimi.

3.1.1.1 Yersel lazer tarayıcının teknik özellikleri

Yersel lazer tarama verileri Leica Geosystems tarafından üretilen Scanstation C10 ile elde edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Çalışmada kullanılan Leica Scanstation C10 görseli.

Bu cihaz gönderilen lazer ışınının gidiş-geliş süresini ölçerek çalışmaktadır. Objeye gönderilen her bir ışının objeye olan mesafesi, objeye gönderilen ve objeden geri dönen ışının gidiş-geliş süresi ile hesaplanır. Eş zamanlı olarak her bir ışının kaydedilen yatay ve düşey açıları yardımıyla 3B nokta koordinatları hesaplanarak elde edilmiş olur. Scanstation C10 saniyede 50.000 nokta ölçme kapasitesine sahip, yatayda 360°, düşeyde 270°'lik bir bölgeyi tarayabilen, 0.1 m-300 m arasında ölçme yapabilme kapasitesine sahip bir ölçme donanımıdır (Şekil 3.4). Cihaz 4 farklı çözünürlükte tarama yapabilmektedir. Çözünürlük seçenekleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Lazer Tarama Sistemi	
Tür	Pulsed; özel mikroçip
Renk	Yeşil, dalga boyu = 532 nm (görünür)
Lazer sınıfı	3R (IEC 60825-1)
Menzil	%90'da 300 m; %18 albedoda 134 m (minimum menzil 0.1 m)
Tarama oranı	50,000 nokta/saniyeye kadar, maksimum anlık oran
Tarama çözünürlüğü	0'dan - 50 m'ye kadar; 4.5 mm (FWHH-bazlı); 7 mm (Gaussian-bazlı)
Nokta boyutu	
Nokta aralığı	Tamamen seçilebilir yatay ve düşey; <1 mm minimum aralık, tam menzil ile; tek nokta dwell kapasitesi
Görüş alanı	360° (maksimum) 270° (maksimum)
Yatay	
Düşey	Paralakssiz, entegre yakınlaştırma özellikli video
Hedefleme/Görüş	
Tarama optikleri	Yatay olarak dönen tabanda düşey olarak dönen ayna; Smart X-Mirror™ minimum tarama süresi için otomatik olarak döner ve salınım yapar
Veri saklama kapasitesi	80 GB (onboard SSD hard disk) veya harici USB aygıtı
İletişim	Dinamik internet protokolü (IP) adresi, ethernet, harici adaptörlü kablosuz LAN (WLAN)
Yakınlaştırma özellikli video ile entegre renkli dijital kamera	Tek 17° x 17° görüntü: 1920 x 1920 piksel (4 megapiksel) Tam 360° x 270° kubbe: 260 görüntü; yakınlaştırma özellikli akıcı video; ortam ışığına otomatik uyum sağlar
Onboard ekran	Ekran çubuğu ile dokunmatik, tamamen renkli grafik ekran, QVGA (320x240) piksel
Düzeç göstergesi	Onboard kontrol ve Cyclone yazılımında harici düzeç ve elektronik düzeç
Veri aktarımı	Ethernet, WLAN veya USB 2.0 aygıtı
Lazer şakül	Lazer sınıfı: 2 (IEC 60825-1) Merkeziye doğruluğu: 1.5 m'de 1.5 mm Lazer nokta çapı: 1.5 m'de 2.5 mm Seçilebilir AÇ/KAPAT

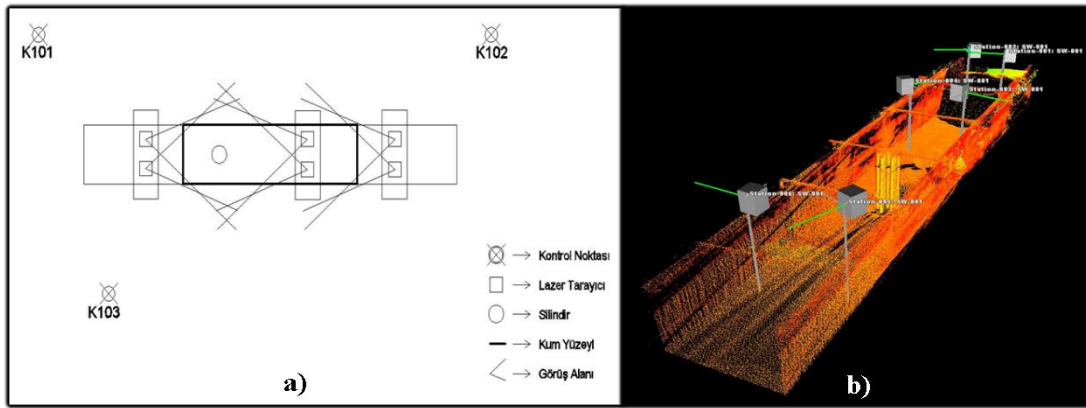
Şekil 3.4 : Leica Scanstation C10 teknik özellikleri.

Çizelge 3.1 : Leica Scanstation C10 çözünürlük seçenekleri.

Çözünürlük Seçeneği	Yatay Aralık (m)	Düşey Aralık (m)	Mesafe (m)
Düşük	0.2	0.2	100
Orta	0.1	0.1	100
Yüksek	0.05	0.05	100
En Yüksek	0.02	0.02	100

3.1.1.2 Deney verilerinin elde edilmesi

Çalışmanın ilk aşamasında, çalışma bölgesini oluşturan 3.5 m²'lik kum yüzeyden oluşan alanın yersel lazer tarama yöntemiyle modellenmesi amaçlanmıştır. Kum yüzeyinde su akımı sebebiyle model çevresinde bir oyulma konisi ve model arkasında bir birikme bölgesi oluşur. Oyulma konisi ve birikme arasında yersel lazer tarayıcı ile veri elde edilmesi zor, yüksek eğimli bir bölge oluşur. Kanalin yerden yaklaşık olarak 2.5 m yukarıda bulunmasından ve etrafında yersel lazer tarayıcının kurulması için kısıtlı bir bölge olmasından dolayı altı istasyon noktasından tarama yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 3.5). İstasyon noktalarının bu etkiler göz önünde bulundurularak seçilmesi ile veride eksiklik olmasının önüne geçilmiştir.



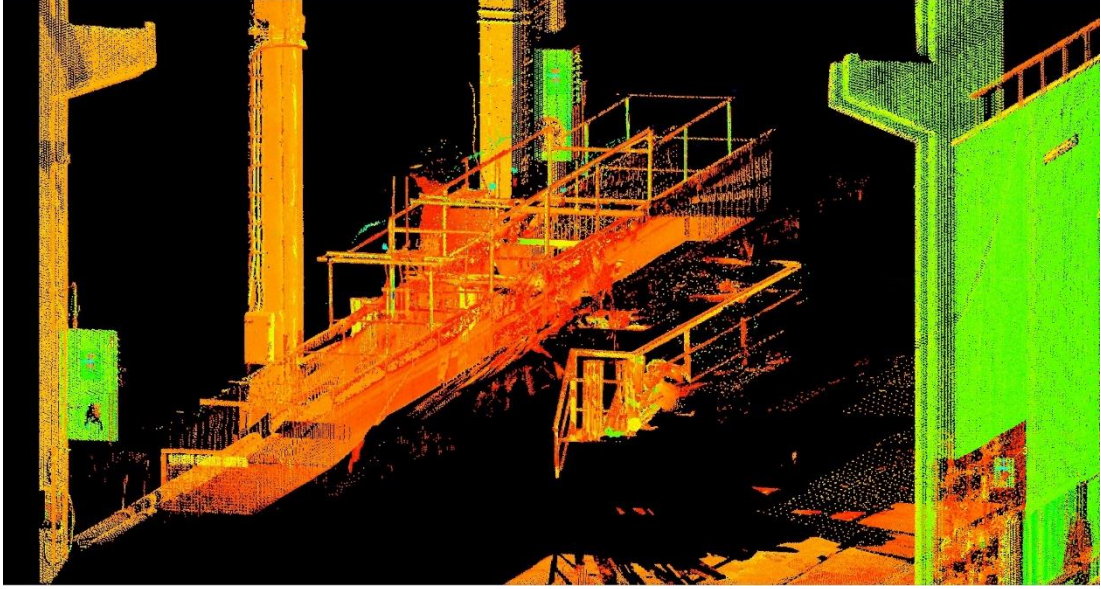
Şekil 3.5 : Lazer tarama istasyon noktalarının planlaması (a), plana uygun verilerin elde edilmesi (b).

Yersel lazer tarama yöntemiyle elde edilen farklı yoğunluktaki nokta bulutunun, yüzey oluşturmaya etkisini araştırmak için üç farklı çözünürlükte tarama yapılmıştır. Bu amaçla, deney alanına ait veri, her bir istasyon noktasında düşük, orta ve yüksek çözünürlükte tarama yapılarak elde edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Lazer tarayıcı istasyon noktası örneği.

Yersel Lazer tarama yöntemiyle, farklı istasyon noktalarından elde edilen verinin birleştirilmesi amacıyla çalışma alanına siyah&beyaz hedefler yerleştirilmiştir. Farklı istasyon noktalarından elde edilen nokta bulutları kullanılan bu siyah-beyaz hedefler kullanılarak Leica Cyclone yazılımında birleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Lazer tarama verisi örneği.

3.1.2 Fotogrametrik verilerin elde edilmesi

3.1.2.1 Dijital kameranın teknik özellikleri

Fotogrametrik değerlendirme için kullanılan görüntüler Nikon D800 dijital kamera ile elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan kamera 36 megapiksel çözünürlüğe (7360x4192) ve 35.9 x 24 mm sensör boyutlarına sahiptir (Şekil 3.8).



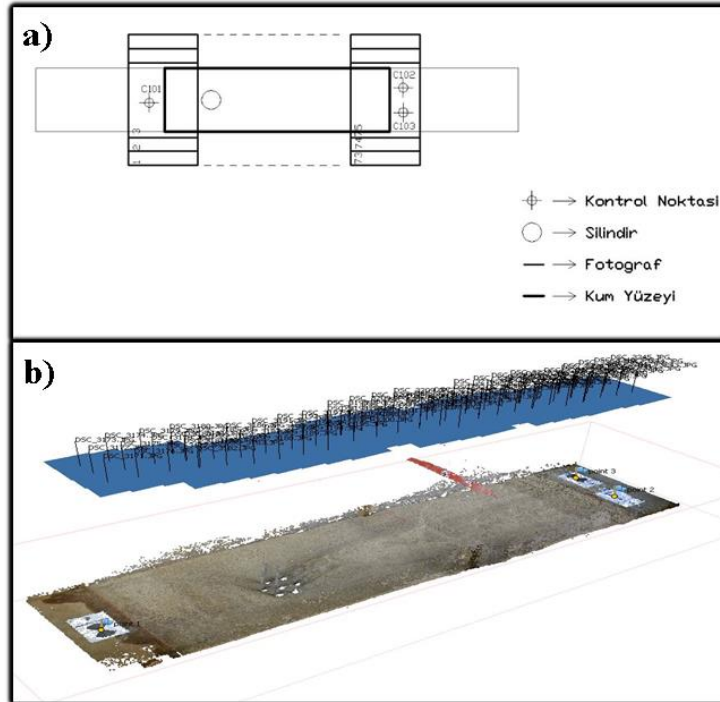
Şekil 3.8 : Çalışmada kullanılan dijital kamera görseli.

3.1.2.2 Deney verilerinin elde edilmesi

Çalışmanın ikinci aşamasında deney alanının fotogrametrik yöntemle modellenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle çalışma bölgesinin durumu ve konumu itibari ile görüntü alımı; hava fotogrametrisindeki uçuş planlaması prensibine göre planlanmış ve fotogrametrik çalışma için kullanılacak görüntüler; hesaplanan baz ve şerit uzunluklarına bağlı olarak elde edilmiştir. Çalışma alanına ait görüntüler yaklaşık olarak 1.5 metre yükseklikten 50 mm’lik sabit lens kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 3.9).

Elde edilen görüntülerden nokta bulutu üreten yazılımlar yüksek örtü oranı olan görüntüler ile daha iyi performans gösterdiği için enine ve boyuna örtü oranı %80 alınarak, baz, şeritler arası mesafe ve resim sayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çekilen görüntüler değerlendirilmek üzere Agisoft PhotoScan yazılımına aktarılmış ve görüntüler yazılımın sağladığı en yüksek doğrulukla birleştirildikten sonra, kanal içerisine tesis edilen üç YKN kullanılarak döndürülmüş, ötelenmiş ve ölçeklendirilmiştir. Agisoft PhotoScan yazılımı oluşturulan 3B modelden nokta bulutu üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu özelliği kullanılarak düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı yoğunlukta nokta bulutu üretilmiştir.



Şekil 3.9 : Fotoğraf çekimi planlaması (a), plana uygun görüntülerin elde edilişi (b).

Çizelge 3.2 : Hava fotogrametrisine göre hesaplanan görüntüleme planı.

Sensör Boyutu	35.9 mm * 24 mm
Odak Uzaklığı	50 mm
Resim Çekme Yüksekliği	~1.5 m
Arazinin Uzunluğu	~3.5 m
Arazinin Genişliği	~1 m
Boyuna Örtü Oranı	90%
Enine Örtü Oranı	90%
Baz Uzunluğu	0.108 m
İki Şerit Arası Mesafe	0.072 m
Sensör Boyutu	1.08 m * 0.72 m
Bir Şerit için Resim Sayısı	3
Toplam Resim Sayısı	75

3.2 Yersel Lazer Tarama ve Fotogrametri Verilerinin Analizi

Yapılan çalışmada yersel lazer tarayıcı ile elde edilen düşük, orta ve yüksek çözünürlükteki nokta bulutları ve fotogrametrik modelden üretilen düşük, orta ve yüksek çözünürlükteki nokta bulutları; kriging, doğal komşuluk, lineer ve ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemleri ile enterpole edilerek yüzey modelleri oluşturulmuştur. Kullanılan enterpolasyon modelleri kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW); Bilinen örnek noktalara ait değerlerin yardımıyla örneklenmeyen noktalara ait hücre değerlerinin belirlenmesi için kullanılan bir enterpolasyon tekniğidir. İlgili hücreden uzaklaşan çeşitli noktalar gözetilerek ve mesafedeki artışa bağlı olarak hücre değeri hesaplanır. Tahmin edilen değerler, komşu civardaki noktaların uzaklığı ve büyüklüğünün bir fonksiyonu olup, mesafenin artması ile tahmini yapılacak hücre üzerindeki önem ve etki azalır. Bu yöntemde verilerin genel dağılımı, eğilimi, anizotropi ve kümelenmesi gibi özellikler incelenmemektedir. Verilerin sadece yerel olarak değerlendirilip, karşılaştırılması yapılmaktadır. IDW enterpolasyon yönteminin genel denklemi Denklem 3.1’de gösterildiği gibidir (Başel ve diğ, 2008).

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i$$

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad (3.1)$$

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$$

Burada;

n: Dağılık nokta sayısını,

f_i : Örneklem noktalarını tanımlayan fonksiyonu,

w_i : Nokta ağırlıklarını,

p: Kuvvet parametresini,

h_i : Örneklem noktaları ile enterpole edecek nokta arasındaki üç boyutlu uzaysal mesafeyi tanımlar (Arslanoğlu ve Özçelik, 2008).

