



KARAYOLU PROJELERİNDE DEĞİŞİK ENTERPOLASYON

YÖNTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

UĞUR YATIGI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Dr. Öğr. Üyesi Servet YAPRAK

NİSAN - 2021

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARAYOLU PROJELERİNDE DEĞİŞİK ENTERPOLASYON
YÖNTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

UĞUR YATIGI

TOKAT
Nisan - 2021

Her hakkı saklıdır



T.C.
KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
18. Bölge Müdürlüğü



12. ULAŞTIRMA VE
HABERLEŞME ŞİRKETİ
6-7-8 Ekim 2021



Sayı : E.43393741- 100 / 317660
Konu : Dilekçe Hk.

11.01.2021

Sayın Uğur YATIGI
0544 736 99 36

İlgi: 04/01/2021 tarihli ve - 626 sayılı yazınız.

İlgi dilekçenizde bahse konu olan Digor-Esenkent yolunda araziye ait harita verilerinin yüksek lisans tez çalışmanızda kullanılmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır.

Bilgilerini rica ederim.

Vedat ÖZKUL
Bölge Müdürü a.
Bölge Müdür Yardımcısı

"Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır."

Belge Doğrulama Kodu: "mhjwr6F768C9"

Belge Doğrulama Adresi: "http://uygulama.kgm.gov.tr/ebays/"

Yenişehir Mah. Alparslan Türkeş Bulvarı No:29/D 36200 KARS

Bilgi İçin: Eren YAKA

Büro Elemanı

Telefon No : 474 4536000

Faks: 474 2136337

Tel - Faks: 36606-

İnternet Adresi : www.kgm.gov.tr

KEP: kgm18bolge@hs01.kep.tr

e-posta : eyaka@kgm.gov.tr

İlgili Birim : Üstyapı Başmühendisliği -

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Uğur YATIGI

8 Nisan 2021



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARAYOLU PROJELERİNDE DEĞİŞİK ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ

UĞUR YATIGI

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM
ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ SERVET YAPRAK)

Yer bilimlerinde, özellikle de harita mühendisliği mesleğinde sayısal arazi modeli oluşturma, yüzey modellemesi ve bu modeller kullanılarak alan-hacim değerleri üretmek günümüzde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Doğru ve güvenilir bir alan-hacim hesabı için öncelikle doğru ve güvenilir bir yüzey modellemesinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu yüzey modellemeleri ve hacim hesaplamaları için çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Günümüzde birçok yazılım bu enterpolasyon yöntemlerini kullanmamıza olanak vermektedir.

Bu tez çalışmasında öncelikle birinci bölüm, giriş bölümünden oluşmaktadır. İkinci bölümde, literatür özetleri ve kuramsal temeller verilmiştir. Karayolları, sayısal arazi modeli, enterpolasyon yöntemleri ve hacim hesaplarından bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, uygulamada kullanılan materyal ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, enterpolasyon yöntemleri ve hacim hesapları sonucunda elde edilen değerler gösterilmiştir. Beşinci bölümde ise, elde edilen sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapılarak en uygun enterpolasyon yöntemi belirlenmiş ve önerilmiştir.

Uygulamada, Digor-Esenkent Yolu güzergahında bulunan kazı ve dolgu kesit alanları belirlenmiştir. Üç farklı kesit alanında siyah (doğal) zeminden ve terasman (kazı/dolgu) yüzeyinden ölçme noktaları toplanmıştır. Ölçme noktalarından bazıları dayanak ve test noktası olarak gruplandırılmıştır. Dayanak noktaları kullanılarak 4 farklı enterpolasyon yöntemiyle yüzey modellemesi yapılmış ve test noktalarının enterpolasyon yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Dayanak ve test noktaları kullanılarak siyah (doğal) zemin alt yüzey, terasman üst yüzey olacak şekilde hacim hesapları yapılmıştır. Elde edilen beş farklı hacim değerlerinin ortalaması alınmıştır ve bu hacim değeri referans değer olarak kabul edilmiştir. Elde edilen hacim değerleri karşılaştırılarak farklı enterpolasyon yöntemlerinin hacim hesabına etkisi incelenmiştir.

2021, 134 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Karayolu, Sayısal Arazi Modeli, Enterpolasyon, Kriging, Multikvadrik, Hacim Hesabı

ABSTRACT

MASTER THESIS

AVAILABILITY OF DIFFERENT INTERPOLATION METHODS IN HIGHWAY PROJECTS

UĞUR YATIGI

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE**

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING

SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. SERVET YAPRAK

In earth sciences, especially in the survey engineering profession, digital terrain model creation, surface modeling and generating area-volume values by using these models have a very important place. For an accurate and reliable area-volume calculation, firstly, an accurate and a reliable surface modeling should be performed. Some interpolation methods are used for these surface modeling and volume calculation. Today, various CAD software's allow us to use these interpolation methods.

In this thesis, the first chapter consists of an introduction. In the second chapter, literature summaries and theoretical bases were given. Highways, digital terrain model, interpolation methods and volume calculations were mentioned. In the third chapter, information about the materials and methods used in the practice were given. In the fourth chapter, the values obtained from interpolation methods and volume calculations were submitted. In the fifth chapter, the most appropriate interpolation method was determined and suggested by making comparisons between the obtained results.

In practice, the excavation and fill cross-sectional areas on the Digor-Esenkent Road route were determined. Measurement points were collected from black (natural) ground and terracing (excavation / fill) surface in three different cross-sectional areas. Some of the measurement points were grouped as fulcrum and test point. By using fulcrum points, surface modeling has been made with four different interpolation methods and interpolation height values of test points were calculated. Using the fulcrum and test points, volume calculations were made such that the black (natural) ground was the lower surface and the terraced upper surface. The average of five different volume values obtained were taken and this volume value was accepted as the reference value. The effect of different interpolation methods on volume calculation were examined by comparing the obtained volume values.

2021, 134 PAGE

KEYWORDS: Highways, Digital Terrain Model, Interpolation, Kriging, Multiquadric, Volume Calculations

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince tecrübeleri ve bilgileriyle her zaman bana yol gösteren ve bu süreç boyunca hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Servet YAPRAK ' a en içten dileklerimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşamasında karşılaştığım sorunlarda yardımlarını ve bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen hocam Öğr.Gör. Mehmet DOĞRULUK' a çok teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam sürecinde maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili annem Nurcan YATIGI, babam Fahrettin YATIGI, kardeşim Ali Fuat YATIGI ve sözlüm Gizem KAHYA' ya sonsuz teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Uğur YATIGI

8 Nisan 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ / KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Karayolları.....	8
2.1.1. Karayollarının tarihi gelişimi.....	8
2.1.2. Sınıflarına göre karayolları.....	13
2.1.3. Karayollarının ülke ekonomisine sağladığı sosyo-ekonomik etkileri.....	16
2.1.4. Karayolu projesinde harita mühendisinin görevleri.....	18
2.1.5. Karayolları elemanları ile ilgili bazı genel tanımlar.....	20
2.2. Sayısal Arazi Modeli (SAM).....	24
2.2.1. Sayısal arazi modeli işlem süreci.....	26
2.2.2. Sayısal arazi modeli yöntemleri.....	28
2.3. Sayısal Arazi Modellerinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemleri.....	34
2.3.1. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi.....	34
2.3.2. Polinomlarla enterpolasyon yöntemi.....	37
2.3.3. Radyal baz fonksiyonu.....	40

2.3.4. Multikvadrik enterpolasyon yöntemi.....	42
2.3.5. Kriging yöntemi.....	44
2.4. Hacim Hesaplama Yöntemleri.....	51
2.4.1. Eş yükseklik eğrilerinden hacim hesabı.....	52
2.4.2. Paralel kesitler ile hacim hesabı.....	54
2.4.3. Düzenli dağılmış veriler ile hacim hesabı.....	55
2.4.4. Rastgele dağılmış veriler ile hacim hesabı.....	55
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	57
3.1. Uygulamanın Amacı.....	57
3.2. Çalışma Alanı.....	58
3.3. Kullanılan Yazılımlar.....	76
3.3.1. ArcGIS 10.7 yazılımı.....	76
3.3.2. NetCAD 5.1 yazılımı.....	77
3.4. Noktaların Yazılımlara Aktarılma İşlemi.....	78
3.4.1. ArcGIS yazılımına aktarma.....	78
3.4.2. NetCAD yazılımına aktarma.....	78
3.5. Enterpolasyon Yöntemleri.....	79
3.5.1. Geoistatistik analiz.....	81
3.5.2. Üçgen model.....	102
3.6. Hacim Hesapları.....	103
4.BULGULAR.....	105
5. SONUÇ.....	117
6. KAYNAKLAR.....	121
7. EKLER.....	127

8. ÖZGEÇMİŞ.....	134
------------------	-----



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
F	Alan
h	Yükseklik
l	Uzunluk
m_0	Standart Sapma
n	Yüzey Derecesi
N	Jeoit Ondülasyon Değeri
p	Güç Parametresi
V	Hacim
w_i	Ağırlık
W	Bilinmeyenler Vektörü
Σ	Toplam
λ	Elipsoidal Boylam
φ	Elipsoidal Enlem
σ^2	Varyans
γ	Semivaryans
Δ_z	Artık Yükseklik Değerleri
%	Yüzde

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AKS	Adres Kayıt Sistemi
BLUE	Best Linear Unbiased Estimotor

BLUP	Best Linear Unbiased Productor
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
cm	Santimetre
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
HGK	Harita Genel Komutanlığı
IDW	Inverse Distance Weighting
ITRF	Uluslararası Yersel Referans Sistemi
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
km	Kilometre
KOH	Karesel Ortalama Hata
m	Metre
m ³	Metreküp
MIT	Massachusetts Institute of Technology
M.Ö.	Milattan Önce
OK	Ordinary Kriging
Pmat	Plent mix alttemel
Pmt	Plent mix temel
RBF	Radyal Bazlı Fonksiyon
RTK	Real Time Kinematik (Gerçek Zamanlı Kinematik)
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIN	Triangular Irregular Network
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Roma yolu plan ve enkesiti	10
Şekil 2.2. 2020 yılı Türkiye otoyollar haritası	14
Şekil 2.3. Tipik bir esnek üstyapı kesiti	21
Şekil 2.4. Sathi kaplamalı yol üstyapısı ve bsk kaplamalı yol üstyapısı.....	22
Şekil 2.5. Tipik enkesit ve elemanları.....	23
Şekil 2.6. Boykesitte yol	23
Şekil 2.7. Sayısal arazi modeli (SAM) oluşum süreci	26
Şekil 2.8. Grid (düzenli kare ağ) ve TIN (düzensiz üçgen ağ) veri modelleri..	29
Şekil 2.9. Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenlemesi	32
Şekil 2.10. Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenlemesi	32
Şekil 2.11. Voronoi diyagramı oluşumu	33
Şekil 2.12. Kritik daire ve kritik dikdörtgen	35
Şekil 2.13. Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon iş diyagramı	36
Şekil 2.14. Hacim hesaplama yöntemleri	51
Şekil 2.15. Eş yükselti eğrilerinden hacim hesabı	53
Şekil 2.16. Paralel kesitlerle hacim hesabı	55
Şekil 3.1. Uygulama alanının harita da gösterimi.....	59
Şekil 3.2. Digor-Esenkent yol güzergahı Google Earth görüntüsü.....	59
Şekil 3.3. DN-191 ve DN-192 noktalarının ekran görüntüsü	61
Şekil 3.4. Digor-Esenkent yol projesi nirengi kanavas.....	67
Şekil 3.5. Digor-Esenkent yolu, nirengi ve poligon noktalarının güzergahı ..	70
Şekil 3.6. Nirengi ve poligon noktalarına ait jeoit ondülasyon eş yükseklik haritası.....	73
Şekil 3.7. Dolgu, kazı ve karışık kesit alanlarının boykesit (profil) grafiği.....	74
Şekil 3.8. Digor-Esenkent yolu, kazı (yarma) çalışması.....	76
Şekil 3.9. Digor-Esenkent yolu, dolgu çalışması.....	76
Şekil 3.10. ArcGIS yazılımına aktarılan dayanak ve test noktalarının örnek görüntüsü.....	78

Şekil 3.11. NetCAD yazılımına aktarılan dayanak ve test noktalarının örnek görüntüsü.....	79
Şekil 3.12. Google Earth, dayanak ve test noktalarının örnek görünümü	80
Şekil 3.13. Dolgu kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafiği.....	83
Şekil 3.14. Kazı kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafiği	85
Şekil 3.15. Karışık kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafiği.....	87
Şekil 3.16. Dolgu kesit alanı dayanak noktaları, Normal QQPlot grafiği	89
Şekil 3.17. Kazı kesit alanı dayanak noktaları, Normal QQPlot grafiği.....	90
Şekil 3.18. Karışık kesit alanı dayanak noktaları, Normal QQPlot grafiği	91
Şekil 3.19. Dolgu siyah zemin alanının, SAM haritaları	96
Şekil 3.20. Dolgu terasman yüzey alanının, SAM haritaları	97
Şekil 3.21. Kazı siyah zemin alanının, SAM haritaları	98
Şekil 3.22. Kazı terasman yüzey alanının, SAM haritaları.....	99
Şekil 3.23. Karışık siyah zemin alanının, SAM haritaları	100
Şekil 3.24. Karışık terasman yüzey alanının, SAM haritaları	101
Şekil 3.25. NetCAD yazılımında oluşturulan üçgen model görüntüsü.....	102
Şekil 3.26. Digor-Esenket yolu, kazı, dolgu ve karışık kesit alanlarının enkesit görüntüsü.....	104
Şekil 4.1. Siyah zemin, KOH değerlerinin sütun grafiğinde gösterimi.....	108
Şekil 4.2. Terasman yüzeyi, KOH değerlerinin sütun grafiğinde gösterimi...	108
Şekil 4.3. NetCAD yazılımı, enkesitlerden alan hesabı ekran görüntüsü.....	109
Şekil 4.4. Dolgu kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen kübaj cetvelleri.....	113
Şekil 4.5. Kazı kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen kübaj cetvelleri.....	114
Şekil 4.6. Karışık kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen kübaj cetvelleri.....	115

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Satış cinsine göre yol ağı	16
Tablo 2.2. Bölünmüş yollar	16
Tablo 2.3. Polinomlarla enterpolasyon	39
Tablo 3.1. Geometrik nivelman kot özet tablosu.....	62
Tablo 3.2. Geometrik nivelman tecviz tablosu	64
Tablo 3.3. Dengeleme hata hesapları.....	65
Tablo 3.4. Dengelenmiş yükseklikler ve hataları	66
Tablo 3.5. Nirengi noktalarının epok koordinatları ve hız vektörleri.....	68
Tablo 3.6. Digor-Esenkent yolu, nirengi noktalarının koordinat tablosu.....	69
Tablo 3.7. Digor-Esenkent yolu, poligon noktalarının koordinat tablosu.....	71
Tablo 3.8. Dolgu kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafik değerleri.....	83
Tablo 3.9. Kazı kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafik değerleri	85
Tablo 3.10. Karışık kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafik değerleri.....	87
Tablo 3.11. IDW enterpolasyon yönteminin, güç parametrelerine göre KOH değerleri	92
Tablo 3.12. Lokal Polinomlarla enterpolasyon yönteminin, polinom derecelerine göre KOH değerleri	94
Tablo 3.13. Radyal baz fonksiyon yöntemleri ve KOH değerleri.....	95
Tablo 3.14. Üçgen model ile oluşturulan yüzeylerin en küçük ve en büyük H değerleri	102
Tablo 4.1. Dolgu kesit alanı, KOH değerleri	105
Tablo 4.2. Kazı kesit alanı, KOH değerleri	106
Tablo 4.3. Karışık kesit alanı, KOH değerleri	106
Tablo 4.4. KOH değerlerinin karşılaştırılması	107
Tablo 4.5. Dolgu kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen hacim değerleri.....	110
Tablo 4.6. Kazı kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen hacim değerleri ..	111
Tablo 4.7. Karışık kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen hacim değerleri	111

Tablo 4.8. Dolgu, kazı ve karışık kesit alanının, maliyet tablosu.....	116
--	-----



1. GİRİŞ

Ulaşımaya duyulan ihtiyaç insanlık tarihi kadar eskiye dayanmaktadır (Serin, 2015). İnsan hayatı var olduğu sürece ulaşıma duyulan ihtiyaç da devam edecek demektir. Günlük hayatımızda insanlar bir yerden başka bir yere giderken veya bir eşyayı bir yerden başka bir yere ulaştırırken bazı ulaşım araçlarını kullanmak zorunda kalırlar (Yıldırım, 2019). Genellikle günümüzde en fazla tercih edilen ulaşım türü karayollarıdır. Dünyada gelişen teknoloji ve büyüyen ekonomi sayesinde karayolları ile her yere ulaşmak mümkündür.

Ulaşım, bir ülkenin ekonomisi açısından da oldukça önemli bir faktördür. Bir ülkede üretilen tarım ve sanayi ürünleri ulaşım ağı sayesinde ekonomik olarak o ülkeye büyük katkı sağlayabilmektedir. Diğer ülkelerle olan ticari ve kültürel ilişkilerde de gelişmiş ulaşım ağları oldukça büyük önem taşımaktadır. İnsanoğlunun abaları sonucunda meydana gelen yollar ticaret ve seyahat olanaklarını hızlı bir biçimde geliştirirken büyük ve güçlü devletlerin her devirde uzak bölgelere gidebilmek için yollar inşa ettikleri grlmektedir. Nüfusun zaman içerisinde artması ile birlikte ticaretin başlaması ve ihtiyaçların farklılık göstermesi sonucunda daha uzak yerlere ulaşma ihtiyaı doğurmuştur (Ayhan, 2011).

Sayısal Arazi Modeli (SAM) ilk olarak 1950' li yıllarda yol projelerinin bazı adımlarını otomatik olarak czmlmek için kullanılmıştır (Yener, 1993). SAM' leri sürekli askeri personel, planlayıcılar ve mühendislik gibi çeşitli alanlarda özel olarak kullanılmaktadır. Bazı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak SAM elde etmek mümkündür. Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte CAD yazılımları aracılığıyla bu enterpolasyon yöntemlerini kullanarak SAM oluşturulmaktadır.

Karayolu projelerinde alan ve hacim hesapları çok önemli bir uygulama alanına sahiptir. Çünkü hacim (toprak işleri) hesabı yol yapım maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. SAM, karayolu projelerinde hacim hesaplarının yapılması ve yol yapım maliyetlerinin belirlenmesi için oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Doğru bir hacim hesabı için kesinlikle güvenilir bir sayısal arazi modeline (SAM) ihtiyaç vardır. Bu tür mühendislik projelerinde sayısal arazi modeli kullanılarak hacim (toprak işleri) hesapları yapılmaktadır.

Karayolu projelerinde genellikle hacim hesapları paralel kesitlerle hacim hesabı yöntemine göre yapılmaktadır. Paralel kesitlerle hacim hesabı yöntemine göre, karayolu güzergahının enkesit ve boykesiti oluşturularak alt ve üst yüzeyler arasında kalan kazı ve dolgu hacimleri hesaplanır (Doğruluk, 2013). Günümüzde bu tür hacim hesapları için kullanılan birçok CAD yazılımları bulunmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle, bir karayolu projesi baz alınarak farklı enterpolasyon yöntemleriyle yüzey modeller oluşturulmuş ve bu yüzey modeller kullanılarak hacim hesapları yapılmıştır. Burada farklı enterpolasyon yöntemlerinin hacim hesabı üzerindeki etkisi incelenmiş ve enterpolasyon yöntemleri arasında karşılaştırmalar yapılarak en uygun enterpolasyon yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümü, giriş bölümünden oluşmaktadır. İkinci bölümü, literatür taramaları ve kuramsal temellerden oluşmaktadır. Kuramsal temeller bölümünde, karayolları, SAM, enterpolasyon yöntemleri ve hacim hesapları hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde uygulama alanı, kullanılan yazılımlar ve yöntemlerden bahsedilmiştir. Uygulamada:

- Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon (IDW)
- Lokal Polinomlarla Enterpolasyon
- Multikvadrik Enterpolasyon
- Ordinary Kriging Enterpolasyon
- Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme

yöntemleri kullanılarak yüzey modeller oluşturulmuştur. Hacim hesapları ise, paralel kesitlerle hacim hesabı yöntemine göre yapılmıştır. Dördüncü bölümde, kullanılan yöntemler ile elde edilen sonuçlara göre farklı enterpolasyon yöntemlerinin hacim hesabına etkisi incelenmiştir. Beşinci bölümde ise, elde edilen sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapılarak en uygun enterpolasyon yöntemi belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ / KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde; yapılacak olan çalışmaya benzer olarak enterpolasyon yöntemleri ile ilgili tez ve makale çalışmalarına yer verilmiştir.

Yanalak (1997) yapmış olduğu çalışmada, SAM, enterpolasyon yöntemleri ve hacim hesapları hakkında detaylı olarak bilgi vermektedir. Yedi farklı arazi grubunda farklı enterpolasyon yöntemleri ve metotlarla elde edilen üst yüzeyler (kazı öncesi) ve alt yüzeyler (kazı sonrası) arasında kalan yüzeylerin hacim hesapları yapılmıştır. Enterpolasyon yöntemlerine göre en uygun kritik daire yarıçapı, grid büyüklüğü ve kesit aralıklarına uyumsuzuz değer sayıları hesaplanarak en uygun kritik daire çapı, grid büyüklüğü ve kesit aralığı belirlenmektedir.

İnal ve ark. (2002) yapmış olduğu çalışmada, Ankara/Gölbaşı jeodezik ağına ait olan noktaları veri olarak kullanmaktadır. Bu çalışma bölgesinde toplam 74 adet nokta bulunmaktadır ve bu noktalardan uygun dağılımda olan 21 tane nokta dayanak noktası olarak kullanılmaktadır. Geriye kalan 53 noktanın jeoit ondülasyonları farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada dört farklı enterpolasyon yöntemi ve 14 alt varyasyon kullanılmaktadır. Bu çalışmada, polinomlarla enterpolasyon yöntemi, ters mesafe ağırlıklı ortalama, multiküadratik ve kriging enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu enterpolasyon yöntemlerine göre standart sapmalar karşılaştırılarak en uygun ve en iyi sonucu veren enterpolasyon yöntemi belirlenmektedir. Bu çalışmada en iyi sonucu veren yöntemin, polinomlarla enterpolasyon yönteminde ortogonal olmayan 2. dereceden yüzeyin verdiği öngörülmüştür.

Yiğit (2003) yapmış olduğu çalışmada, üç tane test bölgesinde GPS/Nivelman yöntemiyle ondülasyon değerleri bilinen noktalar kullanılmıştır. Belirlenen kriterlere göre üç test bölgesine ayrı ayrı beş farklı enterpolasyon yöntemi (ağırlıklı ortalama yöntemi ile enterpolasyon yöntemi, polinom yüzeyleri ile enterpolasyon yöntemi, multiküadratik enterpolasyon yöntemi, en küçük karelerle kollokasyon yöntemi ve kriging yöntemi) uygulanmıştır. Uygulamada hesaplamalar için üç farklı program kullanılmıştır. Her test bölgesi için beş farklı enterpolasyon yönteminin karesel ortalama

hatası (KOH) ve hata oranı ± 5 cm arasında kalan nokta sayıları değerlendirilmiştir. Her test bölgesi için en iyi sonucu veren enterpolasyon yöntemi ve en uygun enterpolasyon yöntemi belirlenmiştir.

Köroğlu (2006) yapmış olduğu çalışmada, ıslah çalışmasına altlık oluşturmak için Haliç bölgesine ait verilerden yararlanılmıştır. 2 m de bir alınan ölçme noktalarından yararlanılarak 4, 6, 8 ve 10 m de bir alınan veri kümeleri oluşturulmuştur. Surfer programında 8 farklı enterpolasyon yöntemi uygulanarak yüzey modeller oluşturularak enterpolasyon işlem süreleri hesaplanmıştır. Elde edilen yüzey modeller belirli bir $Z=0$ referans yüzeyine göre üç farklı hacim hesaplama yöntemiyle hacim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen hacim değerleri ve enterpolasyon işlem süreleri karşılaştırılarak en uygun enterpolasyon yöntemi hesaplanmıştır. Enterpolasyon işlem süreleri ile hacim değerlerinin yüzdelik hata oranları arasındaki ilişki incelenmiştir.

Yaprak (2007) yapmış olduğu çalışmada, Tokat Mucavir Alanı ve İstanbul Metropolitan Alanlarında GNSS/Nivelman yöntemi ile geoit belirlemek için deterministik ve kriging enterpolasyon yöntemleri karşılaştırılarak kriging yönteminin geoit yüzeyi modellemesinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. İstanbul çalışma alanında 50 - 200 - 393 - 434 nokta dayanak noktası 50 nokta ise test noktası olarak seçilmiştir. Tokat çalışma alanında ise 30 nokta dayanak noktası 13 nokta test noktası olarak seçilmiştir. Deterministik ve kriging enterpolasyon yöntemleri ile hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları karşılaştırılmıştır. Her yöntem için KOH, maksimum, minimum ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntemler karşılaştırılarak en uygun yüzeyi veren enterpolasyon yöntemi seçilmiştir.

Avcı (2010) yapmış olduğu çalışmada, bir kum ocağında farklı CAD programları (Surfer, Civil 3D, NetCAD) ve yeni bir hacim hesabı programı (Lokum) geliştirerek kazı öncesine-kazı sonrasına ait iki yüzey arasındaki hacim farkları hesaplanmıştır. Surfer programında ağırlıklı aritmetik ortalamayla enterpolasyon yöntemi kullanılarak yüzey model oluşturulmuştur. Gerçek hacim değeri baz alınarak farklı programlardan elde edilen hacim doğruluk değerleri yüzdelik olarak kıyaslanmıştır.

Ekinci (2011) yapmış olduğu çalışmada, 4 farklı arazi tipi kullanılmıştır. Bu dört farklı arazi tiplerinden elde edilen noktalar yardımıyla farklı iki yazılım programında mesafenin tersine göre enterpolasyon yöntemi, lineer enterpolasyon ile üçgenleme yöntemi ve kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak 1, 2, 5, ve 10 m grid aralıklarla trapez kuralı, simpson kuralı ve simpson 3/8 kuralına göre kazı-dolgu değerleri hesaplanmıştır. Farklı iki yazılım programı ile hesaplanan miktarlar ile fiyat farkları karşılaştırılmıştır.

Keçeci (2011) yapmış olduğu çalışmada, uygulama sahası 3180 adet noktadan oluşmaktadır ve bu noktaların %10' u test noktası olmak üzere 318 nokta alınmıştır. Geriye kalan 2862 nokta ise Golden Surfer 9 programı kullanılarak beş farklı enterpolasyon yöntemleri (ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, kriging enterpolasyon yöntemi, en küçük eğrilikli yüzey enterpolasyon yöntemi, doğal komşuluk enterpolasyon yöntemi ve lokal polinomal enterpolasyon yöntemi) uygulanarak sayısal yükseklik modelleri (SYM) oluşturulmuştur. Beş farklı enterpolasyon yöntemi için ayrı ayrı karesel ortalama hataları (KOH) hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. En uygun ve en iyi sonucu veren enterpolasyon yönteminin kriging enterpolasyon yöntemi olduğu öngörülmüştür.

Doğruluk (2013) yapmış olduğu çalışmada, karayolu projesinde gerçek zamanlı kinematik ölçü yöntemi (RTK) ile araziden alınan toplam 4338 dayanak noktası Surfer programında girdi veri olarak kullanılmıştır. Bu verilerden yararlanılarak Surfer programında farklı enterpolasyon yöntemleriyle 5 - 15 ve 30 m aralıklarla gridlemiştir. Bu gridlerle NetCAD programında sayısal arazi modeli (SAM) oluşturularak alt yüzeyi elde edilmiştir. NetCAD programında boykesit çizimiyle proje (kırmızı) kotlar hesaplanarak üst yüzey elde edilmiştir. Elde edilen alt ve üst yüzey aracılığıyla paralel kesitler yöntemine göre hacim hesabı yapılmıştır. Enterpolasyon sonucuna göre en küçük KOH değerini veren yüzeyle yapılan hacim hesabı doğru (referans) olarak kabul edilmiştir. Referans değer ile diğer enterpolasyon yöntemleriyle elde edilen hacim değerleri karşılaştırılarak en uygun yöntemin hangisi olduğu belirlenmiştir.

Taylan ve Damçayırı (2016) yapmış olduğu çalışmada, Isparta ve Burdur ili çevresinde bulunan 13 istasyonun verilerini kullanarak 11 istasyonun yağış tahminlerini hesaplamaktadır. Burada 11 istasyonun yağış tahminleri için IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Enterpolasyon yöntemleri kullanılarak tahmin edilen değerler ile gerçek yağış değerleri arasında kıyaslama yapılarak bu iki değerlerin birbirlerine olan yakınlığı da analiz edilmektedir.

Kuru (2018) yapmış olduğu çalışmada, uygulama sahasına makro ve mikro ölçekte iki test ağı oluşturulmuştur. Makro ağda enlem, boylam, elipsoidal ve ortometrik yükseklikleri bilinen 85 referans 35 enterpolasyon noktası olmak üzere 120 nokta, mikro ağda ise enlem, boylam, elipsoidal ve ortometrik yükseklikleri bilinen 8 referans 3 enterpolasyon noktası olmak üzere 11 nokta kullanılmıştır. Çalışmada Surfer programı kullanılarak ters mesafe ile ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, kriging enterpolasyon yöntemi, en küçük eğrilikli enterpolasyon metodu, radyal baz enterpolasyon metodu içerisinde multiküadratik fonksiyonu ve geliştirilmiş shepard enterpolasyon yöntemi kullanılarak jeoid yüzey haritaları elde edilmiştir. Kullanılan enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen tüm KOH değerleri karşılaştırılarak en küçük ve en doğru sonucu veren enterpolasyon yöntemi belirlenmiştir.

Tetik (2018) yapmış olduğu çalışmada, Trakya Bölgesine dağılmış 143 tane dayanak noktası, 32 tane test noktası olarak kullanılan 175 adet nokta kullanılmıştır. Uygulamada hesaplamalar için Surfer 13 programı kullanılmıştır. Polinomlarla enterpolasyon, radyal bazlı fonksiyonlar, kriging enterpolasyon yöntemi ve mesafenin tersi enterpolasyon yöntemi kullanılarak bu enterpolasyon yöntemleri içinde farklı metotlarla toplam 12 enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Test noktaları kullanılarak uygulanan enterpolasyon yöntemleri ile karesel ortalama hata (KOH) değerleri hesaplanarak enterpolasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre radyal bazlı fonksiyonlar yönteminde naturel kübik spline metodu daha iyi ve güvenilir sonuç verdiği görülmüştür.

Çiftci (2019) yapmış olduğu çalışmada, iki çalışma alanı belirlemiştir. 1. çalışma alanında (Burdur) 101 adet C3 nirengi noktası, 2. çalışma alanında (Haymana) 110 adet C3 nirengi noktası kullanılmıştır. Çalışma alanlarından 4 model oluşturulmuştur ve seçilen test noktaları iki çalışma alanında da aynı sayıdadır. Polinomlarla enterpolasyon yöntemi (2, 3, 4, 5) derece kriging enterpolasyon yöntemi (nokta-blok) ve bulanık mantık (fuzzy) yöntemleri kullanılmıştır. 4 modeldeki test noktaları ile enterpolasyon yöntemlerine göre standart sapmalar ayrı ayrı hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Göğsu (2019) yapmış olduğu çalışmada, üç farklı çalışma bölgesi belirlemiştir. Birinci bölgede 19594 referans noktası ve 180 kontrol noktası, ikinci bölgede 19036 referans noktası ve 270 kontrol noktası, üçüncü bölgede ise 11231 referans noktası ve 73 kontrol noktası bulunmaktadır. İHA fotogrametrik yöntemle üretilen nokta bulutu kümesindeki veriler geliştirilmiş olan yazılımda girdi verisi olarak kullanılmıştır. Farklı güç parametreleri kullanılarak IDW enterpolasyon yöntemi ve Shepard yöntemi kullanılarak karesel ortalama hata değerleri elde edilmiştir. Uygulanan enterpolasyon yöntemleri uyşumsuz ölçü testi öncesi ve uyşumsuz ölçü testi sonrası olarak iki farklı tabloda incelenmiştir. Uyşumsuz ölçüler ayıklanarak elde edilen sonuçların duyarlılığının arttığı gözlemlenmiştir. Farklı güç parametreleri ile elde edilen en küçük KOH değerinin en uygun yöntem olduğu tespiti yapılmıştır.

Solmaz (2019) yapmış olduğu çalışmada, çalışma alanında RTK yöntemiyle elde edilen 31 tane dayanak noktası tesis edilmiştir. Surfer 13 ve NetCAD 5.1 yazılım programları kullanılarak dokuz farklı enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Uygulamada kullanılan dokuz farklı enterpolasyon yöntemleri ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon, en küçük eğrilik enterpolasyon, kriging enterpolasyon yöntemi, en yakın komşuluk enterpolasyon yöntemi, doğal komşuluk enterpolasyon yöntemi, modified shepard's yöntemi, lineer enterpolasyon yöntemi, uzunluk (radyal) temelli fonksiyon yöntemi ve lokal polinomlar enterpolasyon yöntemleridir. Enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen değerler ile en yüksek çakışma artığı, en düşük çakışma artığı ve KOH değerleri bulunmuştur ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Uygulamada en küçük karesel ortalama değeri ve en uygun yöntem olarak en yakın komşuluklu enterpolasyon yöntemi olduğu öngörülmüştür.

2.1. Karayolları

Günlük hayatımızda insanlar bir yerden başka bir yere giderken veya bir eşyayı bir yerden başka bir yere ulaştırırken bazı ulaşım araçlarını kullanmak zorunda kalırlar. Bunlar demiryolu, karayolu, deniz ve havada hareket eden araçlardır. İnsanlar genellikle uzak yerlere gitmeyi tercih ederken gerek zaman gerekse konfor açısından hava yolunu, uluslararası ticarete deniz yolunu, şehirlerarası yük taşımacılığında demir yolu taşımacılığını ve genellikle şehir içi ulaşım türü olarak büyük oranda kara yolu ulaşım araçlarını tercih etmektedir (Yıldırım, 2019).

Karayolu, her türlü motorlu veya motorsuz taşıtların ve yaya ulaşımı için kamu yararına açık olan her türlü sanat yapılarını kapsayarak belirli genişliğe ve uzunluğa sahip olan arazi şerididir. Karayolunun ulaşım amacı ile motorlu ya da motorsuz taşıt sürücüleri ve yayalar tarafından kullanılması karayolu trafiğini oluşturmaktadır. Karayolu trafiğinde yolların kullanılması için bazı kurallara uyulması gerekir (Yayla, 2004).

Karayolu, tüm olumlu ya da olumsuz hava şartlarında, gerçekleşen doğal afetler de trafiğe açık ve hizmet verebilir halde olmalıdır. Yol güzergahı çevresel faktörler ve taşıt kapasiteleri göz önünde bulundurularak belirlenmeli, yolun geometrik ve fiziksel özellikleri güvenli bir trafik seyri sunmalıdır. Yol yapım, bakım ve onarım maliyetleri olabildiğince uygun miktarda tutulmalıdır (Pancar, 2018).

2.1.1. Karayollarının tarihi gelişimi

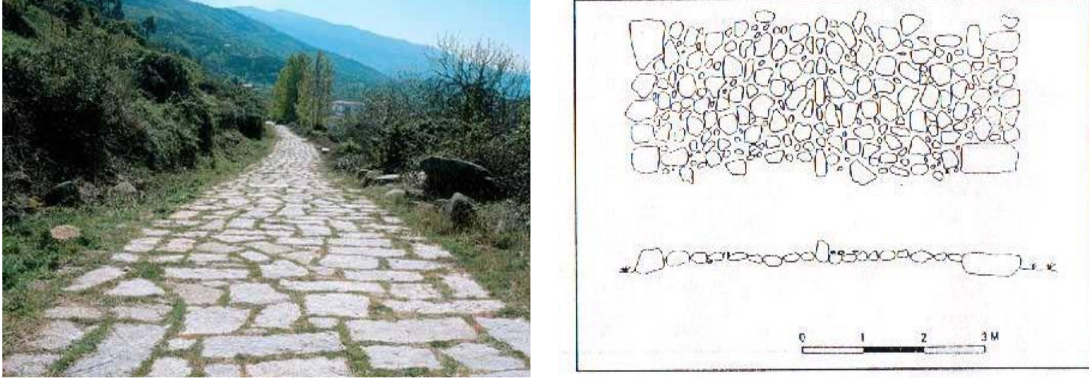
Ulaşım duyulan ihtiyaç insanlık tarihi kadar eskiye dayanmaktadır. İnsanlar ilk olarak gidip gelmeleri için kullandıkları patika yolları oluşturmuşlardır. Daha sonra insanlar bazı şeyleri taşımak için kızakları kullanarak hayatlarını kolaylaştırmaya çalışmışlardır (Serin, 2015). Daha sonra yan yana yatırılmış ağaç gövdeleri üzerine konulan nesnelerin itilerek hareket ettirilmesiyle tekerlek fikri ortaya çıkmaya başlamıştır. Bilinen en eski tekerlek, birbirine tahta mızraklarlaleştirilmiş yan yana üç kalasın yontularak yuvarlaklaştırılması yöntemiyle üretilmiştir. Tekerleğe dair en eski kayıt MÖ 3.500 yıllarına ait, tekerlekli bir kızıağı resmeden Sümer (Uruk) piktogramıdır (Whell, 2014).

Yol kavramı aslen insanların ihtiyacı olan şeylerin, bulunduğu yerin dışında başka bir yerde karşılaşmasıyla başlamıştır. İlk insanların, birincil ekonomik etkenler olan avcılık ve toplayıcılık gibi ekonomik faaliyetler ile uğraştıkları bilinmektedir. Bu ekonomik faaliyetleri yerine getirmek için insanlar en kısa ve en kolay yol güzergahlarını tercih etmek zorundadırlar. Bu izlenilen ilk yol güzergahları hayvan izleridir. Bunun sebebi ise hayvanlar engebeli, orman ve çalılıkların bulunduğu bölgelerde daha kolay ve daha rahat gidebileceği yol güzergahını tespit edebilmektedir. Örnek olarak Afrika' da bulunan ormanlarda tercih edilen en iyi yollar filler tarafından açılan yollardır. Kuzey Amerika' da ilk olarak gezgin ve avcılar tarafından kullanılan yollar bufalolar tarafından kullanılan yollardır. Ülkemizde ise atlar ve eşekler tarafından kullanılarak oluşturulan yollar sürekli insanların kullandığı yaya yolları haline gelmiştir (Ayhan, 2011).

İnsanoğlunun çabaları sonucunda meydana gelen yollar ticaret ve seyahat olanaklarını hızlı bir biçimde geliştirirken büyük ve güçlü devletlerin her devirde uzak bölgelere gidebilmek için yollar inşa ettikleri görülmektedir. Nüfusun zaman içerisinde artması ile ticaretin başlaması ve ihtiyaçların farklılık göstermesi sonucunda daha uzak yerlere ulaşma ihtiyacı doğurmuştur. Bu ihtiyaçların dışında insanların canlarını koruma gereksinimi de ulaşım faaliyetlerini ortaya çıkarmıştır. Özellikle ilkçağ ve ortaçağ da çıkan savaşlar sebebiyle yapılan göçler bu duruma örnek olabilmektedir. Ulaşım, bir ülkenin ekonomisi açısından da çok önemli bir faktördür. Bir ülkede üretilen tarım ve sanayi ürünleri ulaşım ağı sayesinde ekonomik olarak o ülkeye büyük katkı sağlayabilmektedir. Diğer ülkelerle olan ticari ve kültürel ilişkilerde de gelişmiş ulaşım ağları oldukça büyük önem taşımaktadır (Ayhan, 2011).

Tarihte ilk olarak önemli yollara Mezopotamya bölgesinde M.Ö. 3500 yıllarında rastlanmaktadır. Roma İmparatorluğu' nun yayılma politikası ve eski çağlarda yapılan esir ticaretleri yol inşası için önemli katkı sağlamıştır. Bu dönemde ki yollar genel olarak 4.50 m genişliğinde, 4 tabaka halinde ve yolun her iki kenarında da yaya yolu bulunacak şekilde inşa edilmiştir. Yol kalınlığı 90-100 cm civarındadır. Şekil 2.1' de Roma yolu plan ve enkesiti gösterilmiştir. Yolların uzaklıklarını belirtmek için km levhaları görevini yapan taşlar dikilmiştir. Feodal beyliklerin ortaya çıkması ve Roma İmparatorluğunun çöküşe geçmesi ile yeni yol yapımlarına bir süreliğine ara verilerek,

eski yapılan yolların bakımsız olmasından dolayı kısa süre içerisinde yollar kullanılamaz hale gelmiştir (Yayla, 2004).



Şekil 2.1. Roma yolu plan ve enkesiti (Serin, 2015)

Yol tekniğinde ilk büyük gelişmelerin tekerleğin icat edilmesi ile M.Ö. 5000 yıllarında meydana geldiği kabul edilmektedir (Serin, 2015). Tekerleğin icat edilmesiyle birlikte yollar daha geniş ve daha sağlam bir altyapı ile inşa edilir hale getirilmiştir (Yıldırım, 2019).

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yol yapımlarına daha hızlı bir şekilde başlanmıştır. İlk yapılan yollar Roma yollarına benzer bir şekilde yapılmış olsa da işçilik ve yol yapımına uygun malzeme bulma konusunda yaşanan problemlerden dolayı bu tür malzemelerin kullanıldığı yollar yavaş yavaş azalarak yol yapımında farklı şekillerde taşın kullanımını gerektiren çalışmalara başlanmıştır. Ancak 19. yüzyılın başlarında ivme kazanan yol yapım çalışmaları buharlı makinaların keşfedilmesiyle beraber tekrar bir duraklama dönemine geçerek o dönemlerde daha çok hayvan gücüne dayanan karayolu taşımacılığına göre deniz yolu kullanımının yanında daha hızlı ve daha konforlu olan demiryolu taşımacılığı ve inşası ön plana çıkmaktadır (Yayla, 2004).

19. yüzyılın ikinci yarısından sonra ülkemizde kasabaları kentlere, kentleri iskelelere ve demiryollarına birleştiren karayolları yapılarak Osmanlı İmparatorluğu' nun son zamanlarında uzun süren savaşlar sonucunda bu yolların bakımsız kalmasına neden olmuştur (Serin, 2015).

Cumhuriyetin ilan edilmesiyle birlikte ulusal olarak sınırlarımız içerisinde; "13 900 km' si stabilize şose ve 4 450 km' si toprak olmak üzere, toplam 18 350 km yol ve 94 köprü" inşa edilmiştir. Cumhuriyetin ilk dönemlerinde öncelikli olarak yerleşim alanlarının birbirlerine olan mesafelerini kısaltan, ulaşılabilen yerlere ulaşımı sağlayarak etkisiz kaynakları kullanılabilir bir hale getiren, yurt güvenliği ve savunmasına önem verilerek kültür, sanat ve eğitim gibi alanların yaygınlaşmasını amaç edinen bir ulaşım sistemi hedeflenmiştir. Cumhuriyet döneminde ulaşım sisteminin temel hedefi karayolları ve demiryollarını bir plan esasında geliştirmek olmuştur. Fakat, ilk zamanlarda oluşan demiryolu politikasının yavaşlamaması için yapılacak olan karayolu inşalarının eldeki mevcut imkanların en iyisi ile inşa edilmesi hedeflenmiştir (KGM, 2014).

1945 yılında parke, asfalt, kırma taş şose, tesviye ve araba yolu olarak sınıflandırılan 44 bin km'lik yolun 20 bin km'sinin on beş yıl içerisinde kullanılabilir hale getirilmesine ve iyi bir halde bulunmasına, devlet yolları olarak kullanılan yolların dışında kalan yolların illerin sorumluluğunda olmasına kararı verilmiştir. 1946 yılında makinalı yol yapımına geçişle beraber Türkiye' de yol yapımında yaklaşık olarak 1611 adet ekipman kullanılmaya başlanmıştır. 1946 yılından itibaren "Şose ve Köprüler Reisliği"ne bağlı olarak 4 tane olan "Bölge Müdürlüğü" sayısı 10 "Bölge Müdürlüğü" sayısına çıkarılmıştır (KGM, 2014).

İkinci Dünya Savaşı sonunda karlı çıkan iki devlet olmuştur, bu devletlerden biri ABD diğeri ise Sovyetler Birliği' dir. Bu durum "Soğuk Savaş" döneminin başlamasına neden olarak Doğu ve Batı Bloklarının oluşmasına sebep olmuştur. Batı Bloğunda yer alan ABD bu dönemde bazı ülkelere parasal (ekonomik) yardımlarda bulunmuştur. Bu çerçevede dönemin ABD Dış İşleri Bakanı olarak görev yapan George Marshall' ın ismini alan Marshall Planını gerçekleştirilmiştir. Marshall Planı ile ülkemize yapılan ekonomik yardım paketinin ulaşım da karayolu yapımını öncelemesi ve teşvik edilmesi sonucu demiryolları işlevini zamanla yitirerek ulaşım da karayolları ön plana çıkmıştır. ABD' nin Marshall Planı doğrultusundaki ekonomik yardımlarını alan ülkeler demiryolu inşasını ve kullanımını bırakarak karayolu ulaşımına ve inşasına yönelmeyi tercih etmeleri sonucu karayolu kullanımının ve inşasının hız kazanması sağlanmıştır (Yıldırım, 2019).

