

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KRİĞİNG YÖNTEMİNİN GEOİT YÜZEYİ MODELLEMESİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE VAROLAN
YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Servet YAPRAK**

Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2007

**KRİĞİNG YÖNTEMİNİN GEOİT YÜZEYİ MODELLEMESİNDE
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE VAROLAN
YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Servet YAPRAK
(501992304)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Ağustos 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Ersoy ARSLAN (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Rasim DENİZ (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Tamer ÜNAL (Y.T.Ü.)
Doç.Dr. Mustafa YANALAK (İ.T.Ü.)
Y.Doç.Dr. Halis SAKA (G.Y.T.E.)**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

“Kriging Yönteminin Geoit Yüzeyi Modellemesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Varolan Yöntemlerle Karşılaştırılması” isimli doktora tez çalışmamda bana her türlü yardımı esirgemeyen, tez izleme çalışmalarında beni yönlendiren, tez danışmanım Doç. Dr. Ersoy ARSLAN’a, Prof. Dr. Rasim DENİZ ve Prof. Dr. Tamer ÜNAL’ a teşekkürlerimi sunarım.

Benden destek ve yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarıma, çalışmalarımda beni destekleyen, onları ihmallerime hoşgörü ile katlanan sevgili kızım, oğlum ve eşime çok teşekkür ederim.

Ağustos, 2006

Servet YAPRAK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GEOİT BELİRLEME YÖNTEMLERİ	5
2.1. Geoit	5
2.2. Geoit Belirleme Yöntemleri	5
2.3. Ortometrik ve Elipsidal Yükseklikler	7
2.4. GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinin Hesaplanması	10
2.4.1. Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon	11
2.4.2. Polinomlarla enterpolasyon	13
2.4.3. Multiquadratik enterpolasyon	14
2.4.4. Geoistatistiksel enterpolasyon yöntemleri	16
2.4.5. Kriging kestirimi	18
2.4.5.1. Ordinary kriging yöntemi	25
2.4.5.2. Simple kriging yöntemi	29
2.4.6. Geoistatistik ile ilgili bazı kavramlar	31
2.4.6.1. Variogram analizi	31
2.4.6.2. Deneysel variogram	32
2.4.6.3. Çapraz doğrulama tekniği	34
2.4.6.4. Variogram modeline ait parametreler	35
2.4.6.5. Variogramın orjine yakın davranışları ve özellikleri	36
2.4.6.6. Teorik variogram modelleri	37
2.4.7. Bulanık mantık yöntemine göre geoit belirleme	38
3. GEOİT BELİRLEME YÖNTEMLERİ	39
3.1. Ülkemizde Daha Önce Yapılan Geoit Belirleme Çalışmaları	39
3.2. Türkiye Geoidi – 1991 (TG-91)	39
3.3. GPS/Nivelman Geoidi	40
3.4. Düzenlenmiş Türkiye Geoidi - 1999A (TG-99A)	41
4. UYGULAMA	44
4.1. Çalışmanın Amacı	44

4.2. Çalışma Alanı	44
4.3. Veri Kaynakları	44
4.4. Kullanılan yazılımlar	45
4.5 Tokat Nirengi Ağı ile İlgili Çalışmalar	45
4.6. Nivelman Ölçüleri ve Değerlendirmeler	51
4.7. Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması	53
4.8. Tokat Mücavir Alanının Geoistatistik Analyst Yazılımı ile Geoit Modelinin Oluşturulması	55
4.8.1. Deterministik enterpolasyon yöntemleri ile model oluşturulması	56
4.8.2. Deterministik enterpolasyonlarla oluşturulan modelde noktaların test edilmesi	59
4.8.3. Tokat mücavir alanının kriging enterpolasyon yöntemleri ile geoit modelinin oluşturulması	62
4.8.4. Kriging enterpolasyon yöntemleri ile oluşturulan modellerden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması	69
4.9. İstanbul Metropoliten Alanının Geoistatistik Analiz Yazılımı ile Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması	71
4.9.1. İstanbul metropoliten alanının deterministik ve geoistatistik enterpolasyon yöntemlerle geoit modelinin oluşturulması	71
4.9.2. İstanbul metropoliten alanında geoit modellerinden test noktalarının geoit yüksekliklerinin deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla hesaplanması	76
4.9.2.1. 434 dayanak noktalı modelden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması	77
4.9.2.2. 393 dayanak noktalı modelden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması	78
4.9.2.3. 200 Dayanak noktalı modelden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması	79
4.9.2.4. 50 Dayanak noktalı modelden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması	80
4.9.3. Kestirim hatalarının ve kestirim hata haritasının hazırlanması	83
4.10. GPS/Nivelman Uygulamasında Kriging Enterpolasyon Yöntemlerinin Bulanık Mantık Yöntemleri ile Karşılaştırılması	85
5. SONUÇLAR	88
KAYNAKLAR	90
EKLER	99
ÖZGEÇMİŞ	127

KISALTMALAR

AGA	: Ana GPS Ağı
ASN	: Alım İçin Sıklaştırma Noktası
AN	: Ana Nivelman
BLUE	: Best Lineer Unbiased Estimator
BÖHHBÜY	: Büyük Ölçekli Halihazır Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
C1	: Birinci Derece Ulusal Ağ Noktası
C2	: İkinci Derece Ulusal Ağ Noktası
C3	: Üçüncü Derece Ulusal Ağ Noktası
EKKY	: En küçük Kareler Yöntemi
EMG96	: Earth Gravity Model 1996
GPI	: Global Polinomlarla Enterpolasyon
GPS	: Global Positioning System
GRS80	: Geodetic Referance System 1980
ITRF	: International Terrastreal Referance Frame
INVMULT	: İnvers Multiqadatik
İGNA	: İstanbul GPS Nirengi Ağı
KOH	: Karesel Ortalama Hata
LPI	: Lokal Polinomlarla Enterpolasyon
MAK	: Maksimum
MİN	: Minimum
MORT	: Mutlak Değerlerin Ortalaması
MULT	: Multiquadatik
ORT	: Ortalama
OK	: Ordinary Kriging
OK1	: 1. derece trend üzerinde Ordinary Kriging Enterpolasyon
OK2	: 2. derece trend üzerinde Ordinary Kriging Enterpolasyon
OK3	: 3. derece trend üzerinde Ordinary Kriging Enterpolasyon
RBF	: Radial Base Functions
RN	: Yardımcı Nivelman
Rs	: Nivelman Noktası
SGA	: Sıklaştırma GPS Ağı
SK	: Simple Kriging
SK1	: Küresel Variogram Modeli ile Simple Kriging Enterpolasyon
SK2	: Gauss Variogram Modeli ile Simple Kriging Enterpolasyon
TG03	: Türkiye Geoidi 2003
TG91	: Türkiye Gravimetrik Geoidi 1991
TG99	: Türkiye Geoidi 1999
TG99A	: Düzenlenmiş Türkiye Geoidi 1999
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
TUDKA	: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
WGS84	: World Geodetic System 1984

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1	Model noktaları ve test noktası koordinat değerleri..... 28
Tablo 2.2	Model noktaları ve test noktası koordinat ve geoit yüksekliği değerleri (m)..... 28
Tablo 2.3	Noktalar arası mesafe hesap tablosu..... 28
Tablo 2.4	Semivaryans değerleri 29
Tablo 4.1	Tokat ili Nirengi Ağı Çalışmaları 46
Tablo 4.2	Tokat 2. Kısım Nirengi Poligon ağı GPS ölçü süreleri 48
Tablo 4.3	1996–1999 GPS nirengi ölçülerinden hesaplanan ortak nirengi noktalarının koordinat farkları..... 49
Tablo 4.4	Tokat Nirengi Ağı serbest ve bağlı dengeleme istatistik sonuçları..... 49
Tablo 4.5	Tokat dayanak noktalarının 1998.0 (To) başlangıç epok koordinatları ve hız vektörleri..... 50
Tablo 4.6	İstanbul ve Tokat model ve test verilerinin histogram istatistik değerleri 55
Tablo 4.7	Deterministik modellerden dayanak noktalarının sapmalarını gösteren NÖLÇÜ-HESAP fark değerleri (m)..... 58
Tablo 4.8	Deterministik modellerden 13 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri ve istatistik sonuçlar (cm)..... 61
Tablo 4.9	Kriging enterpolasyonlar sonucu bulunan dayanak noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri (cm)..... 64
Tablo 4.10	Kriging enterpolasyonlar sonucu hesaplanan model fark değerlerinin istatistik sonuçları (cm)..... 65
Tablo 4.11	Tokat Geoit Modelinde geoistatistik enterpolasyonla hesaplanan test noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları ve istatistik sonuçları (cm)... 68
Tablo 4.12	434, 393, 200,50 dayanak noktası ile oluşturulan modellerde deterministik ve geoistatistik enterpolasyon sonucu hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları..... 72
Tablo 4.13	İstanbul geoit modeli dayanak noktaları $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları KOH değerleri (cm)..... 74
Tablo 4.14	Dayanak noktaları $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının mutlak değer ortalamaları 74
Tablo 4.15	434 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları (cm)..... 77
Tablo 4.16	393 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları (cm)..... 78
Tablo 4.17	200 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları(cm)..... 80
Tablo 4.18	50 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları (cm)..... 81
Tablo 4.19	Bulanık mantık ve kriging yöntemleri ile 50 dayanak noktası ile yapılan enterpolasyondan 50 test noktası için hesaplanan farkların istatistik sonuçları (cm)..... 86
Tablo 4.20	Bulanık mantık ve kriging yöntemleri ile 200 dayanak noktası ile yapılan enterpolasyondan 50 test noktası için hesaplanan farkların 86

	istatistik sonuçları (cm)	
Tablo 4.21	Bulanık mantık ve kriging yöntemleri ile 393 dayanak noktası ile yapılan enterpolasyondan 50 test noktası için hesaplanan farkların istatistik sonuçları (cm).....	87
Tablo A.1	Tokat nirengi ağı noktalarının dengelenmiş coğrafi, kartezyen ve dik koordinatları.....	100
Tablo A.2	Tokat nivelman ölçü değerleri, düzeltmeler, düzeltilmiş ölçüler ve ölçülerin ortalama hataları.....	103
Tablo A.3	70 noktalı nivelman ağının ortometrik yükseklik (H) değerleri (m)	106
Tablo A.4	Tokat geoit yüzeyini oluşturmak ve test etmek amacı ile seçilen dayanak ve test noktaların WGS84 datumunda koordinat ve $N_{GPS/NIVELMAN}$ değerleri.....	108
Tablo B.1	434 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları (m).....	110
Tablo B.2	393 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları (m).....	112
Tablo B.3	200 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları (m).....	114
Tablo B.4	50 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları (m).....	116

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 :Geoit ve elipsoid yüksekliklerinin geometrik ilişkisi.....	9
Şekil 2.2 :Kriging kestirimi.....	19
Şekil 2.3 :Histogram.....	22
Şekil 2.4 :Normal QQPlot.....	22
Şekil 2.5 :Trend analizi.....	23
Şekil 2.6 :Semivariogram/Kovaryans bulutu.....	24
Şekil 2.7 :Genel QQPlot	24
Şekil 2.8 :Dayanak ve test noktaları	27
Şekil 2.9 :Deneyisel ve teorik variogram	30
Şekil 2.10 :Deneyisel variogram grafiği	32
Şekil 2.11 :Yarıvariogram değerinin parametreleri	34
Şekil 2.12 :Teorik variogram modeli ve parametreleri	36
Şekil 4.1 :Tokat nirengi ağları	47
Şekil 4.2 :Nirengi noktalarının uydu görüntüsü üzerinde dağılımı.....	51
Şekil 4.3 :Tokat nivelman ağı ve nivelman noktaları.....	52
Şekil 4.4 :Tokat geoit modeli QQPlot grafiği.....	54
Şekil 4.5 :Model noktalarının histogram grafiği.	54
Şekil 4.6 :Model ve test noktalarının dağılımı	56
Şekil 4.7 :Mesafenin Ters Ağırlıkla Enterpolasyon (IDW) ekranı.....	57
Şekil 4.8 :Deterministik enterpolasyon sonuç değerleri ekranı.....	57
Şekil 4.9 :Dayanak noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri.....	59
Şekil 4.10 :30 model noktası için hesaplanan noktasal $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark grafiği.....	60
Şekil 4.11 :Deterministik modellerden hesaplanan 13 test noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm)	61
Şekil 4.12 :Tokat Geoit Modelinden deterministik enterpolasyon yöntemleri ile 13 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ değerleri grafiği (cm).....	63
Şekil 4.13 :Dayanak noktalarının kriging enterpolasyonla hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm)	65
Şekil 4.14 :Kriging enterpolasyonla hesaplanan 30 model noktasının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları	66
Şekil 4.15 :Çapraz karşılaştırma penceresi	67
Şekil 4.16 :Tokat geoit modeli deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla 30 dayanak noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri..	67
Şekil 4.17 :Tokat Geoit Modelinde geoistatistik enterpolasyonla hesaplanan test noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark ortalama KOH grafiği.....	69
Şekil 4.18 :Tokat geoit modelinde geoistatistik enterpolasyonla hesaplanan 13 test noktasının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri (cm).....	69
Şekil 4.19 :Deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlar sonucu 13 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm).....	70
Şekil 4.20 :434 dayanak noktalı modelden hesaplanan $N_{ÖLÇÜ-HESAP}$ farklarının KOH değerleri (cm).....	72
Şekil 4.21 :393 dayanak noktalı modelden hesaplanan $N_{ÖLÇÜ-HESAP}$ farklarının KOH değerleri (cm)	73
Şekil 4.22 :200 dayanak noktalı modelden hesaplanan $N_{ÖLÇÜ-HESAP}$ farklarının KOH değerleri (cm)	74
Şekil 4.23 :434, 393, 200 dayanak noktalı modellerden hesaplanan	

	$N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının mutlak değer ortalamaları grafiği (cm).....	75
Şekil 4.24	:Çapraz karşılaştırma penceresi.....	76
Şekil 4.25	:434 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm).....	78
Şekil 4.26	:393 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm).....	79
Şekil 4.27	:200 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm).....	81
Şekil 4.28	:50 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm).....	82
Şekil 4.29	:Deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının ± 5 cm den büyük çıktığı nokta sayısı	82
Şekil 4.30	:434 dayanak noktalı modelden hesaplanan test noktalarının tahmin değerlerinin standart hata değerlerini gösteren harita.....	83
Şekil 4.31	:393 dayanak noktalı modelden hesaplanan test noktalarının tahmin değerlerinin standart hata değerlerini gösteren harita.....	84
Şekil 4.32	:30 dayanak noktalı Tokat geoit modelden hesaplanan geoit eşyükseklik ve tahmin değerlerinin standart hata değerlerini gösteren harita.....	85
Şekil 4.33	:200 model noktalı İstanbul Geoit Modelinde; kriging ve bulanık mantıkla hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri grafiği.....	87
Şekil C.1	:434 dayanak noktalı modellerden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları noktasal fark grafikleri.....	119
Şekil C.2	:393 dayanak noktalı modellerden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları noktasal fark grafikleri.....	120
Şekil C.3	:200 dayanak noktalı modellerden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları noktasal fark grafikleri.....	121
Şekil C.4	:50 dayanak noktalı modellerden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları noktasal fark grafikleri.....	122
Şekil C..5	:GPS/Nivelman yöntemine göre 434 dayanak noktalı OK modelden üretilen geoit eşyükseklik eğrili harita.....	123
Şekil C..6	:GPS/Nivelman yöntemine göre 393 dayanak noktalı OK modelden üretilen geoit eşyükseklik eğrili harita.....	124
Şekil C.7	:GPS/Nivelman yöntemine göre 200 dayanak noktalı OK modelden üretilen geoit eşyükseklik eğrili harita.....	125
Şekil C.8	:GPS/Nivelman yöntemine göre Tokat için en iyi sonucu veren OK2 modelinden üretilen 10 cm aralıklarla hazırlanmış geoit eşyükseklik eğrili harita.....	126

SEMBOL LİSTESİ

a	:Etki Uzaklığı (Range)
a_{ij}	:Polinomun Bilinmeyen Katsayıları
C	:Eşik Değer (Sill)
C_p	:Jeopotansiyel sayı
dN	:Artık Ölçü
E	:Ümit Değer
f	:Basıklık
g	:Gerçek Gravite
H	:Ortometrik Yükseklik
h	:Elipsoidal Yükseklik
k	:TUDKA99 Noktasından GPS Noktasına Ara Nokta Sayısı
m	:Ortometrik Yüksekliklerin KOH değeri
m₀	:Birim Ölçünün Ortalama Hatası
n	:Yüzey derecesi
N_{GPS}	:GPS/Nivelman Ölçü Farklarından Bulunan Geoit Yüksekliği
N_{ÖLÇÜ}	:GPS/Nivelmanla Yöntemi İle Bulunan Geoit Yüksekliği
N_{TG91}	:TG91 Geoit Yüksekliği
N	:Geoit yüksekliği
P	:Ağırlık
R	:Yeryuvarının Ortalama Yarıçapı
S_i	:Uzaklık değeri
S_x²	:İndirgenmiş Hataların Varyansı
t	:Trend Değeri
T	:Epok
T₀	:Başlangıç Epoğu
X_i	:Sağa Koordinat Değeri
X_i	:İndirgenmiş hatalar
X₀	:İndirgenmiş hataların Ortalaması
Y_i	:Yukarı Koordinat Değeri
λ	:Elipsoidal Boylam
φ	:Elipsoidal Enlem
dN	:Artık Ölçü
γ(s)	:Semivaryans
δ_N	:Geoit Yükseklik Farkı
ΔC	:Jeopotansiyel Sayı Farkı
Δ	:Geometrik Parametre
Δ_{nk}	:İki Ardışık Nokta Arasındaki Nivelman Yükseklik Farkı
ΔN_i	:i Noktasında Trend Yüzeyi ile Ondülasyon Değeri Arasındaki Fark
σ²	:Kestirim hataların KOH Değeri
ε_i	:Kestirim hatası

KRIGING YÖNTEMİNİN GEOİT YÜZEYİ MODELLEMESİNDE KULLANILABİLİRLİĞİN ARAŞTIRILMASI VE VAROLAN YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Özellikle son on yılda Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)'nin her türlü uygulamalarda duyarlı konum belirleme amacıyla kullanılması diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de köklü değişimlere neden olmuştur. GPS ile kolay, hızlı ve duyarlı bir şekilde elde edilen üç boyutlu koordinatlar büyük ölçekli harita üretimi ve mühendislik uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

GPS ile elde edilen enlem ve boylam değerleri doğrudan kullanılmakta ancak GPS sisteminden hesaplanan elipsoidal yükseklik değerlerinin ortometrik yüksekliğe dönüştürülmesi gerekmektedir. Elipsoidal yüksekliklerin uygulamada kullanılan ortometrik yüksekliğe dönüşümü için yeterli doğrulukta geoit yüksekliklerinin bilinmesi gerekmektedir. GPS tekniği uygulamalarındaki artışa paralel olarak büyük ölçekli haritaların üretimi yönetmeliğinin de değişmesi ve GPS kullanımına uygun hale getirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Hazırlanan yeni yönetmelik GPS' in diğer uygulamalar yanında ortometrik yüksekliklerin elde edilmesinde kullanımı ile ilgili ölçü ve hesap yöntemlerini de içermektedir. Bunlardan bir tanesi de GPS/Nivelman yöntemi ile geoit yüksekliğinin belirlenmesidir.

Bu tezde, Tokat İli Mücavir Alanı sınırları ve İstanbul Metropoliten alanlarında GPS/Nivelman yöntemi ile geoit belirlemek için deterministik ve kriging enterpolasyon yöntemleri karşılaştırılarak, Kriging yönteminin geoit yüzeyi modellemesinde kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmıştır.

Ayrıca, geoit modeli oluşturulurken dayanak nokta sıklığının hesaplanan geoit yükseklik değerine etkisi İstanbul geoit modelleri ile incelenmiştir. Kriging ve bulanık mantık yöntemleri ile geoit belirlemede prezisyonları karşılaştırılmıştır.

Nokta yoğunluğunun geoit hesabına etkisini araştırmak için İstanbul' da 50 (~ 100 km²'ye bir nokta), 200 (~ 25 km²'ye bir nokta), 393 (~ 13 km²'ye bir nokta) ve 434 (~ 12 km²'ye bir nokta) nokta Tokat'ta 30 (~8,5 km²'ye bir nokta) nokta ile geoit yüzeyleri oluşturulmuştur. Uygulamada, ArcGIS 8.3 yazılımının Geostatistical Analyst modülü kullanılarak deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlar gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan yüzeylerde enterpolasyonla test için İstanbul' da 50, Tokat' da 13 test noktası seçilmiş ve bu noktaların modellerde değişik deterministik ve geoistatistik enterpolasyon ile N_{HESAP} değerleri bulunmuştur. N_{GPS/ NİVELMAN} yöntemi ile bulunan ölçü değerleri, N_{HESAP} değerlerinden çıkartılarak N_{HESAP}- ÖLÇÜ fark değerleri bulunmuştur. Farkların karesel ortalama hata değerleri, maksimum, minimum ve ortalama değerleri her yöntem için hesaplanmıştır. Bu değerler karşılaştırılarak en uygun yüzeyi veren yöntem seçimi yapılmıştır.

Bu çalışma 4 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm Giriş bölümüdür; tezin amacı, kapsamı anlatılmakta ve yapılan çalışmalar özetlenmektedir. 2. bölümde geoit belirlemenin önem ve amacı anlatılmış, geoit belirleme yöntemleri sınıflandırılarak kısaca açıklanmıştır. 3. bölümde ülkemizdeki geoit belirleme çalışmaları kısaca anlatılmıştır. 4. bölümde uygulamada kullanılan veriler, yazılımlar, yapılan ölçüler

ve oluşturulan geoit modellerinden hesaplanan deterministik ve geoistatistik enterpolasyon hesap ve sonuçları sunulmuştur. Son. bölüm sonuç ve öneriler bölümüdür. Bu bölümde hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve sonraki çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Yapılan çalışmalar sonunda, Kriging yöntemi ile geoit belirleme sonuçlarının deterministik yöntemlerden daha presizyonlu olduğu anlaşılmıştır. Ordinary Kriging yöntemi ile bulunan sonuçların Simple Kriging yönteminden bulunan sonuçlardan daha presizyonlu olduğu ancak üretilen geoit eşyükseklik haritalarında Simple Kriging yöntemi ile üretilen haritalardaki eğrilerin daha estetik olduğu görülmektedir. Deterministik yöntemleri içerisinde multiquadratik yöntemle bulunan sonuçların Kriging yöntemlerinden bulunan sonuçlara çok yakın olduğu ve multiquadratik yöntemin en iyi sonucu veren deterministik yöntem olduğu, presizyonu arttırmak için nokta yoğunluğunu arttırmaktan daha çok veri kalitesini arttırmak gerektiği saptanmıştır. 15 km²/ bir dayanak noktasından daha düşük yoğunluklu modellemede presizyonun yetersiz olduğu, nokta yoğunluğunun sonuçlar üzerindeki etkisinin bulanık mantık uygulamalarında daha etkili olduğu bulunmuştur.

SEARCHING THE USE OF KRIGING METHOD ON GEOID SURFACE AND COMPARING WITH EXISTENT METHODS

ABSTRACT

Using GPS in all kinds of engineering applications for determining precise coordinates especially in the last ten years, has made fundamental changes in Turkey as in the other countries. Three dimensional coordinates that are obtained by GPS easily, fast and sensible are widely used in such applications as large-scale map production and engineering applications.

The latitude and longitude values obtained by GPS are used directly, but ellipsoidal height values obtained by GPS must be transformed into ellipsoidal heights. For the transformation from ellipsoidal heights to orthometric heights, which are used in applications, geoid heights must be known with required accuracy. The by laws for large scale map production is required to be changed and allow to GPS applications, as parallel to the augmentation in application of the GPS technique. The new draft bylaw contains observation and calculation methods for obtaining orthometric heights by GPS, as well. One of them is determining the height of the geoid by GPS/Nivelman method.

In this thesis, the use of Kriging interpolation technique is explained and compared with classical methods by the Deterministic and Kriging interpolation methods for determining the geoids by GPS/Nivelman method in Tokat City Adjacent Surface Borders and İstanbul Metropolitan Surface.

Besides, while the Geoid Model was forming; the effect of control point frequency to computed geoid height values was investigated. And the effect of topography to precision was examined by comparing the models of Tokat and İstanbul in determination of geoid by Kriging and fuzzy logic technique.

For researching the effect of point frequency to the counting of geoid, geoid surfaces were formed with 50 (~one point to 100 km²), 200 (~one point to 25 km²), 393 (~one point to 13 km²) and 434 (~one point to 12 km²) points in İstanbul and 30 (~one point to 8,5 km²) points in Tokat. Deterministic and Geostatistical interpolations were calculated by known geoid undulations values performed by using ArcGIS 8.3 Geostatistical Analyst software. For testing with interpolations in the formed surfaces, 50 test points in İstanbul and 13 test points in Tokat were chosen and H_{CALCULUS} values were counted by various deterministic and geostatistical interpolations in the models. $N_{\text{LEVEL-CALCULUS}}$ distinction values were found by subtracting N_{CALCULUS} values from measurement values that were found by $N_{\text{GPS/NIVELMAN}}$ method. Mean square errors and maximum, minimum and mean error values were calculated for all methods. By comparing of these values, the method that gives the most suitable surface was chosen.

This research consist of four chapters. The first chapter is introduction chapter, the aim and extent of the research was explained and the studies were summarized. In the second chapter, the importance and the aim of determining the geoid was explained, determination of geoid methods were classified and explained shortly. Data, softwares, measurements, and deterministic and geostatistical interpolation account and results that were counted in the formed geoid models were presented in

the 4. chapter. Last chapter is conclusion and suggestion chapter. In this chapter, results and suggestions were presented.

After the studies, it was founded that the results of determinig geoid by Kriging method was more precisely than deterministic methods. The results of Ordinary Kriging method more precisely than Simple Kriging method's results but the maps produced by Simple Kriging method were more estetic than the other equal geoit hight maps. The results found by multiquadratic method between deterministic methods were close to the results found by Kriging method and multiquadratic method gave the best results. For increasing precission augmentation of survry quality is beter than augmentation of model points. Precision was insufficient in lower frequency modelling than 15 km^2 /one control point and the effect of point frequency on the results were more effectible than in the applications of logic fuzzy.

1. GİRİŞ

Özelikle son on yıl içerisinde GPS'in duyarlı konum belirleme amacıyla kullanılması tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de jeodezi çalışmalarında köklü değişimlere neden olmuştur. Günümüzde GPS' den çok değişik jeodezik problemlerin çözümünde yararlanılmaktadır. Bu kullanım alanlarından biri de GPS' in ülke ölçmelerinde kullanılmasıdır. Bilindiği gibi GPS' in ülke ölçmelerinde kullanımı

1. Mevcut ülke ağlarının incelenmesi
2. Mevcut ülke ağlarının sıklaştırılması ve iyileştirilmesi
3. GPS ile yeni bir ülke ağı oluşturulması
4. Yükseklik ve geoit belirleme

Şeklinde dört ana başlık altında incelenebilir.

Günümüzde GPS' den bu dört amaç için de yararlanılmaktadır (Arslan, 1997).

Başlangıçta içerisinde Türkiye'nin de olduğu çoğu ülkeler klasik yöntemle kurmuş oldukları eski ülke nirengi ağlarına dayalı olarak GPS sistemi ile nirengi ağları oluşturmuşlardır. Daha sonra, A Seviye kıtasal ağlara dayalı olarak önce B Seviye Ülke Temel Ağlarını oluşturup bu ağları sıklaştırma çalışmalarını yürütmektedirler. Ülkemizde de 1997–1999 yılları arasında Türkiye Temel GPS Ağı ölçüleri tamamlanmış ve TUTGA99 ismi verilmiştir.

GPS ile kolay, hızlı ve duyarlı bir şekilde elde edilen üç boyutlu koordinatlar büyük ölçekli harita üretimi ve coğrafi bilgi sistemi amaçlı veri toplama gibi uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Kılıçoğlu ve Fırat, 2003).

Jeodezinin temel görevlerinden biri, konum bilgisinin elde edilmesi ve pratik kullanıma sunulmasıdır. Uzay ve uydu teknikleri ile ve özellikle, küresel konum belirleme sistemlerinden yararlanarak, dünyanın her yerinde sürekli olarak bir uzay zaman sisteminde doğru ve güvenilir konum bilgilerinin ekonomik olarak elde edilebilir olması, bu bilgilerin diğer konuma ilişkin bilgilerle birleştirilmesi,

ekonomik değeri olan birçok sistem ve yöntemin geliştirilmesini, dolayısıyla uygulamaya sokulmasını sağlamıştır (Aksoy ve diğ., 1999).

GPS tekniği ile WGS84 referans elipsoidi sistemine dayalı olarak  boyutlu coğrafi koordinatlar: elipsoidal enlem (ϕ), boylam (λ) ve elipsoidal yükseklikler (h), olarak elde edilirler. Ancak çoğu mühendislik çalışmasında elipsoidal yükseklikler yerine, çoğunlukla geoide göre tanımlanan ortometrik yüksekliklere (H), gereksinim duyulur. Bu nedenle, GPS tekniği ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere en uygun biçimde dönüştürülmesi, uygulamada üstesinden gelinmesi gereken bir problemidir. Geoit karmaşık bir yüzeydir ve matematiksel olarak kolayca tanımlanamaz. Yeryuvarının şeklinin 1872 yılında Listing tarafından tanımlanması ve Geoit olarak adlandırılmasından sonra, bu şeklin belirlenmesi jeodezinin önde gelen çalışma alanlarından birisi olmuştur Aksoy ve Güneş (1990). Bir referans yüzeyi olarak yükseklik sistemlerinde kullanılacak bir geoide güncel teknolojiyi kullanan herkesin ihtiyaı vardır; çünkü geoit, yüksek presizyonlu jeodezik koordinatlar ile uydularla elde edilen konumlar arasındaki doğal bağdır. Bu nedenle uydu tekniklerinin rasyonel kullanılmasında geoit önemli bir altyapıdır Aksoy ve diğ. (1999). Geoit modelleri yerel, bölgesel veya küresel alanlar için geliştirilebilir. Geoit belirleme, yatay konumu bilinen bir noktada, geoit yüksekliğinin sayısal veya analog olarak elde edilmesini sağlayacak biçimde verilerin modellendirilmesidir (Ayan ve Deniz, 2000).

Ortometrik yüksekliklerin elde edildiği nivelman ölçmeleri, oldukça fazla zaman ve işgücü gerektiren, uygulanması zor ve ekonomik olmayan bir lme tekniğidir. Bu nedenle bir mühendislik projelerinde uygun bir çözüm sağlamamaktadır. Bu olumsuzluktan dolayı, çalışma alanında nivelman ölçmelerini minimum düzeye indirecek çözümlerin kullanılması gerekmektedir. GPS lmelerine çalışma alanında gereksinim duyulan doğruluğu sağlayacak bir geoit modelinin kullanılması; uygulanabilir ve en uygun bir çözümdür. 23.05.2005 tarihinde yürürlüğe giren Büyük lekli Harita ve Harita Bilgileri retim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) kapsamında, büyük ölçekli haritacılık çalışmalarında ve mühendislik ölçmelerinde nokta yükseklik bilgisi üretmeye yönelik geoit modellerinin kullanıldığı çeşitli çözüm seçenekleri sunulmaktadır (BÖHHBÜY, 2005).

BÖHHBÜY'ne göre ortometrik yüksekliklerin hesabında geoit modelinin kullanılması için önerilen yöntemler aşağıdadır.

- TG99A geoidinin doğrudan kullanılması,
- TG99A geoit modelinin yerel GPS/Nivelman geoit ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması,
- Baz vektörlerinde elipsoit ve TG99A geoit yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi,
- Yerel GPS/Nivelman geoit modelinin oluşturulması (Kılıçoğlu ve Fırat, 2003).

Bu çerçevede, bu çalışmanın amacı, günümüz jeodezik uygulamalarının en önemli problemlerinden biri olan yerel alanlarda geoidin hassas bir şekilde belirlenmesi için uygulanabilir yöntemleri karşılaştırmak ve buradan en uygun sonucu veren yöntem ve/veya yöntemleri bulmaktır. GPS ölçmelerinin yüksek presizyonu, GPS in gittikçe artan bir hızla kullanılıyor olması ve bu ölçmelerden elde edilen elipsoidal yüksekliklerin uygulamada kullanılabilmesi için, geoit yüksekliğinin presizyonlu bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bunun nedeni elipsoidal yükseklikler ile ortometrik yükseklikler arasındaki dönüşümün geoit yüksekliği ile yapılabilmesidir. Geoit yüksekliğinin en önemli uygulamalarından birisi elipsoidal yüksekliklerden (h) ortometrik yüksekliklerin (H) elde edilmesidir. Burada $H = h - N$ ile H değeri, N değeri ondülasyonu belirli bir elipsoide göre belirlenir.

Bu çalışmada, İstanbul Metropoliten Alanını ve Tokat Mücavir Alanı sınırlarını kapsayan alanlarda deterministik ve geoistatistik enterpolasyon yöntemleri ile Geoit modelleri oluşturulmuştur. Burada amaç, cm duyarlılıkla hesaplanmış olan GPS/nivelman verilerinden (cm duyarlıklılı) konumu bilinen noktalarda geoit yüksekliği hesaplamaktır. İstanbul çalışma alanında 50, 200,393 ve 434 nokta dayanak noktaları olarak seçilmiştir. Oluşan yüzeyden enterpolasyonla test için, İstanbul'da 50 nokta (test noktası) seçilmiş ve bu 50 noktanın her dört modelde değişik deterministik ve geoistatistik enterpolasyon sonuçları hesaplanmıştır.

İstanbul Metropoliten Alanını kapsayan İGNA-99 verileri ve İGDAŞ için 1999 yılında üretilen 14 noktaya ait veriler kullanılmıştır Bu çalışma için, İstanbul verilerine ait herhangi bir GPS ve nivelman, dengeleme, test çalışması tarafımdan yapılmamış Yılmaz (2005) tarafından oluşturulmuş olan geoit modeli bu çalışmada değişik yöntemlerle test edilmiştir. Çalışmanın en sonunda İstanbul için bulunan değerler Yılmaz (2005) tarafından Bulanık Mantık yoluyla bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır.

Tokat İli Mucavir alanında (15km*17 km) ise topografyayı temsil eden 30 adet nokta dayanak noktası olarak seçilmiştir. 13 adet de test noktası seçilmiştir. Tokat ilinde düzgün bir jeodezik ağı olmaması, öncelikle burada hem GPS ölçü ve hesaplarını, hem de nivelman ölçü ve hesaplarını gerektirmiştir. Bu amaçla 14 yeni nirengi noktası (C3) ölçülerek ağa dâhil edilmiş ve daha önce 1996, 1999, 2002 yıllarında ölçülmüş olan ağ bir adet TUTGA (CORD), iki adet C1 (H3610001 ve H371001) noktalarına dayalı olarak yeniden İTÜ Jeodezi laboratuvarında SKI 3.2 yazılımında birleştirilerek dengelenmiştir. Böylece, Tokat GPS nirengi ağını oluşturan 76 noktanın, ITRF98 ve 2002, 8301 epok koordinatları hesaplanmıştır. Ayrıca 1996, 1999 ve 2002 yıllarında yapılmış olan nivelman ölçüleri şehrin güneyinden ve doğusundan geçen iki adet TUDKA noktasına (A-3(DN3) ve A50(DN60)) bağlanmıştır. 70 noktadan oluşan ağ dengelenmiş ve dengeleme sonunda KOH= $\pm 3,4$ mm/km olarak bulunmuştur.

Uygulamada, ArcGIS 8.3 yazılımının Geostatistical Analyst modülü kullanılarak tüm deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlar gerçekleştirilmiştir. Geoit modellerinden daha önce seçilmiş olan İstanbul için 50, Tokat için 13 adet test noktasının tahmin değerleri hesaplanmıştır. Deterministik yöntemler için sadece tahmin değerleri ve tahmin hataları hesaplanabilirken, geoistatistik yöntemlerle enterpolasyon sonucunda standart hata ortalaması, standartlaştırılmış karesel ortalama hata değerleri de hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar karşılaştırılmış her yöntemin maksimum, minimum, ortalama hata değerleri ve karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışma, 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm Giriş bölümüdür; tezin amacı, kapsamı anlatılmakta ve yapılan çalışmalar özetlenmektedir. 2. bölümde geoit belirlemenin önem ve amacı anlatılmış, geoit belirleme yöntemleri sınıflandırılarak kısaca açıklanmıştır. 3. bölümde ülkemizdeki geoit belirleme çalışmaları kısaca anlatılmıştır. 4. bölümde uygulamada kullanılan veriler, yazılımlar, yapılan ölçüler ve oluşturulan geoit modellerinden hesaplanan deterministik ve geoistatistik enterpolasyon hesap ve sonuçlar sunularak, sonuçlar yorumlanmıştır. 5. bölüm Sonuçlar bölümü olup bu bölümde hesaplamalardan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. GEOİT BELİRLEME YÖNTEMLERİ

2.1. Geoit

Geoit basit geometrik bir yüzey değildir ve matematiksel olarak kolayca tanımlanamaz. Yeryuvarının şeklinin 1872 yılında Listing tarafından tanımlanması ve Geoit olarak adlandırmasından sonra, bu şeklin belirlenmesi jeodezinin önde gelen çalışma alanlarından birisi olmuştur (Aksoy ve Güneş,1990).

Jeodezide düşey kontrol ağları için geoidin referans yüzeyi olarak kabul edilmesi ve uydularla yapılan ölçmelerde hesaplamaların bir elipsoit yüzeyinde yapılması, geoit belirlemeyi jeodezinin önemli problemlerinden biri haline getirmiştir. Geoit belirleme, jeodezinin önemini kaybetmeyen güncel konularından birisidir. Gelişen uydu teknikleri geoit belirlemenin önemini daha da arttırmıştır. Bunun nedeni, geoit yüksekliğinin uydulardan elde edilen elipsoidal yükseklikler ile nivelman ölçmeleri sonucu elde edilen ortometrik yükseklikler arasında doğal bir bağ olmasındandır (Aksoy ve diğ.,1999)

2.2. Geoit Belirleme Yöntemleri

Geoit belirleme, jeodezide uydu teknolojilerinin sivil kullanımda yaygınlaşması ile önemli bir problem haline gelmiştir. Uydulara yapılan jeodezik ölçmelerde, noktaların jeodezik koordinatlarının hesabı, yeryuvarının şekline ve büyüklüğüne büyük ölçüde yakınsayan bir elipsoit üzerinde yapılır. Ölçme aletleri ile fiziksel yeryüzü üzerinde yapılan ölçmeler ise geoitle ilgilidir. Bu iki yüzey arasındaki farka geoit ondülasyonu veya geoit yüksekliği denir ve N ile gösterilir (Grafarend, 1994).

Geoit belirleme, yatay konumu bilinen bir noktada, geoit yüksekliğinin sayısal ve analog olarak elde edilmesini sağlayacak biçimde verilerin modellendirilmesidir Yılmaz (2005). GPS tekniğinin jeodezik amaçlar için kullanılmasında üç boyutlu coğrafi koordinatlar, elipsoidal enlem, φ , boylam, λ , ve elipsoidal yükseklikler, h , sistemin referans elipsoidi WGS84'e dayalı olarak elde edilirler. Ancak çoğu mühendislik çalışmasında elipsoidal yükseklikler yerine, çoğunlukla geoide göre

tanımlanan ortometrik yüksekliklere, H , gereksinim duyulur. Bu nedenle, GPS tekniği ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere en optimal biçimde dönüştürülmesi, uygulamada üstesinden gelinmesi gereken bir problemdir (Çelik ve Erol, 2005).

Geoit belirleme yöntemlerini sınıflandırabilmek için, öncelikle gravite alanının global spektral davranışının tanımlanması gerekir. Bu amaçla Tscherning ve Rapp (1974) tarafından önerilen “anomali dereceli varyans modeli” kullanılabilir. Modele göre, global gravite alanının küresel harmonik açılımı ile elde edilecek gravite anomalileri ve geoit yüksekliklerinin karesel ortalama hataları hesaplanmaktadır. Global gravite alanının spektral davranışı, yani küresel harmonik açılım dereceleri (uzun, orta, kısa ve ultra kısa dalga) ile bu derecelere karşılık gelen gravite anomalilerinin ve geoit yüksekliklerinin karesel ortalama hataları arasındaki bağıntılar, geoit belirlemeden beklenen doğruluklar ile bu doğruluklara ulaşabilmek için gereken verilerin sıklığı ve doğruluğu arasında doğrudan bir ilişki kurulabilir (Yılmaz, 2005).

Geoit belirleme yöntemleri, eldeki mevcut verilere ve kullanılan modellere göre sınıflandırılabilir. Geoit belirleme yöntemleri, kullanılan veriler ve modeller dikkate alınarak aşağıda sınıflandırılmıştır (Yılmaz ve Arslan, 2005).

1-Astro-jeodezik yöntemle geoit belirleme

2- Gravite değerlerine göre geoit belirleme

-Stokes fonksiyonu ile

-Hızlı fourier transformasyonu ile

I-Bir boyutlu hızlı fourier transformasyonu ile (1d-fft)

II-İki boyutlu hızlı fourier transformasyonu ile (2d-fft)

3-Sayısal yoğunluk yöntemine göre geoit belirleme

4-Jeopotansiyel yaklaşımı ile geoit belirleme

5-Kombine yöntemle geoit belirleme (remove – restore)

6-GPS/nivelman Yöntemine göre geoit belirleme

- Mesafenin tersine göre enterpolasyonla geoit belirleme

- Polinomlarla geoit belirleme

- Geoistatistiksel enterpolasyon yöntemleri ile geoit belirleme
- Bulanık mantık yöntemi ile geoit belirleme
- Sonlu elemanlar yöntemi ile geot belirleme
- Kollokasyon yöntemi ile geoit belirleme

Burada çalışmanın konusu GPS/Nivelman yöntemine göre geoit belirleme olduğu için sadece GPS/Nivelman yöntemine göre geoit belirleme yöntemleri ele alınacaktır.

2.3. Ortometrik ve Elipsoidal Yükseklikler

Üç boyutlu konum belirlemenin bir parçası olarak düşey kontrol, belli bir başlangıç yüzeyine göre yeryüzündeki nokta yüksekliklerinin belirlenmesine olanak sağlar. Bu amaçla düşey kontrol, geleneksel olarak adlandırılan gravite ile ilişkili yükseklik ağırları ya da modern uydu teknikleri yardımıyla sağlanır Üstün ve Demirel (2003). Ulusal ya da bölgesel bir yükseklik (düşey kontrol) sistemi oluşturulurken, pratik açıdan üç temel ilke gözetilir:

- İdeal anlamda geoide karşılık gelmesi ve doğada erişebilir olması nedeniyle başlangıç yüzeyi (düşey datum) olarak ortalama deniz düzeyinin seçilmesi,
- Nokta yüksekliklerinin yoldan bağımsız, tek anlamlı, bir nokta için yükseklik değerlerinin farklı yollardan gidilerek bulunan değerlerin aynı olması,
- Pratiğe elverişli olması açısından yeryuvarının gravite alanı ile ilişkili bir yükseklik türünün seçilmesi.

Söz konusu bu temel ilkeleri karşılayacak tek yükseklik sistemi, hassas nivelman ve gravite ölçülerinden hesaplanan jeopotansiyel sayı ya da bunlardan belirli bir ölçek oranında sapan dinamik yüksekliklerdir. Ancak, geometrik bir gösterimin yapılamaması her iki yükseklik türünün önündeki en büyük engeldir. Öte yandan, doğada elde edilebilen çekül doğrultusu, yükseklik tanımı için oldukça uygundur. Başlangıç yüzeyi ile yeryüzü noktası arasında kalan çekül eğrisinin uzunluğu geometrik gereksinimleri karşılayacak niteliktedir. (Üstün ve Demirel, 2003).