- Kriging Enterpolasyon; Çevreleyen ölçülmüş değerlerden ağırlıkları oranında yararlanarak bilinmeyen noktalara ait ölçümleri kestirerek hesaplamak için kullanılan bir enterpolasyon tekniğidir. Ağırlıklar, ölçülen noktalar ile kestirilecek olan noktalar arasındaki mesafeye dayalı olarak belirlenir ve tüm alan için bir ayarlama yapılır. Noktalar arasındaki uzaklıklar ve yönlerin oluşturduğu uzaysal ilişki dikkate alınarak veri yüzeyindeki değişimine yönelik değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu yöntemde hem doğrudan ölçüm değerleri hem de istatistiksel yöntemlerden faydalanılarak oto korelasyon oluşturularak bunlara yönelik tahminler yapılmaktadır. Bir başka ifadeyle, kısaca uzaysal enterpolasyon yapılmaktadır. Bu yöntemde uzaysal ilişkiler kullanılarak tahminlerdeki hata oranları ve aynı zamanda yaklaşım miktarlarını da test edilebilmektedir (Başel ve diğ, 2008).

Kriging yöntemi ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir şekilde yakındaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağırlık modeli kullanır. Kriging yönteminin genel denklemi Denklem 3.2’de gösterildiği gibidir.

$$Z_P = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (3.2)$$

Burada;

Z_p : P noktasının aranan ondülasyon değerini,

W_i : Z_p nin hesabında kullanılan her bir Z_i ye karşılık ağırlık değerlerini,

Z_i : Z_p nin hesabında kullanılan noktaların ondülasyon değerleri,

n : Z_p nin hesabında kullanılan nokta sayısını tanımlar (İnal ve Yiğit, 2003).

- Doğal Komşuluk Enterpolasyon (NN); Bir enterpolasyon noktasının doğal komşu koordinatları belirlenmek istendiğinde ilk olarak dayanak noktaları üçgenlenir ve Voronoi diyagramı çizilir, ikinci aşamada enterpolasyon noktasına doğal komşu olan dayanak noktaları belirlenir. Enterpolasyon noktası ile komşu dayanak noktalarını birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmeleri yardımıyla enterpolasyon noktasının Voronoi çokgeni bulunur. Belirlenen bu çokgen ile daha önceden belirlenen Voronoi çokgenlerinin kesişim alanları enterpolasyon noktasının doğal komşu koordinatlarını verir (Yanalak, 1997).
- Lineer Enterpolasyon; Üçgenler ağında yaygın olarak kullanılan enterpolasyon yöntemi, lineer enterpolasyondur. Her bir üçgen eğik düzlem olarak kabul edilir. Arazi yüzeyinin düzlem üçgen parçalarının toplamından oluştuğu düşünülür. Yüksekliği enterpole edilecek noktanın içine düştüğü üçgende lineer enterpolasyon uygulanır. Üçgen elemanlarda yapılan lineer enterpolasyon, aslında ağırlıklı ortalamadan farklı bir işlem değildir. Üçgenin 3 köşe noktasına ait z değerlerinin ortalaması alınmaktadır. Herhangi bir köşe noktasına ait z değerinin ağırlığı ise enterpolasyon noktasının o köşeye göre lokal koordinatıdır (Yanalak, 1997).

Öncelikle veri çözünürlüğünün yüzey modeli oluşturulmasına etkisinin analizi için her iki yöntemle elde edilen her bir çözünürlükteki nokta bulutları yukarıda açıklanan yöntemler ile enterpole edilmiştir. Bu enterpolasyon sırasında gridlerin başlangıç koordinatları (X , Y , Z) ve grid aralıkları (1 mm) sabit alınmıştır. Bu sayede her bir çözünürlükte; sabit düzlemsel koordinatlara (X , Y) sahip grid noktalarında farklı

Çözünürlük için farklı yükseklik değerleri elde edilip edilmediği irdelenmiştir. Her bir enterpolasyon yöntemi için aynı noktaya ait yükseklik değerlerinin aritmetik ortalaması alınmış ve her üç çözünürlükteki verinin bu ortalamadan sapmaları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$z_{ort,i,j,k} = \frac{z_{low,i,j,k} + z_{med,i,j,k} + z_{high,i,j,k}}{3} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'deki eşitlikte;

- i : Veri elde etme yöntemini
- j : Yüzey enterpolasyon yöntemini
- k : Grid nokta numarasını göstermektedir.

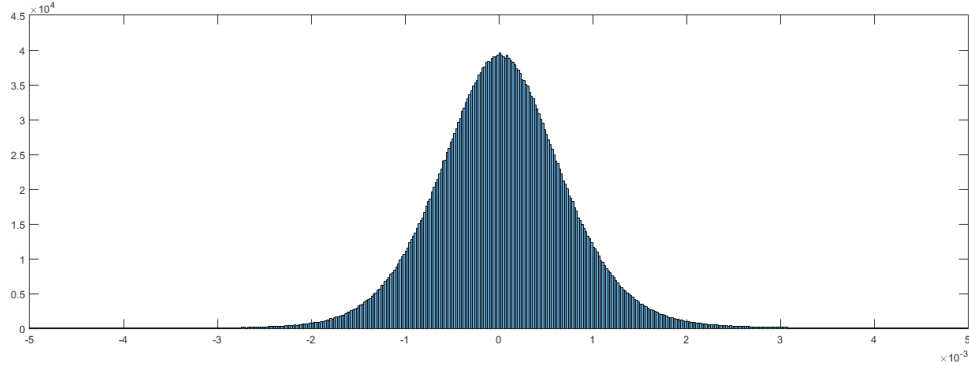
Bu sapma değerlerine bağlı olarak KOH hesaplanmış ve izelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Yükseklik farklarının KOH.

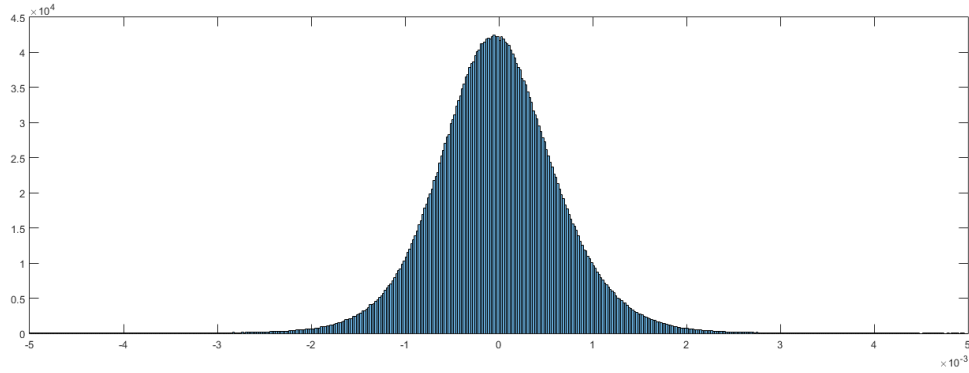
Veri No	Veri Türü	Çözünürlük	Yöntem	KOH (mm)
1	Fotogrametrik	Düşük	IDW	0.2
2	Fotogrametrik	Orta	IDW	0.1
3	Fotogrametrik	Yüksek	IDW	0.2
4	Fotogrametrik	Düşük	Kriging	0.2
5	Fotogrametrik	Orta	Kriging	0.1
6	Fotogrametrik	Yüksek	Kriging	0.2
7	Fotogrametrik	Düşük	NN	0.2
8	Fotogrametrik	Orta	NN	0.1
9	Fotogrametrik	Yüksek	NN	0.2
10	Fotogrametrik	Düşük	Lineer	0.2
11	Fotogrametrik	Orta	Lineer	0.2
12	Fotogrametrik	Yüksek	Lineer	0.1
13	YLT	Düşük	IDW	0.5
14	YLT	Orta	IDW	0.4
15	YLT	Yüksek	IDW	0.4
16	YLT	Düşük	Kriging	0.7
17	YLT	Orta	Kriging	0.6
18	YLT	Yüksek	Kriging	0.6
19	YLT	Düşük	NN	0.7
20	YLT	Orta	NN	0.6
21	YLT	Yüksek	NN	0.6
22	YLT	Düşük	Lineer	0.8
23	YLT	Orta	Lineer	0.7
24	YLT	Yüksek	Lineer	0.7

Yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere; veri çözünürlüğünün; her bir enterpolasyon yöntemi ile üretilen grid noktalarının yüksekliklerinin ortalamadan sapmalarının KOH farklarında anlamlı bir etkisi olmamaktadır. Bu durum sapmaların normal dağılım göstermesi ile açıklanabilir. Her üç çözünürlükteki yersel lazer tarayıcı verisinin kriging yöntemi ile enterpole edilmiş grid noktalarının yükseklik

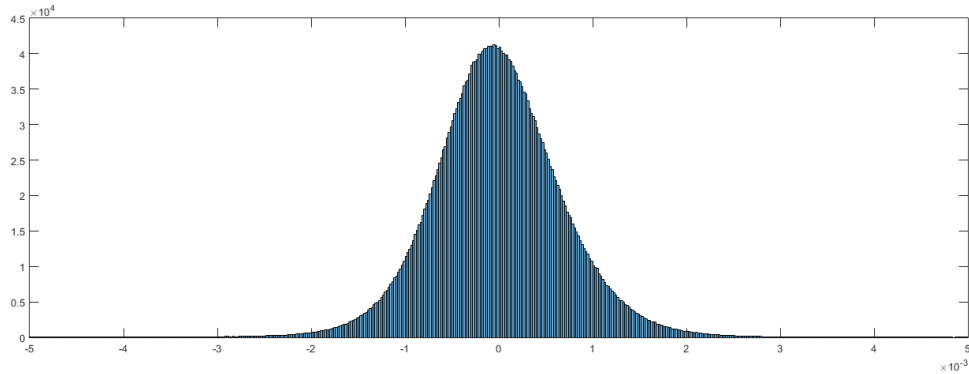
değerlerinin, ortalama yükseklik değerlerinden sapmalarının dağılımı aşağıda örnek olarak verilmektedir (Şekil 3.10-11-12).



Şekil 3.10 : Yüksek çözünürlük verilerinin yükseklik değerlerinin ortalama değere göre sapmaları.



Şekil 3.11 : Orta çözünürlük verilerinin yükseklik değerlerinin ortalama değere göre sapmaları.

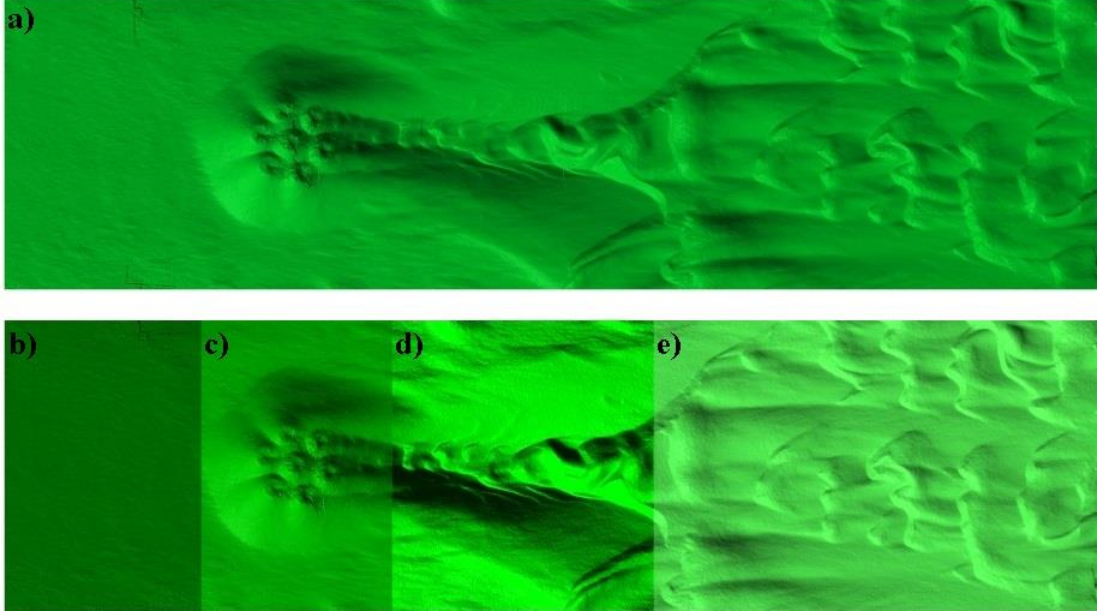


Şekil 3.12 : Düşük çözünürlük verilerinin yükseklik değerlerinin ortalama değere göre sapmaları.

Diğer enterpolasyon yöntemleri için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, hacim analizi hariç diğer analizler, her iki yöntem ile üretilen yüksek çözünürlükteki veriler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.2.1 Hacim analizleri

Her iki veri türü için her bir çözünürlükte yukarıda açıklanan enterpolasyon yöntemleri ile yüzey modelleri üretilmiş ve hacim analizleri yapılmıştır. Çalışma alanını oluşturan kum yüzeyi farklı geometride bölgeler içermektedir. Bu bölgeler; düz, oyulma, birikme ve dalgalı bölge olmak üzere dörde ayrılmış ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : a) Tüm yüzey, b) düz bölge, c) oyulma bölgesi, d) birikme bölgesi, e) dalgalı bölge.

Enterpolasyon yöntemlerinin farklı geometriye sahip bölgelere etkisini araştırmak için hacim analizleri tüm yüzeyin yanı sıra, bu farklı geometrideki bölgeler için ayrı ayrı da yapılmıştır. Hacim hesapları, üretilen bütün yüzeyler için ortak alınan referans düzelenime (9.000 m) göre yapılmış ve Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

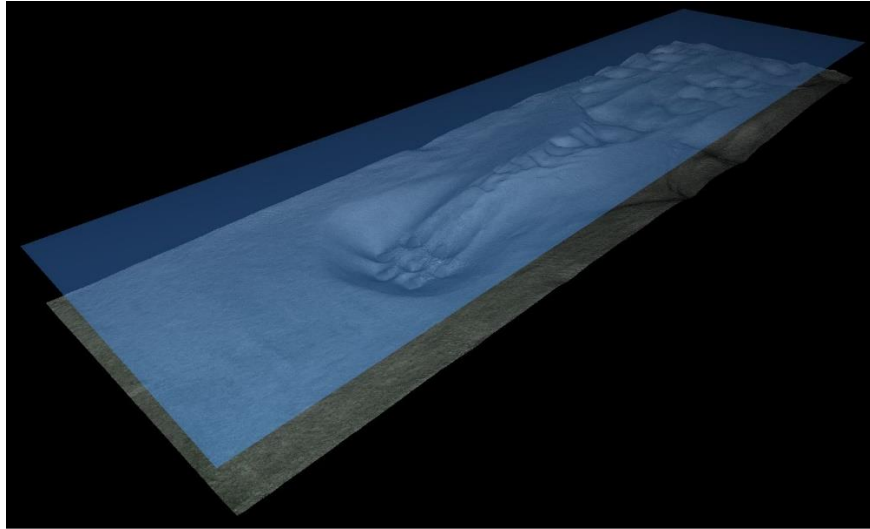
Çizelge 3.4 : Tüm yüzeyin ve bölgelerin referans düzleme göre hacim hesapları.