1950 yılında, ülkenin karayolu ağıının oluşması ve yapılan yolların devamlılığının sağlanması amacı ile KGM kurulmuştur (Kaplukan, 2014). KGM, 1950' li yıllarda karayolu politikasına "tekerlek dönsün" sloganı ile başlamıştır (Hanlı, 2009). 1950 yılından sonraki yıllar karayolunun hakim olduğu yıllardır. Yeni demiryolu hatları yapılmadığı gibi eskiden yapılmış olan demiryolu hatlarına da çok fazla bakım yapılmamıştır (Yıldırım, 2019). 1950' li yıllarda karayolları toplam pay olarak yolcu taşımacılığında % 46, yükte % 17 iken günümüze kadar bu yüzdelikler yükselerek büyük rakamlara ulaşmaktadır (Altınok, 2001). 1950 yılında karayollarında toplam yük taşımacılığı 957 kilometre iken toplam yolcu taşımacılığı 2 597 km'dir. 2020 yılında bu rakamlar toplam yük taşımacılığında 272 913 kilometre, toplam yolcu taşımacılığında ise 288 992 kilometre' ye kadar yükselmiştir (KGM, 2020).

1960 yıllarında Türkiye' nin 60 bin km' lik yol ağı ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. 1950-1960 yıllarında sosyal yönden bazı temel hizmetlerin yaz-kış tüm bölgelere ulaştırılması için yollar inşa etmek en önemli hedef iken, 1960-1970 yıllarında daha çok asfalt kaplama en önemli hedef haline gelmiştir. 1970' li yıllarda motorlu taşıt miktarında oluşan artmayla birlikte büyük şehirlerin bulunduğu çevrelerde çok şeritli ekspres yollar ile otoyolların yapımı önem kazanmıştır (KGM, 2014). KGM, bu konuda ilk önemli uygulama olarak Boğaziçi Köprüsü ve İstanbul Çevre Yolu projesini gerçekleştirmiştir (Kaplukan, 2014). 1985 yılı otoyol çalışmalarının başlangıç yılı olarak bilinmektedir (KGM, 2014).

Karayolları tarihi gelişim süreci olarak diğer yıllara bakıldığı zaman 2003 yılında bölünmüş yolların yapım aşamasına başlandığı görülmektedir. Bölünmüş yollar amaç olarak, ihtiyaç doğrultusunda ekonomik, güvenli, konforlu bir ulaşım sağlamak ve trafik kazalarını minimum seviyeye indirmektir (KGM, 2014). 2013 yılında ise ihtiyaç doğrultusunda akıllı yolların yapım aşamasına geçildiği görülmektedir. Nisan 2020 tarihi ile yapımına devam eden bölünmüş yol ağı uzunluğu 27.216 km' ye ulaşmıştır (KGM, 2020).

Karayollarının tarihi gelişim sürecini özetleyecek olursak;

1923 Erişilebilirliği Sağlayan Yollar

1950 Yaz-Kış Geçit Veren Yollar

1960 Asfalt Sathi Kaplamalı Yollar

1970 Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı Yollar

1985 Otoyollar

2003 Bölünmüş yollar

2013 Akıllı Yollar

şeklindedir (KGM, 2014).

2.1.2. Sınıflarına göre karayolları

Karayolları çeşitli biçimlerde bazı sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır. Bu sınıflandırmalar karayolları için bazı özelliklere göre belirlenmektedir. Bu özellikler karayollarının uzunluğu, şekli, verdiği hizmet, ulaşılabilirlik ve hareketlilik gibi özelliklerdir. Bu sınıflandırma özelliklerine tabi tutulan karayollarının büyük bir bölümü KGM' nin sorumluluğu altında diğer bölümleri ise bazı kurumlar ve belediyelerin sorumluluğundadır (Ayhan, 2011).

Ülkemizde yolların sınıflandırma çeşidi altında idari bir sınıflandırmaya tabi tutularak karayolları üç ayrı yol sınıfına ayrılmıştır. Bunlar:

- Otoyollar
- Devlet yolları
- İl yolları şeklindedir (Pancar, 2018).

Otoyol

KGM' nin kontrolü altındadır ve sınıf olarak özel yollar sınıfına girmektedir (Murat, 2013). Ulaşımın sınırlı ve kontrol altında olduğu yollardır. Genel olarak bu yol sınıfı ücretlidir. Özellikle transit trafiğe ayrılan belirli durumlar dışında giriş ve çıkışların yasaklandığı, yaya, hayvan ve motorsuz taşıtın kullanamadığı yalnızca izin verilen motorlu taşıtların girebildiği karayolu sınıfı olarak tanımlanmaktadır (Ayhan, 2011). 2020 yılına ait Türkiye otoyollar haritası Şekil 2.2' de gösterilmiştir.

OTOYOLLAR HARİTASI

2020



Şekil 2.2. 2020 yılı Türkiye otoyollar haritası

Devlet yolları

Önemli illeri ve bölgeleri, hava, deniz, demiryolu istasyonu, iskele, liman ve alanları birbirine bağlayan birinci derecede olan ana yollardır (Ayhan, 2011). Başka anlamda bir ülkenin komşu ülkelere bağlanmasını sağlayan yol sınıfı olarak da tanımlanabilir (Pancar, 2018). Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğu altında olan bir yol sınıfıdır.

İl yolları

Küçük illerin birbirlerine bağlanmasını sağlayarak ilçe, kasaba ve bucakların il merkezlerine bağlayan iki şeritli ikinci ve üçüncü sınıf yollardan oluşan asfalt kaplı yol sınıfı olarak tanımlanabilmektedir (Pancar, 2018). Karayolları Genel Müdürlüğü sorumluluğu altında olan bir yol sınıfıdır.

Köy yolları

Köylerin birbirlerine, köylerin ana yollara ve köylerin kasabalara bağlanmasını sağlayan çoğunlukla topraktan oluşan yollar olarak tanımlanmaktadır (Pancar, 2018). İl Özel İdare Müdürlüklerinin sorumluluğu altında olan bir yol sınıfıdır. Yapım, bakım ve onarım faaliyetleri de İl Özel İdare Müdürlüklerine aittir.

Orman yolları

İlçe, kasaba ve köylere orman ürünlerinin nakledilebilmesi için yapılan çoğunlukla topraktan oluşan yollardır. Orman Bakanlığının sorumluluğu altında olan bir yol sınıfıdır (Pancar, 2018).

Şehir içi yollar

Belediyelerin sorumluluğu altında olan yol sınıfıdır.

Turizm yolları

Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından sağlanan finansman karşılığında, yapım ve bakımı Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan yol sınıfıdır (KGM, 2020).

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğu altında bulunan karayolu uzunluğu 01.01.2020 tarihi itibarıyla toplam 68 231 km olup, 3 sınıf yoldan oluşmaktadır. Bunlar:

- Otoyol
- Devlet yolu
- İl yolu (KGM, 2020).

Ülkemizdeki satıl cinsine göre yol ağlarının ve bölünmüş yolların 01.01.2020 tarihi itibarıyla toplam kilometreleri Tablo 2.1 ve Tablo 2.2' de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Satih cinsine göre yol ağı (KGM, 2020)

SATIH CİNSİNE GÖRE YOL AĞI (KM)							
01.01.2020 tarihi itibarıyla							
	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	TOPLAM
Otoyol (*)	3 060	-	-	-	-	-	3 060
Devlet Yolları	17 991	12 654	56	27	-	278	31 006
İl Yolları	4 689	26 163	243	453	440	2 177	34 165
TOPLAM	25 740	38 817	299	480	440	2 455	68 231

(*) Otoyol uzunluğuna Yap-İşlet-Devret ile yapıp hizmete açılan otoyollar dahil edilmiştir.

Tablo 2.2. Bölünmüş yollar (KGM, 2020)

BÖLÜNMÜŞ YOLLAR (KM)	
01.01.2020	
Otoyollar (*)	3 060
Devlet Yolu	20 723
İl Yolu	1 922
Toplam	25 705

2.1.3. Karayollarının ülke ekonomisine sağladığı sosyo-ekonomik etkiler

Ulaşım gerek birbirleriyle olan ilişkisi gerekse tarım ve sanayi alanları ile yakın seviyede bağlantılı olması sebebiyle ülke ekonomisinin motoru olarak bilinmektedir. Bu noktada ulaşım ülke ekonomisinin kalkınması için önemli bir fonksiyondur. Bununla birlikte ulaşım ve ticaret iç içe geçmiş bir durumda olan ve karşılıklı bir ilişki içinde olan iki ekonomik alandır. Tarihsel olarak bakıldığında, ulaşım sistemlerinin aslında Sanayi Devrimi'nden sonra hızlı bir şekilde gelişen kapitalist sistemin, pazar ihtiyacından dolayı daha fazla gelişme kat ettiği görülmektedir. Günümüz itibarıyla ekonomik yönden bakıldığında, ulaştırma alanı sosyal, ekonomik ve politik açıdan son derece önemlidir (Erdoğan, 2016).

Günlük hayatımızın önemli bir parçası olan ulaşım sistemleri; ekonomik ve sosyal fonksiyonlarıyla toplumu devamlı etki altına alan bir yapıya sahiptir. Ulaştırma sektörü; yapılan önemli yatırımlarla ekonomide büyük bir etki yaratmaktadır ve bu yarattığı etki ile toplumların ekonomik durumları içerisinde ağırlıklı bir yere sahiptir. Toplumsal hayatta gelişen modernleşmeyle beraber ulaşımında oluşan hareketlilik artarken, toplumun sosyo-ekonomik yapısı yük ve yolcu taşımacılığında, üretim şekli ve oluşan ekonomik çıkarlar kendine özgü yeni bir ulaştırma şeklini de ortaya çıkarmaktadır. Ulaşım sistemleri ve olanakları tam olarak bir kent veya ülkenin genel yapısını etkilemekle kalmaz, aynı anda o kentte ve o ülkede uygulanan ekonomik, sosyal ve kültürel hareketliliği de etkiler. Oluşan bu süreçte ulaşım sistemlerinin sanayileşmeye, çevreye ve topluma oluşturdukları faydaların yanında her geçen zamanda insanların rahatsızlık duymasına yol açan çevre ve olumsuz ortamlara yenileri de eklenmektedir. (TMMOB, 2012).

Karayolları ve denizyollarındaki gelişmeler ve oluşan değişimlerle birlikte yeni denizyollarının keşfedilmesi dünyadaki ticaretin gelişmesine büyük katkı sağlamaktadır. Bu tür gelişmeler insanların ekonomik ve sosyal yaşamları üzerinde bir etki oluşturmakla beraber nüfusun artması, sanayi, ekonomik faaliyetler ve yerleşim yerlerinin jeopolitik konumlarını yakından etkilemektedir. Sosyal yaşamda ulaşımın uyguladığı en önemli etken insanların birbirleriyle etkileşimlerini ve kültürel alışverişlerini hızlandırmasıdır. İnsanlar arasındaki bu etkileşimler yollar ve duraklar vasıtasıyla daha da hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Ayhan, 2011).

Selçuklu devleti döneminde Anadolu' da han ve kervansarayların yapımı, ticaret kervanlarının buralarda konaklaması ve bazı ihtiyaçlarını buralarda gidermesiyle birlikte doğu ve batı dünyası arasında kültürel bir alışverişin merkezi haline gelmiştir. Yaşadığımız dönemde ise limanların etrafında yoğun bir şekilde bulunan oteller ve alışveriş merkezleri aynı işlevleri yerine getirmektedir (Ayhan, 2011).

Ulaşımın sosyo-politik alanlarına gelince; gelişen ulaşım sistemlerinin sosyal yapı üzerinde de etkileri önemli derecededir. Kırsal ve kentsel kesimlerde nüfus yoğunluğunun artmasıyla birlikte demografik yönden kırsal alanlar ile kentler arasında bir dengenin sağlanması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken özellik, kırsal

kesimlerden kentsel kesimlere doğru oluşan göçün engellenemeyerek ulaşımın sosyal işlevinin de gerçekleşemeyecek olma olasılığıdır (Erdoğan, 2016).

Karayollarının sağladığı bazı sosyo-ekonomik yararlar şunlardır:

- Üretim ve istihdamın artırılması,
- Üretimdeki maliyetin düşürülmesi,
- Tüm sektörlerdeki verimliliğin arttırılması,
- Yol inşasının ekonomiye olan doğrudan veya dolaylı etkileri,
- Arazi kullanımı ve bölgesel gelişime olan etkiler,
- İş ve sosyal amaçlı olarak taşımacılık taleplerinin karşılanması,
- Eğitim, sağlık ve turizm amaçlı seyahat taleplerinin karşılanması,
- Milli gelirin ülke sathında dengeli dağılımı,
- Alınan vergiler yoluyla ulusal bütçeye olan mali katkılar olarak sıralanabilir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2013).

2.1.4. Karayolu projesinde harita mühendisinin görevleri

Karayolu projesindeki bir yol güzergahının etüdü, o yolun arazide geçişinin neresi olacağı ve nereden geçeceğinin araştırılmasıdır. Oluşturulacak yol güzergahı boyunca zorunlu olarak iki noktayı birbirine bağlayacak olan güzergah sayısı ilk anda çok fazla gibi görünse de arazideki engeller ve sınırlamalardan dolayı güzergah sayısı aslında fazla olmamaktadır. Üstelik arazinin yapısına göre en uygun güzergah yapısını tespit edebilmek için karşılaştırma yapmak amacıyla ikinci bir güzergah seçeneği bulmakta zorluk çekilmektedir (Anonim, tarih yok).

Harita mühendislerinin karayolu projesindeki rolleri mesleki açıdan çok büyüktür ve bu sektörde görev yapan en önemli meslek gruplarından biridir. Harita mühendisleri genellikle bu sektörde etüt ve proje kontrol mühendisleri olarak isimlendirilmektedir.

Harita mühendislerinin karayolu projesindeki görevleri genel olarak maddeler halinde aşağıdaki gibidir: (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2014)

- Çalışma alanındaki yolların ön etüt çalışmalarını yaparak güzergâh koridorlarını belirlemek.
- Projelendirilecek ve uygulanacak güzergâha ait mevcut haritaları ve harita değerlerini temin etmek.
- Harita, etüt ve proje çalışmaları sırasında ilgili kurumlar ile iletişim kurarak koordinasyonu sağlamak.
- Karayolu proje çizimi ve hizmetlerini üstlenmiş olan yükleniciler tarafından hazırlanan haritaları büroda ve arazide incelemek.
- Ön etüt çalışmaları sonucunda belirlenen güzergâh planına göre arazi ve bürodaki çalışmalar baz alınarak, karayolunun jeodezik altyapısının ve sayısal harita üretimi işinin yapılmasını veya yaptırılmasını sağlamak.
- Belirlenmiş olan karayolu ekseni ile düşey hat baz alınarak sanat yapılarının arazide yerleştirilmesini sağlamak.
- Karayolu projesine göre yatay ve düşey güzergâh raporlarını hazırlamak, uygulanacak kavşakların tiplerini ve kavşak yerlerini tespit etmek.
- Harita üzerinde kesinleşerek projelendirilen yol güzergâhının araziye aplikasyonunu yapmak.
- Genel Müdürlük onayı alındıktan sonra, yolun yatay hattını ve düşey hattını dikkate alarak yolun kesin proje çalışmalarına başlamak veya başlatmak.
- Kamulaştırma faaliyetlerini yürütmek (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2014).

Bu maddelerden ayrı olarak kendi çalışmış olduğum karayolu projelerindeki mesleki açıdan yaptığım çalışmalar ve harita mühendisinin karayolu projelerindeki diğer görevlerinden bazıları da şunlardır:

- Yol güzergah etüdü,
- Yol güzergahlarında poligon ağlarının oluşturulması,
- Yol güzergahlarında halihazır haritaların çıkarılması,
- Yol projesindeki alım ve aplikasyon işleri,
- Sanat yapıları alım ve aplikasyon işleri,
- Revize ve ripaj işlemleri,
- Şevli-kotlu plan çizimleri,

- Boykesit ve enkesit çizimleri,
- Toprak işleri kübaj (hacim) hesabı,
- Sanat yapıları kazı-dolgu hesabı,
- Zayıf zemin (iyileştirme) kazı-dolgu hesabı,
- Yol maliyetlerinin hesabı,
- Ataşmanların hazırlanması,
- Altyapı ve üstyapı projeleri,
- Yol kamulaştırması ve aplikasyonu,
- Terasman (sıfırlama) uygulaması ve terasman teslim tutunaklarının hazırlanması,
- Şev stabilizasyonu,
- Ofset kazıklarının aplikasyonu ve üstyapı güzergahının tespiti,
- Finişer güzergahı oluşturma,
- Çıktı ve pafta işlemleri şeklindedir.

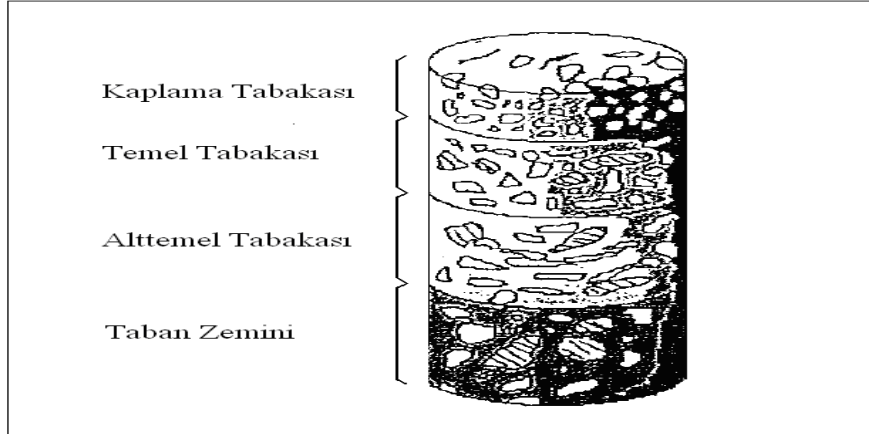
2.1.5. Karayolları elemanları ile ilgili bazı genel tanımlar

Altyapı

Yolun toprak işleri tamamen yapıldıktan sonra, daha önceden belirlenmiş olan kot ve enkesit şekline getirilmiş kısmına altyapı denir. Altyapı, (menfez, köprü, istinat duvarı) gibi sanat yapılarını da içine almaktadır. Altyapı yoldaki esas taşıyıcı kısımdır (Yayla, 2004).

Üstyapı

Yolun trafik yüklerini taşıyarak bu yüklerin basınç kuvveti taban zemininin taşıma gücünü geçmeyecek şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere altyapının üzerine yapılan ve alt temel, temel, kaplama tabakalarından oluşan kısma üstyapı denilmektedir (Yayla, 2004). Başka bir deyişle üstyapı, altyapının üzerine inşa edilen kısımdır. Şekil 2.3' de örnek tipik bir üstyapı kesiti gösterilmiştir. Üstyapının yapılış amacı, kısaca yükleri altyapıya dağıtarak dingil yükleri altyapının taşıyabileceği bir hale getirmektir (Yoldaş, 2008).



Şekil 2.3. Tipik bir esnek üstyapı kesiti (Ayçiçek, 2011)

Üstyapıların davranışları ve kullanılan malzeme tipleri ele alındığında rijit ve esnek üstyapılar olmak üzere ikiye ayrılır. Rijit üstyapılar, alt temel tabakası ve beton plaktan oluşmaktadır. Esnek üstyapılar ise alt temel, temel ve bitümlü kaplama tabakalarından oluşmaktadır (Coşgun, 1994).

Terasman (reglaj)

Toprak işleri yapıldıktan sonra oluşan yüzey, tesviye yüzeyidir. Tesviye yüzeyinin projeye uygun bir şekilde enine ve boyuna eğimler verilerek greyder bıçağının yardımı ile son olarak yapılan düzeltme işlemine terasman, ince tesviye (reglaj) ya da sıfırlama denilir. Reglajı ya da ince tesviyesi yapılmış olan yol üstyapı inşasına hazır demektir (Murat, 2013).

Alt temel tabakası (pmat = plent mix alt temel)

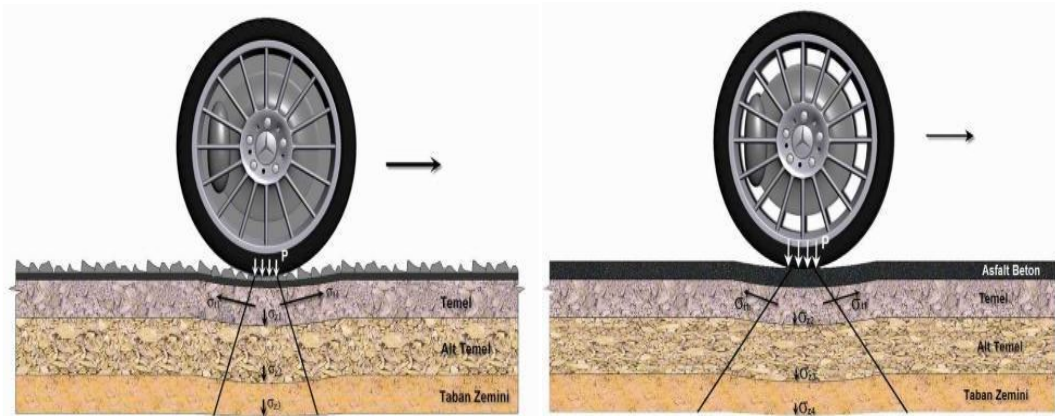
Reglajı yapılmış tesviye yüzeyinin üzerine serilen ve genellikle kum, çakıl ve yüksek fırın cürufu gibi malzemelerden oluşan tabakadır. Temel tabakasında oluşan yükün bu tabakaya dağılmasına yardımcı olur. Su ve don gibi etmenlere karşı tampon görevi yapar. Temel tabakasına göre daha seçme malzemelerden oluşan bu tabakanın kalınlığı azaltılarak daha fazla ekonomi sağlanmış olur (Yayla, 2004).

Temel tabakası (pmt = plent mix temel)

Üstyapı temel tabakası, alt temel tabakası ile kaplama tabakası arasına serilen ve alt temel tabakasına göre malzemenin fiziksel özellikleri daha iyi olan çakıl, kırmataş ve kum gibi alt temel tabakasına göre daha ince malzemelerden oluşan tabakadır (Yayla, 2004). Temel tabakasının görevi, yüzeye uygulanan yükleri kendi içerisinde dağıtarak ve belirli bir esneklik sağlayarak oturma deformasyonlarını önlemektir (Orhan, 2012).

Kaplama tabakası

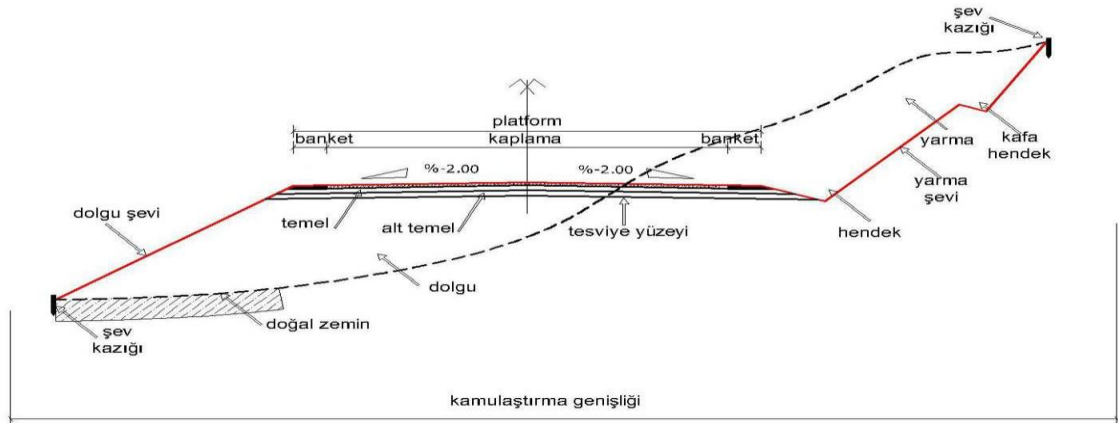
Üstyapının en üst tabakasıdır. Çoğunlukla asfalt veya sathi kaplamadan oluşmaktadır. Trafiğin aşındırmasına, araçların kaymasına ve iklim koşullarının ayrıştırma etkisine karşı koymaktadır (Sağlık ve Güngör, 2008). Dünyada en fazla kullanılan kaplama çeşidi asfalt kaplamalardır. Asfalt tabakası birden fazla tabakadan oluşmaktadır. En üst bölümde aşınma tabakası bulunmaktadır. Aşınma tabakasının altında da binder tabakası bulunmaktadır (Akpolat, 2008). Binder tabakasının altında ise her projede bulunmasa da bazı projelerde bitümlü temel tabakası bulunmaktadır. Şekil 2.4' de sathi kaplamalı yol üstyapısı ve bsk kaplamalı yol üst yapısı kaplama şekillerine örnekler gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Sathi kaplamalı yol üstyapısı ve bsk kaplamalı yol üst yapısı (Akpolat, 2008)

Enkesit

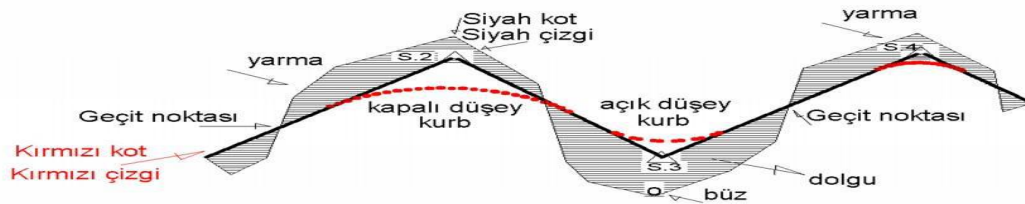
Yol güzergahının rastgele bir noktasındaki arazi kotlarını ve proje kotlarını gösteren, yolun yatay kesitteki çizimidir (Pancar, 2018). Şekil 2.5' de tipik enkesit ve elemanlarına ait, örnek bir enkesit gösterilmiştir. Enkesitlerde genellikle üstyapı kalınlığı, platform genişliği ve eğimi, banket genişliği ve eğimi, hendek genişliği ve eğimi, deverler, kotlar, yarma-dolgu şevleri ve eğimleri gibi bilgiler bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Tipik enkesit ve elemanları (Pancar, 2018)

Boykesit (profil)

Plandaki yol ekseni bir doğru boyunca açılır ve izdüşümü düşey bir düzlemde alınır ise boykesit (profil) elde edilir (Yayla, 2004). Boykesite, kısaca yolun düşey planı denilebilir. Şekil 2.6' da boykesitte yol örneği gösterilmiştir. Boykesitler, projede bulunan kazı veya dolgu yapılacak kilometreleri seri ve hızlı bir şekilde görmemize imkan sağlamaktadır. Boykesitlerde genellikle projede uygulanacak yol kırmızı çizgi (kırmızı kot) ile arazi ise siyah çizgi (arazi kotu) ile gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Boykesitte yol (Anonim, t.y)

2.2. Sayısal Arazi Modeli (SAM)

SAM' lerini ilk olarak 1950' li yıllarda, Amerika Birleşik Devletleri' nin Boston şehrinde bulunan MIT (Massachusetts Institute of Technology) de Profesör olarak görev yapan Prof. Miller tarafından yol projelerinin bazı adımlarını otomatik olarak çözümlemek için kullanılmıştır (Bashir, 1999).

Temel olarak modeller lastik, plastik, kil ve kum gibi farklı maddelerden yapılmakta olan fiziksel modeller olarak bilinir. Örneğin, İkinci Dünya Savaşı' nda üretilen modeller çoğunlukla Amerikan Deniz Kuvvetleri tarafından üretilmiştir. 1982 yılında yapılan Falkland savaşında İngiliz kuvvetleri tarafından askeri operasyonlarda stratejik olarak kum ve kil modelleri kullanılmıştır (Üstüntaş, 1994).

1960' lı yıllardan beri sayısal arazi modeli, uluslararası olarak fotogrametri ve uzaktan algılama alanlarında önemli derece de bir araştırma alanı olmuştur.

1960-1970 yılları arasında asıl konu, yüzey modelleme ve sayısal yükseklik modelleri kullanılarak eş yükseklik eğrileri oluşturmaktır. Bu aşamada birden fazla enterpolasyon yöntemi önerilmiştir. 1970 yıllarından sonra ise odak noktası, kalite kontrol ve örnekleme stratejileri olmuştur (Keçeci, 2011).

SAM, genellikle yükseklik kavramı için kullanıldığından sayısal yükseklik modeli (SYM) ile çoğunlukla eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. HGK Teknik Terimler Sözlüğünde, SAM “bilinen dik koordinatlar ile çok sayıda seçilen noktaları kullanarak arazinin sürekli bir yüzey şeklinde istatistiksel olarak gösterimi” olarak tanımlanmaktadır. SAM, yeryüzündeki bina, bitki örtüsü, orman gibi farklı yüksekliklere sahip olan detayları içermektedir, yani gözle görünür yeryüzünü bize yansıtmaktadır. SAM kullanılarak üretilen eşyüksekti eğrileri, sayısal yükseklik modeline (SYM) göre arazinin gerçek şeklini daha iyi ve daha uygun bir şekilde yansıtmaktadır. Fakat SAM üretim olarak SYM’ ye göre daha masraflı ve daha zaman alıcı bir yöntemdir (Marangoz, 2015). Arazinin sayısal bir şekilde ifade edilebilmesi için arazi yüzeyi üzerinde düzenli veya düzensiz olarak yeterli sıklık ve yeterli aralıklarda belirli bir koordinat sistemi içinde olan üç boyutlu koordinatları (Y, X, H)

bilinen noktalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koordinatları bilinen noktalara genellikle dayanak, örnekleme, kontrol veya referans noktaları denilmektedir (Doğruluk, 2013).

SAM yüzeyi oluşturmak için kullanılan noktaların en önemli özellikleri, bu noktaların dijital ortam içerisinde sistematik bir şekilde depolanabilmesidir. Böylelikle bu noktaların kullanılması durumunda, kolayca erişilebilir ve etkin bir şekilde kullanılabilir (Alp, 1998).

SAM' lerinin oluşturulması için iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler düzenli grid (raster) yöntemi ve düzensiz üçgenleme (TIN) yöntemi olarak iki yöntemden oluşur (Ozulu, 2005). Ayrıca SAM' nin iki tane amacı vardır. Bunlar:

- Dayanak noktaları kullanılarak, konumları bilinen noktaların yükseklik değerlerini hesaplamak,
- Dayanak noktaları kullanılarak, yalnızca yükseklik değerleri bilinen noktaların konumlarını hesaplamaktır (Keçeci, 2011).

SAM uygulama türlerine göre iki ana grupta incelemek mümkündür. Bunlar;

- Topoğrafik amaçlı uygulama
- Topoğrafik amaçlı olmayan uygulama şeklindedir.

Topoğrafik amaçlı uygulama türünde, elverişli bilgisayar yazılımları kullanılarak enkesit, boykesit, alan-hacim hesapları (kübaaj), karayolu ve demiryolu güzergahlarının belirlenmesi, baraj ve kanal inşaatları, havaalanı yapım projeleri gibi birçok mühendislik projesinde yaygın olarak SAM kullanılmaktadır. SAM bu mühendislik uygulamalarıyla birlikte tıp, kimya, sanayi, ziraat ve mimarlık gibi topoğrafik olmayan uygulama alanlarında da kullanılmaktadır (Yener, 1993).

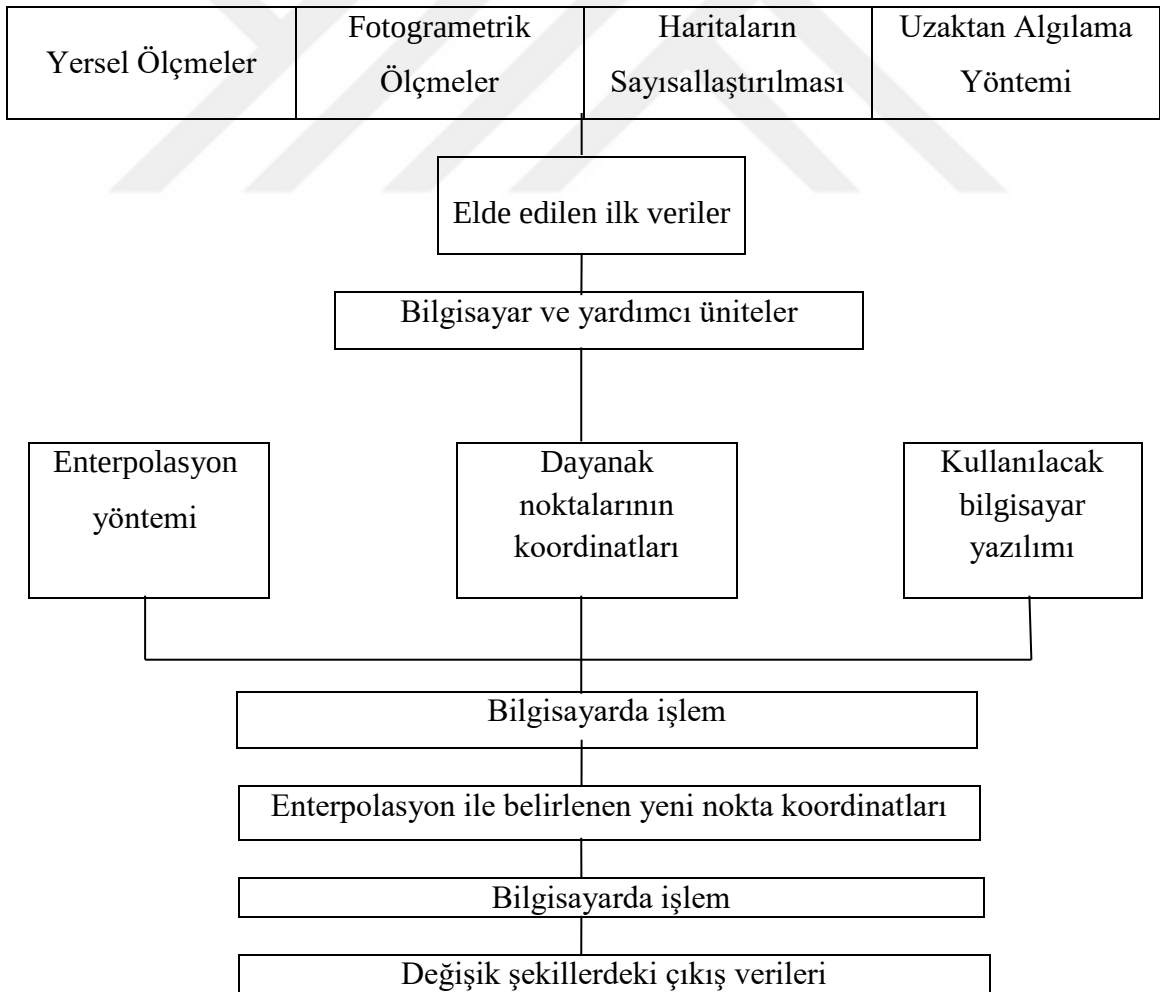
SAM' lerinde işlem süreçleri üç aşama ile açıklanabilir. Bu aşamalar:

1. Verilerin toplanması
2. Verilerin işlenmesi
3. Verilerin sunumu şeklinde sıralanır (Doğruluk, 2013).

2.2.1. Sayısal arazi modeli işlem süreci

SAM işlem süreci, verilerin elde edilmesi, verilerin işlenmesi ve verilerin sergilenmesi olarak üç işlem sürecinden oluşmaktadır. Verilerin elde edilmesi sürecine verilerin toplanması, verilerin sergilenmesi sürecine ise verilerin sunumu da denilmektedir.

Genel olarak bir karayolu projesinde SAM oluşturulurken yol güzergahının bulunduğu araziden yersel veya fotogrametrik yöntemlerle elde edilen arazi yada dayanak noktaları verilerin elde edilmesi sürecini, bu noktalar kullanılarak üçgen model yada enterpolasyon yöntemleri ile yüzey modellerinin oluşturulması verilerin işlenmesi sürecini, son olarak ise bu yüzey modeller kullanılarak kesitlerin çizilmesi ve hacim hesaplamalarının yapılması işlemi verilerin sergilenmesi sürecini oluşturmaktadır. Şekil 2.7' de görüldüğü gibi SAM oluşum süreci gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Sayısal arazi modeli (SAM) oluşum süreci (Köse, 2006)

Verilerin elde edilmesi

Sayısal arazi modelini oluşturmak için gerekli olan referans noktalarının seçimi, dağılımı ve noktaların sayısının belirlenmesi bu noktaların koordinatlarının (Y, X, H) ölçülerek dijital ortama aktarılarak depo edilmesi, verilerin elde edilmesi (toplanması) aşamasıdır (Yener, 1993).

Verilerin elde edilmesi işlemine genellikle verilerin toplanması işlemi de denilmektedir. Sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulurken, en fazla dikkat edilmesi gereken, en fazla zaman alan ve en zorlu kısım verilerin elde edilmesi işlemidir. Veriler elde edildikten sonra tüm işlemler bu elde edilen verilerle yapılacağı için verilerin istenilen doğrulukta ve istenilen hassasiyette elde edilmesi gerekmektedir. Böyle olmadığı takdirde oluşturulacak olan yüzey modelin gerçeğe aykırı olması kaçınılmaz olmaktadır. Fotogrametrik yöntemle veri elde etmenin sayısal arazi modelindeki en önemli avantajı, kullanılması gerekli olan minimum sayıdaki dayanak noktalarının seçilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle dijital aletler ile yapılan ölçme işlemlerinde, arazi yüzeyinin çok fazla değişmediği alanlarda az sayıda nokta ölçülürken, arazi yapısının değiştiği engebeli olan kritik bölgelerde çok sayıda referans noktası ölçülmektedir (Ekinci, 2011).

Verilerin elde edilmesi aşamasında, yüzey modeli oluşturulacak olan topografya için yeterli sayıda, ihtiyacı karşılayabilecek yeterlilikte koordinatları bilinen noktalar gereklidir. Bu noktalara dayanak, referans veya örnekleme noktaları denilmektedir. Bu dayanak noktalarının koordinat bilgileri herhangi bir yöntemle elde edilerek bir kayıt ortamında saklanmaktadır (Yomralıoğlu, 2009).

SAM' i verilerinin elde edilmesi:

- Yersel ölçmelerle veri toplama
- Fotogrametrik ölçmelerle veri toplama
- Haritaların sayısallaştırılması ile veri toplama
- Uzaktan algılama yöntemi
- Lidar

şeklinde. Yapılacak olan çalışmanın amacına göre, bu yöntemlerden biri ya da birkaçı kullanılabilir (Köse, 2006).

Verilerin işlenmesi

Verilerin işlenmesi süreci, elde edilen verilere farklı testler uygulanarak verilerin kontrol edilmesi, gerektiği takdirde uygunsuz olan verilerin ayıklanması, istenilen sayıda yükseklik değerleri bilinen yeni noktaların üretilmesi ve uygun bir enterpolasyon yönteminin uygulanarak yüzey modelin elde edilmesi işlemidir (Yomralıoğlu, 2009). Bu aşamada kısacası, yüzey modelleme yöntemleri seçilir ve uygun enterpolasyon yöntemine göre yeni noktaların yükseklikleri hesaplanır (Köse, 2006).

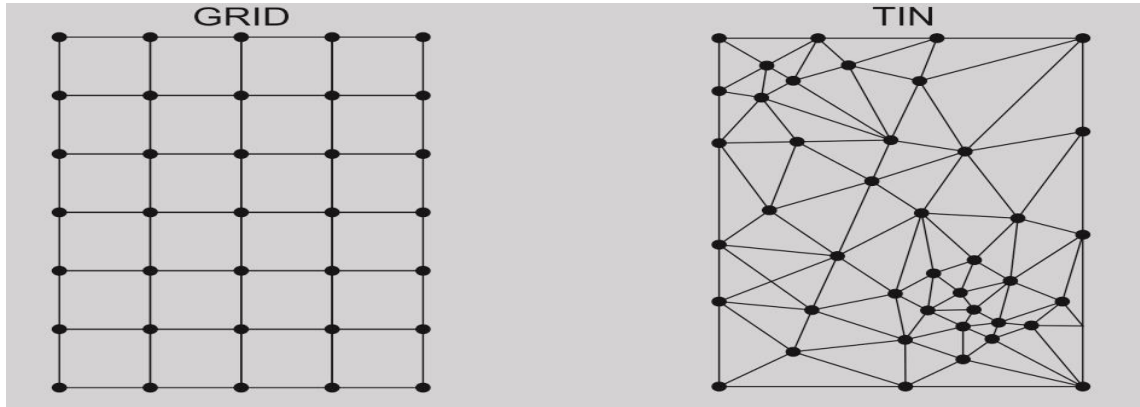
Verileri elde etme işlemlerinden yararlanılarak toplanan dayanak noktaları iki işlemde geçirilir. Bunlar, ön işlemler ve esas dönüşümlerdir. Ön işlemlerde, dayanak noktalarının taşıdığı kaba hatalar giderilerek, koordinatların dönüşümü, veri sıkıştırılması, kenar çakıştırılması ve kodlama gibi dönüşümler yerine getirilmektedir. Esas dönüşümlerde ise, ilk önce ön işlemlerden geçirilmiş SAM verilerini kullanarak üçgenleme yöntemi ya da kare ağı yöntemlerinden biriyle yüzeysel veya çizgisel veriler elde edilir. Eğer gerekli olursa koordinat dönüşümü ve diğer dönüşümler uygulanarak istenilen koordinat sisteminde SAM verileri de elde edilmektedir (Üstüntaş, 1994).

Verilerin sergilenmesi

Verilerin sergilenmesi işlemine genellikle verilerin sunumu da denilmektedir. Verilerin sergilenmesi, verilerin işlenmesi sürecinde seçilen uygun bir enterpolasyon yönteminin uygulanmasıyla elde edilen yüzey model ve yeni noktalardan yararlanılarak yükseklik eğrilerinin çizimi, enkesitlerin ve boykesitlerin elde edilmesi, alan ve hacim (küba) hesabı gibi uygulamaların yapıldığı işlem sürecidir (Yener, 1993).

2.2.2. Sayısal arazi modeli yöntemleri

Sayısal arazi modeli yöntemleri grid (raster) yöntemi ve üçgenleme yöntemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 2.8' de grid ve TIN veri modelleri gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Grid (düzenli kare ağ) ve TIN (düzensiz üçgen ağ) veri modelleri (Mustafayev, 2019)

Grid (raster) yöntemi

Grid yöntemi raster yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Raster yönteminde arazi yüzeyi kare veya dikdörtgen gridlere bölünmektedir. Kontrol noktaları grid köşelerinde veya rastgele konumda bulunabilir. Raster köşe noktalarında bulunan yükseklik değerleri, kullanılacak uygun bir enterpolasyon metodu ile belirlenir. Her bir grid, köşe noktalarında bulunan yükseklik değerleri ve gerektiği takdir de ise eğim değerlerine dayanan bir fonksiyon ile ifade edilmektedir (Yanalak, 1997).

Dayanak noktalarından, grid ağının köşe noktalarına geçiş sağlanırken rastgele bir bilgi kaybı olmamalıdır. Bu sebeple raster göz genişlikleri dayanak noktasının aralıklarından daha küçük olmalıdır. Raster göz genişlikleri ne kadar küçük olursa elde edilen doğruluk o kadar yüksek olmaktadır. Göz genişlikleri dar olan bir rasterden hesaplanan eşyükseklik eğrilerinin yapılan denemelerle arazi yüzeyini daha iyi temsil ettiği kanıtlanmıştır (Yener, 1993).

Raster yöntemi, halen günümüzde SAM üretmek için kullanılan en yaygın yöntem olarak bilinmektedir. Grid ağının köşe noktalarının yükseklik değerlerinin kestirimi için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Değişik çalışmalarda verilerle en fazla uyan yöntemin tespit edilmesi hala aranan hususlardan biridir. Ancak bu kullanılmakta olan yöntemlerde hiçbirisinin en uygun yöntem olduğu ve tüm yüzeylere uygun olduğu söylenemez. Yapılan bir uygulama sonucunda yeterince iyi sonuç veren bir yöntem, uygulanacak olan başka bir uygulamada istenilen sonuçları veremeyebilir. SAM

uygulamalarında sonuç ürünü olarak karşımıza çıkmakta olan eş yükseklik eğrisi, aslında genel olarak grid köşe noktalarından elde edilen yükseklik değerlerinden faydalanılarak oluşmaktadır (Alp, 1998).

Günümüzdeki mühendislik uygulamalarında görüntünün dışında bazı ihtiyaçlara da gerek duyulmaktadır. Kazı-dolgu (kübaj) hesabı, karayollarında yapılan güzergah tespiti, arazilerin eğim karakteristiği gibi yanıtlanması gereken problemler için grafik olarak üretimi yapılan haritalar anında cevap verememektedir. Bunun için, arazinin grafik olarak gösterimi dışında farklı matematik modeller geliştirilmiş ve halen araştırma çalışmaları devam edilmektedir (Alp, 1998).