Jeodezide elipsoidal ve ortometrik yükseklikler yaygın olarak kullanılan iki yükseklik sistemidir. Bir yükseklik sisteminden diğerine geçiş iki yükseklik arasındaki fark olan geoit yüksekliği değerinin presizyonlu bir şekilde belirlenmesi ile mümkündür.

Nivelman tekniği ile elde edilen nokta yükseklikleri, çok kabaca 'ortalama deniz seviyesi' olarak adlandırılabilir. Bir referans yüzeyinden itibaren noktaya kadar çekül doğrusu boyunca olan mesafe olarak tanımlanabilir. Tekniğin uygulanması ile iki yeryüzü noktasında gerçekleştirilen mira okumaları arasındaki farktan bu iki nokta arasındaki yükseklik farkı elde edilir ve bu farklar ile gravite ölçülerine dayalı düzeltmeler kullanılarak nokta ortometrik yükseklikleri hesaplanır.

Geoit, ortometrik yüksekliklerin datumu, ortalama durgun okyanus yüzeyine yakınsayan bir yüzeydir. Bu yüzeyden itibaren olan ortometrik yükseklikler ile GPS'in referans elipsoidi yüzeyinden itibaren tanımlanan elipsoidal yükseklikler arasındaki ilişki eşitlik (2.1) ile ifade edilir ve şekil (2.1) de gösterildiği gibidir. Çalışmaların birçoğunda düşeyden sapma, ϵ , çok küçük bir değer olması dolayısıyla ihmal edilir (elik ve Erol, 2005).

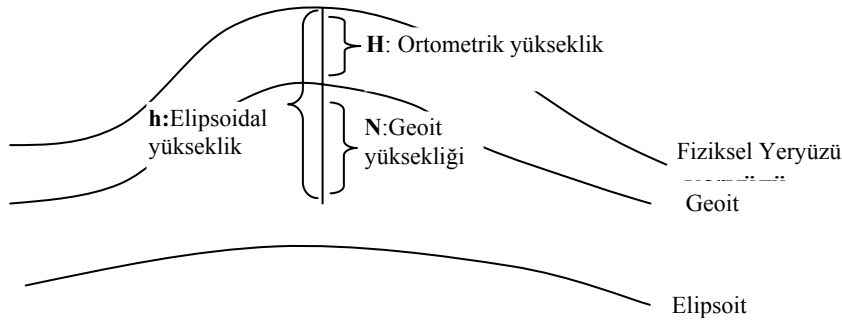
Elipsoidal yükseklikler tamamıyla geometrik büyüklükler iken, ortometrik yükseklikler yer gravite alanına bağlı fiziksel büyüklüklerdir. Her lke kendi yükseklik sistemine ve referans elipsoidine sahiptir. Ancak yine de ortometrik yükseklikler ile GPS yükseklikleri arasındaki ilişki eşitlik 2.1 ile ifade edilen temel bağıntıya uyar. Türkiye'nin de bölgesel yükseklik datumu Antalya'da kurulmuş mareograf istasyonundan çıkış almıştır ve ülke düşey kontrol ağı ile ifade edilir. Günümüzde uygulamalarda kullanılan nokta yükseklik türleri genellikle Helmert Ortometrik yükseklikleridir (elik ve Erol, 2005).

GPS ile elde edilen elipsoidal yüksekliğin jeodezi ve mühendislik uygulamalarında kullanılabilmesi için bölgenin yükseklik datumunda tanımlanmış ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekmektedir. Ortometrik yüksekliklerin elde edildiği nivelman ölçmeleri, sağladığı yüksek doğruluğun yanı sıra, zaman ve iş gücü gerektiren oldukça zahmetli bir lme tekniği olması nedeniyle, elipsoidal yüksekliklerden (h) ortometrik yüksekliklerin (H) elde edilmesini sağlayacak presizyonlu geoit modellerinin hesaplanması ve kullanılması günümüzde pratik jeodezik uygulamalar açısından daha önemli hale gelmiştir. GPS ölçülerinden elde edilen elipsoidal yüksekliklerden geoit yükseklikleri çıkarılarak ortometrik yüksekliklerin hesaplanması gerekmektedir. Böylece geoidi belli olan ülkeler ve bölgelerde GPS lleri nivelman yükünü de ortadan kaldırmaktadır. şekil 2.1de ortometrik yükseklik ve elipsoidal yükseklik arasındaki ilişki görülmektedir.

Burada, P noktasının GPS ölçülerinden elde edilen elipsoidal yüksekliği (h), P noktasının geoitden olan yüksekliği (H) dir. Bu yükseklik ise ortometrik yüksekliktir. GPS ile belirlenen elipsoidal yükseklik ile nivelman ile belirlenen ortometrik yükseklik arasında

$$H = h - N \quad (2.1)$$

ilişkisi vardır (Lidle,1989).



Şekil 2.1: Geoit ve elipsoid yüksekliklerinin geometrik ilişkisi

Yukarıdaki eşitlikte GPS ölçüleri sonucunda noktaların ortometrik yüksekliklerini belirleyebilmek için N geoit yüksekliğinin bilinmesi gerekir. Noktaların hem elipsoidal hem de nivelman yükseklikleri biliniyorsa buradan

$$N = H - h \quad (2.2)$$

Formülü ile geoit yükseklikleri bulunur. Bir bölgede çalışma alanına dağılmış yeterli yoğunlukta ve sayıda noktada geoit yükseklikleri bilinirse, bölge için geoit belirlenebilir Ollikainen (1997). Bölge içinde her hangi bir noktanın GPS ölçmeleri ile elipsoidal yüksekliği belirlenirse bu nokta için geoit yüksekliği modelden hesaplanabilir ve elipsoidal yükseklikten çıkarılarak ortometrik yükseklik elde edilir. Böylece, geoidi belli olan bölgelerde GPS ölçüleri nivelman yükünü de ortadan kaldırmaktadır.

Gravimetrik yöntem uygulanarak belirlenen geoit modellerinin mutlak doğrulukları, yukarıda sözü edilen amaçlar için yeterli olmamaktadır. Günümüzde uygulamaların geneline bakıldığında gereksinimi karşılayacak yüksek doğrulukta geoit modellerinin elde edilmesinde farklı veri gruplarının katkı verdiği hesap tekniklerinin

uygulandığı, böylelikle daha doğru geoit modellerinin hesaplandığı görülmektedir. Özellikle GPS tekniğinin uygulamalara yönelik pratik bir çözüm olarak gündeme getirdiği, jeodezik nivelman ihtiyacını karşılayabilecek bir geoit modelinin ± 5 cm lik bir mutlak doğruluğa sahip olması gerekmektedir.

2.4. GPS/nivelman Yöntemine Göre geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması

(2.1) GPS / Nivelman yöntemine göre geoit belirlemenin temel eşitliğidir. Eğer bir noktada ortometrik yükseklik (H) ve elipsoidal yükseklik (h) biliniyorsa geoit yüksekliği (N) kolaylıkla bulunabilir. Son yıllarda, GPS/ nivelman yöntemine göre elde edilmiş geoit yükseklik değerlerini veri olarak kullanan değişik geoit yüksekliğini belirleme çalışmaları daha ekonomik olması, hesap kolaylığı ve presizyonlu sonuçlar vermesi bakımından tercih edilmektedirler Yılmaz (2005). İyi bir dönüşüm için her iki sistemde yüksekliği bilinen noktaların H ortometrik yüksekliklerinin de aynı doğrulukta elde edilmiş olması gerekir. Ancak ortometrik yüksekliklerin belirlenmesinde bu doğruluğa uygulamada zor ulaşılabilmektedir.

Geoit ondülasyonlarını belirleme teknikleri içerisinde en yaygın olarak kullanılanı, bölgede elipsoidal ve ortometrik yüksekliği bilinen ve bölgeyi en iyi temsil eden noktalardan yararlanarak, analitik bir yüzey geçirmektir. Yüzey geçirilmesi ile elde edilen matematiksel model, GPS ölçüsü yapılan noktalardaki geoit ondülasyonlarının başka bir deyişle ortometrik yüksekliklerin belirlenmesinde kullanılır. Bu yöntem astrojeodezik yöneme benzer. Her iki yöntemde de en yüksek hassasiyet, geoidin üzgün olduğu alanlarda bulunan birbirine çok yakın istasyonlar arasında yapılan uygulamalarda elde edilir.

Belirli bir koordinat sisteminde, uygun dağılımda koordinatları bilinen herhangi bir noktadaki geoit ondülasyonu hesaplanabilir. Problemin çözülmesinde farklı ve çok çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılabilir.

Enterpolasyon, konumu bilinen fonksiyonel bağımlılık değerlerinden, bilinmeyen fonksiyonel bağımlılıkların hesaplanmasıdır. Jeodezide ölçme yapılan noktalardaki değerlerle ölçme yapılmayan noktalardaki değerlerin hesaplanmasıdır. Yüzeyin belirlenmesinde kullanılacak yaklaşımlara bağlı olarak değişik enterpolasyon yöntemleri türetilmiştir.

Bu yöntemlerin bir bölümünde dayanak noktalarındaki yükseklikler hatasız kabul edilir, bir kısmında belirli bir dengeleme ya da düzensiz hataların filtrelemesi yapılır. Duruma göre o bölge için seçilmiş olan enterpolasyon yöntemi ne kadar uygunsa, geoit ondülasyonunun hesaplanan değeri ile gerçek değeri arasındaki fark o denli küçük olur. Matematiksel olarak

$$E\{N_{hesap}\} = N_{gerçek} \quad (2.3)$$

olması istenir. Pratikte bunun gerçekleşmesi zordur (İnal ve diğ., 2002).

Enterpolasyon problemlerinin çözümünde üç yaklaşım vardır (Güler, 1978).

Noktasal enterpolasyon: Noktasal enterpolasyonda noktayı çevreleyen tanımlı bir daire, kare veya elips içine düşen dayanak noktalarına göre çözüm üretilir.

Tüm bölgeyi kapsayan tek bir fonksiyonla enterpolasyon: Tüm bölgeyi kapsayan tek bir fonksiyonla enterpolasyonda, tüm dayanak noktaları bir fonksiyon içerisinde kullanılır.

Yerel olarak tanımlanmış parça parça fonksiyonlarla enterpolasyon: Yerel olarak tanımlanmış parça parça enterpolasyonda ise, geoit yüzeyi daha çok parçalara bölünmektedir. Bunun nedeni, geoit yüzeyinin arazi yüzeyine bağlı olarak tüm alan içerisinde homojen bir yapı göstermemesinden kaynaklanır (Akçın, 1998).

2.4.1. Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon

Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon yönteminde, enterpolasyon noktasının yüksekliği çevresinde bulunan uygun dağılmış dayanak noktalarının yüksekliklerinden ağırlıklı ortalama ile hesaplanır. Bir dayanak noktasının yüksekliğinin ağırlığı o noktanın enterpolasyon noktasına olan uzaklığının bir fonksiyonudur.

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

$$P_i = \left[(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 \right]^{-k} = (s_i^2)^{-k} \quad (2.4)$$

$i=1, 2, \dots, m$ $k=1, 2, 3$ eşitliği kullanılabileceği gibi,

$$P_i = e^{(-s_i^2/k^2)} \quad i= 1, 2, \dots, m \quad k= 3, 4, 5 \quad (2.5)$$

şeklindeki Gauss fonksiyonu da kullanılabilir (Güler, 1985).

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

$$P_i = \frac{1}{S} \quad (2.6)$$

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n N_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.7)$$

eşitliği ile hesaplanır (Zhan, 1998).

Burada;

N : Geoit ondülasyonu,

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

P_i : Ağırlıktır.

Bu yöntemde, değeri büyüdükçe yeni noktadaki geoit ondülasyonu, komşu noktaların geoit ondülasyonundan daha fazla etkilenir, yani ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon, en yakın komşuluklu enterpolasyon problemine dönüşür.

Küçük bir kuvvet için ağırlıklar, dayanak noktaları arasında daha düzgün bir şekilde dağılır, daha büyük kuvvet için yakın dayanak noktaları ortalama ağırlığın daha büyük bir kesri olarak verilir Soycan (2002). Aşağıdaki ağırlık değerleri ağırlıklı ortalama ile enterpolasyon problemi çözümünde kullanılabilir (Yanalak ve İnce, 1997).

$$P_i = 1/S_i \quad (2.8)$$

$$P_i = S_i^2 \quad (2.9)$$

$$P_i = e^{(-S_i/k^2)} \quad k=3 \quad (2.10)$$

$$P_i = e^{s_i^2/k^2} \quad k=4 \quad (2.11)$$

2.4.2. Polinomlarla Enterpolasyon

Polinomlarla enterpolasyon, yüzey modellemede en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu tekniğin ana fikri, çalışılan bölgenin tek bir fonksiyonla ifade edilmesidir. Dayanak noktalarının x_i, y_i koordinatları ve N_i geoitondülasyonundan yararlanarak fonksiyon katsayıları belirlenir. Yüzey genellikle iki değişkenli yüksek dereceden polinomlarla tanımlanır.

Ortogonal polinomlarla enterpolasyonda;

$$N(x,y) = \sum_{k=0}^n \sum_{j=k-i}^k a_{ij} x_i y_i \quad (2.12)$$

Burada,

a_{ij} : Polinomun bilinmeyen katsayıları

x_i, y_i : Noktaların düzlem koordinatları

n : Yüzeyin derecesi

i, j : (x, y) koordinatlarının üssü olan pozitif tamsayıları göstermektedir (Erkanlı, 1986).

Ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyonda ise,

$$N(x,y) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x_i y_i \quad (2.13)$$

eşitliklerinden yararlanılır. Burada;

Dayanak noktası sayısı bilinmeyen sayısından fazla ise a_{ij} katsayıları en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır.

$$A; \text{Katsayılar matrisi, } N^T = [N_1 \quad N_2 \quad N_n] \quad (2.14)$$

olmak üzere,

$$M = A^T A \quad (2.15)$$

$$n = A^T l \quad (2.16)$$

$$x = M^{-1} n \quad (2.17)$$

eşitlikleri yazılabilir. Ortogonal polinomlarla enterpolasyonda yüzeyin derecesine bağlı olarak;

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x \quad (n=1) \quad (2.18)$$

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \quad (n=2) \quad (2.19)$$

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3 \quad (n=3) \quad (2.20)$$

fonksiyonları yazılır. Bu yöntemle, enterpolasyonda yüzeyin derecesi 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 derecesine bağlı olarak;

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy \quad (n=1) \quad (2.21)$$

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy + a_4y^2 + a_5xy^2 + a_6x^2 + a_7x^2y + a_8x^2y^2 \quad (n=2) \quad (2.22)$$

$$N(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy + a_4y^2 + a_5xy^2 + a_6x^2 + a_7x^2y + a_8x^2y^2 + a_9y^3 + a_{10}xy^3 + a_{11}x^2y^3 + a_{12}x^3 + a_{13}x^3y + a_{14}x^3y^2 + a_{15}x^3y^3 \quad (n=3) \quad (2.23)$$

fonksiyonları yazılır. Ortogonal olmayan polinomlarla enterpolasyonda 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).

Yüzeyin derecesi arttıkça gereksinim duyulan dayanak nokta sayısı da artmaktadır. Bu da, dayanak noktalarının yeterli sayıda olmaması durumunda büyük hatalara neden olur. Polinom derecesi arttıkça elde edilecek doğruluğun da artacağı anlamına gelmez. Derecenin artmasıyla yüzeyde gereksiz salınımlar oluşur. Yüzeyde oluşan ani inip çıkımlar gerçeğe uygun olmayan yükseklik değişimlerine neden olur (İnal ve diğ., 2003).

2.4.3. Multiquadratik enterpolasyon

Bu yöntemde tüm çalışma alanı için tek bir analitik enterpolasyon denklemi kullanılır Hardy (1971). İlk olarak Hardy tarafından dağınık ölçülmüş topoğrafik yüzeylerin temsilinde kullanılmıştır. Multiquadratik yöntemde amaç çalışma alanını tek bir fonksiyonla tanımlanmasıdır. Analitik bir çözümleme tekniğidir. Tekniğin uygulanabilmesi için öncelikle bir trend yüzeyin kontrol noktaları kullanılarak geçirilmesi gerekir (Şanlıoğlu, 2002; Yiğit, 2003). Trend yüzeyi olarak birinci ya da

$$a_{ij} = \left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + \delta^2 \right]^{1/2} \quad (2.28)$$

eşitliği ile hesaplanır.

ΔN_i ; i noktasında geçirilen trend yüzeyi ile ondülasyon değeri arasındaki farktır. Dayanak nokta sayısı arttıkça yöntemin hesap yükü artar. Bu özellikle C katsayıları belirlenirken alınacak invers işleminden kaynaklanmaktadır (Hardy, 1990).

Multiküadratik yöntemin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Uluğtekin, 1994).

- Dayanak noktaları homojen dağılmamış olsalar bile, yüzey modellemesinin sonuçları çok az etkilenmektedir.
- Dayanak noktalarının hesaplanan noktaya olan mesafesinin artması durumunda yüzey modellemesine olan katkısı da o oranda azalmaktadır.
- Dayanak noktaları için hiçbir çakışırma artığı kalmamaktadır (İnal ve diğ., 2003).

En yakın komşuluk sayısının değişiminin karesel ortalama hataya etkisinin fazla olmadığı görülmüştür (León ve diğ. 2004).

2.4.4. Geoistatistik enterpolasyon yöntemi

Geoistatistik, istatistiğin uygulamalı bir dalı olup, ilk olarak yerbilimlerinde karşılaşılan kestirim problemlerinin çözümüne yönelik olarak ortaya çıkmıştır. Geoistatistiğin temeli Tobler'in (1979) coğrafyanın temel yasası olarak tanımladığı her şey her şeyle ilgilidir, fakat yakın şeyler uzak şeylerden daha ilgilidir (Theory of Regionalised Random Variables, Matheron (1971) teorisine dayanır.

Geoistatistik, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak önemli zaman, emek ve para kazancı sağlayan, parametreler arasındaki ilişkilerden yararlanılarak, arazi özelliklerini genelleştirmeye olanak sağlayan bir tekniktir (Warrick ve diğ. 1986; Yates ve Warrick, 1987; Ditzler, 1994; Zang ve diğ. 1995; Başkan, 2004).

Klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak, örnekler arası ilişkiyi, örneklerin alındıkları koordinatları da hesaba katarak ele alan Geoistatistiksel yöntem, maden yataklarının rezervlerinin tespitinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Clark, 1979).

Geoistatistik rasgele fonksiyonların çeşitli metotlarla modellenerek gerçekleştirilme olanağını sunar Rohuani ve Wackernagel (1990) ve Geoistatistik metodlar

değişkenlerin konumsal korelasyonlarını, davranışlarını, onların fiziksel, kimyasal ve biyolojik değerleri gibi değişkenlik yapılarını modeller. Geoistatistiksel teorisinin temelleri ilk olarak Fransız maden mühendisi G. Matheron tarafından ortaya atılmış ve yöntem daha sonra çok benimsenerek geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır Tercan ve Saraç (1998). Geoistatistik, temelleri durağan rastlantı fonksiyonlarına dayanan bölgesel değişkenler teorisinin yerbilimleri problemlerine uygulanması şeklinde tanımlanır. Bölgesel değişkenler teorisi ilk olarak Matheron (1963) tarafından ortaya atılmış, daha sonra diğer araştırmacıların katkılarıyla şimdiki düzeyine erişmiştir Tercan ve Saraç (1998). Gözlem verilerinin deneysel variogram yapısının belirlenmesi ve bu variogram yapısına teorik bir modelin uydurulması geoistatistiksel çalışmaların temelini oluşturmaktadır (Delhomme, 1978; Çetin ve Tülcü, 1997). Geoistatistiksel yöntemlerle, gözlemlerin yapıldığı noktaların konumları ve gözlemler arası korelasyon dikkate alınarak yansız ve minimum varyanslı kestirimler yapılabilmektedir (Olea, 1982; Çetin ve Tülcü, 1997).

Bölgesel değişkenlerin almış olduğu değerler yalnızca örneklenmiş noktalarda bellidir ve örneklenmemiş noktalardaki bilinmeyen değerlerin hesaplanması gerekir (Çetin, 1996).

Örneklenmiş noktalardaki değerler yardımı ile bilinmeyenlerin hesaplanmasına kestirim denir. Kestirim probleminde bölgesel değerlerin uzaklığa bağlı değişimleri basit bir fonksiyonel modelle ifade edilemeyecek kadar düzensizdir. Bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri durağan rastlantı fonksiyonlarının olasılık çatısı altında modellenir (Saraç ve Tercan, 1998).

Geoistatistik yöntemlerle yapılan bir analizi dört ana gruba ayırabiliriz.

- Bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkların uzaklığa bağlı değişimlerini belirlemeye yarayan variogram modellerinin tespit edilmesi,
- Variogram modellerinin test edilmesi,
- Kriging kestirim tekniği ile noktasal, alansal veya bir hacmi temsil eden kestirimlerin yapılması,
- Yapılan kestirim hatalarının belirlenmesi.

Geoistatistiksel bir çalışmada bu unsurların hepsinin sistematik olarak yapılması gerekir (Çetin, 1996; Mert, 2005).

2.4.5. Kriging kestirimi

Kriging yöntemine BLUE (Best Linear Unbiased Estimator) adı verilir. Bu ismin altında yatan kestirim hatasının minimum olması şartına göre ağırlıkların belirlenmesidir. Bu durum, Kriging yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en büyük özelliklerinden biridir (İsaak ve Srivasta, 1989; İnal ve Yiğit, 2003).

Bu yöntem adını bu tekniği ilk geliştiren D.G. Krige isimli Güney Afrikalı bir maden mühendisinden almaktadır. Kriging geoistatistiksel konumsal kestirim yöntemidir. Geoistatistikte bir maden içerisindeki maden cevheri derecesinin değişimlerini kestirim etmek amacı ile bu yöntem 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 tanımlanır Martensson (2002). Kriging ve kollokasyon yöntemlerinin karşılaştırılması Dermanis (1984) tarafından yapılmıştır. Kriging yöntemi bir çok alanda kullanılabilirliğini ve popüleritesini kanıtlamış geoistatistiksel bir enterpolasyon yöntemidir Yiğit (2003). Kriging enterpolasyon yöntemi bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini kestiren bir enterpolasyon yöntemidir Barton ve diğ. (1999). Kriging tekniği diğer kestirim tekniklerine göre daha yansız sonuçların yanı sıra minimum varyanslı ve kestirime ait standart sapmanın hesaplanmasına olanak vermektedir (Deutsch ve Journel, 1992; Abtew ve diğ., 1993; Başkan, 2004).

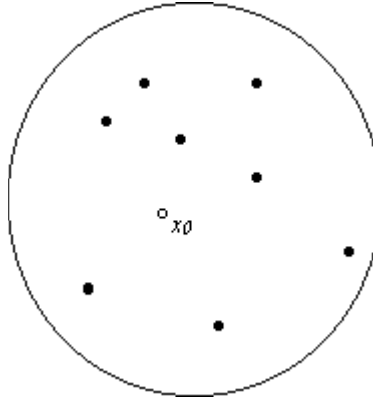
Kriging, daha önceden tanımlanmış bir kovaryans modelinden hesap varyansını minimize eden lineer regresyon setidir. Kriging enterpolasyon yönteminde, bir bölgede enterpole edilecek olan parametrelerin bölgesel bir değişken olduğu kabul edilir. Birbirine yakın noktalardaki veri değerlerinin daha korelasyonlu olması için bölgesel değişken konumsal olarak sürekli bir çeşitlilik gösterir (İnal ve diğ., 2003).

Kriging yönteminin temeli bölgesel değişkenler teorisine dayanır. Yükseklikler tarafından temsil edilen olaylarda konumsal değişim yüzey boyunca istatistiksel olarak homojendir. Kriging yönteminde, en uygun ağırlıkları bulmak için, ölçme noktaları arasındaki konumsal bağımlılığın bilinmesi gerekir. Bu konumsal bağımlılık ya bir kovaryans fonksiyonu ya da bir variogram fonksiyonu kullanmak suretiyle tanımlanabilir (Deutsch and Journel, 1992; İnal, 2003). Kriging yöntemi

ağırlıklı ortalama yöntemine benzer bir şekilde yakındaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi sağlayan bir ağırlık modeli kullanır (İnal ve diğ., 2003).

Kriging ile yaptığımız kestirimin doğruluğu veya geçerliliği aşağıdaki faktörlere bağlıdır. Bunlar;

- Dayanak noktalarının sayısı ve ölçü kalitesi,
- Dayanak noktalarının alan içerisindeki konumları; dayanak noktalarının topografyayı temsil edebilme yeteneği,
- Kestirim yapılacak noktalarla, dayanak noktaları arasındaki uzaklık; kestirimi yapılacak nokta veya blokların, dayanak noktalarına yakın olması daha iyi sonuç verecektir (Mert, 2005).



Şekil 2. 2 : Kriging kestirimi

Kestirimi yapılacak x_0 noktasına göre kriging kestirim tekniği üç şekilde uygulanabilir. Örneğin; bir bölgenin x_0 noktasındaki değerin kestirim edilmesi “noktasal kriging”, x_0 noktası merkezli bir alanının ortalama değerinin kestirimi alansal kriging ve x_0 noktası merkezli bir bloğunun ortalama değerinin kestirimi hacimsel kriging olarak isimlendirilir.

Kriging yönteminin genel denklemi,

$$N_p = \sum_{i=1}^n P_i N_i \quad (2.29)$$

şeklindedir. Burada;

N_p : P noktasının aranan ondülasyon değeri,

P_i : N_p nin hesabında kullanılan her bir N_i ye karşılık ağırlık değerleri,

$N_i : N_p$ nin hesabında kullanılan noktaların ondülasyon değerleri

$n : N_p$ nin hesabında kullanılan nokta sayısıdır.

Genel problemimiz ağırlık faktörü olan P' yı en iyi yolla belirlemek olacaktır. Burada ağırlık faktörü iki amaç doğrultusunda seçilmelidir;

i. Yansızlık için $E [N_p - N_i] = 0$, bu şartı sağlayabilmemiz için denklem (2.29)'deki ifadede $\sum W_i = 1$ olmalıdır (Burada, N_p kestirim edilen değeri, N_i ise gerçek fakat bilinmeyen değeri ifade etmektedir),

ii. Minimum varyans için $\text{Var } E [N_p - N_i] = \text{minimum}$ olmalıdır (Burada belirtilen varyans kriging varyansı olarak bilinir).

Genel olarak; ortalama (m) kestirim edicisi bilinmeden yapılan kriging “Ordinary Kriging (OK)” ve kriging kestirim edicisi ortalama (m)’nın bilinmesiyle yapılan kriging “Simple Kriging, (SK)” olarak tanımlanır (David,1988).

Bugün Kriging yöntemleri yaygın olarak aşağıda sıralanan adlarla çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler;

- Simple Kriging
- Ordinary (Punctual) Kriging
- Universal Kriging
- Block Kriging
- Indicator Kriging
- Disjunctive Kriging
- Cokriging

olarak sunulabilir (URL2).

Kriging uygulamalarını gerçekleştirebileceğimiz değişik yazılımlar geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları ArcGIS Geoistatistik Analiz, Surfer gibi yazılımlardır.

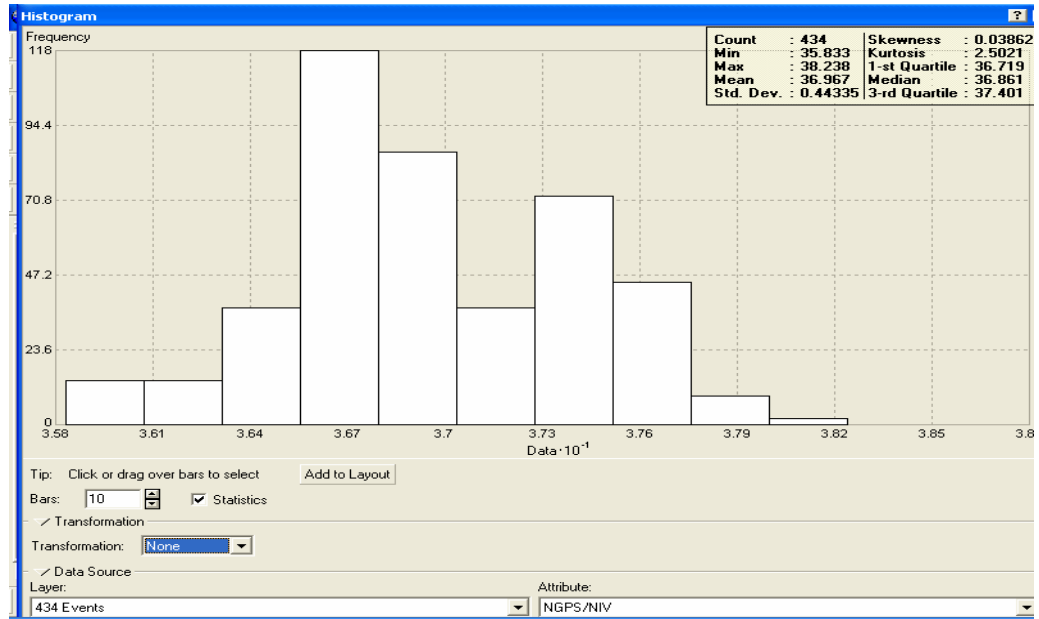
Geoistatistik analiz, bize öncelikle verilerimizi istatistiksel olarak test etme olanağı sağlar. Ölçülen değerlerden istatistiksel özellikleriyle uyumlu enterpolasyon için sürekli yüzey oluşturur. Sadece yüzey oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda verilerin değişkenliği, dağılım istatistikleri, veri trendinin analizi, konumsal veri

dağılımlarının analizi gibi verilerin konumsal yapısını ölçmek ve elde edilen deneysel variogramdan yararlanarak teorik variogramlardan uygun variogram modelinin seçimi ve buradan da ölçü yapılmayan noktalardaki kestirim değerlerini bulmamızı sağlar (URL3).

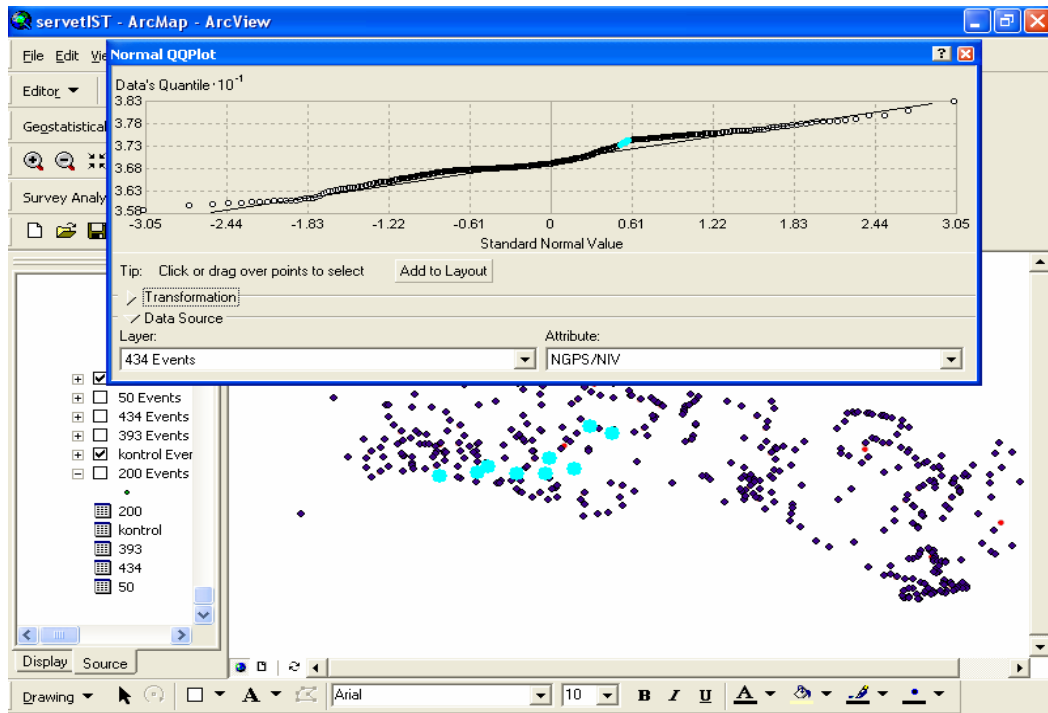
Geoistatistik analizin ana işlevi ölçü değerimizin olmadığı konumlarda değerlerin kestirimini saptamaktır. Yazılım bize enterpolasyonlara başlamadan önce verilerimizle ilgili bir analiz yapma olanağı sağlamaktadır. İstatistiksel veri analizinin ilk adımı verinin üç özelliğinin sorgulanmasıdır ki bunlar dağılım (distribution),bağımlılık (stationary) ve sabitlik (stability) tir (URL4).

Dağılım sorgulaması histogram analizi ile gerçekleştirilir. Histogramlar, bir rastlantı değişkeninin yoğunluk fonksiyonunun örneklem karşılığıdır. Histogramlar verilerin toplu bir şekilde grafiksel gösterimine olanak sağlarken verilerin merkezi değeri hakkında yeterli bilgi vermezler. Böyle durumlarda ortalama, varyans gibi değerler kullanılır Tercan ve Saraç (1998). Histogram, genellikle kesikli değişkenler için uygulanan bir grafik türüdür, (grup sınırlarından, her gruba ilişkin frekanslara kadar çıkılacak dikmelerden elde edilen dikmelerden oluşan bir grafikdir). Bu dikdörtgenler birbirine bitişik vaziyettedir. Normal dağılımlı veriler yüzey oluştururken en iyi sonuçları verir, Bu nedenle verilerin dağılım testinin yapılması gerekir. Ortalama, ortanca gibi değerler dağılımın merkezini tanımlarlar. Varyans, standart sapma ve quantile değerleri verilerin değişkenlik derecesini tanımlarlar. Dağılımın şekli ise çarpıklık ve değişim katsayısı ile tanımlanır. Şekil 2.3’ de bir histogram grafiği sunulmuştur. Burada verilerin alan içerisinde düzenli aralıklarla dağılım değerleri sorgulanmaktadır. Histogram testinde ilk bakışta ortalama (mean) ve ortanca (median) değerler yaklaşık aynı ise ve histogram grafiği tek simetrik tümsekli ise bu verilerin normal dağılımlı olduğunu gösterir. Ayrıca her dikdörtgen dikme seçildiğinde bu aralığa giren veriler de yüzey üzerinde görülerek düzensiz veriler seçilebilir (URL5).

Normal QQPlot testi ile verilerin dağılımını ve seçilmiş olan trendden sapan verilerin hangileri olduğu kolayca görülebilir. Şekil 2.4’ de görüldüğü gibi verilerin standart normal dağılımdaki karşılaştırmasını yaparız ki bu da ikinci bir normal dağılım testidir.

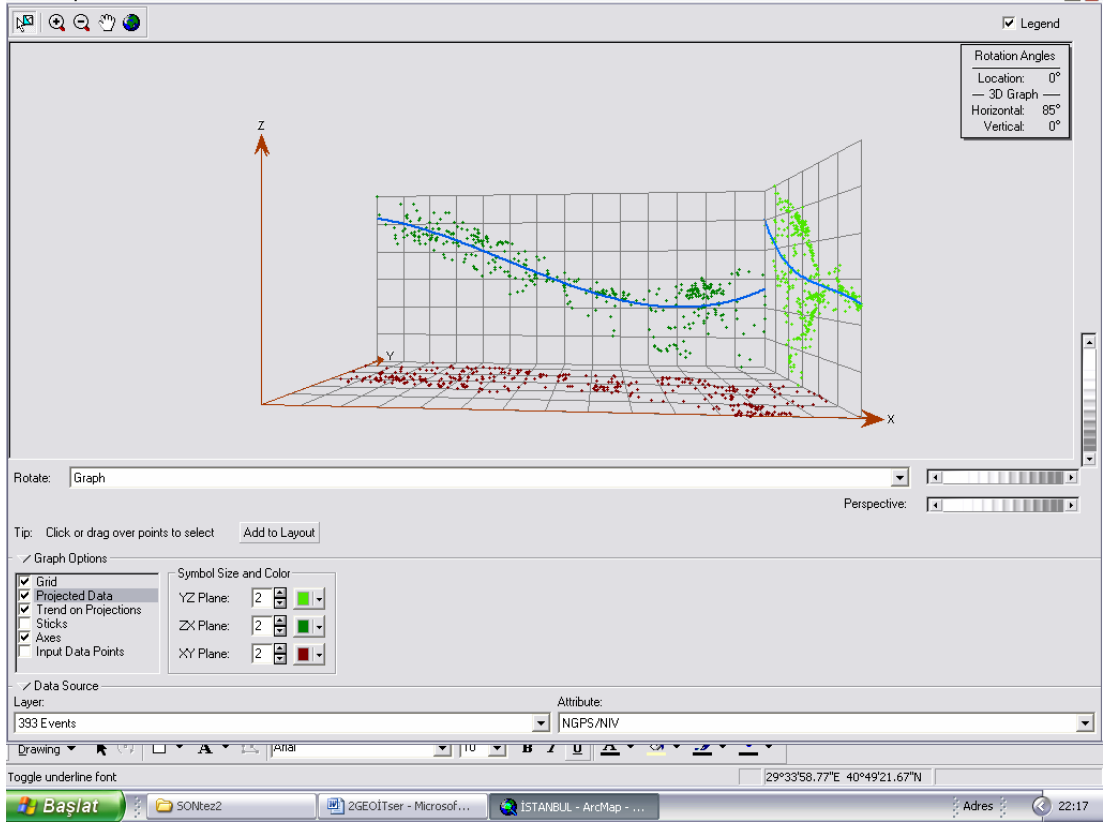


Şekil 2. 3 : Histogram grafiği



Şekil 2. 4 : Normal QQPlot

Trend analizi ile çalışma alanındaki verilerimizin nasıl bir trend oluşturduklarını sorgulanır. Buna göre bir trend yüzeyi seçimi gerçekleştirilir. Düzgün eğimli bir yamaç düzlemle, U şeklindeki bir vadi daha kompleks olarak ikinci derece polinomla temsil edilir.

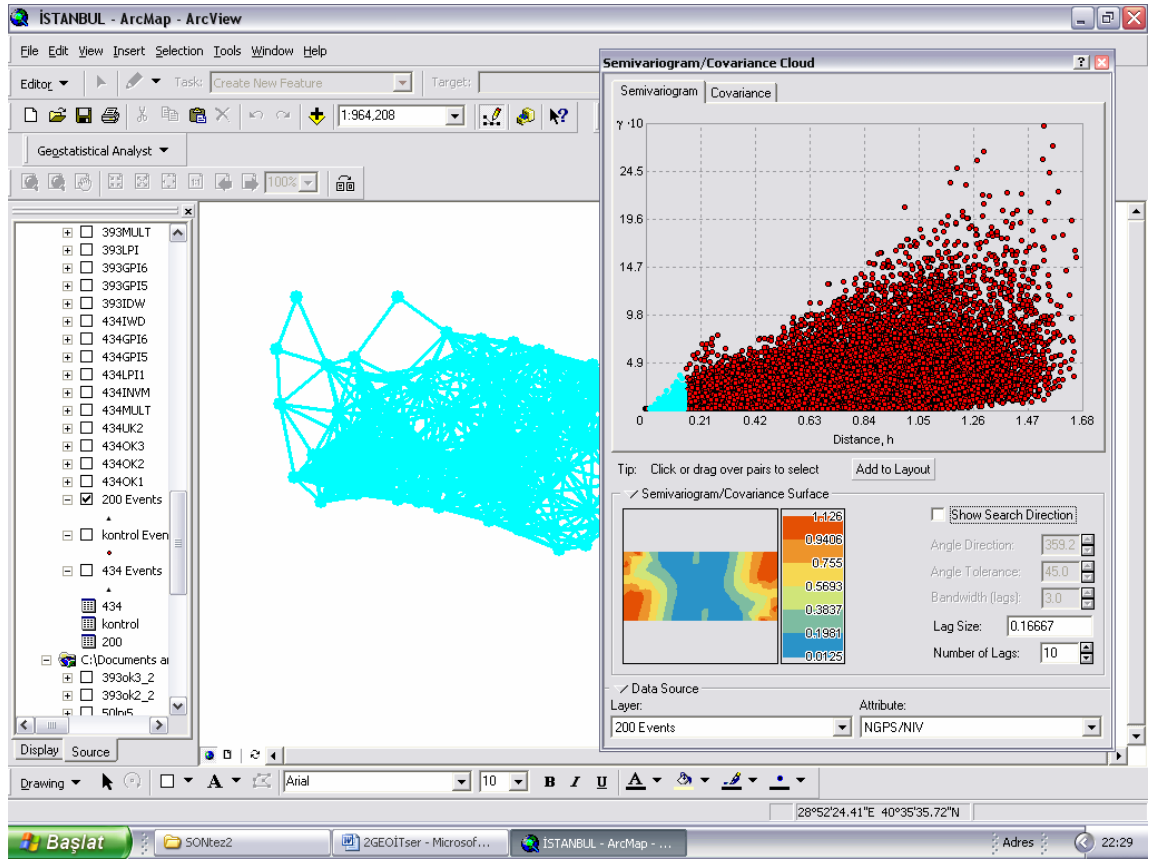


Şekil 2. 5 : Trend Analizi

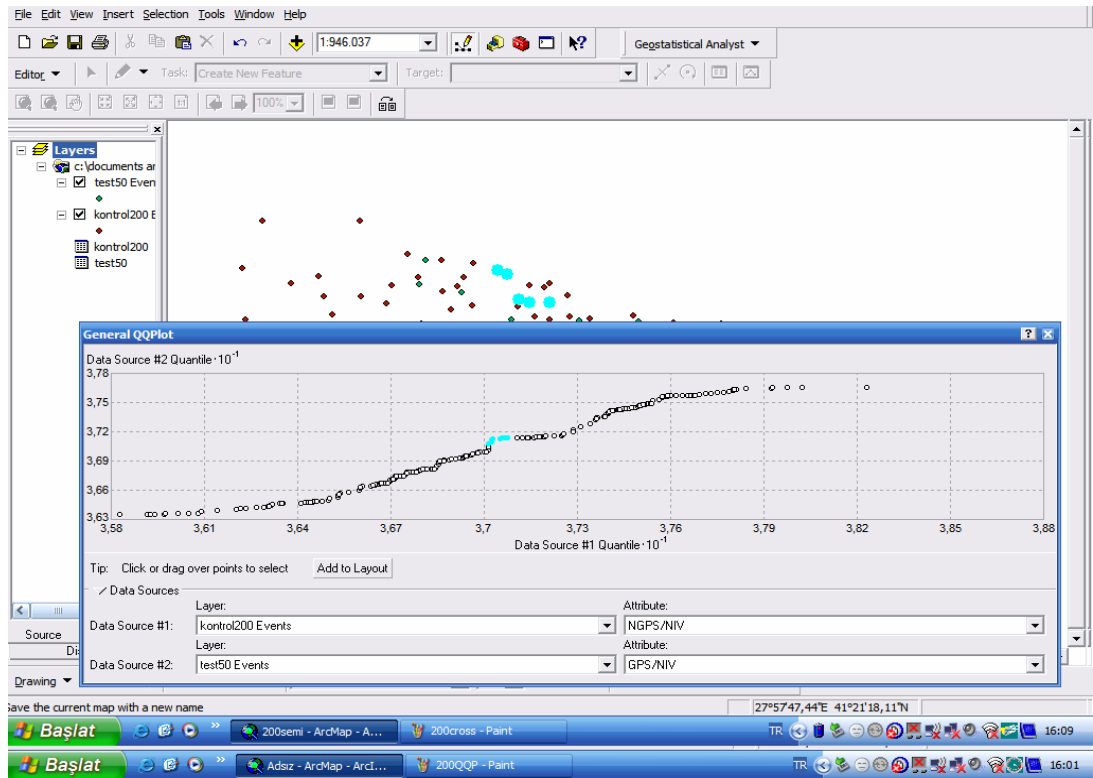
Şekil 2.5’de verilerimizin XZ, ve YZ düzlemlerindeki konumları görülmektedir. Bu verilere göre uygun trend seçilmekte ve bu trend üzerinde enterpolasyon yapılmaktadır. Burada trend eğrisi mavi renkle gösterilmekte ve bizim verişlerimize uygun trendin üçüncü derece polinomla ifade edileceği bize bildirilmektedir.