Veri No	Veri Türü	Çözünürlük	Yüzey Üretim Yöntemleri	Tüm Yüzey (cm ³)	Düz Bölge (cm ³)	Oyulma Bölgesi (cm ³)	Birikme Bölgesi (cm ³)	Dalgalı Bölge (cm ³)	Bölgeler Toplamı (cm ³)	Tüm Yüzey-Bölge Farkı (cm ³)
1	Foto	Düşük	IDW	547063	96147	109196	125862	215844	547049	14
2	Foto	Orta	IDW	547007	96133	109192	125853	215815	546993	14
3	Foto	Yüksek	IDW	546985	96139	109203	125820	215809	546971	14
4	Foto	Düşük	Krigging	547065	96147	109198	125862	215844	547051	14
5	Foto	Orta	Krigging	547007	96133	109192	125853	215815	546993	14
6	Foto	Yüksek	Krigging	546985	96139	109203	125820	215809	546971	14
7	Foto	Düşük	NN	546319	95883	108934	125561	215448	545827	492
8	Foto	Orta	NN	546263	95870	108931	125553	215420	545774	489
9	Foto	Yüksek	NN	546242	95876	108942	125520	215414	545753	489
10	Foto	Düşük	Lineer	547033	96047	109102	125843	215813	546804	229
11	Foto	Orta	Lineer	547002	96035	109109	125842	215806	546792	211
12	Foto	Yüksek	Lineer	546983	96054	109123	125817	215800	546794	189
13	YLT	Düşük	IDW	541941	97131	109575	123528	211692	541927	14
14	YLT	Orta	IDW	541837	97233	109620	123276	211693	541823	14
15	YLT	Yüksek	IDW	541860	97263	109635	123290	211658	541847	14
16	YLT	Düşük	Krigging	542033	97145	109600	123556	211718	542019	14
17	YLT	Orta	Krigging	541855	97239	109616	123281	211705	541841	14
18	YLT	Yüksek	Krigging	541872	97267	109631	123292	211668	541859	14
19	YLT	Düşük	NN	541264	96850	109326	123252	211322	540749	514
20	YLT	Orta	NN	541119	96975	109356	122979	211313	540624	495
21	YLT	Yüksek	NN	541137	97004	109373	122996	211280	540652	485
22	YLT	Düşük	Lineer	541867	96958	109463	123476	211583	541480	388
23	YLT	Orta	Lineer	541847	97226	109522	123203	211676	541627	220
24	YLT	Yüksek	Lineer	541875	97261	109555	123265	211660	541741	134

Enterpolasyon yöntemlerinin, veri türünün ve farklı çözünürlüklerin hacim hesabına etkisinin araştırılması için;

- Her bir veri türünün, her bir çözünürlükte ve her bir enterpolasyona yöntemi ile referans düzleme göre hacim değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.
- Fotogrametrik yöntem ile elde edilen verilerin, her bir çözünürlük ve enterpolasyon yöntemi ile referans düzleme göre hacim değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.
- Yersel Lazer Tarama yöntemi ile elde edilen verilerin, her bir çözünürlük ve enterpolasyon yöntemi ile referans düzleme göre hacim değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Hacim hesaplarında kullanılan referans düzlemi Şekil 3.14'te gösterilmektedir.



Şekil 3.14 : Hacim hesaplarında kullanılan referans düzlemi.

Fotogrametri yöntemi ile elde edilen üç çözünürlükteki (düşük, orta ve yüksek) verilerden sırasıyla IDW (Şekil A.1), Kriging (Şekil A.2), NN (Şekil A.3) ve Lineer enterpolasyon (Şekil A.4) ile üretilen SYM'leri eklerde gösterilmiştir.

YLT yöntemi ile elde edilen üç çözünürlükteki (düşük, orta ve yüksek) verilerden sırasıyla IDW (Şekil A.5), Kriging (Şekil A.6), NN (Şekil A.7) ve Lineer enterpolasyon (Şekil A.8) ile üretilen SYM'leri eklerde gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 : Fotogrametri ve YLT yöntemleri ile hesaplanan hacimlerin ortalamasına göre KOH hesabı.

Veri No	Veri Türü	Çözünürlük	Yüzey Üretim Yöntemleri	Hacim (cm ³)	Ortalama Değer (cm ³)	v	vv	KOH (cm ³)
1	Foto	Düşük	IDW	547063	544269	2794	7806696	2636
2	Foto	Orta	IDW	547007		2738	7495311	
3	Foto	Yüksek	IDW	546985		2716	7375735	
4	Foto	Düşük	Kriging	547065	544269	2796	7816682	2636
5	Foto	Orta	Kriging	547007		2738	7494914	
6	Foto	Yüksek	Kriging	546985		2716	7375896	
7	Foto	Düşük	NN	546319	544269	2049	4200312	2636
8	Foto	Orta	NN	546263		1994	3975968	
9	Foto	Yüksek	NN	546242		1972	3889865	
10	Foto	Düşük	Lineer	547033	544269	2764	7638337	2636
11	Foto	Orta	Lineer	547002		2733	7469511	
12	Foto	Yüksek	Lineer	546983		2714	7366625	
13	YLT	Düşük	IDW	541941	544269	-2329	5423266	2636
14	YLT	Orta	IDW	541837		-2432	5914817	
15	YLT	Yüksek	IDW	541860		-2409	5802836	
16	YLT	Düşük	Kriging	542033	544269	-2237	5002067	2636
17	YLT	Orta	Kriging	541855		-2414	5828007	
18	YLT	Yüksek	Kriging	541872		-2397	5744824	
19	YLT	Düşük	NN	541264	544269	-3006	9034553	2636
20	YLT	Orta	NN	541119		-3151	9927415	
21	YLT	Yüksek	NN	541137		-3132	9809253	
22	YLT	Düşük	Lineer	541867	544269	-2402	5768762	2636
23	YLT	Orta	Lineer	541847		-2422	5866110	
24	YLT	Yüksek	Lineer	541875		-2394	5731785	

Çizelge 3.6 : Fotogrametri yöntemi ile hesaplanan hacimlerin ortalamasına göre KOH hesabı

Veri No	Veri Türü	Çözünürlük	Yüzey Üretim Yöntemleri	Hacim (cm ³)	Ortalama Değer (cm ³)	v	vv	KOH (cm ³)
1	Fotogrametri	Düşük	IDW	547063	546830	-234	54634	336
2	Fotogrametri	Orta	IDW	547007		-177	31488	
3	Fotogrametri	Yüksek	IDW	546985		-156	24188	
4	Fotogrametri	Düşük	Krigging	547065		-236	55473	
5	Fotogrametri	Orta	Krigging	547007		-177	31463	
6	Fotogrametri	Yüksek	Krigging	546985		-156	24197	
7	Fotogrametri	Düşük	NN	546319		511	260958	
8	Fotogrametri	Orta	NN	546263		566	320723	
9	Fotogrametri	Yüksek	NN	546242		588	345782	
10	Fotogrametri	Düşük	Lineer	547033		-203	41391	
11	Fotogrametri	Orta	Lineer	547002		-173	29837	
12	Fotogrametri	Yüksek	Lineer	546983		-154	23669	

Çizelge 3.7 : YLT yöntemine göre hesaplanan hacimlerin ortalamasına göre KOH hesabı.

Veri No	Veri Türü	Çözünürlük	Yüzey Üretim Yöntemleri	Hacim (cm ³)	Ortalama Değer (cm ³)	v (cm ³)	vv (cm ³)	KOH (cm ³)
1	YLT	Düşük	IDW	541941	541709	-232	53600	329
2	YLT	Orta	IDW	541837		-128	16452	
3	YLT	Yüksek	IDW	541860		-151	22922	
4	YLT	Düşük	Krigging	542033		-324	104831	
5	YLT	Orta	Krigging	541855		-146	21369	
6	YLT	Yüksek	Krigging	541872		-163	26723	
7	YLT	Düşük	NN	541264		445	198423	
8	YLT	Orta	NN	541119		590	348659	
9	YLT	Yüksek	NN	541137		572	326802	
10	YLT	Düşük	Lineer	541867		-158	25117	
11	YLT	Orta	Lineer	541847		-138	19127	
12	YLT	Yüksek	Lineer	541875		-166	27620	

3.2.2 Yüzey geometrisi analizleri

Hidrolik analizlerin gerçekleştirilmesi için gerekli olan; kum yüzeyinin en yüksek ve en düşük kotları, oyulma konisinin hacmi, oyulma konisinde akım yönünde oluşan eğim ve oyulma genişliği parametreleri üretilmiştir. Ek olarak oluşturulan yüzeylerde; silindir merkezinden geçen enkesit ve boykesitler üretilmiş ve analiz edilmiştir.

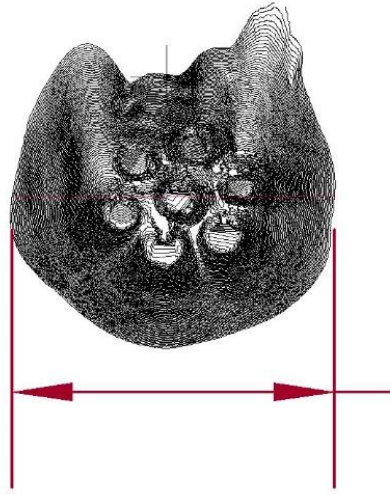
Oyulma konisinin derinliği köprü ayağı modelinin stabilitesini etkiler. Kum yüzeyinin en yüksek kotu da boşlukluluğun akım üzerindeki etkisini ifade ettiği için önemlidir. Bu nedenle bu parametreler üretilen yüzey modelleri üzerinden hesaplanmış ve Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : En yüksek ve en düşük kotlar.

Veri No	Veri Türü	Yüzey Üretim Yöntemi	En yüksek Kot (m)	En Düşük Kot (m)
1	Fotogrametrik	IDW	8.887	8.718
2	Fotogrametrik	Kriging	8.887	8.717
3	Fotogrametrik	NN	8.887	8.717
4	Fotogrametrik	Lineer	8.887	8.717
5	YLT	IDW	8.892	8.714
6	YLT	Kriging	8.892	8.713
7	YLT	NN	8.892	8.714
8	YLT	Lineer	8.892	8.714

Oyulma konisinin hacmi ve oyulma genişliği köprü ayağı modelinin akım üzerinde yarattığı değişikliğin boyutlarını ve köprü ayağı model çapının etkisini ifade ettiği için hesaplanmıştır. Oyulma konisinin hacmi üretilen modellerde ortak bir referans düzleme (8.815 m) göre hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Her bir veri türü ve enterpolasyon ile üretilen SYM’leri eklerde gösterildiği gibidir (Şekil B.1-8).

Oyulma genişliği ise oyulmanın başladığı yerden itibaren silindir merkezinin bulunduğu düzlemde ölçülmüş ve Şekil 3.15’te gösterilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 3.9’da gösterilmektedir.

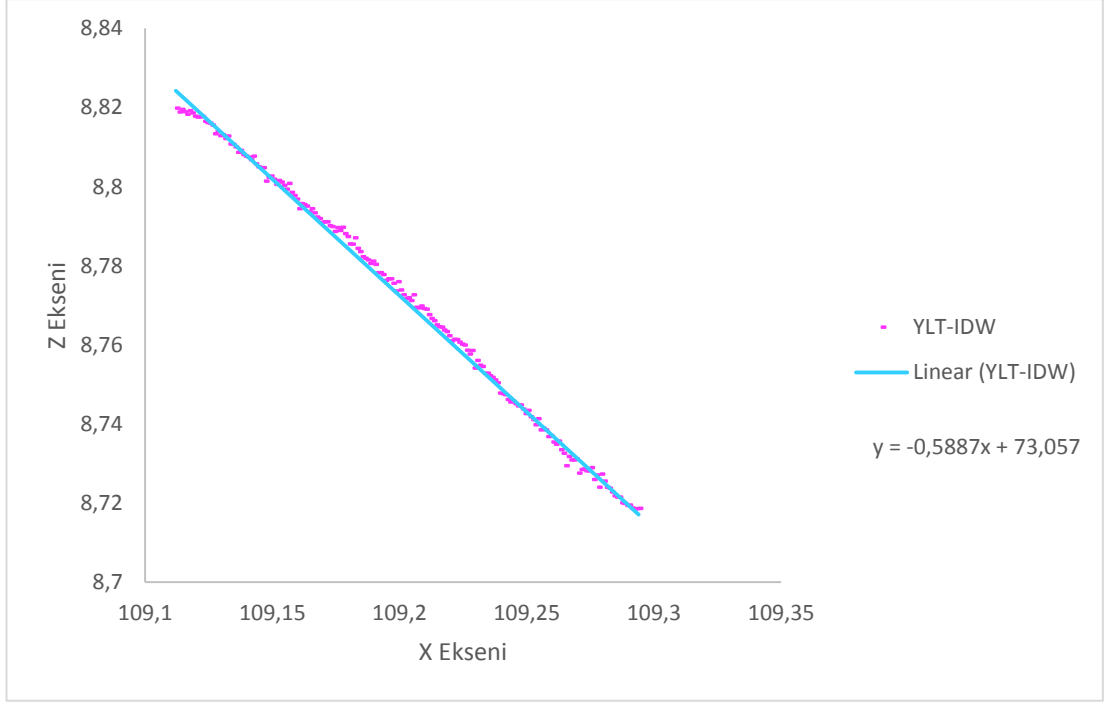


Şekil 3.15 : Oyulma genişliği.

Çizelge 3.9 : Oyulma hacmi ve genişliği.

Veri No	Veri Türü	Yüzey Üretim Yöntemi	Oyulma Konisi Hacmi (cm ³)	Oyulma Konisi Genişliği (cm)
1	Fotogrametrik	IDW	10205.6	53.5
2	Fotogrametrik	Kriging	10205.9	53.5
3	Fotogrametrik	NN	10206.0	53.5
4	Fotogrametrik	Lineer	10209.2	53.5
5	YLT	IDW	10658.3	53.8
6	YLT	Kriging	10652.8	53.8
7	YLT	NN	10655.1	53.8
8	YLT	Lineer	10659.8	53.8

Oyulma konisinde akım yönünde oluşan eğim, modelin boşluklu yapısı sebebi ile model içeriğindeki küçük silindirlerin arasından geçen su akımının miktarını ifade eder. Bu eğimin azalması silindirler arasındaki boşlukluluğun arttığını gösterir. Akım yönünde oluşan eğimin belirlenebilmesi için silindir merkezi ile aynı düzlemde olan ve oyulma konisi içerisinde kalan noktalardan lineer regresyon ile doğru geçirilmiş ve bu doğrunun eğimi hesaplanmış ve Şekil 3.16’da gösterilmiştir. Hesaplanan eğim değerleri Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.



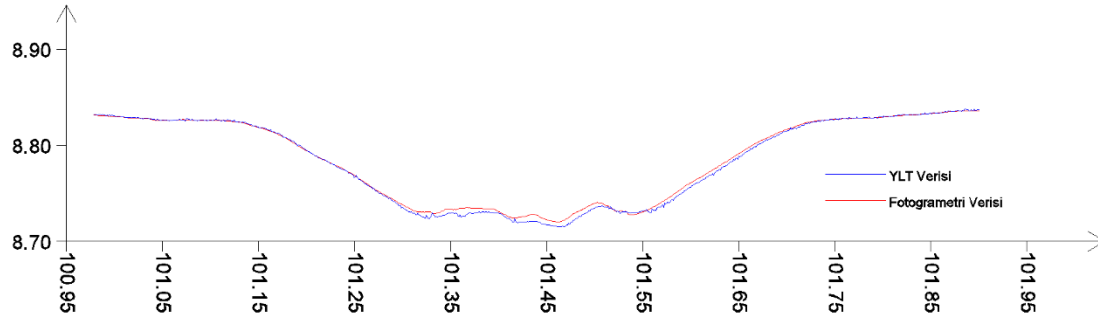
Şekil 3.16 : Yersel lazer tarama verisi ile oyulma konisinde akım yönünde hesaplanan eğim örneği.

Çizelge 3.10 : Oyulma konisinde akım yönünde oluşan eğim.