Üçgenleme yöntemi

Üçgenleme yöntemi yaşadığımız dönemde, artan bir şekilde arazi veya yüzey modelleme işlemlerinde tercih edilen bir yöntem olmuştur. Araziden düzensiz bir şekilde toplanan dayanak noktaları kullanılarak çizgi ve poligon yapıdaki verilerle birbirleriyle komşu olan ve birbirleriyle bindirmesiz şekilde düzensiz üçgenler ağı (TIN) oluşturulmaktadır (Doğruluk, 2013). Bir üçgenleme işleminden beklenen en büyük özellik tek anlamlı olmasıdır. Elde edilecek olan çözüm, işlem sırası ve başlangıç noktasından bağımsız bir şekilde olmalıdır (Yanalak, 1997).

TIN (Triangulated Irregular Network) veri modeli, devamlılık gösteren yüzeylerin raster olarak gösterilmesine alternatif bir veri modeli biçimidir. TIN veri modelinde, yüzeyler birbirine komşu üçgenlerle ifade edilmektedir. Üçgenler düzensiz bir şekilde dağılmış rastgele bir konumdaki üç noktadan üretilmektedir. Bu sebepten dolayı raster veriden farklıdır. Çünkü raster veri modelinde tüm noktalar düzenli bir kafes sistemi biçiminde dağılım göstermektedir. Sonuçta TIN veri modeli topolojik olarak birbirleriyle ilişkili üçgenlerin oluşturduğu bir ağ yapısına sahiptir (ESRI, 1992).

Üçgenlemenin amacı, oluşturulan arazi yüzeyini tüm üçgen elemanların toplamı biçiminde ifade etmektedir. Dayanak noktaları, arazi yüzeyinin oluşmasını sağlayan üçgenlerin köşe noktalarıdır. Üçgenler birbirlerini sadece dayanak noktalarında yada üçgen kenarları boyunca kesmektedir. Yüzeyin oluşmasını sağlayan öğeler sadece

üçgen olmalıdır. Üçgenlemenin bir başka amacı ise, dayanak noktalarını ilişkilendirmektir. Üçgenleme yönteminde bir üçgenin kenarını oluşturan iki referans noktası birbirleri ile ilişkilidirler. Bu ilişkilendirmenin uygunluğuna bağlı olarak, üçgenlemenin kalitesi belirlenmektedir (Yanalak, 1997).

Üçgenleme yönteminde, kullanıcının isteğine göre yeni noktalar eklenebilir ya da bazı noktaları yapacağı işlemde kullanmayabilir. Burada önemli olan, kullanılacak olan keskin noktaların oluşturulacak yüzeyi en gerçekçi şekilde temsil etmesidir. Bu noktalar genellikle, şev alt ve üst kotları, tepe noktaları ve vadilerin taban noktaları olabilmektedir. Ayrıca su ayırma ya da toplama çizgileri, akarsu, kıyı gibi keskin sınırlar olarak bilinen çizgilerin de dikkate alınması ile daha hassas bir yüzey modellemesi oluşturulmaktadır. Bu tür çizgiler üçgenlerin en önemli ve değişmez sınırları olarak bilinir (Yomralıoğlu, 2009).

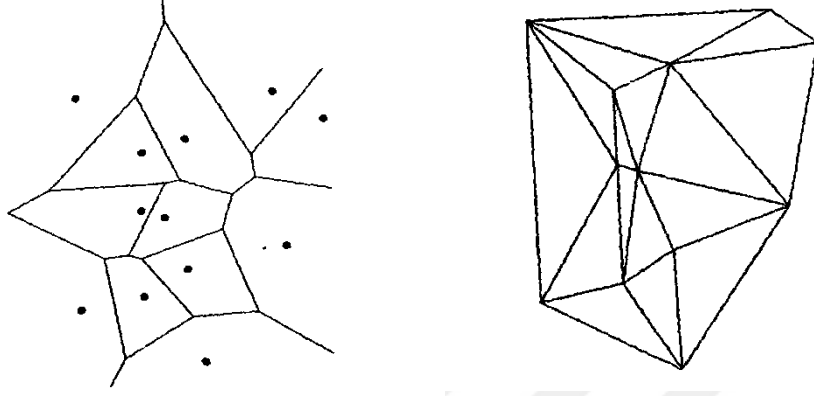
TIN modelinin oluşturulmasıyla birlikte gerçekleştirilecek pek çok yüzey analizi vardır. Bunlardan bazıları;

- H yükseklik değerlerinin enterpolasyon yöntemiyle kestirimi,
- Eşyükselti eğrilerinin üretilmesi,
- Bakı ve eğim hesapları,
- Yüzey alan ve uzunluklarının hesaplanması,
- Kazı ve dolgu (hacim) hesapları,
- İki nokta arasındaki görünürlük analizi,
- Yüzey profillerinin üretilmesi,
- Gölgeleme veya ışık etkilerine göre oluşan değişimlerin izlenmesine yönelik analizler şeklindedir (Yomralıoğlu, 2009).

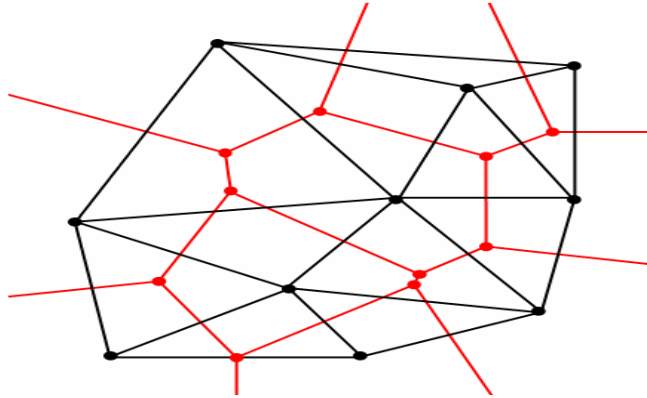
Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenlemesi

Voronoi diyagramı geçmişten beri kullanılıyor olsa da diyagram üzerinde araştırmalar yapan kişi olan Georgy Voronoi' den adını almıştır. Voronoi diyagramı, diğer isimleriyle Thiessen, Dirichlet veya Wigner-Seitz diyagramları olarak da

kullanılmaktadır (Ceylan, 2009). Şekil 2.9 ve Şekil 2.10' da Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenlemesi gösterilmiştir.



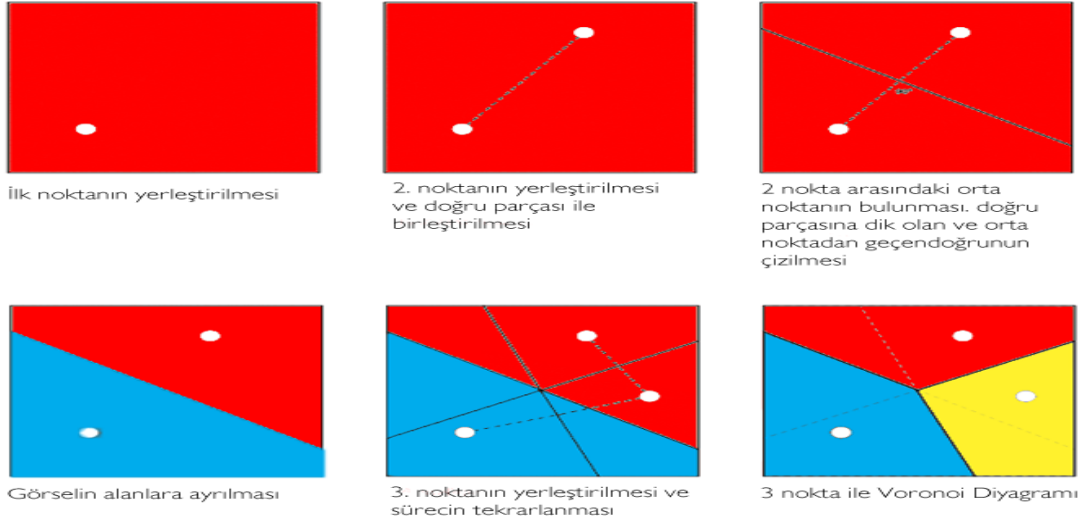
Şekil 2.9. Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenlemesi (Yanalak, 1997)



Şekil 2.10. Voronoi diyagramı ve delaunay üçgenlemesi (Ceylan, 2009)

Voronoi çokgenlerinin köşe noktaları, üçgenlerdeki kenar orta dikmelerin kesişimiyle bulunmaktadır. Bu yüzden, voronoi çokgenlerinin köşe noktaları üçgenlerin çevrel çemberlerinin merkezleridir. Bu çemberlerin merkezleri ait oldukları üçgenin içinde olmakla beraber dışında da olabilir. Birçok araştırmacı tarafından delaunay üçgenlemesinin algoritmasının kurulması aşamasında dikkat edilen en önemli özellik, üçgenleri saran çevrel çemberlerin içerisinde başka bir nokta yer almamasıdır. Üçgenlemeyi önemli ve çekici kılan bir diğer özellik ise, oluşan üçgenlerin olabildiğince yani en olası şekilde eşkenar üçgenler olmasıdır. Üçgenlerin çok dar açılı olması birbirine uzak olan noktaların arasında doğrusal bir ilişki kurulmasını da

engellemektedir (Yanalak, 1997). Şekil 2.11' de görüldüğü gibi Voronoi diyagramının oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Voronoi diyagramı oluşumu (Yüksel ve Yüksel, 2013)

Delaunay üçgenleme yönteminde öncelikle, veri kümesinin etrafına yapay bir çerçeve noktaları yerleştirilir. Yerleştirilen bu noktalar keyfi olarak istenildiği gibi tanımlanarak veri setine dahil edilir. Üçgenlemenin başlangıç yeri, alanın sol alt köşesinde bulunan iki sınır noktasıdır. Bulunan bu iki sınır noktasından bir daire geçirilerek saat yönünde, geçirilen dairenin içerisinde nokta olup olmadığı araştırılır. Daire içerisine düşen herhangi bir noktaya saptanmazsa dairenin alanı belirli bir oranda artırılır. Saat yönünde dairenin içerisine düşen ilk nokta, oluşacak ilk üçgenin üçüncü noktası olarak belirlenir. Bu işlem saat yönünde, başlangıca gelinceye kadar devam eder (Yomralıoğlu, 2009).

Delaunay üçgenlemesinin özelliklerini maddeler halinde açıklayacak olursak bunlardan bazıları:

- Oluşan üçgenler olabildiği kadar eş kenarlı olmalıdır.
- Üçgenlemede yer alan doğru parçaları, dayanak noktalarından en yakın olan iki noktanın birleşiminden oluşmaktadır.
- Üçgenler, başlangıç noktasından bağımsız ve tek başına anlamlıdır.
- Üçgenlerin çevrel çemberinin içerisinde başka herhangi bir nokta bulunmamaktadır (Ekinci, 2011).

2.3. Sayısal Arazi Modellerinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemleri

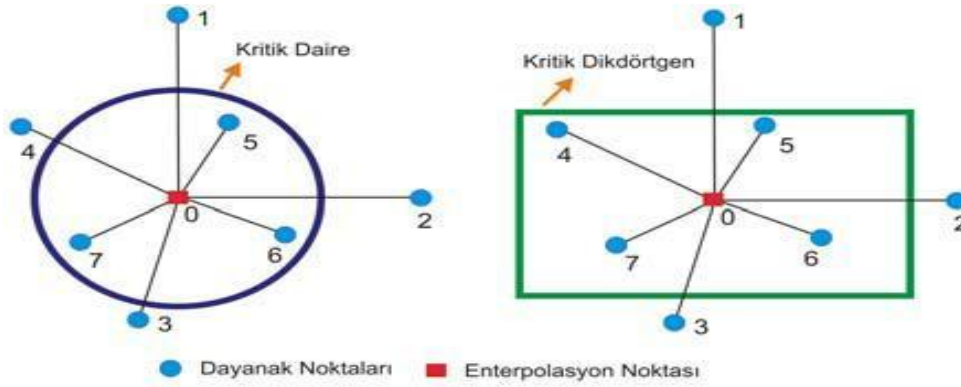
Enterpolasyon kısaca tanımlanacak olursa, konumu bilinen iki noktanın arasında kalan bilinmeyen noktanın konumunu bulabilmek için yapılan tahmin işlemine, enterpolasyon yada ara değer kestirimi denilmektedir (Zengin Kazancı; Tanır Kayıkçı, 2015).

2.3.1. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (Inverse distance weighting - IDW)

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, genellikle çok kullanılan jeoistatistik olmayan deterministik bir yöntemdir. IDW yöntemi yalnızca komşu noktalardan tahmin değerleri ürettiği için, lokal bir ara değer kestirim yöntemidir. Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi, noktaların birbirleriyle olan uzaklıklarını ağırlık hesabında kullanarak bilinmeyen noktaların tahmin edilmesini sağlar. IDW yöntemi, enterpolasyonu yapılacak yüzeyde yakında bulunan noktaların uzaktaki noktalara göre daha fazla ağırlığa sahip olduğu esasına dayanmaktadır (Zengin Kazancı, 2014).

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yönteminde enterpolasyon noktasının yüksekliği, etrafında bulunan dayanak noktalarının yükseklik değerlerinden ağırlıklı olarak hesaplanmaktadır. Her bir dayanak noktasının yüksekliğine verilen ağırlık değerleri, o noktanın enterpolasyon noktasına olan uzaklığının bir fonksiyonudur (Köroğlu, 2006).

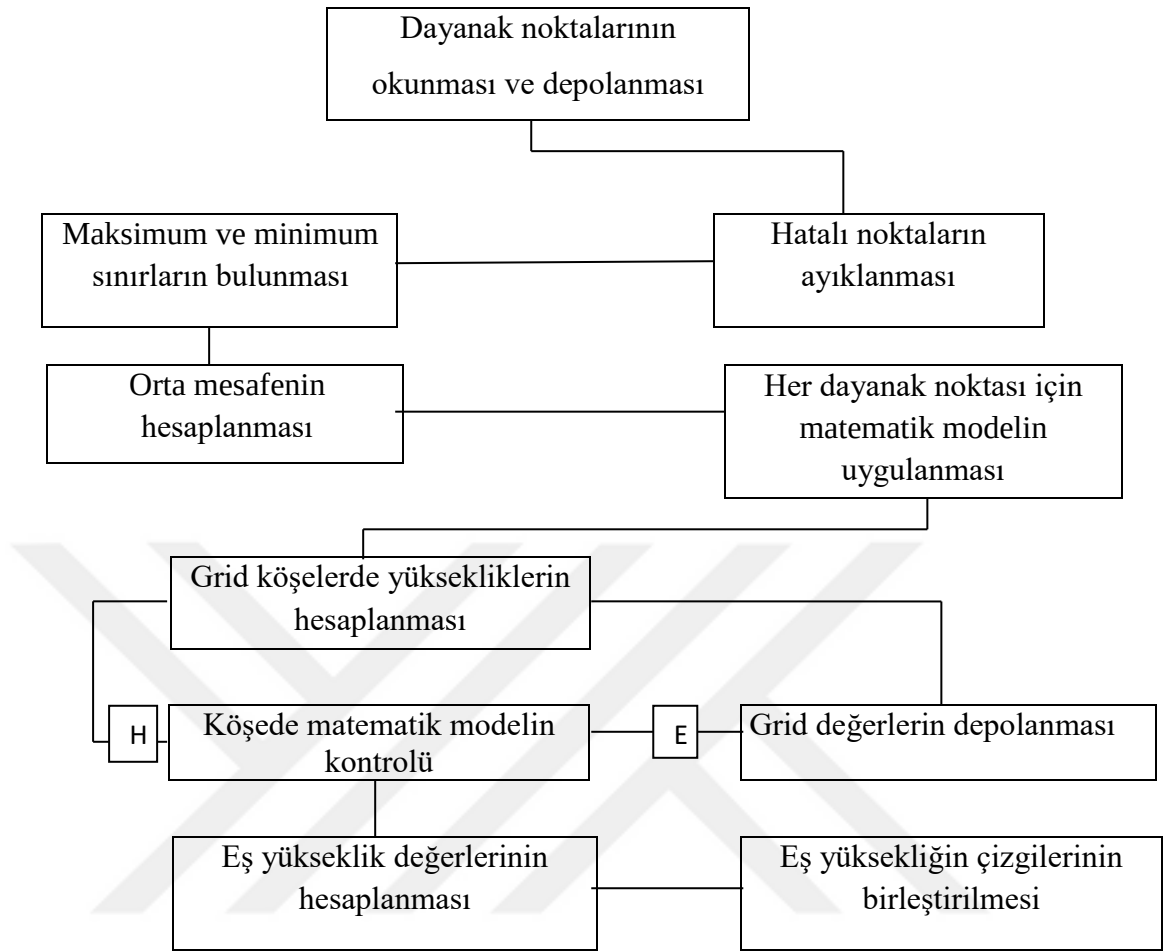
Bu yöntemde dayanak noktalarının sayısı arttıkça, işleme girecek her bir enterpolasyon noktası için yapılacak işlem sayısı da artacaktır. Eğer n tane dayanak noktası olduğunu düşünersek, her bir enterpolasyon noktası değeri için n tane ağırlık hesabı m tane enterpolasyon noktası için $(n*m)$ tane ağırlık hesabı gerekmektedir (Avcı, 2010). Bu kadar yüklü olan işlemden kaçınmak için hesaplanacak her bir enterpolasyon noktasının yükseklik değeri, o noktanın çevresinde çizilmekte olan kritik daire içinde kalan dayanak noktalarının yükseklik değerlerinden hesaplanmaktadır. Burada daire yerine kare ya da dikdörtgende kullanılabilir. Bu daire dışında kalan dayanak noktaları hesaba katılmamaktadır. Bu sebeple kritik daire büyüklüğü çok önemlidir ve kritik daire büyüklüğü yöntemin uygulanacağı araziye göre farklılık göstermektedir (Yanalak, 1997). Şekil 2.21' de kritik daire ve kritik dikdörtgen örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Kritik daire ve kritik dikdörtgen (Yiğit, 2003)

IDW enterpolasyon yöntemi, CBS sistemleri içerisindeki en ortak form olmaktadır. IDW yöntemi tam bir ara değer üreticisi, tam bir enterpolatördür (İlker, 2012). Bu modelin araştırılması için aşağıda bulunan bazı aşamalar gerekmektedir ve Şekil 2.13' de Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon iş diyagramı gösterilmiştir.

- Kaba hatalı olan noktaların ayıklanması
- Noktaların yoğunluklarının hesaplanması
- Kritik mesafenin hesaplanması ve uygun girdi seçimi
- Matematik modelin uygulanabilirliğinin araştırılması şeklindedir (Bashir, 1999).



Şekil 2.13. Ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon iş diyagramı (Bashir, 1999)

Ağırlık fonksiyonu olarak (x_i, y_i) herhangi bir dayanak noktasının, (x_0, y_0) yüksekliği belirlenecek enterpolasyon noktasının düzlem koordinatları olduğuna göre,

$$P_i = [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]^{-k} = (s_i^2)^{-k} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad k = 1, 2, 3 \quad (2.1)$$

eşitliği kullanılabileceği gibi,

$$P_i = e^{(-s_i^2 / k^2)} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad k = 3, 4, 5 \quad (2.2)$$

şeklindeki Gauss fonksiyonu da kullanılabilir (Güler, 1985).

Belli bir bölgede, geoit ondülasyonu GNSS/Nivelman ile belirlenmiş n sayıda dayanak noktası olduğunu varsayalım. Bu durumda diğer noktalardaki geoit ondülasyonu;

$$P_i = \frac{1}{S} \quad (2.3)$$

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n N_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.4)$$

eşitliği ile hesaplanır (Zhan-ji, 1998).

Burada;

N: Geoit ondülasyonu,

S_i : Geoit ondülasyonu belirlenecek nokta ile i dayanak noktası arasındaki uzunluk,

P_i : Ağırlıktır.

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yönteminde kullanılan kuvvet parametreleri, bir grid köşesinden uzaklık arttığı esnada ağırlığın etkisinin nasıl azaldığını göstermektedir. Ağırlıklar küçük kuvvetler için, dayanak noktalarının arasında daha düzenli bir biçimde dağılırlar. Ağırlıklar daha büyük kuvvetler için, yakın olan dayanak noktaları ortalama ağırlığın daha büyük olan bir kesri olarak verilir. Belirli olan bir grid köşesi hesaplandığında, bir tane dayanak noktasına verilen ağırlık grid köşesindeki kuvvete mesafenin tersiyle orantılıdır. Bir grid köşesi hesaplandığında, hesaplanan bu ağırlıklar kesirli bir şekildedir ve toplamaları 1' e eşittir (Soycan, 2002).

2.3.2. Polinomlarla enterpolasyon yöntemi (Polynomial interpolation)

Polinom yüzeyleriyle enterpolasyon yöntemi, yüzey modellemeleri için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Polinomlarla enterpolasyon tekniğinin asıl amacı, çalışılmakta olan bölgenin tek bir fonksiyonla ifade edilmesidir. Başka bir tanımlama ile çalışma bölgesini en iyi tanımlayan ve problemin çözülmesi için gerekli olan argümanları (Y, X, N) belirli dayanak noktalarından faydalanarak çalışma bölgesi içinde konumu belirli olan herhangi bir noktada bulunan N jeoit ondülasyon değerinin bulabilmek için fonksiyonun bilinmeyen sabitlerini belirlemektir. (Yiğit, 2003).

Polinomlarla enterpolasyon yönteminde, çalışma yapılacak bölgede ilk önce kaçınıcı dereceden polinomun kullanılacağı kestirilemez. Polinom derecesinin belirlenmesi için

yüzey polinomunun derecesi ilk önce birinci dereceden başlatılarak dengeleme sonuçlarının istatistiksel analizleri sonucu belirlenir (Yiğit, 2003). Bu yöntemde, yüzeyin derecesi arttığı zaman gerek duyulan dayanak noktalarının sayısı da artmaktadır. Bu sebeple dayanak noktalarının sayısı yeterli olmadığı zaman büyük hatalara neden olmaktadır. Polinomun derecesi arttığı zaman elde edilecek doğrulukta artacak denilemez. Polinomun derecesinin artmasıyla, yüzeyde gereksiz salınımlar oluşmaktadır. Yüzeyde meydana gelen ani iniş çıkışlar gerçeğe uygun olmayan yükseklik değişimlerine sebep olmaktadır (İnal ve ark., 2002).

Polinomun derecesi, $n=1$ olarak seçilmesiyle yüzey lineer, $n=2$ olarak seçilmesiyle yüzey quadratik, $n=3$ olarak seçilmesiyle ise yüzey kübik olarak adlandırılır (Yiğit, 2003).

Tek değişkenli bir fonksiyonun matematiksel olarak ifadesi;

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (n \in \mathbb{N}; a_0 \dots a_n \in \mathbb{R}) \quad (2.5)$$

şeklindedir. Bu polinomda en yüksek derece de olan terimin derecesi n , polinomun derecesidir. n . dereceden bir polinom, $(n-1)$ tane kırılmaya uğrar. a_0 bu polinomda sabit sayıdır (Yiğit, 2003).

"Bir yüzey genel olarak iki değişkenli yüksek dereceli polinomlarla ifade edilmektedir. Yüzeyin oluşturulması için ortogonal ve ortogonal olmayan polinomlar kullanılabilir" (Tetik, 2018). Tablo 2.3' de ortogonal ve ortogonal olmayan Polinomlarla Enterpolasyonlar ve formülleri gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Polinomlarla Enterpolasyon (Yiğit, 2003)

Ortogonal		Ortogonal Olmayan	
Genel Formül	$N(x,y) = \sum_{k=0}^n \sum_{j=k-i}^k a_{ij} x^i y^j$	Genel Formül	$N(x,y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j$
n = 1 için lineer	$N(x, y) = a_0 + a_1 y + a_2 x$	n = 1 için bilineer	$N(x,y) = a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 xy$
n = 2 için quadrik	$N(x,y) = a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2$	n = 2 için biquadrik	$N(x,y) = a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 xy + a_4 y^2 + a_5 xy^2 + a_6 x^2 + a_7 x^2 y + a_8 x^2 y^2$
n = 3 için kübik	$N(x,y) = a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^3 + a_7 x^2 y + a_8 xy^2 + a_9 y^3$	n = 3 için bikübik	$N(x,y) = a_0 + a_1 y + a_2 x + a_3 xy + a_4 y^2 + a_5 xy^2 + a_6 x^2 + a_7 x^2 y + a_8 x^2 y^2 + a_9 y^3 + a_{10} xy^3 + a_{11} x^2 y^3 + a_{12} x^3 + a_{13} x^3 y + a_{14} x^3 y^2 + a_{15} x^3 y^3$
Eşitliklerde; n polinomun derecesi, a_{ij} polinomun bilinmeyen katsayıları, (x,y) düzlem koordinatları			

a_{ij} : Polinomun bilinmeyen katsayıları

x,y : Noktaların düzlem koordinatları

n : Yüzeyin derecesi

"Dayanak noktası sayısı, bilinmeyen sayısından fazla ise a_{ij} katsayıları en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır. Buna göre, ortogonal enterpolasyonda yüzeyin derecesi eğer 1 ise en az 3, yüzeyin derecesi 2 ise en az 6, yüzeyin derecesi 3 ise en az 10 dayanak noktası gereklidir. Ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyonda ise yüzeyin derecesi 1 ise en az 4, yüzeyin derecesi 2 ise en az 9, yüzeyin derecesi 3 ise en az 16 dayanak noktası gereklidir" (İnal, 1996 ; İnal ve ark., 2002).

İfadenin matris gösterimi,

$$X = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_s \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & x_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 \\ 1 & y_2 & x_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_s & x_s & x_s^2 & x_s y_s & y_s^2 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_s \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

X bilinmeyen katsayılar vektörü, A katsayılar matrisi, L ölçü vektörü olmak üzere,

$$N = A^T A, \quad n = A^T L, \quad x = N^{-1} n \quad (2.7)$$

eşitlikleri yazılabilir. Polinomun bilinmeyen katsayıları hesap edildikten sonra istenen noktalardaki jeoit ondülasyon değerleri eşitliği ile bulunabilir (Tetik, 2018).

2.3.3. Radyal baz fonksiyonu (Radial basis functions)

Radyal Bazlı Fonksiyonlarla (RBF) enterpolasyon, 1968 yılında Hardy tarafından kartoğrafya alanında topoğrafik haritaların oluşturulması amacı ile geliştirilmiş olan Multikvadrik yöntemin genelleştirilmiş halidir (Çakır, 2012). Hardy' e göre matematiksel yüzey, matematiksel olarak tanımlanmış olan yüzeylerin toplamı ile istenilen bir doğrulukta tanımlanabilir. Hardy' nin tanımlamış olduğu bu yüzeye Multikvadrik yüzey adı verilmiştir (Hardy, 1971; İpbüker, 1999). Radyal bazlı enterpolasyonun fonksiyonu,

$$f(x, y) = P(x, y) + \sum_{i=1}^N w_i \varphi(|(x, y) - (x_i, y_i)|) \quad \text{olarak verilir. Burada,} \quad (2.8)$$

$P(x, y)$ = Polinomu

w_i = Gerçek ağırlıkları

$|(x, y) - (x_i, y_i)|$ = Noktalar arasındaki öklid uzunluğunu

$\varphi(r)$ = Temel fonksiyonu

göstermektedir. Enterpolasyon işlemi $P(x,y)$ polinomunu kullanılarak polinomal regresyon ile başlar. Sonrasında bilinmeyen ağırlıkların belirlenmesi için lineer denklem sistemi çözülür.

$$Z_j - P(x, y) = \sum_{i=1}^N w_i \varphi(|(x, y) - (x_i, y_i)|) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Dressler, 2009}). \quad (2.9)$$

RBF yönteminin amacı, aynı anda bütün dayanak noktalarını kullanarak arazi yüzeyini tek bir fonksiyonla ifade etmektir. RBF ile enterpolasyon yönteminde yüzey modeli, çalışma alanında bulunan noktaların dağılımından anlamlı bir biçimde etkilenmezler,

hatta dayanak noktaları çalışma alanı içerisinde iyi bir biçimde dağılmamış olsalar bile sonuçlar yeterlidir. Eğer dayanak noktaları ile enterpolasyon noktaları arasındaki mesafeler artar ise dayanak noktalarının yüzey modeline olan katkısı azalmaktadır (Uluğtekin, 1994).

Radyal bazlı fonksiyonlar yöntemi, çok değişkenli fonksiyonların enterpolasyonuna dayanmaktadır (Topaloğlu, 2007). Radyal bazlı fonksiyonların tümü tam bir enterpolasyondur. Dayanak noktalarını iyileştirmeye çalışmaktadır (Soycan, 2002). Radyal bazlı fonksiyonlar Kriging yöntemi gibi yeterince esnektir ve Kriging yöntemine yakın sonuçlar vermektedir (Yaprak, 2007). Kriging yöntemindeki variogramlarla, RBF yönteminde tanımlanacak olan fonksiyonlar benzerlik göstermektedir (Açıkgöz, 2002).

Radyal temelli fonksiyonları genellikle veri gruplarını işlemek için bazı enterpolasyon fonksiyonları kullanmaktadır. Bunlar; ters multikvadrik, multikvadrik, multilog, doğal kübik spline ve ince tabakalı spline en uygun olan yüzeyi tespit etmeye çalışmaktadır. Burada genellikle multikvadrik yöntem güvenilir sonuçlar vermektedir (Golden Software 13).

$$\text{İnce Tabakalı Spline} : B(h) = (h^2 + R^2) \log(h^2 + R^2) \quad (2.10)$$

$$\text{Doğal Kübik Spline} : B(h) = \log(h^2 + R^2)^{3/2} \quad (2.11)$$

$$\text{Multikvadratik} : B(h) = \sqrt{h^2 + R^2} \quad (2.12)$$

$$\text{Multilog} : B(h) = \log(h^2 + R^2) \quad (2.13)$$

$$\text{Ters multikvadrik} : B(h) = \frac{1}{\sqrt{h^2 + R^2}} \quad (2.14)$$

Burada;

R^2 : Keyfi olarak ifade edilen düzleştirme katsayısı

h : Kestirim noktasıyla dayanak noktası arasındaki rölatif uzaklıktır (Alkanalka, 2005).

2.3.4. Multikuadrik enterpolasyon yöntemi

Multikuadrik enterpolasyon yöntemi ilk olarak Rolland L. Hardy tarafından 1971 yılında önerilmiştir. Bu yöntem harita mühendisliğinde bazı problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu enterpolasyon yönteminin amacı, çalışma alanında bilinen tüm dayanak noktaları aynı anda kullanılarak tek bir fonksiyonla yüzey modeli oluşturmaktır. Multikuadrik enterpolasyon yöntemi analitik bir çözümleme tekniğidir. Bu tekniğin uygulanabilmesi için ilk önce bir trend yüzey geçirilmektedir. Geçirilen trend yüzey için polinom, harmonik seri veya trigonometrik fonksiyonlar kullanılabilir. Genellikle bu trend yüzey modeli için birinci veya ikinci dereceden polinom kullanılmaktadır (Leberl, 1973; Yanalak, 1997).

Multikuadrik enterpolasyon yönteminin avantajları maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanmaktadır; (Uluğtekin, 1994).

- Dayanak noktaları homojen bir şekilde dağılmamış olsalar bile bu durumdan yüzey modellerini sonuçları çok az etkilenmektedir.
- Dayanak noktalarının hesaplanan noktaya olan mesafesinin artması halinde yüzey modellemesine olan katkısı da aynı oranda azalmaktadır.
- Dayanak noktaları için hiçbir çakıştırma artığı kalmamaktadır (Uluğtekin, 1994).

"Hardy (1971)' e göre trend yüzeyi olarak n. dereceden bir polinom kararlaştırılması durumunda, $z(x_j, y_j)$ polinomunun katsayıları ve dayanak noktalarındaki Δz_j artık yükseklik değerleri (düzeltmeler) hesaplanır (polinom katsayılarının sayısı dayanak noktalarının sayısından az olmalıdır),

$$\Delta z_j = z_j - z(x_j, y_j) \quad j=1,2,\dots,m \quad (2.15)$$

$$\sum_{j=1}^m C_j [Q(x_i, y_i, x, y)] = \Delta z \quad (2.16)$$

genel ifadesi ile verilen multikuadrik yüzey, m sayıda aynı türden Q yüzeyinin toplamından oluşur. C_j katsayıları her bir Q yüzeyinin eğimini ve işaretini belirler ve Δz_j artık yükseklik değerleri yardımıyla hesaplanır. Literatürde, her bir Q yüzeyinin

simetri eksenini bir dayanak noktasından geçecek şekilde aşağıdaki multikuadrik yüzeyler önerilmiştir" (Yanalak, 1997).

- İki yapraklı dairesel hiperboloid serilerinin toplamı (k, sabit bir katsayıdır),

$$\sum_{j=1}^m C_j [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + k]^{1/2} = \Delta_z \quad (2.17)$$

- Dairesel paraboloid serilerinin toplamı,

$$\sum_{j=1}^m C_j [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + k] = \Delta_z \quad (2.18)$$

- Dairesel dik konilerin toplamı,

$$\sum_{j=1}^m C_j [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{1/2} = \Delta_z \quad (2.19)$$

" C_j katsayılarının belirlenmesinde, dayanak noktalarının bilinen (x_j , y_j , Δ_{zj}) değerlerinden yararlanılır. Multikuadrik yüzey olarak dairesel dik konilerin seçildiği kabulü ve herhangi iki dayanak noktası için,

$$[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + k]^{-1/2} = a_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2.20)$$

$$\sum_{j=1}^m C_j a_{ij} = \Delta_{z_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.21)$$

şeklini alır. (2.21) bağıntısından,

$$\begin{aligned} C_1 a_{11} + C_2 a_{12} + C_3 a_{13} + \dots + C_m a_{1m} &= \Delta_{z1} \\ C_1 a_{21} + C_2 a_{22} + C_3 a_{23} + \dots + C_m a_{2m} &= \Delta_{z2} \\ C_1 a_{31} + C_2 a_{32} + C_3 a_{33} + \dots + C_m a_{3m} &= \Delta_{z3} \\ \cdot & \quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \cdot \\ \cdot & \quad \cdot \quad \cdot \quad \quad \cdot \quad \cdot \\ C_1 a_{m1} + C_2 a_{m2} + C_3 a_{m3} + \dots + C_m a_{mm} &= \Delta_{zm} \end{aligned} \quad (2.22)$$

denklem sistemi elde edilir. Matris gösterimi ile,

$$\underline{A}.\underline{c} = \underline{\Delta z} \quad (2.23)$$

yazılabilir. Burada $\underline{A}$ ($m \times m$) lik katsayılar matrisini, $\underline{c}$ ($m \times 1$) lik bilinmeyenler matrisini ve $\underline{\Delta z}$ ($m \times 1$) lik artık yükseklik matrisini göstermektedir. Bilinmeyen C_j katsayıları,

$$\underline{c} = \underline{A}^{-1}.\underline{\Delta z} \quad (2.24)$$

şeklinde belirlenir. A matrisinin simetrik ve köşegen elemanlarının 0 olduğu göz önüne alınırsa işlemler daha kolaylaşacaktır. C_j katsayılarının belirlenmesi ile multikvadrik yüzey oluşmuş demektir. (x_0, y_0) koordinatları bilinen herhangi bir enterpolasyon noktasının yüksekliği,

$$Z_0 = Z(x_0, y_0) + \Delta z_0 = Z(x_0, y_0) + \sum_{j=1}^m C_j [(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2]^{1/2} \quad (2.25)$$

eşitliği ile hesaplanır. Dayanak nokta sayısı arttıkça yöntemin hesap yükü artar. Bu yük özellikle; C_j katsayıları belirlenirken alınacak invers işleminden kaynaklanmaktadır. Yöntem hakkında temel kaynak olarak Hardy (1971, 1972, 1975 ve 1990), Yanalak (1997) verilebilir."

2.3.5. Kriging yöntemi

Kriging adını bu tekniği ilk defa geliştiren D.G Krige isimli Güney Afrikalı olan bir maden mühendisinden almıştır. Kriging yöntemi geoistatistiksel bir konumsal kestirim yöntemidir. Geoistatistik yöntemde bir maden içerisinde bulunan maden cevheri derecesinin değişimlerini kestirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem, matematiksel jeodezide kollokasyon olarak bilinen en iyi lineer yansız kestirimci (BLUP [best linear unbiased predictor]) ya da en iyi lineer yansız hesaplayıcı (BLUE [Best Linear Unbiased Estimator]) olarak adlandırılmaktadır (Martensson, 2002).

1950' li yılların başında ilk olarak Georges Matheron, Daniel Krige'nin var olan bir çalışmasına tabii olarak Kriging tekniğini geliştirmiştir. 200 yıldır EKK optimizasyonu kullanılırken, kriging yöntemiyle bir tahmin edici oluşturulmuştur (Yünsel, 2007).

Kriging metodu pek çok alanda kullanılabilirliğini kanıtlamış ve popülaritesi olan bir jeostatistiksel yöntemdir. Kriging metodunun esası bölgesel değişkenler teorisine dayanmaktadır (Koroğlu, 2006). Değerleri bilinen noktalardan yararlanarak en olası şekilde değerleri bilinmeyen noktaları tahmin eden bir enterpolasyon yöntemidir. Bu yöntemi diğer enterpolasyon yöntemlerinden ayıran en büyük özellik esnek yapıda olmasıdır (Çiftci, 2019). Kriging yönteminin diğer kestirim yöntemlerine göre başka bir üstün yanı ise, ağırlıkların gelişigüzel, rastgele kurallara göre belirlenmemesidir. Ağırlıklar belirli bir matematiksel işlemle bulunmaktadır (Uyar, 2005). Ancak kriging yönteminin dezavantajı ise, dayanak noktalarının fazla olduğu çalışmalarda yapılan bu yöntemin oldukça yavaş olmasıdır (Ekinci, 2011).

Kriging enterpolasyon yönteminde, çalışma alanlarında ölçülen değerlerin her birinin konumu için bir ağırlık hesabının yapılması işlemi, IDW yöntemine benzemektedir. Ayrıca bu ağırlıklar, sadece dayanak noktaları ve tahmin noktaları arasındaki mesafeye dayanmaz bununla birlikte bütün dayanak noktaları arasındaki konumsal dizilime de dayanmaktadır (Zengin Kazancı, 2014). Ağırlık katsayıları hesaplanırken iki tane koşulun sağlanması gerekmektedir. Bunlardan bir tanesi varyansların minimum olması diğeri ise oluşan kriging hata ortalamasının sıfır olmasıdır (Tetik, 2018).

Kriging yöntemi, jeostatistik modelleme tekniğinin son aşamasıdır. Kullanılacak olan veriler sistemli ve objektif bir şekilde önceden analiz edilmektedir (Ersoy ve Yünsel, 2006). İstatistiksel olarak verilerin analizleri yapıldıktan sonra yapısal analiz işlemi için yarıvariogram modellemesi yapılmaktadır. Yarıvariogram fonksiyonu, örnek çiftleri arasındaki h uzaklığının bir fonksiyonu olarak incelenen değişkenin uzaysal bağımlılık derecesini ifade etmektedir (Şişman ve Elevli, 2018). Elde edilen verilerin kullanılmasıyla deneysel yarıvariogram oluşmaktadır. Bu aşamada kriging, diğer enterpolasyon yöntemlerinde olduğu gibi yakındaki noktalar uzaktaki noktalara göre daha fazla benzer özellik gösterir varsayımı üzerine temellerini kurmaktadır (Zengin Kazancı, 2014). Deneysel yarıvariogram elde edildikten sonra bir matematiksel modele uydurulur. Teorik variogram oluşturulur. Kriging yönteminin hesaplama işleminin girdisi olarak, oluşturulan bu matematiksel yarıvariogram kullanılmaktadır (Şişman ve

Elevli, 2018). Kriging varyansı kullanılan verilerin gerçek değerlerine bağlı değildir, daha çok veri sayısının ve veriler arasında oluşan uzaklığın bir fonksiyonudur (Ersoy ve Yünsel, 2006).

Kriging enterpolasyon yöntemiyle kestirimin özellikleri:

- Kriging mutlak olan bir kestirimcidir. Yani dayanak noktaları ile kestirim noktalarının birinin çakışması halinde noktanın değeri dayanak noktasının değeri ile aynı olur.
- Karesel ortalama hatayı (KOH) minimize eder.
- Kriging yöntemi sağlam ve güçlü bir tekniktir (Yiğit, 2003).

Kriging yönteminde yapılan tahmin değerlerinin geçerliliği veya doğruluk derecesi aşağıda verilen faktörlere bağlıdır. Bu faktörler;

- Kullanılacak olan dayanak noktalarının ölçü kalitesi ve nokta sayıları,
- Uygulama yapılacak alan içerisinde dayanak noktalarının konumları, dayanak noktalarının topoğrafyayı yansıtabilme yeteneği,
- Kestirimi yapılacak olan noktalar ile dayanak noktaları arasındaki mesafe ve kestirimi yapılacak olan noktaların kullanılacak dayanak noktalarına yakın olması durumları daha uygun sonuçlar almamızı sağlayacaktır (Mert, 2005).

Kriging yönteminin genel denklemi,

$$Z_p = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (2.26)$$

Z_p : P noktasının aranan ondülasyon (yükseklik) değeri

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

Z_i : Z_p nin hesabında kullanılan noktaların ondülasyon (yükseklik) değerleri

N : Z_p nin hesabında kullanılan nokta sayısı

Bu yöntemde (2.26) incelendiğinde en temel sorun olarak, W_i ağırlık değerlerinin en iyi şekilde belirlenmesidir. Burada W_i ağırlık değerleri iki çeşitte seçilmelidir;

- Yansızlık koşulu için $E [Np - Zi] = 0$ şartının sağlanabilmesi için kriging yönteminin genel denklemindeki $\sum W_i = 1$ şeklinde olmalıdır (Bu koşulda Z_i gerçek olan fakat bilinmeyen değeri, Np ise kestirilen değeri tanımlamaktadır).
- Minimum varyans koşulu için $Var = E [Np - Zi] = \text{minimum değerde olmalıdır}$ (Bu koşulda belirtilen varyans kriging varyansıdır) (Yaprak, 2007).

Kullanılan bu formüllerde Z değerleri konumları belli olan ondülasyon değerlerini göstermektedir. Kriging enterpolasyon yöntemleri bugün yaygın bir biçimde bazı farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar;

- Simple Kriging
- Ordinary (Punctual) Kriging
- Universal Kriging
- İndicator Kriging
- Block Kriging
- Disjunctive Kriging
- Cokriging olarak sıralanmaktadır (Köroğlu, 2006).

Ordinary kriging yöntemi

Ordinary kriging yöntemi, ilk olarak enterpolasyon noktaları kümesinden bir variogram oluşturmaktır. Variogram, deneysel ve teorik olarak iki variogram çeşitinden oluşmaktadır. İlk adımda deneysel variogram tüm noktaların varyansının hesaplanması ile bulunur. İkinci adımda ise, deneysel variogram modelindeki trendi modelleyen basit bir matematiksel fonksiyon olan teorik variogram oluşturulur (Yaprak, 2007).

OK enterpolasyon yöntemi, teorik yarıvariogram modeli oluşturulduktan sonra uygulanır (Aydın, 2014). Ordinary kriging yönteminde (OK) bilinmeyen değerlerin tahmin edilmesi, değişkenlerin durağan ve ortalamasının sabit olduğu varsayımına göre çözümlenir (İnal ve Yiğit, 2003). OK yönteminde, tüm noktalarda ortalama ve varyans sabittir. Burada ilgilenilen durum yalnızca veriler arasındaki mesafedir. Dolayısıyla bu

yöntemde herhangi bir noktanın tahmini, bu tahmin edilen noktanın gözlemlenen noktalara olan uzaklığına bağlıdır (Wackernagel, 2003).

Ölçülmüş (bilinen) değer ile tahmin edilmiş (enterpolasyon) değeri arasındaki farkı minimuma indiren doğrusal bir biçimde olan tahmin yöntemine ordinary kriging denilmektedir (Erel, 2011). Bu yöntemde tahmin ağırlıklarına yarıvariogram modeline göre ulaşılmaktadır. OK yönteminde amaç, tahmin edilecek değerler ile kullanılan gerçek değerler arasındaki farkın sifıra eşit olmasıdır. Ayrıca bu işlemi tahmin hatalarının varyansını minimum seviyede tutarak gerçekleştirmeye çalışır ve sonuç olarak en iyi tahmini oluşturur (Aydın, 2014).

Kriging tekniğinde ağırlıkların belirlenmesine ait detaylı matematiksel ve istatistiksel yaklaşımlarla, kovaryans fonksiyonundan denklem çıkarma yöntemi (Isaaks ve Srivastava, 1989)' da ayrıntılıca açıklanmıştır.

Variogram fonksiyonu ile ağırlıkların belirlenmesi için aşağıdaki yol izlenmektedir.