Semivariogram/Kovaryans Bulutu testi ile verilerimize uygun lag mesafesi ve lag sayısı dolayısı ile range değeri görülmektedir. Semivariogram ölçülen örnek noktalar arasındaki otokorelasyonu sorgular. Semivariogram bulutunda semivariogram değerleri y ekseninde, uzaklık x ekseninde gösterilmiştir. x eksenine yakın mesafedeki nokta kümeleri nokta çiftleri arasındaki yüksek semivariogram değerlerini gösterir. Yani yakın noktalarda semivariogram değerleri de yüksektir. Şekil 2. 6’ da verilerin semivariogram bulutu görülmekte ve uygun lag mesafesi ve sayısı seçimine olanak tanınmaktadır.

Şekil 2. 7’ de Genel QQPlot grafiği bize dayanak ve test noktalarının dağılımını ve trenddeki uyumluluğunu gösterir. İki değişkenin dağılımı QQ grafiği ile gösterilir. Trendden sapan değerler burada kendini gösterir ve bu noktaların konumları yüzey üzerinde görülebilir.



Şekil 2. 6: Semivariogram/Kovaryans Bulutu



Şekil 2. 7: Genel QQPlot

Veri sorgulamasından sonra Geoistatistik analiz deterministik ve geoistatistik enterpolasyon yöntemleri ile dayanak noktalarından yararlanarak test noktalarımızın değerlerini bulma olanağı verir. Geoistatistik analiz sonucunda kestirim haritası (prediction map), kestirimlerin hata haritası (Error of predictions map), dağılım (quantile map) ve olasılık hatası haritası (probability map) gibi çıktılar elde edilebilir (URL6).

2.4.5.1. Ordinary Kriging yöntemi

Ordinary Kriging'in ilk adımı enterpole edilecek noktalar kümesinden variogram oluşturmaktır. Variogram deneysel ve teorik (model) variogram olmak üzere iki bölümden oluşur. Deneysel variogram her noktanın varyansının hesaplanması ile bulunur. İkinci aşamada deneysel variogramdaki trendi modelleyen basit matematiksel fonksiyon olan teorik variogram seçilir. Teorik variogramlar 2.30 eşitliği ile hesaplanan deneysel variogramlardan belirlenir.

$$\gamma(s) = \frac{1}{2n(s)} \sum_{s_{ij}}^{n(s)} (N(x_i, y_i) - N(x_j, y_j))^2 \quad (2.30)$$

$$s_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2.31)$$

şeklindedir. Eşitliklerde:

s_{ij} = i ve j noktaları arasındaki yatay uzaklık.,

$n(s)$ = S uzunluğundaki nokta çiftleri sayısı,

N_i = i noktasındaki geoit ondülasyonu,

$\gamma(s)$ = s uzunluğundaki yarıvaryans değeridir.

Ordinary Kriging yönteminde bilinmeyen değerlerin belirlenmesi değişkenlerin durağan ve ortalamanın sabit olduğu varsayımına göre çözüme gidilir İnal ve Yiğit, (2003). Burada kestirim değerlerinin bulunması için birinci sorun ağırlıkların belirlenmesidir. Ağırlıkların belirlenmesi için 2.32 denklem sisteminin çözülmesi gerekir.

$$\begin{aligned} P_1\gamma(S_{11}) + P_2\gamma(S_{12}) + \dots + P_n\gamma(S_{1n}) &= \gamma(S_{1P}) \\ P_1\gamma(S_{21}) + P_2\gamma(S_{22}) + \dots + P_n\gamma(S_{2n}) &= \gamma(S_{2P}) \end{aligned} \quad (2.32)$$

.....

$$P_1\gamma(S_{n1}) + P_2\gamma(S_{n2}) + \dots + P_n\gamma(S_{nn}) = \gamma(S_{nP})$$

Burada;

S_{ij} = i ve j noktaları arasındaki mesafe,

P_i = i noktasındaki ağırlık değeridir.

Enterpolasyonun yansız olması için toplam ağırlıkların 1' e eşit olması gerekir.

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (2.33)$$

Burada n tane bilinmeyen çözüm için $(n+1)$ tane denkleme ihtiyaç vardır. Lagrange çarpanı ile denklem sayısı bilinmeyen sayısına eşitlenir. Lagrange çarpanı; bilinmeyen sayısını denklem sayısına eşitlemek için hem gözlemleri hem de koşulları içeren lineer bir denklem sistemine bilinmeyen olarak katılan denklemdir. Aynı zamanda kararsız çarpan olarak da isimlendirilir (ASCE,ASCM,ASPRS, 1994; İnal 2003; URL8).

Son satıra $P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1$ ilave edilir ve denklem 2.34 de gösterildiği hale gelir.

$$P_1\gamma(S_{11}) + P_2\gamma(S_{12}) + \dots + P_n\gamma(S_{1n}) = \gamma(S_{1P})$$

$$P_1\gamma(S_{21}) + P_2\gamma(S_{22}) + \dots + P_n\gamma(S_{2n}) = \gamma(S_{2P})$$

.....

$$P_1\gamma(S_{n1}) + P_2\gamma(S_{n2}) + \dots + P_n\gamma(S_{nn}) = \gamma(S_{nP}) \quad (2.34)$$

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1$$

şeklini alır.

$$\begin{bmatrix} \gamma(s_{11}) & \gamma(s_{12}) & \gamma(s_{13}) & 1 \\ \gamma(s_{21}) & \gamma(s_{22}) & \gamma(s_{23}) & 1 \\ \gamma(s_{31}) & \gamma(s_{32}) & \gamma(s_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(s_{1P}) \\ \gamma(s_{2P}) \\ \gamma(s_{3P}) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

Matris çözümü ile ağırlıklar hesaplanır. Ağırlıklar hesaplandıktan sonra Kriging genel denkleminde çalışma bölgesindeki herhangi bir nokta için enterpolasyon değeri

$$N_p = P_1 N_1 + P_2 N_2 + P_3 N_3 + \dots + P_n N_n \quad (2.36)$$

2.36 formülü ile hesaplanır (İnal ve Yiğit, 2003).

Burada;

n = modeli oluşturan nokta sayısı,

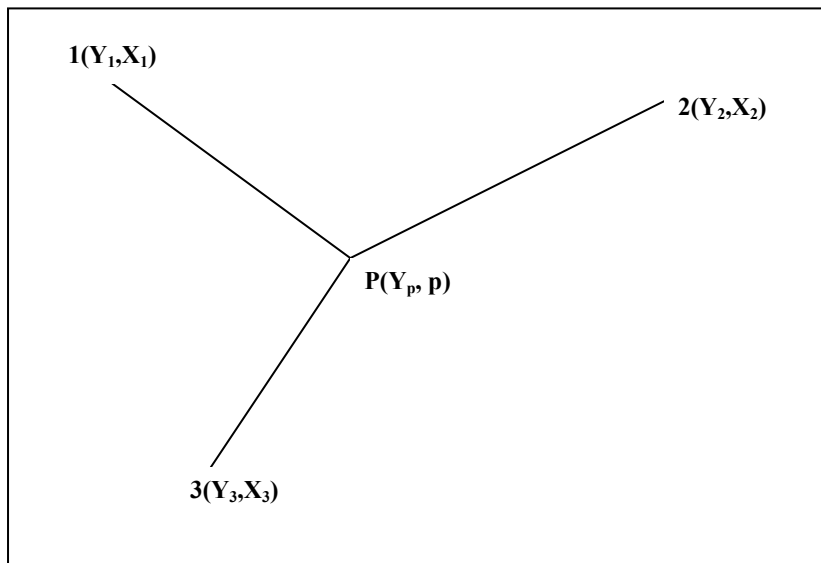
N_i = N in hesabında kullanılan noktaların ondülasyon değerleri,

N_p = Aranılan ondülasyon değeri,

P_i = N in hesabında kullanılan her N_i değerine karşılık ağırlık değerleridir.

Kriging enterpolasyonda ağırlıklar deterministik enterpolasyonlardan farklı olarak semivaryans fonksiyonuna bağlıdır. Semivaryans noktalar arasındaki konumsal bağımlılığın derecesini ölçer. Noktalar arasında semivaryansın büyüklüğü noktalar arasındaki mesafeye bağlıdır. Semivaryans belli bir mesafeye kadar artar ki bu değer range olarak isimlendirilir. Kısa mesafelerde az, uzun mesafelerde fazla semivaryans oluşur. Mesafenin fonksiyonu olan semivaryansın çizimi semivariogram olarak isimlendirilir (URL7).

Test noktasına eşit uzaklıktaki noktaların deterministik enterpolasyonda ağırlıkları eşit iken Geoistatistik yöntemlerde ağırlıklar variogram modelin bir fonksiyonudur. Ağırlıkların belirlenmesi için öncelikle deneysel variogram modelinin oluşturulması gerekir. Deneysel variogram için de semivaryans değerlerinin hesaplanarak deneysel semivariogram grafiklerinin oluşturulması gerekir.



Şekil 2.8 : Dayanak ve test noktaları

Yukarıda anlatılanları uygulayarak basit bir kestirim hesabı yapacak olursak; Şekil 2.8’ de görüldüğü gibi 1,2,3 noktalarındaki değerlerden yararlanarak P noktasının değerini Kriging yöntemi ile kestirmek isteyelim.

Tablo 2.2 : Model noktaları ve test noktası koordinat ve geoit yüksekliği değerleri (m)

NoktaNo	Y(m)	X(m)	N(m)
1	100,00	200,00	150,00
2	400,00	100,00	110,00
3	600,00	400,00	140,00
P	300,00	200,00	?

Buradan noktaların birbirleri arasındaki mesafeler aşağıdaki gibi hesaplanır.

Tablo 2.3 : Noktalar arası mesafe hesap tablosu (m)

	1	2	3	P
1	0.	316.00	539.00	200.00
2		0.	361.00	141.00
3			0.	361.00

Burada semivaryans değerlerini basit olarak hesaplanmak için $\gamma_i = s_i .4$ alınarak

hesaplanırsa, Tablo 2.4 te görülen semivaryans değerleri bulunur.

Tablo 2.4 : Semivaryans değerleri (m)

	γ_1	γ_2	γ_3	γ_P
1	0	1265,00	2154,00	800,00
2		0	1442,00	566,00
3			0	1442,00

Ağırlıkları hesaplamak için sol matris hesaplanmalıdır. İnvers matris ve sağ matris çarpılarak ağırlıklar bulunur.

$$\begin{bmatrix} W1 \\ W2 \\ W3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3805 \\ 0,04964 \\ 0,1232 \\ -0,9319 \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

Buradan P noktasının kestirim değeri:

$$N_{,P} = 0,3805(150) + 0,4964(110) + 0,1232(140) = 128,9 \text{ m. olarak hesaplanır.}$$

Kestirim varyansı;

$$S_e^2 = 0,3805(8,0) + 0,4964(5,66) + 0,1232(14,42) - 0,9319(1,0) = 6,70 \text{ m}^2.$$

Kestirimin standart hatası;

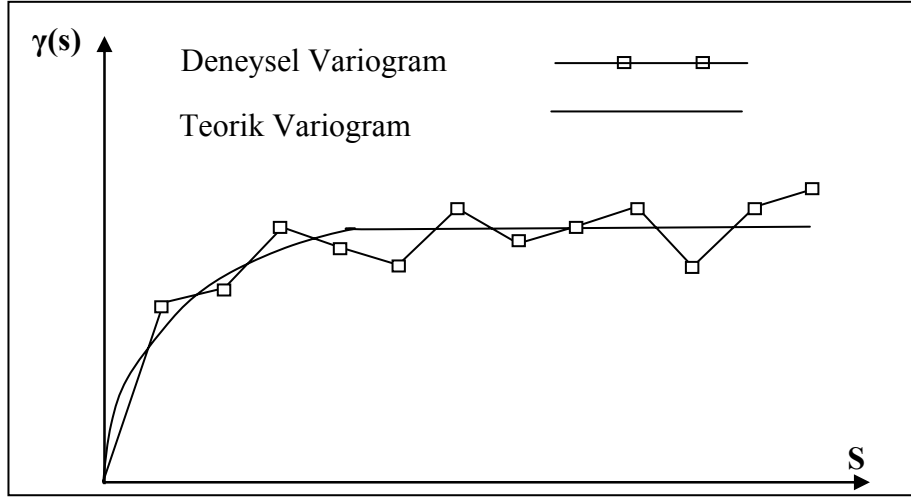
$$S_e = (6,70)^{1/2} = 2,59 \text{ m olarak hesaplanır (URL10).}$$

2.4.5.2. Simple Kriging yöntemi

Simple Kriging enterpolasyon Ordinary Kriging'e benzer, ancak burada ağırlıkların toplamının 1' e eşit olması yerine ağırlık, veri setlerinin ortalaması ile bulunur. Simple Kriging yönteminde ortalama değer bilinmektedir. Simple kriging yönteminde noktaların enterpolasyonu genelleştirilmiş lineer regrasyon altında 2. derece durağanlık varsayımı ve bilinen ortalamaya dayanır (URL11).

İlk adım enterpole edilecek dağılmış noktalardan variogramı oluşturmaktır. Her noktanın diğer noktalarla varyansının hesaplanması ile bulunan ve noktalar arası mesafenin karşılığı olan deneysel variogramın çizilmesi ile variogram bulutu oluşur. Uygulama mesafeleri (lag mesafesi) ve sayının seçiminden sonra modele uygun teorik variogram modeli seçilir. ve model çapraz doğrulama tekniği uygulanarak test edilir. Şekil 2.9' da deneysel ve teorik variogram modeli birlikte görülmektedir. Uzaklık parametrelerinin seçiminde örnekleme rasgele bir biçimde yapılmışsa örnekler arasında ortalama ilk adım uzaklığı olarak alınabilir. Bu değer çalışma alanının örnek sayısına bölünmesi ve çıkan değerın karekökünün alınması ile bulunabilir. Uzaklık toleransı olarak da adım uzaklığının yarısı alınabilir. Çapraz

doğrulama tekniği, teorik variogram parametrelerinin çalışma alanını temsil edip edemeyeceğinin belirlenmesinde bir ölçüt olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.9: Deneysel ve teorik variogram

Çapraz doğrulama tekniği kriging metodu içerisinde yer alan ölçüm noktalarındaki değerleri çevresindeki değerlerle tahmin ederek, gerçek değerlerle tahmin değerlerini karşılaştıran, seçilen modelin güvenilirliğini test eden bir yöntemdir (Vieira ve diğ., 1983; Başkan, 2004). Değerlerin testinde uygun sonuçlar alınırsa test noktalarının enterpolasyonu gerçekleştirilir.

Kriging yöntemlerinin en önemli özelliği esnek oluşu ve kestirimin varyansını (o noktadaki belirsizliği) göstermesidir. Kestirim varyansı için de en önemli olan kovaryans modelidir. Yani verilerin kestirimi yapılacak olan noktaya olan geometrisi önemlidir. Deterministik uygulamalarda kestirim yapılacak noktaya model noktalarının mesafesi eşitse ağırlıklar eşittir. Ancak kriging uygulamalarında mesafeler eşit ancak geometri farklı ise ağırlıklar da farklı olacaktır.

Test noktalarının modelden bulunan değerleri, ölçü değeri ile modelden bulunan değer arasındaki fark ($N_{\text{HESAP-ÖLÇÜ}}$), KOH, standart hata, ve standart sapma değerleri bulunur.

Simple Kriging, Ordinary Kriginge benzerdir. Ancak $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = 1$ eşitliği burada geçerli değildir. Yani ağırlıkların toplamı bire eşit değildir. Simple Kriging bütün verilerin ortalamasını kullanırken Ordinary Kriging lokal ortalamayı kullanır. Simple Kriging Ordinary Krigingden daha az hassastır. Fakat daha estetik yüzeyler oluşturur. Simple Krigingde ortalama değeri bilmek zorunlu iken, Ordinary Krigingde bu zorunluluk yoktur (URL12).

2.4.6. Geoistatistik ile ilgili bazı kavramlar

2.4.6.1. Variogram analizi

Variogram modelleri ve kriging teknikleri, klasik istatistik yöntemler gibi bir tek istasyonun gözlem değerleri ile ilgilenmemektedir Basin and Geveres (1985). Bir alan ya da doğrultu üzerinde düzenli veya düzensiz bir şekilde dağılmış, mevcut tüm gözlem istasyonlarının eş zamanlı gözlemleri kullanılmakta ve zaman boyutu yanında yersel değişkenlik boyutu da çalışmaya dahil edilmektedir (Karlinger and Skrivan,1980; Tülcü ve Çetin, 1997). Üzerinde çalışılan değişkenin yersel bağımlılık yapısı ve bu bağımlılığın bir ölçüsü olan variogram modelinin belirlenmesi geoistatistiğin temelini oluşturur (Vieira ve diğ,1983).

Rastlantı değişkenlerinin tanımladığı noktalar arası uzaklık ile bu noktalardaki değerler arasında bir ilişki vardır ve normal olarak uzaklık azaldıkça, değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması beklenir. Geoistatistikte bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Variogram fonksiyonu birbirinden s uzaklığı ile ayrılmış iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansı şeklinde ifade edilir ve

$$2\gamma(s)=Var[N(x)-N(x+s)] \quad (2.37)$$

şeklinde yazılabilir. Variogram beklenen değer cinsinden

$$2\gamma(s)=E[N(x)-N(x+s)]^2 \quad (2.38)$$

şeklinde yazılabilir (Tercan ve Saraç,1998).

Variogram fonksiyonu, çalışma alanının ilgili bölgesel değişkeni için ne özellikler gösterdiğini anlamaya yardımcı olur. Bu fonksiyon ile değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık belirlenir. Eğer gözlem çiftleri yön ve uzaklık gözetilmeksizin oluşturulmuşsa mümkün bütün çiftlerin arasındaki yarıvaryans değeri (2.30) yardımıyla hesaplanır.

Bölgesel değişkenin değerleri arasındaki farklar $(N(x_i,y_i)-N(x_j,y_j))$ değişkenin benzerlik derecesini ortaya koyduğundan, uzaklığa bağlı ilişkiyi incelemede önemlidir. Bu farkların kareleri yarısı $\frac{1}{2}((N(x_i,y_i)-N(x_j,y_j))^2$, farkların alındığı uzaklığa karşı grafiğe çizildiğinde variogram bulutu elde edilir (Chauvet,1982; Tercan ve Saraç,1998).

Genel olarak variogram analizine ortalama variogramla başlamak gerekir. Ortalama variogram çeşitli yönlerdeki variogramların bir ortalamasıdır. Ortalama variogram herhangi bir yönsel variogramdan çok daha fazla örnek içerdiğinden kolay yorumlanabilir bir yapı içerir. Eğer ortalama variogram dağınık bir yapı arz ediyorsa, bu dağınıklığa ilişkin nedenleri ortaya koymak gerekir. Bir neden anormal veri değerleri olabilir. Bunları variogram bulutu yardımıyla tanımlamak mümkündür (Tercan ve Saraç, 1998)

2.4.6.2 Deneysel variogram

Variogram bulutunu çeşitli uzaklık sınıflarına ayırıp, her bir uzaklık sınıfı içinde ortalama değeri hesaplayarak deneysel variogram elde edilir. Eşitlikler

$$\gamma(s) = \frac{1}{2n(s)} \sum_{s_{ij}} (N(x_i, y_i) - N(x_j, y_j))^2 \quad (2.39)$$

$$s_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2.40)$$

şeklindedir. Eşitliklerde:

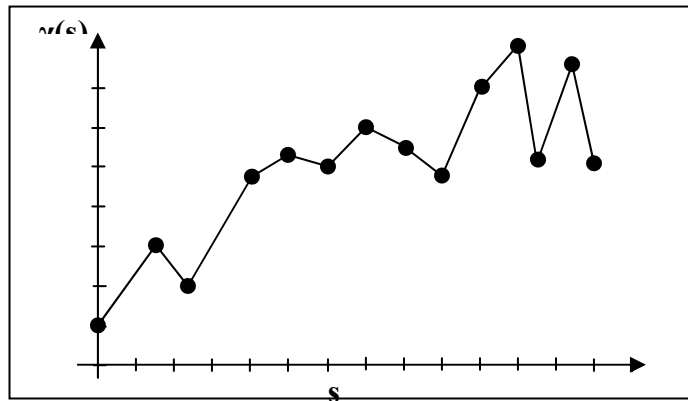
S_{ij} = i ve j noktaları arasındaki yatay uzaklık.,

$n(s)$ = S uzunluğundaki nokta çiftleri sayısı,

N_i = i noktasındaki geoit ondülasyonu,

$\gamma(s)$ = s uzunluğundaki yarıvaryans değeridir.

Şekil 2.10' da bir deneysel variogram grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Deneysel variogram grafiği

Eğer gözlem çiftleri oluşturulurken yön ve uzaklık gözletilmişse deneysel variogramın hesaplanması özel teknikler gerektirir. Bunun için veriler uzaklığa ve yöne göre uzaklık ve açı toleransları içerisinde gruplandırılır. Açı ve tolerans açısı ($\alpha \pm d$) gösterildiği gibi bir koni tanımlar. Seçilen uzaklık parametresi ise *lag* ya da gecikme uzaklığı olarak isimlendirilir ve bu koni üzerinde sektörler oluşturur. Bu şekilde, yön ve uzaklık sınıflamaları ile oluşturulmuş sektörler içinde kalan veri çiftleri yönlü deneysel variogramların hesaplanmasında kullanılır. Bu durumda tolerans açısı ve *lag* mesafesi büyük olduğunda veri çifti sayısı da artacaktır.

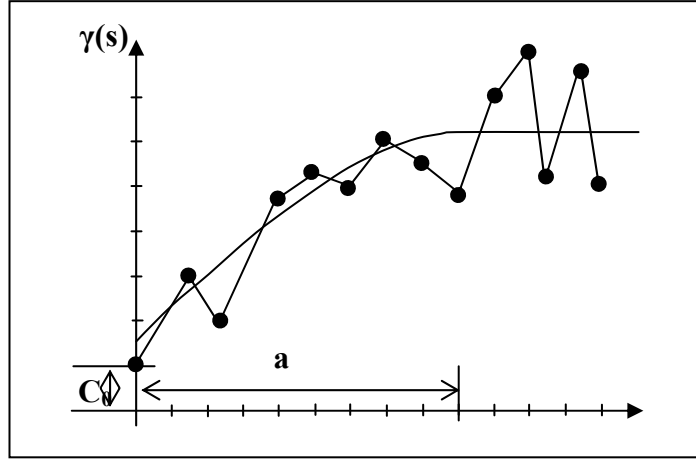
Variogram yönün ve uzunluğun bir fonksiyonudur. Birbirlerine s kadar uzaklıktaki noktalar yön dikkate alınmaksızın hesaplanırsa, bu tip variogramlar yön bağımsız olarak adlandırılır. Herhangi bir θ yönündeki s uzunluklarına sahip nokta çiftleri dikkate alınarak variogram hesap edilirse, bunlar yön bağımlı variogram olarak adlandırılır. Deneysel variogramlar iki ya da daha çok boyut içeren ve düzensiz olan veriler için uzaklığa ve yöne göre uzaklık ve açı tolerans değerleri ile hesaplanırlar (Hardy, 1971; İsaak and Srivasta, 1989; Mert, 2005)

Açı toleransı ± 90 derece olduğunda olanaklı bütün veri çiftleri deneysel variogram hesabında kullanılacak ve yine yönsüz variogram şeklini alacaklardır Mert (2005). Açı toleransının seçiminde mümkün olduğu kadar küçük açı toleransları almak gerekir (Tercan ve Saraç,1998).

Teorik variogramlar, variogram formülü ile hesap edilen deneysel variogramlardan yararlanarak belirlenir ya da Kriging ile variogram fonksiyonu arasında çapraz doğrulama tekniği kullanılır. Deneysel variogram modelinden teorik variogram modelinin belirlenmesinde;

- Tecrübeye dayanarak kestirim
- Ağırlıklı en küçük kareler yöntemi
- Maximum olabilirlik
- Robust

gibi farklı yaklaşımlar vardır. Bu yaklaşımlardan ilki istatistiksel bir anlam taşımadığı için farklı kişiler aynı modeli farklı parametrelerle bulacaktır (Bardosy 2002; Yiğit, 2003). Şekil 2.11' de: teorik variogram modeli ve parametreleri görülmektedir.



Şekil 2.11: Teorik variogram modeli ve parametreleri

2.4.6.3. Çapraz doğrulama tekniği

Variogram model parametrelerinin belirlenmesine yönelik sık kullanılan yöntemlerden biri çapraz doğrulama tekniğidir. Çapraz doğrulama tekniği, teorik variogram parametrelerinin çalışma alanını temsil edip edemeyeceğinin belirlenmesinde bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Çapraz doğrulama tekniği kriging metodu içerisinde yer alan ölçüm noktalarındaki değerleri çevresindeki değerlerle tahmin ederek, gerçek değerlerle tahmin değerlerini karşılaştıran, seçilen modelin güvenilirliğini test eden bir yöntemdir (Vieira ve diğ., 1983; Başkan, 2004). Bu yöntemde, ilk olarak gerçek variogram fonksiyonuna ilişkin bir model ve bu modele ilişkin parametreler seçilir. Daha sonra, veri setinden gerçek değeri bilinen bir örnek uzaklaştırılır ve bu lokasyondaki değer sanki gerçek değeri bilinmiyormuş gibi, seçilen variogram model parametreleri ve geriye kalan veriler kullanılarak noktasal kriging kestirim tekniği ile kestirim edilir. Kestirim yapılan noktanın gerçek değeriyle kestirimi değeri arasındaki fark (kestirim hatası) hesaplanır. Bu işlem tüm veriler için tekrarlanır. Daha sonra, elde edilen kestirim hataları her bir kestirime ait kriging standart sapma değerine bölünür ve indirgenmiş hatalar elde edilir. İndirgenmiş hataların ortalamasına ve kareler ortalamasına (varyansına) bakılır. Bu istatistiki parametrelere ilişkin arzu edilen kriterleri sağlayan variogram model ve parametreleri gerekli model ve parametrelerdir. Bu kriterlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır (Boogaart ve Schaeben, 2002; Mert, 2005);

$$\text{Kestirim Hataları, } \varepsilon_i = [N_i^* - N_i] , \quad (2.41)$$

$$\text{İndirgenmiş hatalar, } x_i = \left[\frac{Ni^* - Ni}{\sigma \varepsilon, i} \right], \quad (2.42)$$

$$\text{İndirgenmiş hataların ortalaması, } x_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.43)$$

$$\text{İndirgenmiş hataların varyansı, } S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2, \quad (2.44)$$

- İndirgenmiş hataların beklenen değerlerinin 0'a ve varyansları da 1'e yakın olup

olmadığına veya $1 \pm 2\sqrt{\frac{2}{n}}$ sınırları arasında kalıp kalmadığına bakılmalıdır.

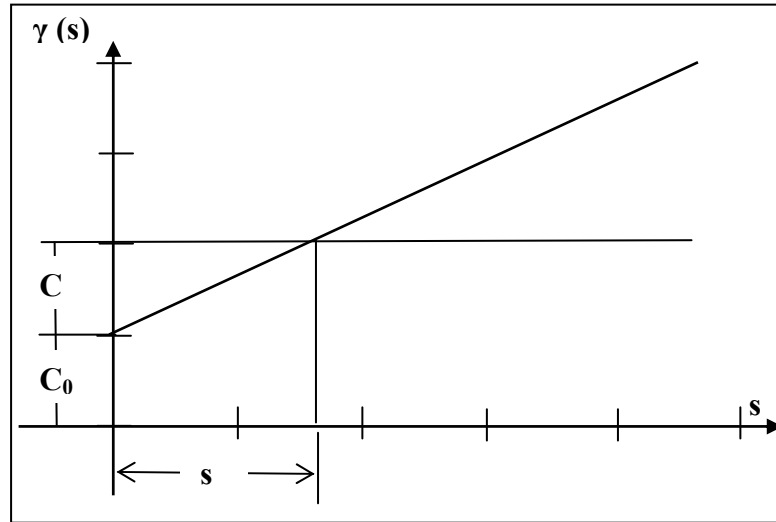
-Diğer bir karar verme tekniği ise, gerçek değerlerin, kestirilen değerler üzerindeki doğrusal regresyonu orijinden geçen 45 derece eğimli bir doğru olmasıdır. Bu koşullu yansızlık olarak bilinir.

-Kestirim hatalarının kareler ortalaması, kriging varyanslarının ortalamasına eşit ya da küçük olmalıdır (Mert, 2005).

2.4.6.4. Variogram modeline ait parametreler:

C_0 :*Külçe (Nugget) Değeri* : Teorik olarak $s=0$ olduğunda variogramın değeri 0 a eşittir [$\gamma(0)=0$]. Uzaklığa bağlı değişimin verilerden belirlenebileceği bir sınır değer vardır ki bu sınır değer birbirine en yakın iki örnek arasındaki uzaklıktır. Uygulamada bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda değerler arasındaki farkın değişimi belirlenemez ve bu durum variogram orjininde bir süreksizliğe yol açar. Süreksizliğin bir nedeni de örnekleme ve analiz hatalarıdır. Variogramda bu durum nugget etkisi C_0 olarak kendisini gösterir Mert (2005). Bu değere kontrolsüz etki varyansı da denir David (1988). Kestirim değerini etkilemez. Sadece Kriging varyansında değişime sebep olur. (Chauvert, 1992; Tercan ve Saraç, 1998).

C :*Eşik Değer (Sill)*: Variogram fonksiyonunun toplam düşey ölçek değeridir. Kestirim değerini etkilemez sadece Kriging varyansında değişime sebep olur. Variogram fonksiyonunun belirli bir “s” uzaklığında ulaştığı yarıvaryans değeridir. Uygulamada sill, variogram hesaplamak için kullanılan tüm örneklerin varyansına karşılık gelir.



Şekil 2.12 : Variogram değerinin parametreleri

a : Etki Uzaklığı (Range): Bölgesel değişken geçişli bir yapı gösteriyorsa variogram belli bir uzaklıktan sonra artışını durdurur ve sill ($C_0 + C$) değeri çevresinde değerler almaya başlar. Variogramın sill değerine ulaştığı uzaklık range olarak isimlendirilir ve variogramın yatay uzaklığıdır. Bu uzunluktan sonra veriler artık birbirleri ile korelasyonsuzdur. Diğer bir deyişle, gözlemler arası uzaklık $s > a$ olduğu durumda korelasyon sıfırdır.

s: Gözlemler arası yada enterpolasyon noktası ile gözlem noktaları arası yatay uzunluktur (Mert, 2005)

2.4.6.5 Variogramın orjine yakın davranışları ve özellikleri

Bölgesel değişkenin sürekliliği ve düzenliliği variogramın orjine yakın davranışı ile ilişkilidir. Variogram orjine yakın üç farklı şekilde davranır.

Parabolik davranış, düzenli değişen bir özelliğin sonucudur.

Doğrusal davranış, bölgesel değişken sürekli bir şekilde artıyor ya da azalıyorsa variogram artan h uzaklığı ile sürekli bir şekilde artar. Variogram iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansı olarak tanımlandığı için hiçbir zaman negatif değerler almaz daima pozitifdir.

$$\gamma(s) \geq 0 \quad (2.45)$$

Variogram 2.46 de tanımlandığı gibi simetrik bir fonksiyondur.

$$\gamma(s) = \gamma(-s) \quad (2.46)$$

Variogramın $s=0$ uzaklığındaki değeri 2.47 da tanımlandığı gibi 0 a eşittir.

$$\gamma(0)=0 \quad (2.47)$$

Variogramın sonsuzdaki artışı S^2 nin artışından yavaştır.

$$\lim \gamma(s)/s^2=0 \quad (2.48)$$

(Tercan ve Saraç,1998).

2.4.6.6. Teorik variogram modelleri

En sık kullanılan teorik variogram modelleri aşağıda verilmiştir (Down,1992; Mert, 2005)

Küresel Model: Yaygın bir şekilde kullanılan variogram modelidir. C parametresi, variogramın en yüksek değerini, a parametresi ise yapısal uzaklığı göstermektedir. Küresel variogramda h uzaklığı orjinden yapısal uzaklığa ulaşınca kadar artar. Bu uzaklıkta $\gamma(s)= C$ olur ve C değeri düşey ölçektir. .Bu modelin genel eşitliği 2.49 ve 2.50 ile ifade edilir.

$$\gamma(s)= C_0+C_1[3/2(s/a)-1/2(s/a)^3] \quad 0 \leq s \leq a \quad (2.49)$$

$$\gamma(s)= C_0+C_1 \quad s \geq a \quad (2.50)$$

Üssel Model: Bu model için çizilen variogram bir etki uzaklığına sahip değildir, fakat eğri asimtotik olarak sill değerine ulaşır. .Bu modelin genel eşitliği 2.51 ile ifade edilir.

$$\gamma(s)= C_0+C_1(1-e^{-(s/a)}) \quad (2.51)$$

Gauss Modeli: Gauss modeli orjinde parabolik davranış gösteren tek variogram modelidir. Variogram kısa uzaklıklar için parabolik davranış gösterirken, uzaklık arttıkça eğik değere asimtotik olarak yaklaşır. .Bu modelin genel eşitliği 2.52 ile ifade edilir.

$$\gamma(s)= C_0+C_1(1-e^{-(3s^2/a^2)}) \quad (2.52)$$

Külçe Etki Modeli: :Bir değişkenden diğerine bölgesel değişkenin ani olarak değişen davranışını temsil eder. .Bu modelin genel eşitliği 2.53 ve 2.54 ile ifade edilir.

$$\gamma(s) = 0 \quad s=0 \quad (2.53)$$

$$\gamma(s) = C_0 \quad s>0 \quad (2.54)$$

Doğrusal Model: Doğrusal model silsiz modeller içerisinde en çok kullanılan modeldir. Bu modelin grafiği doğrusal bir eğilim gösterir. Örnek değerlerinde süreklilik hakimdir. Orjinden geçen düz bir doğru ile temsil edilir. C doğrunun eğimini gösterir. Bu modelin genel eşitliği 2.55 ile ifade edilir.

$$\gamma(s) = C_0 + C_1(s/a) \quad (2.55)$$

Hole Effect Model: Mineralleşmede periyodikliğin bir göstergesi ya da örnek aralıklarını yansıtan bir modeldir. Bu modelin genel eşitliği

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - e^{-n \cos \theta}) \quad s>0 \quad (2.56)$$

şeklinde. Variogram grafiklerinin kısa uzaklıklardaki davranışı, bölgesel değişkenin homojenlik derecesi hakkında bir bilgi verir (Mert, 2005).

2.4.7. Bulanık mantık yöntemine göre geoit belirleme

Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına Bulanık (Fuzzy) kaynaklar adı verilir. GPS/nivelman yöntemine göre belirlenmiş olan geoit yükseklikleri, bulanık mantık ilkelerine göre oluşturulan modellerde veri olarak kullanılarak geoit yükseklikleri bulanık modellerle elde edilebilir. Bulanık mantık yöntemine göre işlem yaparken dikkat edilmesi gereken konu eldeki verilerin iyi bir şekilde incelenmesini gerektirir. Çünkü bulanık mantık ilkelerine göre verilerin alt kümelerle ayrılması gerekmektedir. Örneğin enlem ve boylam değerlerinin geoit yüksekliklerinin değişimini gösterecek şekilde büyük, küçük ve orta olarak adlandırılabilir alt kümelerle ayrılabilir. Veriler alt kümelerle ayrıldıktan sonra üyelik fonksiyonları belirlenmelidir. Üyelik fonksiyonları olarak yaygın biçimde kullanılan başlıca fonksiyonlar üçgen, yamuk ya da Gauss dağılım eğrileridir. Son olarak da verilere ait kurallar kümesinin oluşturulması gerekmektedir (Yılmaz, 2005).

3. ÜLKEMİZDE GEOİT BELİRLEME ÇALIŞMALARI

3.1. Ülkemizde Daha Önce Yapılan Geoit Belirleme Çalışmaları

Ülkemizde geoit belirleme ile ilgili olarak. (Ayan,1976; Ayan,1978; Gürkan 1977) tarafından yapılan ilk çalışmalarda, ülke I. Derece nirengi ağının Laplace noktalarında hesaplanan (106 nokta) *ED50* datumundaki astro-jeodezik çekül sapmalarından yararlanılarak astro-jeodezik geoit (*TG76*) belirlenmiştir. Daha sonra özellikle uydu teknolojilerinin gelişmesiyle Güney Batı Anadolu Doppler Geoiti hesaplanmıştır (Ayhan ve diğ., 1987).

3.2. Türkiye Geoidi – 1991 (TG-91)

1991 yılında gravite, topografya ve global jeopotansiyel model kullanılarak, En Küçük Karelerle Kolokasyon (EKKK) yöntemi ile tüm Türkiye için hesaplanan gravimetrik geoit (*TG91*); Türkiye’de ilk kez çok sık heterojen veri kullanılarak hesaplanan ve topogafya ile gravitenin kısa ve çok kısa dalga boylu etkilerini de içeren bir geoit modeli olması nedeniyle önemlidir (Ayhan,1992; Ayhan,1993). Topoğrafik yükseklik olarak Türkiye ve yakın çevresindeki kara alanlarını kapsayan bölgede, 15"x20" (450x450 m) grid köşelerinde yükseklikler 1/25000 ölçekli haritalar üzerinden sayısallaştırılmıştır. Ayrıca topoğrafik indirgemelerde kullanılmak amacıyla 5"x5", 15"x15" ve 30"x30" grid hücrelerinde ortalama yükseklikler hesaplanmıştır.

TG91; yer potansiyel modeli (*GPM2-T1*), topoğrafik yükseklikler ve nokta gravite ölçülerinin remove–restore tekniği kullanılarak EKKK yöntemiyle değerlendirilmesi ile *GRS80* elipsoidine göre belirlenmiştir (Ayhan,1992; Ayhan, 1993). Mevcut yer potansiyel modellerinin oluşturulmasında Türkiye’deki gravite ölçüleri kullanılmadığından, *GPM2* yer potansiyel modeli Türkiye’deki gravite ölçüleri ile geliştirilip *GPM2T1* modeli oluşturulmuştur.

TG91 ile yapılan uygulamalarda bu geoitin GPS/Nivelman geoit yüksekliklerine göre kayık ve eğimli olduğu, yerel farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (Yıldırım, 2000).

3.3. GPS/Nivelman Geoidi

TG-91'in kayıklık ve eğimini belirlemek, varsa yerel bozukluklarını gidermek amacıyla GPS/Nivelman geoit yüksekliklerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Gravimetrik geoit modeli (*TG91*)'de mevcut uzun dalga boylu etkiler neniyle *TG91* kullanılarak elde edilen ortometrik yüksekliklerle, Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (*TUDKA*)'na dayalı olarak geometrik nivelman ölçümü ile hesaplanan ortometrik yükseklikler birbiri ile uyumlu değildir. Aralarında birkaç metreye çıkan farklar bulunmaktadır. Bu nedenle GPS elipsoit yüksekliği ve *TG91* geoit yüksekliğinden elde edilen ortometrik yüksekliklerin ulusal yükseklik sistemi (*TUDKA*) ile uyumlu olması için aralarındaki farklar modellendirilmelidir. Bu maksatla GPS/Nivelman geoit yükseklikleri belirlenmiştir.

GPS/nivelman geoit yüksekliklerini belirlemek için; Türkiye içinde uygun dağılımda, geoidin hızlı değiştiği bölgelerde daha sık olmak üzere, 197 *TUTGA99* noktası seçilmiş ve geometrik nivelman ölçüleriyle Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (*TUDKA99*) 'na bağlanmıştır. Böylece söz konusu 197 noktanın *TUTGA99* koordinat sisteminde elipsoit yükseklikleri ile *TUDKA99* datumunda ortometrik yükseklikleri belirlenmiş ve Türkiye GPS/Nivelman geoidi belirlenmiştir (Kılıçoğlu ve Fırat, 2003).

GPS noktalarında Helmert ortometrik yüksekliği hesaplanırken, önce *TUDKA* noktasından GPS noktasına kadar olan geçki boyunca jeopotansiyel sayı farkı,

$$\Delta C = \sum_{k=1}^k \frac{g_k + g_{k-1}}{2} \Delta n_k \quad (3.1)$$

ile bulunmuştur. Burada k , *TUDKA99* noktasından GPS noktasına olan ara noktaların sayısı, Δn_k , ardışık iki ara nokta arasında geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı, g , noktalardaki gerçek gravitedir. Daha sonra C_p , *TUDKA99* noktasının jeopotansiyel sayısı C_p 'den yararlanarak GPS noktasının jeopotansiyel sayısı, C

$$C = C_p + \Delta C \quad (3.2)$$

Helmert ortometrik yüksekliği H ,

$$H = \frac{C}{g + 0,0424H} \quad (3.3)$$

ve GPS noktasının elipsoit yüksekliği h olmak üzere GPS/Nivelman geoit yüksekliği N_{GPS}

$$N_{GPS} = h - H \quad (3.4)$$

ile hesaplanmıştır (Yılmaz, 2005).

3.4. Düzenlenmiş Türkiye Geoidi 1999A (TG-99A)

Güncellenmiş Türkiye Geoidi-1999A (*TG99A*); Türkiye Gravimetrik Geoidi (*TG91*) ile 196 noktadan hesaplanan Türkiye GPS/Nivelman geoidinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. *TG91* ile GPS/Nivelman geoidinin birleştirilmesi için GPS/Nivelman geoit yüksekliği bilinen 197 noktada *TG91* ile GPS/Nivelman geoit yükseklik farklarının bilinmesi gerekir. İstenen noktalarda *TG91* geoit yükseklikleri enterpole edilebilmektedir.

Herhangi bir noktada presizyonlu GPS/Nivelman geoit yüksekliğini enterpole etmek yeterli veri sıklığı olmadığından pek mümkün değildir. Bu nedenle *TG91* referans yüzeyi olarak alınarak GPS/Nivelman geoidi ile arasındaki farklar hesaplanmış ve bu farklar modellendirilerek herhangi bir noktada farkların enterpolasyonu sağlanmıştır. Artık ölçüler bir yüzey geçirilerek modellendirilmiş ve modellendirilen trend ve artık ölçü değerleri 3'x 3' grid köşelerinde hesaplanarak aynı grid köşelerindeki *TG91* geoit yüksekliklerinden çıkarılarak mutlak geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Bu proje kapsamında *TG-99*'un hesaplanmasında kullanılan 187 noktaya ek olarak, 3 tanesi kontrol noktası olmak üzere 10 adet yeni GPS/Nivelman noktasının da oluşturulması ile 197 nokta kullanılmış ve hesaplanan yeni geoit Düzenlenmiş Türkiye Geoidi-1999 (*TG99A*) olarak adlandırılmıştır (Kılıçoğlu, 2002).

TG-99A'nın belirlenmesi kapsamında karalarda ve denizlerde ek gravite ölçüleri, deniz dibi yükseklik bilgileri, komşu ülkelere ilişkin topoğrafik yükseklikler elde edilmiş, uydu altimetre ölçülerinden denizlerde gravite anomalileri hesaplanmıştır.

TG91 ile GPS/Nivelman geoidinin birleştirilmesi, GPS/Nivelman geoit yüksekliği bilinen noktalarda, *TG91* geoit yükseklikleri ile GPS/Nivelman geoit yükseklikleri

arasındaki farkların hesaplanarak bu farkların modellendirilmesi ve herhangi bir noktada farkların interpolasyonu esasına dayanmaktadır. Bu amaçla GPS/Nivelman geoit yüksekliği bilinen 197 noktada, noktaların *TG91* geoit yükseklikleri (N_{TG91}); *TG-91* grid kütüğünden kestirilmiş ve GPS *TG91* ile ortak noktalardaki geoit yükseklik farkları, δN , aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\delta N = N_{TG91} - N_{GPS} \quad (3.5)$$

Herhangi bir noktadaki *TG99A* geoit yükseklik değeri (N_{TG99A}) bilinen *TG91* geoit yüksekliği (N_{TG91}), trend değeri (t) ve artık ölçü (dN) toplanarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$dN_i = \delta N - t_i \quad (3.6)$$

TG91 geoit yükseklikleri, trend değerleri ve artık ölçü değerleri aşağıdaki eşitlikteki gibi toplanarak sonuç *TG99A* hesaplanabilir.

$$N_{TG-99A} = N_{YG-91} + \delta N \quad (3.7)$$

Sonuç olarak, *TG99A* gravimetrik geoit (*TG91*) ile GPS/Nivelman geoidinin birleştirilmiş halidir ve GPS yöntemi ile hesaplanan elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için

$$N = h - H \quad (3.8)$$

eşitliğinde doğrudan kullanılabilir (Ayhan ve diğ., 2002; Kılıçoğlu, 2002; Ayhan ve Kılıçoğlu, 1996).