Veri No	Veri Türü	Yüzey Üretim Yöntemi	Eğim (%)
1	Fotogrametrik	IDW	-56.52
2	Fotogrametrik	Kriging	-56.52
3	Fotogrametrik	NN	-56.52
4	Fotogrametrik	Lineer	-56.52
5	YLT	IDW	-58.87
6	YLT	Kriging	-58.93
7	YLT	NN	-58.88
8	YLT	Lineer	-58.85

Yapay kum havuzu boyunca köprü ayağı modelinin merkezinden geçirilen boykesit; akım bileşenlerinin köprü ayağı modeli etkisi ile modelin hangi bölgesinde nasıl değiştiğinin anlaşılması açısından önemlidir. Oluşturulan kum yüzeyi modelleri üzerinden her bir enterpolasyon metoduna göre silindir merkezi boyunca boykesit üretilmiştir.

Köprü ayağı modeli merkezinden akım doğrultusuna dik olarak alınan enkesit oyulma konisinin nasıl bir yayılım gösterdiğinin anlaşılmasına yardımcı olur. Bu sayede de akım bileşenlerinin, modelin yan kısmındaki hareketinin anlaşılmasını sağlar. Oluşturulan kum yüzeyi modelleri üzerinden her bir enterpolasyon metoduna göre silindir merkezi boyunca enkesit üretilmiştir ve Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Silindir merkezi boyunca IDP yöntemi ile oluşturulan yüzey üzerinden üretilen enkesitler.

Veri elde etme yönteminin ve enterpolasyon yönteminin; boykesit ve enkesit üretimi üzerindeki etkisinin analizi için üretilen boykesitler ve enkesitler üzerinde 5 mm aralıkla noktaların yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Her bir veri elde etme yönteminde her bir enterpolasyon yöntemi birbirleriyle ve her bir enterpolasyon yönteminde veri elde yöntemi birbiriyle karşılaştırılmıştır. Boykesitte bazı farklar görülmesine karşın enkesitte anlamlı farklılıklara rastlanmamıştır. Bu nedenle boykesitte yapılan karşılaştırmalara ait değerler, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 : Enterpolasyon yöntemine göre veri elde etme yöntemlerinin kıyaslanması.

Veri No	Yüzey Üretim Yöntemleri	Karşılaştırılan Yöntemler	En Yüksek Fark (mm)	KOH (mm)
1	IDW	Fotogrametri-YLT	11.0	3.8
2	Kriging	Fotogrametri-YLT	11.5	3.9
3	NN	Fotogrametri-YLT	11.5	3.9
4	Lineer	Fotogrametri-YLT	11.8	3.9

Çizelge 3.12 : Veri elde etme yöntemine göre enterpolasyon yöntemlerinin birbirleriyle kıyaslanması

Veri No	Veri Türü	Karşılaştırılan Yöntemler	En Yüksek Fark (mm)	KOH (mm)
1	Fotogrametrik	IDW-Kriging	2.5	0.1
2	Fotogrametrik	IDW-NN	2.1	0.2
3	Fotogrametrik	IDW-Lineer	4.6	0.3
4	Fotogrametrik	Krigging-NN	1.5	0.1
5	Fotogrametrik	Krigging-Lineer	4.0	0.3
6	Fotogrametrik	NN-Lineer	2.5	0.1
7	YLT	IDW-Kriging	2.5	0.5
8	YLT	IDW-NN	2.6	0.4
9	YLT	IDW-Lineer	4.1	0.6
10	YLT	Krigging-NN	2.2	0.2
11	YLT	Krigging-Lineer	4.1	0.4
12	YLT	NN-Lineer	1.9	0.3

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma, köprü ayağı çevresinde su akımı nedeniyle oluşan desenlerin fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri ile düşük, orta ve yüksek çözünürlükte verilerinin elde edilmesini ve bu verilerden SYM'lerinin üretiminde farklı enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasını amaçlamıştır.

Çözünürlüğün etkisini belirlemek amacıyla her bir veri türünün, her bir çözünürlüğü ile kriging, doğal komşuluk, lineer ve ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak SYM'ler üretilmiş ve bu modellerden üretilen grid noktaları kullanılarak Z eksenindeki farklardan KOH'lar hesaplanmıştır. Hesaplanan KOH değerleri çözünürlüğe ve enterpolasyon yöntemine bağlı olarak 0.1 mm ile 0.8 mm arasında değişim göstermektedir. Bu değişimler irdelendiğinde çalışmanın amacına göre çözünürlüğe bağlı anlamlı bir değişimin olmadığı ifade edilebilir.

Çalışmada kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin SYM üretimine etkisini incelemek amacıyla her bir enterpolasyon yöntemi kullanılarak her bir çözünürlükte SYM'ler üretilmiştir. Üretilen bu modellerin referans düzleme (9.000 m) göre hacimleri hesaplanmıştır. Veri türü ve enterpolasyon yöntemleri sabit tutularak hesaplanan hacimlere göre çözünürlüğün hacim hesabında anlamlı bir farka neden olmadığı görülmüştür. Ayrıca; her bir veri türünün, her bir çözünürlüğe ve enterpolasyon yöntemine göre hesaplanan hacim değerlerinin ortalamasına göre oransal KOH'sının %0.5 olduğu belirlenmiştir.

Enterpolasyon yönteminin; çalışma alanında bulunan dört farklı bölgedeki performansını gözlemlemek amacıyla her bir bölgenin SYM'leri oluşturulmuş ve referans düzleme (9.000 m) göre hacimleri hesaplanmıştır. Bölgeler toplamından gelen hacim değerleri, tüm yüzey kullanılarak yapılan hacim ile karşılaştırılmıştır. Doğal komşuluk ve lineer enterpolasyon yöntemleri diğer iki yöntem ile kıyaslandığında; hacimde farklılığa sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmada kullanılan veri elde etme yöntemleri kendi içinde çözünürlüğe ve enterpolasyon yöntemine göre hesaplanan hacme bağlı olarak kıyaslanmıştır.

Fotogrametri yönteminden elde edilen ortalama hacim değerin KOH'sı 336 cm^3 (%0.06), yersel lazer tarama yönteminden elde edilen ortalama değerin KOH'sı 329 cm^3 (%0.06) olarak hesaplanmıştır. Her iki veri türü için de doğal komşuluk yönteminde hata miktarının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Hidrolik analizlerin yapılabilmesi için gerekli olan parametrelerin veri türü ve enterpolasyon yöntemine göre değişimleri incelenmiştir. Köprü ayağı modelinin stabilitesine etki eden, kum yüzeyinin en yüksek ve en düşük kotları her iki veri türünde ve her bir enterpolasyon yöntemine göre hesaplanmıştır. Enterpolasyon yöntemlerinin farklılığı her iki veri türü için de en fazla 1 mm'lik bir farka sebep olmaktadır. Veri türleri kıyaslandığında ise fotogrametri yöntemi en yüksek kotun, yersel lazer tarama yöntemine göre 5 mm düşük, en düşük kotun ise 4 mm yüksek olduğu belirlenmiştir.

Oyulma konisinin hacmi fotogrametri ve yersel lazer tarama yöntemleri arasında ortalama olarak 450 cm^3 (%4) farklı çıkmıştır. Oyulma genişliği ise her iki yöntemine göre 0.3 mm farklılık göstermiştir. Oyulma konisinin akım yönünde oluşan eğimi ise veri elde etme yöntemlerine yaklaşık olarak %2'lik farklılık göstermiştir. Veri türleri kendi içinde kıyaslandığında enterpolasyon yöntemlerinin eğim hesabına etkisinin olmadığı görülmüştür.

Silindir merkezi referans alınarak üretilen enkesit ve boykesitler veri türüne ve enterpolasyon yöntemine göre 5 mm aralıklarla yükseklik değerlerine göre kıyaslanmıştır. Üretilen enkesitte anlamlı farklara rastlanılmamıştır. Boykesitte ise veri elde etme yöntemleri arasında farklılıkların bulunduğu görülmüştür. Bu farkların; veri elde etme yöntemlerinin yükseklik verisinde ortaya çıkardığı farklardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Yapılan deneylerde laboratuvar koşulları, su akımındaki değişiklikler, kum özellikleri, deney öncesi kum yüzeyinin düzlemsel farklılıkları gibi etkenlerden kaynaklanan hatalar göz önüne alındığında hem fotogrametri hem yersel lazer tarama ölçmelerinden kaynaklanan hataların göz ardı edilebilecek seviyede olduğu düşünülmektedir. Yapılan analizlere göre sonuçlar göz önüne alındığında hem fotogrametri hem yersel lazer tarama verilerinin söz konusu uygulama için kullanımının uygun olduğu değerlendirilmektedir. Her iki veri türü farklı

enterpolasyon yöntemlerine göre bazı farklılıklar göstermiş olsa da bu farklılıklar oransal olarak küçük değerlerdir.

Yapılan çalışmada elde edilen veriler kum yüzeyinin tamamını kapsamakta ve veri bütünlüğünü sağlamaktadır. Enterpolasyon yöntemlerinin oluşturulan SYM'lerine etkisi veride boşluklar olduğu zaman ortaya çıkacağı değerlendirilmektedir. Enterpolasyon yöntemlerinin etkisinin araştırılması için veri yoğunluğu düşük veya boşluk bulunan nokta bulutu verilerin kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Yapılan deneylerde veri bütünlüğünün sağlanması amacıyla YLT ile altı istasyon noktasından tarama yapılmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde üç istasyon noktasından tarama yapılarak veri bütünlüğünün sağlanabileceği anlaşılmıştır. Tarama işleminin tek bir istasyon noktasında, düşük çözünürlükte üç dakika, orta çözünürlükte yedi dakika, yüksek çözünürlükte yirmi sekiz dakika sürdüğü göz önünde bulundurulduğunda; tarama yapılan istasyon noktalarının azaltılması veri elde ediniminde harcanan zamanda büyük tasarruf sağlayacaktır.

Fotogrametrik değerlendirmede kullanılacak olan görüntüler, hava fotogrametrisinde olduğu gibi, yaklaşık olarak eş düzlemde, kanaldan 1.5 m yükseklikte ve 50 mm'lik lensi bulunan dijital kamera ile elde edilmiştir. Çalışma alanını oluşturan kum yüzeyinde bozulmaya sebep olabileceği için fotogrametrik değerlendirmede kullanılacak olan üç adet kontrol noktası kum yüzeyinin dışına yerleştirilmiştir. Kameranın konumu, kullanılan lens, kontrol noktalarının sayısı ve konumu; fotogrametrik veri elde edilmesinde doğruluğu etkileyen faktörlerdir. Yapılan çalışma sonucu elde edilen verilerden yola çıkarak, fotogrametrik değerlendirme için kullanılacak olan görüntülerin, odak uzaklığı daha kısa olan bir lens ile yapılması ve görüntülerin elde edilme konumunun değiştirilerek daha fazla kontrol noktası içerecek şekilde görüntü alınması gerektiği düşünülmektedir. Şekil 5.2'de gösterildiği gibi planlanan görüntü alımının daha uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada kullanılan kum yüzeyi verisi İTÜ Hidrolik Laboratuvarı'nda uygulanan deneylerden bir tanesine aittir. İlerleyen süreçte yapılan deneylerin her birinde, bu çalışmada kullanılan veri elde etme yöntemleri yukarıda verilen öneriler göz önünde bulundurularak tekrardan karşılaştırılacaktır. Yapılması

planlanan çalışmalar ile hesaplanacak hidrolik parametreler arasındaki farklılıkların azalacağı düşünölmektedir.

Bu alışma için, her iki veri elde etme yöntemi kullanılan yazılım, donanım ve harcanan zaman olarak kıyaslandığında fotogrametri yöntemi bir adım öne çıkmaktadır. Kullanılan yersel lazer tarayıcının yazılım ve donanım maliyeti, kullanılan fotogrametrik yazılım ve dijital kameranın maliyetinin çok üstündedir. Ayrıca veri elde etme süreleri kıyaslandığında yersel lazer tarayıcı ile veri elde edilmesi, görüntü alımına göre çok daha fazla zaman almaktadır.

KAYNAKLAR

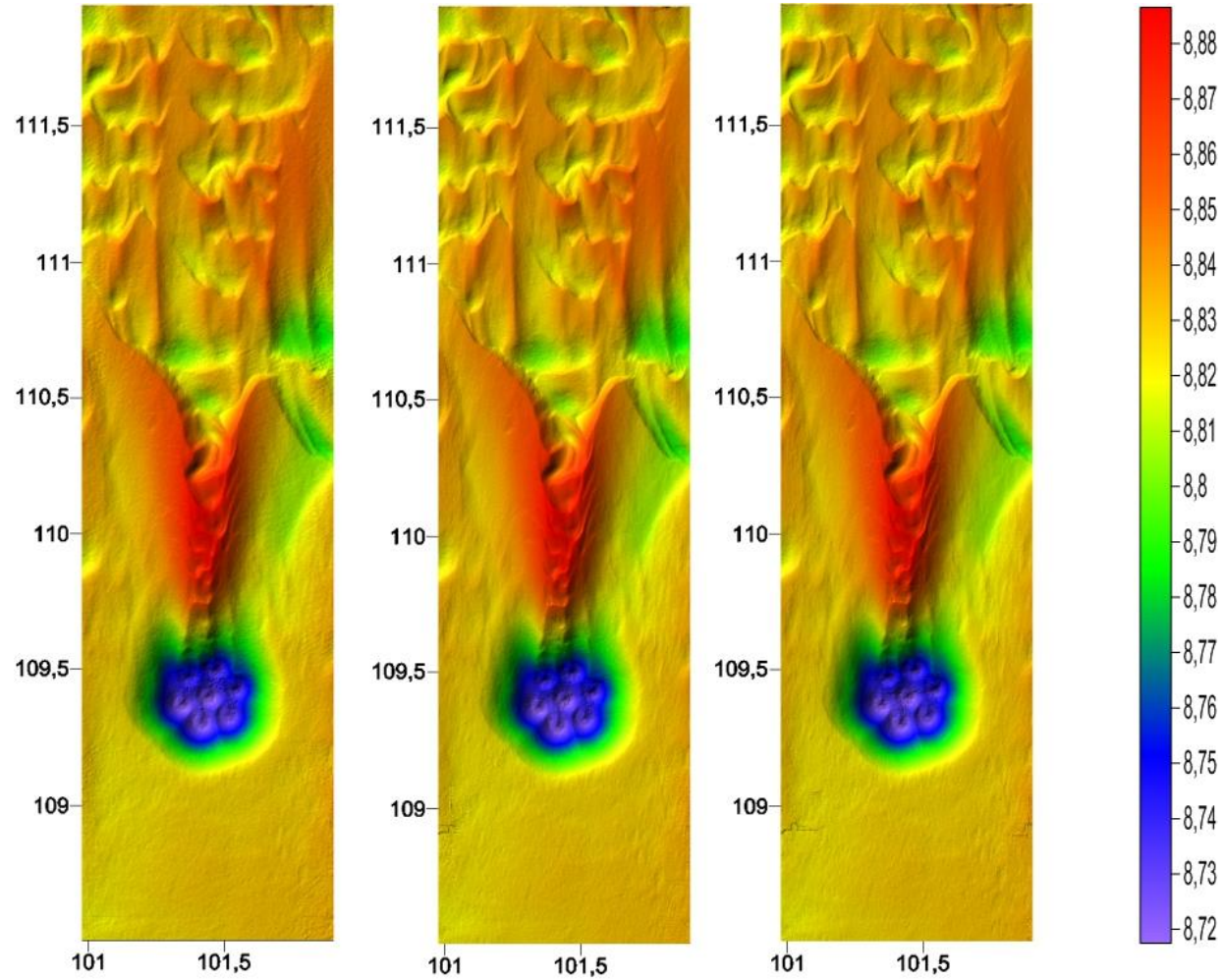
- Angelopoulou, E., & Wright Jr, J. R.** (1999). Laser scanner technology.
- Arslandoğlu, M., & Özçelik, M.** (2005). Sayısal Arazi Yükseklik Verilerinin İyileştirilmesi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*. Ankara, Türkiye.
- Başel, E. D. K., Satman, A., & Serpen, U.** (2013) Türkiye'nin Tahmini Yer Altı Sıcaklık Haritaları. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. İzmir, Türkiye.
- Böhler, W., & Marbs, A.** (2004). 3D scanning and photogrammetry for heritage recording: a comparison. Paper presented at the Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics.
- İnal, C., & Yiğit, C. Ö.** (2004). Elipsoidal Yükseklikleri Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Enterpolasyon Yöntemlerinin Kullanılabilirliği. *J. Fac. Eng. Arch. Selcuk Univ*, 19(1).
- Duran, Z.** (2003). *Tarihi eserlerin fotogrametrik olarak belgelenmesi ve coğrafi bilgi sistemine aktarılması* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fan, L., & Atkinson, P. M.** (2015). Accuracy of Digital Elevation Models Derived From Terrestrial Laser Scanning Data. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 12(9), 1923-1927.
- Glenn, J., Tonina, D., Morehead, M. D., Fiedler, F., & Benjankar, R.** (2015). Effect of transect location, transect spacing and interpolation methods on river bathymetry accuracy. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Jarvis, R. A.** (1983). A laser time-of-flight range scanner for robotic vision. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*(5), 505-512.
- Jensen, J. L., & Mathews, A. J.** (2016). Assessment of Image-Based Point Cloud Products to Generate a Bare Earth Surface and Estimate Canopy Heights in a Woodland Ecosystem. *Remote Sensing*, 8(1), 50.
- Matthews, N., & Noble, T.** (2008). Aerial and close-range photogrammetric technology: providing resource documentation, interpretation, and preservation. *Technical Note*, 428, 42.
- Shan, J., & Toth, C. K.** (2008). *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*: CRC press.
- Slob, S., & Hack, R.** (2004). 3D terrestrial laser scanning as a new field measurement and monitoring technique *Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe* (pp. 179-189): Springer.