Ağırlıklar,

$$Var[\hat{Z}_p - Z_p] = \min \quad (2.27)$$

olması gereken koşulu göre türetilen

$$W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + \dots + W_n\gamma(h_{1n}) = \gamma(h_{1p})$$

$$W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + \dots + W_n\gamma(h_{2n}) = \gamma(h_{2p})$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix} \quad (2.28)$$

$$W_1\gamma(h_{n1}) + W_2\gamma(h_{n2}) + \dots + W_n\gamma(h_{nn}) = \gamma(h_{np})$$

lineer denklem sistemine göre çözümlenir. Matris gösterimi ile

$$\gamma W = \gamma 0 \quad (2.29)$$

yazılabilir. Burada;

γ : dayanak noktaları arasında oluşan olası tüm çiftlerin variogram değerlerine ilişkin

n-boyutlu kare matris

W : n-boyutlu ağırlık bilinmeyenleri vektörü

γ_0 : enterpolasyon noktası ile dayanak noktaları arasındaki variogram değerleri vektörü (n-boyutlu)

Ayrıca enterpolasyonun yansız olması için;

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (2.30)$$

şartı ileri sürülür ve bu durumda (2.28) nolu denklem sistemi

$$W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + \dots + W_n\gamma(h_{1n}) = \gamma(h_{1p})$$

$$W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + \dots + W_n\gamma(h_{2n}) = \gamma(h_{2p})$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (2.31)$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$W_1\gamma(h_{n1}) + W_2\gamma(h_{n2}) + \dots + W_n\gamma(h_{nn}) = \gamma(h_{np})$$

$$W_1 + W_2 + \dots + W_n = 1$$

şeklini alır.

(2.31) nolu denklem sistemine göre n tane bilinmeyen ve (n+1) tane denklem vardır. Çözümün yansız olması için (X) Lagrange çarpanı eklenir.

Lagrange çarpanı ile denklem sayısı bilinmeyen sayısına eşitlenir (ASCE, ACSM, ASPRS, 1994).

(2.31) nolu denklem sistemi;

$$\begin{aligned}
 W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + \dots + W_n\gamma(h_{1n}) + \lambda &= \gamma(h_{1p}) \\
 W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + \dots + W_n\gamma(h_{2n}) + \lambda &= \gamma(h_{2p}) \\
 &\vdots \\
 W_1\gamma(h_{n1}) + W_2\gamma(h_{n2}) + \dots + W_n\gamma(h_{nn}) + \lambda &= \gamma(h_{np}) \\
 W_1 + W_2 + \dots + W_n &= 1
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

olur. Matris gösterimi ile,

$$\gamma W = \gamma_0 \tag{2.33}$$

yazılabilir. Burada;

$$\lambda = \begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \dots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \dots & \gamma(h_{2n}) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(h_{n1}) & \gamma(h_{n2}) & \dots & \gamma(h_{nn}) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_p \\ \lambda \end{bmatrix} \quad \gamma_0 = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \vdots \\ \gamma(h_{np}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

olmak üzere W bilinmeyenler vektörü,

$$W = \gamma^{-1} \gamma_0 \tag{2.34}$$

formülü ile hesaplanır ve enterpolasyon noktasının Kriging varyansı,

$$\sigma^2_{OK} = W^T \gamma_0 \tag{2.35}$$

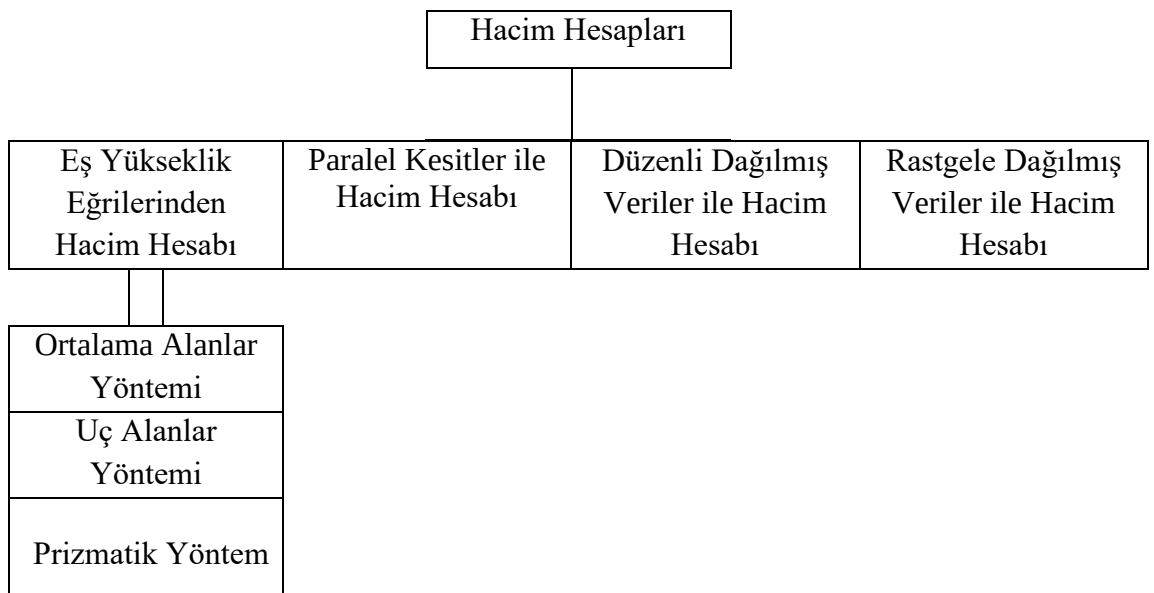
denklemine göre bulunur.

2.4. Hacim Hesaplama Yöntemleri

Yol, baraj ve kanal çalışmalarında, büyük mühendislik yapılarının yapımlarında toprak hacminin hesaplanması, maden işletmelerinde çıkarılmış olan maden miktarlarının hesaplanması amacıyla hacim hesapları yapılmaktadır. Hacim hesapları genel olarak eş yükseklik eğrili planlardan, enkesitlerden ve yüzeysel nivelman ölçmelerinden faydalanılarak yapılmaktadır (Avcı, 2010).

SAM' lerinde verilerin sergilenmesi işlem sürecinde hacim hesapları yapılmaktadır. Yani, SAM' ın sonuç ürünlerinden bir tanesi de hacim hesaplarıdır. Hacim hesapları, verilerin elde ediliş türlerine göre farklı biçimler almaktadır. Burada verileri elde etme yöntemleri, verilerdeki sıklık ve verilerde oluşan düzene göre farklılık gösterebilir (Yanalak, 1997).

Karayolu çalışmalarında hacim hesabı çok önemli ve hassasiyet gösterilen bir işlemdir. İlk olarak, çalışma yapılan yol güzergahında yolun eksenleri aplike edilip ve doğal zemin (siyah kot) alımları yapıldıktan sonra boykesitler ve enkesitler çıkarılır. Daha sonra bu verilerden faydalanılarak toprak işler hesabı (kübaj hesabı) yapılır. Yol maliyetinin tespit edilebilmesi için hacim değerlerinin (kazı-dolgu) bilinmesi gerekmektedir. Şekil 2.14' de hacim hesaplama yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Hacim hesaplama yöntemleri

Dayanak noktalarının konumları aşağıdaki özelliklerle bulunabilir (Köroğlu, 2006).

- Dayanak noktalarının konumları rastgele dağılmış bir biçimde olabilir.
- Dayanak noktaları dikdörtgen ya da üçgenlerden oluşan düzenli grid ağlarının köşelerinde bulunabilir.
- Dayanak noktaları paralel kesitler boyunca yer alabilir.
- Dayanak noktaları eş yükselti eğrilerini temsil edebilir.

2.4.1. Eş yükseklik eğrilerinden hacim hesabı

Eş yükseklik eğrilerinde hacim hesabı, enkesitlerle yapılan hacim hesabına benzetilmektedir. Enkesitlerle hacim hesabında kullanılan bağıntılar bu yöntemde de geçerlidir. Bu yöntemde enkesit alanlarının yerine eş yükseklik eğrilerinin çevrelediği alanlar, enkesitler arasındaki mesafenin yerine de eş yükseklik eğrileri arasındaki yükseklik farkları kullanılmaktadır (Avcı, 2010). Şekil 2.15' te görüldüğü gibi eş yükselti eğrilerinden hacim hesabı yönteminin şekli gösterilmiştir.

Eş yükselti eğrisi, yükseklikleri aynı olan noktaların birleştirilmesi ile oluşur. Eş yükseklik eğrilerinden hacim hesabı yöntemi, genellikle aşağıdaki üç yöntem kullanılarak yapılmaktadır. Bunlar:

- Ortalama alanlar yöntemi
- Uç alanlar yöntemi
- Prizmatik yöntem şeklindedir (Ekinci, 2011).

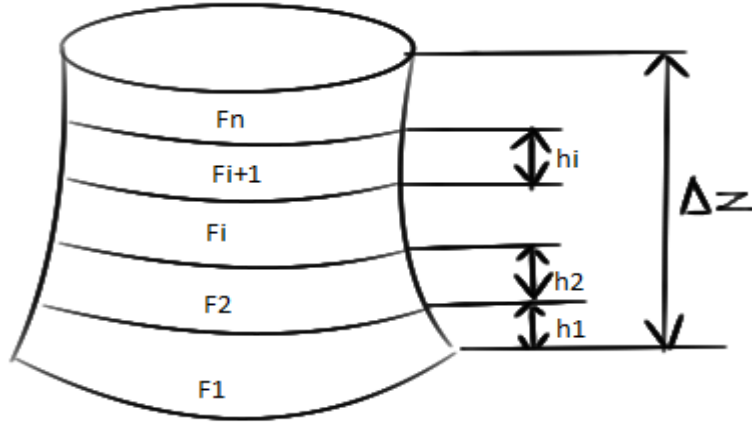
Ortalama alanlar yöntemi

Ortalama alanlar yönteminde, (Şekil 2.15)' te görüldüğü gibi F_1 ve F_n uç alanlarının arasında kalan hacim (V), tüm kesit alanlarının ortalaması ve iki uç alan (ilk kesit alanı ve son kesit alanı) arasındaki yükseklik farkının çarpılması ile hacim hesaplanmaktadır.

Bu yöntemde alanlar $F_1, F_2, \dots, F_{n-1}, F_n$ ve uç alanlar arasındaki yükseklik farkı Δz ise, hacim (V)

$$V = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_{n-1} + F_n}{n} \cdot \Delta z \quad (2.36)$$

formülü ile hesaplanır (Özgen ve Öztan, 1988).



Şekil 2.15. Eş yükselti eğrilerinden hacim hesabı

Uç alanlar yöntemi

Uç alanlar yönteminde, (Şekil 2.15)' te görünen F_i ile F_{i+1} kesit alanları arasında kalan hacim değeri,

$$V_i = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot h_i \quad i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (2.37)$$

formülü ile hesaplanır (Özgen ve Öztan, 1988).

Ardışık şekilde olan eş yükselti eğrileri arasındaki yükseklik farklarının genellikle birbirine eşit olduğu varsayılır ise ($h_1 = h_2 = \dots = h_{n-1} = h$), (Şekil 2.14)' den F_1 ve F_n uç alanları arasındaki toplam hacim (V),

$$V = \frac{1}{2}h(F_1 + 2F_2 + 2F_3 + \dots + 2F_{n-1} + F_n) \quad (2.38)$$

formülü ile hesaplanır (Yanalak, 1997).

Prizmatik yöntem

Ardışık olan iki alan arasındaki şekil kesik prizma olarak kabul edilirse, hacim hesabı Simpson formülü kullanılarak hesaplanabilir.

F_{im} , F_i ile F_{i+1} kesit alanlarının arasında kalan orta kesitin alanı olarak gösterildiğine göre, F_i ile F_{i+1} alanları arasındaki hacim,

$$v_i = \frac{h_i}{6}(F_i + 4F_{im} + F_{i+1}) \quad (2.39)$$

olur. Burada h_i , F_i ve F_{i+1} kesit alanları arasındaki yükseklik farkıdır. Şekil 4.1' deki çift sayı indisli alanlar orta alan olarak kabul edilirse, (2.39) eşitliğinden faydalanarak toplam hacim,

$$v = \frac{h_1 + h_2}{6}(F_1 + 4F_2 + F_3) + \frac{h_1 + h_2}{6}(F_3 + 4F_4 + F_5) + \dots + \frac{h_n + h_{n-1}}{6}(F_{n-2} + 4F_{n-1} + F_n) \quad (2.40)$$

Eş yükseklik eğrileri arasındaki yükseklik farkının eşit ($h_1=h_2=\dots=h_{i-1}=h$) olduğu varsayılırsa (2.40) eşitliğine göre,

$$v = \frac{h}{3}(F_1 + 4F_2 + 2F_3 + 4F_4 + 2F_5 + 4F_6 + 2F_7 + \dots + 2F_{n-2} + 4F_{n-1} + F_n) \quad (2.41)$$

F_{im} orta alanlar için, ardışık iki tane kesit alanının ortalaması kullanılırsa burada çözüm uç alanlar yöntemine dönüşür (Özgen ve Öztan, 1988).

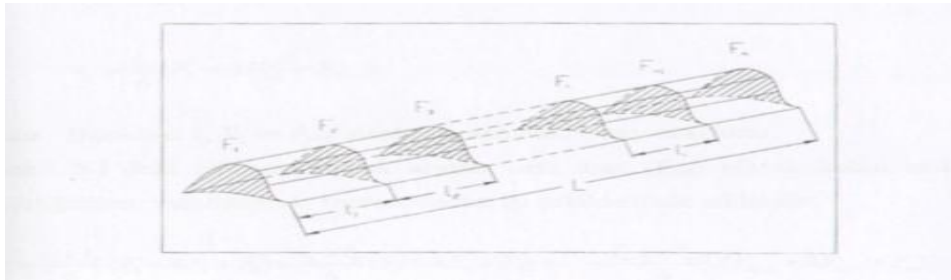
2.4.2. Paralel kesitler ile hacim hesabı

Paralel kesitler ile hacim hesabı yönteminde, arazi yüzeyi eşit aralıklarla düşey düzlemlerle bölünerek, paralel kesitler elde edilebilir. Arazinin yatay düzlemlere bölünmesi sonucunda eş yükselti eğrilerinin elde edildiği varsayılırsa, hacim hesapları ortalama alanlar yönteminde verilen (2.36) formüllere benzer bir şekilde yapılabilir. Şekil 2.16' da paralel kesitlerle hacim hesabı yöntemi gösterilmiştir.

Burada ardışık kesitler arasındaki yatay uzaklık l ile, kesit alanları sırasıyla $F_1, F_2, \dots, F_{n-1}, F_n$ ile gösterilirse,

$$V = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_{n-1} + F_n}{n} l(n-1) \quad (2.42)$$

şeklinde hesaplanır (Köroğlu, 2006).



Şekil 2.16. Paralel kesitlerle hacim hesabı (Özerman, 2012)

2.4.3. Düzenli dağılmış veriler ile hacim hesabı

Düzenli dağılmış veriler ile hacim hesabı yöntemi, düzenli bir şekilde dağılmış olan dayanak noktaları kullanılarak arazi yüzeyinin üçgen veya dörtgen parçalara ayrıldığı durumlarda kullanılmaktadır. Parçalara ayrılmış yüzey ile istenilen bir referans yüzeyi arasında kalan alanın hacmi dörtgen ya da üçgen prizmalar sayesinde belirlenir (Yanalak, 1997). Başka bir deyişle, düzenli dağılmış olan dayanak noktalarının yardımı ile üçgen ya da dörtgen prizmalar oluşturularak, yüzey alanları hesaplanabilen bu prizmaların hacim hesapları kazı-dolgu öncesindeki kotların ve kazı-dolgu sonrası kotların farklarının bulunması ile hesaplanabilir (Ekinci, 2011).

2.4.4. Rastgele dağılmış veriler ile hacim hesabı

Dayanak noktalarının rastgele dağılmış olduğu hallerde, seçilecek olan bir enterpolasyon yöntemi yardımıyla düzenli dikdörtgen ya da üçgen grid köşelerindeki yükseklikleri enterpole edilebilir. Üçgen ya da dikdörtgen prizmalardan faydalanarak hacim hesabı yapılır. Seçilen enterpolasyon metodu kullanılarak, paralel kesitler boyunca yer almakta olan noktaların yükseklikleri de enterpole edilebilir. Kesitler yardımıyla hacim hesabı yapılır (Yanalak, 1997).

Başka bir şekilde rastgele dağılmış veriler ile hacim hesabını açıklamak gerekirse, dayanak noktalarından yararlanılarak enterpolasyon yöntemleri ile yeni noktalar oluşturulur. Bu oluşturulan yeni noktalar yardımıyla da düzenli üçgen ya da dörtgen prizmalar oluşturularak, yükseklikleri de enterpolasyon yöntemleri ile belirlenir. Daha sonra hacim hesabı yapılır (Ekinci, 2011).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Uygulamanın Amacı

Yer bilimlerinde, özellikle de harita mühendisliği mesleğinde sayısal arazi modeli oluşturma, yüzey modellemesi ve bu modeller kullanılarak alan-hacim değerleri üretmek günümüzde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Doğru ve güvenilir bir alan-hacim hesabı için öncelikle doğru ve güvenilir bir yüzey modellemesinin gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu yüzey modellemeleri ve hacim hesaplamaları için bazı interpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Günümüzde çeşitli CAD yazılımları bu interpolasyon yöntemlerini kullanmamıza olanak vermektedir.

Karayolu projelerinde, alan ve hacim hesabı çok önemli bir uygulama alanına sahiptir. Bu yüzden kullanılan yüzey modellerden en uygun olanının seçilmesi ve kullanılması çok önemlidir. Kübaj hesabı olarak bilinen toprak işleri hacim hesapları, karayolu projelerinde dikkat edilmesi gereken en hassas hesaplamalardan biridir. Çünkü toprak işleri hacim hesabı, yol yapım maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu yol yapım maliyet miktarları ise, özellikle KGM gibi kamu kurum ve kuruluşları için oldukça önemlidir. Çünkü bir yol projesinin yol yapım maliyet analizi önceden yapılarak, sözleşme bedeline göre yolun maliyeti öngörülebilir. Önceden yapılan toprak işleri hacim hesaplarının, kamu kurum ve kuruluşlarının projede belirlenen sözleşme bedelini aşmasını engeller. Karayolu projesinde yapılacak olan toprak işleri miktarının hesaplanabilmesi için kazı ve dolgu hacimlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu kazı ve dolgu hacim hesaplamalarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için de kesinlikle güvenilir bir yüzey modele ihtiyaç vardır.

Bu çalışma ile amaçlanan, bir karayolu projesinde ham dolgu, ham yarma (kazı) ve kazı-dolgu kesit alanlarının bir arada olduğu (karışık) üç farklı kesit alanı baz alınarak, öncelikle siyah (doğal) zeminden ve daha sonra terasman seviyesi (tesviye) yüzeyden şeritvari bir şekilde 20 metrede bir alım yapılarak dayanak noktaları toplanmıştır. Dolgu ve kazı kesit alanlarında siyah (doğal) zemin ve terasman yüzeyinden toplanan dayanak noktalarının içinden, homojen bir şekilde dağılmış bazı test noktaları seçilmiştir. Kalan dayanak noktaları ArcGIS yazılımı Geoistatistik Analiz modülünde, farklı

enterpolasyon yöntemleri kullanılarak farklı yüzey modeller oluşturulmuştur. Bu oluşturulan farklı yüzey modellerde test noktalarının enterpolasyon yükseklik değerleri kontrol edilmiştir. Bu işlemlerin tümü dolgu ve kazı şeklindeki üç farklı kesit alanına da uygulanmıştır. Geoistatistik Analiz modülünde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin (IDW, Lokal Polinomlarla Enterpolasyon, RBF-Multikvadrik ve Kriging-Ordinary Kriging) kendi aralarında karşılaştırmaları yapılarak Karesel Ortalama Hataları (KOH) değerlendirilmiştir. Bu değerler baz alınarak hangi yüzey modelin daha uygun, daha güvenilir ve gerçek değerlere daha yakın sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Öte yandan ArcGIS-Geoistatistik Analiz modülü aracılığıyla elde edilen test noktalarının enterpolasyon yükseklikleri ile arazide toplanan dayanak noktaları kullanılarak NetCAD yazılımında hacim hesapları yapılmıştır. Siyah (doğal) zemin noktaları kullanılarak oluşturulan yüzeyler (alt yüzey), terasman (tesviye) yüzey noktaları kullanılarak oluşturulan yüzeyler (üst yüzey) olarak hacim hesaplarında kullanılmıştır. Bu hacim hesaplarından elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Kullanılan farklı enterpolasyon yöntemlerinin, hacim hesabı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, kullanılan enterpolasyon yöntemlerinden hangilerinin, gerçek hacim değerine en yakın değeri verdiği saptanmıştır.

3.2. Çalışma Alanı

Uygulama, Kars ilinin çevresinde bulunan ve Karayolları 18. Bölge Müdürlüğü yol ağına ait olan "36-31 KK Nolu Digor-Esenkent Yolu" isimli yol projesidir. Yol güzergahının toplam uzunluğu 26+870 km' dir. Digor-Esenkent yolu, değişken bir platform genişliğine sahiptir ve genellikle bu genişliğin 10 m olduğu tek şeritli bir yol projesidir. Yol güzergahında taş duvar, betonarme duvar, menfez, hendek gibi bazı sanat yapıları da bulunmaktadır. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de uygulama alanının harita da gösterimi ve yol güzergahının Google Earth görüntüsü gösterilmiştir.

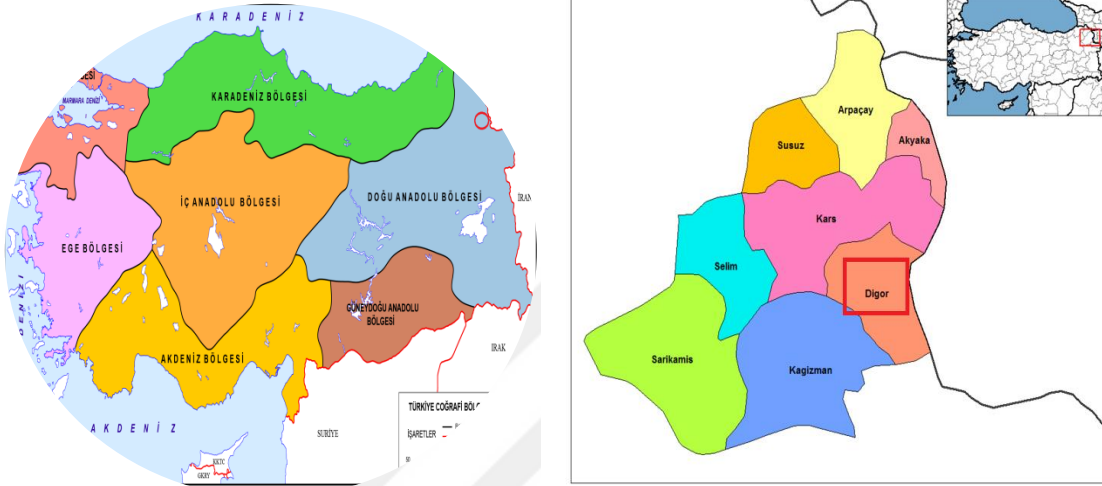
Uygulamada çalışmak üzere, bu yol güzergahında bulunan ham dolgu, ham kazı (yarma) ve karışık kesit alanları olan bazı kilometreler belirlenmiştir. Bu çalışmada baz alınan dolgu, kazı (yarma) ve karışık kesit alanlarının kilometreleri şu şekildedir:

Dolgu = km : 26+240 - 26+860

Kazı (yarma) = km : 11+500 - 11+860

Karışık = km : 10+140 - 10+480

şeklindedir.



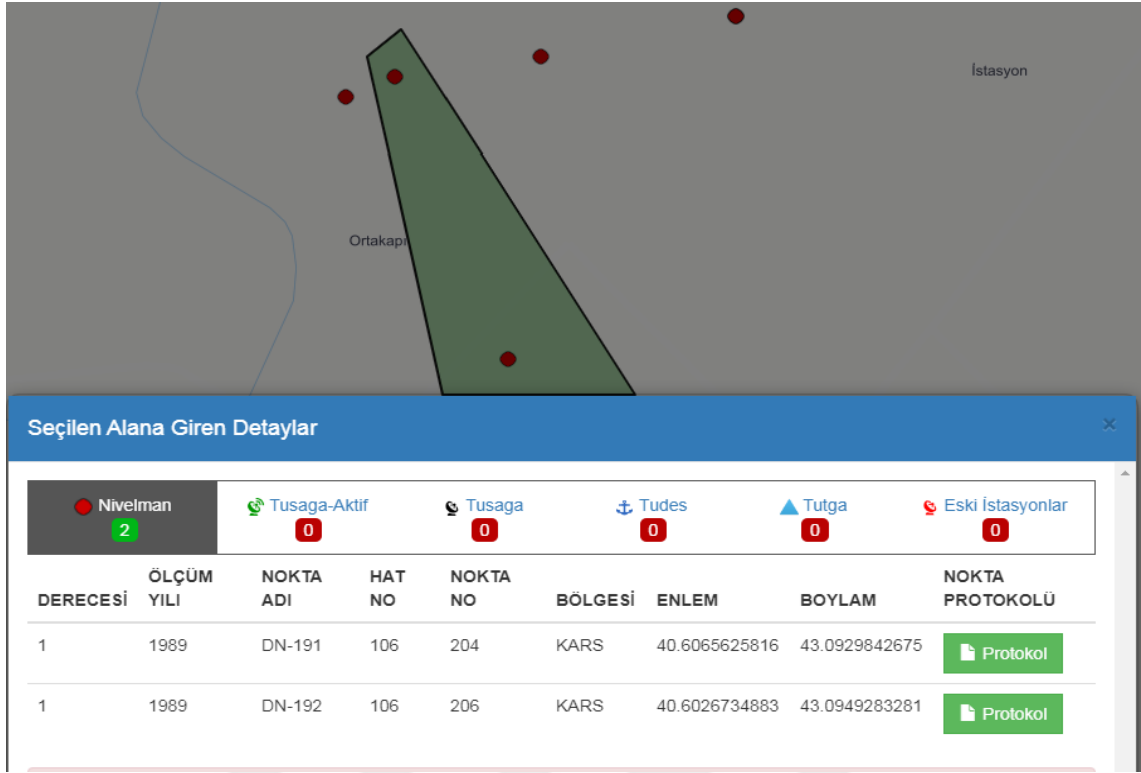
Şekil 3.1. Uygulama alanının harita da gösterimi



Şekil 3.2. Dığor-Esenkent yol güzergahı Google Earth görüntüsü

Digor-Esenkent yol güzergahında öncelikle Harita Genel Komutanlığı'ndan (HGK) temin edilen ve ölçü güzergahına yakın veya ölçü güzergahı üzerindeki HGK Düşey Kontrol Ağı noktaları tespit edilmiştir (DN-191, DN-192). Bu noktaların değerleri temin edildikten sonra aralarında kontrol ölçüleri elektronik nivo ile Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHKBÜY)'ne uygun olarak geometrik nivelman yöntemiyle yapılmıştır. Bu noktalardan hattın tamamına yayılmıştır ve teknik şartname esasları dikkate alınarak zemin tesisleri yapılmıştır. Yer Kontrol Noktalarına (YKN) geometrik nivelman yöntemiyle kot taşınmıştır. Ardından bu noktalara gerekli olan dengeleme hesapları yapılmıştır.

Digor-Esenkent yolu çalışma sahasına yaklaşık 36 km uzaklıkta bulunan HGK' dan temin edilen ve ortometrik yükseklikleri (H) bilinen DN-191 ve DN-192 noktaları referans alınarak GNSS/Nivelman yöntemi ile Digor-Esenkent yol güzergahına yakın bir bölgeye (ortometrik yükseklik) kot taşınmıştır. DN-191 ile DN-192 noktalarının aralarındaki kontrol işlemi elektronik nivo ile geometrik nivelman yapılarak sağlanmıştır. HGK' dan temin edilen DN-191 ve DN-192 dayanak noktaları Şekil 3.3' de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. DN-191 ve DN-192 noktalarının ekran görüntüsü

HGK' dan temin edilen ve ortometrik yükseklik (H) değerleri bilinen DN-191 ve DN-192 dayanak noktaları kullanılarak GNSS/Nivelman yöntemi ile yol güzergahı yakınlarına ortometrik yükseklikleri (H) bilinen (EAN9 H:1605.8060) ve (JDN30 H:1723.953) noktaları tesis edilmiştir.

Daha sonra ortometrik yükseklik değerleri bilinen EAN9 ve JDN30 noktaları sabit alınarak yol güzergahı boyunca geometrik nivelman yöntemi ve dayalı dengeleme hesabı yapılarak eşit dağılımlı 19 adet y (Sağa Değer), x (Yukarı Değer), elipsoidal (h) ve Helmert ortometrik (H) yükseklik değerleri bilinen ana nivelman (AN) noktaları oluşturulmuştur. Elipsoidal yükseklik (h) değerleri, GNSS gözlemlerinin dayalı dengelemesi sonucunda bulunmuştur. Ana nivelman noktaları arasındaki mesafe yaklaşık olarak 1400 metredir. Ana nivelman noktaları için Digor-Esenkent Yolu, Geometrik nivelman kot özet tablosu Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Geometrik nivelman kot özet tablosu

DOM: 42/3 DATUM:ITRF96					
Nokta No	y (Sağa Değer)	x (Yukarı Değer)	Helmert Ortometrik Yükseklik (H)	Elipsoidal Yükseklik (h)	Düşünceler
AN1	629243.090	4492755.120	1565.097	1590.037	G5130158
AN2	628932.370	4491443.260	1567.292	1591.329	P.3
AN3	628048.440	4490343.640	1600.834	1624.942	G5130159
AN4	627482.400	4489167.780	1608.657	1632.809	P.8
AN5	627587.270	4487770.780	1627.649	1651.788	G5130160
AN6	627871.110	4486379.210	1588.503	1612.683	P.13
AN7	628372.090	4484962.350	1576.387	1600.560	H5130126
AN8	628634.750	4483985.360	1565.837	1590.007	P.18
AN9	629053.750	4482903.210	1566.895	1591.041	H5130127
AN10	628518.250	4481883.250	1621.903	1646.044	P.23
AN11	627938.380	4480552.190	1669.099	1693.231	H5130128
AN12	627869.580	4479418.970	1729.500	1753.608	P.28
AN13	627006.220	4478256.130	1712.415	1736.611	H5030212
AN14	626206.130	4477132.940	1708.827	1733.063	P.33
AN15	625097.470	4476177.770	1720.007	1744.300	H5030213
AN16	624222.550	4475388.980	1736.819	1761.147	P.38
AN17	623301.430	4474403.880	1716.102	1740.508	H5030214
AN18	622391.750	4473454.200	1690.523	1714.982	P.43
AN19	621168.860	4473220.180	1671.666	1696.250	H5030215

Tablo 3.1' de düşünceler kısmında görüldüğü gibi ana nivelman (AN) noktaları aslında Digor-Esenkent yol güzergahındaki C3 dereceli nirengi noktalarını ve poligon noktalarının da bazılarını oluşturmaktadır.

C3 ve C4 dereceli noktaları da içine alan ana ve ara nivelman güzergahları belirlendikten sonra güzergah hattı arasında elektronik nivo ile gidiş-dönüş nivelmanı yapılmıştır. Gidiş-dönüş nivelmanı sonucunda elde edilen yüksekliklerin farklarından

yararlanılarak hata değerleri bulunmuştur. Gidiş-dönüş nivelmanı sonucu ölçülen noktalar arası mesafelerin $S_{\text{gidiş}}-S_{\text{dönüş}}$ ortalamaları alınarak S değeri bulunmuştur. Tablo 3.2' de görüldüğü gibi hesaplanan değerlerin BÖHHBÜY hata sınırlarının değerinin altında olduğı görülmüştür. Bu noktalara gerekli dengeleme işlemleri yapılmıştır. Böylece güzergah hattı boyunca tesis edilen C3 ve C4 derece noktaların dengelenmiş Helmert ortometrik yükseklikleri elde edilmiştir.

C3 ve C4 dereceli noktaların ortometrik yükseklik (H) gidiş-dönüş hesap tablosu ve Digor-Esenkent yolu Geometrik nivelman tecviz tablosu Tablo 3.2' de gösterilmiştir.



Tablo 3.2. Geometrik nivelman tecviz tablosu

GİDİŞ-DÖNÜŞ KOT FARKLARI													
HATLAR		dh	GİDİŞ	dh	DÖNÜŞ	S1 (km)	S2 (km)	ORT	dh	Ort. Skm	G-D Farkı	Hata Sınırı	Tecviz
EAN9	EAN10	-40.1355	40.1404	1.7200	1.4930	-40.1380	1.6065	0.0049	0.0228	Tecviz İçi			
EAN10	AN1N1	-0.5730	0.5739	0.4370	0.4630	-0.5735	0.4500	0.0009	0.0121	Tecviz İçi			
AN1N1	P1	-5.7112	5.7120	0.4000	0.5550	-5.7116	0.4775	0.0008	0.0124	Tecviz İçi			
P1	P2	-5.0869	5.0884	0.5570	0.5190	-5.0877	0.5380	0.0015	0.0132	Tecviz İçi			
P2	AN2P3	12.9947	-12.9876	0.5140	0.5400	12.9912	0.5270	0.0071	0.0131	Tecviz İçi			
AN2P3	P4	16.2343	-16.2391	0.5030	0.5240	16.2367	0.5135	-0.0048	0.0129	Tecviz İçi			
P4	P5	13.5599	-13.5671	0.5950	0.5890	13.5635	0.5920	-0.0072	0.0138	Tecviz İçi			
P5	AN3N2	3.7414	-3.7393	0.5490	0.5270	3.7404	0.5380	0.0021	0.0132	Tecviz İçi			
AN3N2	P6	-2.9974	3.0010	0.4920	0.5240	-2.9992	0.5080	0.0036	0.0128	Tecviz İçi			
P6	P7	7.4850	-7.4799	0.5540	0.5110	7.4825	0.5325	0.0051	0.0131	Tecviz İçi			
P7	AN4P8	3.3418	-3.3328	0.5060	0.5320	3.3373	0.5190	0.0090	0.0130	Tecviz İçi			
AN4P8	P9	2.7112	-2.7034	0.5920	0.5680	2.7073	0.5800	0.0078	0.0137	Tecviz İçi			
P9	P10	19.5533	-19.5594	0.6180	0.6650	19.5564	0.6415	-0.0061	0.0144	Tecviz İçi			
P10	AN5N3	-3.2717	3.2766	0.4970	0.5130	-3.2742	0.5050	0.0049	0.0128	Tecviz İçi			
AN5N3	P11	-12.0794	12.0704	0.5680	0.5420	-12.0749	0.5550	-0.0090	0.0134	Tecviz İçi			
P11	P12	-11.5642	11.5597	0.5610	0.5590	-11.5620	0.5600	-0.0045	0.0135	Tecviz İçi			
P12	AN6P13	-15.5105	15.5131	0.5780	0.5670	-15.5118	0.5725	0.0026	0.0136	Tecviz İçi			
AN6P13	P14	-13.1037	13.1100	0.7010	0.5820	-13.1069	0.6415	0.0063	0.0144	Tecviz İçi			
P14	P15	-1.7115	1.7005	0.5560	0.5440	-1.7060	0.5500	-0.0110	0.0133	Tecviz İçi			
P15	AN7N4	2.6996	-2.6896	0.6110	0.6000	2.6946	0.6055	0.0100	0.0140	Tecviz İçi			
AN7N4	P16	-8.6408	8.6399	0.5080	0.5240	-8.6404	0.5160	-0.0009	0.0129	Tecviz İçi			
P16	P17	-39.8552	39.8497	0.5520	0.5280	-39.8525	0.5400	-0.0055	0.0132	Tecviz İçi			
P17	AN8P18	37.9455	-37.9366	0.5640	0.5510	37.9411	0.5575	0.0089	0.0134	Tecviz İçi			
AN8P18	P19	-14.9936	14.9824	0.5800	0.5670	-14.9880	0.5735	-0.0112	0.0136	Tecviz İçi			
P19	P20	5.5380	-5.5475	0.3440	0.3300	5.5428	0.3370	-0.0095	0.0104	Tecviz İçi			
P20	AN9N5	10.5030	-10.4993	0.5600	0.4950	10.5012	0.5275	0.0037	0.0131	Tecviz İçi			
AN9N5	P21	13.0172	-13.0117	0.3490	0.3800	13.0145	0.3645	0.0055	0.0109	Tecviz İçi			
P21	P22	18.1842	-18.1785	0.5150	0.5090	18.1814	0.5120	0.0057	0.0129	Tecviz İçi			
P22	AN10P23	23.8086	-23.8122	0.3190	0.3260	23.8104	0.3225	-0.0036	0.0102	Tecviz İçi			
AN10P23	P24	9.3957	-9.3989	0.4630	0.4710	9.3973	0.4670	-0.0032	0.0123	Tecviz İçi			
P24	P25	13.6184	-13.6083	0.6530	0.6490	13.6134	0.6510	0.0101	0.0145	Tecviz İçi			
P25	AN11N6	24.1757	-24.1893	0.7040	0.5230	24.1825	0.6135	-0.0136	0.0141	Tecviz İçi			
AN11N6	P26	44.3203	-44.3078	0.8350	0.4950	44.3141	0.6650	0.0125	0.0147	Tecviz İçi			
P26	P27	3.7103	-3.7015	0.4540	0.3880	3.7059	0.4210	0.0088	0.0117	Tecviz İçi			
P27	AN12P28	12.3849	-12.3740	0.4570	0.3860	12.3795	0.4215	0.0109	0.0117	Tecviz İçi			
AN12P28	P29	-12.9623	12.9704	0.4980	0.4950	-12.9664	0.4965	0.0081	0.0127	Tecviz İçi			
P29	P30	-8.0069	7.9987	0.5080	0.4970	-8.0028	0.5025	-0.0082	0.0128	Tecviz İçi			
P30	AN13N7	3.8837	-3.8811	0.2580	0.5380	3.8824	0.3980	0.0026	0.0114	Tecviz İçi			
AN13N7	P31	-13.2792	13.2722	0.5260	0.5480	-13.2757	0.5370	-0.0070	0.0132	Tecviz İçi			
P31	P32	4.2804	-4.2778	0.5600	0.5120	4.2791	0.5360	0.0026	0.0132	Tecviz İçi			
P32	AN14P33	5.4034	-5.4094	0.4700	0.4710	5.4064	0.4705	-0.0060	0.0123	Tecviz İçi			
AN14P33	P34	8.6745	-8.6620	0.6980	0.5160	8.6683	0.6070	0.0125	0.0140	Tecviz İçi			
P34	P35	7.2140	-7.2223	0.4580	0.4560	7.2182	0.4570	-0.0083	0.0122	Tecviz İçi			
P35	AN15N8	-4.7060	4.7110	0.5470	0.5550	-4.7083	0.5510	0.0050	0.0134	Tecviz İçi			
AN15N8	P36	9.8072	-9.8005	0.4350	0.4410	9.8039	0.4380	0.0067	0.0119	Tecviz İçi			
P36	P37	5.5208	-5.5200	0.4420	0.4560	5.5204	0.4490	0.0008	0.0121	Tecviz İçi			
P37	AN16P38	1.4825	-1.4879	0.4150	0.2900	1.4852	0.3525	-0.0054	0.0107	Tecviz İçi			
AN16P38	P39	-6.3614	6.3646	0.4220	0.4490	-6.3630	0.4355	0.0032	0.0119	Tecviz İçi			
P39	P40	-7.5087	7.5091	0.4690	0.4770	-7.5089	0.4730	0.0004	0.0124	Tecviz İçi			
P40	AN17N9	-6.8493	6.8448	0.5200	0.5650	-6.8471	0.5425	-0.0045	0.0133	Tecviz İçi			
AN17N9	P41	-2.7701	2.7739	0.4380	0.4220	-2.7720	0.4300	0.0038	0.0118	Tecviz İçi			
P41	P42	-2.4800	2.4850	0.4170	0.3660	-2.4825	0.3915	0.0050	0.0113	Tecviz İçi			
P42	AN18P43	-20.3226	20.3296	0.4910	0.5810	-20.3261	0.5360	0.0070	0.0132	Tecviz İçi			
AN18P43	P44	-18.6590	18.6582	0.5380	0.5120	-18.6586	0.5250	-0.0008	0.0130	Tecviz İçi			
P44	P45	-12.5977	12.5972	0.5050	0.5060	-12.5975	0.5055	-0.0005	0.0128	Tecviz İçi			
P45	AN19N10	12.3988	-12.3953	0.6530	0.6810	12.3971	0.6670	0.0035	0.0147	Tecviz İçi			
AN19N10	P46	18.3145	-18.3166	0.5420	0.5350	18.3156	0.5385	-0.0021	0.0132	Tecviz İçi			
P46	P47	7.3657	-7.3655	0.4870	0.4650	7.3656	0.4760	0.0002	0.0124	Tecviz İçi			
P47	A1	6.6063	-6.6082	0.1390	0.1400	6.6073	0.1395	-0.0019	0.0067	Tecviz İçi			
A1	JDN30P104	19.9969	-19.9945	0.8140	0.7600	19.9957	0.7870	0.0024	0.0160	Tecviz İçi			

C3 ve C4 dereceli noktaları da içine alan ana ve ara nivelman güzergahında bulunan noktaların dengeleme hata hesapları Tablo 3.3' de gösterilmiştir. Yapılan dayalı dengeleme hesabı sonunda KOH değerinin $m_0 = 7.715$ mm çıktığı görülmektedir.

Tablo 3.3. Dengeleme hata hesapları

*** HATA HESAPLARI ***

OLCU	BASL. IST.	BITIS IST.	OLCU (M)	DUZELTME (MM)
1	EAN9	EAN10	-40.1379	2.1999
2	EAN10	AN1N1	-5.5735	.6162
3	AN1N1	P1	-5.7116	.6539
4	P1	P2	-5.0877	.7367
5	P2	AN2P3	12.9912	.7217
6	AN2P3	P4	16.2367	.7032
7	P4	P5	13.5635	.8107
8	P5	AN3N2	3.7404	.7367
9	AN3N2	P6	-2.9992	.6957
10	P6	P7	7.4825	.7292
11	P7	AN4P8	3.3373	.7107
12	AN4P8	P9	2.7073	.7943
13	P9	P10	19.5564	.8785
14	P10	AN5N3	-3.2742	.6915
15	AN5N3	P11	-12.0749	.7600
16	P11	P12	-11.5620	.7669
17	P12	AN6P13	-15.5118	.7840
18	AN6P13	P14	-13.1069	.8785
19	P14	P15	-1.7060	.7532
20	P15	AN7N4	2.6946	.8292
21	AN7N4	P16	-8.6404	.7066
22	P16	P17	-39.8525	.7395
23	P17	AN8P18	37.9411	.7634
24	AN8P18	P19	-14.9880	.7853
25	P19	P20	5.5428	.4615
26	P20	AN9	10.5012	.7224
27	AN9	P21	13.0145	.4991
28	P21	P22	18.1814	.7011
29	P22	AN10	23.8104	.4416
30	AN10	P24	9.3973	.6395
31	P24	P25	13.6134	.8915
32	P25	AN11	24.1825	.8401
33	AN11	P26	44.3141	.9106
34	P26	P27	3.7059	.5765
35	P27	AN12	12.3795	.5772
36	AN12	P29	-12.9664	.6799
37	P29	P30	-8.0028	.6881
38	P30	AN13	3.8824	.5450
39	AN13	P31	-13.2757	.7354
40	P31	P32	4.2791	.7340
41	P32	AN14	5.4064	.6443
42	AN14	P34	8.6683	.8312
43	P34	P35	7.2182	.6258
44	P35	AN15	-4.7085	.7545
45	AN15	P36	9.8039	.5998
46	P36	P37	5.5204	.6149

Sayfa 4

47	P37	AN16	EAN9-JDN30	1.4852	.4827
48	AN16	P39		-6.3630	.5964
49	P39	P40		-7.5089	.6477
50	P40	AN17		-6.8471	.7429
51	AN17	P41		-2.7720	.5888
52	P41	P42		-2.4825	.5361
53	P42	AN18		-20.3261	.7340
54	AN18	P44		-18.6586	.7189
55	P44	P45		-12.5975	.6922
56	P45	AN19		12.3971	.9134
57	AN19	P46		18.3156	.7374
58	P46	P47		7.3656	.6518
59	P47	A1		6.6073	.1910
60	A1	JDN30		19.9957	1.0777

PVV TOPLAMI = 59.528

BIRIM OLCUNUN K.O.H.SI = 7.715 SERBESTLIK DERECESI = 1

Geometrik nivelman işleminden sonra C3 ve C4 dereceli noktaları içine alan ana (AN) ve ara nivelman (RN) noktalarına dayalı dengeleme hesabı yapılmıştır. Ortometrik yükseklik değerleri bilinen (EAN9 - JDN30) noktaları sabit alınmıştır. Dayalı dengeleme hesabı sonunda elde edilen noktaların dengelenmiş ortometrik yükseklikleri ve hata değerleri (mm) Tablo 3.4' de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Dengelenmiş yükseklikler ve hataları

** DENGELENMİŞ YÜKSEKLİKLER VE HATALARI (MM.) **

EAN10	1565.67000	9.52852
AN1N1	1565.09700	10.69997
P1	1559.38600	11.78150
P2	1554.30000	12.85201
AN2P3	1567.29200	13.78234
P4	1583.52900	14.59778
P5	1597.09300	15.44500
AN3N2	1600.83400	16.14122
P6	1597.83600	16.74238
P7	1605.31900	17.32023
AN4P8	1608.65700	17.83678
P9	1611.36500	18.36438
P10	1630.92200	18.89195
AN5N3	1627.64900	19.26897
P11	1615.57500	19.64692
P12	1604.01400	19.99179
AN6P13	1588.50300	20.30841
P14	1575.39600	20.62204
P15	1573.69100	20.85774
AN7N4	1576.38700	21.08310
P16	1567.74700	21.24773
P17	1527.89500	21.39370
AN8P18	1565.83700	21.51671
P19	1550.85000	21.61441
P20	1556.39300	21.65832
AN9	1566.89500	21.70720
P21	1579.91000	21.72689
P22	1598.09200	21.73516
AN10	1621.90300	21.72875
P24	1631.30100	21.70355
P25	1644.91500	21.63687
AN11	1669.09900	21.54008
P26	1713.41400	21.39746
P27	1717.12000	21.28655
AN12	1729.50000	21.15919
P29	1716.53400	20.98783
P30	1708.53200	20.79034
AN13	1712.41500	20.61628
P31	1699.14000	20.35596
P32	1703.42000	20.06590
AN14	1708.82700	19.78537
P34	1717.49600	19.38585

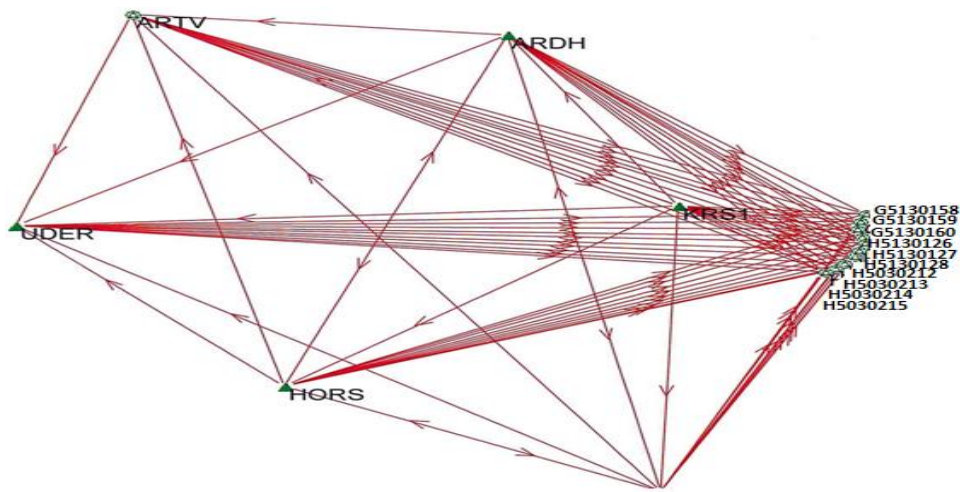
Sayfa 5

EAN9-JDN30		
P35	1724.71500	19.05563
AN15	1720.00700	18.62178
P36	1729.81200	18.24730
P37	1735.33300	17.83435
AN16	1736.81900	17.48818
P39	1730.45600	17.03192
P40	1722.94800	16.49771
AN17	1716.10200	15.83026
P41	1713.33000	15.25485
P42	1710.84800	14.69088
AN18	1690.52300	13.84803
P44	1671.86500	12.92916
P45	1659.26800	11.93713
AN19	1671.66600	10.41536
P46	1689.98200	8.93308
P47	1697.34900	7.31733
A1	1703.95600	6.75925

Tablo 3.4' de görüldüğü gibi dengeleme hesabı sonucunda elde edilen Digor-Esenkent yol projesine ait ana nivelman (AN) noktalarının, 10 adet C3 dereceli nirengi noktalarının ve 47 adet poligon noktalarının ortometrik yükseklik (H) değerleri belirlenmiştir. Bu yükseklik değerleri kullanılarak yol güzergahında istenilen çalışmalar yapılabilmektedir.