Ülkemizde farklı yöntemler ile geoit belirleme çalışmaları yapılmış olup, bunlardan sonuncusu “Güncellenmiş Türkiye Geoidi (*TG99A*)”dır. *TG99A*, *TUTGA99A* (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999) ve *TUDKA99* (Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999) ile uyumlu bir geoidtir.

Ülkemizde, GPS ölçüleri ile *TUTGA* datumunda belirlenen elipsoit yüksekliklerinin *TUDKA* datumundaki ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi amacıyla, BÖHHBÜY’ de farklı yöntemler önerilmekte olup, geometrik nivelman ölçmesini gerektirmemesi nedeniyle en pratik ve en ekonomik olan yöntem *TG-99A*’nın doğrudan kullanılması yöntemidir (Gürdal ve Seylan, 2005).

TG-99A'nın duyarlık ve doğruluğuna yönelik olarak (Ayhan ve diğ, 2002; Kılıçoğlu, 2004) tarafından ülke geneli için 122 GPS/Nivelman noktası kullanılarak; Kılıçoğlu ve Fırat (2003) tarafından da bölgesel olarak araştırmalar yapılmıştır. *TG99A* ile sağlanan geoit bilgisinin harita çalışmalarından beklenen doğruluğu karşılaması gerektiği değerlendirilmekte ve GPS yöntemi ile hesaplanan elipsoit yüksekliklerinin ortometrik yüksekliğe dönüşümü için kullanılabileceği önerilmektedir.

TG-99A yaklaşık ± 10 cm iç duyarlığa ve ± 15 cm doğruluğa sahiptir. GPS yöntemi ile hesaplanan elipsoit yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüştürülerek orta ve küçük ölçekli coğrafi materyal üretiminde doğrudan kullanılabileceği belirtilmektedir (Kılıçoğlu, 2004).

Ülkemizde bölgesel geoit modeli *TG99A* olarak kullanılmaktadır. Son bir yıl içerisinde Türkiye geoidinin yeni versiyonu olarak *TG03* hesaplanmış ve kullanıma sunulmuştur, ancak şimdiye kadar bu modelin kullanıldığı ve uygulamada test edildiği proje sayısı çok fazla olmadığından ve ilgili yönetmelik maddelerinde bölgesel geoit modeli olarak *TG99A* modeli referans gösterilmektedir (Çelik ve Erol, 2005).

4.UYGULAMA

4.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Tokat İli Mücavir Alanı sınırları ve İstanbul Metropolitan alanlarında GPS/Nivelman yöntemi ile geoit belirlemek için deterministik ve geoistatistik enterpolasyon yöntemlerini karşılaştırarak en iyi sonucu veren yöntem araştırması yapmaktır.

4.2. Çalışma Alanı

Çalışma alanlarının birincisi İstanbul İli Metropolitan alanı olup $40^{\circ} 45' 11''.458$ ile $41^{\circ} 29' 11''.071$ enlemleri arası, $27^{\circ} 57' 36''.016$ ile $29^{\circ} 41' 50''.686$ boylamları arası olup elipsoidal yükseklikleri 1.439 m ile 484.981 m arasında değişmektedir. İkinci çalışma alanı Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesinde $40^{\circ} 15'$ ile $40^{\circ} 22'$ enlemleri ve $36^{\circ} 28'$ ile $36^{\circ} 37'$ doğu boylamları arasında kalan Tokat ili mücavir alan sınırları olup elipsoidal yükseklikleri 1607,352 m ile 597,272 m arasında değişmektedir.

4.3. Veri Kaynakları

Tokat İli ile ilgili çalışmada; 1996 yılında Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan Tokat İli 1. Kısım Nirengi Ağı GPS Ölçülerine ait 57 Adet nirengi noktasının ED-50 datumunda koordinat sonuç değerleri, 1999 yılında İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan Tokat İli 1. Kısım İlave Nirengi Ağı GPS Ölçülerine ait 31 adet Ana, 23 adet Dizi nirengiye ait GPS ölçülerinin RINEX formatında CD ortamındaki verileri, 2002 yılında İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan Tokat İli 2. Kısım Nirengi Ağı GPS Ölçülerine ait 4 adet C2, 13 adet C3 nirengiye ait ölçülerinin RINEX formatında CD ortamındaki verileri, 1996 yılında İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan 14 RS noktasına yapılan nivelman ölçü sonuçları,

1999 yılında İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan 24 RS noktasına yapılmış olan nivelman ölçüleri ve hesapları, 2002 yılında İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan 16 AN, 10 RN noktasına yapılmış olan nivelman

ölçüleri ve hesapları , Yeşilirmak Projesi Kapsamında kullanılan Tokat Valiliğine ait Landsat 7 TM ile IRS1 C uydu görüntülerinden oluşturulan kompozit uydu görüntüsü, bu çalışmada kullanılmıştır.

İstanbul Metropoliten alanına ait konum, yükseklik ve geoit yükseklik değerleri Yılmaz (2005) çalışmasından alınmıştır. İstanbul için yapılan çalışmada Yılmaz (2005) tarafından oluşturulmuş olan 50, 200, 393 ve 434 noktadan oluşan model ve 50 noktadan oluşan test noktaları aynen alınarak kullanılmıştır.

4.4. Kullanılan yazılımlar

SKI 2.3 GPS ölçüleri değerlendirme yazılımı,
ARC GIS 8.3 Geostatistical Analyst yazılımı,
NETCAD harita yazılımı,
ASTECH Solutions GPS ölçüleri değerlendirme yazılımı,
Nivelman Dengeleme yazılımı,

4.5. Tokat Nirengi Ağı İle İlgili Çalışmalar

Tokat Merkez İlçesi'nde geçmişten bugüne değişik amaçlarla nirengi ağları tesis edilmiş ve bu ağlara dayalı olarak halihazır, imar ve kadastro çalışmaları yürütülmüştür. 1983 yılına kadar yapılan çalışmalarda mevzi koordinatlar kullanılmıştır. Merkez ilçede 1930 kadastro, 1963 imar, 1983 imar ve kadastro koordinat sistemleri kullanılmıştır. Tokat Merkez ilçesinde aşağıdaki tarihlerde Kadastro ve Halihazır amaçlı nirengi ve poligon çalışmaları yapılmıştır.

1996 yılında Tokat 1. Kısım Nirengi ağı (57 nirengi noktası) Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından GPS Sistemi ile ölçtürülmüştür. Söz konusu ağ 57 noktadan oluşmakta olup, 11 Kasım 1996–13 Kasım 1996 tarihleri arasında ölçülmüştür. Toplam 97 adet baz ölçülmüştür. Ölçülerin değerlendirme sonunda 57 nirengi noktasının önce WGS84 datumunda 502 noktasının koordinatları sabit alınarak hesaplanmıştır.. Ortalama konum hatalarının:

$$m_{\phi} = \pm 0,016 \text{ m}$$

$$m_{\lambda} = \pm 0,012 \text{ m}$$

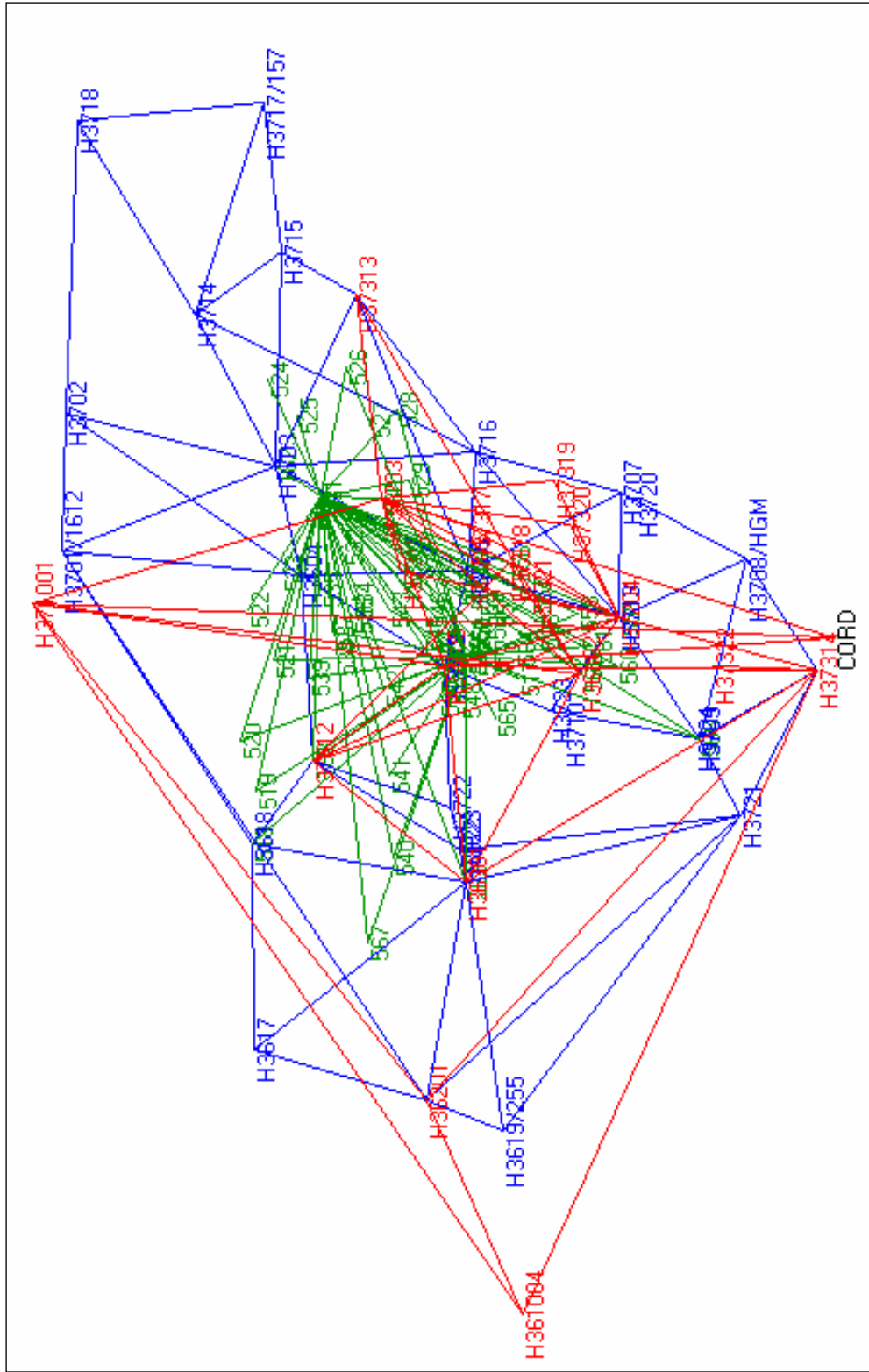
$$m_h = \pm 0,018 \text{ m olduğu görülmüştür (Rapor,1996).}$$

Tablo 4.1 : Tokat ili nirengi ağı çalışmaları

Sıra No	Tarih	Amaç	Açıklama
1	1930	Kad-Halihazır	Nirengi ağı evrakı yok
2	1963	Halihazır	İlk Tesis Nirengi Ağı
3	1978	Rev Halihazır	1963' e bağlı
4	1983	Halihazır	1963' ten farklı
5	1986	Halihazır	1963' e bağlı
6	1996	Kadastro	GPS (57 Nirengi)
7	1999	Halihazır	GPS (31 Nirengi+23 Dizi)
8	2002	İlave	GPS (4SGA+13 ASN+740 P)

Daha sonra, 182,183,263,177 ve 179 noktaları (HGK üçüncü derece nirengi noktaları) kullanılarak WGS84-ED-50 dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm sonunda ağın dengelemesi ED50 datumunda 182,183 ve 263 numaralı 3. derece nirengiler sabit alınarak yapılmıştır. Tunalı (1996). Ağ noktaları ve ölçülen bazlar Şekil 4.1' de görülmekte olup 1996 yılında ölçülen ağ yeşil, 1999 yılında ölçülen ağ mavi ve 2002 yılında ölçülen ağ kırmızı renkli olarak gösterilmiştir.

31 adet ana nirengi ve 23 adet dizi nirengiden oluşmakta olan Tokat 1. Kısım Nirengi Ağı 13–16 Temmuz 1999 tarihlerinde ölçülmüştür. Ana nirengilerde yaklaşık 1 saatlik bir oturum yapılmış ve daha sonra dizi nirengiler en uygun geometride iki ana nirengiden eş zamanlı 20 dakikalık ölçüler yapılarak belirlenmiştir. Ağın çözümünde ilk referans noktası olarak H370022 nolu nokta alınmış, bu noktada ilk gün yapılan uzun süreli kod ölçüleri ile tek nokta kestirimi (*SPP*) yapılarak koordinatları hesaplanmış ve diğer noktaların koordinatları buna bağlı olarak hesaplanmıştır. Dengeleme sonrasında ağ noktalarının *WGS84* sisteminde kartezyen ve coğrafi koordinatları hesaplanmıştır. Tokat 1. Kısım Nirengi Ağında, *ED50* sisteminde koordinatları bilinen toplam 13 adet nokta dönüşümde kullanılmak amacıyla *GPS* ölçü planına dahil edilmiştir. Bu noktalar kullanılarak iki boyutta benzerlik dönüşümü yapılmıştır. 13 ortak nokta ile başlanan dönüşümde uyuşumsuz noktalar



Şekil 4.1 : Tokat Nirengi Ağları 1996, 1999,2002

ortak nokta kümesinden çıkarılmış ve *H370017/157*, *H37001/16121*, *H37008/HGM*, *H360019/255* noktaları kullanılarak dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Bu dönüşüm hesabı sonunda $m_0 = \pm 2.6 \text{ cm}$, koordinatlara gelen en büyük düzeltme (*H170017* noktasının yukarı değeri) 3.2 cm olarak bulunmuştur. Sonuç olarak 31 adet ana ve 23 adet dizi nirengi noktasının *WGS84* ve *ED50* datumunda koordinatları hesaplanmıştır.

Daha sonra İller Bankası Genel Müdürlüğü 2002 yılında Tokat 2.Kısım Halihazır Harita İşİ adı ile yeni bir nirengi poligon ağı işini ihale etmiştir. Proje 1 adet *TUTGA* noktası, 2 adet *AGA* (C1) noktası, 4 adet *SGA* (C2), 13 adet *ASN* (C3) noktasını ve 740 adet poligon noktasını kapsamaktadır. Projede *C1,C2,C3* Nirengileri ve poligon noktalarının gözlem süreleri ve ölçü yöntemleri Tablo 4.2’ de görülmektedir.

Tablo 4 2: Tokat 2. kısım nirengi poligon ağı GPS ölçü süreleri

Nokta	Ölçü Süresi	Ölçü Yöntemi
C1	45 dak.- 2*30 dak.	Statik
C2-C3	30 dak.- 2*20 dak.	Statik
Poligon	10 dakika	Hızlı Statik

Gözlenen tüm baz vektörlerinin çözümünden sonra dengelemeye başlamadan önce GPS vektörleri ile üçgen kapanmaları hesaplanmıştır. GPS Baz vektörleri kullanılarak ve *H37-G002 (CORD) TUTGA* noktasının ölçü anındaki koordinatları (2002.8301 epok) sabit alınarak serbest ağ dengelemesi yapılmıştır. Daha sonra 1 adet *TUTGA* ve 2 adet *AGA* (C1) noktalarının koordinatları değişmez alınarak ağ dayalı dengelenmiştir. Dayalı dengeleme sonucunda 4 adet C2, 13 adet C3 nirengi noktasının (2002,8301 epok) koordinatları hesaplanmıştır. Bu hesaplar sonucunda bulunan bu noktaların *WGS 84* değerleri ve *ED50* koordinat değerleri hesaplanmıştır (Öksüz, 2002).

Değişik tarihlerde ölçülen nirengi ağlarının ortak noktalarının koordinat farklarının Tablo 4.3’ de görülebileceği gibi bazı noktalarda 18-20 cm ye kadar çıktığı görülmektedir. Hem bu sorunu çözmek hem de Tokat nirengi ağını önceki ölçülerden de yararlanıp birleştirmek amacı ile değişik tarihlerde ölçülen üç ağ birleştirilerek önce serbest olarak daha sonra dayalı dengelenmiştir. Dayalı dengelemede 37_G002, 3610004 ve 3710001 noktalarının (2002.8301 epok) koordinatları sabit alınarak ağın

dengelenmesi sonucunda 65 nirengi noktasının coğrafi koordinatları (φ, λ, h) ve kartezyen koordinatları (X, Y, Z) hesaplanmıştır.

Tablo 4.3: 1996–1999 ve 2002 GPS nirengi ölçülerinden hesaplanan ortak nirengi noktalarının koordinat farkları (cm)

1996	1999	2002	Y_{99}	X_{99}	Y_{02}	X_{02}	DY_{96-99}	DX_{96-99}	DY_{99-02}	DX_{99-02}
	36020	362001	536183.800	4465331.869	536183.791	4465331.851			0.90	1.80
263	36021	363001	541252.610	4464589.434	541252.609	4464589.428	9.00	1.40	0.10	0.60
183	37005	373012	543883.902	4468300.420	543883.900	4468300.420	10.80	18.00	0.20	0.00
506	37019	372005	546184.031	4465272.229	546184.035	4465272.231	1.50	18.40	0.40	0.20
547	37006	373016	548389.106	4464803.035	548389.109	4464803.038	5.20	19.40	0.30	0.30
	37012	373013	554672.049	4467642.819	554672.049	4467642.815			0.00	0.40
559	37013	372004	547432.434	4461162.649	547432.438	4461162.662	5.90	13.80	0.40	1.30
	37011	373014	546407.680	4456462.181	546407.687	4456462.193			0.70	120
562	37503	373002	546103.461	4462036.430	546103.462	4462036.437	5.90	13.70	0.10	0.70

Dengeleme sonrası oluşan istatistiki değerler Tablo 4.4’ de sunulmuştur.

Tablo 4.4: Tokat nirengi ağı serbest ve bağlı dengeleme istatistik sonuçları

	Serbest Dengeleme	Bağlı Dengeleme	
Koordinatlar	Kartezyen	Coğrafi	Kartezyen
Gözlem sayısı	624	600	600
Bilinmeyen sayısı	195	186	186
Serbestlik derecesi	432	414	414
Grup sayısı	12	11	11
Öncül değer m_0	0.0029 [m]	0.0031 [m]	0.0015 [m]
Sonuç değer m_0	0.0025 [m]	0.0026 [m]	0.0015 [m]

Dengeleme sonunda ortak noktalar ayıklanmış ve sonuç olarak; *1TUTGA(H37-G002), 2C1(H3710001-H3610001), 6C2(H362001-H3720001-H3720002-H372H003-H372H004- H3720005)* C1 C2 noktaları ile 58 adet C3 noktası ve 740 poligon noktasından oluşan nirengi ve poligon ağının coğrafi (φ, λ, h) , kartezyen (X, Y, Z) dik koordinatları (X, Y, H) WGS84 datumunda ve başlangıç epoğunda hesaplanmıştır.

Dengeleme sonunda hesaplanan birim ölçünün karesel ortalama hata değerleri; coğrafi koordinatlar için $m_0 = \pm 0.26$ cm ve kartezyen koordinatlar için $m_0 = \pm 0.26$ cm olarak bulunmuştur. Dengeleme sonrası hesaplanan elipsoidal yüksekliklerin ortalama KOH değeri $m_h \pm 1.02$ cm olarak hesaplanmıştır. Tokat nirengi ağı noktalarının dengelenmiş coğrafi, kartezyen ve dik koordinatları Tablo A.1. de verilmiştir.

Tablo 4.5: Tokat nirengi noktalarının 1998.0 (T_0) başlangıç epok koordinatları ve hız vektörleri

KOORDINAT TİPİ:		KARTEZYEN				
DATUM :		ITRF-98				
REFERANS ELİPSOİDİ:		WGS84 (GRS80)				
EPOK:		1998.0				
NN	X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
H3610004	3 922 775.2675	2 888 816.3726	4 103 819.4340	-0.0153	-0.0052	0.0098
H3710001	3 907 566.3827	2 897 461.2004	4 113 682.5525	-0.0175	-0.0067	0.0090
H37-G002	3 917 192.9038	2 904 273.7407	4 098 715.0688	-0.0122	-0.0026	0.0115
KOORDINAT TİPİ:		KARTEZYEN				
DATUM :		ITRF-98				
REFERANS ELİPSOİDİ:		(GRS80)				
EPOK:		2002.83				
NN	X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
H3610004	3 922 775.194	2 888 816.347	4 103 819.481	-0.0153	-0.0052	0.0098
H37_G002	3 917 192.845	2 904 273.728	4 098 715.124	-0.0122	-0.0026	0.0115
H3710001	3 907 566.298	2 897 461.168	4 113 682.596	-0.0175	-0.0067	0.0090
H3630002	3 914 781.413	2 901 221.506	4 103 161.893			
H372H003	3 909 840.891	2 902 461.152	4 106 725.437			
H372H004	3 914 502.334	2 902 662.322	4 102 542.805			
H3730013	3 906 836.593	2 906 042.461	4 107 465.799			
H3730019	3 911 876.023	2 904 598.311	4 103 880.089			
H3730020	3 912 725.875	2 903 968.478	4 103 630.242			
H373H015	3 911 059.092	2 901 299.516	4 106 350.299			
H373H016	3 912 042.815	2 902 058.190	4 105 327.915			
H373H017	3 911 461.475	2 902 921.700	4 105 324.712			
H373H018	3 912 306.505	2 902 523.427	4 104 469.165			
H373H021	3 913 014.381	2 902 132.146	4 104 064.589			

AGA ve SGA noktalarını oluşturan noktaların T epokundaki koordinatları bundan sonraki tüm değerlendirmelerde kullanmak üzere başlangıç epoğuna (T_0) kaydırılmıştır. Bunun için AGA ve SGA nokta hızları TUTGA nokta hızlarından enterpolasyonla hesaplanmıştır. Bu iş için

$$\begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix} + (T_0 - T) \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{\text{MODEL}} \quad (4.1)$$

eşitliği kullanılmıştır (BÖHHÜY, 2005).

TUTGA ağına bağlanarak dengelenen ve ITRF98 koordinatları hesaplanan Tokat GPS ağı noktalarının dağılımı uydu görüntüsü üzerinde Şekil 4.2’ de görülmektedir.



Şekil 4.2: Nirengi noktalarının uydu görüntüsü üzerinde dağılımı

4.6. Nivelman Ölçüleri ve Değerlendirmeler

Çalışma alanının nivelman ölçülerinin birinci bölümü 20-24 Temmuz 1999 tarihlerinde klasik nivo ile yapılmış, 47 güzergahtan ve 22 luptan oluşmakta olup lup kapanmaları hesaplandıktan sonra RS 24, RS 71, RS 197, RS 367 noktalarına dayalı olarak koşullu ölçülerle dengelenerek 26 noktanın ortometrik yükseklik değerleri elde edilmiştir. Dengeleme sonunda birim ölçünün ortalama hata değeri $m_0 = \pm 2.2$ mm/km bulunmuştur.

İkinci grup nivelman ölçüleri 14-18 Şubat. 2003 tarihinde iki adet TUDKA noktasına (540-A-3(DN-3)-DN60A-50) bağlı olarak 16 noktalı ana nivelman (AN) ve 12 yardımcı nivelman (RN) güzergahları tek bölümlü mira ile (mira okumaları 0.1 mm ye kadar) ölçülmüştür. Ölçülerin gidiş-dönüş değerleri ve ortalamaları hesaplandıktan sonra lup kapanmaları hesaplanmıştır.

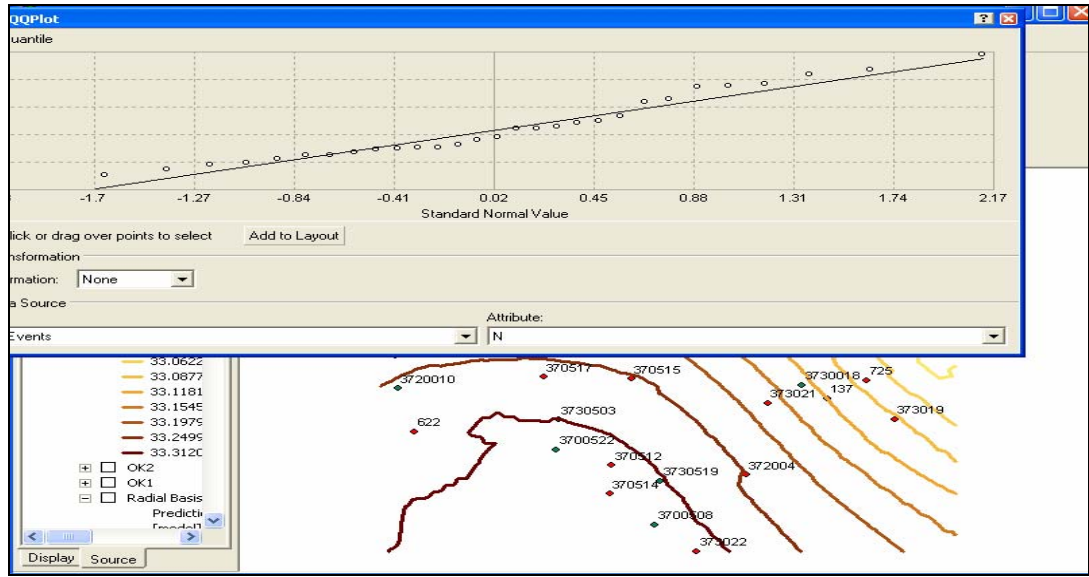
4.7. Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması

Tokat İli Mücavir alanı sınırlarını oluşturan $15\text{ km} \times 17\text{ km}$ lik bölgeyi kapsayan 225 km^2 alan içerisinde 65 adet noktanın coğrafi ve kartezyen *ITRF98* koordinatları hesaplanmıştır. Bu noktaların elipsoidal yükseklikleri 1607.3502 m ile 659.6222 m arasında olduğu yani çalışma alanında 948.728 m lik bir elipsoidal yükseklik farkı olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılabileceği gibi nirengi ağının kapsadığı alan dik yamaçlı ve vadilere sahip bir alandır. Bu nedenle bazı noktalarda nivelman yapma olanağımız olmamıştır. Nirengi ağı noktalarının sadece 48 tanesine nivelman yapılabilmiştir. Nivelman ağının içerisindeki 70 noktanın geriye kalan 22 tanesi poligon noktalarıdır. Ayrıca model noktası ve test noktası olarak kullanmak için çalışma alanının en batısında nivelman yapmanın çok güç olduğu 607, 609, 610, 622 ve 623 poligon noktalarına çift noktadan trigonometrik nivelmanla yükseklik verilmiştir. Bu noktalarda hesaplanan yükseklik farklarının *cm* sınırları içerisinde kalmasına özen gösterilmiştir.

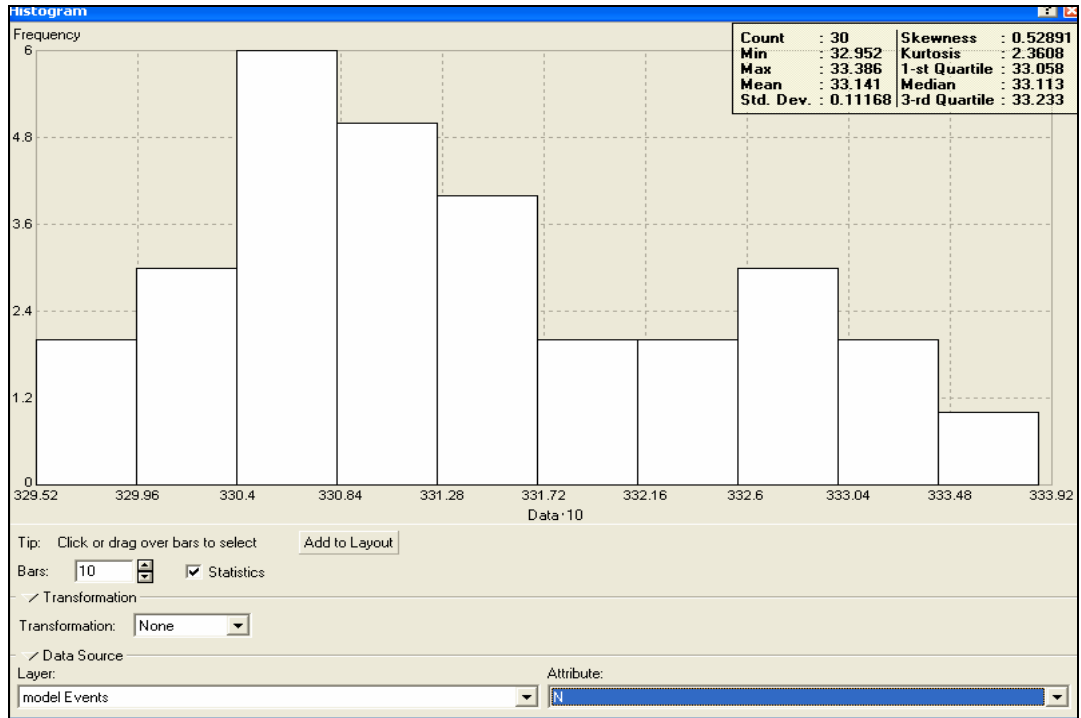
Elipsoidal yükseklikleri (h) ve ortometrik yükseklikleri (H) bilinen 58 noktanın geoit yükseklikleri (2.2) eşitliğine göre hesaplanmıştır. Buradaki 58 nokta ile Geostatistik Analiz yazılımında QQPlot trend analizi yapılmış ve trendi bozan (372003 ve 3720010) noktaları değerlendirmeden çıkarılmış, bu noktalar model noktası olarak alınmamıştır. Nokta seçiminde topografyayı iyi karakterize eden, süreksizlik yaratan yerlerdeki noktalar dayanak noktaları olarak seçilmeye çalışılmıştır.

Bunun için noktalar sayısal arazi modeli üzerine oturtulmuş ve buradan seçim yapılmıştır. Ayrıca model noktalarının seçiminde noktaların $N_{GPS/NIVELMAN}$ değerleri QQPlot ve histogram analizleri ile incelenerek normal dağılımda bir Geoit Dayanak Noktaları Ağı oluşturulmaya çalışılmıştır. Şekil 4.4' de QQPlot grafiği Şekil 4.5 de model noktalarının histogram grafiği, ve Tablo 4.6' da Tokat ve İstanbul dayanak noktalarına ait histogram istatistik değerleri görülmektedir.

Tokat İli mücavir alanını bütünü ile içine alan 255 km^2 lik alanda Tokat geoit modelini oluşturacak olan elipsoidal yükseklikleri (h) ve nivelman yükseklikleri bilinen (H), buradan $N_{GPS/NIVELMAN}$ değerleri hesaplanan 30 noktadan oluşan model noktaları/dayanak noktaları ağı seçilmiştir. Bu noktaların dışında $N_{GPS/NIVELMAN}$ değerleri hesaplanan 13 nokta da test noktaları olarak seçilmiştir. Tokat geoit yüzeyini oluşturmak ve test etmek amacı ile seçilen dayanak ve test noktaların WGS84 datumunda koordinat ve $N_{GPS/NIVELMAN}$ değerleri Tablo A4' de sunulmuştur.



Şekil 4.4: Tokat geoit modeli QQPlot grafiği



Şekil 4.5: Model noktalarının histogram grafiği

Dayanak noktası ve test noktası olarak kullanılacak noktaların elipsoidal yüksekliklerinin ortalama hatası $m_h = \pm 1.1 \text{ cm}$ ve nivelmandan hesaplanan ortometrik yüksekliklerinin ortalama hatası $m_H = \pm 2.5 \text{ cm}$ dir. Elipsoidal ve ortometrik yüksekliklerin farkları alınarak hesaplanan geoit yüksekliklerinin doğrulukları hata yayılma yasası ile aşağıdaki gibi bulunabilir. Geoit yüksekliğinin karesel ortalama hatası ;

$$m_N = \sqrt{m_h^2 + m_H^2} = \sqrt{1.1^2 + 2.5^2} = \sqrt{7.46} = \pm 2.73 \text{ cm olarak bulunmuştur.}$$

Dayanak noktaları model.dbf, test noktaları da test.dbf adıyla kaydedilmiş ve dayanak noktalarından geoit yüzeyi oluşturulmuştur.

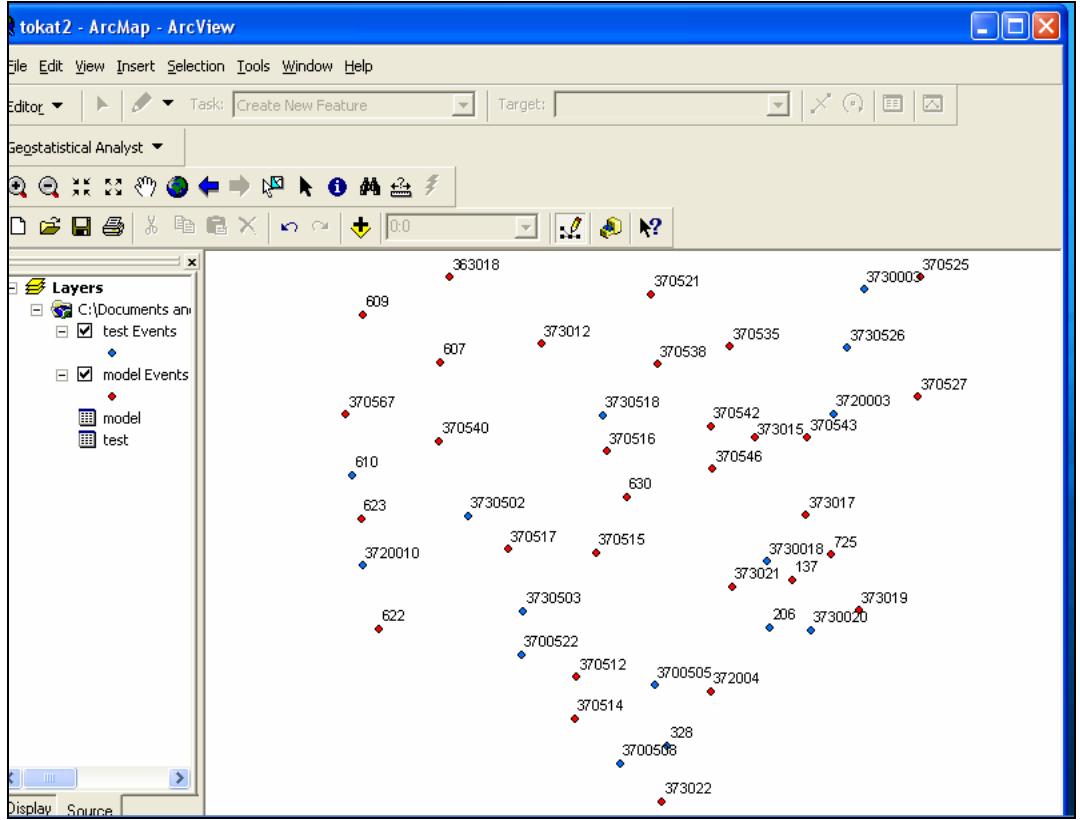
Normal dağılımlı veriler yüzey oluşturulurken daha iyi sonuçları verdiği için verilerin dağılım testinin yapılması gerekir. Bu nedenle histogram testi yapılmış ve dayanak noktalarının histogram istatistikleri Tablo 4.6' da görülmektedir. Histogram testinde ilk bakışta ortalama (mean) ve ortanca (medyan) değerler yaklaşık aynı ise ve histogram grafiği tek simetrik tümsekli ise bu verilerin normal dağılımlı olduğunu gösterir. Histogram, genellikle kesikli değişkenler için uygulanan bir grafik türüdür. Histogram; grup sınırlarından, her gruba ilişkin frekanslara kadar çıkılacak dikmelerden elde edilen dikmelerden oluşan bir grafikdir.

Tablo 4.6: İstanbul ve Tokat model verilerinin histogram değerleri (m)

Dayanak	TOKAT	İST50	İST200	İST393	İST494
Nokta Sayısı	30	50	200	393	494
Minimum	32.952	35.833	35.833	35.833	35.833
Maksimum	33.386	38.238	38.238	38.238	38.238
Ortalama	33.141	37.017	37.009	36.965	36.967
Ortanca	33.113	36.933	36.940	36.855	36.861
Yamukluk	0.11168	-0.0066	0.02905	0.035967	0.038628
Basıklık	2.3608	2.4627	2.4606	2.5387	2.5021
Standart Sapma	0.5289	0.5696	0.4787	0.44821	0.44335
1. dördül	33.058	36.691	36.715	36.719	36.719
3.dördül	33.233	37.441	37.419	37.402	37.401

4.8. Tokat Mücavir Alanının Geoistatistik Analiz ile Geoit Modelinin Oluşturulması

Tokat Mücavir Alanında geoit yüksekliği hesaplamak için 30 nokta ile model oluşturulmuştur. Çalışma alanının 255 km^2 olduğu düşünülürse yaklaşık 8.5 km^2 ye bir nokta düşmektedir bu da BÖHHÜY' ne uygundur. Zira BÖHHÜY GPS/Nivelman uygulamalarında en az 15 km^2 ye 1 dayanak noktası koşulunu getirmektedir BÖHHÜY (2005). Şekil 4.6' da model ve test noktalarının dağılımı görülmektedir.

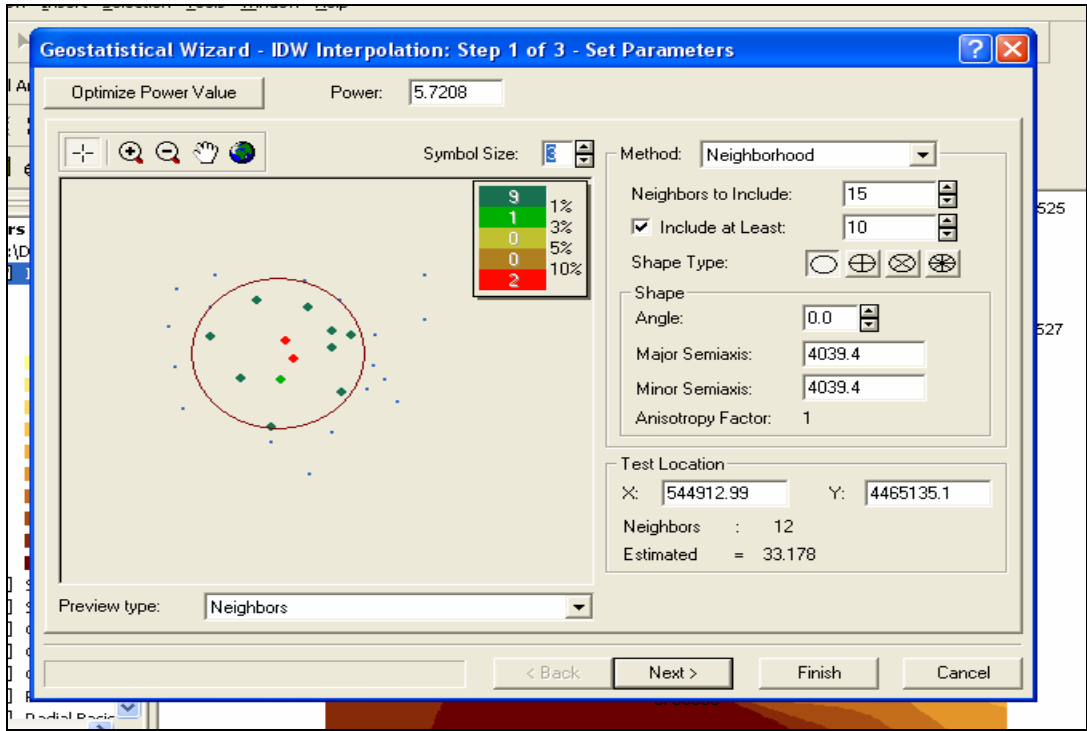


Şekil 4.6: Model ve test noktalarının dağılımı

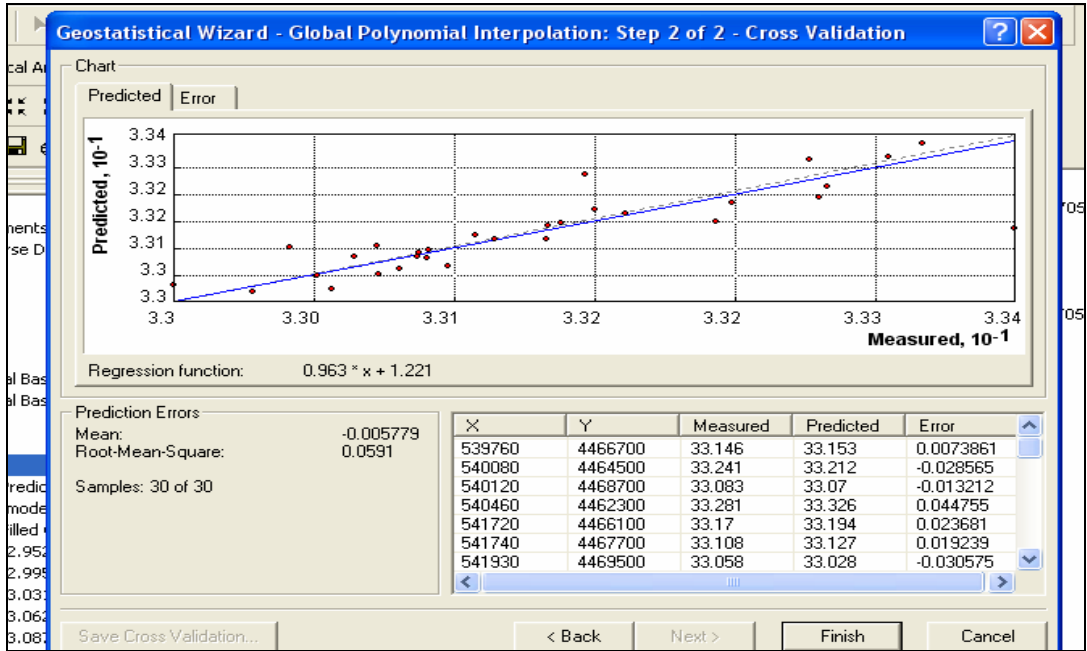
4.8.1. Deterministik enterpolasyon yöntemleri ile model oluşturulması

Uygulamada deterministik yöntemler olarak; altıncı derece global polinomlarla enterpolasyon (*GPI6*), mesafenin tersi ağırlıkla enterpolasyon (*IDW*), multiquadratik enterpolasyon (*MULT*), invers multiquadratik enterpolasyon (*INVMUL*) ve lokal polinomlarla enterpolasyon (*LPI*) uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Deterministik enterpolasyon yöntemleri ile uygulamalarda Kriging uygulamalarında olduğu gibi kullanıcıya fazla müdahale olanağı verilmemiştir. Deterministik uygulamalar daha stabil uygulamalardır. Burada sadece ağırlık seçimi, trend yüzeyi seçimi ve komşuluk irdelemesinde komşu nokta sayısı seçimine olanak tanınmaktadır. Deterministik uygulamaların bütününde ağırlık ve parametre seçimlerinde optimal ağırlıklar ve parametreler seçilmiştir.

Şekil 4.7’ de Mesafenin Ters Ağırlıkla (*IDW*) Enterpolasyon yöntemi için bir hesap penceresi görülmektedir. Burada görüldüğü gibi büyük ve küçük eksen boyutları, kullanılacak komşu nokta sayısı ve optimal ağırlık değerleri seçilebilmektedir.