- Vosselman, G., & Maas, H.-G.** (2010). Airborne and terrestrial laser scanning: Whittles Publishing.
- Wehr, A., & Lohr, U.** (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2), 68-82.
- Wolf, P. R., & Dewitt, B. A.** (2000). Elements of Photogrammetry: with applications in GIS (Vol. 3): McGraw-Hill New York.
- Yanalak, M.** (1997). *Sayısal arazi modellerinden hacim hesaplarında en uygun enterpolasyon yönteminin araştırılması* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

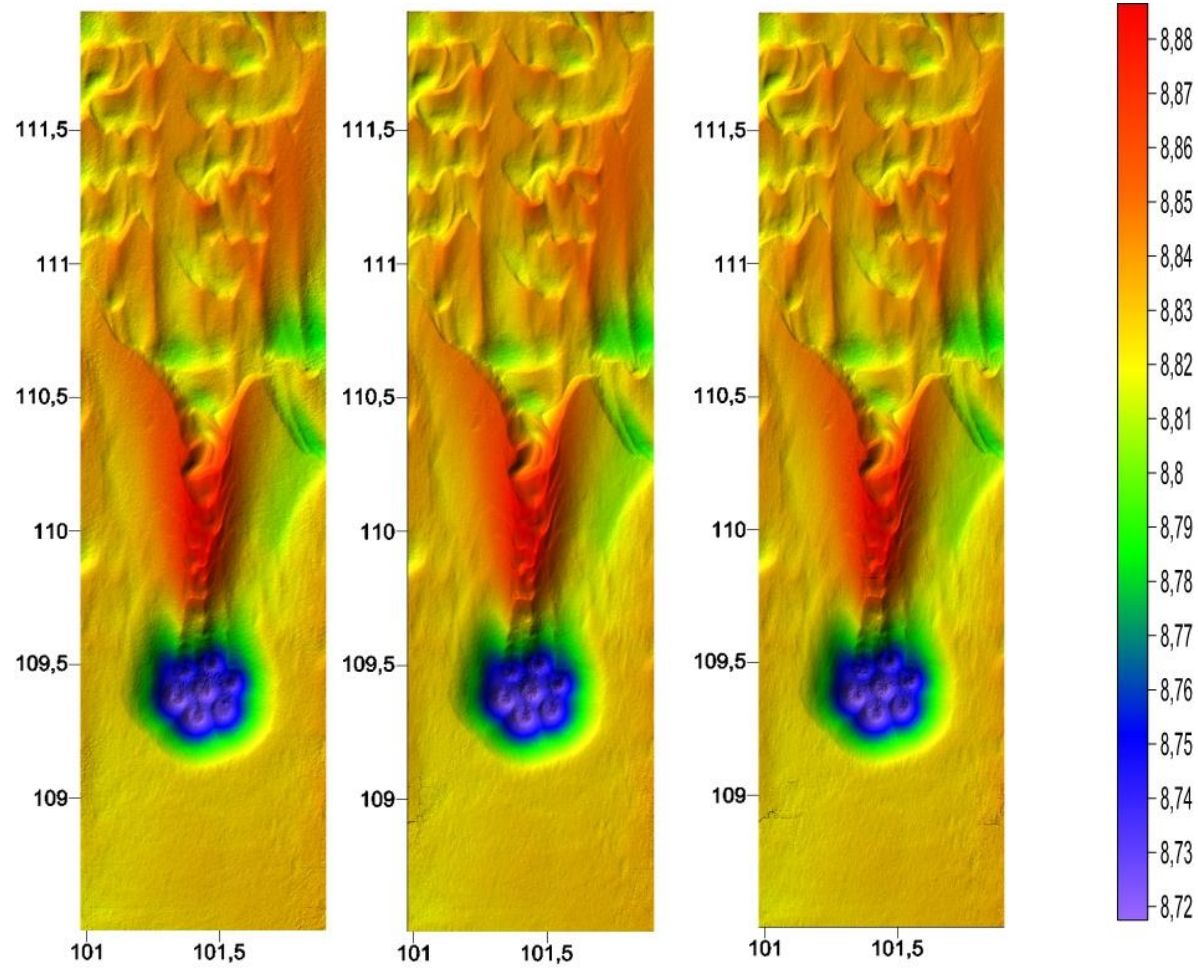
EKLER

EK A: YLT ve Fotogrametri yöntemleri ile düşük, orta ve yüksek çözünürlükle elde edilen verilerden her bir enterpolasyon yöntemi ile tüm yüzeye ait SYM'ler.

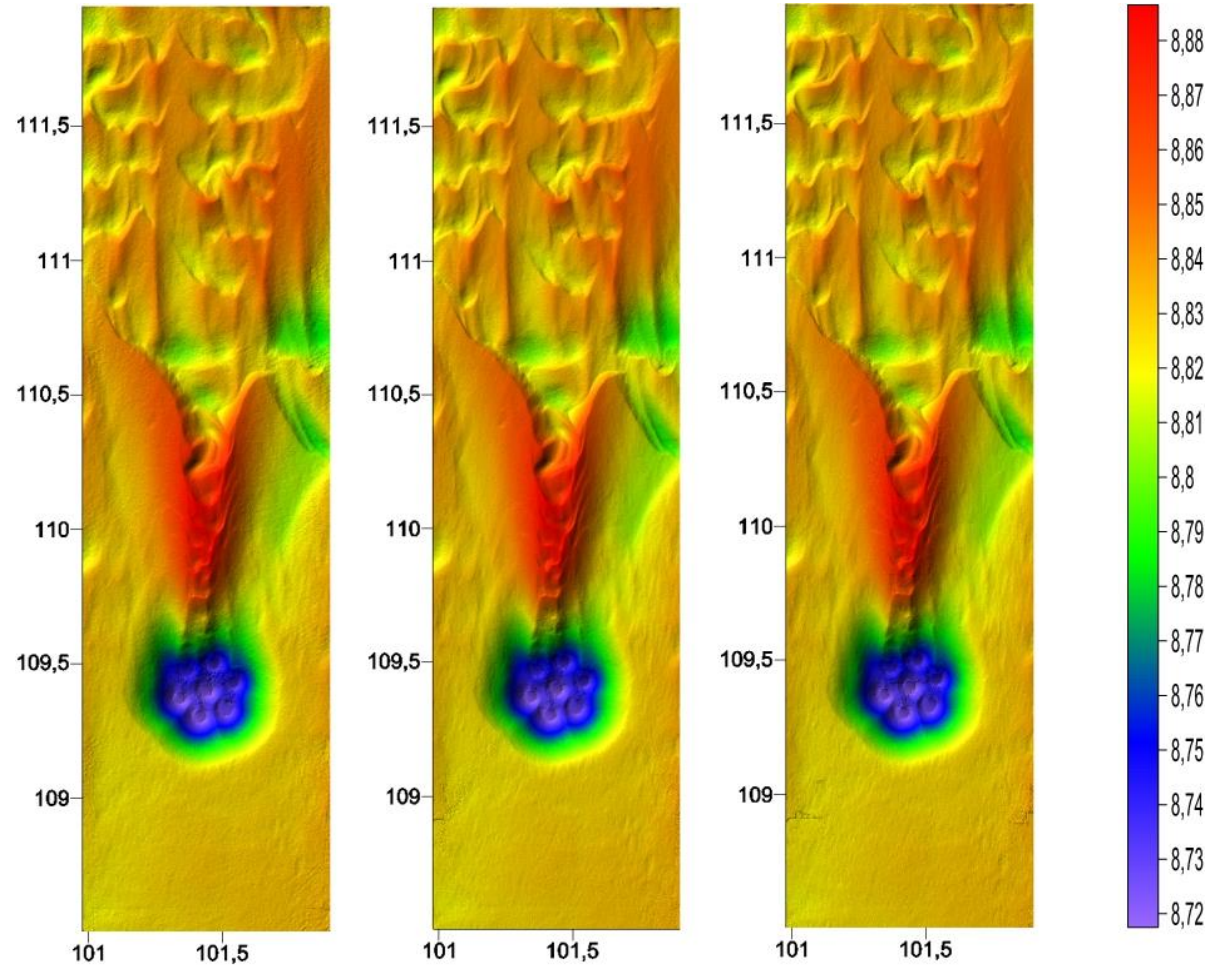
EK-B: YLT ve Fotogrametri yöntemleri ile düşük, orta ve yüksek çözünürlükle elde edilen verilerden her bir enterpolasyon yöntemi ile oyulma konisine ait SYM'ler.



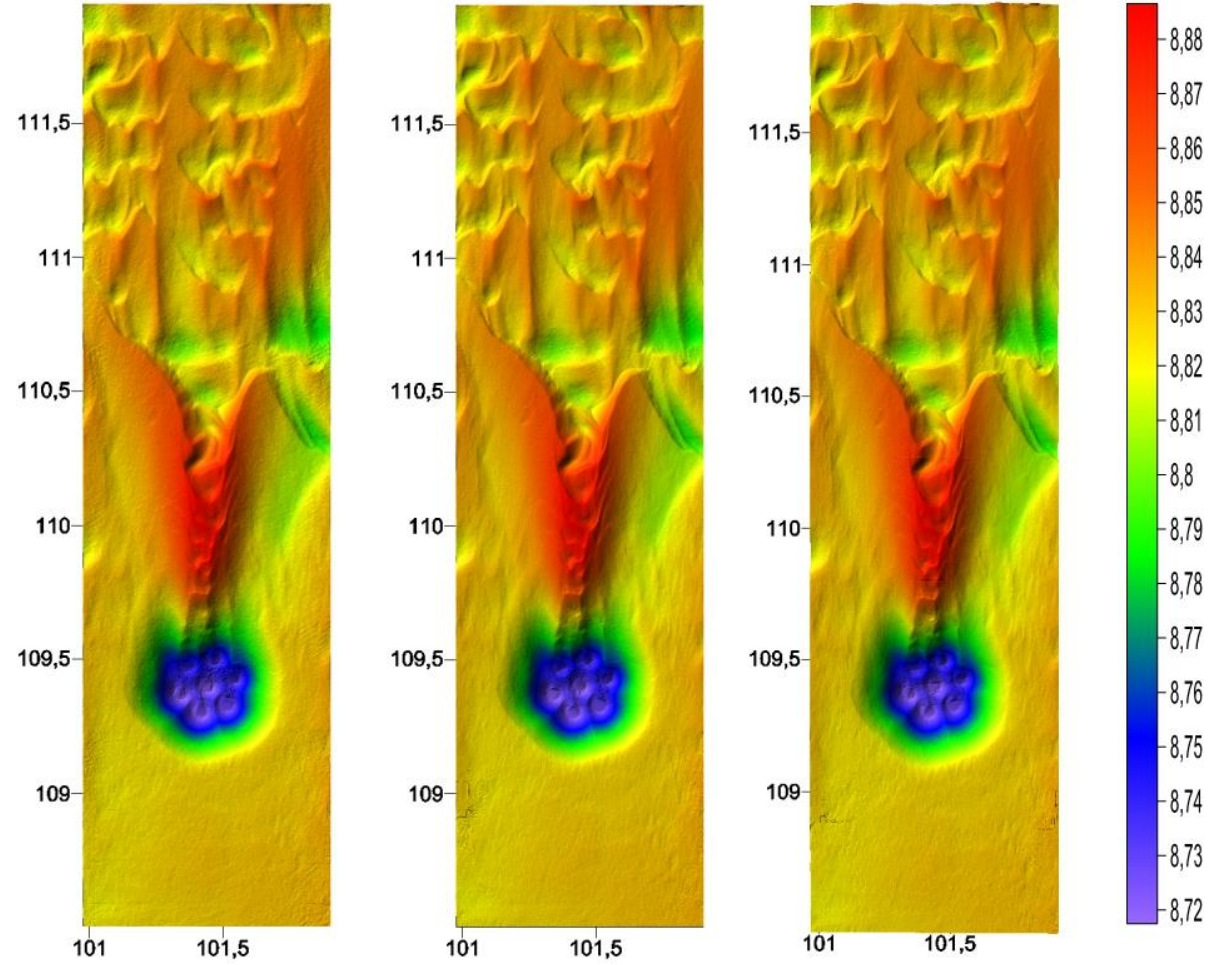
Şekil A.1 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden IDW enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.