Digor-Esenkent yol güzergahında, toplam 10 adet C3 dereceli nirengi noktası kullanılmıştır. Nirengi noktalarının, röper ölçü krokileri çizilerek kayıt altında tutulmuştur. C3 dereceli nirengi noktaları arasındaki mesafe, ortalama 2500 metredir. Toplam 10 adet C3 dereceli nirengi noktasının koordinatları ve Geometrik nivelman tekniği ile ölçülmüş elipsoidal ve ortometrik yükseklik değerleri veri olarak kullanılmıştır.

C3 dereceli nirengi noktalarına ait GNSS ölçüleri 3 adet LEİCA 1200, 2 adet LEİCA 1230 ve 1 adet LEİCA GS15 model çift frekanslı GNSS alıcıları ile yapılmıştır. C3 dereceli yer kontrol noktalarının ölçümleri KRSI, AGRD, HORS, ARTV, ARDH ve UDER sabit istasyonları kullanılarak teknik şartname kurallarına uygun bir şekilde TUSAGA Aktif ağına dayalı olarak RTK yöntemi ile yapılmıştır. Şekil 3.4' de görülmektedir. Ham veriler Leica Geo Office yazılımı yardımıyla nokta numarası ve anten yüksekliklerinde gerekli düzeltmeler yapılarak RINEX formatına dönüştürülmüştür. Baz çözümü, değerlendirme ve dengeleme hesapları Leica Geo Office yazılım programıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Digor-Esenkent yol projesi nirengi kanavaşı

Sabit istasyonların 2005.00 epogundaki kartezyen koordinatları değişmez alınarak dayalı dengeleme yapılmıştır. C3 derece nirengi ağının; GNSS bazları çözüldükten sonra dengeleme öncesi üçgen kapanmaları kontrol edilmiş ve kapanma hatalarının 3 ppm' in altında kaldığı görölmüştür. Böylece, C3 derece nirengi noktalarının referans epok (2005.00) değerleri hesaplanmıştır.

C3 noktalarının hız değerleri, TUTGA (G50-G002, H50-G001 ve G51-G001) noktalarına dayalı olarak enterpolasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. (G50-G002, H50-G001 ve G51-G001) TUTGA noktalarının kartezyen koordinatları (X, Y, Z) ve hız vektörleri (V_x , V_y , V_z), HGK' dan alınmıştır. Nirengi noktalarının epok 2005 kartezyen koordinatları ve hız vektörleri Tablo 3.5' de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Nirengi noktalarının epok koordinatları ve hız vektörleri

ELİPSOİD: GRS80				DATUM: ITRF-96			EPOK: 2005
Nokta No	Kartezyen Koordinatlar			Inter Sismik Hızlar			
	X	Y	Z	V_x	V_y	V_z	
G50-G002	3533515.7939	3314658.1024	4137207.7532	-0.0321	0.0081	0.0033	REFERANS
H50-G001	3535201.2938	3345036.6910	4111186.5517	-0.0343	0.0066	0.0042	REFERANS
G51-G001	3503431.3727	3340079.6856	4141789.0613	-0.0378	0.0017	-0.0034	REFERANS
G5130158	3519374.1103	3342778.8168	4126261.5758	-0.0351	0.0052	0.0012	
G5130159	3521371.4183	3342970.8639	4124467.6992	-0.0349	0.0054	0.0015	
G5130160	3522942.6396	3343765.8494	4122535.6456	-0.0348	0.0055	0.0018	
H5030212	3527975.1847	3347517.6780	4115360.6911	-0.0345	0.006	0.0028	
H5030213	3530279.4472	3347024.5025	4113807.9044	-0.0345	0.0062	0.0032	
H5030214	3532353.3834	3346475.2667	4112477.3106	-0.0344	0.0064	0.0036	
H5030215	3534348.9556	3345401.5904	4111573.5419	-0.0343	0.0065	0.0040	
H5130126	3523736.2109	3345534.9268	4120356.8602	-0.0347	0.0057	0.0020	
H5130127	3524260.7669	3346924.0785	4118775.6538	-0.0347	0.0057	0.0022	
H5130128	3526210.0372	3347181.3433	4117067.8845	-0.0346	0.0059	0.0025	

Epok kaydırma işlemleri için:

$$\begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix} + (T_0 - T) \cdot \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

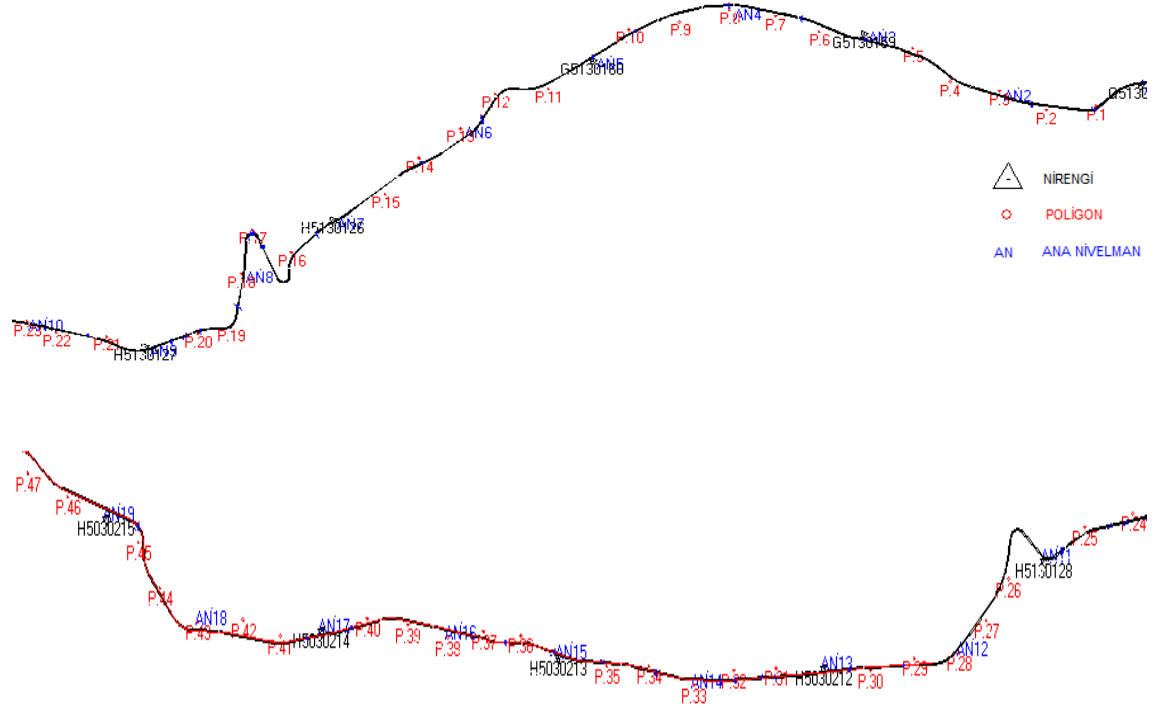
(3.1) eşitliği kullanılır. Burada T_0 , referans epogu (2005.0), V_X , V_Y , V_Z nokta hız vektörleridir (BÖHHBÜY, 2018).

Digor-Esenkent yolu güzergahında bulunan, 10 adet C3 dereceli nirengi noktalarının y (Sağa değer), x (Yukarı değer), elipsoidal yükseklikleri (h) ve ortometrik yükseklikleri (H) kullanılmıştır. Elipsoidal yükseklikler ve ortometrik yükseklikler kullanılarak $N = h - H$ formülü ile jeoit ondülasyon değerleri elde edilmiştir. Digor-Esenkent yolu, nirengi noktalarının koordinat tablosu Tablo 3.6' da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Digor-Esenkent yolu, nirengi noktalarının koordinat tablosu (m)

Nokta No	Sağa Değer (y)	Yukarı Değer (x)	Elipsoidal Yükseklik (h)	Helmert Ortometrik Yükseklik (H)	Jeoit Ondülasyon (N)
G5130158	629233.348	4492572.146	1590.037	1565.097	24.94
G5130159	628038.719	4490160.704	1624.942	1600.834	24.11
G5130160	627577.552	4487587.884	1651.788	1627.649	24.14
H5030212	626996.507	4478073.383	1736.611	1712.415	24.20
H5030213	625087.777	4475995.054	1744.300	1720.007	24.29
H5030214	623291.765	4474221.185	1740.508	1716.102	24.41
H5030215	621159.207	4473037.499	1696.250	1671.666	24.58
H5130126	628362.372	4484779.502	1600.560	1576.387	24.17
H5130127	629044.015	4482720.389	1591.041	1566.895	24.15
H5130128	627928.663	4480369.406	1693.231	1669.099	24.13

Digor-Esenkent yol güzergahına ait 10 adet C3 dereceli nirengi noktaları, 47 adet poligon noktaları, ana nivelman noktaları ve güzergah planı Şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Digor-Esenkent yolu, nirengi ve poligon noktalarının güzergahı

Digor-Esenkent yolu güzergahında ortometrik yükseklik (H) değerleri bilinen ana nivelman (AN) noktalarından bazıları poligon noktası olarak da kullanılmıştır. Bunlar; P.3, P.8, P.13, P.18, P.23, P.28, P.33, P.38, P.43 şeklindedir. Güzergahtaki geriye kalan 38 adet poligon noktasının ise 10 adet C3 dereceli nirengi noktaları kullanılarak geometrik nivelman yöntemi ve dayalı dengeleme hesabı sonunda ortometrik yükseklik değerleri elde edilmiştir. Poligon noktaları arasındaki mesafe yaklaşık olarak 500 metredir. Nirengi ve poligon noktalarının dengelenmiş ortometrik yükseklik (H) değerleri ve hatalar Tablo 3.4' de gösterilmiştir.

Digor-Esenkent yolu güzergahında bulunan, 47 adet poligon noktasının y (Sağa değer), x (Yukarı değer), elipsoidal yükseklikleri (h) ile ortometrik yükseklikleri (H) kullanılmıştır. Elipsoidal yükseklikler ve ortometrik yükseklikler kullanılarak $N = h - H$ formülü ile jeoit ondülasyon değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen koordinatlar, ITRF96 (GR80 Elipsoidi) datumuna bağlı 3 derecelik koordinatlardır. Tüm yapılan bu

çalışmalar da, BÖHHBÜY esas alınmıştır. Digor-Esenkent yol güzergahına ait, poligon noktalarının koordinat tablosu Tablo 3.7' de gösterilmiştir.

Elipsoidal yükseklik (h) ile ortometrik yükseklik (H) arasında (3.2)' de gösterilen bağıntıyla bilinen bir ilişki vardır. H ortometrik yükseklik, h elipsoidal yükseklik, N jeoit yüksekliğidir. N, jeoit ile elipsoit arasındaki uzaklıktır.

$$h = H + N \quad (3.2)$$

Tablo 3.7. Digor-Esenkent yolu, poligon noktalarının koordinat tablosu (m)

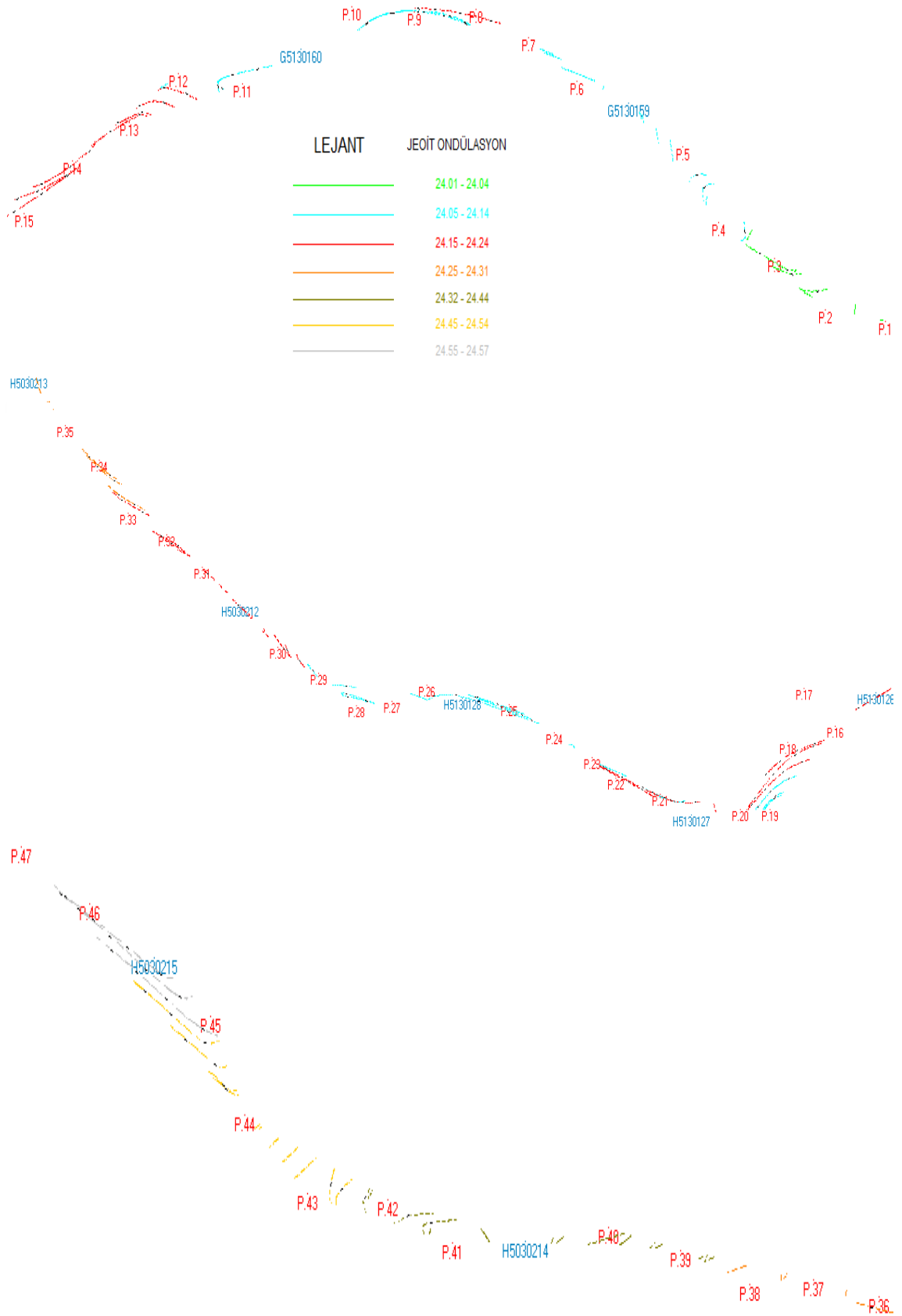
Nokta No	Sağa Değer (y)	Yukarı Değer (x)	Elipsoidal Yükseklik (h)	Helmert Ortometrik Yükseklik (H)	Jeoit Ondülasyon (N)
P.1	629307.573	4492114.849	1583.383	1559.386	24.00
P.2	629216.412	4491645.380	1578.311	1554.300	24.01
P.3	628922.640	4491260.305	1591.329	1567.292	24.04
P.4	628707.252	4490831.145	1607.579	1583.529	24.05
P.5	628299.132	4490575.053	1621.166	1597.093	24.07
P.6	627902.900	4489760.032	1621.949	1597.836	24.11
P.7	627651.660	4489392.031	1629.457	1605.319	24.14
P.8	627472.676	4488984.865	1632.809	1608.657	24.15
P.9	627453.228	4488495.010	1635.495	1611.365	24.13
P.10	627390.056	4488007.198	1655.057	1630.922	24.14
P.11	627722.904	4487110.354	1639.704	1615.575	24.13
P.12	627633.341	4486607.007	1628.152	1604.014	24.14
P.13	627861.395	4486196.336	1612.683	1588.503	24.18
P.14	628023.152	4485738.413	1599.582	1575.396	24.19
P.15	628269.964	4485331.677	1597.865	1573.691	24.17
P.16	628558.984	4484315.391	1591.920	1567.747	24.17
P.17	628241.944	4484016.587	1552.127	1527.895	24.23
P.18	628625.019	4483802.521	1590.007	1565.837	24.17
P.19	629087.434	4483563.240	1574.969	1550.850	24.12
P.20	629058.342	4483246.231	1580.548	1556.393	24.16
P.21	628854.321	4482400.031	1604.049	1579.910	24.14
P.22	628684.039	4481941.488	1622.252	1598.092	24.16
P.23	628508.533	4481700.447	1646.044	1621.903	24.14
P.24	628286.732	4481316.549	1655.430	1631.301	24.13
P.25	628028.096	4480864.105	1669.026	1644.915	24.11

P.26	627787.388	4479997.978	1737.539	1713.414	24.12
P.27	627868.583	4479618.555	1741.237	1717.120	24.12
P.28	627859.856	4479236.204	1753.608	1729.500	24.11
P.29	627580.927	4478857.448	1740.668	1716.534	24.13
P.30	627344.218	4478442.738	1732.700	1708.532	24.17
P.31	626672.459	4477695.639	1723.358	1699.140	24.22
P.32	626391.267	4477342.838	1727.657	1703.420	24.24
P.33	626196.427	4476950.214	1733.063	1708.827	24.24
P.34	625771.698	4476683.185	1741.767	1717.496	24.27
P.35	625483.416	4476345.113	1748.987	1724.715	24.27
P.36	624708.893	4475800.496	1754.125	1729.812	24.31
P.37	624425.303	4475521.405	1759.651	1735.333	24.32
P.38	624212.868	4475206.269	1761.147	1736.819	24.33
P.39	623866.583	4474944.371	1754.817	1730.456	24.36
P.40	623545.688	4474648.294	1747.334	1722.948	24.39
P.41	623038.187	4473866.967	1737.735	1713.330	24.41
P.42	622684.761	4473646.469	1735.274	1710.848	24.43
P.43	622382.087	4473271.515	1714.982	1690.523	24.46
P.44	621931.657	4473138.307	1696.377	1671.865	24.51
P.45	621523.923	4473182.791	1683.820	1659.268	24.55
P.46	620771.669	4472839.585	1714.554	1689.982	24.57
P.47	620366.634	4472633.810	1721.922	1697.349	24.57

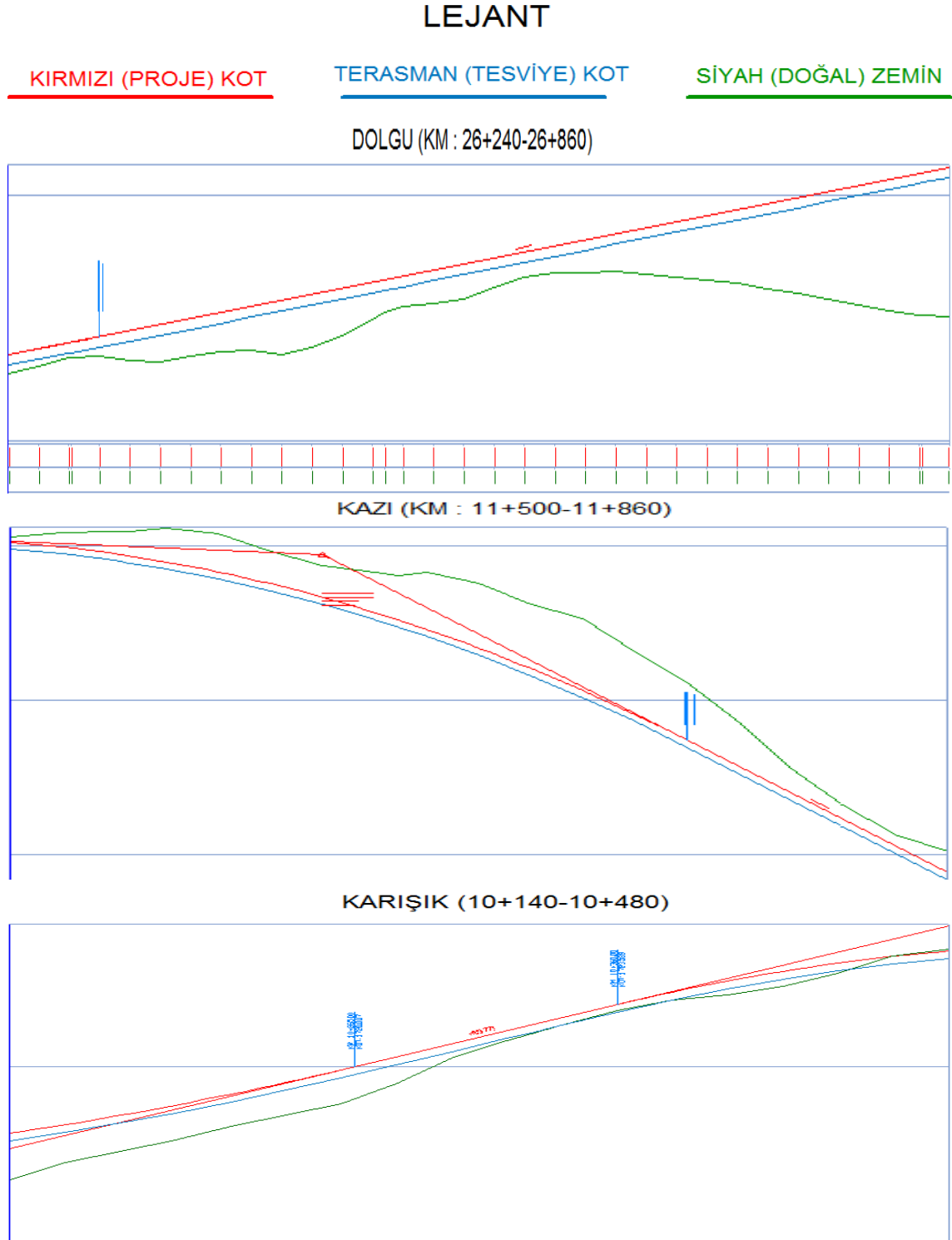
Ortometrik yükseklik (H) değerleri bilinen C3 dereceli nirengi noktaları kullanılarak geometrik nivelman yöntemi ile poligon noktalarının ortometrik yükseklik (H) değerleri belirlenmiştir. Ortometrik yükseklik değerleri bilinen poligon noktaları GNSS alıcısına aktarılmıştır. Detay alımı için 2 adet Topcon GR-5 GNSS alıcısı kullanılmıştır. Alıcılardan birisi sabit diğeri ise gezici olarak kullanılmıştır.

Şekil 3.6' da görüldüğü gibi çalışma alanının jeoit ondülasyon modeli oluşturulmuştur. Jeoit ondülasyon modelinden yararlanılarak $H = h - N$ formülü ile ortometrik yükseklik (H) değerleri elde edilerek, detay noktalarının ortometrik yükseklik (H) değerleri elde edilmiştir.

Digor-Esenkent yol projesine ait 10 adet C3 dereceli nirengi noktaları ve 47 adet poligon noktalarının jeoit ondülasyon eş yükseklik haritası NetCAD yazılımı ile çizilmiştir. Çizilen jeoit ondülasyon eş yükseklik haritası Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Digor-Esenkent yol projesine ait uygulamada kullanılan üç farklı kesit alanının boykesit (profil) grafiği NetCAD yazılımı ile çizilmiştir. Çizilen boykesit (profil) grafiği, Şekil 3.7' de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Dolgu, kazı ve karışık kesit alanlarının boykesit (profil) grafiği

Digor-Esenkent yolu güzergahında uygulama alanı olarak belirlenen siyah (doğal) zemin ve terasman yüzeyinde;

Dolgu kesit alanında: siyah (doğal) zeminden toplam 397 adet ölçme noktası toplanmıştır ve bunların 328 adeti dayanak noktası 69 adeti ise test noktası olarak seçilmiştir. Terasman (tesviye) yüzeyden, toplam 160 adet ölçme noktası toplanmıştır ve bunların 144 adeti dayanak noktası 16 adeti ise test noktası olarak seçilmiştir.

Kazı (yarma) kesit alanında: siyah (doğal) zeminden toplam 202 adet ölçme noktası toplanmıştır ve bunların 165 adeti dayanak noktası 37 adeti ise test noktası olarak seçilmiştir. Terasman (tesviye) yüzeyden, toplam 95 adet ölçme noktası toplanmıştır ve bunların 86 adeti dayanak noktası 9 adeti ise test noktası olarak seçilmiştir.

Karışık kesit alanında: siyah (doğal) zeminden toplam 183 adet ölçme noktası toplanmıştır ve bunların 157 adeti dayanak noktası 26 adeti ise test noktası olarak seçilmiştir. Terasman (tesviye) yüzeyinden, toplam 90 adet ölçme noktası toplanmıştır ve bunların 81 adeti dayanak noktası 9 adeti ise test noktası olarak seçilmiştir.

Şekil 3.8 ve Şekil 3.9' da görüldüğü gibi Digor-Esenkent yolunda kazı ve dolgu çalışmalarına ait örnek fotoğraflar gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Digor-Esenkent yolu, kazı (yarma) çalışması



Şekil 3.9. Digor-Esenkent yolu, dolgu çalışması

3.3. Kullanılan Yazılımlar

Uygulamada, iki farklı yazılım olan ArcGIS 10.7 ve NetCAD 5.1 yazılımları kullanılmıştır. ArcGIS yazılımında Geoistatistik Analiz modülü, farklı enterpolasyon yöntemleri ile yeni yüzey modeller oluşturmak ve test noktalarının enterpolasyon yükseklik değerlerini bulmak için kullanılmıştır. NetCAD 5.1 yazılımı ise, üçgen model oluşturmak ve hacim hesaplamak için kullanılmıştır.

3.3.1. ArcGIS 10.7 yazılımı

Harvard Laboratuvarı üyesi olan Jack Dangermond ve eşi Laura, 1969 yılında eski ismiyle “Çevre Sistemleri Araştırma Enstitüsü” olarak bilinen ESRI’ yi kurdular. Daha sonra 1997 yılında Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı bir yazılım üretmeye başladılar ve 1999 yılına gelindiğinde ArcMap ortaya çıktı. 2000 yılında ise ArcMap' in yerini ArcGIS aldı (Görgöz, 2020).

ArcGIS, ESRI markasının altında mevcut olan ürünlerin genel adı olarak öne sürülmüştür. Fakat ArcGIS genel anlamda, çeşitli coğrafi istatistikleri görselleştirmemize olanak vererek coğrafi bilgileri yönetmelerini ve analiz etmelerini sağlayan ölçeklendirilebilir entegre bir CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) yazılımıdır (Görgöz, 2020).

ArcGIS, Türkiye' nin adres kayıt sistemlerinin (AKS) kayıtlı olduğu sistemlerde dahil olmak üzere, emniyet, askeri, ticaret, haritacılık ve iç güvenlik gibi neredeyse 65 sektör üzerinde alana hizmet vermektedir (Görgöz, 2020).

3.3.2. NetCAD 5.1 yazılımı

NetCAD yazılımı, 1989 yılında Serdar Ak ve Sarper Ak isimli iki kardeş tarafından kurulan günümüzde mekânsal içerikli imar kadastro, planlama, mühendislik yazılım, ürün, proje ve eğitim hizmetleri alanları olmak üzere ülkemizin en yaygın kullanılan ve bilinen markalarından biridir. NetCAD, %100 yerli ve milli sermaye ile kurulmuş bir yazılımdır.

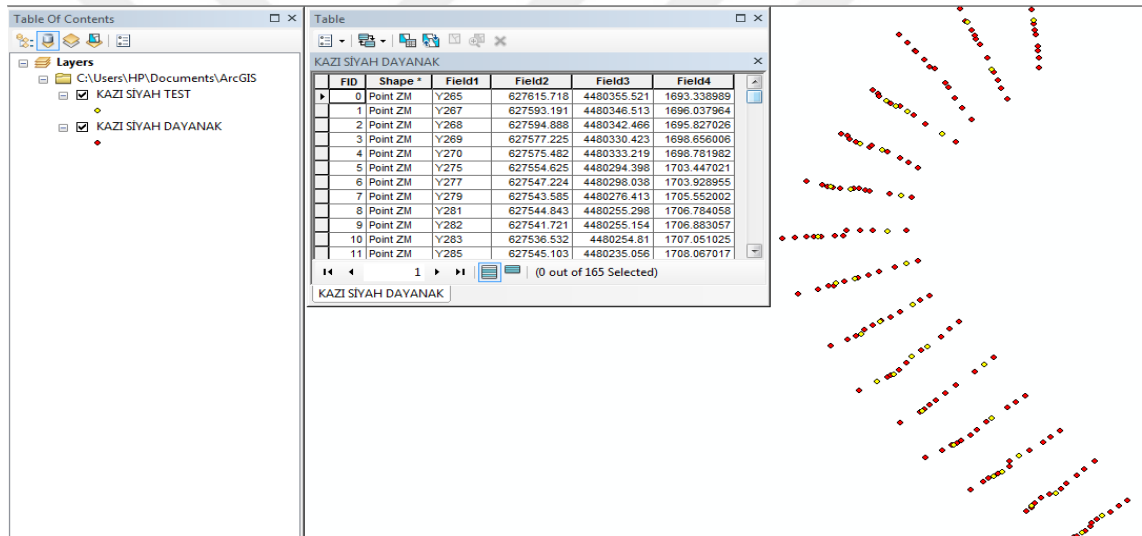
Halihazır harita üretimi, imar planı çizimi, parselasyon haritaları yapımı ve imar uygulamalarının her türlü çizimi ile raporlarının hazırlanması, arazi toplulaştırma, kamulaştırma haritalarının üretimi, yağmurlama projeleri ve coğrafi bilgi sistemleri çalışmalarını yapabilen bir Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) yazılımıdır.

NetCAD, yol projelerinde harita mühendisleri için oldukça önemli bir yazılımdır. NetCAD yazılımı kullanılarak yol projelerinde Netsurf modülü ile sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulur. Netpro modülü kullanılarak güzergah tanımlama ve Netsurf modülünde oluşturulan SAM' leri yardımıyla modelden enkesit alma, enkesit çizimi, alan ve hacim hesapları (kübaj) gibi çok önemli veriler elde edilir.

3.4. Noktaların Yazılımlara Aktarılma İşlemi

3.4.1. ArcGIS yazılımına aktarma

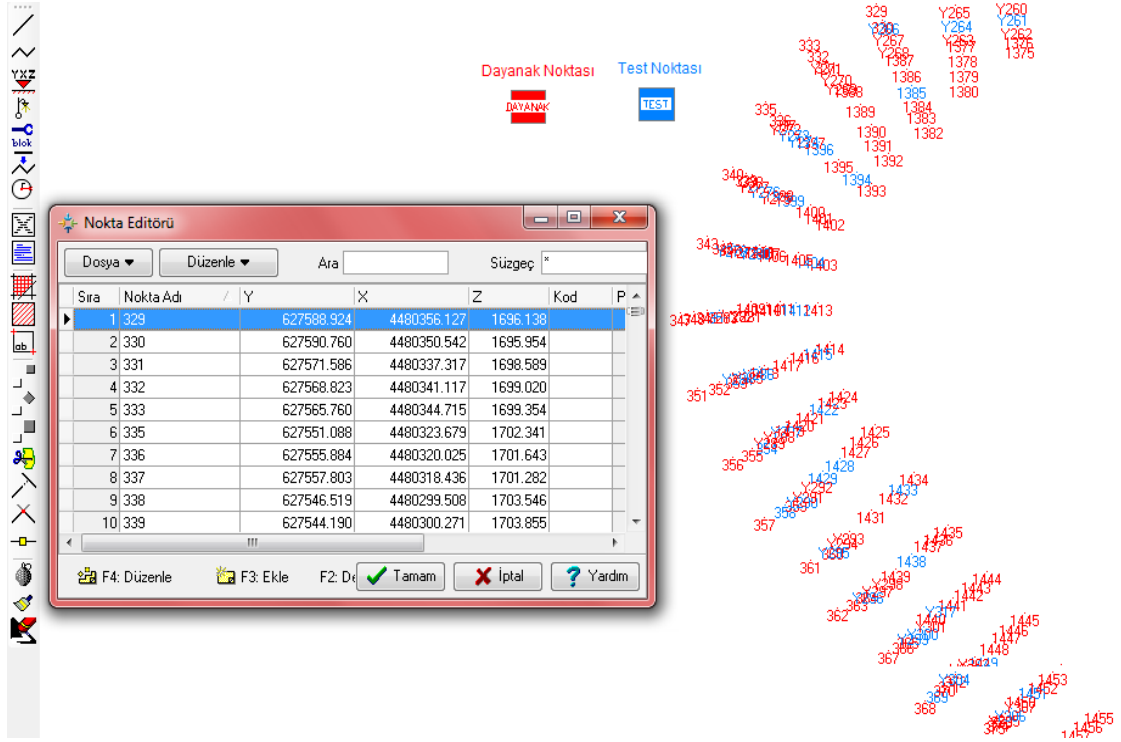
Uygulama alanından elde ettiğimiz noktalar öncelikle excel dosyasında açılmıştır. Açılan excel dosyasındaki koordinatlar, kayıt türü olarak "CSV (Virgülle Ayrılmış)" şeklinde kaydedilmiştir. ArcGIS 10.7 yazılımını açarak Catalog sekmesinden excel formatında kaydedilen dosyaya sağ tıklayarak Create Feature Class> From XY Table sekmesi kullanılmıştır. Açılan pencerede koordinat sistemi ve kullanacağımız noktaların yerleri seçilmiştir. Bu işlemler uygulandıktan sonra, shape uzantılı nokta dosyamız oluşturulmuştur ve ArcGIS yazılımına noktalarımız aktarılmıştır.



Şekil 3.10. ArcGIS yazılımına aktarılan dayanak ve test noktalarının örnek görüntüsü

3.4.2. NetCAD yazılımına aktarma

Uygulama alanından elde ettiğimiz noktaları NetCAD 5.1 yazılımına aktarmak için, text formatındaki dosyayı NetCAD yazılımından Hesap> Nokta Editörü sekmesini kullanarak ve dosya türü olarak da "nokta dosyaları" seçerek NetCAD yazılımına noktalar aktarılmıştır. Ancak bu işlemleri yaparken aktarılan noktaların projeksiyon sistemleri kesinlikle kontrol edilmelidir.



Şekil 3.11. NetCAD yazılımına aktarılan dayanak ve test noktalarının örnek görüntüsü

3.5. Enterpolasyon Yöntemleri

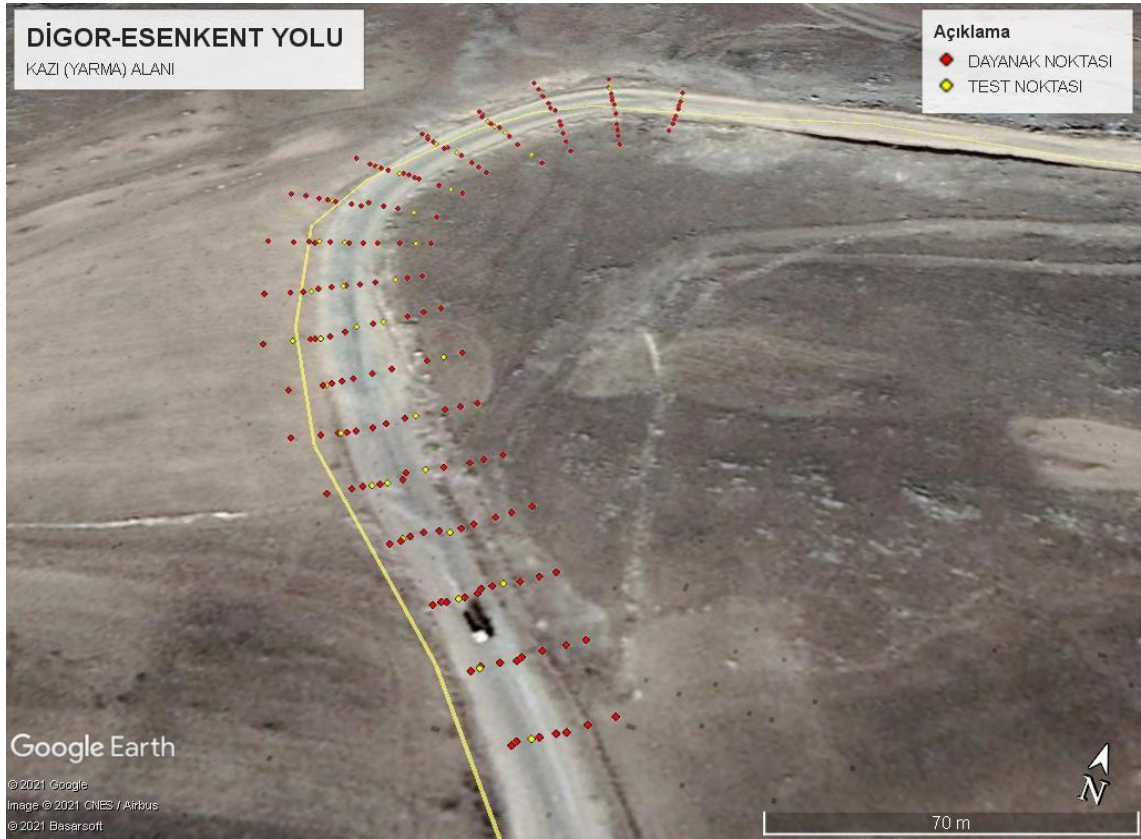
Uygulamada yöntem olarak, uygulama alanında elde edilen dayanak noktalarıyla ArcGIS 10.7 yazılımında Geoistatistik Analiz modülü kullanılarak Ters Mesafe Ağırlıklandırma (IDW), Lokal Polinomlarla Enterpolasyon, Multikvadrik ve Ordinary Kriging Enterpolasyon yöntemleri kullanılarak SAM' leri elde edilmiştir. Bu enterpolasyon yöntemlerinin KOH değerleri karşılaştırılarak en doğru, en güvenilir ve gerçeğe en yakın yüzey modeli öngörme imkanı sağlanmıştır.

Ayrıca ArcGIS yazılımında elde edilen yüzey modellerden farklı olarak, yine aynı yol güzergahından toplanan ölçme noktaları kullanılarak NetCAD 5.1 yazılımı Netsurf modülünde Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme yöntemiyle yeni yüzey modeller elde edilmiştir.

Elde edilen tüm yüzey modeller kullanılarak, NetCAD yazılımında üç farklı kesit alanına ait "kse" uzantılı dosyalar oluşturulmuştur. Üç farklı kesit alanı için, siyah (doğal) zeminden ve terasman yüzeyden oluşturulan 30 farklı "kse" dosyaları kullanılarak NetCAD yazılımında hacim hesapları yapılmıştır. Elde edilen hacim

değerleri ve miktarları arasında karşılaştırmalar yapılarak en uygun yüzey model ve enterpolasyon yöntemi belirlenmiştir.

Uygulamada Digor-Esenkent Yolu güzergahında belirlenen kazı (yarma) alanına ait dayanak ve test noktalarının Google Earth yazılımında görünümü Şekil 3.12' de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Google Earth, dayanak ve test noktalarının örnek görünümü

3.5.1. Geoistatistik analiz

Uygulamanın bu aşamasında, Digor-Esenkent yolunun uygulama için belirlenen kilometrelerde üç farklı kesit alanından (dolgu, kazı ve karışık) toplanan dayanak noktaları ArcGIS yazılımına aktarılmıştır. ArcGIS yazılımında Customize> Toolbars sekmesi kullanılarak Geoistatistik Analiz modülü seçilmiştir, çünkü bu işlem bize daha kolay ve daha seri çalışma imkanı sağlamaktadır. Buradan Geoistatistik Analiz> Geostatistical Wizard işlem adımları ile çalışmada kullanılacak olan enterpolasyon yöntemleri sırası ile seçilmiştir. Bu işlemler kullanılacak olan 4 farklı enterpolasyon yöntemine de uygulanmıştır.

Digor-Esenkent yolunda, üç farklı kesit alanından elde edilen ve yükseklik değerleri bilinen dayanak noktaları kullanılarak Geoistatistik Analiz modülünde enterpolasyon yöntemleriyle farklı yüzey modeller oluşturulmuştur ve KOH değerleri hesaplanmıştır. Burada elde edilen yüzey modellerden test noktalarının enterpolasyon yükseklik değerleri ile araziden seçilen test noktalarının gerçek yükseklik değerleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Tüm bu işlemler, hem siyah (doğal) zemine hem de terasman yüzeyine uygulanmıştır.

Ayrıca Geoistatistik Analiz modülü kullanılarak üç farklı kesit alanı için, siyah (doğal) zeminde ve terasman yüzeyindeki dayanak noktalarının Histogram ve Normal QQPlot grafikleri çizilerek elde edilen değerler grafik ve tablolar halinde gösterilmiştir.

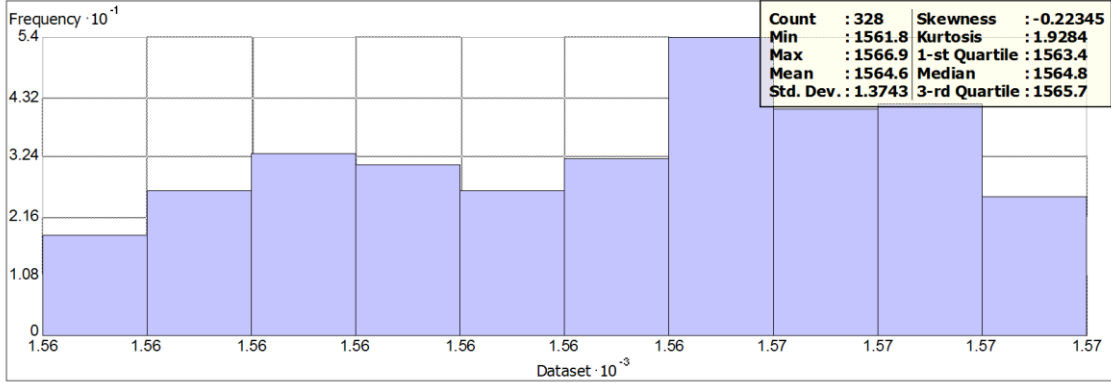
Histogram

Histogram, veri setindeki noktaların dağılımını sütun grafiğinde yorumlamak amacıyla kullanılmaktadır. Histogram grafiği, dikdörtgen şeklindeki bitişik dikmelerden oluşur. Veri setindeki noktaların hangi alanlarda ve hangi sıklıkta toplandığını gösteren bir grafik türüdür. Histogramlar verilerin merkezi değerleri hakkında çok fazla bilgi vermezler. Histogram grafiği kullanılarak veri seti hakkında ortalama, ortanca, standart sapma, çarpıklık, minimum ve maksimum yükseklik değerleri gibi sonuçlar elde edilmektedir.