Şekil 4.7 :Mesafenin tersi ağırlıkla (IDW) enterpolasyon ekranı



Şekil 4. 8: Deterministik enterpolasyon sonuç değerleri ekranı

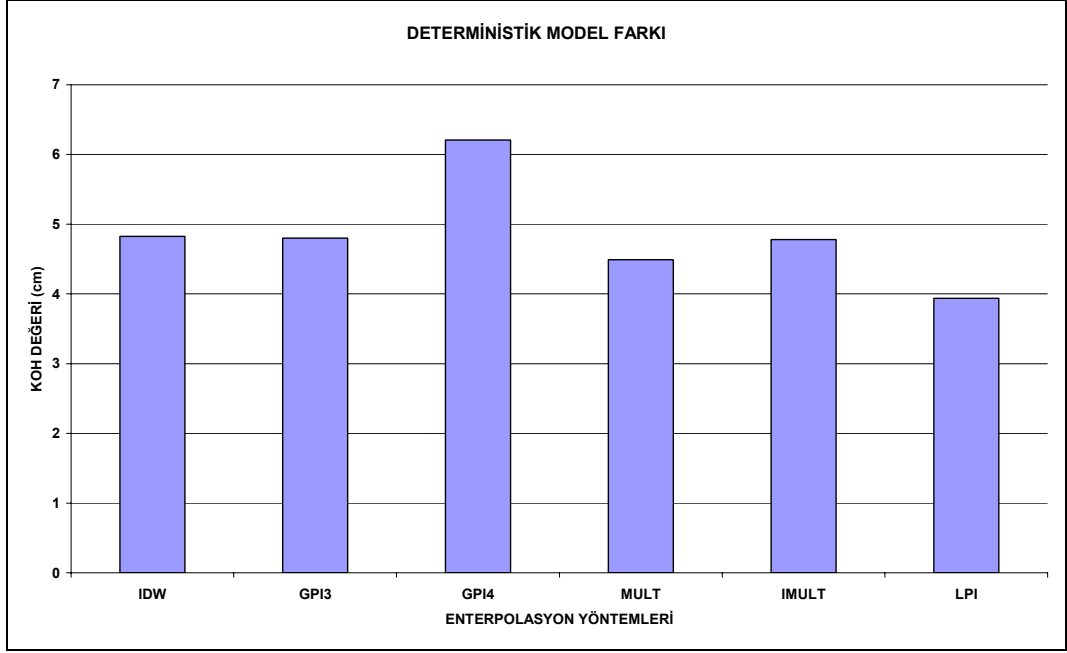
Ayrıca modelin testi için; Test Location bölümünde geoit yüksekliği(N) bilinen noktaların koordinatları girilerek modelden hesaplanan değer test edilebilmektedir. Deterministik enterpolasyonlar sonunda Şekil 4.8’ de görüldüğü gibi dayanak ve test noktaları için modelden hesaplanan değerler N_{HESAP} (predicted), $N_{ÖLÇÜ-HESAP}$ farkları (Error), farkların ortalama hata değeri ve farkların KOH değerleri hesaplanmaktadır.

Deterministik yöntemlerle oluşturulan modellerden, dayanak noktaları için geoid yükseklik değerleri hesaplanmış (N_{HESAP}) ve hesaplanan değerlerin ölçü değeri olarak alınan $N_{GPS/NİVELMAN}$ değerinden farkları hesaplanarak $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri bulunmuştur.

Tablo 4.7: Deterministik modellerde dayanak noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ değerleri(cm)

NN	Y	X	NÖLÇÜ	IDW	GPI3	GPI4	MULT	IMULT	LPI
373022	546382.598	4458710.865	33.386	-12.85	0.74	0.78	1.18	1.40	2.04
373021	547856.921	4463119.092	33.233	-1.76	-2.86	-0.29	-2.11	-2.67	-1.24
373019	550518.622	4462636.521	33.014	9.97	-1.32	0.99	1.32	2.41	0.43
373017	549406.633	4464592.344	33.013	1.72	4.48	-1.36	1.13	-2.17	5.09
373015	548333.301	4466201.745	33.079	-3.48	2.37	1.60	0.34	0.57	-0.22
373012	543861.603	4468116.226	33.057	0.22	1.92	-4.12	-0.52	-1.02	-0.03
372004	547410.024	4460978.574	33.165	-9.50	-3.06	1.63	0.05	2.76	-2.23
370567	539760.257	4466668.578	33.146	-4.86	-3.42	0.91	-3.25	-3.18	-5.52
370546	547450.403	4465546.832	33.118	0.02	4.21	0.40	2.83	2.95	1.95
370543	549431.884	4466192.831	33.069	-8.80	2.67	0.83	-0.36	-1.31	0.02
370542	547405.285	4466434.773	33.084	-2.95	1.10	0.25	-0.50	-0.27	-1.60
370540	541719.198	4466126.329	33.170	-4.70	-5.84	-3.09	-4.11	-3.97	-7.18
370538	546284.739	4467705.497	33.046	7.54	0.70	1.53	-0.76	-1.15	-1.18
370535	547816.224	4468069.238	33.027	-0.81	-0.21	2.20	1.54	1.84	-1.55
370527	551759.245	4467031.075	32.993	-3.40	-4.39	-0.30	-0.83	0.71	-3.01
370525	551793.876	4469492.999	32.952	3.00	2.52	1.01	1.49	1.04	1.67
370521	546160.021	4469137.895	33.034	-3.75	-14.25	-16.23	-14.27	-15.55	-7.97
370517	543161.458	4463893.658	33.290	0.36	0.70	0.33	0.15	0.31	-0.10
370516	545224.130	4465913.929	33.153	0.88	12.02	10.00	12.98	12.49	10.47
370515	545000.203	4463836.033	33.286	1.66	-0.01	0.69	-0.50	-0.91	-0.89
370514	544548.224	4460413.604	33.339	0.47	-0.33	-1.68	2.02	2.33	-0.06
370512	544592.807	4461268.685	33.322	2.82	-6.95	-8.85	-6.94	-5.59	-7.31
363018	541934.791	4469491.250	33.058	0.59	-0.50	-0.84	-0.39	0.08	-0.88
725	549944.334	4463788.066	33.079	0.81	-2.59	-3.58	-1.61	-0.67	-2.14
630	545640.112	4464970.088	33.186	3.58	8.34	10.62	8.31	7.97	8.33
623	540077.412	4464529.006	33.241	3.08	-2.70	-3.76	-3.96	-3.94	-2.62
622	540461.813	4462269.022	33.281	1.95	0.24	1.50	-1.44	-2.88	0.88
609	540116.613	4468729.191	33.083	1.16	-4.38	-5.23	1.02	2.95	1.02
607	541743.984	4467742.905	33.108	3.84	-1.30	-13.74	0.85	2.76	-0.43
137	549120.009	4463267.144	33.145	0.05	0.05	0.16	0.04	0.07	-0.03
			MAK	12.8	14.3	16.5	14.3	15.6	10.5
			MİN	0.00	0.00	0.02	0.10	0.10	0.00
			ORT	-0.30	-0.20	-0.40	-0.10	0.20	-0.60
			KOH	4,80	4,80	6,20	4,50	4,80	3,90
			> 5cm	6	5	7	4	5	7

30 dayanak noktası için deterministik enterpolasyonlar sonucu $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ değerleri, $N_{ÖLÇÜ-HESAP}$ değerlerinin ortalama (*ORT*), maksimum (*MAK*) ve minimum (*MİN*) değerleri ve *KOH* değerleri de hesaplanarak Tablo 4. 7’ de sunulmuştur. $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının *KOH* değerleri grafiği de Şekil 4. 9’ da sunulmuştur.



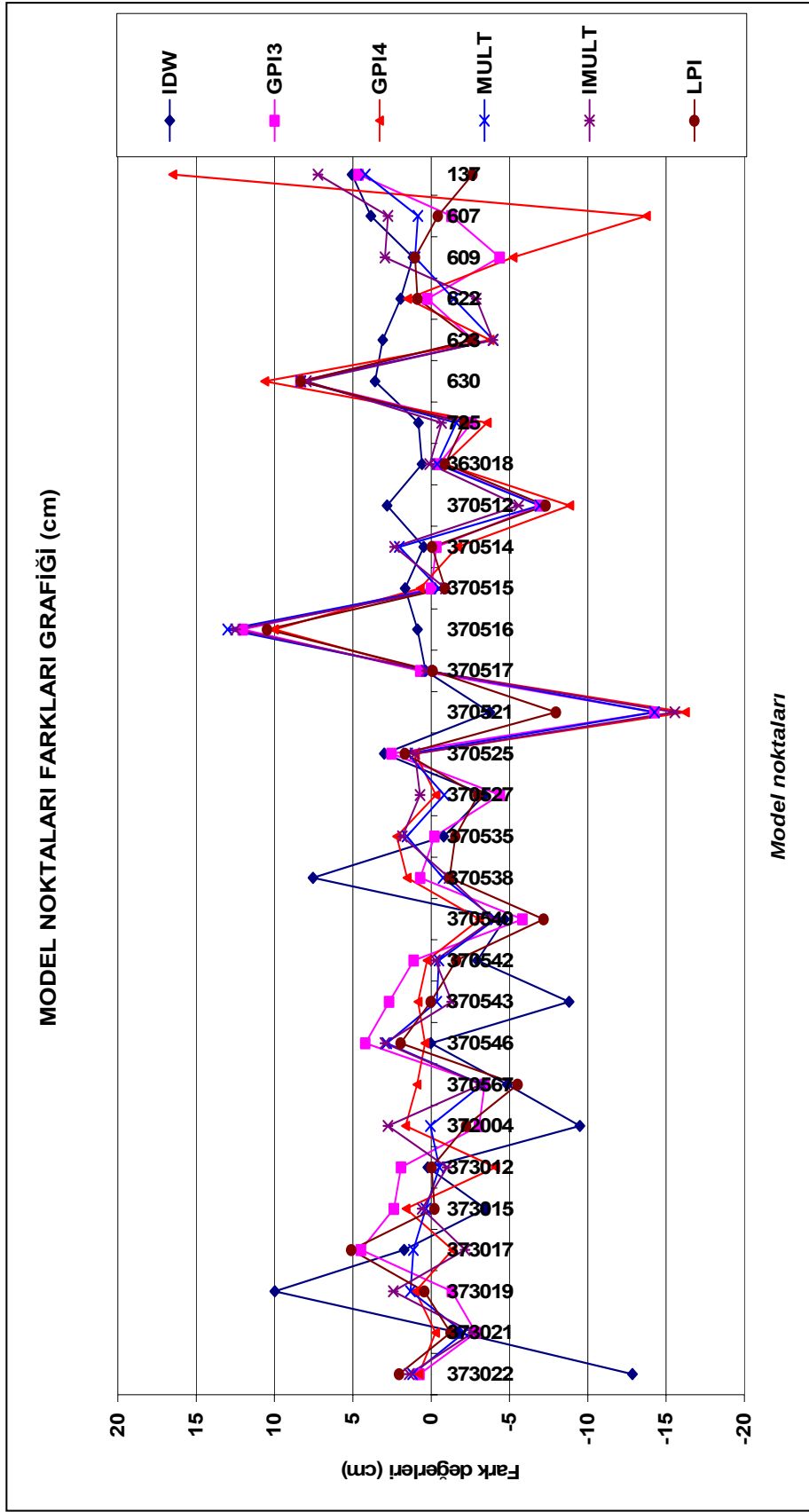
Şekil 4. 9: Dayanak noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri

Enterpolasyon uygulamaları sonunda Şekil 4. 9’ da görüldüğü gibi farkların ortalama KOH değerlerinin multiquadratik yöntemde (± 4.50 cm) en az olduğu görülmektedir. $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları ± 5 cm den büyük olan nokta sayısı Tablo 4. 7 incelendiğinde; 30 nokta içerisinde 4 nokta ile multiquadratik yöntemde en az olduğu görülmektedir. Bu da multiquadratik yöntemin trend yüzeyden en az etkilenen yüzey olduğunu göstermektedir. 30 dayanak noktasının deterministik enterpolasyonla hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının noktasal fark grafiği Şekil 4.10’ da görülmektedir.

4.8.2. Deterministik enterpolasyonlarla oluşturulan modelde noktaların test edilmesi

Oluşturulan modellerde 13 test noktası için geoit yükseklik değerleri (N_{HESAP}) hesaplanmış ve hesaplanan değerlerin ölçü değeri olarak alınan $N_{GPS/NİVELMAN}$ değerinden farkları hesaplanarak $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerlerin maksimum, minimum, ortalama ve KOH değerleri hesaplanarak Tablo 4.8’ de sunulmuş ve sonuçlar Şekil 4.11’ de grafik olarak gösterilmiştir.

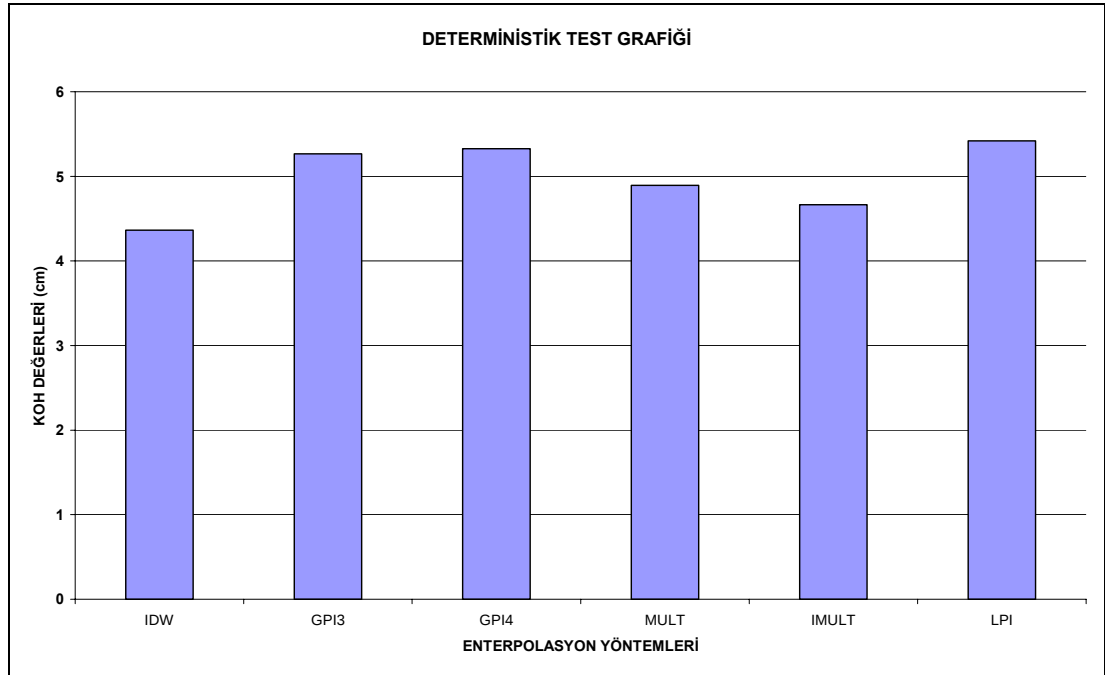
13 test noktasından bulunan değerlerden yöntemler bazında KOH değeri en az çıkan yöntem ± 4.4 cm ile mesafenin tersi ağırlıkla enterpolasyon yöntemi (IDW) ve ± 5 cm den daha büyük farklı nokta sayısı bakımında üçüncü derece polinomla enterpolasyon yöntemi 2 nokta ile en iyi sonucu vermişlerdir.



Şekil 4.10: Tokat Geoit Modelinden deterministik enterpolasyon yöntemleri ile 30 dayanak için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ değerleri grafiği (cm)

Tablo 4.8: Deterministik modellerden 13 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri ve istatistiki sonuçlar (cm)

NN	Y	X	$N_{ÖLÇÜ}$	IDW	GPI3	GPI4	MULT	IMULT	LPI
3730526	550278.101	4468033.629	32.996	4.53	0.10	0.49	0.38	0.24	0.42
3730519	545617.766	4460792.917	33.309	1.65	1.22	1.38	1.00	0.96	0.60
3730518	545146.668	4466657.992	33.117	4.51	1.93	0.12	0.17	2.18	0.07
3730503	543477.293	4462620.416	33.347	5.25	2.74	4.36	5.17	5.51	4.12
3730502	542314.102	4464583.528	33.248	2.66	2.07	3.25	3.67	6.08	4.17
3730018	548589.457	4463649.241	33.221	6.84	0.56	0.42	0.27	0.33	0.16
3730016	548366.703	4464618.876	32.984	3.01	2.81	2.93	3.56	3.12	3.84
3730003	550621.661	4469235.568	32.911	7.43	1.41	1.37	1.27	0.89	0.66
3720010	540107.023	4463557.474	33.273	2.23	13.98	12.25	10.45	12.79	11.52
3720003	549988.849	4466683.625	33.031	3.36	8.80	7.06	6.88	8.61	7.07
3700522	543438.761	4461735.093	33.367	3.78	1.56	0.88	2.47	0.19	1.64
3700508	545507.940	4459497.923	33.321	1.55	2.44	0.77	1.30	0.00	0.12
610	539901.003	4465412.007	33.206	4.28	5.82	6.75	6.62	5.66	6.47
			MAK	7.43	13.98	12.25	10.45	12.79	11.52
			MİN	1.60	0.50	0.10	0.10	0.20	0.00
			ORT	1.00	0.20	0.40	0.40	0.50	-0.30
			KOH	4.40	5.30	5.30	4.90	4.70	5.40
			> 5 cm	3	2	3	3	4	5



Şekil 4.11: Deterministik modellerden hesaplanan 13 test noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm)

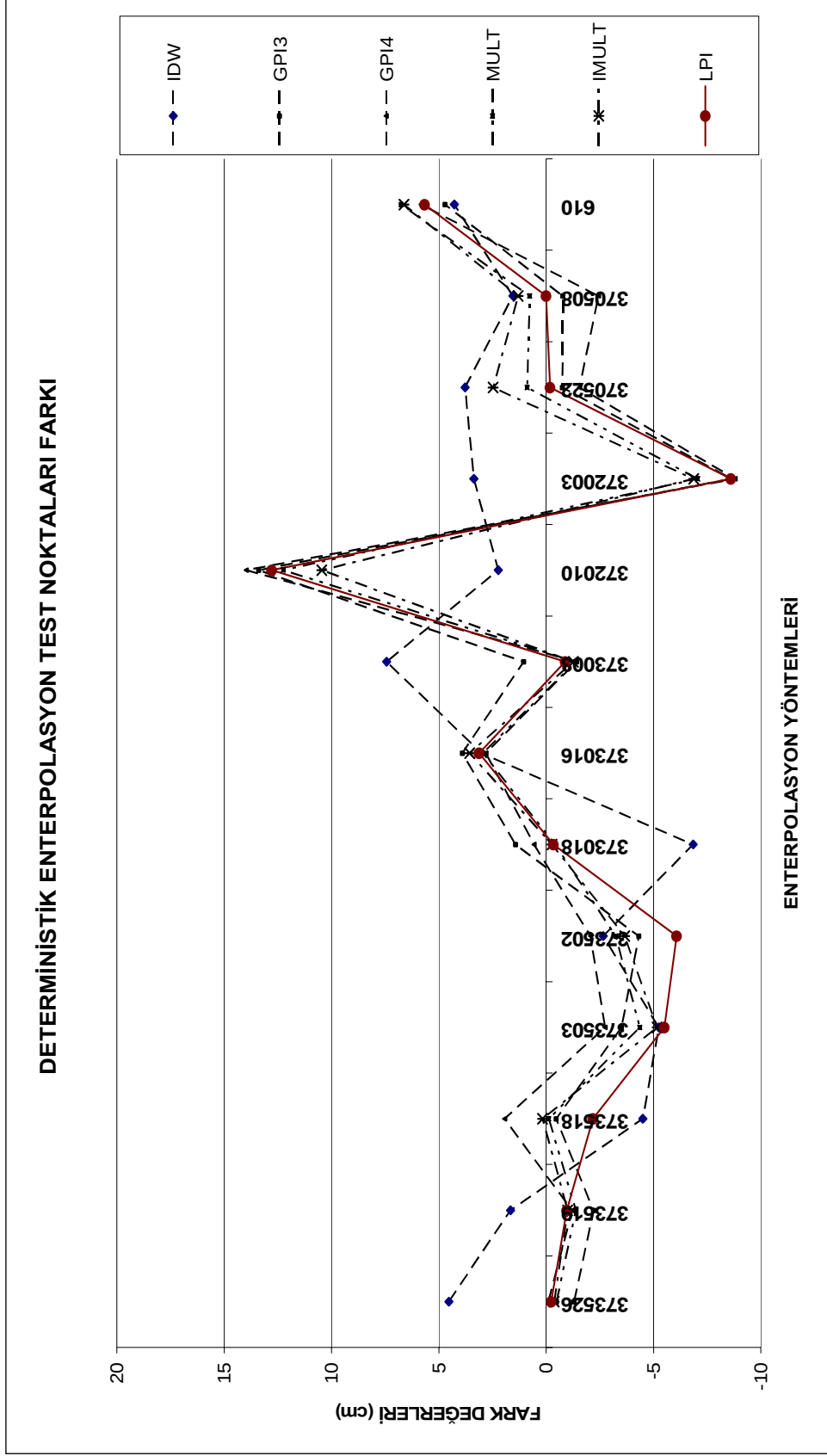
Şekil 4.12' de 13 test noktasının deterministik modellerden hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları görülmekte olup şekildeki grafik incelenecek olursa; nokta bazında hatalar görülmekte olup Trend analizinde trendden sapma gösterdiği için modelden çıkarılan

3720010 ve 372003 noktaları burada da bütün yöntemlerde en fazla farkın görüldüğü iki nokta olmaktadır. Grafik incelendiğinde 3720010 ve 372003 noktaları dışındaki bütün noktalarda fark değerlerinin ± 5 cm sınırlarında olduğu görülecektir. Dolayısı ile bütün deterministik yöntemlerden benzer sonuçlar alınmıştır. Ancak yüksek dereceli polinomlarla enterpolasyon ve lokal polinomlarla enterpolasyon yöntemleri hem KOH (± 5.4 cm) değerlerinin daha büyük olması, hem de ± 5 cm den büyük nokta sayısının fazlalığı (5 nokta) bakımından daha dezavantajlı yöntemler olarak kendilerini göstermektedirler.

4.8.3. Tokat mücavir alanının kriging enterpolasyon yöntemleri ile geoit modelinin oluşturulması

Bilindiği gibi Kriging enterpolasyon yöntemleri *IDW* yöntemi gibi yakınlardaki noktalardan daha fazla etkilenmeyi öngören bir ağırlık modeli kullanırlar. Kriging yönteminde ağırlıklar variogram modelinin doğrudan bir fonksiyonudur. Kriging yönteminde tahmin hatalarının minimum olması koşuluna göre ağırlıklar belirlenmektedir. Teorik temelleri önceki bölümde açıklanan yöntemin Geoistatistik Analiz yazılımındaki uygulamasında semivaryans, kovaryans değerleri ve optimal ağırlıklar yazılım tarafından belirlenebilmektedir. Daha önce istatistiki analizi yapılmış ve deterministik uygulamalarda kullanılmış olan Tokat Geoit Modeline ait *model.dbf* ve verileri ile önce bir yüzey oluşturulmuştur.

Ordinary Kriging uygulamalarında sırası ile *OK1* ile birinci derece trend yüzey olarak seçilmiş, *OK2* ile ikinci derece yüzey trend olarak seçilmiş, *OK3* ile de üçüncü derece yüzey trend olarak seçilmiştir. Her üç uygulamada da teorik variogram modeli olarak küresel variogram modeli seçilerek enterpolasyon yapılmıştır. İkinci uygulama olarak Simple Kriging uygulamaları gerçekleştirilmiştir. *SK* yöntemi ortalama değerle çalışan bir yöntemdir. Ortalama geoit yüksekliği 33.141 olarak alınmış ve komşuluk sorgulaması yapılmıştır. Burada teorik variogram modeli olarak sırası ile *SK1* küresel variogram modeli ve *SK2* Gauss variogram modelleri kullanılmıştır. Nokta sayısının az olması değişik variogram modeli seçimine olanak tanımamıştır. Ordinary ve Simple Kriging yöntemleri ile yapılan beş uygulamanın sonunda 30 dayanak noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ değerleri Tablo 4. 9'da görülmektedir. Bu tablodan elde edilen $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerler grafiği Şekil 4. 13'de görülmektedir. Burada birinci ve 2. derece trend üzerinde enterpolasyon yapılan *OK1* ve *OK2* uygulamalarının KOH değerlerinin ± 3.90 cm ve

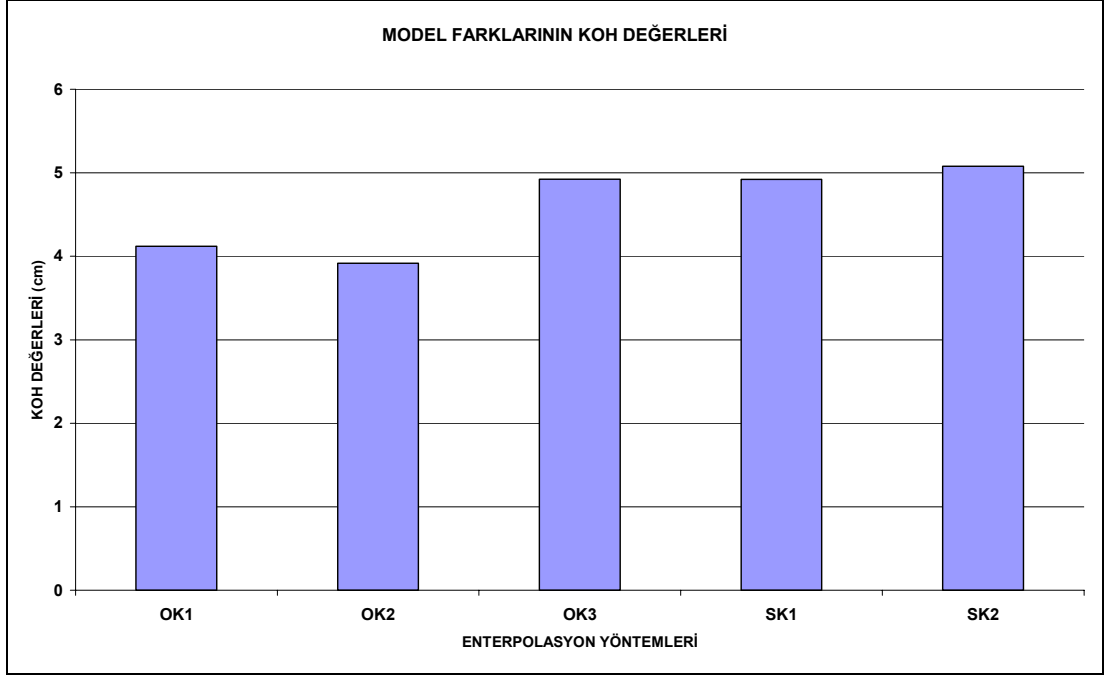


Şekil 4.12 : Tokat Geoit Modelinden deterministik enterpolasyon yöntemleri ile 13 test noktası için hesaplanan $N_{HES,IP-ÖLÇÜ}$

± 4.05 cm ile diğer kriging uygulamalarından düşük olduğu görülecektir. Yine OK1 uygulamasında ortalama hatanın -0.00 ile en küçük değer olduğunu görüyoruz. ± 5 cm den büyük fark oluşan model noktalarının ise hepsinde eşit olduğu görülecektir.

Tablo 4.9 : Kriging enterpolasyonlar sonucu bulunan dayanak noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri (cm)

NN	Y	X	$N_{ÖLÇÜ}$	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
373022	546382.598	4458710.865	33.386	2.06	0.18	0.64	0.78	1.49
373021	547856.921	4463119.092	33.233	-0.24	-1.02	-2.73	-2.05	-1.86
373019	550518.622	4462636.521	33.014	0.83	-1.74	-1.16	1.38	0.66
373017	549406.633	4464592.344	33.013	6.50	8.23	4.33	-0.34	2.51
373015	548333.301	4466201.745	33.079	-0.23	0.16	1.61	0.49	0.86
373012	543861.603	4468116.226	33.057	0.09	0.35	1.08	-0.66	-0.52
372004	547410.024	4460978.574	33.165	-1.39	-2.01	-3.03	0.76	-0.67
370567	539760.257	4466668.578	33.146	-3.68	-3.48	-2.58	-2.43	-2.53
370546	547450.403	4465546.832	33.118	2.59	3.15	3.43	2.56	1.86
370543	549431.884	4466192.831	33.069	0.33	1.06	1.69	-0.46	1.25
370542	547405.285	4466434.773	33.084	-1.04	-0.50	0.48	-0.02	1.11
370540	541719.198	4466126.329	33.170	-4.56	-4.54	-4.23	-3.80	-3.90
370538	546284.739	4467705.497	33.046	-0.65	-0.23	0.13	-0.69	0.34
370535	547816.224	4468069.238	33.027	1.13	0.90	0.88	1.62	0.89
370527	551759.245	4467031.075	32.993	-2.67	-1.25	-4.35	-0.84	-2.04
370525	551793.876	4469492.999	32.952	1.99	2.24	2.26	1.50	2.22
370521	546160.021	4469137.895	33.034	-8.00	-10.68	-16.34	-16.60	-16.18
370517	543161.458	4463893.658	33.290	0.57	0.37	0.59	0.14	-0.01
370516	545224.130	4465913.929	33.153	11.33	10.83	12.59	13.48	14.74
370515	545000.203	4463836.033	33.286	-0.69	-0.49	-0.21	-0.37	-0.09
370514	544548.224	4460413.604	33.339	0.12	1.12	-0.53	0.44	-0.15
370512	544592.807	4461268.685	33.322	-6.22	-5.95	-6.13	-7.31	-8.71
363018	541934.791	4469491.250	33.058	0.09	0.34	0.15	-0.41	-1.39
725	549944.334	4463788.066	33.079	-0.68	-0.98	-1.43	-1.90	-3.48
630	545640.112	4464970.088	33.186	8.30	8.23	8.42	8.35	8.24
623	540077.412	4464529.006	33.241	-3.50	-3.41	-3.72	-4.29	-4.25
622	540461.813	4462269.022	33.281	-2.28	-2.25	-2.01	-1.68	-0.28
609	540116.613	4468729.191	33.083	3.39	0.42	-2.41	1.48	-0.36
607	541743.984	4467742.905	33.108	-0.55	-2.88	-2.06	0.69	-3.34
137	549120.009	4463267.144	33.145	-3.20	-1.86	5.98	7.29	5.66
			MİN	0.16	0.09	0.13	0.02	0.01
			MAK	10.83	11.33	16.34	16.59	16.18
			ORT	-0.00	-0.59	-0.132	0.010	0.026
			KOH	4.05	3.90	4.90	4.84	5.10
			> 5 cm	5	5	5	5	5

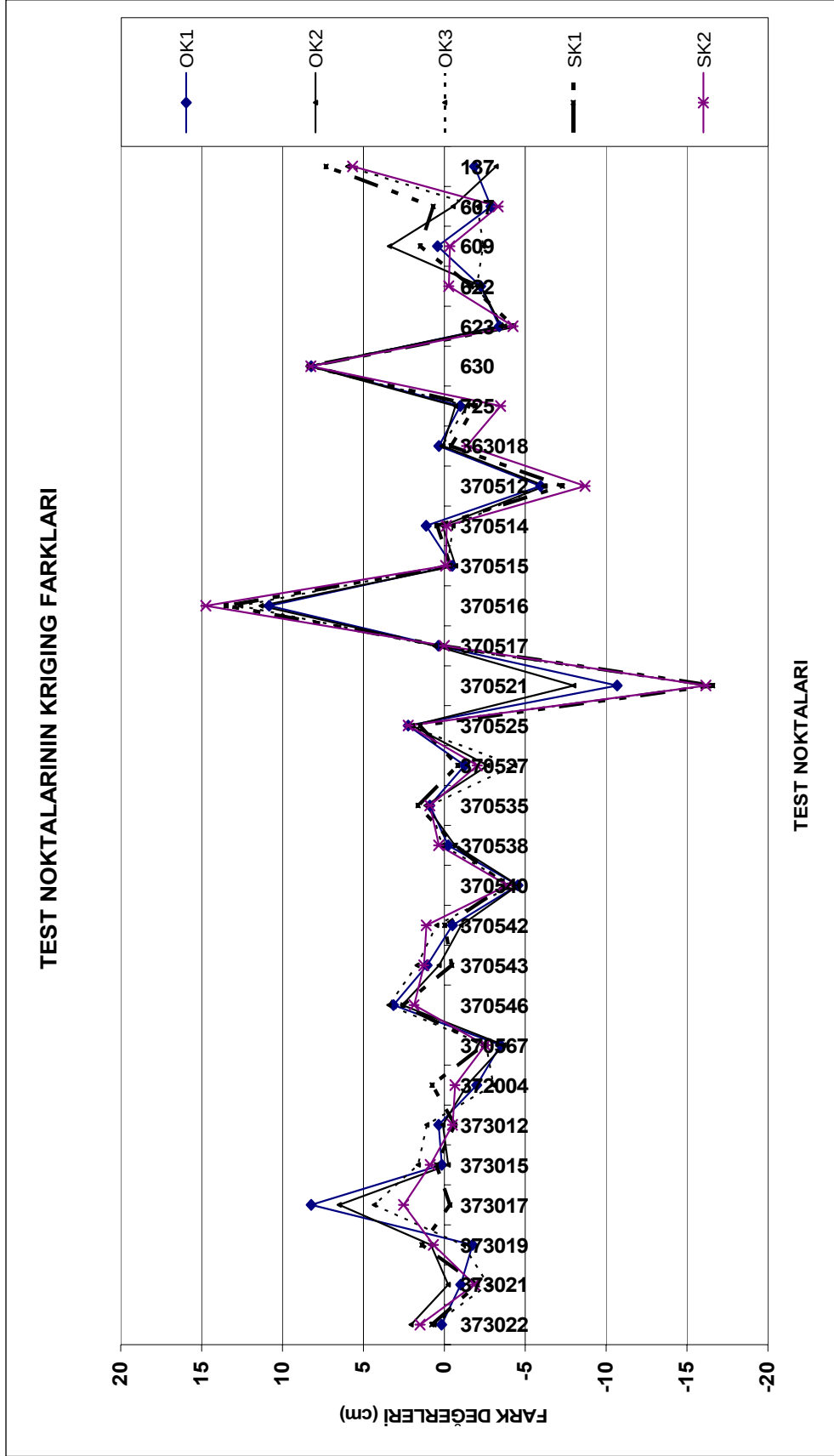


Şekil 4.13: Dayanak noktalarının kriging interpolasyonla hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm)

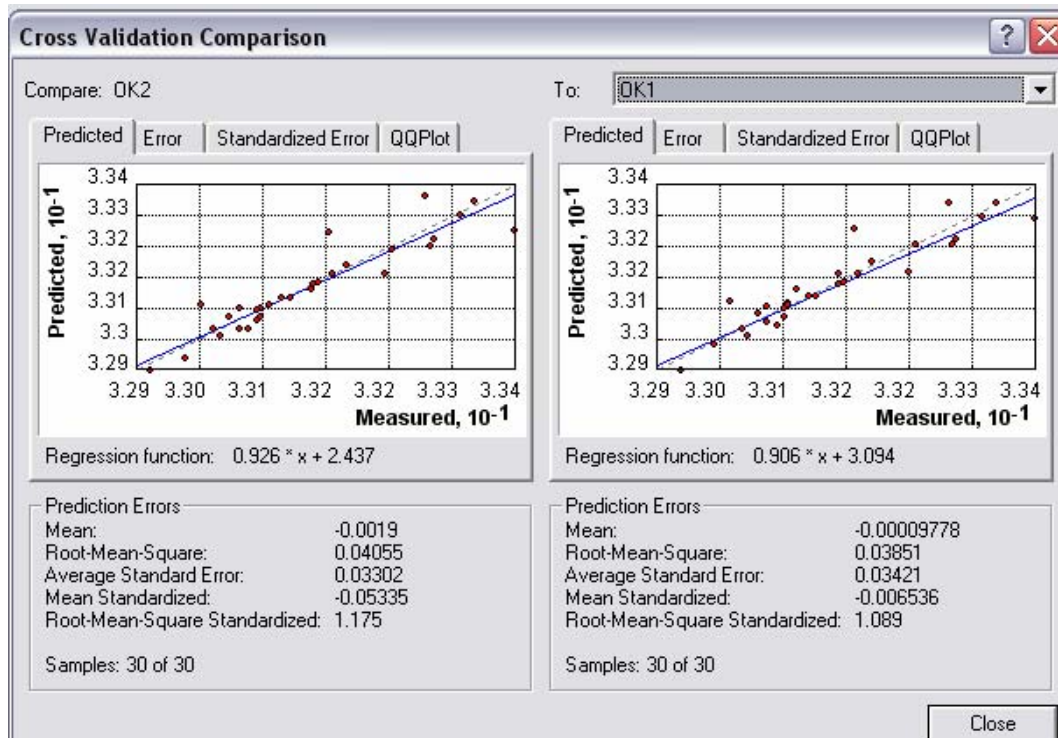
30 dayanak noktasının kriging interpolasyonla hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının noktasal fark grafiği Şekil 4.14’ de görülmektedir. Şekil 4.15’ de görüldüğü gibi yazılım bize interpolasyon sonuçlarını karşılaştırma olanağı da sunmaktadır. Burada ortalama hata (Mean Error) ve KOH .(Root Mean Square Error) değerleri en az, ortalama standart hatası (Average Standard Error) ve standart ortalaması (Mean Standardized değerleri birbirine en yakın ve Standart Karesel Ortalama Hatası (RMS Standardized) 1’e en yakın olan yöntem en iyi yöntemdir (URL12). Modeller birbirleri ile çapraz karşılaştırıldığında Ortalama hata, KOH değeri daha küçük olan ve KOH standardı 1’e daha yakın olan modelin $OK1$ olduğu görülecektir. Ayrıca Tablo 4. 10’ de kriging interpolasyon model testlerinin istatistik sonuçları görülmektedir.

Tablo 4. 10: Kriging interpolasyonlar sonucu hesaplanan model fark değerlerinin istatistik sonuçları (cm)

	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
Ort. Hata	-0.00	-0.19	-0.58	-0.97	0.26
KOH.	3.85	4.06	4.90	4.84	5.10
Standart O.H.	3.42	3.30	0.03	0.06	0.05
Standart O.	-0.05	-0.01	-0.17	0.02	0.05
KOHS.	1.089	1.175	1.745	0.97027	1.069

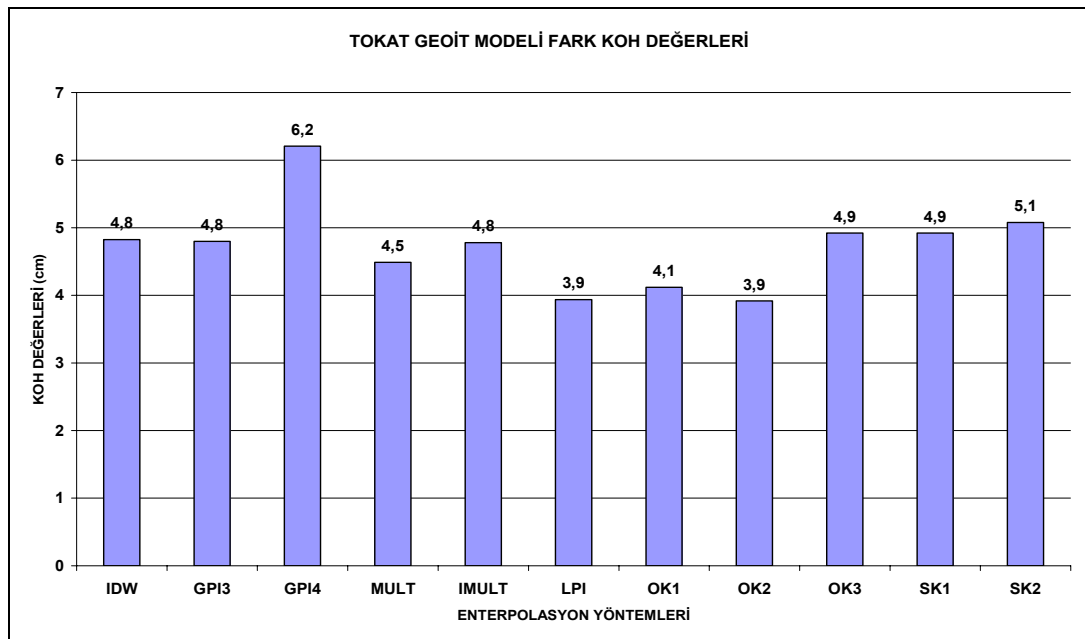


Şekil 4.14 : Kriging enterpolasyonla hesaplanan 30 model noktasının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları grafiği (cm)



Şekil 4.15: Çapraz karşılaştırma penceresi

Şimdi deterministik yöntemler ve kriging enterpolasyon yöntemleri ile oluşturulan modellerden farkların *KOH* değerleri biri birleri ile karşılaştırılacak olursa; Şekil 4.16'da görüldüğü gibi *LPI*, *OK1* ve *OK2* modellerinde *KOH* değerlerinin $\pm 3.9 - \pm 4.1$ cm, 4. derece *GPI* dışında *KOH* değerlerinin değerlerinin $\pm 3.9 - \pm 5.1$ cm, aralığında birbirine yakın olduğu görülecektir.



Şekil 4.16 : Tokat geoit modeli deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla 30 dayanak noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının *KOH* değerleri (cm)

4.8.4. Kriging interpolasyon yöntemleri ile oluşturulan modellerden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması

OK ve *SK* interpolasyon yöntemleri ile yine deterministik yöntemlerde yapıldığı gibi 13 test noktası için geoit yükseklik değerleri (N) ve fark değerleri ($N_{HESAP-ÖLÇÜ}$) hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.11 ve Şekil 4.17’ de sunulmuştur. Tablo 4.11 ve Şekil 4.17’ incelenecek olursa; *OK* interpolasyonlar sonunda hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkların *KOH* değerlerinin ± 4.63 - ± 4.78 cm aralığında birbirlerine yakın çıktığı, *SK2* interpolasyonla hesaplanan farkların *KOH* değerinin $\pm 4.82 \pm 5.2$ cm aralığında çıktığı görülecektir.