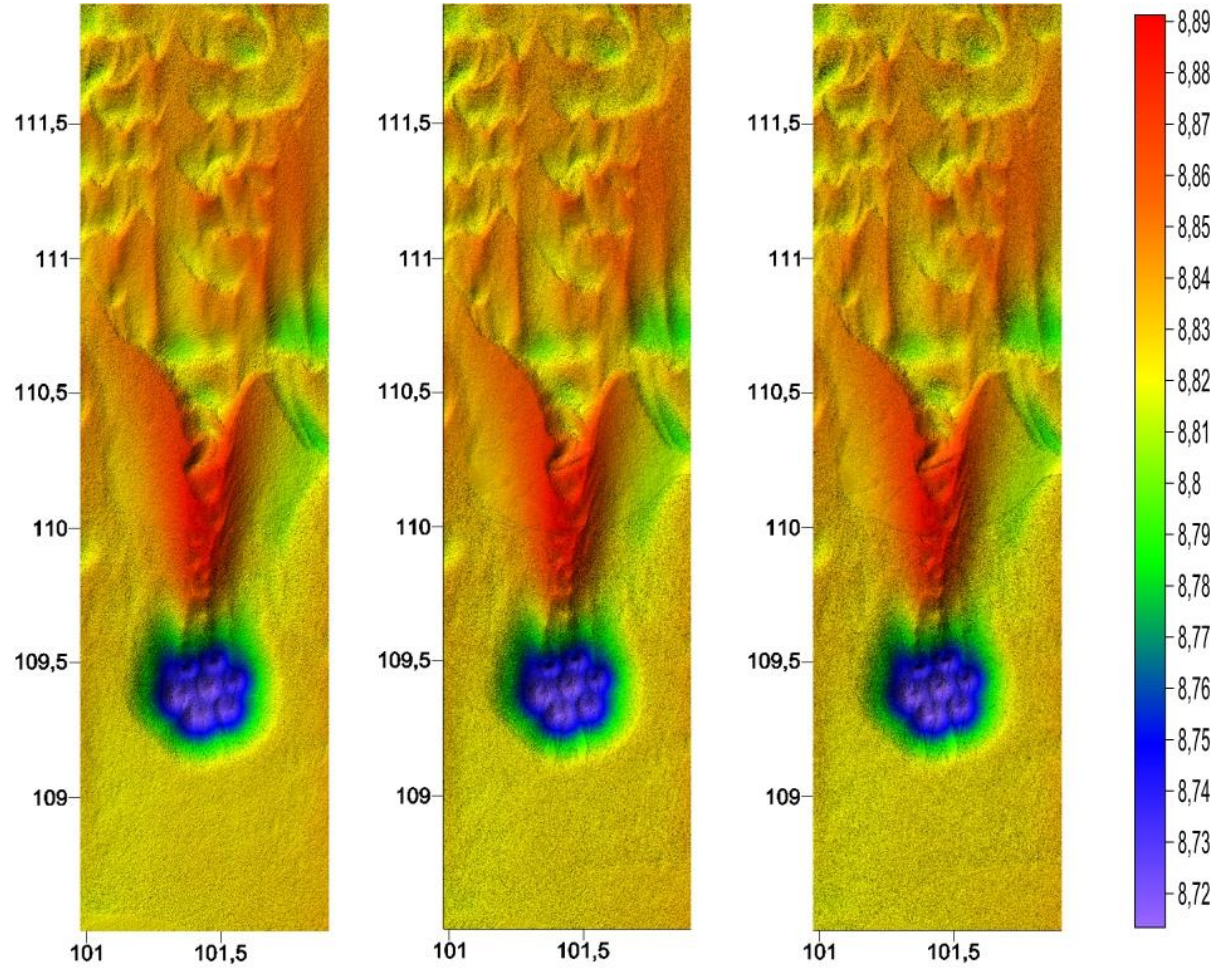
Şekil A.2 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden kriging enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.



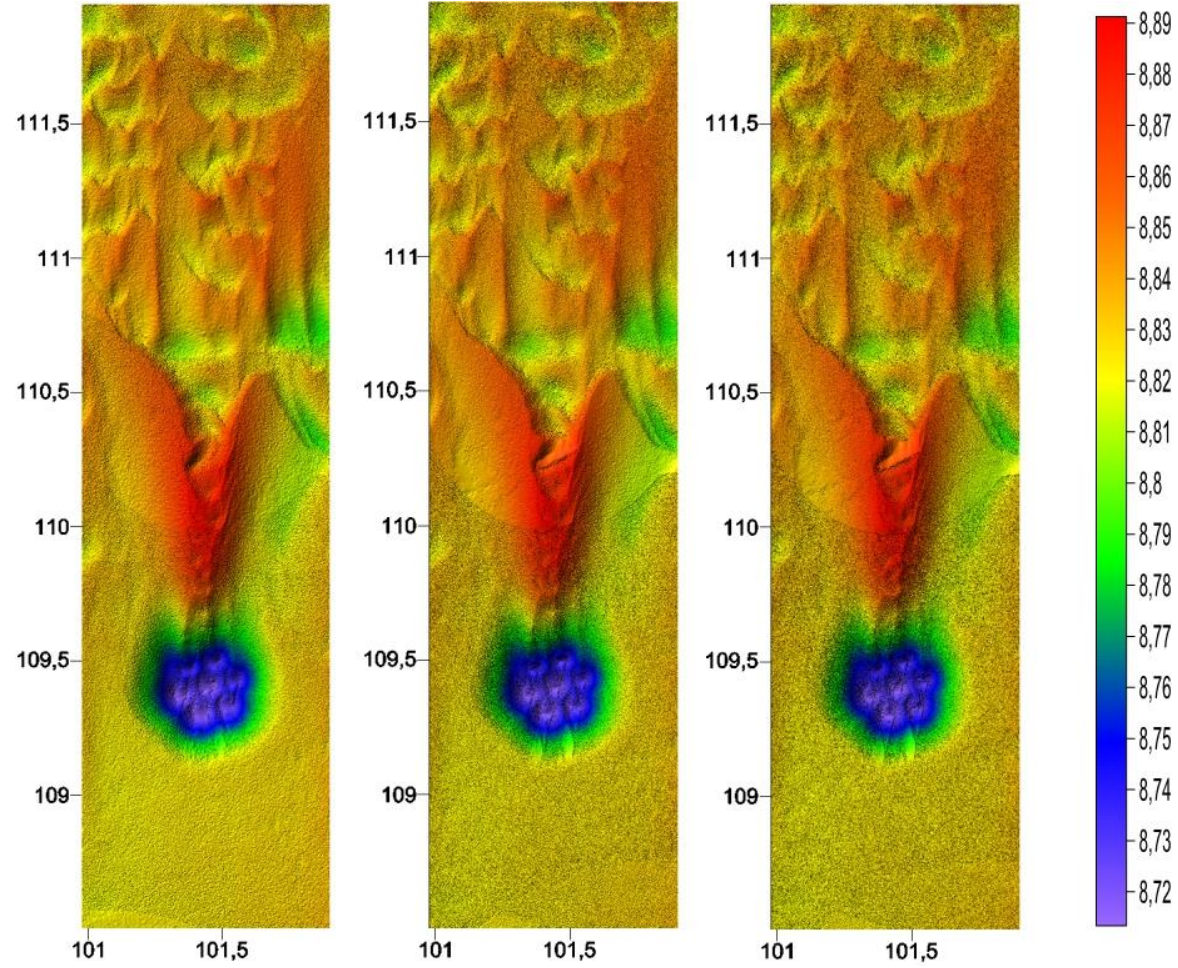
Şekil A.3 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden NN enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.



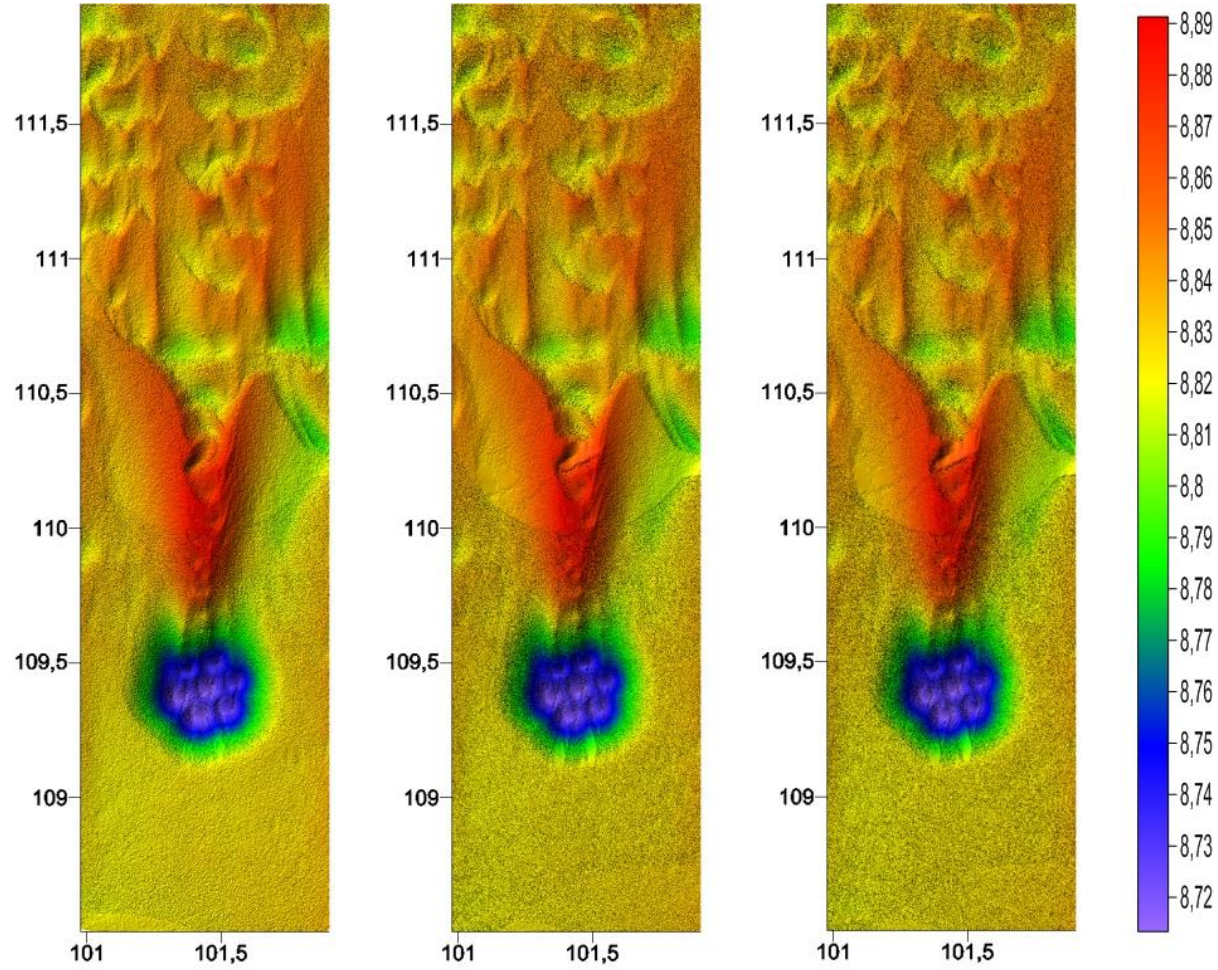
Şekil A.4 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden lineer enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.



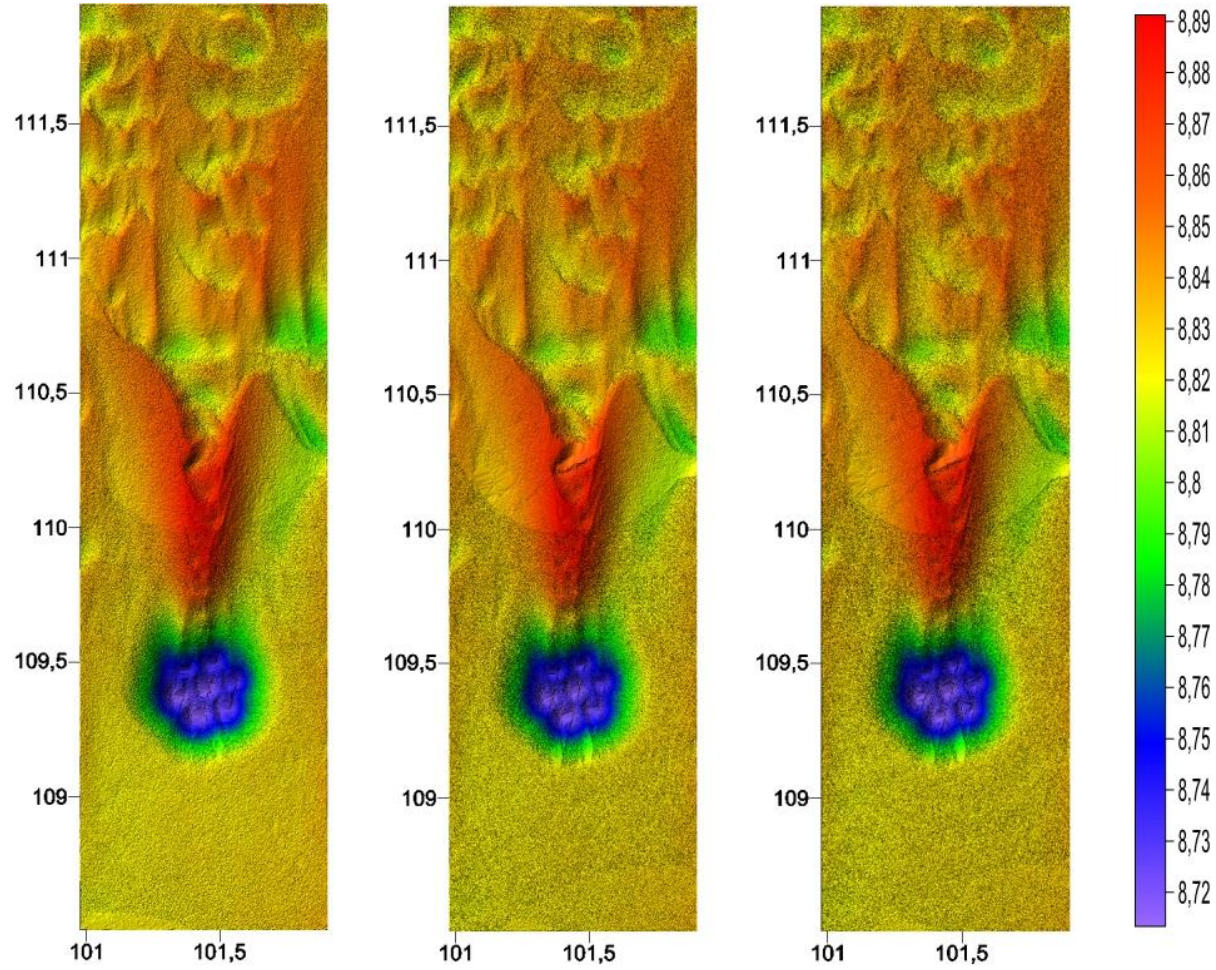
Şekil A.5 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden IDW enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.