Histogram grafiğinde, ortalama değeri ile ortanca değeri birbirine yakın değerlerde çıkıyor ise bu histogram grafiğinin normal dağılımlı olduğunu gösterir. Ortalama ve ortanca değeri, dağılımın merkezini tanımlamaktadır. Ortalama verilerin aritmetik ortalaması, ortanca verilerin orta noktasıdır. Çarpıklık, dağılımın şeklini tanımlamaktadır. Çarpıklık değeri, 1' in altında olmalıdır ve 1 değerinin üzerinde olduğu zamanlarda log (logaritmik) dönüşüm ile istenilen değeri elde edilebilir. Varyans, veri dağılımının ortalamadan ne kadar saptığını gösterir. Standart sapma, varyansın kareköküdür ve ortalama değeri etrafında oluşan yayılmayı ölçmek için kullanılır. Çeyrek değerler aralığı ise, verilerin değişkenlik derecesini ölçmek için kullanılmaktadır.

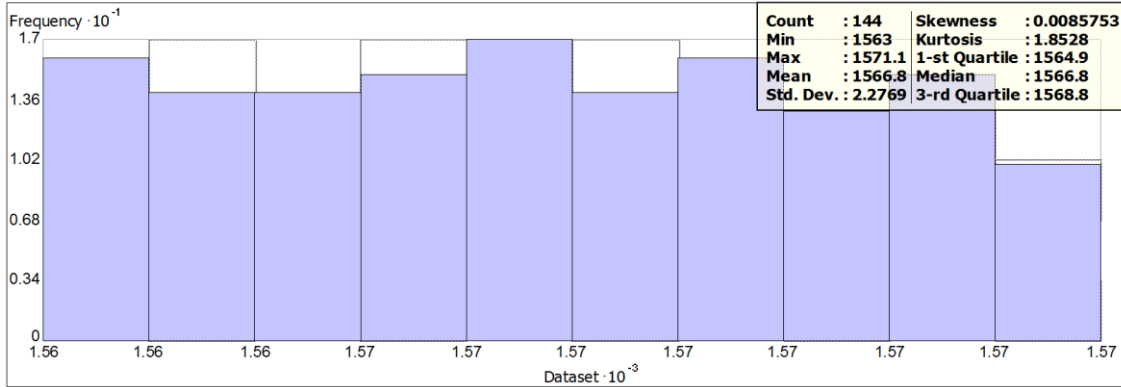
Geoistatistik Analiz modülü kullanılarak üç farklı kesit alanında, siyah (doğal) zemin ile terasman yüzeyinden elde edilen dayanak noktalarının histogram grafikleri çizilmiştir. Histogram grafiği ile elde edilen sonuçların, istatistiksel değerleri hakkında yorumlama ve değerlendirmeler yapılmıştır. Uygulamada kullanılan veri setinin, nasıl bir dağılım sergilediğini öngörme şansı elde edilmiştir.

Histogram
Transformation: None



Dataset : DOLGU SİYAH DAYANAK Attribute: Field4

Histogram
Transformation: None



Dataset : DOLGU TERASMAN DAYANAK Attribute: Field4

Şekil 3.13. Dolgu kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafiği

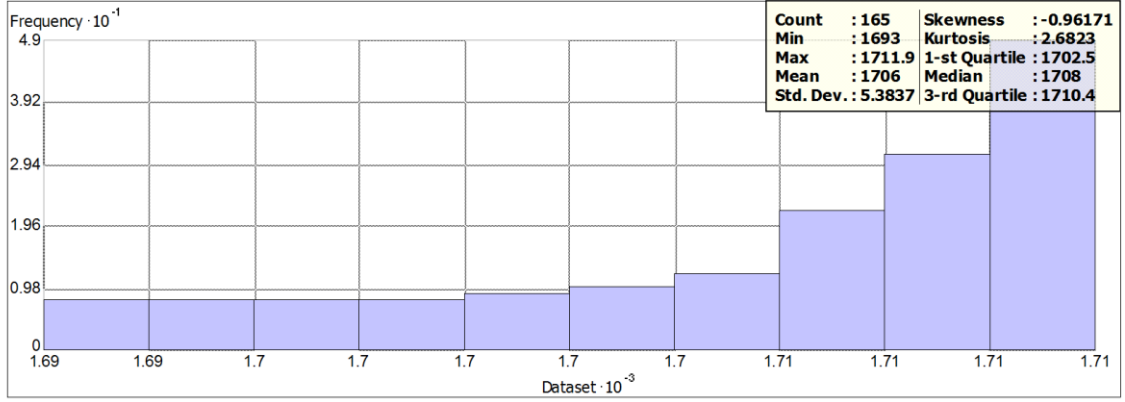
Tablo 3.8. Dolgu kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafik değerleri

SİYAH		TERASMAN	
Nokta sayısı	328.0	Nokta sayısı	144.0
Minimum	1561.8	Minimum	1563.0
Maximum	1566.9	Maximum	1571.1
Ortalama	1564.6	Ortalama	1566.8
Standart sapma	1.37	Standart sapma	2.28
Çarpıklık	-0.22	Çarpıklık	0.01
Basıklık	1.93	Basıklık	1.85
1. dördül	1563.4	1. dördül	1564.9
Ortanca	1564.8	Ortanca	1566.8
3. dördül	1565.7	3. dördül	1568.8

Dolgu kesit alanından elde edilen dayanak noktalarının, histogram grafiği ve istatistiksel sonuçları Şekil 3.13 ve Tablo 3.8' de gösterilmiştir. Tablo 3.8' deki istatistiksel sonuçlara göre, öncelikle siyah zeminden elde edilen dayanak noktalarının ortalama ve ortanca değerlerine bakıldığında birbirine yakın değerler çıktığı görölmektedir. Ancak veri seti normal bir dağılım sergilememiştir. Veri dağılımının, sola çarpık (negatif eğimli) olduğu gözlemlenmiştir. Çarpıklık değeri 1' den küçük çıkmıştır ve tolere edilebilir bir değerdir.

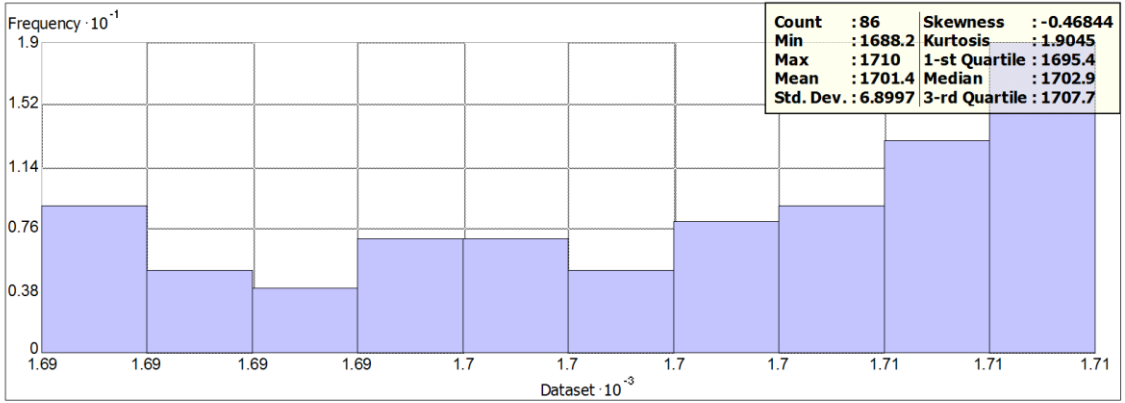
Dolgu terasman yüzeyinden elde edilen dayanak noktalarının histogram grafiği ve istatistiksel sonuçlarına bakıldığında ortalama ve ortanca değerlerin aynı çıktığı görölmektedir. Burada siyah zeminde kullanılan veri setine göre normal dağılıma daha yakın bir dağılım sergilenmiştir. Veri dağılımının, sağa çarpık (pozitif eğimli) olduğu gözlemlenmiştir. Siyah zeminde olduğu gibi çarpıklık değeri 1' den küçük çıkmıştır ve tolere edilebilmektedir.

Histogram
Transformation: None



Dataset : KAZI SİYAH DAYANAK Attribute: Field4

Histogram
Transformation: None



Dataset : KAZI TERASMAN DAYANAK Attribute: Field4

Şekil 3.14. Kazı kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafiği

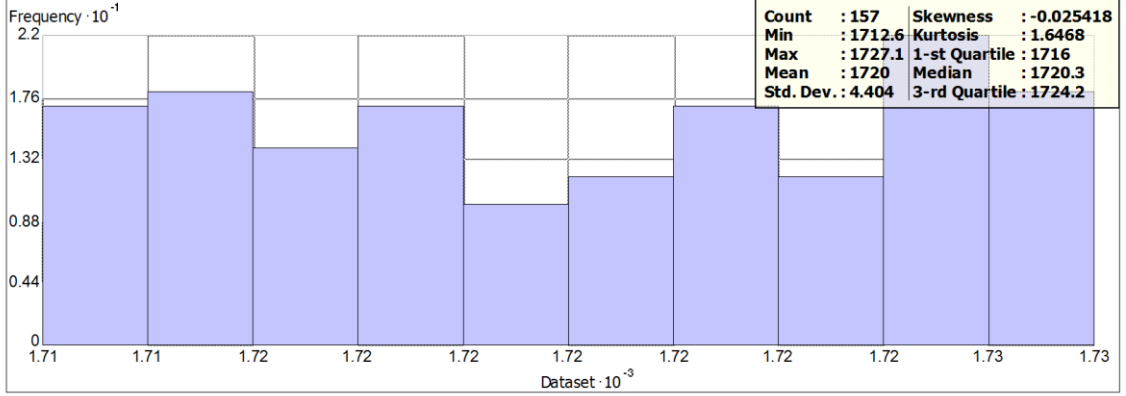
Tablo 3.9. Kazı kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafik değerleri

KAZI			
SİYAH		TERASMAN	
Nokta sayısı	165.0	Nokta sayısı	86.0
Minimum	1693.0	Minimum	1688.2
Maximum	1711.9	Maximum	1710.0
Ortalama	1706.0	Ortalama	1701.4
Standart sapma	5.38	Standart sapma	6.90
Çarpıklık	-0.96	Çarpıklık	-0.47
Basıklık	2.68	Basıklık	1.90
1. dördül	1702.5	1. dördül	1695.4
Ortanca	1708.0	Ortanca	1702.9
3. dördül	1710.4	3. dördül	1707.7

Kazı kesit alanlarından elde edilen dayanak noktalarının, histogram grafiği ve istatistiksel sonuçları Şekil 3.14 ve Tablo 3.9' da gösterilmiştir. Tablo 3.9' daki istatistiksel sonuçlara göre, öncelikle siyah zeminden elde edilen dayanak noktalarında ortalama ve ortanca değlerlerin birbirine yakın değler çıkmadığı görölmektedir. Burada veri seti normal bir dağılım sergilememektedir. Veriler simetrik bir dağılım göstermemiştir. Çarpıklık değeri (-0.96) çıkmıştır ve veri dağılımının, sola çarpık (negatif eğimli) olduğu gözlemlenmiştir. Çarpıklık değeri 1' den küçük olduğu için tolere edilebilir bir değerdir.

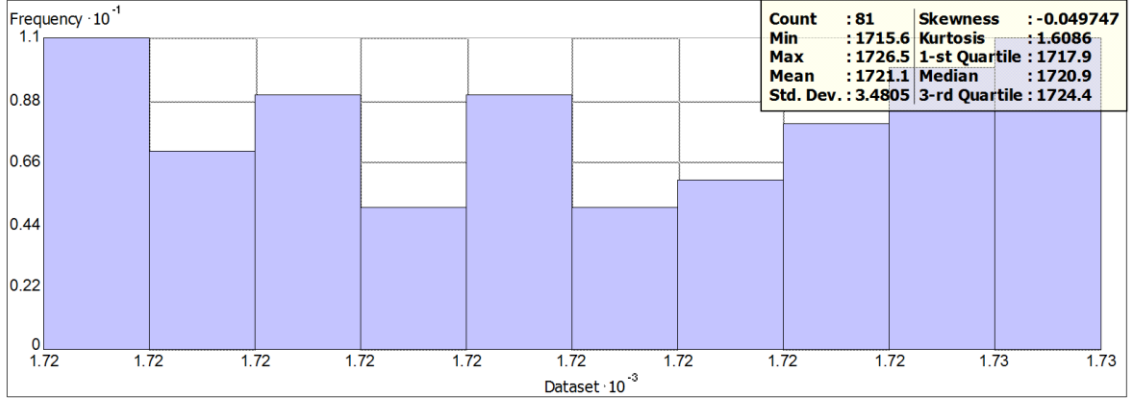
Kazı terasman yüzeyinden elde edilen dayanak noktalarının histogram grafiği ve istatistiksel sonuçlarına göre, siyah zeminde olduğu gibi ortalama ve ortanca değler birbirine yakın değler çıkmamıştır. Elde edilen bu sonuca göre veri seti normal bir dağılım sergilememektedir ve Şekil 3.14' deki histogram grafiğine bakıldığında veri setinin simetrik bir dağılım göstermeği görölmektedir. Veri dağılımının, sola çarpık (negatif eğimli) olduğu gözlemlenmiştir. Çarpıklık değeri, (-0.47) çıkmıştır ve bu değeri 1' den küçük olduğu için tolere edilebilir bir değerdir.

Histogram Transformation: None



Dataset : KARIŞIK SİYAH DAYANAK Attribute: Field4

Histogram Transformation: None



Dataset : KARIŞIK TERASMAN DAYANAK Attribute: Field4

Şekil 3.15. Karışık kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafiği

Tablo 3.10. Karışık kesit alanı dayanak noktalarının, histogram grafik değerleri

KARIŞIK			
SİYAH		TERASMAN	
Nokta sayısı	157.0	Nokta sayısı	81.0
Minimum	1712.6	Minimum	1715.6
Maximum	1727.1	Maximum	1726.5
Ortalama	1720.0	Ortalama	1721.1
Standart sapma	4.40	Standart sapma	3.48
Çarpıklık	-0.02	Çarpıklık	-0.05
Basıklık	1.65	Basıklık	1.61
1. dördül	1716.0	1. dördül	1717.9
Ortanca	1720.3	Ortanca	1720.9
3. dördül	1724.2	3. dördül	1724.4

Karışık kesit alanından elde edilen dayanak noktalarının, histogram grafiği ve istatistiksel sonuçları Şekil 3.15 ve Tablo 3.10' da gösterilmiştir. Ortalama ve ortanca değerlerinin birbirine yakın değerler çıktığı görülmektedir. Ancak veri seti normal bir dağılım sergilememiştir. Çarpıklık değerinin, (-0.02) çıktığı görülmektedir ve veri dağılımının sola çarpık (negatif eğimli) olduğu gözlemlenmiştir. Çarpıklık değeri 1' den küçük çıkmıştır ve tolere edilebilir bir değerdir.

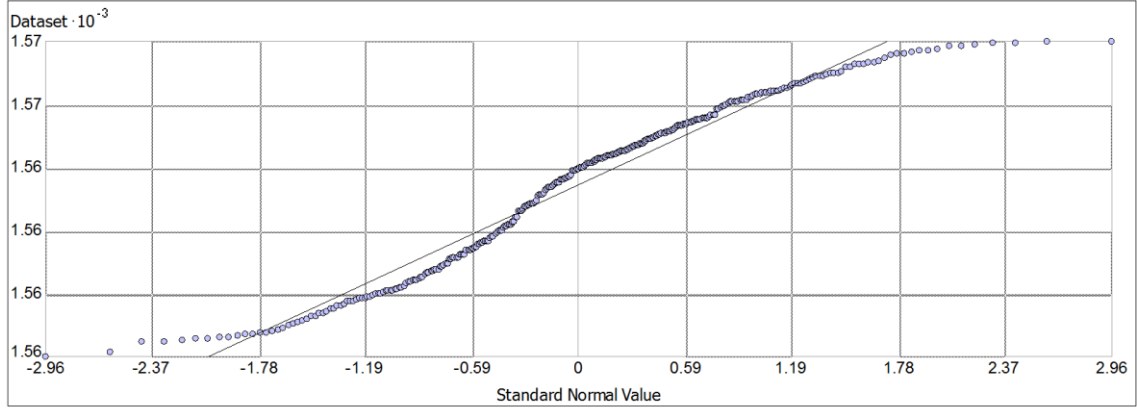
Karışık terasman yüzeyinden elde edilen dayanak noktalarının histogram grafiği ve istatistiksel sonuçlarına göre, veri seti siyah zeminde olduğu gibi terasman yüzeyde de normal bir dağılım sergilememektedir. Veri dağılımının, sola çarpık (negatif eğimli) olduğu gözlemlenmiştir. Çarpıklık değeri 1' den küçük çıktığı için tolere edilebilir bir değerdir.

Normal QQPlot

Normal QQPlot grafiğine başka bir deyişle, Normal Olasılık grafiği de denilmektedir. Normal QQPlot grafiği kullanılarak, verilerin dağılımı ve seçilmiş olan trendden sapan verilerin hangileri olduğu kolayca görülebilir (Yaprak, 2007). Veriler normal olarak dağılım sergilerse, noktalar 45 derecelik doğru hattına düşmektedir. Veriler normal olarak dağılım sergilemezse, noktaların doğru hattından saptığı görülmektedir. Noktalar düz bir çizgi oluşturmaya ne kadar yakınsa, veri setinin dağılımının o kadar normal olduğu sonucuna varılır.

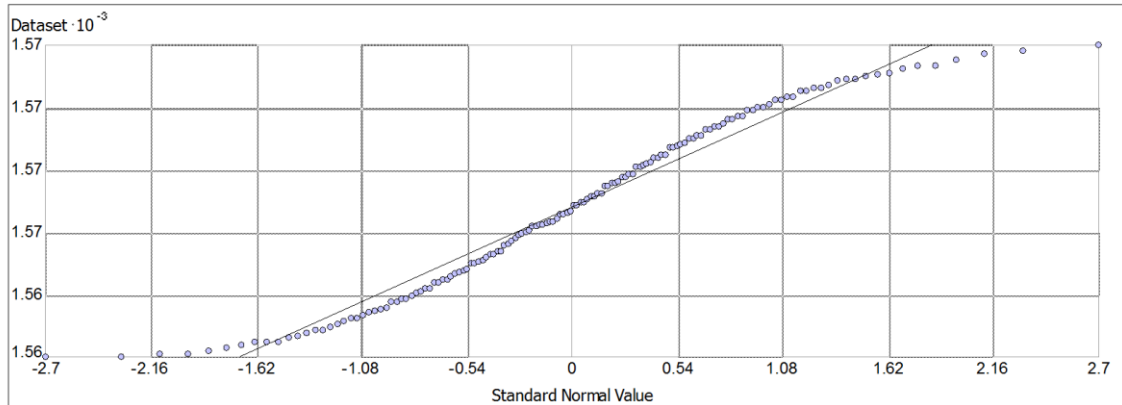
Geoistatistik Analiz modülü kullanılarak üç farklı kesit alanında siyah zemin ve terasman yüzeyinden toplanan dayanak noktalarının Normal QQPlot grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafiklere göre karşılaştırmalar yapılarak, nokta verilerinin dağılımı ve trendden sapan veriler gözlemlenmiştir.

Normal QQPlot Transformation: None



Dataset : DOLGU SİYAH DAYANAK Attribute: Field4

Normal QQPlot Transformation: None

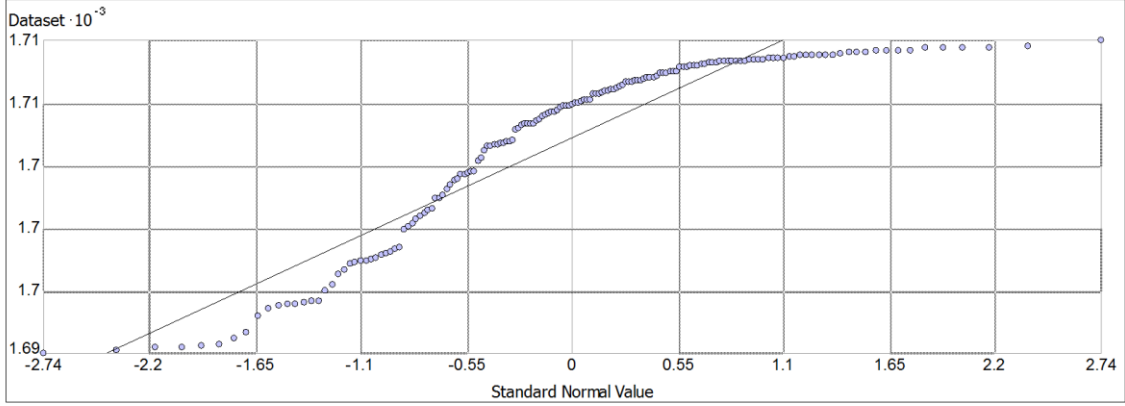


Dataset : DOLGU TERASMAN DAYANAK Attribute: Field4

Şekil 3.16. Dolgu kesit alanı dayanak noktaları, Normal QQPlot grafiği

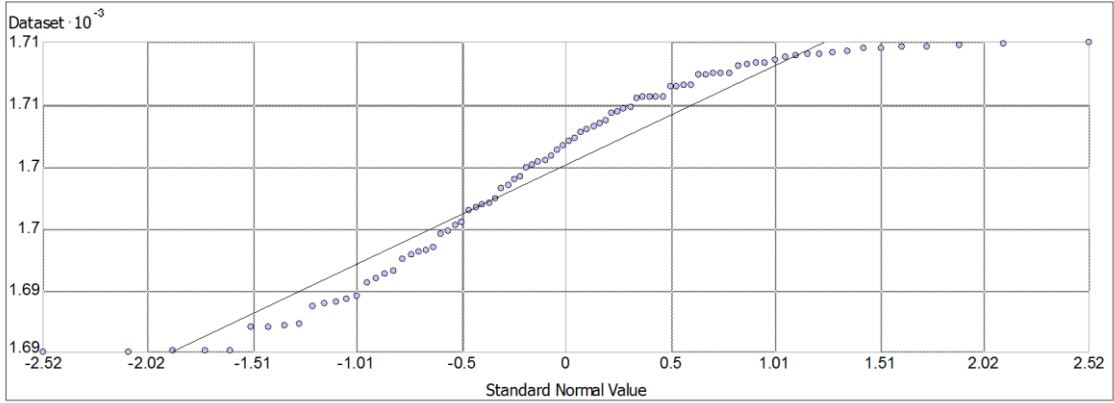
Dolgu kesit alanında siyah (doğal) zemin ve terasman yüzeyden toplanan dayanak noktaları kullanılarak çizilen Normal QQPlot grafikleri Şekil 3.16' da gösterilmiştir. Şekil 3.16' da görüldüğü gibi grafiklerde 45 derecelik doğru hattından sapan noktalar ve dalgalanmalar oluştuğu görülmektedir. Terasman yüzeyde kullanılan noktalar 45 derecelik doğru hattına daha yakın bir dizilim sergilemektedir. Terasman yüzeyde kullanılan noktalar siyah zemine göre normal dağılıma daha yakın bir dizilim sergilemektedir.

Normal QQPlot
Transformation: None



Dataset : KAZI SİYAH DAYANAK Attribute: Field4

Normal QQPlot
Transformation: None

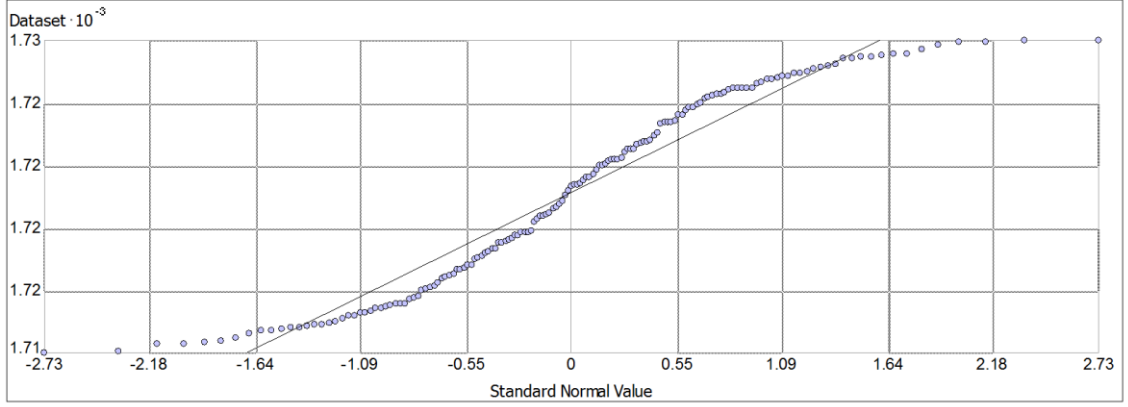


Dataset : KAZI TERASMAN DAYANAK Attribute: Field4

Şekil 3.17. Kazı kesit alanı dayanak noktaları, Normal QQPlot grafiği

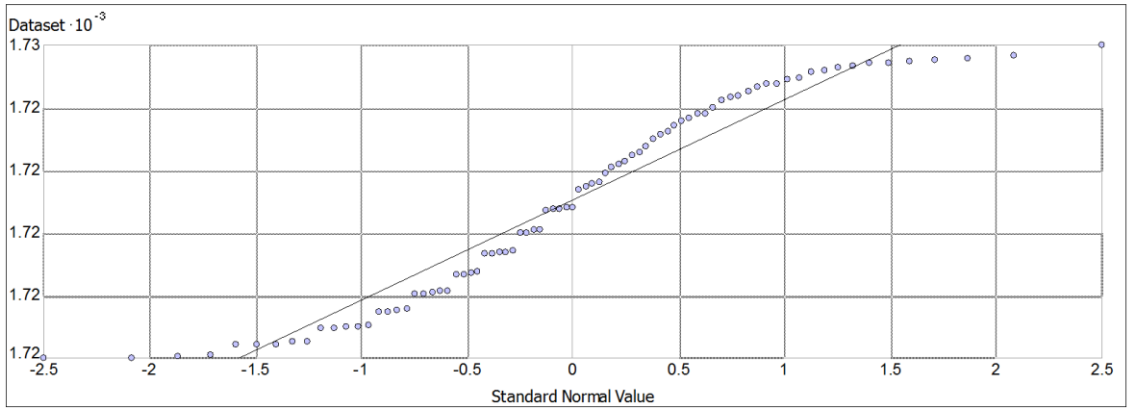
Kazı kesit alanında siyah (doğal) zemin ve terasman yüzeyden toplanan dayanak noktaları kullanılarak çizilen Normal QQPlot grafikleri Şekil 3.17' de gösterilmiştir. Siyah zemin ve terasman yüzeyinde oluşturulan her iki grafiğe bakıldığında birbirine benzer grafik ve sapma şekilleri görülmektedir. Şekil 3.17' de görüldüğü gibi dayanak noktaları, normal dağılım sergilemediği için 45 derecelik doğru hattından sapan noktalar görülmektedir. Trendden sapan noktalar ve dalgalanmalar oluşmaktadır.

Normal QQPlot
Transformation: None



Dataset : KARIŞIK SİYAH DAYANAK Attribute: Field4

Normal QQPlot
Transformation: None



Dataset : KARIŞIK TERASMAN DAYANAK Attribute: Field4

Şekil 3.18. Karışık kesit alanı dayanak noktaları, Normal QQPlot grafiği

Karışık kesit alanında siyah (doğal) zemin ve terasman yüzeyden toplanan dayanak noktaları kullanılarak çizilen Normal QQPlot grafikleri Şekil 3.18' de gösterilmiştir. Her iki grafikte de 45 derecelik doğru hattından sapan noktalar ve dalgalanmalar olduğu görülmektedir. Şekil 3.18' e bakıldığında siyah zemin ve terasman yüzeydeki veri setinde oluşan sapma şekillerinin birbirine benzer bir görünüm sergilemektedir.

En uygun enterpolasyon yöntemi ve parametrelerin seçilmesi

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW)

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yönteminde kullanılan güç parametreleri, bir grid köşesinden uzaklık arttığı esnada ağırlığın etkisinin nasıl azaldığını göstermektedir. (Soycan, 2002). Güç parametrelerinin, IDW enterpolasyon yöntemi sonucu üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Daha düşük bir güç parametresi, daha yumuşak bir enterpolasyon sonucu üretir; daha yüksek bir güç parametresi, daha ayrıntılı bir enterpolasyon sonucu üretir.

Daha yüksek bir güç parametresi tanımlayarak, en yakında bulunan noktalara daha fazla vurgu yapılabilir. Böylece, yakında bulunan veriler daha fazla etkiye sahip olacak ve yüzey daha fazla ayrıntılı olacaktır (daha az pürüzsüz olacak). Güç parametresi azaldıkça, daha uzak olan çevre noktalarına daha fazla etki sağlayacak ve daha yumuşak bir yüzey elde edecektir. Eğer güç parametresi çok büyükse, sonuçların yanlış olma ihtimali vardır.

Tablo 3.11. IDW enterpolasyon yönteminin, güç parametrelerine göre KOH değerleri

Power (p)	Siyah Zemin KOH Değeri (m)			Terasman Yüzey KOH Değeri (m)		
	Dolgu	Kazı	Karışık	Dolgu	Kazı	Karışık
1	0.38	0.33	0.31	0.14	0.29	0.18
2	0.28	0.26	0.28	0.11	0.18	0.15
3	0.25	0.25	0.27	0.10	0.15	0.15
4	0.24	0.25	0.26	0.09	0.14	0.15
5	0.24	0.26	0.26	0.09	0.14	0.15

Geoistatistik Analiz modülünde üç farklı kesit alanından toplanan dayanak noktalarına Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon yöntemi uygulanarak farklı güç parametreleri seçilmiştir. Üç farklı kesit alanında ($p = 1, 2, 3, 4, 5$) güç parametreleri seçilerek Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon yöntemi için en uygun güç parametre değeri belirlenmiştir. En uygun güç parametre değeri, IDW enterpolasyon yöntemi sonucunda

seçilen g parametrelerinde KOH değeri en küçük olan değere göre belirlenmiştir. Tüm bu işlemler, üç farklı kesit alanında hem siyah (doğal) zemine hem de terasman yüzeyine uygulanarak Tablo 3.11' de görüldüğü gibi 30 farklı KOH değeri hesaplanmıştır.

Tablo 3.11' de görüldüğü gibi çıkan sonuçlara göre, IDW enterpolasyon yönteminde kullanılacak olan en uygun güç parametreleri:

- Dolgu kesit alanındaki siyah zeminde ($p=4$), terasman yüzeyde ($p=4$),
- Kazı kesit alanındaki siyah zeminde ($p=3$), terasman yüzeyde ($p=5$),
- Karışık kesit alanındaki siyah zeminde ($p=4$), terasman yüzeyde ($p=3$),

şeklinde çıktığı grlmektedir. Uygulamada, IDW enterpolasyon yönteminde Tablo 3.11' de çıkan sonuçlar baz alınarak en uygun güç parametreleri seçilmiştir.

Lokal polinomlarla enterpolasyon

Çalışma yapılacak bölgede ilk önce kaçıncı dereceden polinomun kullanılacağı kestirilemez. Polinom derecesinin belirlenmesi için yüzey polinomunun derecesi ilk önce birinci dereceden başlatılarak dengeleme sonuçlarının istatistiksel analizleri sonucu belirlenir (Yiğit, 2003). Polinom derecesi arttıkça gerek duyulan dayanak noktasının sayısında artmaktadır. Bu yüzden dayanak noktalarının sayısı yeterli olmalıdır. Ayrıca polinomun derecesinin artmasıyla, yüzeyde gereksiz salınımlar da oluşmaktadır (İnal ve ark., 2002). Genellikle SAM tercih edilen polinom dereceleri 2. ve 3. derecedir.

Tablo 3.12. Lokal polinomlarla enterpolasyon yönteminin, polinom derecelerine göre KOH değerleri

Polinom Derecesi	Siyah Zemin KOH Değeri (m)			Terasman Yüzey KOH Değeri (m)		
	Dolgu	Kazı	Karışık	Dolgu	Kazı	Karışık
1	0.24	0.21	0.22	0.04	0.02	0.09
2	0.36	0.22	0.24	0.02	0.03	0.08
3	0.37	0.21	0.23	0.03	0.02	0.08
4	0.35	0.21	0.23	0.03	0.02	0.12
5	0.32	0.21	0.22	0.03	0.04	0.12

Geoistatistik Analiz modülünde dolgu ve kazı kesit alanlarından toplanan dayanak noktaları kullanılarak Lokal Polinomlarla Enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Lokal Polinomlarla Enterpolasyon yöntemine göre farklı polinom dereceleri ($n = 1, 2, 3, 4, 5$) kullanılarak elde edilen KOH değerleri Tablo 3.12' de gösterilmiştir. Üç farklı kesit alanı için siyah zemin ve terasman yüzeyindeki KOH değerleri en küçük çıkan polinom dereceleri belirlenmiştir. Tablo 3.12' deki değerlere göre, uygulamada kullanılabilecek en uygun polinom dereceleri saptanmıştır.

Tablo 3.12' de çıkan sonuçlara göre, Lokal Polinomlarla Enterpolasyon yönteminde kullanılabilecek en uygun polinom dereceleri:

- Dolgu kesit alanındaki siyah zeminde ($n=1$), terasman yüzeyinde ($n=2$),
- Kazı kesit alanındaki siyah zeminde ($n=1$), terasman yüzeyinde ($n=1$),
- Karışık kesit alanındaki siyah zeminde ($n=1$), terasman yüzeyinde ($n=2$),

şeklindedir. Uygulamadaki üç farklı kesit alanı için yukarıda belirlenen en uygun polinom dereceleri uygulanmıştır.

Radyal baz fonksiyonu (RBF)

RBF yönteminin amacı, aynı anda bütün dayanak noktalarını kullanarak arazi yüzeyini tek bir fonksiyonla ifade etmektir. Eğer dayanak noktaları ile enterpolasyon noktaları

arasındaki mesafeler artar ise dayanak noktalarının yüzey modeline olan katkısı azalmaktadır (Uluğtekin, 1994).

Tablo 3.13. Radyal baz fonksiyon yöntemleri ve KOH değerleri

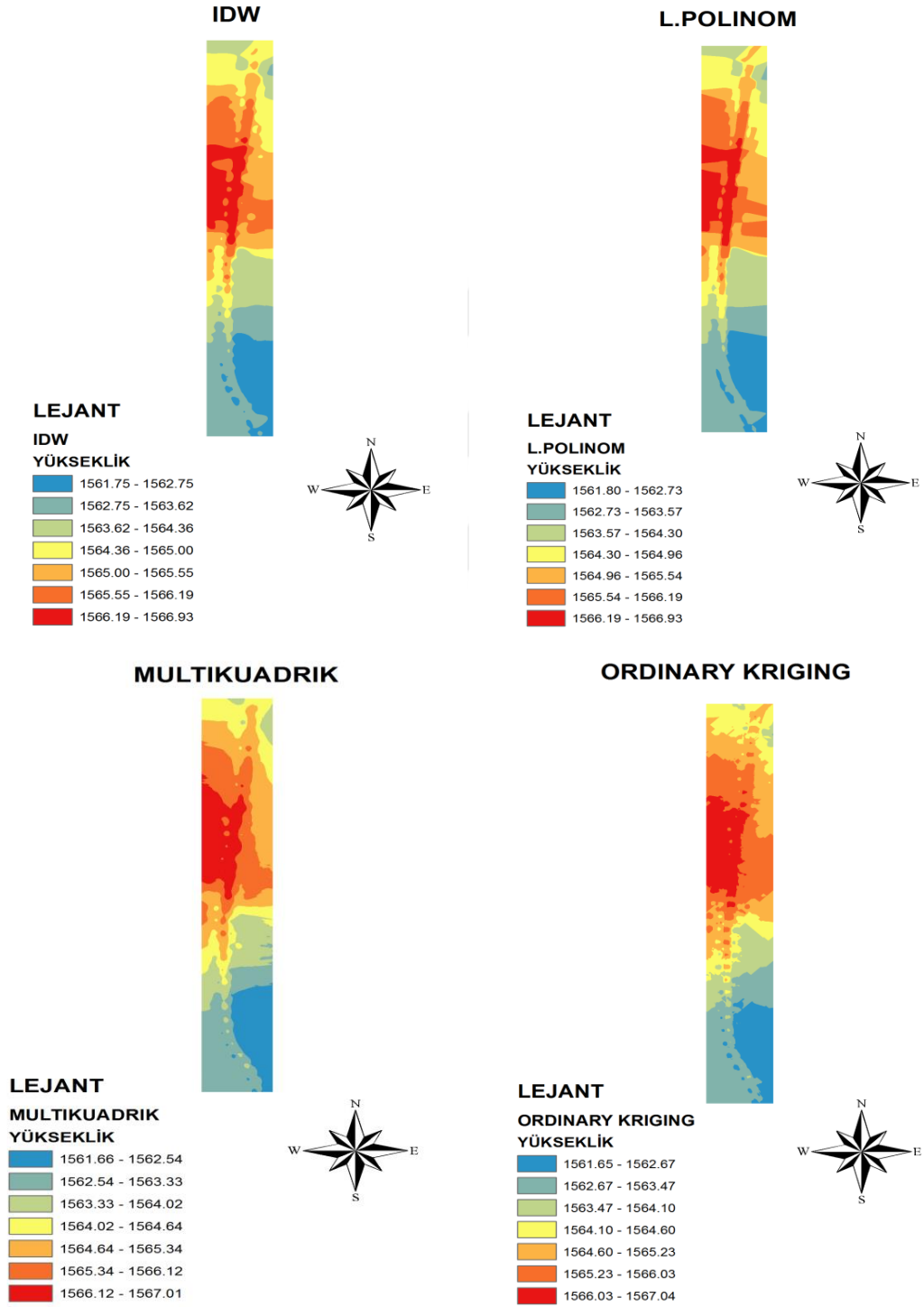
Kernel Fonksiyonu	Siyah Zemin KOH Değeri (m)			Terasman Yüzey KOH Değeri (m)		
	Dolgu	Kazı	Karışık	Dolgu	Kazı	Karışık
Completely Regularized Spline	0.20	0.22	0.22	0.04	0.05	0.14
Spline with Tension	0.19	0.20	0.20	0.02	0.02	0.12
Multikvadrik	0.19	0.19	0.19	0.02	0.02	0.12
Inverse Multiquadric	0.21	0.23	0.23	0.04	0.04	0.15
Thin Plate Spline	0.20	0.20	0.21	0.02	0.02	0.12

Radyal Baz Fonksiyon (RBF) yönteminde, bazı enterpolasyon fonksiyonları (kernel function) vardır. Bu fonksiyonlar ile uygulamada kullanılacak en uygun yüzey modeli elde etmek amaçlanmıştır. Geoistatistik Analiz modülündeki Radyal Baz Fonksiyonu yöntemi ile enterpolasyon fonksiyonları kullanılarak KOH değerlerine göre hangi fonksiyonun kullanılacağı tespit edilmiştir. Üç farklı kesit alanından toplanan dayanak noktaları kullanılarak siyah zemin ve terasman yüzeyinde elde edilen KOH değerleri Tablo 3.13' de gösterilmiştir. KOH değerleri karşılaştırılarak en küçük çıkan değerlere göre en uygun enterpolasyon fonksiyonu belirlenerek uygulamada o fonksiyon kullanılmıştır.

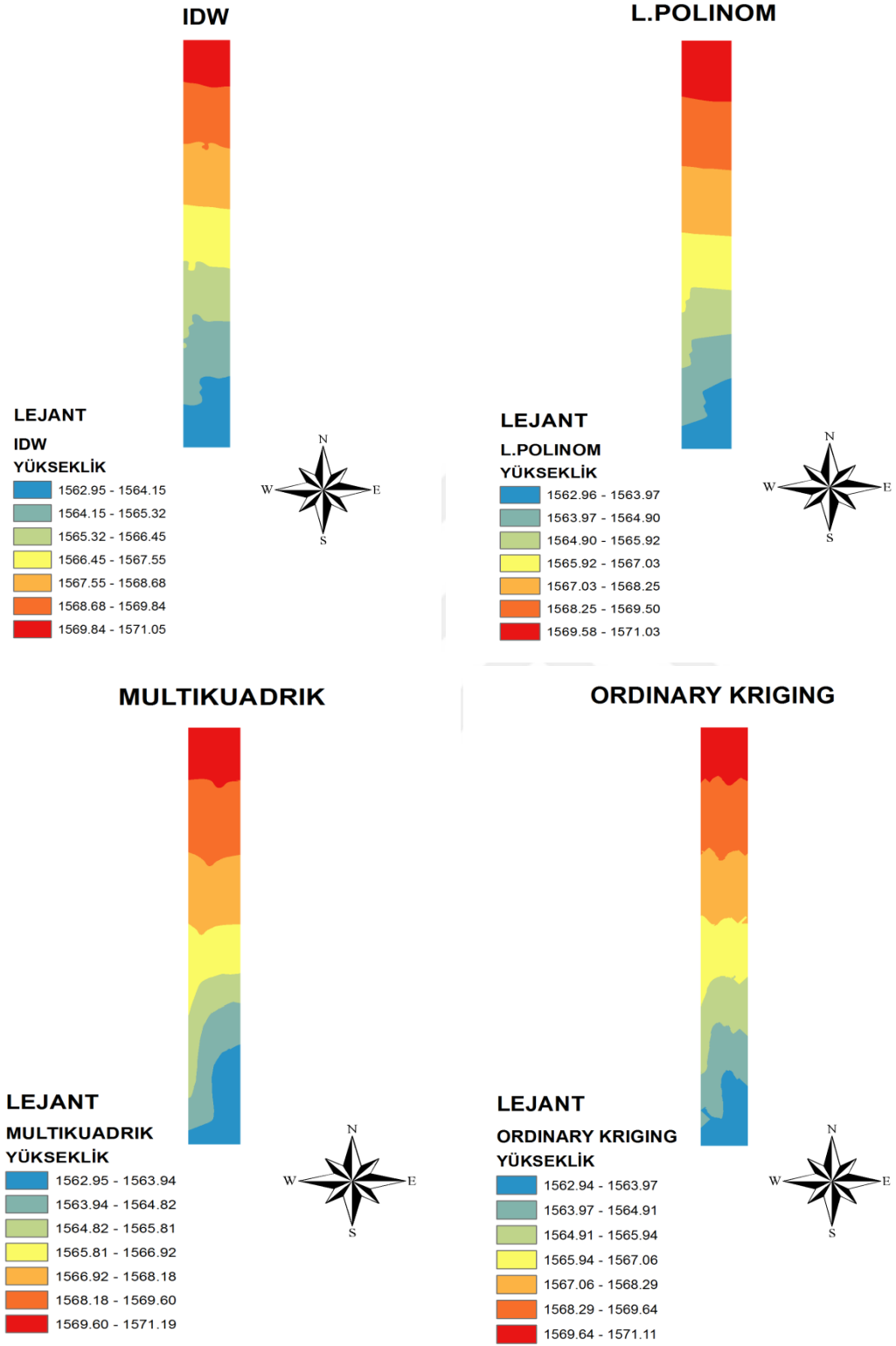
Tablo 3.13' de görüldüğü gibi 5 farklı enterpolasyon fonksiyon yöntemi kullanılarak elde edilen KOH değerlerine göre en küçük çıkan ve uygulamada kullanılabilecek olan en uygun fonksiyon Multikvadrik yöntemidir. Genel olarak en küçük KOH değerinin Multikvadrik enterpolasyon yönteminde olduğu görülmektedir. Bu nedenle Tablo 3.13'

de elde edilen değerler baz alınarak uygulamada kullanılması öngörülen fonksiyon Multikuadrik enterpolasyon yöntemi olarak belirlenmiştir.