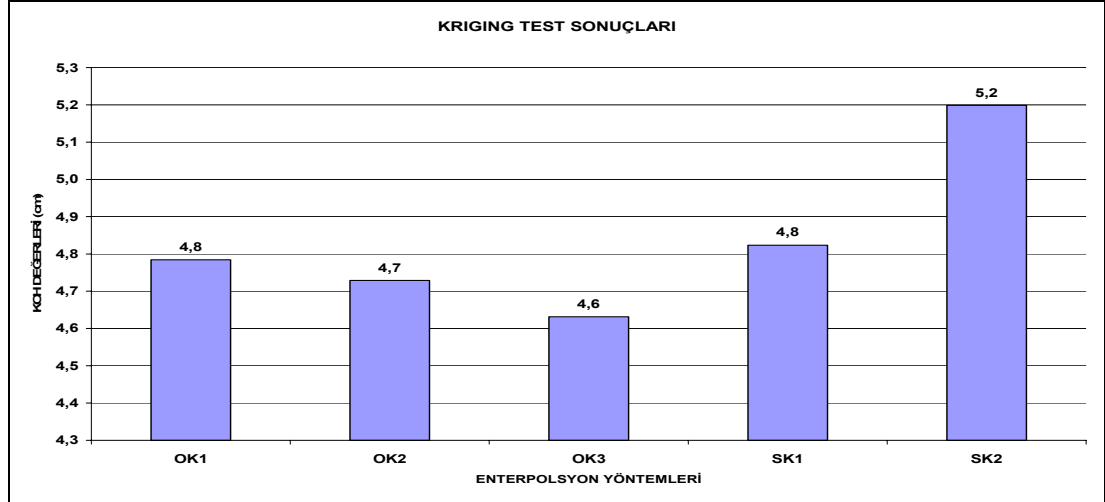
Tablo 4.11: Tokat Geoit Modelinde geoistatistik interpolasyonla hesaplanan test noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları ve istatistik sonuçları (cm)

NN	Y	X	N _{ÖLÇÜ}	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
3730526	550278.101	4468033.629	32.996	-0.01	-0.42	-0.63	-0.59	-0.64
3730519	545617.766	4460792.917	33.309	-0.53	-0.60	-1.34	-1.39	-1.53
3730518	545146.668	4466657.992	33.117	-0.34	-0.07	0.49	0.09	-0.49
3730503	543477.293	4462620.416	33.347	-4.74	-4.12	-3.59	-4.19	-3.44
3730502	542314.102	4464583.528	33.248	-4.21	-4.17	-3.80	-3.18	-3.33
3730018	548589.457	4463649.241	33.221	-0.41	-0.16	0.13	-0.45	-0.35
3730016	548366.703	4464618.876	32.984	3.39	3.84	4.23	2.99	2.34
3730003	550621.661	4469235.568	32.911	-1.52	-0.66	0.12	-0.83	0.52
3720010	540107.023	4463557.474	33.273	11.41	11.52	11.55	12.20	12.77
3720003	549988.849	4466683.625	33.031	-7.13	-7.07	-7.14	-7.12	-9.42
3700522	543438.761	4461735.093	33.367	1.54	1.64	0.80	0.49	-2.17
3700508	545507.940	4459497.923	33.321	-0.37	-0.12	-1.44	0.30	-0.54
610	539901.003	4465412.007	33.206	5.56	6.47	4.91	6.44	5.99
			MAK	11.41	11.52	11.55	12.20	12.77
			MİN	0.01	0.07	0.12	0.09	0.35
			ORT	0.20	0.47	0.33	0.37	-0.02
			KOH	4.73	4.78	4.63	4.82	5.20
			> 5 cm	3	3	2	3	3

Şekil 4.17’ deki grafikte de görüleceği gibi farkların *KOH* değerleri karşılaştırıldığında üçüncü derece trend üzerinde interpolasyon yapılan *OK3* uygulamasında farkların *KOH* değerinin ± 4.6 cm çıktığı, *OK* uygulamalarının hepsinde *SK* uygulamalarından daha iyi sonuçlar alındığı görülecektir.

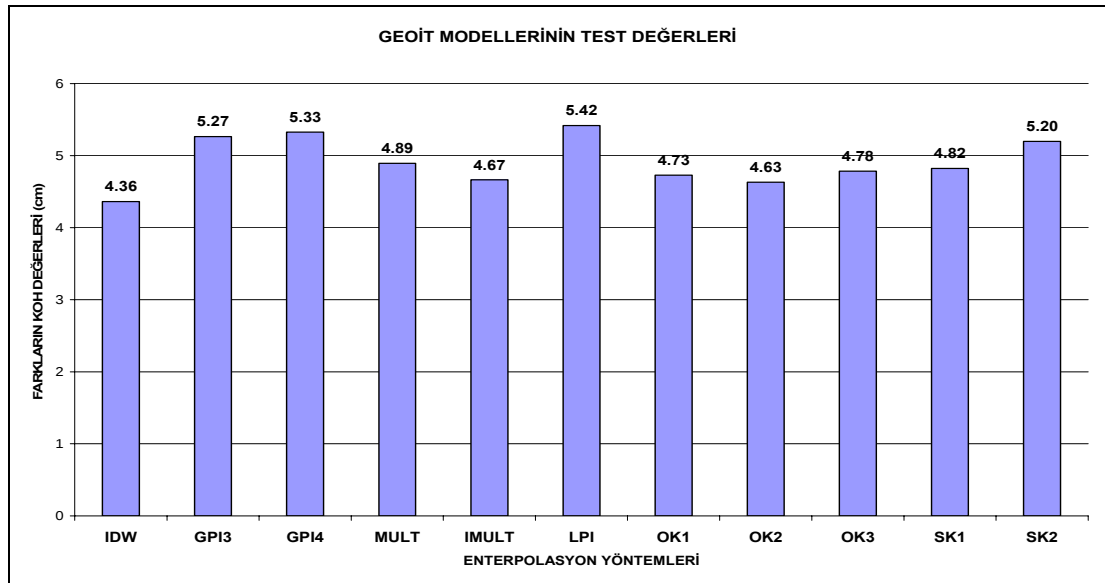
Şekil 4.18’ da 13 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları görülecektir. Bu grafiğe bakıldığında 372010 ve 372003 noktaları dışında diğer noktaların hepsinde $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının tüm yöntemlerde ± 5 cm aralığında olduğu görülecektir.

Yöntemlerin hepsinde 13 test noktasından sadece 2 veya 3 tanesinde ± 5 den büyük fark çıkmıştır ki bu noktaların 2 tanesi yukarıda açıklanan 372010 ve 372003 noktalarıdır.

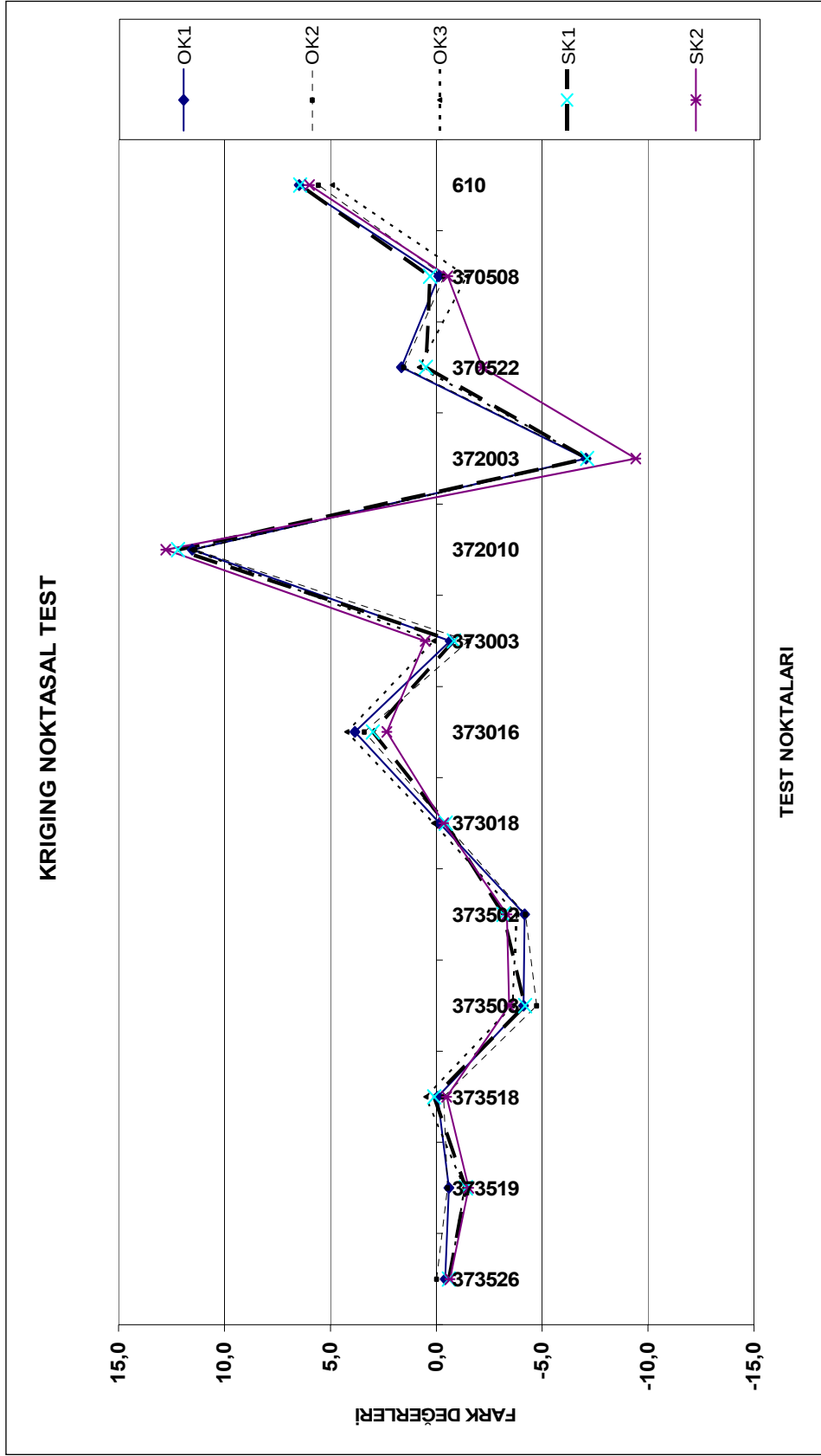


Şekil 4.17: Tokat Geoit Modelinde geoistatistik enterpolasyonla hesaplanan test noktalarının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark ortalama *KOH* grafiği (cm)

Şekil 4.19 incelendiğinde 13 test noktası için deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının *KOH* değerlerinin birbirine yakın çıktığını (± 4.36 cm- ± 5.42 cm), IDW yöntemi dışında OK enterpolasyonlarla bulunan farkların *KOH* değerlerinin deterministik yöntemlerle bulunan değerlerden daha az olduğunu görüyoruz.



Şekil 4.19: Deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlar sonucu 13 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının *KOH* değerleri (cm)



Şekil 4.18 : Tokat geoit modelinde geostatistik enterpolasyonla hesaplanan 13 test noktasının $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri (cm)

4.9. İstanbul Metropoliten Alanının Geoistatistik Analyst Yazılımı ile Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması

İstanbul Metropoliten Alanının Geostatistik Analiz Yazılımı ile geoit yükseklikleri deterministik ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamada **Yılmaz (2005)** çalışmasında kullanılmış olan 50, 200, 393 ve 434 noktadan oluşan dayanak noktaları ve 50 adet test noktası aynen alınarak alınmıştır. Geoistatistik Analiz yazılımında değerlendirilmiştir.

4.9.1 İstanbul metropoliten alanının deterministik ve geoistatistik enterpolasyon yöntemlerle geoit modelinin oluşturulması

Sırası ile 434, 393, 200 ve 50 dayanak noktalarından oluşan geoit modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerle, seçilmiş olan 50 adet test noktasının geoit yükseklikleri hesaplanmış ve hesaplanan değerlerle ölçü değerleri arasındaki $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları bulunmuştur. Bulunan farkların maksimum, minimum, ortalama değerleri, farkların KOH değerleri hesaplanarak birbirleri ile karşılaştırılmışlardır.

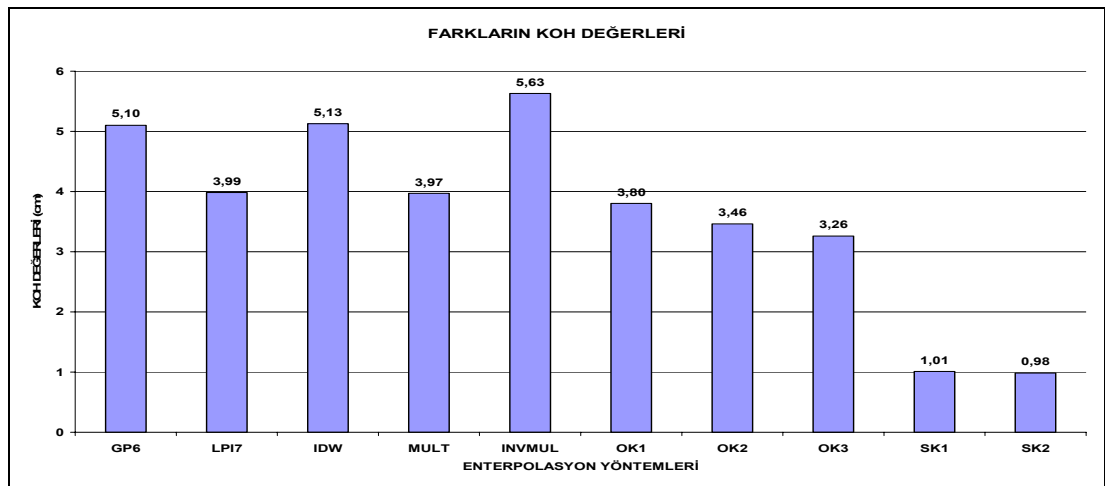
Deterministik enterpolasyonda 6. derece global polinomlarla enterpolasyon (*GPI5*), mesafenin tersi ağırlıkla enterpolasyon (*IDW*), multiquadratik enterpolasyon (*MULT*) ve invers multiquadratik enterpolasyon (*INVMUL*) yöntemleri ile lokal polinomlarla enterpolasyon (*LPI*) yöntemleri uygulanmıştır. Geoistatistik enterpolasyon uygulamaları için sırası ile birinci derece, ikinci derece ve üçüncü derece trend üzerinde hesap yapılan *OK1*, *OK2*, *OK3* Ordinary Kriging enterpolasyonları ve teorik variogram modeller sırası ile küresel ve dairesel model seçilerek *SK1* ve *SK2* Simple Kriging uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

434, 393, 200 ve 50 dayanak noktaları için $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri hesaplanmış bu değerlerden her model ve yöntem için $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının maksimum, minimum, ortalama ve *KOH* değerleri, her modelde $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının ± 5 cm değerinden büyük çıktığı nokta sayısı hesaplanarak Tablo 4.12' de özetlenmiştir.

Tablo 4.12' de 434 dayanak noktası ile oluşturulan modelde deterministik ve geoistatistik enterpolasyon sonuçları şunu göstermektedir ki; *KOH* değerleri karşılaştırılacak olursa; deterministik yöntemlerden multiquadratik yöntem ve geoistatistik yöntemlerden sırası ile *SK1*, *SK2*, *OK2* ve *OK3* yöntemleri en küçük *KOH* değerlerine sahiptir. Yani kriging enterpolasyonlarla oluşturulan modellerde dayanak noktalarının modelden sapma değerleri deterministik yöntemlerden daha küçüktür. Şekil 4.20' de durum grafik olarak görülmektedir.

Tablo 4.12: 434, 393, 200,50 dayanak noktası ile oluşturulan modellerde deterministik ve geoistatistik enterpolasyon sonucu hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları

Model 434	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
MAK	60.16	28.00	29.23	30.80	41.86	24.98	27.75	17.60	40.29	39.21
MİN	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01
ORT	-0.03	0.04	-0.32	-0.08	-0.18	-0.32	-0.10	-0.06	-0.10	-0.10
KOH	5.10	3.99	5.13	3.97	5.63	3.80	3.46	3.26	1.01	0.98
M.ORT	3.28	2.92	3.63	2.71	3.80	2.73	2.42	2.38	2.67	2.67
> 5cm	75	56	90	49	93	50	37	34	48	47
Model 393	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
MAK	20.58	60.45	29.23	30.80	41.86	17.06	13.71	17.43	25.09	23.83
MİN	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02
ORT	-0.03	-0.20	0.22	0.05	0.12	0.32	0.01	0.02	0.04	0.07
KOH	3.93	5.02	5.00	3.70	5.40	3.67	3.35	3.33	4.38	3.76
M.ORT	3.09	3.18	3.05	2.25	3.67	2.70	2.41	2.41	2.63	2.62
> 5cm	75	74	55	30	92	59	42	40	49	49
Model 200	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
MAK	37.02	52.02	42.77	28.95	37.33	69.15	14.12	13.80	18.11	39.12
MİN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ORT	0.15	0.25	0.43	0.15	0.32	0.69	0.01	0.06	0.09	0.08
KOH	6.06	6.58	7.74	5.32	6.20	5.00	4.37	4.06	5.73	5.69
M.ORT	3.70	3.81	5.71	3.81	4.43	4.02	3.01	3.10	3.70	3.87
> 5 cm	49	46	81	55	65	58	43	43	54	55
Model 50	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
MAK	68.25	39.86	50.46	27.96	28.56	39.67	23.82	23.97	37.97	37.47
MİN	0.09	0.00	0.08	0.09	0.67	0.02	0.05	0.01	0.05	0.69
ORT	-4.75	-1.08	-0.10	0.42	0.33	-1.83	-0.72	-0.37	-0.16	-0.20
KOH	33.48	19.10	17.52	9.72	10.76	13.21	6.37	6.84	13.04	12.57
M.ORT	15.26	5.30	13.92	7.71	8.69	10.08	3.58	4.77	10.16	10.17
> 5 cm	22	16	34	26	29	30	10	13	33	33

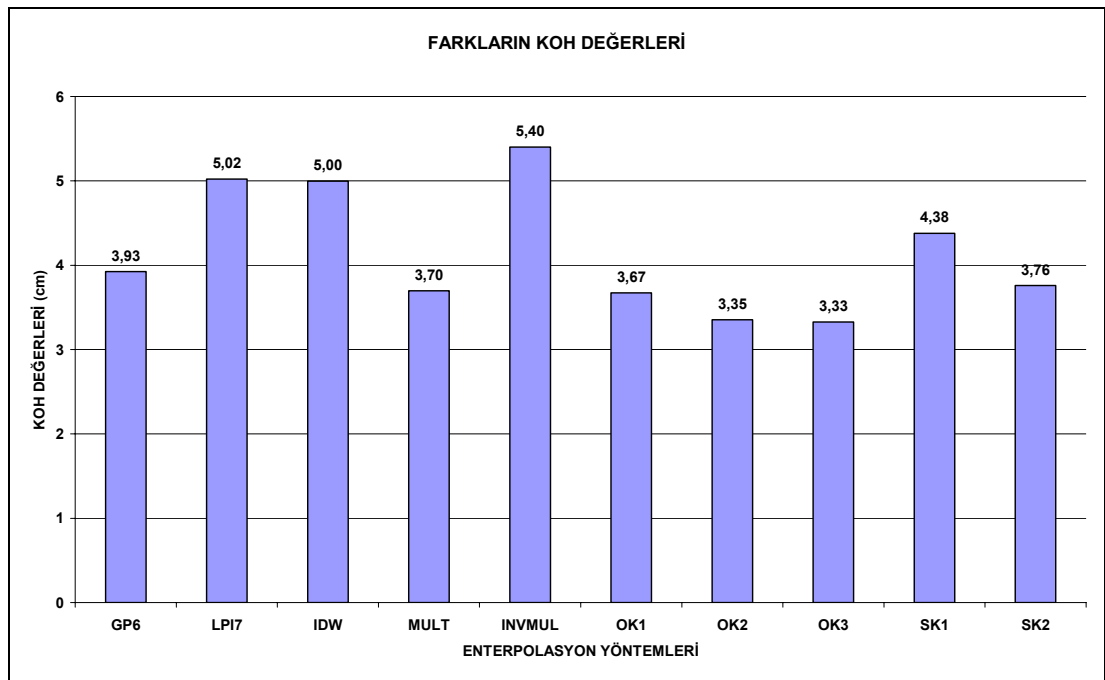


Şekil 4.20 : 434 dayanak noktalı modelden hesaplanan $N_{ÖLÇÜ-HESAP}$ farklarının KOH değerleri (cm)

393 dayanak noktası ile oluşturulan modelde; *KOH* değerleri karşılaştırılacak olursa; deterministik yöntemlerden ± 3.97 cm ile multiqadatik yöntem ve geoistatistik yöntemlerden sırası ile, *OK3* ve *OK2* yöntemlerinde ± 3.33 ve ± 3.35 cm değerleri ile en küçük *KOH* değerlerine sahiptir. Şekil 4.21’ de durum grafik olarak görülmektedir.

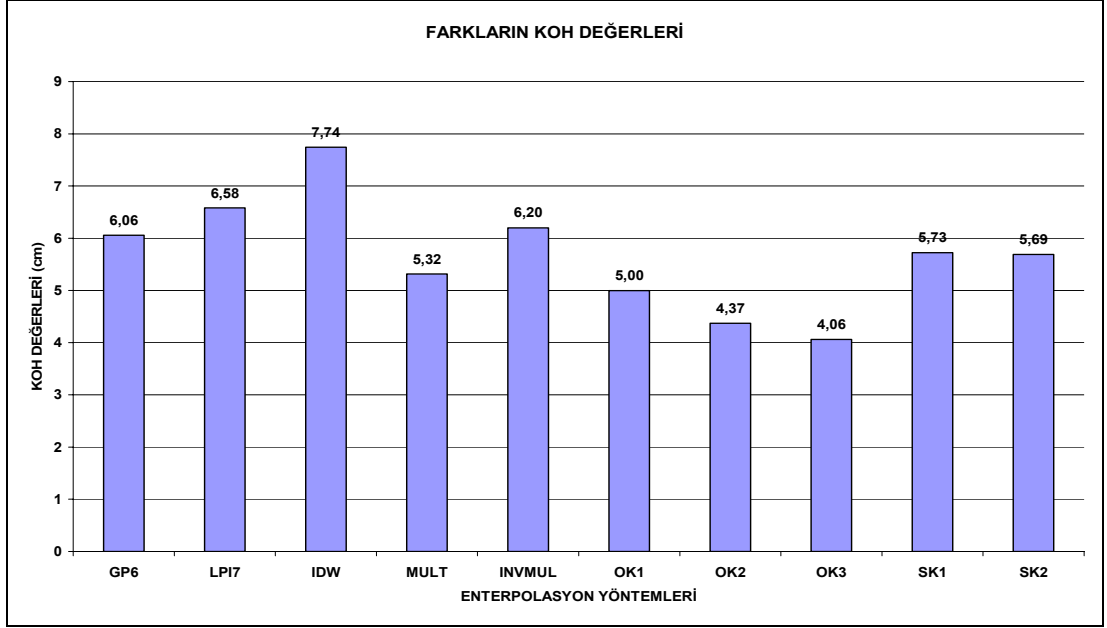
200 dayanak noktası ile oluşturulan modelde; yine deterministik yöntemlerden $\pm 3,70$ cm ile multiqadatik yöntem ve geoistatistik yöntemlerden sırası ile, *OK3* ve *OK2* yöntemlerinde ± 4.06 ve ± 4.37 cm değerleri ile en küçük *KOH* değerlerine sahiptir. Şekil 4.22’ de durum grafik olarak görülmektedir.

Buradan deterministik yöntemlerden multiqadatik yöntemde dayanak noktalarının model ile iyi çakıştığını, geoistatistik yöntemlerde ise ikinci ve üçüncü derece trend üzerinde enterpolasyon yapılan *OK2* ve *OK3* modellerinde dayanak noktalarının modelle daha iyi örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 4.21 : 393 dayanak noktalı modelden hesaplanan *NÖLÇÜ-HESAP* farklarının *KOH* değerleri (cm)

50 dayanak noktası ile oluşturulan modelde; *KOH* değerleri karşılaştırılacak olursa; deterministik yöntemlerden ± 9.72 cm ile multiqadatik yöntem ve geoistatistik yöntemlerden sırası ile, *OK3* ve *OK2* yöntemlerinde ± 6.37 ve ± 6.84 cm değerleri ile en küçük *KOH* sahiptir. Model farklarının *KOH* değerleri Tablo 4.13’ de özetlenmiştir



Şekil 4.22: 200 dayanak noktalı modelden hesaplanan $N_{ÖLÇÜ-HESAP}$ farklarının KOH değerleri (cm)

Tablo 4.13: İstanbul geoit modeli dayanak noktaları $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları KOH değerleri (cm)

Model	GP6	LPI7	IDW	MULT	INVMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
434	5.10	3.99	5.13	3.97	5.63	3.80	3.46	3.26	1.01	0.98
393	3.93	5.02	5.00	3.70	5.40	3.67	3.35	3.33	4.38	3.76
200	6.06	6.58	7.74	5.32	6.20	5.00	4.37	4.06	5.73	5.69
50	33.48	19.10	17.52	9.72	10.76	13.21	6.37	6.84	13.04	12.57

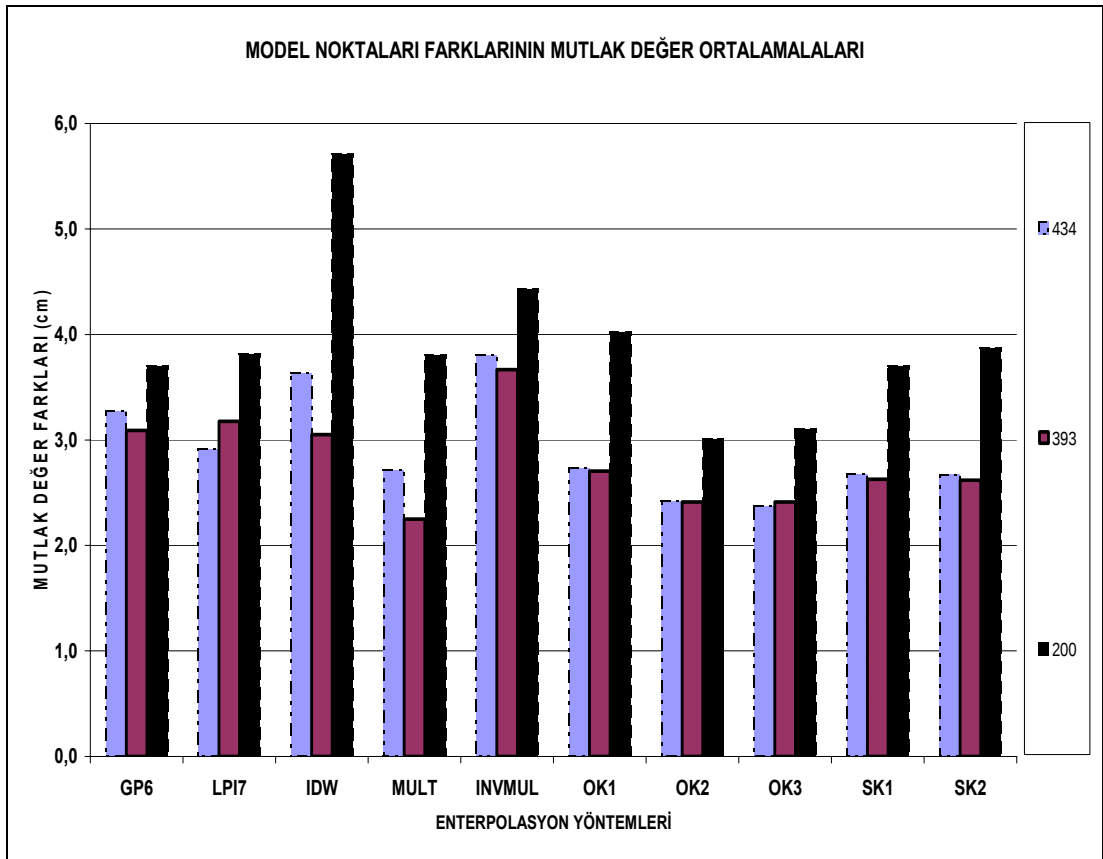
Modeller $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının mutlak değeri ile karşılaştırmak için Tablo 4.14 ve Şekil 4.23 incelenecek olursa 434 dayanak noktalı modelde, mutlak değer ortalamalarının 2.38 cm ile 3.80 cm arasında değiştiği ve deterministik yöntemlerden multiquadratik yöntemde, geoistatistik yöntemlerden OK3 ve OK2 modellerinde 2.38 – 2.42 cm ile en küçük fark mutlak değerleri görülmektedir.

Tablo 4.14: Dayanak noktaları $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının mutlak değer ortalamaları (cm)

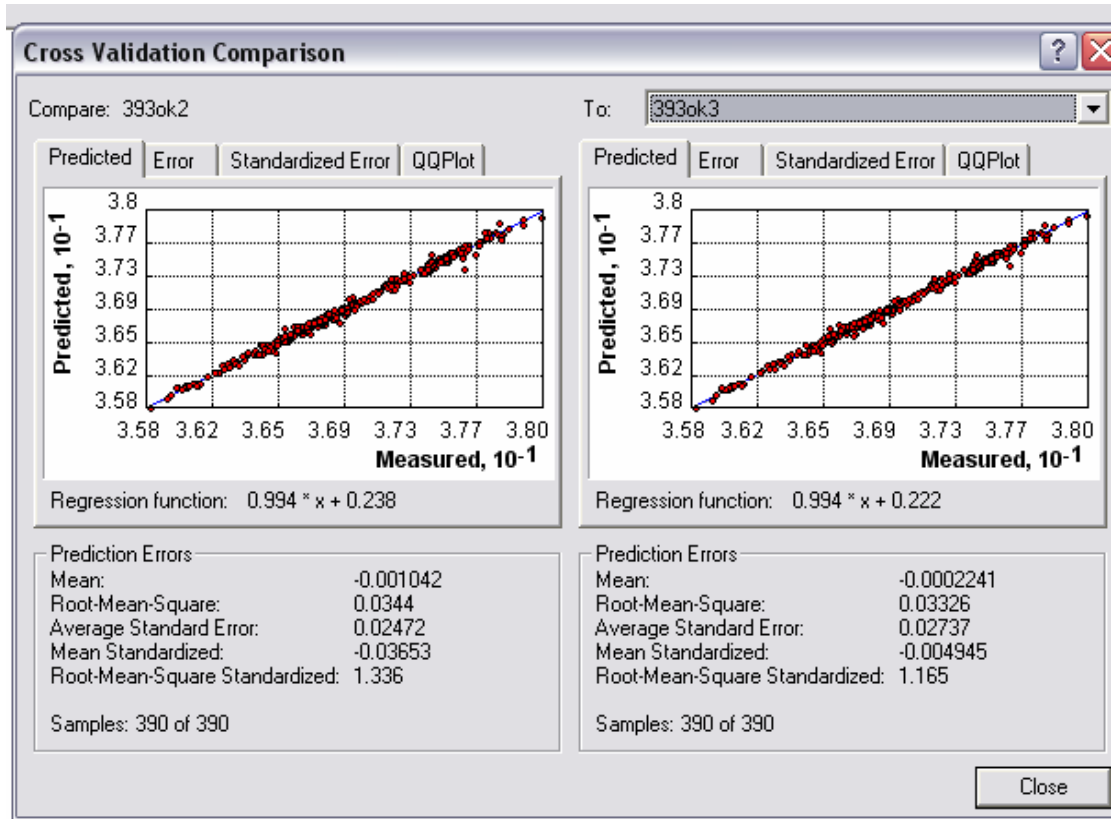
Model	GP6	LPI7	IDW	MULT	INVMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
434	3.28	2.92	3.63	2.71	3.80	2.73	2.42	2.38	2.67	2.67
393	3.09	3.18	3.05	2.25	3.67	2.70	2.41	2.41	2.63	2.62
200	3.70	3.81	5.71	3.81	4.43	4.02	3.01	3.10	3.70	3.87
50	15.26	5.30	13.92	7.71	8.69	10.08	3.58	4.77	10.16	10.17

393 dayanak noktalı modelde, mutlak değer ortalamalarının 2.41 cm ile 3.67 cm arasında değiştiği ve deterministik yöntemlerden multiquadratik yöntemde, geoistatistik yöntemlerden OK3 ve OK2 modellerinde 2.41 cm ile en küçük fark

mutlak değerleri, 200 dayanak noktalı modelde, mutlak değer ortalamalarının 3.01 cm ile 5.71 cm arasında değiştiği ve deterministik yöntemlerden mutiquadratik yöntemde, geoistatistik yöntemlerden OK2 ve OK3 modellerinde 3.01-3.10 cm değerleri ile en küçük fark mutlak değerler, 50 dayanak noktalı modelde, mutlak değer ortalamalarının 3.58 cm ile 15.26 cm arasında değiştiği ve deterministik yöntemlerden LPI yöntemi, geoistatistik yöntemlerden OK2 enterpolasyon modellerinde en küçük fark mutlak değerleri görülmektedir. Buradan mutiquadratik yöntem ve OK2 ve OK3 modellerinde dayanak noktalarının modelle iyi örtüştüğü görülmektedir. Ayrıca 434 ve 393 dayanak noktalı modellerden elde edilen değerlerin birbirine yakın ve 200 dayanak noktalı modelden elde edilen değerlerin tüm enterpolasyonlarda daha büyük çıktığı görülmektedir. Özellikle mutiquadratik, OK2 ve OK3 modellerinde farkların mutlak değer ortalamalarının 225-241 cm ile en küçük fark mutlak değerleri görülmektedir.



Şekil 4.23: 434, 393, 200 dayanak noktalı modellerden hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının mutlak değer ortalamaları grafiği (cm)



Şekil 4.24: Çapraz karşılaştırma penceresi

Ayrıca modeller yazılımda birbirleri ile çapraz olarak karşılaştırılmış ve ortalama hata değeri ve *KOH* değeri en küçük, *SKOH* değeri 1' en yakın model olarak 393 dayanak noktalı *OK3* modeli en uygun model olarak bulunmuştur. Şekil 4.24' de çapraz karşılaştırma penceresi görülmektedir.

4.9.2. İstanbul metropoliten alanında geoit modellerinden test noktalarının geoit yüksekliklerinin deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla hesaplanması

İstanbul için seçilmiş olan 50 test noktası test.dbf dosyası olarak kaydedilmiş ve 434, 393, 200 ve 50 dayanak noktalı modellerde 50 test noktası için deterministik ve kriging enterpolasyon yöntemleri ile geoit yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan geoit yüksekliklerinden (N_{HESAP}), $N_{GPS/NİVELMAN}$ ile bulunan ($N_{ÖLÇÜ}$) değerleri çıkarılarak $N_{HESAP}-ÖLÇÜ$ fark değerleri hesaplanmıştır. Fark değerlerinin minimum, maksimum, ortalama değerleri, farkların mutlak değerlerinin ortalamaları ve *KOH* değerleri ile her modelde $N_{HESAP}-ÖLÇÜ$ farklarının ± 5 cm den büyük olduğu nokta sayıları hesaplanarak tablolarda sunulmuştur.

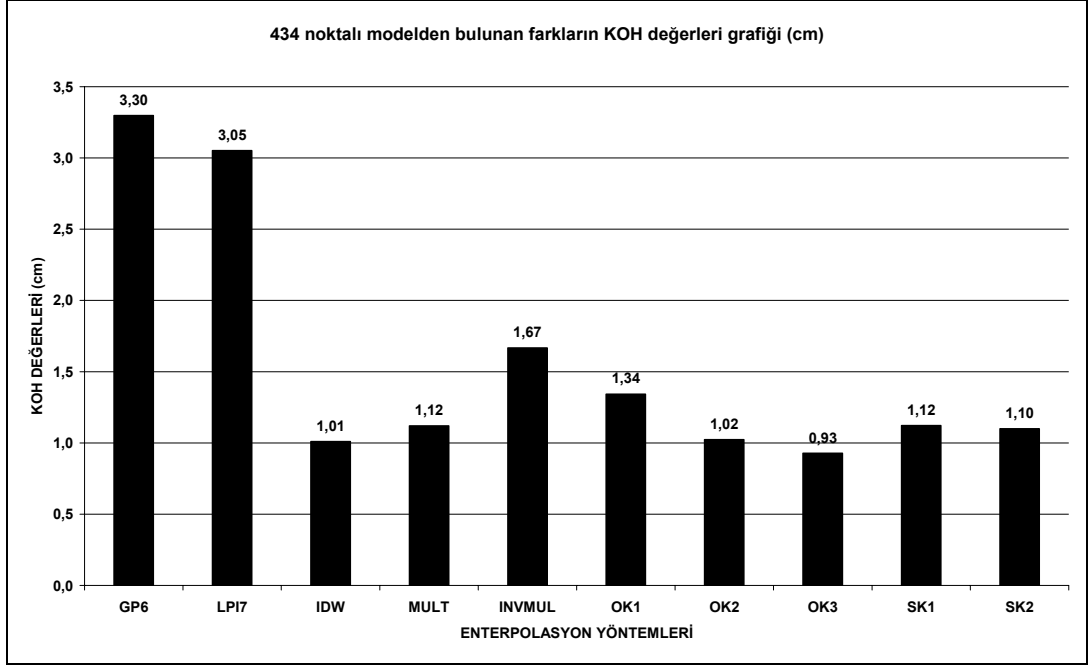
4.9.2.1 434 dayanak noktalı modelden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması

434 noktalı modelden 50 test noktasının deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla N_{HESAP} değerleri hesaplanmış ve her nokta için N_{HESAP} -ÖLÇÜ fark değerleri, farkların maksimum, minimum, ortalama, mutlak değer ortalaması, KOH değerleri ve N_{HESAP} -ÖLÇÜ değeri ± 5 cm den büyük çıkan nokta sayılar hesaplanarak Tablo B.1.' de sunulmuştur. Sonuçlar özetlenecek olursa Tablo 4.15' de görüldüğü gibi 50 test noktası için fark KOH değerleri karşılaştırıldığında deterministik yöntemlerden ± 1.01 ve ± 1.12 cm değerleri ile IDW ve multiqadatik yöntemlerin, geoistatistik yöntemlerden sırası ile ± 0.93 , ± 1.02 cm değerleri ile, $OK3$ ve $OK2$ yöntemlerinin en küçük KOH değerlerine sahip olduğu görülecektir.

434 dayanak noktalı modelde 50 test noktası için hesaplanan farkların mutlak değer ortalamalarının 0.31 cm ile 2.51 cm arasında değiştiği ve deterministik yöntemlerden multiqadatik yöntemde 0.31 cm, geoistatistik yöntemlerden $OK2$ ve $OK3$ modellerinde 0.32 cm ile en küçük fark mutlak değerleri görülmektedir. 50 test noktası için farkların ± 5 cm den büyük çıktığı nokta sayısının 0-1 nokta ile yine multiqadatik yöntem ve OK yöntemleri olduğu görülecektir. Tablodaki değerler Şekil 4.25 'de farkların KOH değerleri grafiği olarak sunulmuştur. Burada altıncı derece global polinomlarla enterpolasyon ve lokal polinomlarla enterpolasyonlarda değerlerin yüksek çıktığı görülmektedir.

Tablo 4.15: 434 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan N_{HESAP} -ÖLÇÜ farklarının istatistik sonuçları (cm).

	GP6	LPI7	IDW	MULT	INVMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
MAK	8.31	7.04	5.08	6.85	10.04	8.17	5.77	4.90	6.88	6.88
MİN	0.08	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ORT	-0.15	-0.18	0.00	-0.14	-0.19	-0.21	-0.11	-0.03	-0.14	-0.14
KOH	3.30	3.05	1.01	1.12	1.67	1.34	1.02	0.93	1.12	1.10
MUT.ORT	2.51	2.44	0.31	0.31	0.47	0.36	0.34	0.32	0.32	0.32
> 5 cm	8	5	1	1	2	1	1	0	1	1



Şekil 4.25: 434 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm)

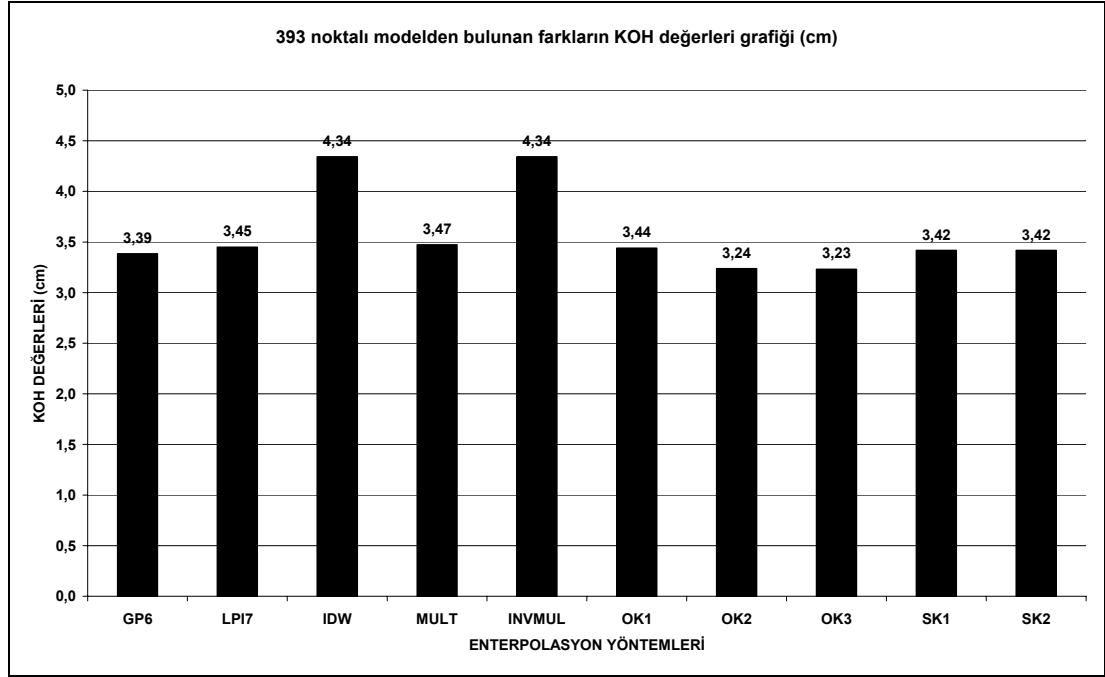
4.9.2.2 393 dayanak noktalı modelden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması

393 noktalı modelden 50 test noktasının deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla N_{HESAP} değerleri hesaplanmış ve her nokta için $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri, farkların maksimum, minimum, ortalama, mutlak değer ortalaması, KOH değerleri ve $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ değeri ± 5 cm den büyük çıkan nokta sayılar hesaplanarak Tablo B.2.' de sunulmuştur. Sonuçlar özetlenecek olursa Tablo 4.16'. de görüldüğü gibi 50 test noktası için KOH değerleri karşılaştırılacak olursa; deterministik yöntemlerden ± 3.39 cm ve ± 3.45 cm değerleri ile, $GPI6$ ve $LPI7$ yöntemlerin, geoistatistik yöntemlerden sırası ile ± 3.23 cm, ± 3.24 cm değerleri ile, $OK3$ ve $OK2$ yöntemlerinin en küçük KOH değerlerine sahip olduğu görülecektir.

Tablo 4.16: 393 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları (cm).

	GP6	LPI7	IDW	MULT	INVMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
MAK	8.28	9.74	12.85	10.11	9.97	8.59	8.46	8.64	9.63	9.64
MİN	0.09	0.01	0.01	0.07	0.10	0.02	0.14	0.03	0.05	0.05
ORT	-0.22	-0.17	-1.00	-0.81	-1.54	-0.68	-0.34	-0.36	-0.81	-0.81
KOH	3.39	3.45	4.34	3.47	4.34	3.44	3.24	3.23	3.42	3.42
MUTORT	2.65	2.68	3.17	2.67	3.42	2.53	2.45	2.47	2.61	2.61
> 5 cm	8	5	9	8	8	8	7	8	9	8

393 dayanak noktalı modelde 50 test noktası için hesaplanan farkların mutlak değer ortalamalarının 2.45 cm ile 3.42 cm arasında değiştiği ve deterministik yöntemlerden multiquadratik yöntemde 2.67 cm, geoistatistik yöntemlerden OK2 modelinde 2.45 cm ile en küçük fark mutlak değerleri görülecektir. 50 test noktası için farkların ± 5 cm den büyük çıktığı nokta sayısının 5-9 nokta arasında değiştiği ve 5 nokta ile LPI7 ve 7 nokta ile OK2 yöntemlerinde en iyi kestirim yapıldığı görülmektedir. Tablodaki değerler Şekil 4.26'da farkların KOH değerleri grafiği olarak sunulmuştur.



Şekil 4.26: 393 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm)

4.9.2.3. 200 Dayanak noktalı modelden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması

200 noktalı modelden 50 test noktasının deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla N_{HESAP} değerleri hesaplanmış ve her nokta için $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri, farkların maksimum, minimum, ortalama, mutlak değer ortalaması, KOH değerleri ve $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ değeri ± 5 cm den büyük çıkan nokta sayılar hesaplanarak Tablo B.3.' de sunulmuştur. Sonuçlar özetlenecek olursa Tablo 4.17'. da görüldüğü gibi 50 test noktası için KOH değerleri karşılaştırılacak olursa; deterministik yöntemlerden ± 3.24 cm ve ± 3.34 cm değerleri ile, LPI7 ve MULT yöntemlerin, geoistatistik yöntemlerden sırası ile ± 3.05 cm, ± 3.09 cm değerleri ile, OK3 ve OK2 yöntemlerinin en küçük KOH değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4.17: 200 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları (cm).