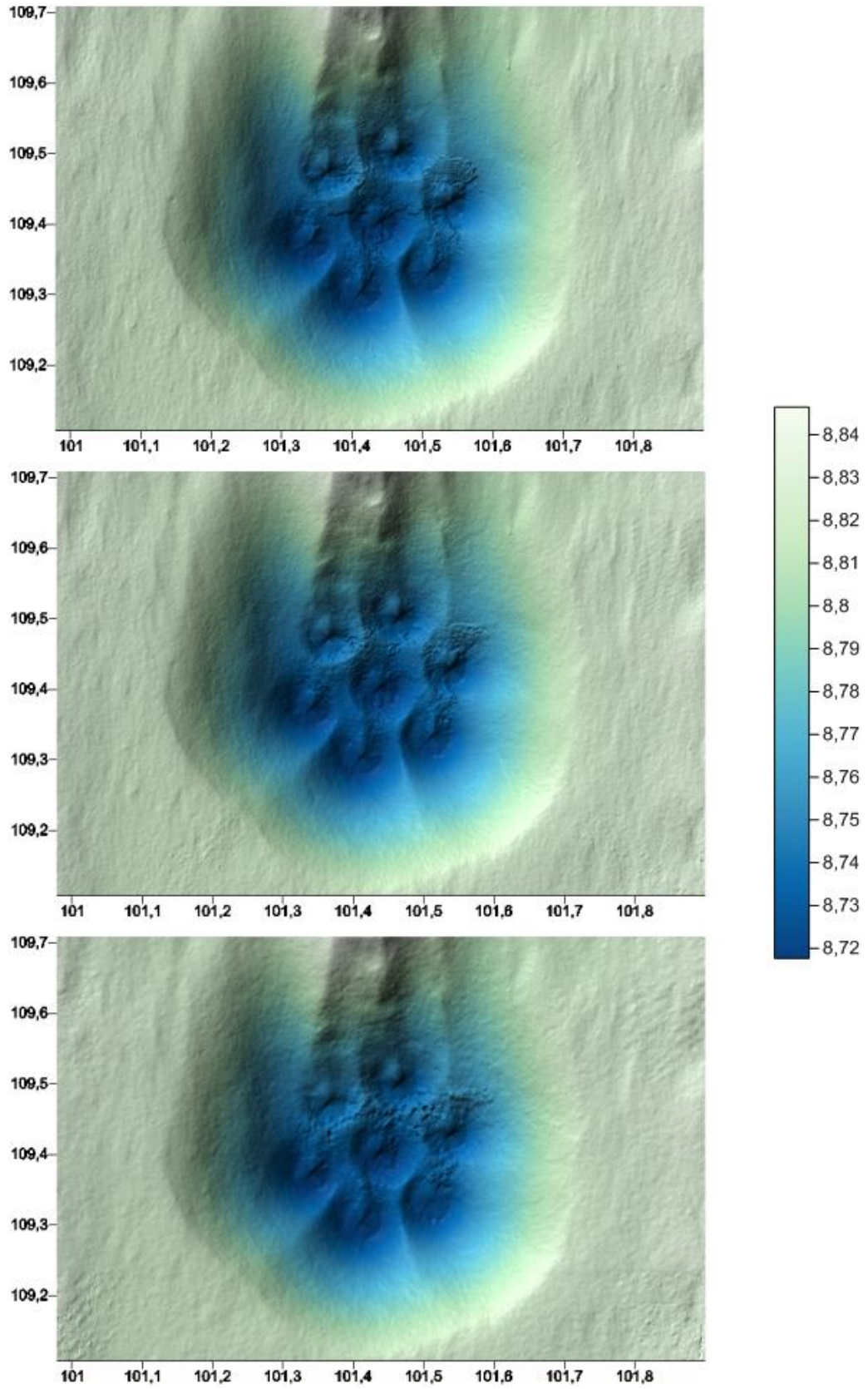
Şekil A.6 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden kriging enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.



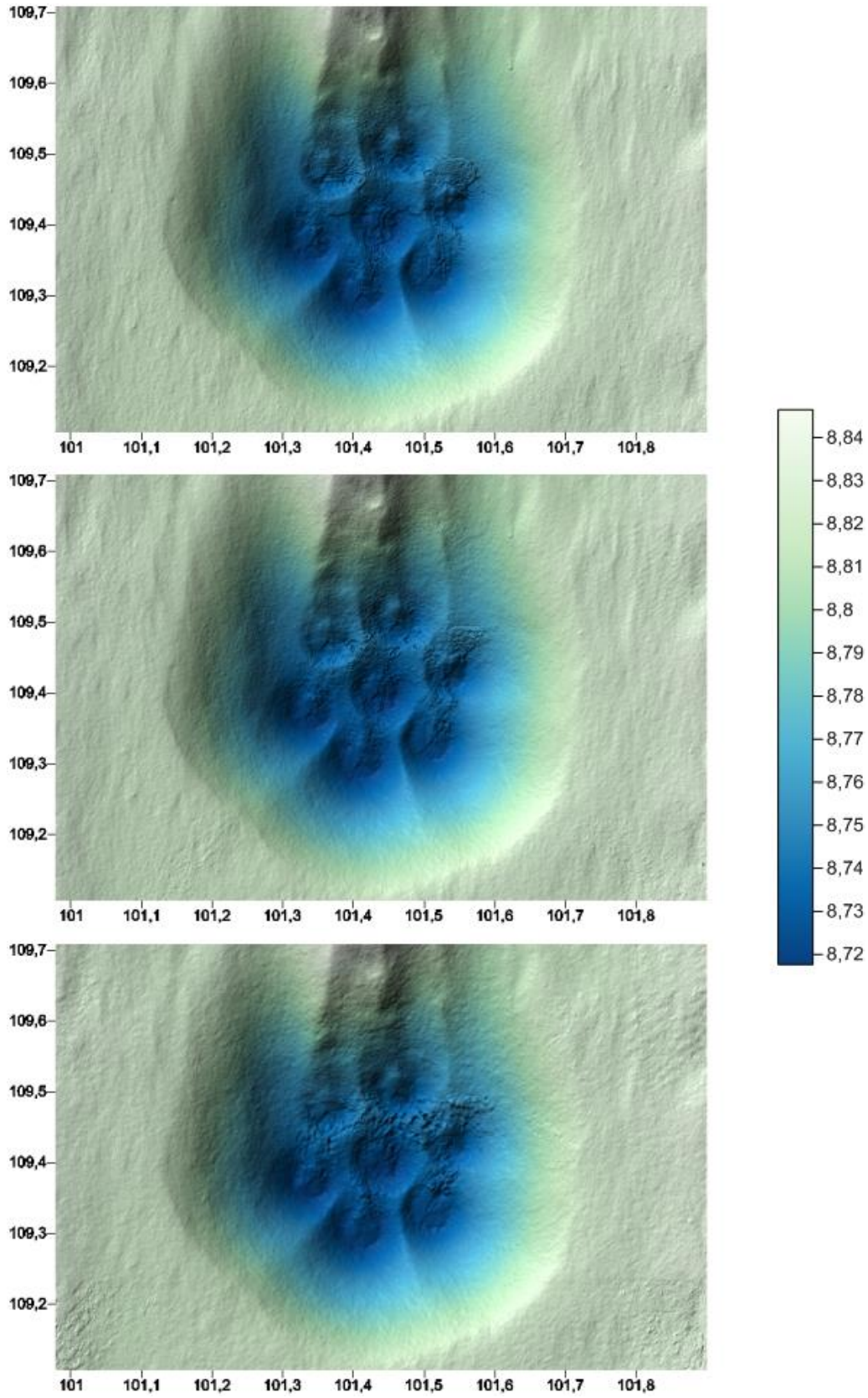
Şekil A.7 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden NN enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.



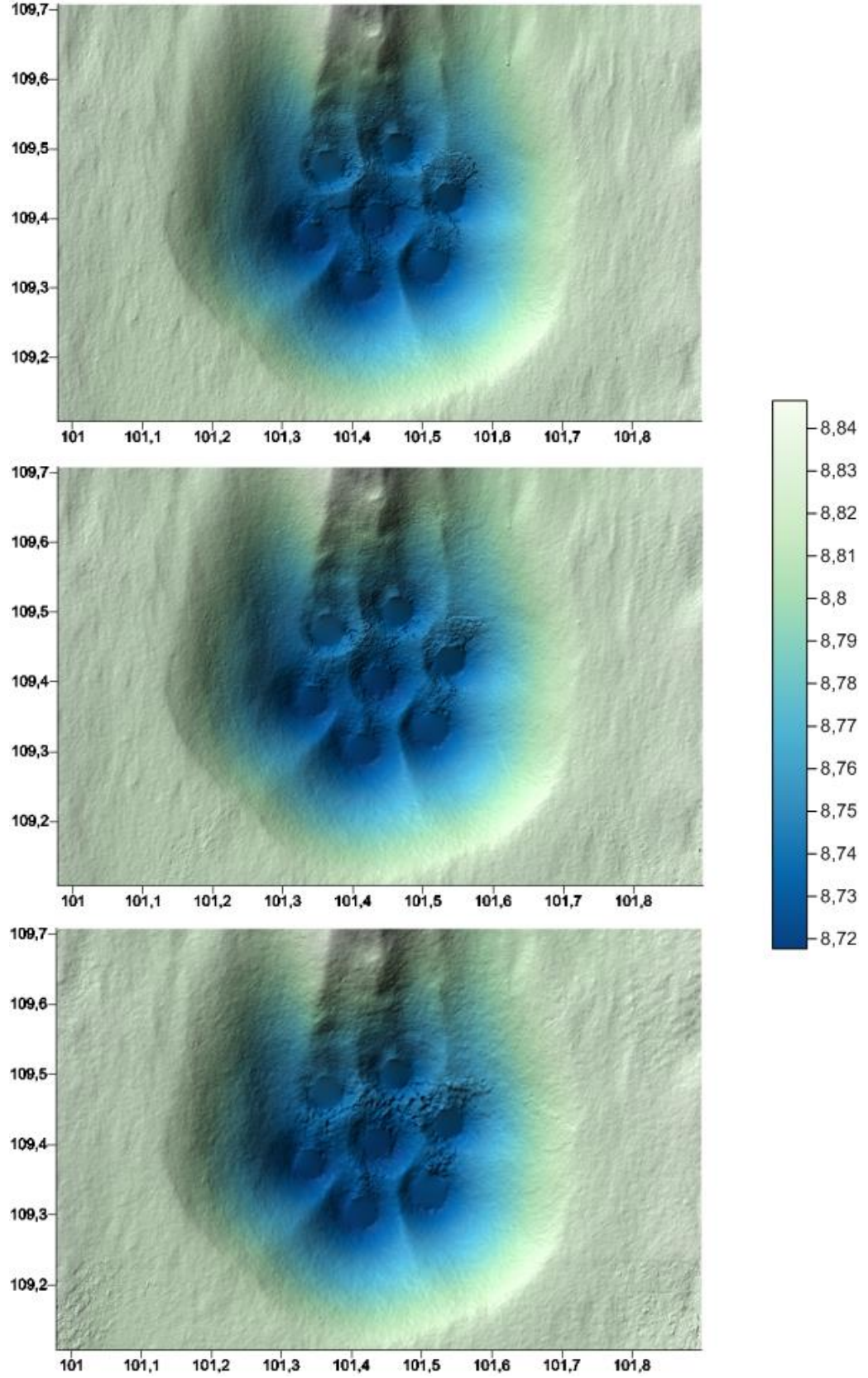
Şekil A.8 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (soldan sağa) çözünürlüklü verilerden lineer enterpolasyonu kullanılarak üretilen SYM'leri.



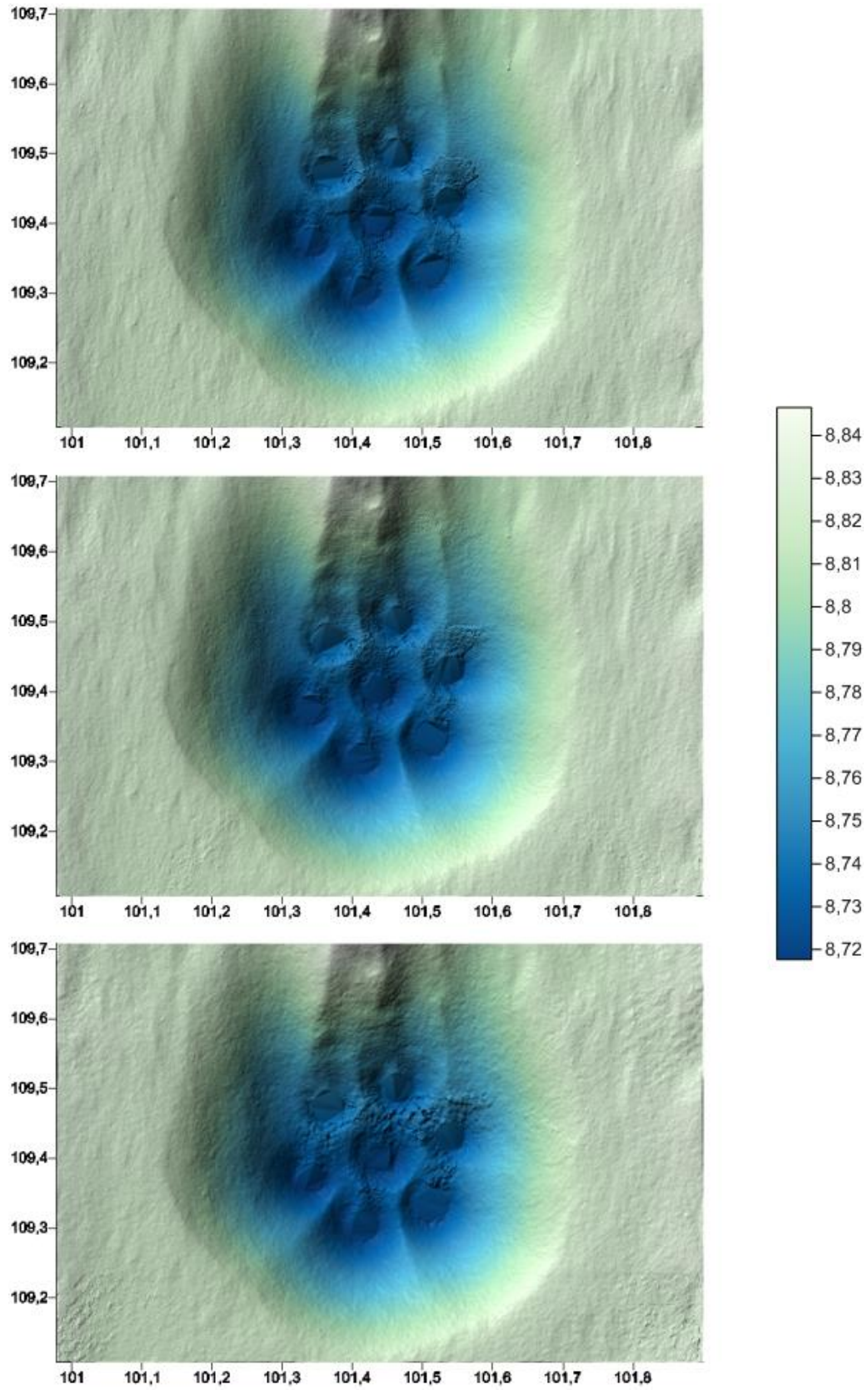
Şekil B.1 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden IDW enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.