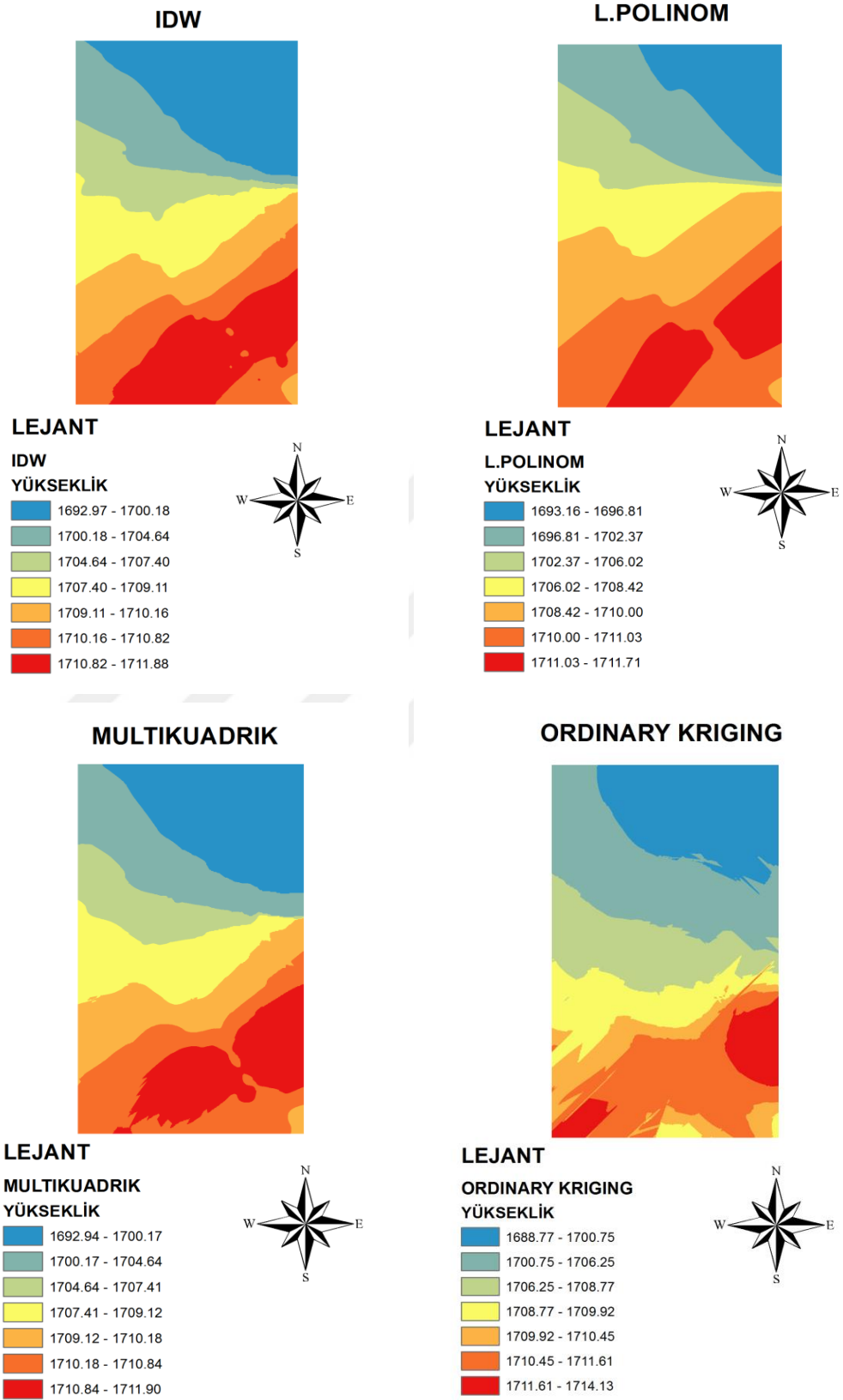
Enterpolasyon yöntemleri sonucu üretilen SAM haritaları



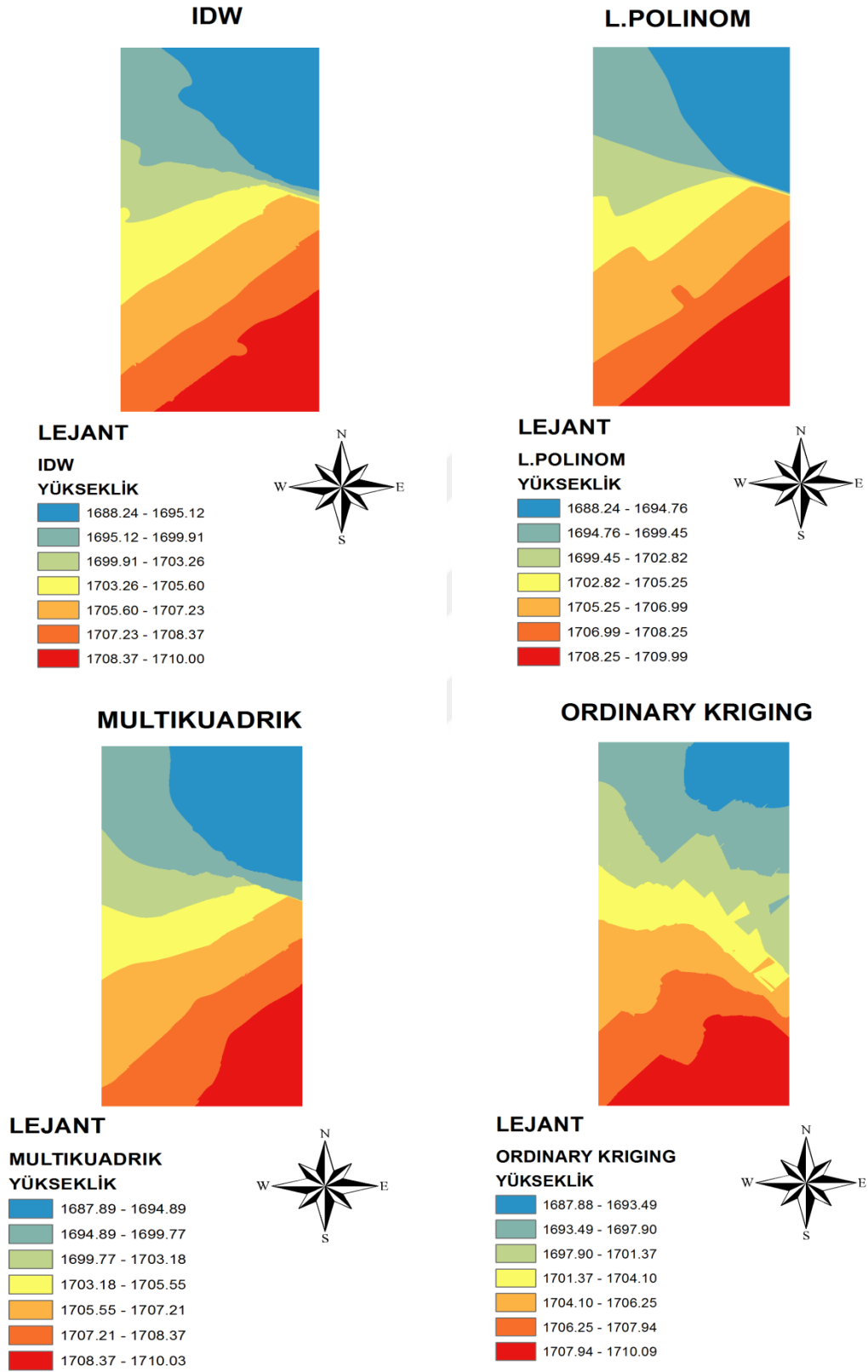
Şekil 3.19. Dolgu siyah zemin alanının, SAM haritaları



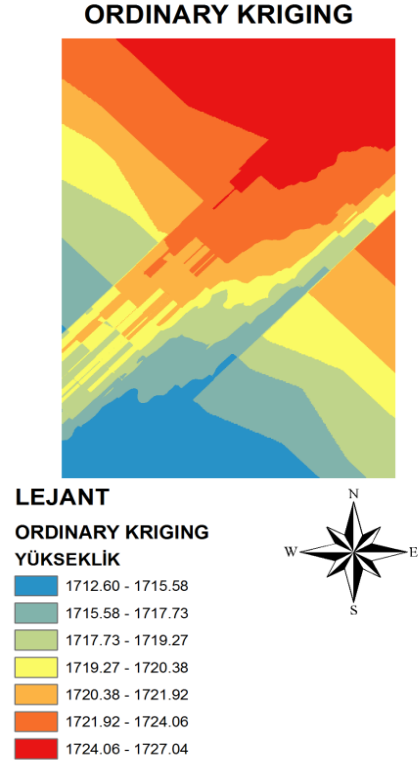
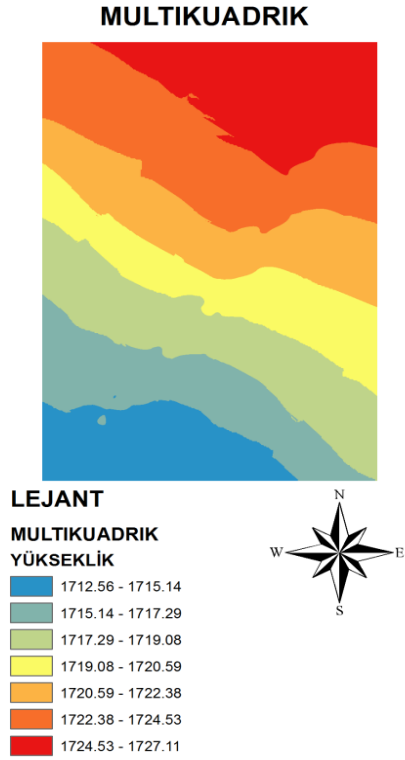
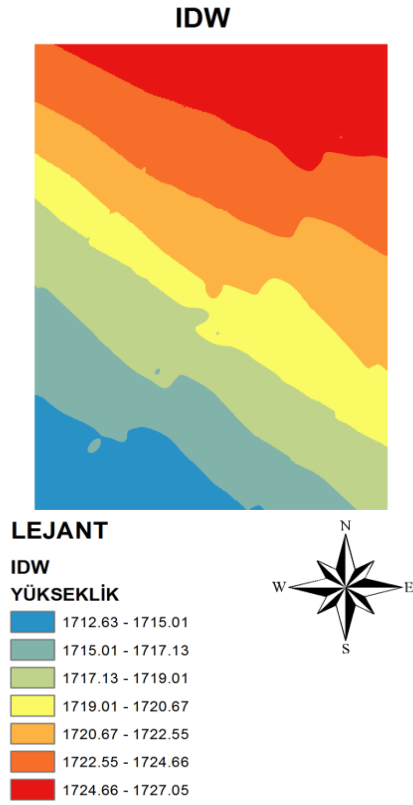
Şekil 3.20. Dolgu terasman yüzeyi alanının, SAM haritaları



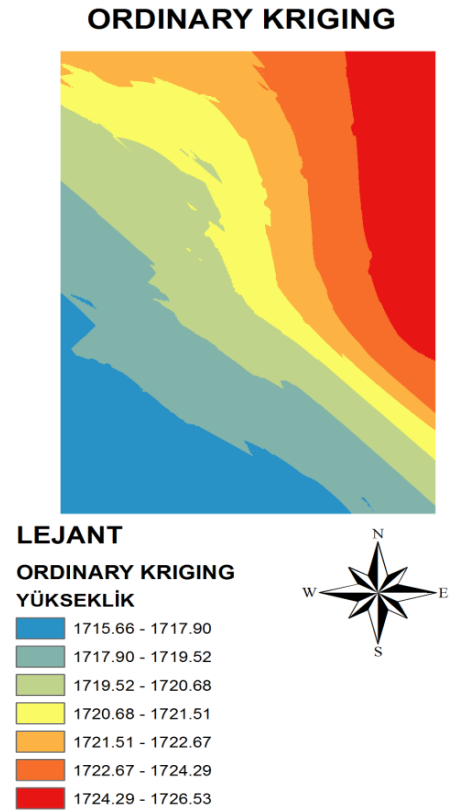
Şekil 3.21. Kazı siyah zemin alanının, SAM haritaları



Şekil 3.22. Kazı terasman yüzeyi alanının, SAM haritaları



Şekil 3.23. Karışık siyah zemin alanının, SAM haritaları



Şekil 3.24. Karışık terasman yüzeyi alanının, SAM haritaları

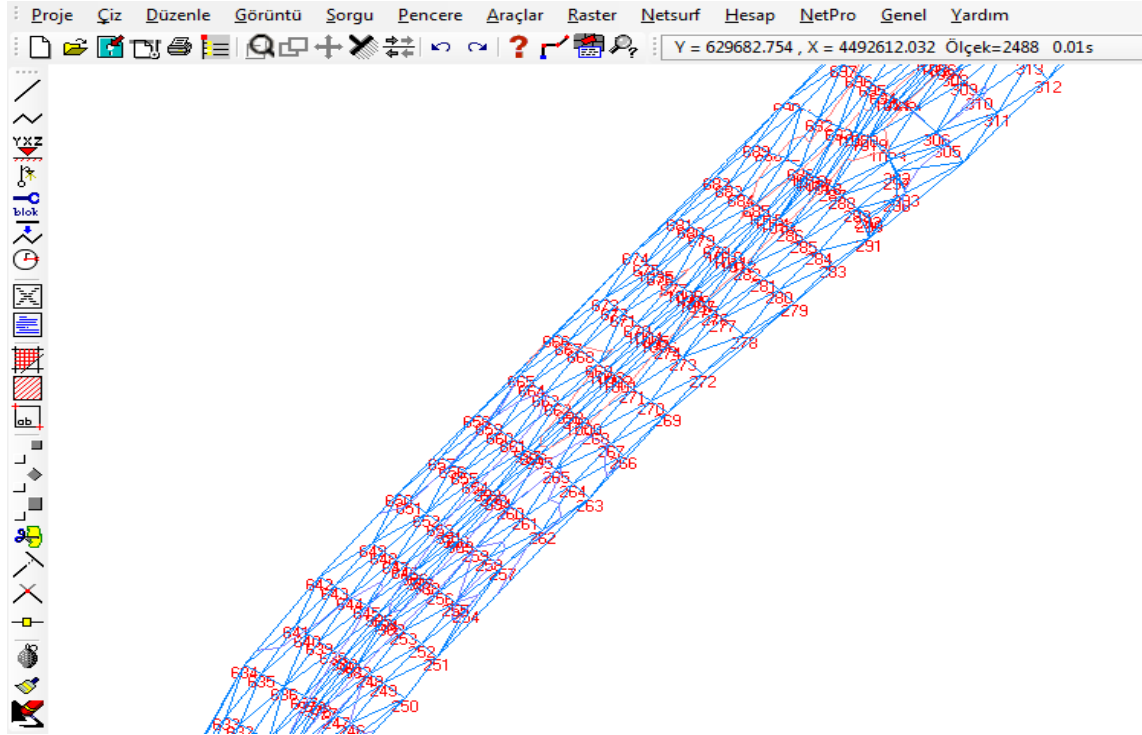
3.5.2. Üçgen model

Uygulama alanından toplanan ve NetCAD yazılımına aktarılan üç farklı kesit alanındaki ölçme noktalarıyla, Netsurf > Üçgen Oluştur sekmesi kullanılarak üçgen modeller oluşturulmuştur. Tabakalar bölümünden bozuk üçgenler silinmiştir ve gerekli öngörülen kontroller sağlanmıştır.

Üç farklı kesit alanından toplanan ölçme noktaları kullanılarak oluşturulan üçgen model yüzeyindeki en küçük ve en büyük yükseklik değerleri Tablo 3.14' de gösterilmiştir. Şekil 3.25' te de NetCAD yazılımında oluşturulan üçgen model görüntüsü gösterilmiştir.

Tablo 3.14. Üçgen model ile oluşturulan yüzeylerin en küçük ve en büyük H değerleri

	SİYAH		TERASMAN	
	En Küçük H Değeri (m)	En Büyük H Değeri (m)	En Küçük H Değeri (m)	En Büyük H Değeri (m)
DOLGU	1561.752	1566.965	1561.900	1571.051
KAZI	1690.896	1711.883	1687.783	1710.003
KARIŞIK	1712.472	1727.092	1715.627	1726.505



Şekil 3.25. NetCAD yazılımında oluşturulan üçgen model görüntüsü

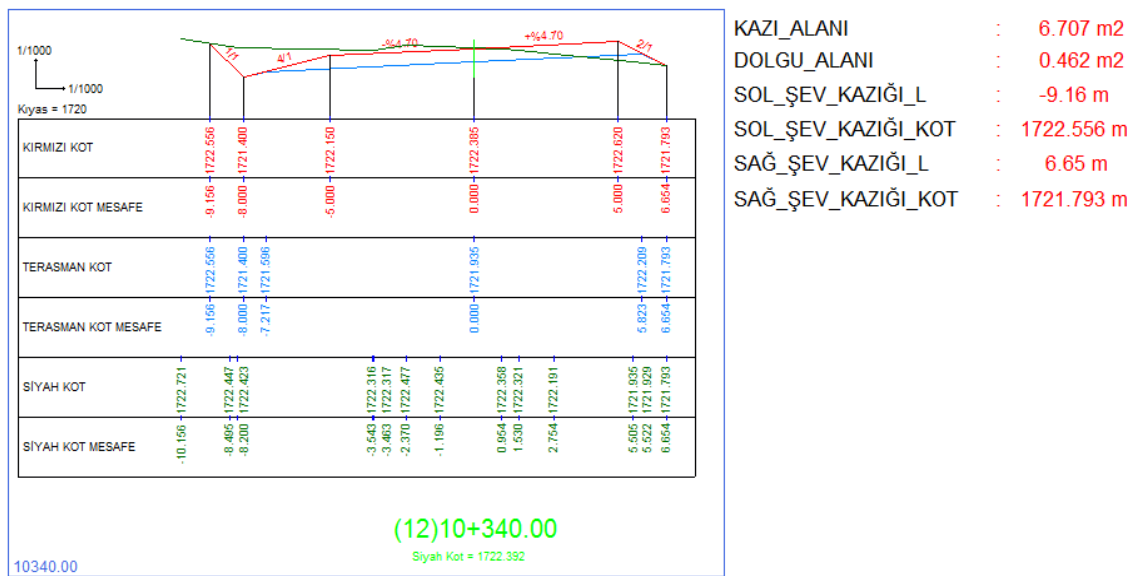
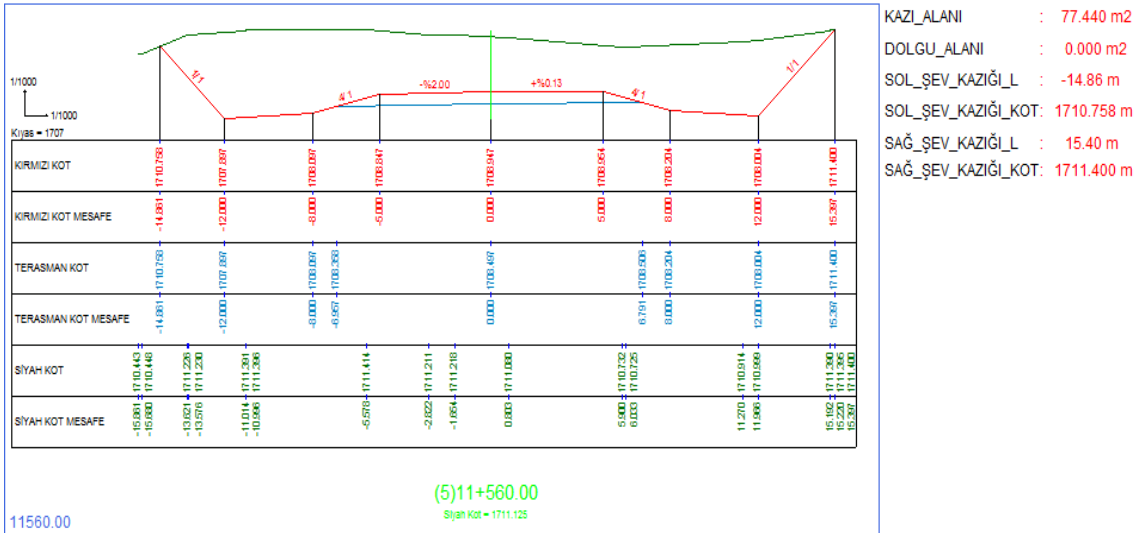
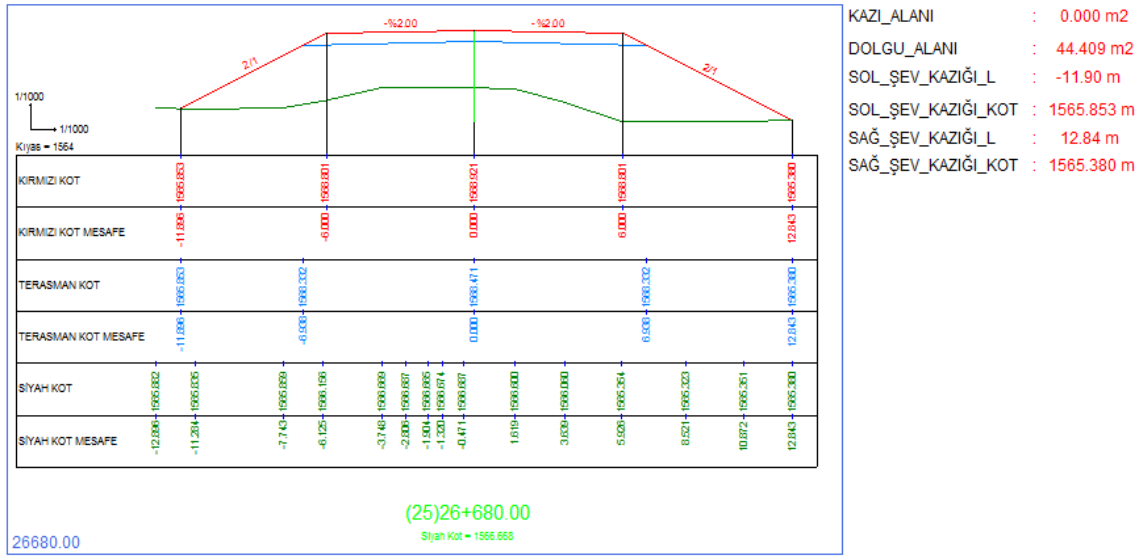
3.6. Hacim Hesapları

Uygulamada hacim hesapları, paralel kesitlerle hacim hesabı yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Paralel kesitler ile hacim hesabı yönteminde, arazi yüzeyi eşit aralıklarla düşey düzlemlerle bölünerek, paralel kesitler elde edilmektedir. Hacim hesapları, NetCAD yazılımında Netpro modülü kullanılarak yapılmıştır. Uygulama alanından elde edilen dayanak noktaları ve test noktalarının enterpolasyon yükseklik değerleri kullanılarak hacim hesapları yapılmıştır. Uygulamada dolgu ve kazı kesitleri olmak üzere, toplam 15 farklı hacim hesabı yapılmıştır ve çıkan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Netpro modülü kullanılarak öngörülen ayarlarda yüzeylerin enkesitleri de çizilmiştir.

NetCAD yazılımında üç farklı kesit alanının siyah zemin ve terasman yüzeyi için "kse" uzantılı dosyaları oluşturulduktan sonra yine NetCAD yazılımı ile Netpro> Kübaj Editörü sekmeleri izlenerek açılan pencere aracılığıyla Hesap> Alan Hesapla sekmeleri kullanılarak alan hesapları yapılmıştır. Açılan pencere de sonraki alım enkesitleri ve önceki alım enkesitleri bölümüne dikkat edilmelidir. Alan hesapları yapıldıktan sonra Hesap> Hacim Hesabı sekmeleri kullanılarak $(A1+A2)*L/2$ formülü ile hacim değerleri hesaplanmıştır. Dosya> Yaz> Hacimler Tablosu (TCK-Özet) sekmeleri ile kübaj cetvelleri oluşturulmuştur. Bu işlemler elde edilen 15 farklı yüzeye de uygulanarak hacim değerleri hesaplanmıştır.

Enkesit çizimleri için ise, yine Netpro modülü kullanılarak Enkesit> Enkesit çizimi sekmeleri aracılığıyla öngörülen ayarlarda enkesitlerin çıktıları alınabilmektedir. Şekil 3.26' da Digor-Esenkent yolunda üç farklı kesit alanına ait enkesit görüntüsü gösterilmiştir.

Kısacası, NetCAD yazılımı ile arazinin üçgen modeli oluşturulduktan sonra çizdirilen ve ard arda gelen her iki enkesitin alanlarının ortalaması alınarak ara mesafelerinin çarpımı ile hacim hesapları yapılmaktadır.



Şekil 3.26. Dıgor-Esenkent yolu, dolgu, kazı ve karışık kesit alanlarının enkesit görüntüsü

4. BULGULAR

Uygulamada, Digor-Esenkent Yolunun üç farklı kesit alanından toplanan dayanak noktaları kullanılarak, Geoistatistik Analiz modülü ile 4 farklı enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan enterpolasyon yöntemleri sonucunda üç farklı kesit alanından elde edilen KOH değerleri, Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3' de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Dolgu kesit alanı, KOH değerleri

DOLGU	SİYAH				TERASMAN			
Enterpolasyon Yöntemi	Dayanak Nokta Sayısı	Test Nokta Sayısı	Ortalama (m)	KOH (m)	Dayanak Nokta Sayısı	Test Nokta Sayısı	Ortalama (m)	KOH (m)
IDW	328	69	0.0015	0.244	144	16	0.0063	0.094
Lokal Polinom	328	69	0.0097	0.242	144	16	-0.0028	0.028
Multikuadrik	328	69	-0.0007	0.196	144	16	0.0011	0.029
OK	328	69	0.0093	0.198	144	16	0.0039	0.036

Tablo 4.2. Kazı kesit alanı, KOH değerleri

KAZI	SİYAH				TERASMAN			
Enterpolasyon Yöntemi	Dayanak Nokta Sayısı	Test Nokta Sayısı	Ortalama (m)	KOH (m)	Dayanak Nokta Sayısı	Test Nokta Sayısı	Ortalama (m)	KOH (m)
IDW	165	37	-0.0001	0.251	86	9	0.0187	0.145
Lokal Polinom	165	37	-0.0034	0.213	86	9	0.0034	0.027
Multikvadrik	165	37	-0.0059	0.190	86	9	-0.0009	0.027
OK	165	37	-0.0051	0.212	86	9	0.0009	0.029

Tablo 4.3. Karışık kesit alanı, KOH değerleri

KARIŞIK	SİYAH				TERASMAN			
Enterpolasyon Yöntemi	Dayanak Nokta Sayısı	Test Nokta Sayısı	Ortalama (m)	KOH (m)	Dayanak Nokta Sayısı	Test Nokta Sayısı	Ortalama (m)	KOH (m)
IDW	157	26	-0.0125	0.268	81	9	0.0193	0.151
Lokal Polinom	157	26	-0.0305	0.230	81	9	0.0026	0.085
Multikvadrik	157	26	-0.0235	0.197	81	9	0.0091	0.121
OK	157	26	-0.0128	0.203	81	9	-0.0015	0.098

Tablo 4.4. KOH değerlerinin karşılaştırılması (m)

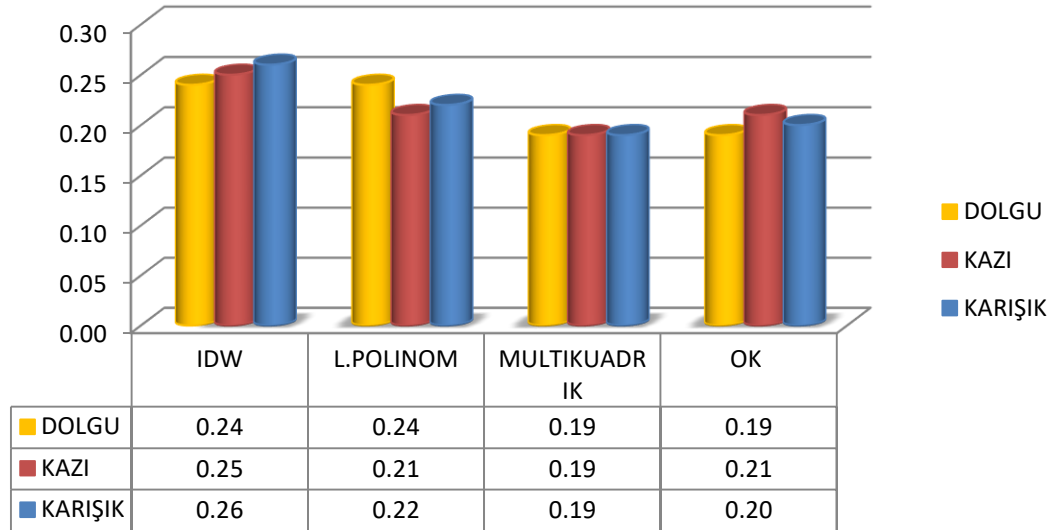
KOH	SİYAH			TERASMAN		
Enterpolasyon Yöntemi	Dolgu	Kazı	Karışık	Dolgu	Kazı	Karışık
IDW	0.24	0.25	0.26	0.09	0.14	0.15
Lokal Polinom	0.24	0.21	0.22	0.02	0.02	0.08
Multikvadrik	0.19	0.19	0.19	0.02	0.02	0.12
OK	0.19	0.21	0.20	0.03	0.02	0.09

Karesel Ortalama Hata (KOH) değeri bulunurken, enterpolasyon sonucu tahmin edilen yükseklik değerleri ile araziden alınan ölçme yükseklik değerlerinin farkı alınarak V_i değerleri bulunur. Daha sonra V_i değerlerinin kareleri alınarak $(V_i V_i)$, $\sum V_i V_i$ değeri hesaplanır. Aşağıdaki (4.1) formülünden KOH değeri hesaplanır.

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (4.1)$$

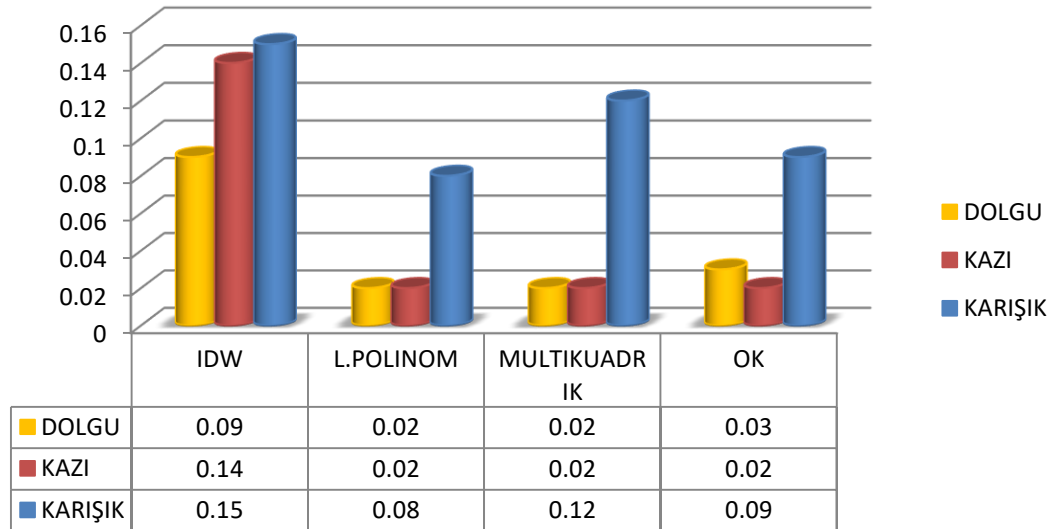
Tablo (4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4)' de görüldüğü gibi her yüzey ve uygulanan enterpolasyon yöntemi için ayrı ayrı KOH değeri hesaplanmıştır. KOH, genellikle ortalama hata değeri olarak da adlandırılmakta olup enterpolasyon yöntemleri ile elde edilen yüzey modellerden hangisinin daha güvenilir ve daha doğru sonuç verdiği hesaplanan KOH değeri ile karşılaştırılmıştır.

SİYAH



Şekil 4.1. Siyah zemin, KOH değerlerinin sütun grafiğinde gösterimi

TERASMAN



Şekil 4.2. Terasman yüzeyi, KOH değerlerinin sütun grafiğinde gösterimi

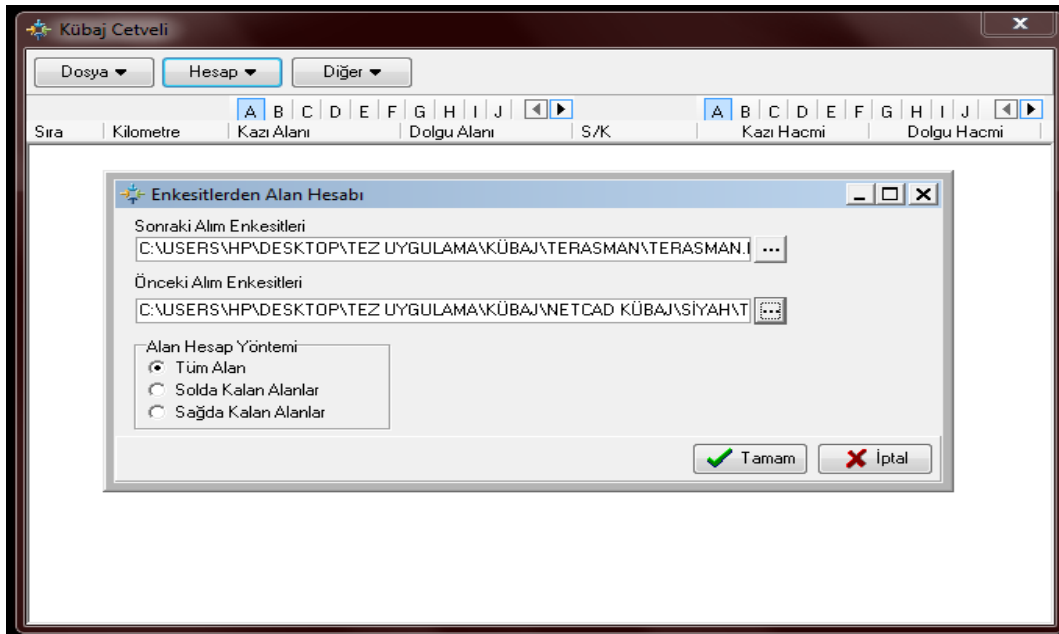
Tablo 4.4' de görüldüğü gibi KOH değerleri dolgu-kazı kesit alanlarına göre ve enterpolasyon yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Her üç farklı kesit alanı için **siyah zeminde**, genel olarak en küçük KOH değerini Multikvadratik enterpolasyon yöntemi vermiştir. IDW enterpolasyon yönteminin ise, genel olarak en büyük KOH

değerini verdiği görülmektedir. **Terasman yüzeyinde**, genel olarak en küçük KOH değerini L.Polinomlarla enterpolasyon yöntemi vermiştir. En büyük KOH değerini ise, siyah zeminde olduğu gibi terasman yüzeyinde de IDW enterpolasyon yönteminin verdiği görülmektedir.

Tablo 4.4' e genel olarak bakıldığında KOH değerlerinin nokta sayısı, nokta sıklığı, arazide oluşan ani kırılmalar, farklı enterpolasyon yöntemleri ve farklı yüzey alanlarına (siyah-terasma) göre değişkenlik gösterdiği sonucuna varmak mümkündür.

Doğru, güvenilir ve gerçeğe en yakın sonucu veren alan-hacim (kübaj) hesabı için, doğru ve güvenilir yüzey model elde edilmelidir. Bu bakımdan enterpolasyon yöntemlerinde KOH değerleri oldukça önemlidir. Özellikle karayolu sektöründe toprak işleri hacim hesabı çok fazla yapılmaktadır. KGM gibi kamu kurum ve kuruluşlarında yapılan bu hacim hesabı, maliyet açısından oldukça önemli bir yer almaktadır. Bu bakımdan da enterpolasyon yöntemleri ile oluşturulan SAM ve KOH değerleri oldukça önemlidir.

Hacim hesaplarında kullanılan SAM modelleri, doğru olmalıdır ve yüzeyi en gerçekçi bir şekilde yansıtmalıdır. Doğru ve gerçeğe yakın bir yüzey model kullanıldığında elde edilen hacim değerleri de o kadar doğru ve güvenilir sonuçları verecektir.



Şekil 4.3. NetCAD yazılımı, enkesitlerden alan hesabı ekran görüntüsü

NetCAD yazılımında yapılan hacim hesabında, terasman yüzeyden toplanan noktalar ile oluşturulan "kse" uzantılı dosya sonraki alım (üst yüzey), siyah (doğal) zeminden toplanan noktalar ile oluşturulan "kse" uzantılı dosya önceki alım (alt yüzey) olarak hacim hesaplama işleminde kullanılmıştır. Şekil 4.3' deki pencere de görülmektedir.

Uygulamada, paralel kesitler yöntemine göre hacim hesabı yapılmıştır. Enterpolasyon yöntemleri sonucunda elde edilen test noktalarının enterpolasyon yükseklikleri ve uygulama alanından toplanan dayanak noktaları kullanılarak NetCAD yazılımında hacim hesapları m³ cinsinden yapılmıştır. Elde edilen hacim değerleri Tablo (4.5, 4.6, 4.7)' de gösterilmiştir. Ayrıca her üç farklı kesit alanında Geoistatistik Analiz modülü kullanılmadan, NetCAD yazılımı kullanılarak Lineer Enterpolasyonla Üçgenleme yöntemine göre hacim hesabı yapılmıştır. Her üç farklı kesit alanında elde edilen hacim değerlerinin ortalaması alınmıştır ve bu değerler referans olarak kabul edilmiştir.

Tablo (4.5, 4.6, 4.7)' de görüldüğü gibi üç farklı kesit alanından elde edilen hacim değerlerinden, referans değer olarak kabul edilen hacim değerlerinin farkları alınarak hacim değerleri arasındaki farkların yüzdelik oranları belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Dolgu kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen hacim değerleri

Yöntem	Hacim Değeri (m ³)	Hacim Değerleri Farkı (m ³)	Karesel Ortalama Hata (KOH) (m ³)
IDW	28878.920	-14.91	$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[7681.947]}{4}}$ $= 43.82 \text{ m}^3$
L.Polinom	28918.930	+25.10	
Multikvadrik	28860.590	-33.24	
OK	28853.110	-40.72	
L.Üçgenleme	28957.600	+63.77	
Ortalama (Referans)	28893.830	0	

Tablo 4.6. Kazı kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen hacim değerleri

Yöntem	Hacim Değeri (m ³)	Hacim Değerleri Farkı (m ³)	Karesel Ortalama Hata (KOH) (m ³)
IDW	33163.050	+31.164	$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[1495.752]}{4}}$ $= 19.34 \text{ m}^3$
L.Polinom	33128.777	-3.109	
Multikvadrik	33131.800	-0.086	
OK	33110.035	-21.851	
L.Üçgenleme	33125.769	-6.117	
Ortalama (Referans)	33131.886	0	

Tablo 4.7. Karışık kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen hacim değerleri

Yöntem	Kazı (m ³)	Dolgu (m ³)	Toplam Hacim Değeri (m ³)	Hacim Değerleri Farkı (m ³)	Karesel Ortalama Hata (KOH) (m ³)
IDW	1121.228	3934.278	5055.506	+4.983	$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[473.236]}{4}}$ $= 10.88 \text{ m}^3$
L.Polinom	1111.758	3925.851	5037.609	-12.914	
Multikvadrik	1141.098	3917.918	5059.016	+8.493	
OK	1125.288	3914.723	5040.011	-10.512	
L.Üçgenleme	1117.898	3942.575	5060.473	+9.950	
Ortalama (Referans)	1123.454	3927.069	5050.523	0	

Her üç farklı kesit alanının hacim değerleri için $m_0 = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$ formülü kullanılarak Karesel Ortalama Hata değerleri hesaplanmıştır.

- Dolgu kesit alanı KOH değeri, $m_0 = \pm \sqrt{\frac{[7681.947]}{4}} = 43.82 \text{ m}^3$
- Kazı kesit alanı KOH değeri, $m_0 = \pm \sqrt{\frac{[1495.752]}{4}} = 19.34 \text{ m}^3$
- Karışık kesit alanı KOH değeri; $m_0 = \pm \sqrt{\frac{[473.236]}{4}} = 10.88 \text{ m}^3$

Tablo (4.5, 4.6, 4.7)' de görüldüğü gibi üç farklı kesit alanında hacim değerlerinin ortalaması alınarak elde edilen hacim değeri referans olarak kabul edilmiştir. Beş farklı enterpolasyon yönteminin hacim değerleri ile referans değer farkı alınarak aralarındaki hacim farkları ve KOH değerleri hesaplanmıştır.

Genel olarak çıkan sonuçlara bakıldığında referans değere en yakın çıkan hacim değerinin dolgu ve karışık kesit alanında IDW, kazı kesit alanında ise Multikvadrik enterpolasyon yönteminin olduğu görülmektedir.

Uygulamada NetCAD yazılımı kullanılarak elde edilen 15 farklı kübaj cetveli Dosya> Sakla sekmeleri aracılığıyla "CKS" uzantılı dosya olarak kaydedilmiştir. Her üç farklı kesit alanı için elde edilen "CKS" uzantılı kübaj cetvelleri Şekil (4.4, 4.5, 4.6)' da gösterilmiştir.

Kilometre	Ara Uzaklık (m)	ALAN (m ²)		HACİM (m ³)		KÜMÜLATİF HACİM (m ³)		BRÜKNER DEĞERİ
		YARMA	DOLGU	YARMA	DOLGU	YARMA	DOLGU	

IDW

26+800.00		-	120.416			8.380	19701.970	-19693.590
	20.00	-			2623.950			
26+820.00		-	141.979			8.380	22325.920	-22317.540
	20.00			0.010	3100.970			
26+840.00		0.001	168.118			8.390	25426.890	-25418.500
	20.00			0.050	3452.030			
26+860.00		0.004	177.085			8.440	28878.920	-28870.480

L.POLINOM

26+800.00		0.009	120.497			35.130	19728.370	-19693.240
	20.00			0.110	2626.720			
26+820.00		0.002	142.175			35.240	22355.090	-22319.850
	20.00			0.020	3107.950			
26+840.00		-	168.620			35.260	25463.040	-25427.780
	20.00			0.040	3455.890			
26+860.00		0.004	176.969			35.300	28918.930	-28883.630

MULTIKUADRIK

26+800.00		0.009	120.499			32.730	19682.630	-19649.900
	20.00			0.110	2626.030			
26+820.00		0.002	142.104			32.840	22308.660	-22275.820
	20.00			0.020	3102.150			
26+840.00		-	168.111			32.860	25410.810	-25377.950
	20.00			0.040	3449.780			
26+860.00		0.004	176.867			32.900	28860.590	-28827.690

OK

26+800.00		0.010	120.476			32.580	19676.200	-19643.620
	20.00			0.120	2625.770			
26+820.00		0.002	142.101			32.700	22301.970	-22269.270
	20.00			0.150	3101.390			
26+840.00		0.013	168.038			32.850	25403.360	-25370.510
	20.00			0.170	3449.750			
26+860.00		0.004	176.937			33.020	28853.110	-28820.090

L.ÜÇGENLEME

26+800.00		0.010	120.437			31.780	19778.200	-19746.420
	20.00			0.120	2626.200			
26+820.00		0.002	142.183			31.900	22404.400	-22372.500
	20.00			0.020	3102.770			
26+840.00		-	168.094			31.920	25507.170	-25475.250
	20.00			0.040	3450.430			
26+860.00		0.004	178.949			31.960	28957.800	-28925.640

Şekil 4.4. Dolgu kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen kübaj cetvelleri

Kilometre	Ara Uzaklık (m)	ALAN (m ²)		HACİM (m ³)		KÜMÜLATİF HACİM (m ³)		BRÜKNER DEĞERİ
		YARMA	DOLGU	YARMA	DOLGU	YARMA	DOLGU	

IDW

11+820.00		53.632	-			30787.070	27.399	+30759.671
11+840.00	20.00	59.183	-	1128.150	-	31915.220	27.399	+31887.821
11+860.00	20.00	65.600	-	1247.830	-	33163.050	27.399	+33135.651

L.POLINOM

11+820.00		53.540	-			30753.257	22.738	+30730.518
11+840.00	20.00	59.206	-	1127.460	-	31880.717	22.738	+31857.978
11+860.00	20.00	65.600	-	1248.060	-	33128.777	22.738	+33106.038

MULTIKUADRIK

11+820.00		53.623	-			30755.910	28.217	+30727.693
11+840.00	20.00	59.183	-	1128.060	-	31883.970	28.217	+31855.753
11+860.00	20.00	65.600	-	1247.830	-	33131.800	28.217	+33103.583

OK

11+820.00		53.274	-			30737.175	22.079	+30715.096
11+840.00	20.00	59.206	-	1124.800	-	31861.975	22.079	+31839.896
11+860.00	20.00	65.600	-	1248.060	-	33110.035	22.079	+33087.956

L.ÜÇGENLEME

11+820.00		53.741	-			30750.079	31.221	+30718.859
11+840.00	20.00	59.114	-	1128.550	-	31878.629	31.221	+31847.409
11+860.00	20.00	65.600	-	1247.140	-	33125.769	31.221	+33094.549

Şekil 4.5. Kazı kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen kübaj cetvelleri

Kilometre	Ara Uzaklık (m)	ALAN (m ²)		HACİM (m ³)		KÜMÜLATİF HACİM (m ³)		BRÜKNER DEĞERİ
		YARMA	DOLGU	YARMA	DOLGU	YARMA	DOLGU	

IDW

10+420.00		2.896	2.872			713.278	3886.798	-3173.520
	20.00			68.860	37.860			
10+440.00		3.990	0.914			782.138	3924.658	-3142.520
	20.00			112.850	9.380			
10+460.00		7.295	0.024			894.988	3934.038	-3039.050
	20.00			226.240	0.240			
10+480.00		15.329	-			1121.228	3934.278	-2813.050

L.POLINOM

10+420.00		2.718	2.874			709.438	3882.631	-3173.192
	20.00			69.980	35.740			
10+440.00		4.280	0.700			779.418	3918.371	-3138.952
	20.00			113.030	7.240			
10+460.00		7.023	0.024			892.448	3925.611	-3033.162
	20.00			219.310	0.240			
10+480.00		14.908	-			1111.758	3925.851	-2814.092

MULTIKUADRIK

10+420.00		3.098	2.870			719.208	3879.898	-3160.690
	20.00			74.600	33.120			
10+440.00		4.362	0.442			793.808	3913.018	-3119.210
	20.00			117.310	4.660			
10+460.00		7.369	0.024			911.118	3917.678	-3006.560
	20.00			229.980	0.240			
10+480.00		15.629	-			1141.098	3917.918	-2776.820

OK

10+420.00		3.030	2.871			715.898	3870.053	-3154.155
	20.00			72.080	36.450			
10+440.00		4.178	0.774			787.978	3906.503	-3118.525
	20.00			115.300	7.980			
10+460.00		7.352	0.024			903.278	3914.483	-3011.205
	20.00			222.010	0.240			
10+480.00		14.849	-			1125.288	3914.723	-2789.435

L.ÜÇGENLEME

10+420.00		3.080	2.870			715.178	3895.375	-3180.196
	20.00			71.810	37.710			
10+440.00		4.101	0.901			786.988	3933.085	-3146.096
	20.00			115.260	9.250			
10+460.00		7.425	0.024			902.248	3942.335	-3040.086
	20.00			215.650	0.240			
10+480.00		14.140	-			1117.898	3942.575	-2824.676

Şekil 4.6. Karışık kesit alanının, NetCAD yazılımı ile elde edilen kübaj cetvelleri

Tablo 4.8. Dolgu, kazı ve karışık kesit alanlarının, maliyet tablosu

	DOLGU			KAZI			KARIŞIK		
Yöntem	Hacim Değeri (m³)	Birim Fiyat (TL)	Maliyet (TL)	Hacim Değeri (m³)	Birim Fiyat (TL)	Maliyet (TL)	Hacim Değeri (m³)	Birim Fiyat (TL)	Maliyet (TL)
IDW	28878.920	3.00	86636.760	33163.050	3.60	119386.980	5055.506	3.00 3.60	15839.255
Lokal Polinom	28918.930	3.00	86756.790	33128.777	3.60	119263.597	5037.609	3.00 3.60	15779.882
Multikvadrik	28860.590	3.00	86581.770	33131.800	3.60	119274.480	5059.016	3.00 3.60	15861.707
OK	28853.110	3.00	86559.330	33110.035	3.60	119196.126	5040.011	3.00 3.60	15795.206
L.Üçgenleme	28957.600	3.00	86872.800	33125.769	3.60	119252.768	5060.473	3.00 3.60	15852.158
Ortalama (Referans)	28893.830	3.00	86681.490	33131.886	3.60	119274.790	5050.523	3.00 3.60	15825.641

Tablo 4.8' de görüldüğü gibi üç farklı kesit alanının hacim değerleri ve maliyetleri, kullanılan enterpolasyon yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Hacim değerleri ile birim fiyatlar çarpılarak kazı ve dolgu miktarlarının maliyetleri hesaplanmıştır. Tablo 4.8' de kullanılan birim fiyatların içerisine sulama ve sıkıştırma maliyetleri eklenmiştir. Tablo 4.8' de elde edilen sonuçlara bakıldığında KOH değeri sıralamasına göre, referans hacim ve maliyet değerleri doğru orantılı çıkmamıştır.