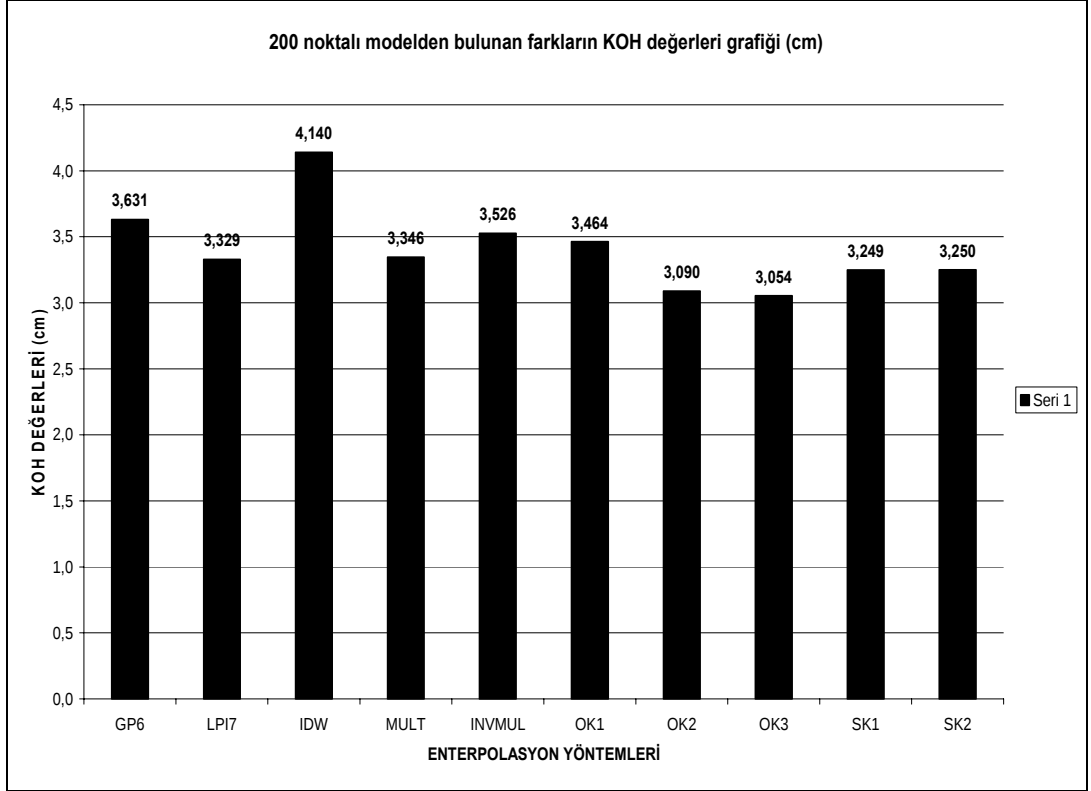
	GP6	LPI7	IDW	MULT	INVMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
MAK	9.63	8.22	10.15	8.37	8.53	9.14	7.99	8.04	8.10	8.10
MİN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ORT	0.30	0.09	-0.69	-0.66	-0.80	-0.56	-0.29	-0.29	-0.75	-0.75
KOH	3.63	3.24	4.14	3.34	3.52	3.46	3.09	3.05	4.14	3.25
MUTORT	2.73	2.63	3.29	2.74	2.96	2.56	2.35	2.32	2.51	2.51
> 5 cm	10	8	9	9	8	10	9	9	8	8

200 dayanak noktalı modelde 50 test noktası için hesaplanan farkların mutlak değer ortalamalarının 2.32 cm ile 2.74 cm arasında değiştiği ve deterministik yöntemlerden *LPI7* ve *MULT* yöntemlerde 2.63 cm ile 2.74 cm , geoistatistik yöntemlerden *OK3* modelinde 2.32 cm ile en küçük değere sahip olduğu görülecektir. 50 test noktası için farkların ± 5 cm den büyük çıktığı nokta sayısının 8-10 nokta arasında değiştiği ve bütün yöntemlerde birbirine çok yakın çıktığı görülmektedir. Tablodaki değerler Şekil 4.27’da farkların KOH değerleri grafiği olarak sunulmuştur.

Şekil 4.27 ile 200 ve 393 dayanak noktalı modeller karşılaştırılacak olursa; 200 dayanak noktalı modelde yaklaşık 25 km^2 ye bir nokta, 393 dayanak noktalı modelde 13 km^2 ye bir nokta düşmekte, dayanak nokta sayısı yaklaşık iki kat kadar artmasına karşılık bulunan değerlerde bir iyileşme görülmemektedir. Bunun nedeni büyük bir olasılıkla veri kalitesidir. Veri kalitesini arttırmadan dayanak nokta yoğunluğunu arttırmak sonuçları pozitif yönde fazla etkilememektedir.

4.9.2.4. 50 Dayanak noktalı modelden test noktalarının geoit yüksekliklerinin hesaplanması

50 noktalı modelden 50 test noktasının deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla N_{HESAP} değerleri hesaplanmış ve her nokta için $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri, farkların maksimum, minimum, ortalama, mutlak değer ortalaması, *KOH* değerleri ve $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ değeri ± 5 cm den büyük çıkan nokta sayılar hesaplanarak Tablo B.4.’ de sunulmuştur. Sonuçlar özetlenecek olursa Tablo 4.18. de görüldüğü gibi 50 test noktası için *KOH* değerleri karşılaştırılacak olursa; deterministik yöntemlerden $\pm 4.15 \text{ cm}$ ve $\pm 4.16 \text{ cm}$ değerleri ile, *GPI6* ve *LPI7* yöntemlerin, geoistatistik yöntemlerden sırası ile $\pm 4.51 \text{ cm}$ değeri ile, *OK2* yöntemlerinin en küçük *KOH* değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

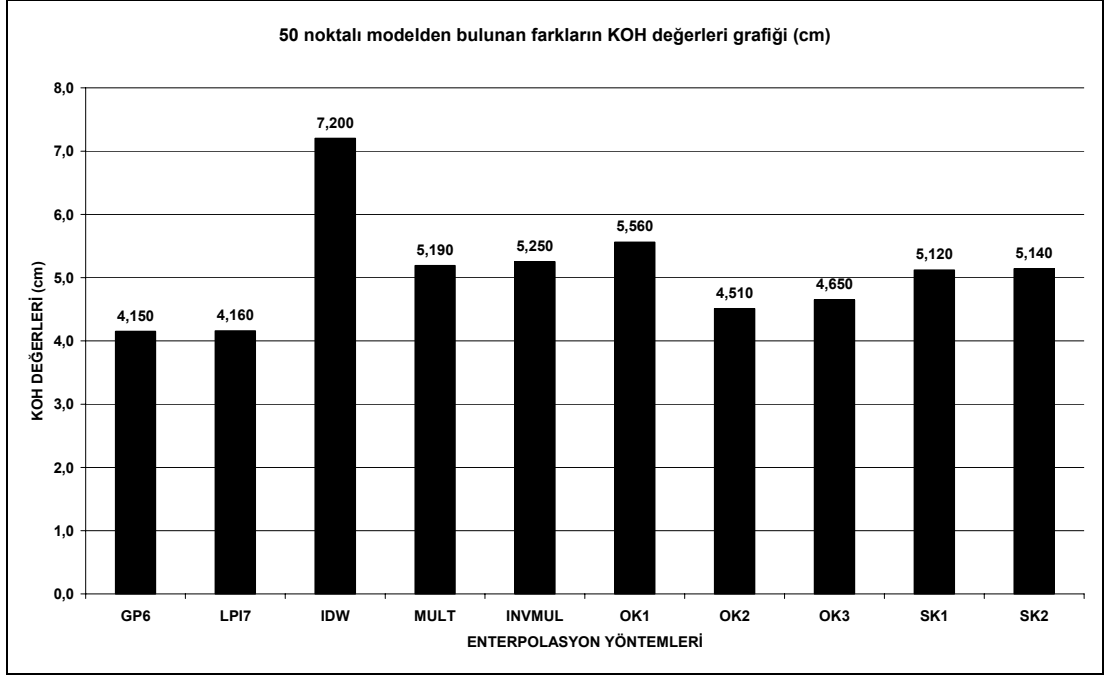


Şekil 4.27: 200 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm)

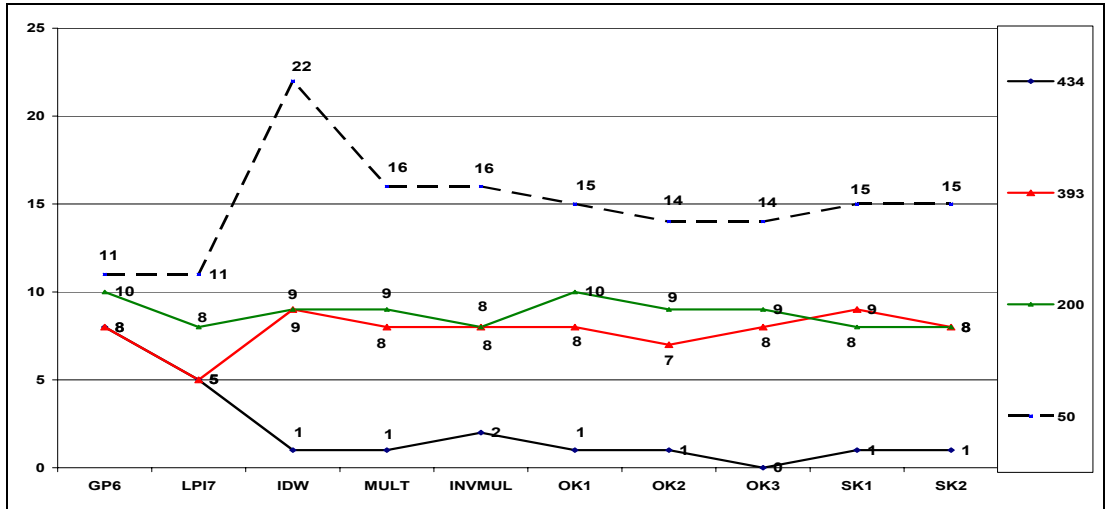
Tablo 4.18: 50 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistik sonuçları (cm).

	GP6	LPI5	IDW	MULT	INVMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
MAK	10.61	10.39	27.91	10.75	10.75	20.59	11.87	11.94	17.63	17.77
MİN	0.11	0.01	0.16	0.38	0.38	0.10	0.10	0.16	0.13	0.13
ORT	0.12	0.08	-1.96	-1.06	-1.06	-2.54	-0.52	-0.16	-2.01	-2.02
KOH	4.15	4.16	7.20	5.19	5.25	5.56	4.51	4.65	5.12	5.14
MUTORT	3.32	3.35	5.62	4.41	4.41	4.13	3.45	3.48	3.90	3.91
> 5 cm	11	11	22	16	16	15	14	14	15	15

50 dayanak noktalı modelde 50 test noktası için hesaplanan farkların mutlak değer ortalamalarının 3.32 cm ile 5.62 cm arasında değiştiği ve deterministik yöntemlerden $GPI6$ ve $LPI7$ yöntemlerde 3.32 cm ile 3.35 cm, geoistatistik yöntemlerden $OK2$ modelinde 3.45 cm ile en küçük fark mutlak değerleri görülecektir. 50 test noktası için farkların ± 5 cm den büyük çıktığı nokta sayısının 11-22 nokta arasında değiştiği ve en iyi sonucu veren yöntemlerin $GPI6$, $LPI7$, $OK2$ ve $OK3$ yöntemleri olduğu görülecektir. Tablodaki değerler Şekil 4.28'de farkların KOH değerleri grafiği olarak sunulmuştur.



Şekil 4.28: 50 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri (cm)



Şekil 4.29: Deterministik ve geoistatistik enterpolasyonlarla 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının ± 5 cm den büyük çıktığı nokta sayısı

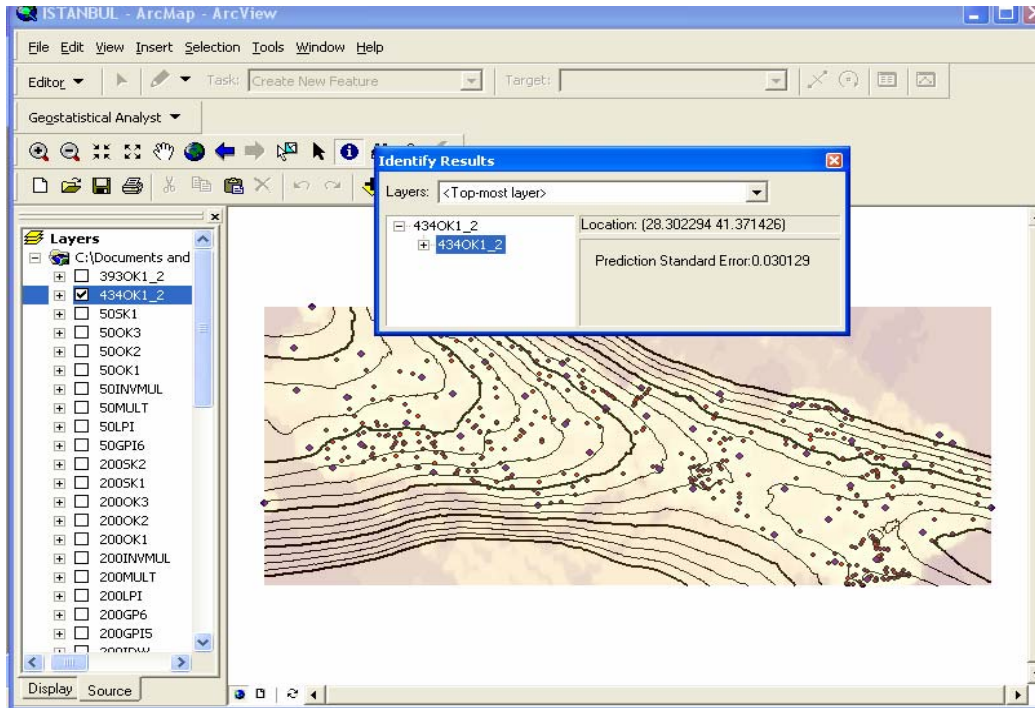
434, 393, 200 ve 50 dayanak noktalı modellerden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları noktasal fark grafikleri sırası ile Şekil C.1, Şekil C.2, Şekil C.3, Şekil C.4’de verilmiştir. Bu noktasal fark grafiklerine baktığımızda bütün modellerde 14690, 16356, 34574, 34878 ve 34536 noktalarında büyük farkların meydana geldiği görülecektir.

Bu noktalar dışında Tablo B.1, B.2, B.3, B.4’de görüleceği gibi, noktaların çoğunda fark değerleri ± 5 cm’ den küçüktür. Nitekim Şekil 4.29’ daki grafiğe bakılırsa, 200 ve 393 dayanak noktalı modellerde fark değeri ± 5 cm’ den büyük olan nokta sayısının tüm yöntemlerde 8-10 adet olduğu, 434 noktalı modelde test noktalarının çoğunun dayanak noktaları ile örtüşmesinden dolayı çakıştığı, 50 dayanak noktalı modelde *IDW* yöntemi dışında fark değeri ± 5 cm’ den büyük nokta sayısının 11-16 nokta olduğu görülmektedir.

GPS/Nivelman yöntemine göre kriging ve deterministik enterpolasyonlarla hesaplanan; farkların *KOH* değerlerinin, farkların mutlak değer ortalamalarının ve çapraz karşılaştırma sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi ile en iyi sonucu veren modellerden 10 cm aralıklarla geoit eşyükseklik eğrili haritaları ArcGIS 8.3 Geoistatistik Analiz yazılımında hazırlanmıştır. Sırası ile 434, 393 ve 200 dayanak noktalı modellerde üretilen haritalar Şekil C.5, Şekil C.6, ve Şekil C.7’ de görülmektedir. Tokat için en iyi sonucu veren OK2 modelinden üretilen 10 cm aralıklı geoit eşyükseklik eğrili haritası da Şekil C.8’ de sunulmuştur.

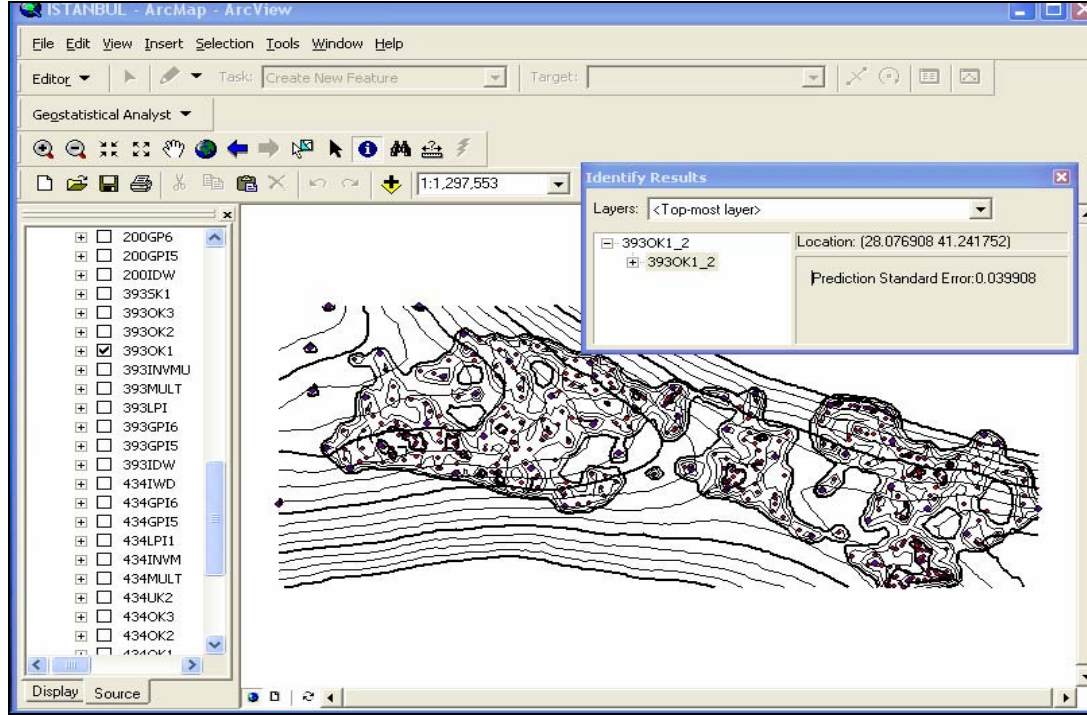
4.9.3. Kestirim hatalarının ve kestirim hata haritasının hazırlanması

Kriging yönteminin avantajlarından biri de sadece kestirim değerlerini hesaplamak değil, kestirim hata değerlerini de sonuç olarak vermesidir. 393 ve 200 dayanak



Şekil 4.30: 434 dayanak noktalı modelden hesaplanan test noktalarının tahmin değerlerinin standart hata değerlerini gösteren harita

noktalı modellerden en iyi sonucu veren OK2 modelleri ile eş geoit yükseklik haritaları hazırlanmış ve bu modellerin tahmin hata haritaları da eş geoit yükseklik haritaları ile birleştirilmiştir. Haritalar incelendiğinde kestirim hatalarının, dayanak noktalarının yoğun olduğu bölgelerde daha az (açık renkli), dayanak noktalarının daha seyrek olduğu bölgelerde (koyu renkli) daha fazla olduğu görülmektedir. Yoğun bölgelerdeki tahmin hataları $\pm 2-2.5$ cm iken seyrek bölgelerde tahmin hataları ± 3.5 cm değerlerine ulaşmaktadır.

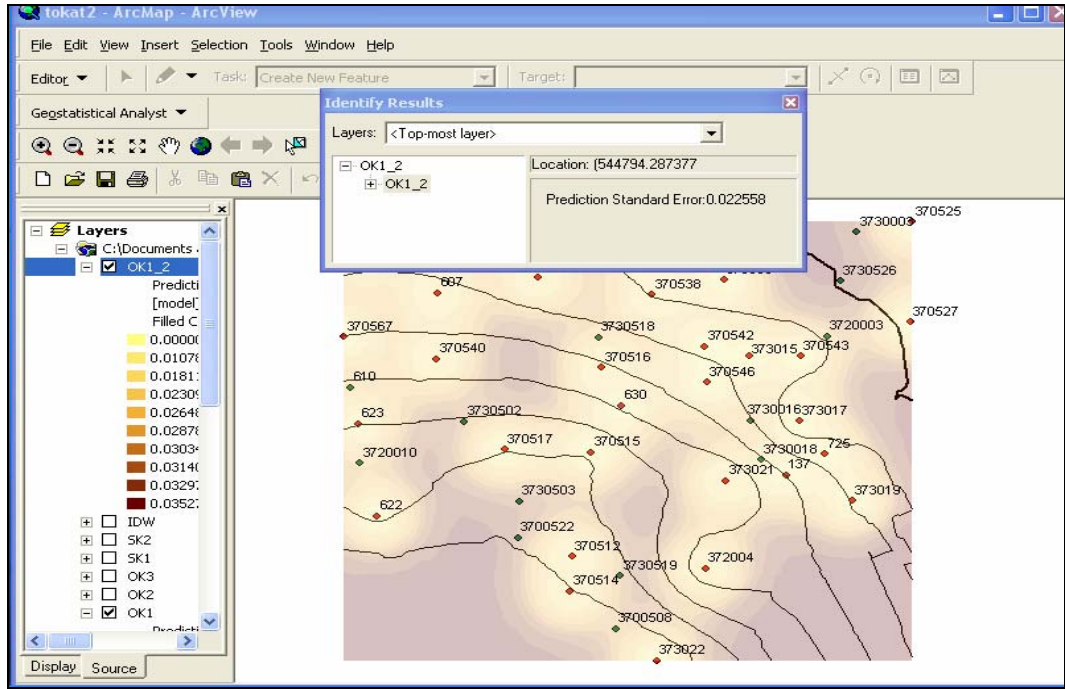


Şekil 4.31: 393 dayanak noktalı modelden hesaplanan test noktalarının tahmin değerlerinin standart hata değerlerini gösteren harita

393 dayanak noktalı modelde ise tahmin hataları kapalı bölgelerle gösterilmektedir. Kapalı bölgeler dayanak noktalarının yoğun olduğu bölgelerdir ve buralarda tahmin hataları $\pm 2.5-3.0$ cm iken açık alanlarda tahmin hataları ± 4.0 cm değerlerine ulaşmaktadır.

Aynı şekilde Tokat Geoit yüzeyi için de en iyi sonucu veren OK1 yöntemi ile eş geoit yükseklik haritaları hazırlanmış ve bu modellerin tahmin hata haritaları da eş geoit yükseklik haritaları ile birleştirilmiştir. Haritalar incelendiğinde dayanak noktalarının yoğun olduğu bölgeler açık renkli, seyrek bölgeler koyu renkli olarak görülmektedir. Yoğun bölgelerdeki tahmin hataları $\pm 1.5-2.5$ cm, koyu renkli seyrek bölgelerde tahmin hataları ± 3.5 cm değerlerine çıktığını görüyoruz. Buradan

dayanak nokta yoğunluğunun ve dağılımının hesaplanan değerler üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 4.32: 30 dayanak noktalı Tokat geoit modelden hesaplanan geoit eşyükseklik ve tahmin değerlerinin standart hata değerlerini gösteren harita

4.10. GPS/Nivelman Uygulamasında Kriging Enterpolasyon Yöntemlerinin Bulanık Mantık Yöntemleri ile Karşılaştırılması

Bu uygulama için “İstanbul Metropolitan Alanında Geoit Araştırması” konulu Yılmaz (2005) çalışmasında 50 test noktası için hesaplanan bulanık mantık sonuçları ile geoistatistik enterpolasyonla bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sırası ile 50, 200 ve 393 dayanak noktasından oluşan modellerden 50 test noktası için OK ve SK enterpolasyonlar ile hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerlerin minimum, maksimum, ortalama, KOH değerleri ve ± 5 cm değerinden daha küçük farka sahip nokta sayıları karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.19 incelenecek olursa; 50 dayanak noktasından oluşan geoit yüzeyinde yapılan enterpolasyonlarda bulanık mantık yöntemleri ile (3,4 ve 5 alt küme) bulunan değerlerin farklarının KOH değerleri kriging enterpolasyon yöntemlerinden bulunan değerlerden daha yüksektir. Ayrıca 50 test noktasından fark $> \pm 5$ cm olan nokta sayıları 50 noktada 14-15 nokta ile kriging uygulamalarda daha iyidir.

200 dayanak noktasından oluşan geoit yüzeyinde yapılan enterpolasyonlarda bulanık mantık yöntemleri ile (7, 8 ve 11 alt küme) bulunan farklarının KOH değerleri Kriging enterpolasyon yöntemlerinden bulunan değerlere çok yakın çıkmıştır. 50 test

noktasından fark $> \pm 5 \text{ cm}$ olan nokta sayıları yakın çıkmakla birlikte Kriging enterpolasyon yöntemlerinden bulunan değerlerin 50 noktada 7-8 nokta ile daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 4.19: Bulanık mantık ve kriging yöntemleri ile 50 dayanak noktası ile yapılan enterpolasyondan 50 test noktası için hesaplanan farkların istatistik sonuçları (cm)

50 MODEL	Kriging Yöntemleri				Bulanık Mantık Yöntemleri		
	OK2	OK3	SK1	SK2	B3	B4	B5
MAK	11.87	11.94	17.63	17.77	11.7	13.2	19.7
MİN	0.10	0.16	0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14
KOH	4.51	4.65	5.12	5.14	5.9	5.4	6.9
Fark>5cm	14	14	15	15	22	16	25

Tablo 4.20: Bulanık mantık ve kriging yöntemleri ile 200 dayanak noktası ile yapılan enterpolasyondan 50 test noktası için hesaplanan farkların istatistik sonuçları (cm)

200 MODEL	Kriging Yöntemleri				Bulanık Mantık Yöntemleri		
	OK2	OK3	SK1	SK2	B7	B8	B11
MAK	7.99	78.04	8.10	8.10	0.071	0.084	0.076
MİN	0.00	0.00	0.00	0.11	-0.70	-0.08	-0.11
KOH	3.09	3.05	4.14	3.25	3.40	3.50	4.00
Fark>5cm	7	8	9	8	9	8	11

393 dayanak noktasından oluşan geoit yüzeyinde yapılan enterpolasyonlarda bulanık mantık yöntemleri ile (10, 11 ve 13 alt küme) bulunan farklarının *KOH*. değerleri Kriging enterpolasyon yöntemlerinden bulunan değerlerden daha küçüktür. Ancak $\pm 5 \text{ cm}$ den büyük nokta sayısı Kriging enterpolasyon yöntemlerinden bulunan değerlerden daha fazladır.

GPS/Nivelman yöntemi ile geoit belirlemede Kriging ve Bulanık mantık enterpolasyon yöntemleri karşılaştırıldığında 50 ve 25 km^2 ye bir nokta düşen uygulamalarda kriging yöntemi bulanık mantık yönteminden daha iyi sonuçlar vermektedir.

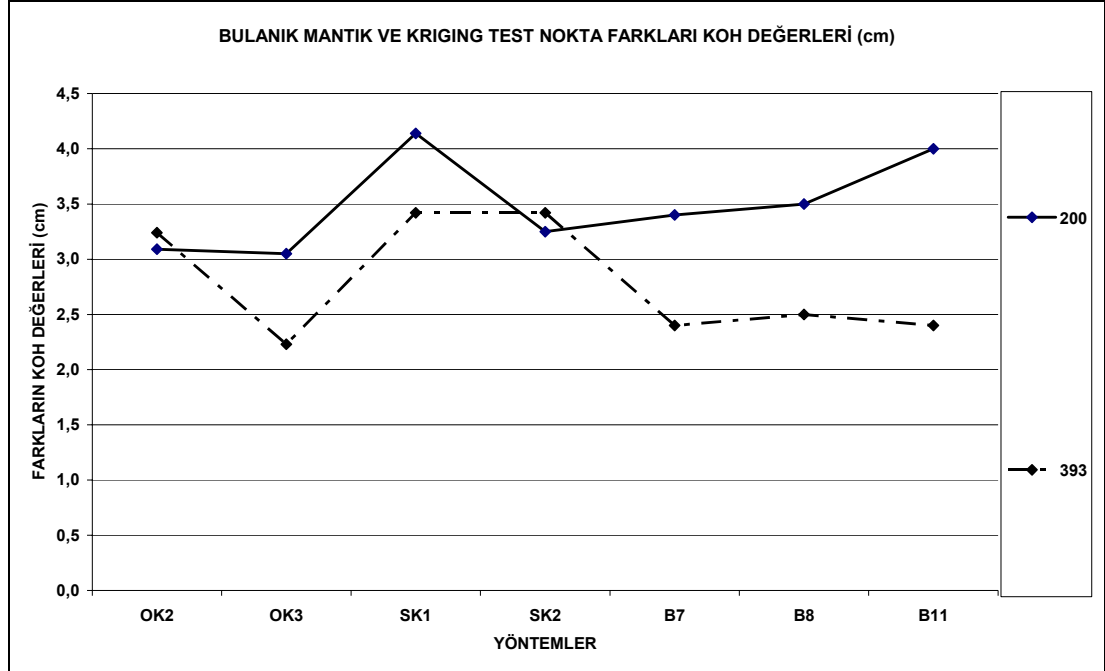
Şekil 4.33'deki grafik incelendiğinde 200 model noktası ile yapılan uygulamada Kriging ve Bulanık mantık yöntemleri ile bulunan *KOH* değerlerinin $\pm 3\text{-}4 \text{ cm}$ aralığında kaldığı görülmektedir. 50 model noktası ile yapılan uygulamada Bulanık mantık yöntemleri ile bulunan *KOH* değerlerinin, Kriging yöntemleri ile bulunan

değerlerden büyük olduğu görülmektedir. Kriging sonuçlarının $\pm 5.51-5,14$ cm aralığında olmasına karşılık bulanık mantık değerlerinin $\pm 5.4-6.9$ cm aralığında olduğu görülmektedir.

Tablo 4.21: Bulanık Mantık ve Kriging Yöntemleri ile 393 dayanak noktası ile yapılan enterpolasyondan 50 test noktası için hesaplanan *KOH* değerleri (cm)

393 MODEL	Kriging Yöntemleri				Bulanık Mantık Yöntemleri		
	OK1	OK2	SK1	SK2	B10	B11	B13
MAK	8.46	8.64	9,63	9.64	8,40	7,80	9,60
MİN	0.14	0.03	0.05	0.05	-0.11	-0.13	-0.13
KOH	3,24	3,23	3,42	3,42	2,40	2,50	2,40
Fark>5cm	7	8	9	8	10	10	11

393 dayanak noktası ile yapılan uygulamada ise Bulanık mantık yöntemleri ile bulunan *KOH* değerlerinin $\pm 2.40-2.50$ cm aralığında olmasına karşın kriging yöntemlerinden bulunan *KOH* değerlerinin $\pm 3.23-3.42$ cm aralığında kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.33: 200 ve 393 model noktalı İstanbul geoit modelinde kriging ve bulanık mantıkla hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının *KOH* değerleri grafiği (cm)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Tokat Mücavir Alanı ve İstanbul Metropoliten Alanlarında deterministik ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile oluşturulan geoit modelleri bu modellerden hesaplanan geoit yüksekliklerinin (N_{HESAP}) ölçü değerlerinden ($N_{ÖLÇÜ}$) çıkarılması ile hesaplanan fark değerleri ($N_{HESAP-ÖLÇÜ}$), farkların KOH değerleri, farkların mutlak değerleri karşılaştırılmıştır.

İstanbul modelinde, nokta yoğunluğunun deterministik ve kriging enterpolasyon yöntemleri ile geoit hesabına etkisini araştırmak için 50 ($\sim 100 \text{ km}^2$ ' ye bir nokta), 200 ($\sim 25 \text{ km}^2$ ' ye bir nokta), 393 ($\sim 13 \text{ km}^2$ ' ye bir nokta) ve 434 ($\sim 12 \text{ km}^2$ ' ye bir nokta) dayanak noktası ile modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde 50 test noktası için geoit yükseklik değerleri hesaplanmış (N_{HESAP}) ve her yöntem için hesaplanan fark değerleri ($N_{HESAP-ÖLÇÜ}$), farkların KOH değerleri, farkların mutlak değerleri karşılaştırılmıştır. Uygulama sonuçlarına göre, dayanak noktalarının yüzeyden sapmalarından elde edilen KOH değerleri ile test noktalarından elde edilen KOH değerlerinin korelasyonlu olduğu görülmüş, buradan seçilen dayanak noktalarının uygunluğu kanısına varılmıştır. En uygun yüzeyin en küçük KOH değerini veren yüzey olduğu düşüncesi ile karşılaştırmalarda KOH değerleri öncelikli kıstas olarak alınmıştır. Ayrıca model karşılaştırmalarında, yazılımdaki çapraz karşılaştırma menüsü de kullanılarak modeller karşılaştırılmıştır.

Her yöntem için ArcGIS Geoistatistik Analiz yazılımında geoit eşyükseklik haritaları hazırlanmış, ayrıca kriging enterpolasyonlardan elde edilen geoit eşyükseklik haritalarına tahmin hataları haritası da eklenmiştir. Yine İstanbul örneğinde Yılmaz (2005) çalışmasında hesaplanan bulanık mantık uygulamasına ilişkin sonuçlar kriging yöntemi ile hesaplanan sonuçlarla, farkların KOH değerleri ve 50 test noktasında $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının $\pm 5 \text{ cm}$ den büyük çıktığı nokta sayısı ile de karşılaştırılmıştır.

Tokat İli Mücavir alanı için 30 dayanak noktası ($\sim 8.5 \text{ km}^2$ ' ye bir nokta) ile geoit modeli oluşturulmuş ve bu modelde 13 test noktası için deterministik ve kriging enterpolasyonlarla hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak; GPS/Nivelman yöntemi ile elde edilen geoit yüksekliklerinden deterministik ve Kriging enterpolasyon modellemesi ile elde edilen geoit yükseklikleri çıkarılarak hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları karşılaştırıldığında;

- Deterministik enterpolasyonlar içerisinde en iyi sonucu veren modelin multiquadratik model olduğu,
- Multiquadratik modelden elde edilen KOH değerlerinin Kriging enterpolasyon sonuçlarına çok yakın olduğu,
- Kriging enterpolasyonla elde edilen farkların KOH değerlerinin deterministik enterpolasyonlardan bulunan sonuçlardan daha iyi sonuçlar verdiği,
- Kriging yönteminin karesel ortalama hatayı minimize ettiği,
- Ordinary Kriging yönteminin Simple Kriging yönteminden daha iyi istatistik sonuçlar verdiği,
- Geoit belirlemede elde edilecek doğruluğun verilerin doğruluğuna, yoğunluğuna, kütle dağılımını temsil etme yeteneğine ve hesaplama yöntemine bağlı olduğu,
- Dayanak nokta yoğunluğunun $15 \text{ km}^2/1$ noktadan az olmaması gerektiği,
- Bulanık mantık yöntemini ile elde edilen sonuçların Kriging yönteminden elde edilen sonuçlarla örtüştüğü, ancak nokta yoğunluğunun artmasının bulanık mantık sonuçlarını daha pozitif etkilediği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abtew, W., Obeysekera, J. and Shih, G.,** 1993. Spatial analysis for monthly rainfall in South Florida, *Water Resources Bulletin*, **29**; 179-188.
- Akçın, H.,** 1998. GPS ölçülerinden pratik yüksekliklerin elde edilmesi üzerine bir çalışma, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aksoy, A., Deniz, R., ve Ayan, T.,** 1999 Global, bölgesel ve ülke jeodezik ağları hakkında, *Harita Kadastro Mühendisliği Dergisi*, **86**, Ankara.
- Armstrong, M. and Carignan, J.,** 1997. Geostatistique Lineaire Application au Domaine Minier, ISBN 2-911762-07-X, Paris, France
- Arslan, E.,** 1997. GPS koordinatlarından ülke koordinatlarına dönüşüm, HKMO. VI. Harita Kurultayı, Ankara, 03 -07 Mart, s. 303-319.
- Ayan, T.,** 1976. Astrogeodatische Geoidberechnung für das Gebiet der Türkei, Diss. Karlsruhe.
- Ayan, T.,** 1978. Türkiye Geoidi, *Harita Dergisi*, **85**, 5-17.
- Ayan, T.,** 1992. Uyuşumsuz ölçüler testi, *Harita ve Kadastro Mühendisliği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Yayın Organı*, **72**, 38 – 46.
- Ayan, T., Aksoy A., Çelik R.N., Deniz R., Arslan E., Özşamlı C., Denli H., Erol S. ve Özöner B.,** 1999. İstanbul GPS Nirengi Ağı (İGNA) Teknik Rapor, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ayan, T., ve Deniz, R.,** 2000. Fiziksel Jeodezi Ders Notu, İ. T.Ü. İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ayhan, M.E., Bank, E., Lenk, O., ve Şeker, H.A.,** 1987. South western Anatolia (Aegean region) Doppler Geoid, *Bolletino di Geoid*. Affini Anno XLVI, **4**, 293 -308.
- Ayhan, M.E. ve Demir C.,** 1992. Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1992 (TUDKA-92), *Harita Dergisi*, **109**, 31 -39.
- Ayhan, M.E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Açıkgöz, M., Fırat, O., Şengün, Y., Cingöz, A., Gürdal, M.A., Kurt, A., Ocak, M. ve Türkezer, A.,** 2001. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99) Teknik Rapor, **TUTGA -99**, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.

- Ayhan, M.E.**, 1993. Geoid determination in Turkey (TG-91), *Bull. Geodesique*, **67**, 10 -22.
- Ayhan, M.E. ve Alp, O.**, 1994. Türkiye Astrojeodezik Jeoidi-1994 (TAG-94), İç rapor, **JEOF-94-2**, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Ayhan, M.E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Açıkgöz, M., Fırat, O., Şengün, Y., Cingöz, A., Gürdal, M.A., Kurt, A., Ocak, M. ve Türkezer, A.**, 2002. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A). *Harita Dergisi*, Özel Sayı **16**, 12 -16.
- Barton, J.M., Buchberger, S.G. and Lange, M.J.**, 1999. Estimation of error and compliance in surveys by kriging, *Journal of Surveying Engineering*, **125**, 87-108.
- Bastin, G. and Gevers, M.**,1985. Identifical and optimal estimation of random fields from scattered point-wise data, *Automatica*, **21**,139-155.
- Başkan, O.**, 2004. Gölbaşı yöresi topraklarının mühendislik, fiziksel özellik ilişkilerinde jeoistatistik uygulaması, *Doktora Tezi*, A.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Burrough, P. A. and McDonnell, R. A.**, 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York.
- Boogaart KG. and Schaeben, H.**, 2002. Kriging of regionalized directions Axes and oriantations, 1. Directions and axes, *Mathematical Geoloyl*, **34**, 479-503.
- BÖHHUY,** 2005.Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, Ankara.
- Chauvet, P.**, 1982. The variogram cloud. In: Jhonson, T.B. and Barnes, R.J. (eds), *17th APCOM, Society of Mining Engineers*, 757- 764, New York.
- Clark, I.**, 1979. Practical Geostatistics, Department of Mineral Resources Engineering , Royal School of Mines , Imperial College of Science and Technology , London.
- Clark,I and Harper, W.V.**, 2000. Practical Geostatistics, Geostokos (Ecosse) Limited, London.
- Çelik, R.N., Ayan,T. ve Alanko, G.**, 1997.GPS ile Lokal Geoid Belirleme, HKMO. *VI. Harita Kurultayı*, Ankara, 03 -07 Mart, s.377-384.
- Çetin, M.**, 1996. Jeostatistiksel yöntem ile nokta ve alansal yağışların saptanması ve stokastik olarak modellenmesi, Örnek havza uygulamaları, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- David, M.**, 1988. Handbook of Applied Advanced Geoostatistical ore Reserve Estimation, Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam.
- Delhomme, J. P.**, 1978. Kriging in the Hydrosiences, *Advances in Water Resources*, **5**, 251-266.
- Demir, C.**, 1999. Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99). HGK İç Rapor, **JEOFNİV- 02-1999**, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Denker, H., Behrend, D. and Torge, W.**, 1997. European gravimetric quasigeoid EGG96, in *Gravity, Geoid, and Marine Geodesy*, Eds. Segavva, J., Fujimoto, H., Okubo, S., Springer, Berlin.
- Deutsch, C.V., and Journal, A.G.**, 1992. Geostatistical Software Library And User's Guide, Oxford University Press, Inc., New York.
- Dowd, P.A.**, 1992. Basic Geostatistics for the Mining Industry, The University of Leeds, Leeds.
- Duquenne H., and Jiang Z.**, 1996. The geoid in the Southern Alps of France, Joint Special Issue of the Bureau *Gravimétrique Internationale Bulletin d'Information 77* and International Geoid Service Bulletin **4**,115-130.
- Erkanlı, Y.**,1986. Koordinatlandırılmış modelde ve alanda enterpolasyon, kollakasyon yöntemlerinin uygulanması ve neticeleri, *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, Ankara, **86**, 56-57.
- Erol, B., ve Çelik, R.N.**, 2005. Presizyonlu lokal geoit modeli belirlenmesinde örnek bir inceleme GPS/Nivelman ve geoit yüksekliklerinin entegrasyonu, *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 28 Mart - 1 Nisan, Ankara.
- Featherstone, W.E., Dentith, M.C., Kirby, J.F.**, 1998. Strategies for accurate determination of orthometric heights from GPS, *Survey Review*, **34**, 278-296.
- Featherstone, W.E. and Olliver, J.G.**, 2001. A Review of Geoid Models Over the British Isles: Progress and Proposals, *Survey Review*, **36**, 78-100.
- Fiedler, J.**, 1992. Orthometric heights from GPS, *Journal of Surveying Engineering*, **118**, 70-79.
- Fogel, D.N. and Tinney, L.R.**, 1996. Image registration using multiquadratic functions the finite element method bivariate mapping polynomials and thin plate spline, Technical Report, SantaBarbara.
- Güler, A.**, 1978. Sayısal arazi modellerinde interpoasyon yöntemleri, *Harita Dergisi*, Ankara, **85**, 53-71.

- Güler, A.,**1983.Sayısal arazi modellerinde iki interpolasyon yöntemi ile denemeler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Güler, A.,** 1985. Sayısal yükseklik modellerinde parça parça bilinen yüzeylerle enterpolasyon, *Türkiye 1. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 23-27 Şubat, s.371-384.
- Gürdal, M.A. ve Ceylan, S.,** 2005. Büyük ölçekli çalışmalarda güncellenmiş Türkiye Jeoidinin (TG99A) doğrudan kullanılabilirliğinin araştırılması, *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 28 Mart - 1 Nisan.
- Hamlett, J.M., Horton, R. and Cressie, N.A.C.,** 1986. Resistant and explotory techniques for use in semivariogram analysis. Soil Science Society of American Journal, **50**, 868 -875.
- Hardy, R. L.,** 1971. *Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces*. J. Geophysical. Research, **76**, 1905 -1915.
- Hardy, R.L.,** 1971. Geodetic application of multiquadratic analysis, AVN.Heft 10.
- Hardy, R.L.,** 1990. Theory of aplications of the multiquadratic-biharmonic method: 20 years of discovery 1968-1988, *Computers and Mathematics with Application.*,**19**, 8/9,163-208.
- Holdahl, S.R.,** 1979. Height Systems for North America, *Proceedings of the 1st Int. Confeance on Redefinition of the North American Geodetic Vertical Control Network Correction of Levelling Refraction*. Bull. Geod. **55**, 231- 249.
- İnal, C.,** 1996. Yerel jeoit geçirilerek GPS sonuçlarından yüksekliklerin belirlenmesi, *S.Ü Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Konya,**11**,15-21.
- İnal, C., Turgut, B. ve Yiğit, C.,** 2002. Lokal alanlarda jeoit ondülasyonlarının belirlenmesinde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, Konya, 16-18 Ekim, s. 97-106.
- İnal, C. ve Yiğit, C. Ö.,** 2003. Jeodezik uygulamalarda kriging enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliği, *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, Konya, 24-26 Eylül, s.177-185.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, M.R.,** 1989. An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York.
- Johnston, K., Ver Hoef, J., Krivoruchko, K. and Lucas, N.,** 2003.Using ArcGIS 9.0 Geostatistical Analyst, Tutorial Esri.USA.