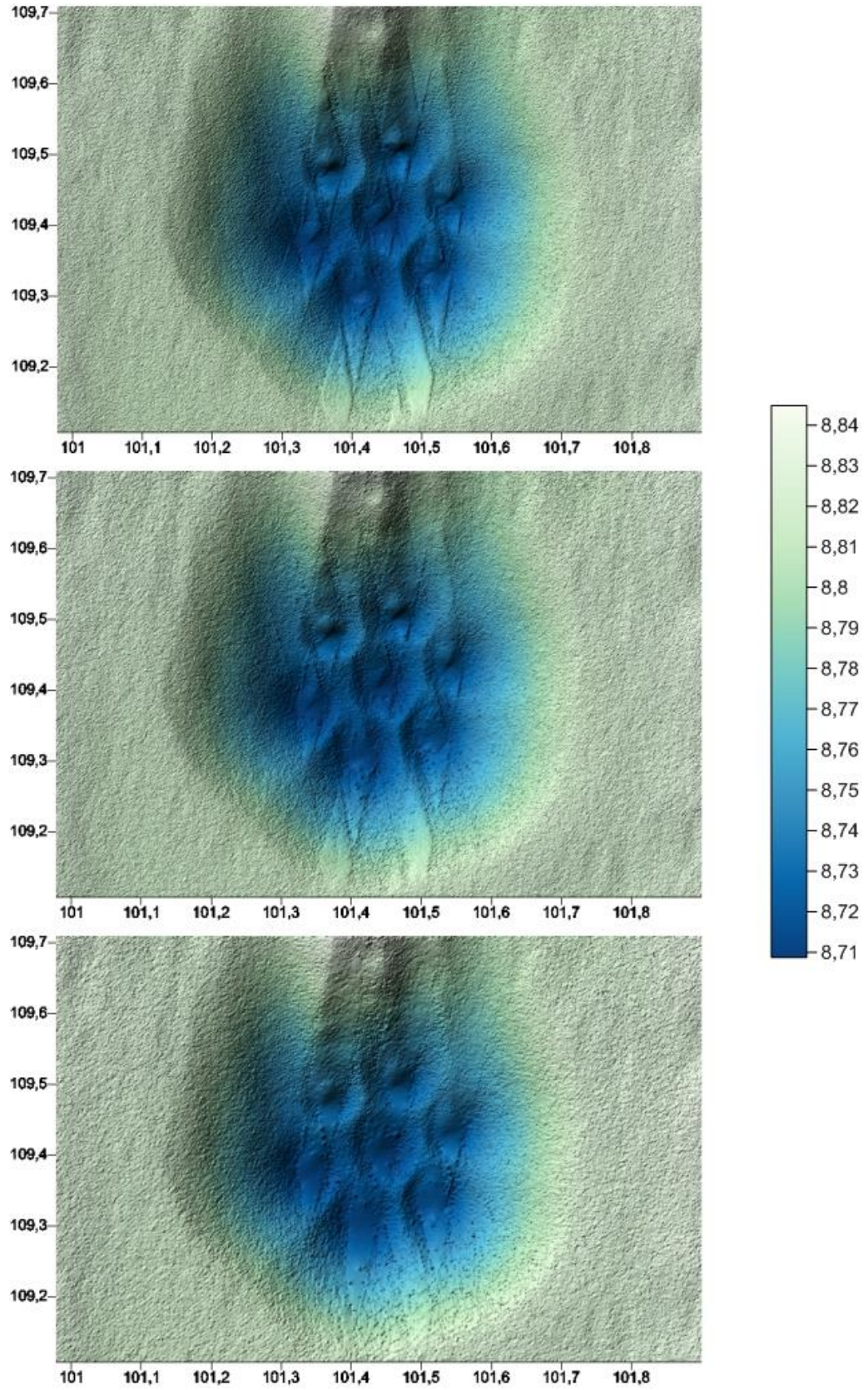
Şekil B.2 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden kriging enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.



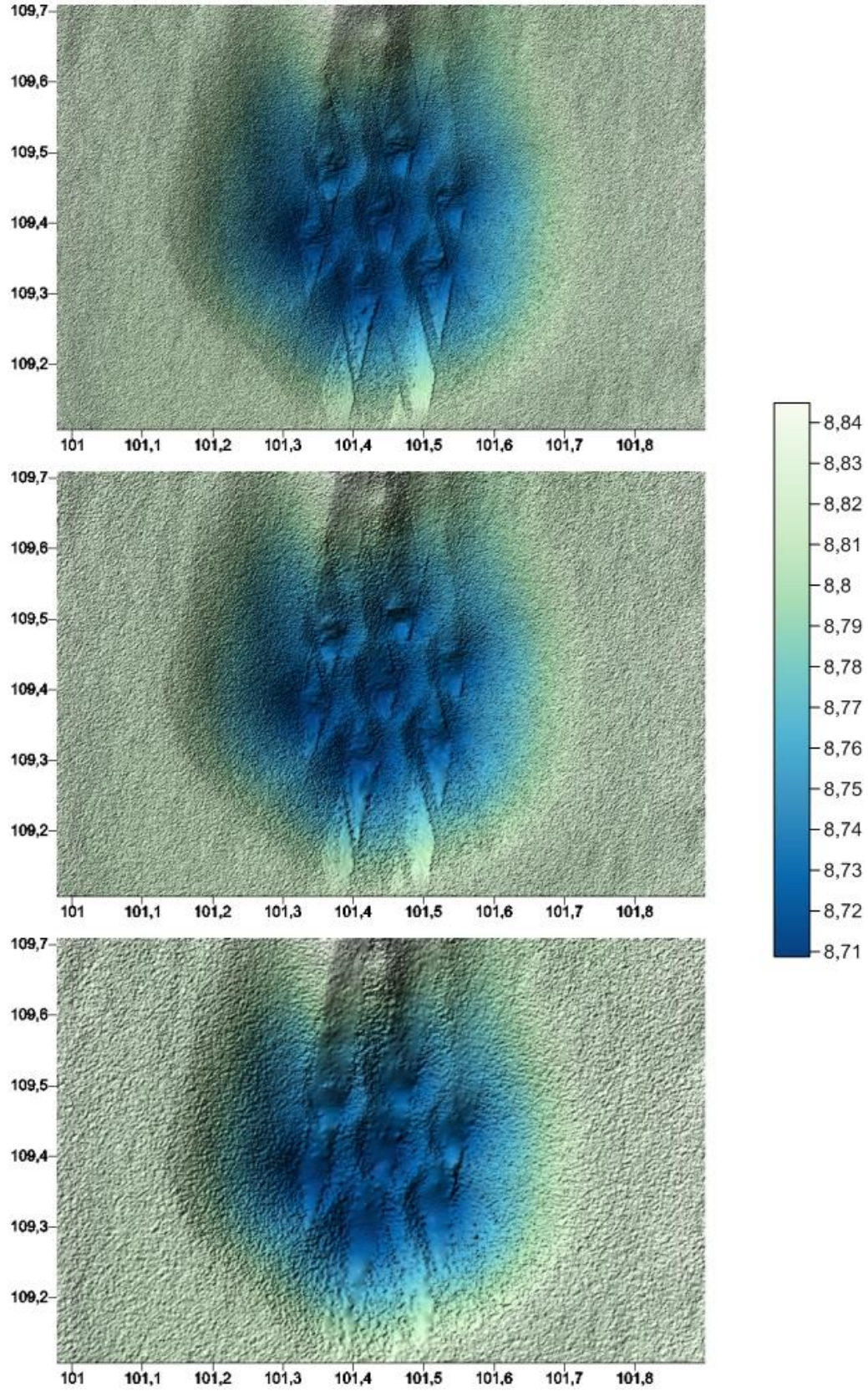
Şekil B.3 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden NN enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.



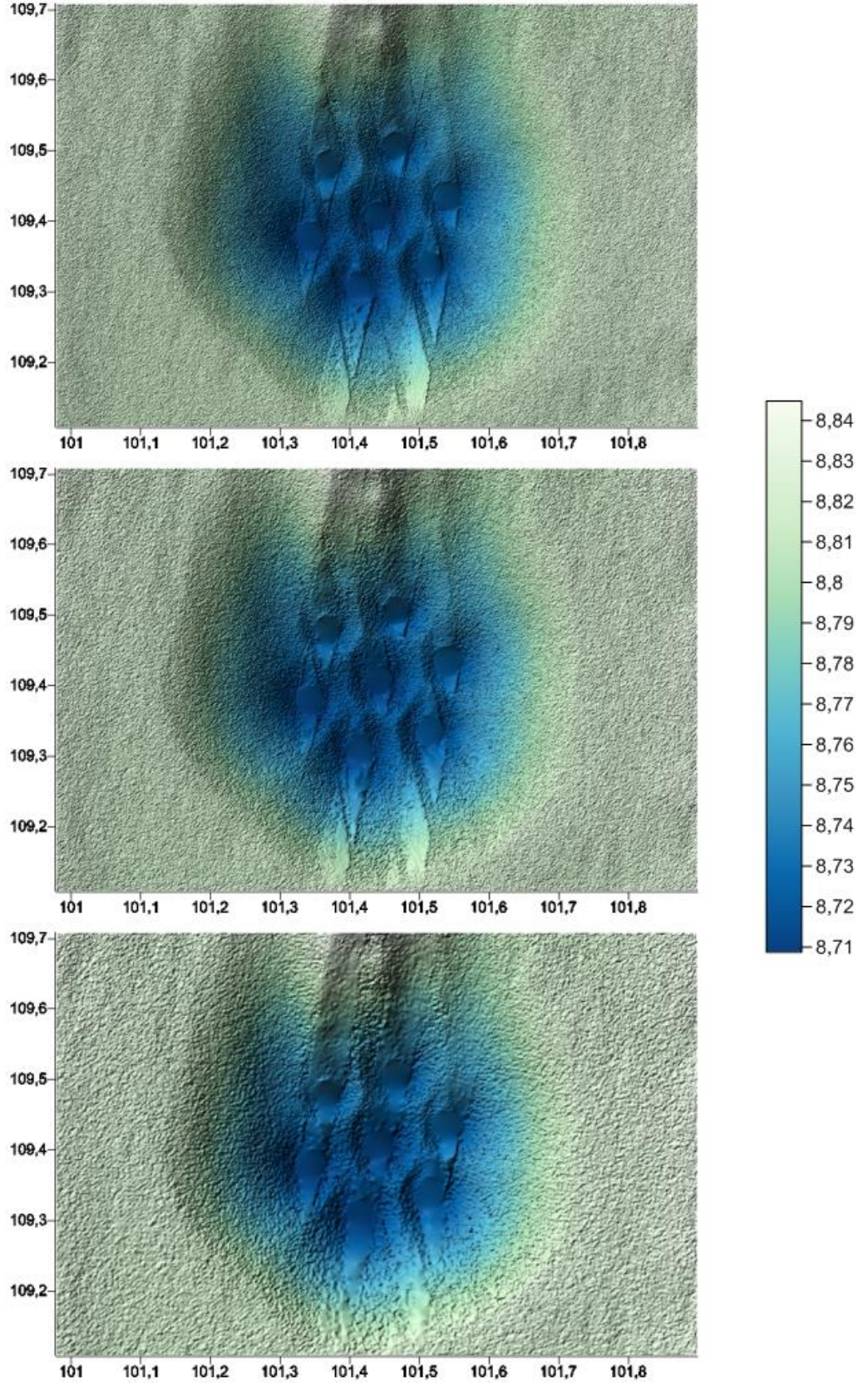
Şekil B.4 : Fotogrametri yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden lineer enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.



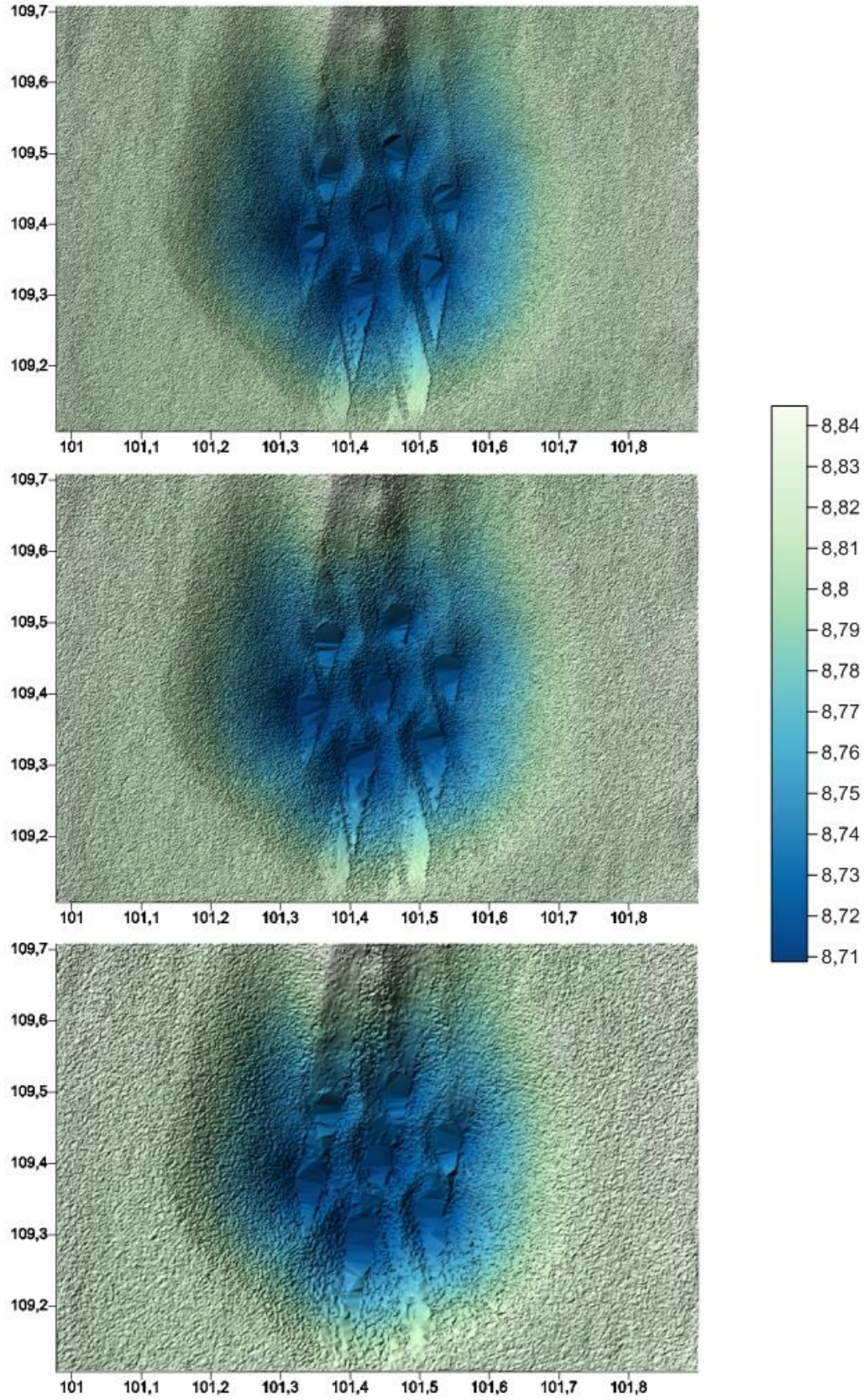
Şekil B.5 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden IDW enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.



Şekil B.6 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden kriging enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.



Şekil B.7 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden NN enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.



Şekil B.8 : YLT yöntemi ile elde edilen düşük, orta ve yüksek (aşağıdan yukarıya) çözünürlüklü verilerden lineer enterpolasyonu kullanılarak üretilen oyulma konisine ait SYM'leri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Furkan Çelik
Doğum Tarihi ve Yeri : Adana / 11.01.1989
E-posta : mfurkancelik@yandex.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2014-.... İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çelik M.F.**, Duran Z., Aydar U., Avsar E., (2011), "Lazer Tarayıcı Yardımı ile 3B İç Mekan Modeli Oluşturulması ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması", TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Konferansı, November 11-13, 2013, Ankara, TURKEY.
- Gül B., Uzunboz G., Duran Z., Kaya Ş., **Çelik M.F.**, Aydar U., "Çatı Kafes Sistemlerinin Lazer Tarayıcı Yardımı ile Modellenmesi", V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), October 14-17, 2014, İstanbul, TURKEY
- Safkan S., Hamarat H., Duran Z., Aydar U., **Çelik M.F.**, "Yersel Lazer Tarama Yönteminin Mimari Belgelemede Kullanılması", V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), October 14-17, 2014, İstanbul, TURKEY
- Denli H., **Çelik M.F.**, Kaya Ş., Duran Z., "Investigation of the Objects Depending on Distance Scanned with Laser Scanner", AGU Fall Meeting, December 15-19, 2014, San Francisco, USA
- Cakir Z., Aslan G., Dogan U., Kaya S., Ergintav S., Oz D., **Celik M.F.**, "Surface Creep Along the 1999 Izmit Earthquake's Rupture (Turkey) from InSAR, GPS and Terrestrial LIDAR", AGU Fall Meeting, December 15-19, 2015, San Francisco, USA
- Yağcı O., Kitsikoutis V., **Çelik M.F.**, Hodoglu C., Kırca Ö., Valyrakis M., Duran Z., Kaya Ş., "The Variation of Local Scour Pattern Around Representative Natural Vegetation Elements", 36 th IAHR World Congress, June 28-July 3, 2015, The Hague, NETHERLANDS