Tablo 4.8' de elde edilen sonuçlar, kamu kurum ve kuruluşlarının müteahhit firmalara hakedişte ödeyeceği toprak işi hesabı yada miktarı açısından oldukça önemlidir. Bu sayede kullanılan enterpolasyon yöntemlerinden hangisinin maliyet açısından daha uygun ve daha doğru olduğunu öngörülebilir.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında birinci bölüm, giriş bölümünden oluşmaktadır. İkinci bölümde, literatür özetleri ve kuramsal temeller verilmiştir yani çalışmanın teorik kısmını oluşturmaktadır. Kuramsal temeller kısmı; karayolları, SAM, enterpolasyon yöntemleri ve hacim hesapları olarak 4 ana başlıktan oluşmuştur. Üçüncü bölümde ise, tez çalışmasının uygulama kısmına geçilmiştir.

Çalışmanın uygulama kısmında, Digor-Esenkent yolu güzergahında bulunan kazı ve dolgu kilometreleri belirlenmiştir. Belirlenen üç farklı çalışma alanından RTK yöntemi ile 20 metrede bir şeritvari ve geniş bir şekilde doğal zeminden ve terasman yüzeyinden noktalar alınmıştır. Bu iki farklı yüzeyden toplanan dayanak noktalarının bazıları homojen bir dağılımla test noktaları olarak seçilmiştir. Kalan noktalar ise dayanak noktaları olarak, Geoistatistik Analiz modülü kullanılarak farklı enterpolasyon yöntemleriyle yüzey modeller oluşturulmuştur. Uygulamada, beş farklı enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Bunlar; Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW), Lokal Polinomlarla, Multikvadrik ve Ordinary Kriging (OK) enterpolasyon yöntemleridir. NetCAD yazılımında ise Lineer Enterpolasyon ile Üçgenleme yöntemi kullanılmıştır. Enterpolasyon yöntemleriyle elde edilen test noktaları ile doğal zeminden alınan test noktaları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Enterpolasyon yöntemleriyle elde edilen yüzey modellerin, KOH değerlerine göre hangi enterpolasyon yönteminin daha güvenilir ve gerçeğe en yakın yüzeyi yansıttığı sonucuna varılmıştır. Uygulanan enterpolasyon yöntemlerine göre:

- **Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi:** Uygulamada IDW enterpolasyon yöntemi kullanılmadan önce ($p = 1, 2, 3, 4, 5$) güç parametreleri uygulanmıştır ve uygulamada üç farklı kesit alanı için en uygun güç parametreleri seçilmiştir. Uygulamada kullanılabilecek en uygun güç parametrelerinin şu şekilde çıktığı görülmüştür.
 - Dolgu kesit alanındaki siyah zeminde ($p=4$), terasman yüzeyde ($p=4$),
 - Kazı kesit alanındaki siyah zeminde ($p=3$), terasman yüzeyde ($p=5$),
 - Karışık kesit alanındaki siyah zeminde ($p=4$), terasman yüzeyde ($p=3$),

Üç farklı kesit alanında siyah zemin ve terasman yüzeyine göre KOH değerleri farklılık göstermiştir. Güç parametresinin artışına bağlı olarak KOH değerinin azaldığı görülmüştür. IDW enterpolasyon yönteminin genellikle uygulamada en büyük KOH değerinin elde edildiği yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

- **Lokal Polinomlarla enterpolasyon yöntemi:** Uygulamada öncelikle üç farklı kesit alanı için siyah zemin ve terasman yüzeyinde ($n = 1, 2, 3, 4, 5$) polinom dereceleri uygulanmıştır ve en uygun polinom dereceleri seçilmiştir. Uygulamada tercih edilebilecek en uygun polinom derecelerinin şu şekilde çıktığı görülmüştür.

- Dolgu kesit alanındaki siyah zeminde ($n=1$), terasman yüzeyinde ($n=2$),
- Kazı kesit alanındaki siyah zeminde ($n=1$), terasman yüzeyinde ($n=1$),
- Karışık kesit alanındaki siyah zeminde ($n=1$), terasman yüzeyinde ($n=2$),

Uygulamada tercih edilen en uygun polinom derecelerinin 1. ve 2. dereceden olduğu görülmektedir. Bu yöntem üç farklı kesit alanındaki terasman yüzeyde, en küçük KOH değerinin çıktığı enterpolasyon yöntemidir. Bu bakımdan daha düz, engebesiz ve nokta sıklığının az olduğu zeminlerde bu yöntemin kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

- **RBF enterpolasyon yöntemi:** Uygulamada RBF yönteminde öncelikle, üç farklı kesit alanındaki iki farklı yüzeye 5 farklı enterpolasyon fonksiyonu uygulanmıştır. Uygulanan 5 farklı enterpolasyon fonksiyonuna bakıldığında KOH değerinin en küçük çıktığı yöntem Multikvadrik enterpolasyon yöntemi olmuştur ve uygulamada bu yöntem kullanılmıştır. Siyah zeminde genel olarak en küçük KOH değerinin Multikvadrik enterpolasyon yönteminde çıktığı görülmüştür. Bu bakımdan daha fazla kırılmanın olduğu, engebeli ve nokta sıklığının fazla olduğu zeminlerde bu yöntemin kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

- **Ordinary Kriging yöntemi:** Uygulamada genel olarak diğer enterpolasyon yöntemlerine bakıldığında OK yönteminin ortalama bir KOH değeri verdiği görülmektedir. OK enterpolasyon yönteminde çıkan KOH değerlerinin Multikvadrik enterpolasyon yöntemine yakın değerlerde çıktığı görülmektedir. Diğer enterpolasyon yöntemlerine göre daha yavaş çalışan bir yöntem olduğu görülmüştür.

Uygulamanın son kısmında hacim hesabı, paralel kesitler ile hacim hesabı yöntemine göre yapılmıştır. Dayanak noktaları ve test noktalarının enterpolasyon yükseklik değerleri kullanılarak NetCAD-Netpro modülü aracılığıyla hacim hesapları yapılmıştır. Siyah zemindeki noktalar kullanılarak oluşturulan yüzey (alt yüzey), terasman yüzeyindeki noktalar kullanılarak oluşturulan yüzey (üst yüzey) olarak hacim hesapları yapılmıştır. Her üç farklı kesit alanından elde edilen hacim değerlerinin ortalaması alınmıştır ve bu değer referans olarak kabul edilmiştir.

Digor-Esenkent karayolu projesinin boykesit (profil) grafiğine bakıldığında, dolgu kesit alanı karayolu projesinin alıyman (düz) kısmında bulunmaktadır ve eğim + %1.23' tür. Kazı kesit alanı karayolu projesinin kurp kısmında bulunmaktadır ve yarıçapı 280 derece olan bir şaküllü kurptan oluşmaktadır. Kazı kesit alanında eğim - %8.57' dir. Karışık kesit alanı ise karayolu projesinin alıyman (düz) kısmında bulunmaktadır ve eğim + %3.77' dir. Bu bilgilere ve uygulamada elde edilen sonuçlara bakıldığında başta karayolu projeleri olmak üzere baraj, tünel, demiryolu, drenaj ve içme suyu gibi mühendislik projelerinde:

- Alıyman, düz ve eğimin az olduğu alanlarda **Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW)** enterpolasyon yöntemi, ortalama (referans) değere en yakın sonucu vermiştir ve bu yöntemin tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uygulamada bulunan dolgu ve karışık kesit alanlarında IDW enterpolasyon yöntemini kullanmak mümkündür.
- Kurp ve eğimin fazla olduğu alanlarda **Multikuadrik** enterpolasyon yöntemi, ortalama (referans) değere en yakın sonucu vermiştir ve bu yöntemin tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uygulamada bulunan kazı kesit alanında Multikuadrik enterpolasyon yöntemini kullanmak mümkündür. Bu kesit alanında alternatif olarak Lokal Polinomlarla enterpolasyon yöntemi de kullanılabilir.
- Ayrıca uygulamada elde edilen sonuçlara bakıldığında **Ordinary Kriging (OK)** enterpolasyon yönteminin üç farklı kesit alanında en iyi sonuçları vermese de ortalama bir değerlerde sonuçlar verdiği görülmektedir ve üç farklı kesit alanında da tercih edilebilir bir yöntemdir.

Uygulamada hacim hesabı yapılacak olan bir karayolu projesinde kullanılan enterpolasyon yönteminin, parametrelerinin ve oluşturulacak sayısal arazi modelinin (SAM) ne kadar önemli olduğu net bir şekilde görülmektedir. Arazinin şekline (engebeli, girintili çıkıntılı, düz) ve eğimine, farklı yüzey alanlarına (siyah, terasman), nokta sayısı ve sıklığına göre KOH ve hacim değerlerinin değişkenlik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak uygulamada kullanılan farklı enterpolasyon yöntemlerine göre tüm kesit alanlarında (dolgu, kazı, karışık) birbirinden farklı KOH ve hacim değerleri elde edilmiştir. Bu bakımdan farklı enterpolasyon yöntemlerinin hacim hesabı üzerindeki etkisini net bir şekilde görülmüştür ve sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, M., 2002. İzmit Deprem Anı Yer Değiştirmelerinin Modellenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akpolat, M., 2018. Karayolu Mühendisliği. İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı, Tunceli.
- Alkanalka, E., 2005. Kestirim Metodlarının Sayısal Yükseklik Modelleri Üzerindeki Uygulamaları. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alp, O., 1998. Sayısal Arazi Modeli Üzerine Bir İnceleme. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altınok, S., 2001. Türkiye'de Ulaştırma Politikaları, Karayolları ve Demiryollarının Mukayesesi. Selçuk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 1 (1-2), 73-87.
- Anonim,t.y. Yol Yapım Aşamaları.
https://www.tamyol.com.tr/UserFiles/Content/yol_yapim_asamalari.pdf-
(21.10.2020).
- ASCE (American Society of Civil Engineers), ACSM (American Congress on Surveying and Mapping), ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), 1994, Glossary of the Mapping of Sciences, 581 s. USA.
- Avcı, Ü., 2010. İki Yüzey Arasında Hacim Hesabı Yapan Program ve Algoritma Geliştirme. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Ayçiçek, S., 2011. Esnek Üstyapılarda İmalat ve Uygulama Kusurları. (Yüksek Lisans Tezi), Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul.
- Aydın, O., 2014. Türkiye' de Yıllık Ortalama Toplam Yağışın Kriging Yöntemiyle Belirlenmesi. (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ayhan, F., 2011. Kuzey Marmara Otoyolu Güzergahında Bulunan Yerleşmeler ve Yolun Yerleşmelere Muhtemel Etkileri Sakarya İli Örneği. (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Sakarya.
- Bashir, B., 1999. Digital Fotogrametrik Ortofoto Üretimine Yönelik Bir SYM Bilgisayar Programı ve Uygulamaları. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, İstanbul.
- BÖHHBÜY, 2018. Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.
- Ceylan, E., 2009. Non Sibson Yöntemi ile Lokal Koordinat Dönüşümü. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, İstanbul.
- Coşgun, T., 1994. Dingil Yüklerinin Karayolu Üstyapısının Projelendirilmesine Etkisinin Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Çakır, L., 2012. Ortometrik Yüksekliklerin Dolaylı Olarak GPS Gözlemlerinden Elde Edilmesinde Kullanılan Yöntemlerin İrdelenmesi. (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Çiftci, M., 2019. Lokal Jeoit Belirlemede Kullanılan Çeşitli Enterpolasyon Yöntemlerinin Farklı Jeodezik Ağ Yapılarında Uygulanması. (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Doğruluk, M., 2013. Sayısal Arazi Modellerinin Karayolu Projelerindeki Hacim Hesaplamalarına Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Dressler, M., 2009. Art of Surface Interpolation. <http://m.dressler.sweb.cz/AOSIM.pdf>, Kunštát.
- Ekinci, F., 2011. Sayısal Arazi Modelleri ile Hacim Hesaplarında Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin ve Parametrelerin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Erdoğan, H., 2016. Ulaşım Hizmetlerinin Ekonomik Kalkınma Üzerine Etkisi. İstanbul Gelişim Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 3 (1), 187-215.
- Erel, Z., 2011. Balya (Balıkesir) Polimetallik Maden Yatağı Rezervinin Jeostatistik Yöntemle Analizi. (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- ESRI, 1992. Surface Modeling with TIN. Esri Press, Redlands California.
- Golden Software, Surfer 13 Programı Yardım Menüsü.
- Göğsu, S., 2019. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yönteminin Jeodezik Açından İncelenmesi ve IDW Optimal Yazılımının Geliştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.
- Görgöz, M., 2020. ArcGIS nedir? Nerelerde Kullanılır?. <https://www.muratgorgoz.com/arcgis-nedir-nerelerde-kullanilir/>, Isparta.
- Güler, A., 1985. Sayısal Yükseklik Modellerinde Parça Parça Bilinen Yüzeylerle Enterpolasyon. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 23-27 Şubat, s.371-384.
- Hanlı, E., 2009. Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirmesi. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hardy, R. L., 1971. Multiquadric Equations of Topography and Other Irregular Surfaces. Journal of Geophysical Research, 76 (8), 1905-1915.
- Hardy, R. L., 1972. Analytical Topographic Surfaces By Spatial Intersection. Photogrammetric Engineering, 38 (5), 452-458.
- Hardy, R. L., 1975. Research Results in The Application of Multiquadric Equations to Surveying and Mapping Problems. Surveying and Mapping, 321-332.
- Hardy, R. L., 1990. Theory and Applications of The Multiquadric-Biharmonic Method: 20 Years of Discovery 1968-1988. Computers Mathematics with Applications, 19 (8-9), 163-208.
- İlker, A., 2012. Akdeniz Bölgesi' nde Yağışın Alansal Dağılımı. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.

- İnal, C., 1996. Yerel Jeoit Geçirilerek GPS Sonuçlarından Yükseklik Belirlemesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11 (2), 15-21.
- İnal, C., Turgut, B. ve Yiğit, C. Ö., 2002. Lokal Alanlarda Jeoit Ondülasyonlarının Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 16-18 Ekim, Konya.
- İnal, C. ve Yiğit, C. Ö., 2003. Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği. TUIK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-25-26 Eylül 2003, Konya.
- İpbüker, C., 1999. Topografik ve Tematik Haritaların Yapımına Veri Kaynağı Oluşturacak Uydu Görüntülerinin Dönüşüm Yöntemleri Analizi. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Isaaks, E. H. & Srivastava, R. M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
- Kapluhan, E., 2014. Ulaşım Coğrafyası Açısından Türkiye' de Karayolu Ulaşımının Tarihsel Gelişimi ve Mevcut Yapısı. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7 (33), 427-439.
- Keçeci, S. B., 2011. Sayısal Yükseklik Modellerinin Oluşturulmasında Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- KGM, 2014. Dün, bugün, yarın, Karayolları Genel Müdürlüğü. Ankara.
- KGM, 2020. Yol Ağı Bilgileri. Karayolları Genel Müdürlüğü, <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx-> (17.11.2020).
- Köroğlu, S., 2006. Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin Hacim Hesabına Etkisinin Araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Köse, M. H., 2006. Uydu Radar Görüntülerinden Üç Boyutlu Sayısal Arazi Modelin Üretilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya.
- Kuru, B., 2018. Lokal Jeoid Belirlemede Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.
- Leberl, F., 1973. Interpolation in Square Grid DTM. ITC Journal, no:5, 756-807.
- Marangoz, A. M., 2015. Fotogrametrik Ürünler. BEÜ Mühendislik Fakültesi, Zonguldak.
- Martensson, S. G., 2002. Height Determination By GPS-Accuracy with Respect to Different Geoid Models in Sweden. FIG XXII International Congress, April 19-26, Washington, USA.
- Mert, B. A., 2005. Jeostatistiksel Analiz İçin Bir Bilgisayar Programının Geliştirilmesi ve Antalya-Akseki-Kızılağaç Boksit Yatağına Uygulanması. (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Murat, Ş., 2013. Karayolu Elemanları ile İlgili Genel Tanımlamalar. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli.

- Mustafayev, A., 2019. Arazi Modellemesinde BIM Yazılımlarının Kullanımlarının Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Orhan, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ozulu, İ. M., 2005. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yöntemlerinin Arkeolojiye Uygulanması. (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Özerman, U., 2012. Yüksekliklerin Ölçülmesi-Nivelman. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özgen, M. G. & Öztan, O., 1988. Kartometri. İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Pancar, E. B., 2018. Yol Bilgisi Ders Notları, Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun.
- Sağlık, A. ve Güngör, A., 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Serin, S., 2015. Ulaştırma, Düzce Üniversitesi, file:///C:/Users/HP/Downloads/ULA%C5%9ETIRMA.%20Yrd.%20Do%C3%A7.%200Dr.%20Sercan%20SER%C4%B0N.pdf-(21.10.2020).
- Solmaz, M., 2019. GNSS/Nivelman Verisi ile Yerel Jeoid Profiline Farklı Enterpolasyon Yöntemleriyle Çıkarılması. (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.
- Soycan, A. ve Soycan, M., 2002. Yol Projelerinde Sayısal Arazi Modellerinin Kullanılması. 30. Yıl Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.
- Şişman, Y. ve Elevli, B., 2018. En Küçük Kareler Kollokasyon ve Kriging Yöntemleri ile Lokal Jeoid Belirleme. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 8 (2), 106-118.
- Taylan, E. D. ve Damçayırı, D., 2016. Isparta Bölgesi Yağış Değerlerinin IDW ve Kriging Enterpolasyon Yöntemleri ile Tahmini. IMO Teknik Dergi, 27 (3), 7551-7559.
- Tetik, K., 2018. Farklı Enterpolasyon Teknikleri Kullanılarak Yerel Jeoid Belirleme. (Yüksek Lisans Tezi), Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- TMMOB, M. M. O., 2012. Ulaşımda Demiryolu Gerçeği. Makina Mühendisleri Odası Oda Raporu, Ankara.
- Topaloğlu, V., 2007. Yapay Sinir Ağları İle Dalga Yüksekliği Tahmini. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2013. 11. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Şurası. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.
- Uluğtekin, N., 1994. Sayısallaştırılmış Kadastro Paftalarının Geometrik Niteliğinin Yükseltmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 52 (1-2), 35-41.
- Uyar, H., 2005. Jeovar3: Jeostatistiksel Variogram Analizleri ve Kriging Teknikleri Bilgisayar Yazılımı. (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Üstüntaş, T., 1994. Sayısal Arazi Modellerinde Hassasiyet Analizi ve Enterpolasyon Yöntemleri. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya.
- Wackernagel, H., 2003. Multivariate Geostatistics An Introduction with Applications. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 8 (33), 363.
- Whell, 2014. Encyclopædia Britannica Online.
[http://www.britannica.com/EBchecked/topic/641642/wheel-\(18.11.2020\)](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/641642/wheel-(18.11.2020))
- Yanalak, M., 1997. Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yaprak, S., 2007. Kriging Yönteminin Geoit Yüzeyi Modellemesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Varolan Yöntemlerle Karşılaştırılması. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yayla, N., 2004. Karayolu Mühendisliği. Birsan Yayınevi, 285s, İstanbul.
- Yener, H., 1993. Sayısal Arazi Modelleri. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yiğit, C. Ö., 2003. Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya.
- Yıldırım, S., 2019. Ferrokrom Cürufunun Karayolu Alt Dolgularında Kullanılabilirlik Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Yoldaş, M. A., 2008. Karayollarında Yol Sınıflandırması ve Tip Enkesitlerin İncelenmesi Eminönü-Fatih Örneği. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yomralıoğlu, T., 2009. Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar. Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, 480 s, İstanbul.
- Yüksek, Ş. O. ve Yüksel, D., 2013. Voronoi Diyagramları Kullanarak Görsellerin İfade Edilmesi. Özel Ege Lisesi, İzmir.
- Yünsel, T. Y. ve Ersoy, A., 2006. Üretim ve İşletme Planlaması için Maden Tenörlerinin ve Rezervlerinin, Jeostatistik Yöntemlerle Modellenmesi ve Değerlendirilmesi. Mehmet Kemal Dedeman Araştırma ve Geliştirme Proje Yarışması, 52 s, Adana (yayınlanmamış).
- Yünsel, T. Y., 2007. Maden Yataklarının Jeostatistiksel Yöntemlerle Analizi ve Modellenmesi. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Zengin Kazancı, S., 2014. Konumsal Enterpolasyon Yöntemlerinin Uygulanması: Karadeniz Bölgesi Günlük Ortalama Sıcaklık Verileri Örneği. (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.

- Zengin Kazancı, S. & Tanır Kayıkçı, E., 2015. Konumsal Enterpolasyon Yöntemleri Uygulamalarında Optimum Parametre Seçimi: Doğu Karadeniz Bölgesi Günlük Ortalama Sıcaklık Verileri Örneği. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Zhan-ji, Y., 1998. Precise Determination of Local Geoid and its Geophysical Interpretation. (Doktora Tezi), Hong Kong Polytechnich University, Hong Kong.



EKLER

EK-1 Dolgu, Siyah Zemin Test Noktalarının Enterpolasyon Yükseklik Değerleri

Table										
DOLGU SİYAH TEST										
	FID	Shape	Field1	Field2	Field3	Field4	IDW	L.POLINOM	MULTIKUADRIK	OK
▶	0	Point ZM	229	629238.855	4492349.006	1562.147949	1562.05	1562.05	1562.11	1562.13
	1	Point ZM	232	629230.04	4492365.469	1562.104004	1562.04	1562.03	1562.08	1562.1
	2	Point ZM	235	629226.557	4492383.605	1562.100952	1562.06	1562.1	1562.02	1562.02
	3	Point ZM	238	629221.463	4492402.221	1562.245972	1562.21	1562.17	1562.23	1562.26
	4	Point ZM	249	629218.013	4492478.845	1563.253052	1563.16	1563.12	1563.23	1563.35
	5	Point ZM	281	629228.99	4492677.475	1565.790039	1565.73	1565.95	1565.94	1565.84
	6	Point ZM	285	629231.069	4492697.424	1565.447021	1565.42	1565.4	1565.46	1565.51
	7	Point ZM	292	629242.54	4492717.062	1565.234009	1565.2	1565.24	1565.25	1565.25
	8	Point ZM	306	629242.861	4492755.939	1564.989014	1565.02	1565	1564.96	1565.03
	9	Point ZM	309	629239.047	4492776.896	1564.88501	1564.94	1565.16	1565.14	1565.13
	10	Point ZM	314	629242.007	4492796.795	1564.865967	1564.89	1565.14	1565.15	1565.09
	11	Point ZM	320	629255.605	4492835.301	1564.365967	1564.31	1564.35	1564.32	1564.33
	12	Point ZM	617	629206.071	4492358.651	1562.522949	1562.68	1562.74	1562.6	1562.57
	13	Point ZM	624	629198.005	4492398.276	1562.728027	1562.75	1562.84	1562.69	1562.69
	14	Point ZM	631	629193.877	4492438.887	1563.119019	1563.24	1563.22	1563.16	1563.17
	15	Point ZM	636	629191.996	4492459.13	1563.446045	1563.47	1563.51	1563.5	1563.52
	16	Point ZM	647	629193.438	4492519.93	1564.182983	1564.27	1564.39	1564.16	1564.15
	17	Point ZM	660	629192.699	4492580.296	1564.56897	1564.66	1564.7	1564.59	1564.59
	18	Point ZM	662	629201.808	4492600.127	1565.291016	1565.19	1565.52	1565.53	1565.53
	19	Point ZM	668	629196.11	4492620.526	1565.982056	1566.02	1566.02	1566.01	1566.02
	20	Point ZM	671	629199.765	4492640.188	1566.166016	1566.24	1566.23	1566.21	1566.21
	21	Point ZM	679	629202.353	4492680.337	1566.229004	1566.3	1566.28	1566.26	1566.27
	22	Point ZM	687	629208.554	4492719.501	1565.776978	1565.92	1565.96	1565.97	1565.96
	23	Point ZM	691	629201.179	4492738.218	1566.373047	1566.32	1566.33	1566.33	1566.3
	24	Point ZM	692	629208.18	4492738.625	1566.194946	1566.25	1566.27	1566.21	1566.21
	25	Point ZM	695	629214.84	4492759.302	1565.426025	1565.56	1565.58	1565.51	1565.5
	26	Point ZM	704	629212.348	4492799.122	1565.738037	1565.6	1565.65	1565.69	1565.69
	27	Point ZM	712	629215.611	4492839.85	1565.107056	1565.03	1565.05	1565.07	1565.08
	28	Point ZM	724	629220.73	4492915.299	1563.906982	1563.91	1564.02	1563.94	1563.96
	29	Point ZM	951	629248.568	4492287.678	1562.884033	1562.84	1562.74	1562.85	1562.9
	30	Point ZM	954	629240.719	4492306.167	1563.199951	1563.18	1563.09	1563.19	1563.22
	31	Point ZM	957	629233.113	4492324.593	1563.578003	1563.56	1563.49	1563.55	1563.59
	32	Point ZM	960	629224.567	4492343.096	1563.446045	1563.42	1562.9	1563.43	1563.45
	33	Point ZM	966	629211.027	4492380.58	1563.327026	1563.25	1563.61	1563.32	1563.33
	34	Point ZM	972	629205.791	4492419.922	1563.703979	1563.66	1563.37	1563.64	1563.64
	35	Point ZM	975	629205.171	4492439.987	1563.978027	1563.96	1563.8	1563.88	1563.88
	36	Point ZM	978	629204.837	4492460.229	1564.255005	1564.25	1564.19	1564.28	1564.28
	37	Point ZM	981	629204.084	4492479.425	1564.584961	1564.55	1564.41	1564.58	1564.63
	38	Point ZM	984	629203.762	4492499.687	1564.953003	1564.94	1564.85	1564.94	1564.96

39	Point ZM	987	629203.73	4492519.194	1565.286987	1565.26	1565.19	1565.3	1565.3
40	Point ZM	990	629203.622	4492539.081	1565.631958	1565.6	1565.56	1565.63	1565.64
41	Point ZM	993	629204.575	4492559.323	1565.639038	1565.55	1565.44	1565.63	1565.64
42	Point ZM	996	629206.316	4492579.847	1565.916016	1565.89	1565.84	1565.91	1565.92
43	Point ZM	999	629209.62	4492599.089	1566.436035	1566.42	1566.39	1566.43	1566.43
44	Point ZM	1002	629210.541	4492619.19	1566.834961	1566.79	1566.48	1566.81	1566.84
45	Point ZM	1005	629211.586	4492638.92	1566.909058	1566.87	1566.8	1566.93	1566.94
46	Point ZM	1008	629213.416	4492658.943	1566.963989	1566.91	1566.49	1566.8	1566.86
47	Point ZM	1011	629215.05	4492678.889	1566.963013	1566.94	1566.88	1566.97	1566.98
48	Point ZM	1014	629217.533	4492698.75	1566.803955	1566.78	1566.6	1566.78	1566.81
49	Point ZM	1020	629222.752	4492741.232	1566.577026	1566.5	1566.52	1566.67	1566.64
50	Point ZM	1033	629225.21	4492758.79	1566.321045	1566.24	1566.21	1566.4	1566.4
51	Point ZM	1036	629227.705	4492778.502	1566.157959	1566.12	1566.04	1566.16	1566.17
52	Point ZM	1039	629229.794	4492798.414	1565.994995	1565.99	1565.97	1565.99	1565.99
53	Point ZM	1041	629230.096	4492817.94	1565.68396	1565.69	1565.52	1565.59	1565.57
54	Point ZM	1045	629234.441	4492838.637	1565.482056	1565.47	1565.43	1565.49	1565.5
55	Point ZM	1048	629235.88	4492856.678	1565.284058	1565.25	1565.22	1565.26	1565.25
56	Point ZM	1051	629237.802	4492879.225	1565.146973	1565.13	1565.04	1565.15	1565.16
57	Point ZM	1069	629258.418	4492872.714	1563.583008	1563.64	1563.57	1563.58	1563.64
58	Point ZM	1077	629224.9675	4492321.626	1562.801025	1562.83	1562.86	1562.67	1562.67
59	Point ZM	1085	629194.3899	4492479.76	1563.579346	1563.62	1563.67	1563.46	1563.44
60	Point ZM	1088	629194.2449	4492540.088	1564.557251	1564.59	1564.61	1564.44	1564.42
61	Point ZM	1095	629197.9892	4492660.125	1566.251343	1566.19	1566.25	1566.25	1566.25
62	Point ZM	1106	629220.7704	4492881.094	1564.235474	1564.24	1564.25	1564.25	1564.24
63	Point ZM	1121	629215.3789	4492538.282	1564.100098	1564.17	1564.42	1564.45	1564.41
64	Point ZM	1124	629221.8815	4492597.407	1565.123169	1565.1	1565.4	1565.38	1565.25
65	Point ZM	1135	629249.8464	4492815.718	1564.67627	1564.72	1564.67	1564.62	1564.68
66	Point ZM	1147	629209.0941	4492399.718	1563.398315	1563.44	1563.46	1563.45	1563.45
67	Point ZM	1164	629218.7145	4492718.884	1566.633423	1566.62	1566.61	1566.64	1566.64
68	Point ZM	1198	629221.5716	4492799.107	1565.127075	1565.33	1565.5	1565.42	1565.38

EK-2 Dolgu, Terasman Yüzeyi Test Noktalarının Enterpolasyon Yükseklik Değerleri

Table									
									
DOLGU TERASMAN TEST									
FID	Shape	Field1	Field2	Field3	Field4	IDW	L.POLINOM	MULTIKUADRIK	OK
0	Point ZM	26260EKS	629241.923	4492298.868	1563.32605	1563.29	1563.3	1563.3	1563.3
1	Point ZM	26300EKS	629226.167	4492335.63	1563.807983	1563.82	1563.81	1563.81	1563.81
2	Point ZM	26340EKS	629213.597	4492373.586	1564.302979	1564.28	1564.3	1564.3	1564.3
3	Point ZM	26380EKS	629204.879	4492412.607	1564.797974	1564.78	1564.8	1564.8	1564.8
4	Point ZM	26420EKS	629200.101	4492452.304	1565.293945	1565.32	1565.3	1565.3	1565.29
5	Point ZM	26460EKS	629199.309	4492492.28	1565.78894	1565.81	1565.79	1565.79	1565.79
6	Point ZM	26500EKS	629202.343	4492532.153	1566.284058	1566.27	1566.29	1566.28	1566.28
7	Point ZM	26540EKS	629206.379	4492571.949	1566.780029	1566.71	1566.74	1566.74	1566.74
8	Point ZM	26580EKS	629210.414	4492611.745	1567.275024	1567.2	1567.23	1567.24	1567.23
9	Point ZM	26620EKS	629214.45	4492651.541	1567.77002	1567.7	1567.73	1567.73	1567.72
10	Point ZM	26660EKS	629218.485	4492691.337	1568.265991	1568.19	1568.22	1568.23	1568.22
11	Point ZM	26700EKS	629222.521	4492731.133	1568.760986	1568.7	1568.72	1568.72	1568.71
12	Point ZM	26740EKS	629226.556	4492770.929	1569.255981	1569.19	1569.22	1569.22	1569.21
13	Point ZM	26780EKS	629230.592	4492810.725	1569.751953	1569.68	1569.71	1569.71	1569.7
14	Point ZM	26820EKS	629234.627	4492850.521	1570.246948	1570.21	1570.23	1570.23	1570.23
15	Point ZM	26860EKS	629241.849	4492889.598	1570.741943	1570.72	1570.7	1570.69	1570.7

EK-3 Kazı, Siyah Zemin Test Noktalarının Enterpolasyon Yükseklik Değerleri

Table



KAZI SİYAH TEST

FID	Shape	Field1	Field2	Field3	Field4	IDW	L.POLINOM	MULTIKUADRIK	OK
0	Point ZM	Y264	627616.543	4480350.932	1693.432983	1693.39	1693.36	1693.39	1693.27
1	Point ZM	Y266	627591.475	4480350.06	1696.089966	1695.96	1695.94	1695.88	1695.95
2	Point ZM	Y273	627560.937	4480315.198	1701.573975	1701.49	1701.51	1701.58	1701.48
3	Point ZM	Y278	627539.933	4480276.897	1705.671997	1705.6	1705.65	1705.61	1705.74
4	Point ZM	Y290	627563.949	4480193.846	1709.487061	1709.43	1709.42	1709.46	1709.34
5	Point ZM	Y296	627586.325	4480162.364	1710.64502	1710.62	1710.61	1710.64	1710.59
6	Point ZM	Y300	627604.746	4480150.5	1711.26001	1711.23	1711.14	1711.2	1711.05
7	Point ZM	Y304	627615.856	4480135.504	1711.425049	1711.4	1711.38	1711.41	1711.37
8	Point ZM	Y306	627634.839	4480123.565	1711.172974	1711.1	1711.04	1711.12	1710.93
9	Point ZM	1385	627600.882	4480329.174	1695.859009	1696.11	1696.07	1695.98	1696.05
10	Point ZM	1396	627569.135	4480310.263	1700.916992	1700.91	1700.97	1700.96	1700.98
11	Point ZM	1399	627559.453	4480293.469	1703.072998	1702.98	1702.98	1702.99	1703
12	Point ZM	1404	627566.516	4480272.941	1703.859009	1703.9	1703.9	1703.85	1703.93
13	Point ZM	1428	627576.397	4480206.114	1708.33606	1708.33	1708.33	1708.29	1708.42
14	Point ZM	1429	627570.63	4480201.702	1708.284058	1708.83	1708.73	1708.71	1708.85
15	Point ZM	1449	627625.052	4480140.963	1710.963989	1711.05	1711	1711.05	1711.03
16	Point ZM	1451	627642.25	4480130.887	1710.814941	1710.85	1710.94	1710.84	1710.97
17	Point ZM	354	627551.544	4480211.7	1708.758057	1708.8	1708.77	1708.83	1708.81
18	Point ZM	358	627557.438	4480190.443	1709.300049	1709.39	1709.38	1709.37	1709.39
19	Point ZM	Y274	627564.476	4480312.724	1701.364014	1701.18	1701.3	1701.31	1701.28
20	Point ZM	Y286	627549.12	4480236.232	1707.874023	1707.67	1707.71	1707.75	1707.7
21	Point ZM	Y287	627558.661	4480217.008	1708.728027	1708.6	1708.53	1708.64	1708.4
22	Point ZM	1438	627600.8	4480174.454	1709.609009	1709.68	1709.64	1709.65	1709.71
23	Point ZM	381	627646.45	4480107.925	1710.652954	1710.72	1710.65	1710.68	1710.64
24	Point ZM	Y276	627551.111	4480296.221	1703.724976	1703.77	1703.63	1703.68	1703.63
25	Point ZM	Y280	627547.648	4480275.928	1705.417969	1705.24	1705.23	1705.3	1705.29
26	Point ZM	Y284	627541.987	4480234.33	1708.071045	1707.97	1707.96	1707.98	1707.86
27	Point ZM	Y295	627574.459	4480177.363	1710.078003	1709.96	1709.96	1709.96	1709.96
28	Point ZM	Y299	627601.673	4480148.535	1711.286987	1711.21	1711.16	1711.22	1711.13
29	Point ZM	Y312	627662.722	4480095.584	1710.639038	1710.52	1710.44	1710.56	1710.37
30	Point ZM	1394	627582.214	4480300.497	1700.437988	1700.46	1700.53	1700.48	1700.53
31	Point ZM	1412	627561.368	4480257.371	1705.609985	1705.65	1705.58	1705.54	1705.39
32	Point ZM	1415	627568.8	4480242.858	1706.667969	1706.68	1706.68	1706.66	1706.64
33	Point ZM	1422	627571.015	4480224.737	1707.647949	1707.56	1707.58	1707.55	1707.57
34	Point ZM	1433	627597.824	4480197.938	1708.862061	1708.83	1708.81	1708.81	1708.75
35	Point ZM	350	627535.365	4480254.968	1706.922974	1707.01	1706.91	1706.98	1707
36	Point ZM	Y317	627611.23	4480157.705	1710.726318	1710.77	1710.7	1710.71	1710.7

E-4 Kazı, Terasman Yüzeyi Test Noktalarının Enterpolasyon Yükseklik Değerleri

Table



KAZI TERASMAN TEST

FID	Shape	Field1	Field2	Field3	Field4	IDW	L.POLINOM	MULTIKUADRIK	OK
0	Point ZM	11520EKS	627649.561	4480110.708	1709.463013	1709.42	1709.46	1709.46	1709.46
1	Point ZM	11560EKS	627624.26	4480141.685	1708.496948	1708.47	1708.47	1708.49	1708.48
2	Point ZM	11600EKS	627598.587	4480172.36	1707.083008	1707.03	1707.02	1707.05	1707.05
3	Point ZM	11640EKS	627572.915	4480203.034	1705.222046	1705.23	1705.21	1705.21	1705.22
4	Point ZM	11680EKS	627552.137	4480236.843	1702.912964	1703.02	1702.93	1702.93	1702.94
5	Point ZM	11720EKS	627549.571	4480276.345	1700.156982	1700.2	1700.18	1700.18	1700.19
6	Point ZM	11760EKS	627566.257	4480312.241	1696.953003	1696.92	1696.94	1696.94	1696.94
7	Point ZM	11800EKS	627598.109	4480335.743	1693.525024	1693.49	1693.54	1693.54	1693.55
8	Point ZM	11840EKS	627637.176	4480343.76	1690.098022	1690.07	1690.06	1690.07	1690.06

E-5 Karışık, Siyah Zemin Test Noktalarının Enterpolasyon Yükseklik Değerleri

Table



KARIŞIK SİYAH TEST

FID	Shape	Field1	Field2	Field3	Field4	IDW	L.POLINOM	MULTIKUADRIK	OK
0	Point ZM	Y465	627800.939	4479106.551	1727.090942	1727.03	1727.06	1727.08	1727.04
1	Point ZM	Y468	627792.011	4479088.781	1726.447998	1726.4	1726.3	1726.42	1726.42
2	Point ZM	Y471	627784.152	4479070.627	1725.848999	1725.81	1725.87	1725.83	1725.85
3	Point ZM	Y474	627774.919	4479053.295	1725.342041	1725.26	1725.18	1725.35	1725.32
4	Point ZM	Y478	627763.634	4479037.103	1724.92395	1724.89	1724.86	1724.87	1724.88
5	Point ZM	Y483	627747.598	4478998.268	1723.206055	1723.25	1723.19	1723.26	1723.26
6	Point ZM	Y485	627741.494	4478979.55	1722.112061	1721.94	1721.93	1722.04	1722.07
7	Point ZM	Y489	627728.664	4478964.963	1721.401001	1721.31	1721.34	1721.41	1721.42
8	Point ZM	Y491	627719.593	4478946.223	1720.256958	1720.15	1720.13	1720.17	1720.15
9	Point ZM	Y495	627704.18	4478932.7	1719.369019	1719.3	1719.2	1719.41	1719.37
10	Point ZM	Y497	627694.67	4478914.783	1718.188965	1718.2	1718.14	1718.2	1718.22
11	Point ZM	Y500	627681.061	4478900.195	1717.287964	1717.31	1717.27	1717.31	1717.3
12	Point ZM	1691	627794.772	4479066.415	1725.51001	1725.54	1725.57	1725.71	1725.56
13	Point ZM	1699	627782.659	4479026.571	1723.647949	1723.71	1723.73	1723.71	1723.7
14	Point ZM	1703	627765.311	4479013.069	1723.401001	1723.35	1723.43	1723.4	1723.41
15	Point ZM	1708	627756.581	4478994.28	1722.379028	1722.24	1722.42	1722.33	1722.36
16	Point ZM	1740	627646.936	4478851.072	1713.83606	1714.05	1713.98	1713.75	1713.74
17	Point ZM	593	627753.711	4479020.785	1724.504028	1724.44	1724.5	1724.51	1724.48
18	Point ZM	594	627743.902	4478999.949	1723.312012	1723.34	1723.3	1723.35	1723.31
19	Point ZM	599	627735.578	4478984.463	1722.295044	1722.32	1722.29	1722.35	1722.38
20	Point ZM	600	627725.406	4478967.45	1721.530029	1721.53	1721.47	1721.53	1721.52
21	Point ZM	606	627713.309	4478951.014	1720.485962	1720.49	1720.49	1720.49	1720.51
22	Point ZM	617	627672.807	4478907.429	1717.285034	1717.37	1717.47	1717.23	1717.26
23	Point ZM	620	627660.277	4478892.63	1716.384033	1716.45	1716.23	1716.32	1716.35
24	Point ZM	627	627634.336	4478860.375	1714.567993	1714.89	1714.96	1714.91	1714.92
25	Point ZM	637	627605.365	4478832.93	1713.803955	1713.81	1713.79	1713.83	1713.86

E-6 Karışık, Terasman Yüzeyi Test Noktalarının Enterpolasyon Yükseklik Değerleri

Table										
KARIŞIK TERASMAN TEST										
FID	Shape	Field1	Field2	Field3	Field4	IDW	L.POLINOM	MULTIKUADRIK	OK	
0	Point ZM	10160EKS	627625.197	4478842.809	1716.234985	1716.19	1716.25	1716.2	1716.16	
1	Point ZM	10200EKS	627650.405	4478873.866	1717.349976	1717.31	1717.36	1717.33	1717.29	
2	Point ZM	10240EKS	627675.613	4478904.924	1718.650024	1718.61	1718.63	1718.6	1718.57	
3	Point ZM	10280EKS	627700.821	4478935.981	1720.121948	1720.08	1720.07	1720.1	1720.05	
4	Point ZM	10320EKS	627726.029	4478967.038	1721.630981	1721.64	1721.59	1721.64	1721.62	
5	Point ZM	10360EKS	627750.263	4478998.845	1723.139038	1723.17	1723.12	1723.13	1723.13	
6	Point ZM	10400EKS	627771.277	4479032.86	1724.484985	1724.48	1724.45	1724.48	1724.49	
7	Point ZM	10440EKS	627788.791	4479068.804	1725.504028	1725.55	1725.47	1725.5	1725.5	
8	Point ZM	10480EKS	627802.629	4479106.316	1726.197998	1726	1726.07	1725.95	1726.08	

ÖZGEÇMİŞ