- Karlinger, M.R. and Skrivan, J.A.,**1980. Kriging analysis of mean annual precipitation, Powder river basin, Montana and Wyoming, *U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations* **80-50**, Tacoma, Washington.
- Kılıçoğlu, A.,** 2002. Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi – 1999A (TG99A). *TUJK 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı, Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, Boğaziçi Üniversitesi, İzmit.
- Kılıçoğlu, A. ve Fırat, O.,** 2003. Büyük Ölçekli Harita üretiminde GPS ile ortometrik yükseklik belirlemeye yönelik jeoit modelleme ve uygulamalar, *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, Konya, 24-26 Eylül,s.27-34.
- Kılıçoğlu, A.,** 2004. Güncelleştirilmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A). [http://www.hgk.mil.tr/\(akademik çalışmalar/ bildiriler/ jeodezi\)](http://www.hgk.mil.tr/(akademik%20çalışmalar/bildiriler/jeodezi))
- Kınık, İ.,** 1999. Tokat 1. Kısım (İlave) halihazır harita nirengi-nivelman ölçüleri ve özetleri raporu, Özerler Mühendislik, Ankara.
- Kraus, K. and Mikhail, E.M.,** 1972. Linear Least-Squares Interpolation, *12. Congress of the International Society of Photogrammetry*, Ottawa, Canada, July 23-August 5.
- Krige, G.,** 1989. Early South African Geostatistical Technique in Today's Perspective in Geostatistics, Kluwer.
- Leberl, F.,** 1973. Interpolation in a square grid, *DTM ITC Journal*,1973 -751973.
- León, J., Felicísimo, A.M. and, Martínez, J.,** 2004. A methodological proposal for improvement of digital surface models generated by automatic stereo matching convergent image Networks.isprs.org /istanbul2004/comm5/papers/522.
- Liddle, D., Deutsch, C. V. and Journé, A.G.,** 1992. Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press, New York.
- Lloyd, C.D. and P.M. Atkinson.,** 1998. Scale and the spatial structure of landform: optimising sampling strategies with geostatistics. In *Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation, University of Bristol, 17th–19th September. GeoComputation CD-ROM*, Manchester.
- Martensson, SG.,** 2002. Height determination by GPS accuracy with respect to different geoid models in Sweden, *FIG XXII. International Congress*, Washington DC, U.S.A, April 19-26.
- Matheron, G.,** 1971. The Theory of Regionalized Variables and Its Applications, CG Fontainebleau.

- Matheron, G.**, 1963. Principles of geostatistics, *Economic Geology*, **58**, 1246-1266
- Matheron, G.**, 1982. Pour une analyse krigéante de données régionalisées. Centre de Geostatistique, Ecole des Mines de Paris, Report N-732, Fontainebleau.
- Mert, B. A.**, 2005. Jeostatistiksel analiz için bir bilgisayar programının geliştirilmesi ve Antalya-Akseki-Kızıltaş boksit yatağına uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Moritz, H.**, 1992. Geodetic Reference System 1980, Bulletin Geodesique, **66(2)**, 187-192.
- Mulla, D.J.**, 1988. Using geostatistics and spectral analysis to study spatial patterns in the topography of southeastern Washington State, U.S.A. *Earth Surface Processes and Landforms*, **13**, 389-405.
- Olea, R.A.**, 1982. Optimization of the High Plains aquifer observation network, Kansas Geological Survey Groundwater Series Report, Kansas.
- Ollikainen, M.**, 1997. Determination of Orthometric Heights Using GPS Levelling, Finnish Geodetic Institute, Kirkkonummi.
- Omang, C.D. and Forsberg, R.**, 2000. How to handle topography in practical geoid determination: three examples, *Journal of Geodesy*, **74**, 458-466.
- Omang, C.D. and Forsberg, R.**, 2002. The northern European geoid: a case study on long-wavelength geoid errors, *Journal of Geodesy*, **76**, 369-380.
- Ortaş, İ., Berkman, A.**, 1997. Bir jeostatistiksel tekniğin toprak hacim ağırlığı ve nem içeriği araştırmalarında kullanım olanaklarının irdelenmesi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **21**, 523 -529.
- Öksüz, D.**, 2002. Tokat 2. kısım halihazır harita nirengi-nivelman ölçüleri ve özetleri raporu, GPS-TEK. Müh.Müş. San ve , Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Özdoğan, İ.**, 1983. İsmail Özdoğan Tokat Nirengi Ağı Raporu. Kadastro Müdürlüğü. Tokat.
- Rapp, R.H.**, 1996. Use of potential coefficient models for geoid undulation determination using a spherical harmonic representation of the height anomaly/geoid undulation difference, *Journal of Geodesy*, **71**, 282-289.
- Rohuani, S. and Wackernagel, H.**, 1990. Multivariate Geostatistical Approach to Space-Time Data Analysis. *Water Resources Research*, **26** , 585 -591.
- Rózsa, S.**, 1999. Geoid determination for engineering purposes in Hungary, *Proceedings of the International Students' Conference, Zakopane*,

Environment, Development, Engineering, Zakopane, Poland, April 19-23 ,s.125-132

- Saraç,C. ve Tercan, E.,**1996. Grade and reserve estimation of Tulovasi borate deposit by block kriging, *International Geology Review*, **9**, 832-837,USA
- Selçuk S., Ayhan M.E. ve Demir C.,** 1992. Türkiye Ulusal Düşey Kontrol (Nivelman) Ağı-1992 (TUDKA-92). *Harita Dergisi*, **109**,12-16.
- Sideris, M.G.,** 1994. Regional geoid determination, in *Geoid and its geophysical interpretations*, Chapter 3, pp. 77-94, Eds. Vanicek, P., and Nikolas, T., CRC Press, Florida.
- Sideris, M.G.,** 1994. Geoid determination by FFT Techniques, International School for the Determination and Use of the Geoid, Milan, Italy, October 10-15.
- Sideris, M.G.,** 1996. New Geoids in the World, *Joint Special Issue of the Bureau Gravimétrique International Geoid Service Bulletin*, **77**, 37-52.
- Schut, G.H.,** 1976. Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models, The Canadian Surveyor, Canada.
- Smith, D.A.,** 1998. There is no such thing as The EGM96 geoid: Subtle points on the use of a global geopotential model, *IGeS Bulletin*, International Geoid Service, Milan, **8**,17-28.
- Smith W.H.F. and Wessel P.,** 1990. Gridding With Continuous Curvature Splines in Tension. *Geophysics*, **55**, 293 -305.
- Soycan, M.,** 2002. Jeoit yüksekliklerinin GPS ve hassas trigonometric nivelman ölçüleri ile belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Susam, T.,** 1996. Tokat merkez ilçede kadastro ve imar çalışmalarında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tercan, A.E. ve Saraç, C.,** 1998. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler, T.M.M.O.B. Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- Tscherinhg, C. and Rapp, H.,** 1974. Closed covariance expressions for gravity anomalies geoid undulations and deflections of the vertical implied by anomaly degree variance models, Ohio State University, Columbus.
- Tunalı, A., ve Gökten, E.,**1996. Tokat metropoliten nirengi ölçüleri ve özetleri raporu, Devran Harita Mühendislik, Ankara.

- Uluğtekin, N.**,1994. Sayısallaştırılmış kadastr paftalarının geometrik niteliğinin yükseltilmesi, *İTÜ Dergisi* , **52**,35-41.
- Üstün,A., ve Demirel,H.**, 2003. Düşey kontrol açısından GPS/Nivelman kontrol noktalarının önemi, *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, Konya, 24-26 Eylül, s.35-43.
- Vieira, S. R., Hatfield, J. R., Nielsen, D. R. And Biggar, J. W.**, 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties, *Hilgardia*, **51**, 3, 1-75. California.
- Warrick, A.W., Myers, D.E. and Nielsen, D.R.**, 1986. Geostatistical methods applied to soil science. In: *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods*. pp: 53 -82. ASA and SSSA Agronomy Monograph no 9(2nded), Madison.
- Webster, R. and Oliver, M.A.**, 1990. Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. Oxford University Press, Oxford.
- Webster, R. and Boag, B.**, 1992. Geostatistical analysis of cyst nematodes of soil, *Journal of Soil Science*, **43**, 583 -595.
- Webster. R. and Oliver, M.A.**, 1992. Sample adequately to estimate variograms of soil properties, *Journal of Soil Science*, **43**, 177-192.
- Yanalak, M., ve İnce, C.**, 1996. GPS ile elde edilen elipsoid yüksekliklerinin yerel yükseklik sistemine dönüştürülmesi, *VI. Harita Kurultayı*. Ankara, 03- 07 Mart, s.289 -302.
- Yıldırım A.**, 2000. Türkiye Mutlak Jeoidinin (TG-2000) Belirlenmesi. HGK İç Rapor, **JEOF-NİV-01**, Ankara.
- Yiğit, C. Ö.**, 2003. Elipsoidal yüksekliklerin Ortometrik yüksekliğe dönüşümünde kullanılan enterpolasyon yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yost, R.S., Uehara, G. and Fox, L.**, 1982a. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. I. Semi-variograms. *Soil Science Society of American Journal*, **46**; 1082 -1086.
- Yost, R.S., Uehara, G. and Fox, L.**, 1982b. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. II. *Kriging Soil Science Society of American Journal*, **46**; 1033 -1037.
- Zhang, R. Rahman, S. Vance, G.F. and Munn, L.C.**, 1995. Geostatistical analysis of trace elements in soil and plants, *Soil Science*, **159**(6) 383 - 390.

Zhan-Ji, Y., 1998. Precise determination of local geoid and its geophysical interpretation, *Doktora Tezi*, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.

Anonim 1. ArcGIS Geostatistical analyst statistical tools for data exploration, modelling and advanced surface generation An ESRI White paper, August 2001, USA.

Anonim 2. Golden Software, 2002, *Surfer 7 User's Guide*: Contouring and 3D surface mapping for scientist and engineers, Colorado, USA.

URL1: <http://www.hgk.mil.tr/tutgaweb/default.htm> (en son ziyaret edildiği tarih, 24.03.2004)

URL 2 : <http://www.giac.montana.edu/geog501/kriging.htm> (en son ziyaret edildiği tarih, 24.03.2006)

URL3 : [http://www.ai-geostats.org/Geostats_Faq/Syed/bigpicture.html#\[4.4\]](http://www.ai-geostats.org/Geostats_Faq/Syed/bigpicture.html#[4.4]) (en son ziyaret edildiği tarih, 03.08.2006)

URL4: http://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution (en son ziyaret edildiği tarih, 01.08.2006)

URL5: <http://mathworld.wolfram.com/Histogram.html> (en son ziyaret edildiği tarih, 11.07.2006)

URL6: <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/geostatistical/features.html> (en son ziyaret edildiği tarih, 24.03.2006)

URL7: <http://www.kgs.ku.edu/Tis/surf3/s3krig2.html> (en son ziyaret edildiği tarih, 11.05.2005)

URL8 : <http://ewr.cee.vt.edu/environmental/teach/smprimer/kriging/> (en son ziyaret edildiği tarih, 24.05.2006)

URL9: <http://ewr.cee.vt.edu/environmental/teach/smprimer/kriging/kriging.html> (en son ziyaret edildiği tarih, 24.05.2006)

URL10 : <http://www.statios.com/Resources/05-kriging.pdf> (en son ziyaret edildiği tarih, 24.02.2006)

URL11 : <http://ewr.cee.vt.edu/environmental/teach/smprimer/kriging.html#Kriging> (en son ziyaret edildiği tarih, 04.08.2006)

URL 12: http://www.ems.com/gmshelp/Interpolation/Kriging/Simple_Kriging.htm (en son ziyaret edildiği tarih, 24.02.2006)

EK: A

Tablo A1: Tokat Nirengi Ağı noktalarının WGS84 datumunda UTM, coğrafi ve Kartezyen koordinatları (m)

NN	Y _{WGS84}	X _{WGS84}	Y _{ED50}	X _{ED50}	φ _{WGS84}	λ _{WGS84}	h	H	N	dφ(m)	dλ(m)	dh(m)
H37G002	547132.9710	4456039.3810	547155.3940	4456223.4220	36°33'13.931	40°14'14.738				0.0000	0.0000	0.0000
H361004	531349.4320	4462886.9960	531371.5990	4463071.0450	36°22'07.439	40°17'59.399				0.0037	0.0026	0.0074
H3710001	547274.6690	4473078.3300	547296.9890	4475262.6360	36°33'24.991	40°24'31.933	1577.732	881.384		0.0028	0.0019	0.0053
H3620001	536161.6150	4465147.7670	536183.8360	4465331.8740	36°25'31.658	40°19'11.994	665.778	597.272		0.0041	0.0037	0.0060
H372H003	549988.8490	4466683.6250	550011.2530	4466867.8290	36°35'17.730	40°19'59.219	732.844	699.813	33.031	0.0051	0.0048	0.0076
H372H004	547410.0240	4460978.5740	547432.4240	4461162.6850	36°33'24.160	40°16'57.789	973.378	940.213	33.165	0.0049	0.0046	0.0069
H3720005	546161.6740	4463088.0760	546184.0340	4465272.2370	36°32'35.188	40°19'08.286	862.317			0.0047	0.0045	0.0065
H3630001	541230.3340	4464405.3220	541252.6290	4464589.4460	36°29'06.169	40°18'47.079	1077.977			0.0050	0.0048	0.0075
H3630002	546081.0790	4461852.3480	546103.4550	4462036.4590	36°32'30.936	40°17'23.402	890.176			0.0052	0.0050	0.0081
H3730012	543861.6030	4468116.2260	543883.9140	4468300.4160	36°30'5.520	40°20'46.901	639.622	626.563	33.093	0.0050	0.0047	0.0073
H3730013	554649.5480	4467458.5550	554672.0120	4467642.7950	36°38'35.404	40°20'23.290	1002.168			0.0057	0.0052	0.0083
H3730014	546385.2580	4456278.2000	546407.6690	4456462.2400	36°32'42.363	40°14'22.631	889.820			0.0051	0.0050	0.0081
H373H015	548333.3000	4466201.7450	548355.6840	4466385.9330	36°34'07.467	40°19'43.947	708.094	675.015	33.079	0.0053	0.0051	0.0087
H373H016	548366.7030	4464618.8760	548389.0960	4464803.0430	36°34'08.451	40°18'52.626	993.5070	960.523	33.104	0.0053	0.0049	0.0075
H373H017	549406.6330	4464592.3440	549429.0400	4464776.5160	36°34'52.485	40°18'51.546	1027.807	994.769	33.038	0.0056	0.0050	0.0085
H373H018	548589.4570	4463649.2400	548611.8580	4463833.3940	36°34'17.619	40°18'21.445	810.8422	777.717	33.125	0.0053	0.0047	0.0079
H3730019	550518.6220	4462636.5210	550541.0560	4462820.6720	36°35'39.022	40°17'47.902	1109.285	1076.271	33.014	0.0070	0.0065	0.0120
H3730020	549509.0910	4462240.7890	549531.5130	4462424.9290	36°35'19.47	40°16'48.22	1181.828			0.0065	0.0055	0.0132
H373H021	547856.9210	4463119.0920	547879.3150	4463303.2350	36°33'46.458	40°18'04.110	804.944	771.712	33.232	0.0082	0.0077	0.0108
H373H022	546382.5980	4458710.8650	546404.9960	4458894.9390	36°32'42.883	40°15'41.497	760.334	726.941	33.386	0.0059	0.0053	0.0117
H3730001	548491.5010	4474206.1920	548513.8430	4474390.4920	36°34'16.357	40°24'03.403	1607.350			0.0068	0.0063	0.0102
H3730002	551666.8600	4474227.3480	551689.2460	4474411.6660	36°32'30.936	40°17'23.402	1503.569			0.0064	0.0057	0.0100
H3730003	550621.6610	4469235.5680	550644.0600	4469419.8110	36°35'45.265	40°21'21.812	875.711	842.800		0.0058	0.0054	0.0084
H3730007	550299.7440	4461032.7540	550322.1830	4461216.8820	36°35'59.301	40°16'55.957	1428.498			0.0066	0.0055	0.0085
H3730008	548876.4290	4457999.9340	548898.8650	4458184.0120	36°34'28.221	40°15'17.939	1330.828			0.0053	0.0050	0.0084
H3730009	544703.9760	4459010.1840	544726.3490	4459194.2530	36°31'3.923	40°15'51.530	1307.592			0.0050	0.0048	0.0074
H3730010	544686.5240	4462207.4680	544708.8790	4462391.5810	36°31'31.987	40°17'35.187	1195.244	1161.915	33.329	0.0050	0.0048	0.0073
H3730014	554031.3690	4471273.7850	554053.8040	4471458.0750	36°38'11.25	40°22'30.58	850.091			0.0059	0.0055	0.0082
H3730015	555529.8720	4469278.8300	555552.3390	4469463.1000	36°39'13.269	40°21'22.091	733.318			0.0065	0.0058	0.0099
H3730016	551090.8970	4464501.1270	551113.3280	4464685.3070	36°36'03.787	40°18'48.225	1125.473			0.0056	0.0053	0.0076

NN	Y _{WGS84}	X _{WGS84}	Y _{ED50}	X _{ED50}	φ _{WGS84}	λ _{WGS84}	h _k	H	N	dΦ(m)	dλ(m)	dh(m)
017	558974.0940	4469786.7300	558996.6060	4469971.0260	36°41'39.389	40°21'37.705	834.7643			0.0068	0.0064	0.0112
H3730018	558416.9810	4471177.7250	558439.4610	4471362.0790	36°41'18.10	40°24'03.66	996.5525			0.0063	0.0058	0.0105
H3730020	550049.2460	4460685.4490	550071.6840	4460869.5700	36°55'18.600	40°16'44.752	1443.913			0.0071	0.0059	0.0093
H3730021	542960.9980	4457952.9560	542983.3530	4458137.0010	36°30'17.906	40°15'17.583	1294.026			0.0049	0.0047	0.0072
H3730022	542900.7940	4464817.6270	542923.1100	4465001.7660	36°30'17.013	40°19'00.143	988.5323			0.0050	0.0047	0.0072
H3730023	545208.2750	4462537.8270	545230.6360	4462721.9470	36°31'54.160	40°17'45.796	1152.085	1118.7420	33.3430	0.0061	0.0616	0.0092
H3730024	544702.2990	4459065.7630	544724.6720	4459249.8330	36°31'31.866	40°15'53.332	1305.910			0.0050	0.0048	0.0075
H3630004	548145.2210	4468535.2170	548167.5890	4468719.4370	36°34'00.133	40°20'59.635	845.1882			0.0068	0.0050	0.0094
H3630007	537191.0010	4469270.9990	537213.2140	4469455.1690	36°26'17.01	40°21'28.97	795.8002			0.0057	0.0060	0.0100
H3630018	541934.7910	4469491.2500	541957.0680	4469675.4490	36°29'37.204	40°21'31.835	699.1931			0.0050	0.0048	0.0076
H3630019	535562.0180	4463334.3410	535584.2410	4463518.4200	36°25'05.900	40°18'13.296	845.6367			0.0056	0.0053	0.0081
H3630022	541967.1000	4464565.8030	541989.4050	4464749.9340	36°29'37.409	40°18'52.150	1027.273			0.0051	0.0049	0.0077
H3630023	542153.7790	4464593.5490	542176.0860	4464777.6810	36°29'46.21	40°18'56.48	1033.889			0.0056	0.0054	0.0084
H3730501	545957.0190	4463291.3400	545979.3860	4463475.4750	36°32'26.056	40°18'10.077	1057.891	1024.4380	33.4530	0.0081	0.0070	0.0134
H3730502	546624.8230	4462871.2250	546647.2010	4463055.3580	36°32'54.223	40°17'56.325	757.1569			0.0141	0.0071	0.0136
H3730504	546638.7320	4463446.0570	546661.1070	4463630.1980	36°32'54.962	40°18'14.957	812.293	778.8670	33.4260	0.0052	0.0052	0.0081
H3730505	546228.5000	4461097.1070	546250.8830	4461281.2130	36°32'36.981	40°16'58.888	892.759	859.4430	33.3156	0.0228	0.0074	0.0171
H3730506	546083.9830	4460449.0090	546106.3670	4460633.1050	36°32'30.696	40°16'37.906	840.512	807.0200	33.4916	0.0092	0.0091	0.0193
H3730507	546413.1940	4459405.3740	546435.5880	4459589.4580	36°32'44.359	40°16'04.008	745.537	712.1660	33.3710	0.0087	0.0086	0.0143
H3730508	545507.9400	4459497.9230	545530.3210	4459682.0030	36°32'06.071	40°16'07.186	1010.321	977.0000	33.3210	0.0076	0.0070	0.0187
H3730509	544546.8460	4459760.3030	544569.2130	4459944.3810	36°31'25.461	40°16'15.878	1186.323	1152.7690	33.5540	0.0066	0.0060	0.0115
H3730510	543784.4550	4459708.1200	543806.8110	4459892.1930	36°30'53.181	40°16'14.331	1089.899	1056.5430	33.3560	0.0080	0.0072	0.0167
H3730511	545150.8650	4461561.3160	545173.2300	4461745.4230	36°31'51.482	40°17'14.150	1134.208	1100.9290	33.2790	0.0062	0.0061	0.0117
H3730512	544592.8070	4461268.6850	544615.0670	4461452.7840	36°31'27.784	40°17'04.770	1148.552	1115.2310	33.3210	0.0066	0.0062	0.0115
H3730513	545617.7660	4460792.9170	545640.1420	4460977.0160	36°32'11.050	40°16'49.147	1022.298	988.9890	33.3090	0.0076	0.0067	0.0127

NIN	Y_{WGS84}	X_{WGS84}	Y_{ITRS0}	X_{ITRS0}	ϕ_{WGS84}	λ_{WGS84}	h	H	N	$d\phi(m)$	$d\lambda(m)$	$dh(m)$
H3730.514	544548.2240	4460413.6040	544570.5870	4460597.6910	36°31'24.682	40°16'37.058	1116.937	1083.5980	33.3390	0.0066	0.0067	0.0127
H3730.515	545000.2030	4463836.0330	545022.5540	4464020.1700	36°31'45.679	40°18'27.923	865.284	831.9980	33.2860	0.0183	0.0072	0.0180
H3730.516	543748.2100	4464101.5280	543770.5420	4464285.6620	36°30'52.727	40°18'36.770	727.187			0.0174	0.0083	0.0154
H3730.517	543161.4580	4463893.6580	543183.7830	4464077.7860	36°30'27.829	40°18'30.141	773.6152	740.3250	33.2902	0.0081	0.0070	0.0143
H3730.518	544303.7560	4462867.6160	544326.1020	4463051.7360	36°31'15.946	40°17'56.662	1020.522	987.1840	33.3380	0.0072	0.0072	0.0118
H3730.519	543477.2930	4462620.4160	543499.6290	4462804.5280	36°30'40.892	40°17'48.804	976.5137			0.0081	0.0075	0.0196
H3730.520	543992.5030	4461417.7130	544014.8530	4461601.8110	36°31'02.408	40°17'09.716	1033.023	999.5360	33.4870	0.0102	0.0074	0.0127
H3730.521	542919.5690	4462632.7300	542941.8970	4462816.8390	36°30'17.281	40°17'48.307	911.5079	878.1580	33.3499	0.0106	0.0102	0.0226
H3730.522	543438.7610	4461735.0930	543461.1010	4461919.1930	36°30'39.044	40°17'20.110	963.9552	930.5880	33.3672	0.0082	0.0081	0.0180
H3730.523	543478.6150	4460525.2600	543500.9630	4460709.3430	36°30'40.436	40°16'40.880	1017.186	983.8400	33.3460	0.0074	0.0069	0.0123
								Ortalama:		0.0069	0.0066	0.0105
								Maksimum		0.0228	0.0616	0.0226
								Maksimum		0.0228	0.0616	0.0226

Tablo A.2:Tokat nivelman ölçüleri dengeleme özeti ve düzeltilmiş ortometrik yükseklikler

Sıra	Nokta	S_i (km)	P_i	Ölçü(m)	V_i (mm)	Ort. Yük.(H_i)	$M_{H(mm)}$
1	32 -> 33	1.315	0.7604563	220.470	3.1665	220.4702	3.90
2	32 -> 31	1.664	0.6009615	188.340	0.4252	188.3404	4.39
3	37 -> 31	1.686	0.5931198	7.993	0.3923	7.9926	4.41
4	37 -> 36	1.381	0.724113	134.995	0.3548	134.9946	4.00
5	36 -> 35	1.249	0.8006405	0.611	5.3866	0.6114	3.80
6	38 -> 35	2.463	0.4060089	117.786	1.3791	117.7856	5.34
7	39 -> 38	1.014	0.9861933	16.052	1.5247	16.0515	3.42
8	40 -> 39	1.121	0.8920607	12.020	0.6521	12.0203	3.60
9	41 -> 40	0.957	1.0449321	99.180	1.2762	99.1803	3.33
10	103 -> 41	1.068	0.9363296	87.160	0.0717	87.1599	3.51
11	103 -> 37	1.336	0.748503	62.361	1.1694	62.3612	3.93
12	41 -> 37	1.166	0.8576329	60.549	1.5206	60.5485	3.67
13	41 -> 42	1.442	0.6934813	18.443	2.6916	18.4427	4.08
14	43 -> 42	0.957	1.0449321	127.626	2.2833	127.6263	3.33
15	43 -> 44	1.694	0.5903188	94.400	8.3028	94.4003	4.43
16	44 -> 45	1.437	0.6958942	39.570	1.5125	39.5695	4.08
17	46 -> 45	4.24	0.2358491	114.983	1.8684	114.9831	7.00
18	48 -> 46	2.367	0.4224757	115.157	11.2793	115.1573	5.23
19	48 -> 49	2.924	0.3419973	334.132	2.5535	334.1324	5.81
20	50 -> 49	5.76	0.1736111	285.509	2.0210	285.509	8.16
21	50 -> 51	1.304	0.7668712	81.444	4.7003	81.4437	3.88
22	42 -> 51	2.598	0.3849115	156.857	2.6806	156.8573	5.48
23	47 -> 46	3.563	0.2806624	26.559	1.6911	26.5593	6.42
24	47 -> 49	2.032	0.492126	2.060	0.6924	2.0603	4.85
25	64 -> 37	1.827	0.5473454	25.083	0.7118	25.0827	4.60
26	63 -> 64	0.748	1.3368984	168.692	1.0182	168.692	2.94
27	63 -> 62	0.769	1.3003901	16.978	2.2234	16.9782	2.98
28	62 -> 61	1.1	0.9090909	112.688	3.3323	112.6883	3.57
29	61 -> 60	2.402	0.4163197	10.171	0.8849	10.1711	5.27
30	60 -> 59	3.6	0.2777778	68.873	2.1567	68.8732	6.45
31	58 -> 59	0.956	1.0460251	111.271	0.9191	111.2711	3.32
32	58 -> 57	2.33	0.4291845	43.720	1.7587	43.7202	5.19
33	56 -> 57	0.993	1.0070493	168.980	1.5134	168.9795	3.39
34	55 -> 56	1.9	0.5263158	42.346	5.7459	42.3457	4.69
35	54 -> 55	1.635	0.6116208	5.909	3.8689	5.9089	4.35
36	54 -> 53	2.1	0.4761905	182.903	4.7034	182.9027	4.93
37	53 -> 52	1.414	0.7072136	106.641	5.2219	106.6412	4.04
38	52 -> 51	1.719	0.5817336	6.320	3.2370	6.3198	4.46
39	31 -> 30	2.423	0.4127115	87.747	2.9956	87.747	5.29
40	29 -> 30	1.502	0.665779	72.604	4.0603	72.6041	4.17
41	29 -> 28	1.39	0.7194245	54.566	3.8598	54.5661	4.01
42	28 -> 27	1.884	0.5307856	154.047	3.0969	154.0469	4.67
43	26 -> 27	1.791	0.5583473	237.578	7.4180	237.5776	4.55
44	25 -> 26	1.437	0.6958942	24.312	4.0129	24.312	4.08

Sıra	Nokta	S _i (km)	P _i	Ölçü(m)	Vi (mm)	Ort. Yük.(H _i)	M _H (mm)
45	24 -> 25	3.442	0.2905288	14.781	0.6635	14.7813	6.31
46	24 -> 23	1.862	0.5370569	168.779	1.0440	168.779	4.64
47	22 -> 23	0.9	1.1111111	38.702	3.8218	38.7022	3.23
48	104 -> 17	2.01	0.4975124	36.284	2.3962	36.2836	4.82
49	104 -> 54	2.26	0.4424779	21.502	2.2673	21.5023	5.11
50	104 -> 23	1.69	0.591716	130.077	8.1341	130.0769	4.42
51	104 -> 22	1.01	0.990099	144.776	0.1482	144.7761	3.42
52	54 -> 17	2.323	0.4304778	2.501	0.6285	2.5006	5.18
53	21 -> 17	1.292	0.7739938	274.322	0.7148	274.3217	3.86
54	22 -> 21	0.938	1.0660981	276.822	2.3433	276.8223	3.29
55	21 -> 16	1.287	0.7770008	264.833	1.2786	264.8333	3.86
56	22 -> 16	1.66	0.6024096	129.546	2.4333	129.5456	4.38
57	22 -> 20	1.42	0.7042254	11.989	0.0648	11.9891	4.05
58	17 -> 16	1.106	0.9041591	175.769	1.0478	175.769	3.58
59	20 -> 16	1.184	0.8445946	69.171	0.3253	69.1707	3.70
60	20 -> 19	1.239	0.8071025	94.609	0.3084	94.6093	3.78
61	15 -> 19	0.895	1.1173184	111.940	0.6595	111.9403	3.22
62	16 -> 15	0.951	1.0515247	368.393	0.5423	368.3925	3.32
63	16 -> 12	1.312	0.7621951	126.907	0.5506	126.9066	3.89
64	13 -> 12	1.422	0.7032349	53.252	1.5383	53.2515	4.05
65	13 -> 17	0.825	1.2121212	131.391	0.0150	131.391	3.09
66	10 -> 14	1.125	0.8888889	72.703	1.5892	72.7034	3.61
67	14 -> 11	1.538	0.6501951	27.055	1.1795	27.0548	4.22
68	14 -> 18	1.154	0.8665511	96.226	0.5049	96.2255	3.65
69	18 -> 15	1.318	0.7587253	31.633	0.2162	31.6328	3.90
70	18 -> 19	1.047	0.9551098	14.302	0.2483	14.3018	3.48
71	15 -> 11	1.044	0.9578544	52.430	0.2219	52.4298	3.47
72	12 -> 11	1.018	0.9823183	13.179	0.9013	13.1789	3.43
73	7 -> 10	1.419	0.7047216	184.643	0.4768	184.6425	4.05
74	10 -> 8	1.054	0.9487666	218.148	0.4706	218.1475	3.49
75	10 -> 11	1.34	0.7462687	46.684	0.1048	46.6839	3.94
76	8 -> 9	0.897	1.1148272	43.172	0.5985	43.1724	3.22
77	11 -> 9	1.226	0.8156607	17.813	0.7546	17.8132	3.76
78	4 -> 9	1.363	0.7336757	410.486	2.9944	410.486	3.97
79	12 -> 4	1.179	0.8481764	24.280	0.3026	24.2803	3.69
80	65 -> 4	1.514	0.660502	137.833	1.7564	137.8332	4.18
81	65 -> 13	1.058	0.9451796	246.859	0.3033	246.8593	3.50
82	5 -> 7	2.01	0.4975124	43.417	0.6198	43.4174	4.82
83	5 -> 6	1.519	0.6583278	65.609	1.3206	65.6087	4.19
84	8 -> 6	0.957	1.0449321	131.558	0.6889	131.5577	3.33
85	7 -> 8	1.35	0.7407407	44.159	1.0004	44.159	3.95
86	6 -> 4	1.562	0.6402049	291.018	1.3029	291.0183	4.25
87	1 -> 5	1.07	0.9345794	117.706	0.1987	117.7062	3.52
88	1 -> 6	1.64	0.6097561	173.312	0.1042	173.3121	4.35
89	1 -> 68	1.414	0.7072136	18.126	0.2621	18.1257	4.04
90	68 -> 6	1.101	0.9082652	304.870	0.7931	304.8698	3.57
91	68 -> 2	0.588	1.7006803	286.744	0.0553	286.7441	2.61

Sıra	Nokta	S_i (km)	P_i	Ölçü(m)	V_i (mm)	Ort. Yük.(H_i)	$M_{H(mm)}$
92	68 -> 4	1.613	0.6199628	101.567	0.6200	101.5674	4.32
93	2 -> 4	1.679	0.5955926	185.177	1.6752	185.1767	4.41
94	2 -> 3	1.295	0.7722008	213.437	3.2667	213.4367	3.87
95	45 -> 38	1.381	0.724113	11.873	1.5971	11.8726	4.00
96	66 -> 3	1.2	0.8333333	231.284	4.2816	231.2843	3.72
97	65 -> 66	0.944	1.059322	17.848	3.4518	17.8475	3.30
98	67 -> 3	0.97	1.0309278	81.654	7.1297	81.6541	3.35
			Ortalama		1.9822		4.14
			Maksimum		11.2793		8.16

Tablo A.3: Geometrik nivelman dengellemesi ile ortometrik yüksekliği (H) hesaplanan noktalar

Sıra	Nokta	H (m)	Nokta Adı
1	RS606	696.166	
2	RS597	831.998	
3	RS585	933.565	
4	RS586	1118.742	3730023
5	RS604	740.325	370517
6	RS605	987.184	370518
7	RS601	878.158	370521
8	RS602	943.767	
9	RS603	1161.915	3730010
10	RS600	930.588	370522
11	RS598	1115.231	370512
12	RS587	1100.929	370511
13	RS588	732.536	
14	RS599	983.840	370523
15	RS596	1083.598	370514
16	RS590	988.989	370513
17	RS589	859.443	370505
18	RS595	1056.543	370510
19	RS594	1152.769	370509
20	RS593	977.000	370508
21	RS591	714.667	
22	RS592	712.166	370507
23	AN010	726.948	3730022
24	AN009	702.636	P328
25	AN008	940.213	3720004
26	AN007	1094.260	P230
27	AN006	1148.826	3720020
28	AN005	1076.272	3730019
29	AN004	988.475	P725
30	AN003	994.795	3730017
31	AN002	888.154	2000
32	373527	667.683	3730527
33	373526	674.601	373526
34	373525	775.708	373525
35	373003	842.800	373003
36	373531	707.806	373531
37	AN0001	699.813	3720003
38	373523	842.189	373523
39	373535	724.404	373535
40	373532	708.352	373532
41	AN0016	612.653	P554
42	AN0015	675.015	3730015
43	373543	614.466	373543
44	373538	632.909	373538
45	373521	760.535	373521
46	363018	666.135	363018
47	373567	584.691	373567
48	373012	626.565	373012

Sıra	Nokta	H (m)	Nokta Adı
49	373540	741.548	373540
50	373546	626.391	373546
51	AN0014	960.523	3730016
52	AN0013	777.621	3730018
53	AN0012	771.712	3730021
54	AN0011	729.366	P390
55	AN0026	898.346	P244
56	AN0025	942.066	P216
57	AN0024	1053.337	P206
58	AN0023	984.464	P137
59	AN0022	994.635	P084
60	AN0021	881.947	P106
61	AN0020	864.968	P639
62	AN0019	696.276	P520
63	AN0018	671.194	P533
64	AN0017	673.254	P543
65	RS 197	708.256	RS 197
66	Rs 024	720.129	Rs 024
67	Rs 071	702.281	Rs 071
68	Rs 367	813.872	Rs 367
69	DN3-103	600.633	TUDKA
70	DN60-A	690.664	TUDKA

TabloA4: Tokat geoit modeli dayanak ve test noktalarının koordinat, elipsoidal, ortometrik ve geoit yükseklik değerleri (m)

DAYANAK NOKTALARI						TEST NOKTALARI					
NN	Y	X	h	H	N	NN	Y	X	h	H	N
373022	546382.598	4458710.865	760.334	726.948	33.386	3730526	550278.101	4468033.629	707.597	674.601	32.996
373021	547856.921	4463119.092	804.944	771.712	33.233	3730519	545617.766	4460792.917	976.514	943.205	33.309
373019	550518.622	4462636.521	1109.285	1076.271	33.014	3730518	545146.668	4466657.992	1020.301	987.185	33.117
373017	549406.633	4464592.344	1027.808	994.795	33.013	3730503	543477.293	4462620.416	890.047	856.700	33.347
373015	548333.301	4466201.745	708.094	675.015	33.079	3730502	542314.102	4464583.528	757.157	723.909	33.248
373012	543861.603	4468116.226	659.622	626.565	33.057	3730018	548589.457	4463649.241	810.842	777.621	33.221
372004	547410.024	4460978.574	973.378	940.213	33.165	3730016	548366.703	4464618.876	993.507	960.523	32.984
370567	539760.257	4466668.578	617.837	584.691	33.146	3730003	550621.661	4469235.568	875.711	842.800	32.911
370546	547450.403	4465546.832	659.509	626.391	33.118	3720010	540107.023	4463557.474	1195.244	1161.970	33.273
370543	549431.884	4466192.831	647.535	614.466	33.069	3720003	549988.849	4466683.625	732.844	699.813	33.031
370542	547405.285	4466434.773	708.536	675.452	33.084	3700522	543438.761	4461735.093	963.955	930.588	33.367
370540	541719.198	4466126.329	774.718	741.548	33.170	3700508	545507.940	4459497.923	1010.321	977.000	33.321
370538	546284.739	4467705.497	665.955	632.909	33.046	610	539901.003	4465412.007	696.331	663.125	33.206
370535	547816.224	4468069.238	757.431	724.404	33.027						
370527	551759.245	4467031.075	700.676	667.683	32.993						
370525	551793.876	4469492.999	808.660	775.708	32.952						
370521	546160.021	4469137.895	793.569	760.535	33.034						
370517	543161.458	4463893.658	773.615	740.325	33.290						
370516	545224.130	4465913.929	727.188	694.035	33.153						
370515	545000.203	4463836.033	865.284	831.998	33.286						
370514	544548.224	4460413.604	1116.938	1083.599	33.339						
370512	544592.807	4461268.685	1148.553	1115.232	33.322						
363018	541934.791	4469491.250	996.553	963.494	33.058						
725	549944.334	4463788.066	1021.554	988.475	33.079						
630	545640.112	4464970.088	784.900	751.714	33.186						
623	540077.412	4464529.006	747.586	714.345	33.241						
622	540461.813	4462269.022	689.166	655.885	33.281						
609	540116.613	4468729.191	685.935	652.852	33.083						
607	541743.984	4467742.905	697.233	664.125	33.108						
137	549120.009	4463267.144	1017.609	984.464	33.145						

EK: B

Tablo B1: 434 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları (m)

N.N	X	Y	$N_{ÖLÇÜ}$	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
1012	28.123	41.130	37.541	0.040	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14205	28.146	41.080	37.470	-0.038	-0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14690	28.193	41.181	37.551	0.058	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15103	28.275	41.093	37.410	-0.009	-0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15121	28.284	41.149	37.547	0.001	-0.009	-0.002	-0.017	-0.027	-0.018	-0.018	-0.017	-0.017	-0.017
15135	28.326	41.152	37.548	0.002	-0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15251	28.328	41.198	37.633	-0.006	-0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15842	28.368	41.075	37.317	0.013	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15848	28.370	41.153	37.578	-0.034	-0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16024	28.406	41.345	37.613	0.009	0.020	-0.023	0.009	-0.011	0.006	0.017	0.019	0.013	0.013
16105	28.420	41.397	37.446	0.001	-0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16302	28.497	41.326	37.461	-0.015	-0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16315	28.502	41.113	37.423	-0.016	-0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16356	28.514	41.025	37.181	-0.083	-0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16380	28.572	41.145	37.400	-0.004	-0.002	-0.004	-0.008	-0.010	0.001	-0.003	-0.004	-0.006	-0.006
16435	28.603	41.264	37.381	-0.051	-0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16459	28.616	41.026	37.135	-0.055	-0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16481	28.618	41.311	37.120	0.045	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34343	28.630	41.195	37.338	0.002	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34349	28.641	41.303	37.096	0.033	0.025	0.051	0.000	0.009	0.006	0.008	0.007	-0.001	-0.001
34351	28.705	41.044	37.126	-0.046	-0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34363	28.745	41.263	36.976	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34369	28.755	41.192	37.120	-0.009	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34370	28.793	41.248	36.905	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34377	28.848	41.242	36.792	-0.003	-0.007	0.023	0.030	0.051	-0.001	0.012	0.012	0.029	0.029
34382	28.865	41.161	36.931	0.005	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34412	28.873	41.261	36.627	0.023	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34417	29.001	41.042	36.764	0.032	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

N.N	X	Y	N _{OLC0}	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
34426	29.017	41.222	36.445	0.039	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34454	29.023	41.008	36.758	0.007	-0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34455	29.035	41.192	36.535	0.025	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34462	29.049	41.128	36.693	0.001	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34472	29.265	41.151	36.333	0.033	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34491	29.267	41.136	36.388	0.030	0.044	-0.036	0.005	-0.005	0.026	0.019	0.018	0.004	0.004
34506	29.271	41.115	36.466	0.022	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34536	29.322	41.152	36.340	-0.054	-0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34560	29.340	40.810	36.724	0.020	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34571	29.354	40.772	36.769	-0.040	-0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34574	29.361	41.006	36.656	0.070	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34636	29.389	41.037	36.656	-0.005	-0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34657	29.392	40.875	36.875	-0.016	-0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34667	29.406	40.774	36.727	0.012	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34722	29.409	41.102	36.416	-0.015	-0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34810	29.421	40.862	36.884	-0.004	-0.010	-0.011	-0.012	-0.010	-0.009	-0.008	-0.008	-0.012	-0.012
34815	29.427	41.050	36.609	-0.016	-0.032	0.000	-0.007	0.010	-0.034	-0.026	-0.026	-0.010	-0.010
34828	29.430	40.831	36.792	0.059	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34854	29.436	41.090	36.459	-0.034	-0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34858	29.465	41.013	36.727	-0.025	-0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34859	29.466	40.788	36.794	-0.012	-0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
34878	29.580	40.950	36.964	-0.074	-0.066	0.003	-0.069	-0.100	-0.082	-0.058	-0.049	-0.069	-0.069
1012	29.035	41.192	36.535	0.025	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			MAK	8.312	7.036	5.079	6.853	10.042	8.169	5.765	4.900	6.882	6.877
			MIN	0.076	0.193	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			ORT	-0.155	-0.179	0.002	-0.138	-0.189	-0.211	-0.113	-0.032	-0.136	-0.136
			KOH	3.298	3.051	1.010	1.120	1.667	1.342	1.023	0.928	1.123	1.100
			MORT	2.506	2.441	0.308	0.315	0.465	0.365	0.336	0.320	0.321	0.320
			> 5 cm	8	5	1	1	2	1	1	0	1	1

Tablo B2: 393 dayanak noktalı modelden hesaplanan N_{HESAP-ÖLÇÜ} farkları (m)

N.N	X	Y	N _{ÖLÇÜ}	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
1012	28.123	41.130	37.541	0.042	0.032	0.000	0.013	0.013	0.022	-0.085	0.016	0.014	0.014
14205	28.146	41.080	37.470	-0.041	-0.026	0.025	-0.001	0.004	-0.014	-0.071	-0.010	-0.005	-0.005
14690	28.193	41.181	37.551	0.058	0.068	0.057	0.077	0.076	0.077	-0.058	0.077	0.079	0.079
15103	28.275	41.093	37.410	-0.007	-0.010	0.014	-0.011	-0.018	-0.012	-0.054	-0.009	-0.009	-0.009
15121	28.284	41.149	37.547	-0.004	-0.004	-0.002	-0.017	-0.029	-0.019	-0.049	-0.018	-0.017	-0.017
15135	28.326	41.152	37.548	-0.005	-0.005	-0.015	0.002	0.007	-0.005	-0.046	0.000	0.002	0.002
15251	28.328	41.198	37.633	-0.010	-0.018	-0.040	-0.031	-0.038	-0.015	-0.045	-0.010	-0.029	-0.029
15842	28.368	41.075	37.317	0.016	0.012	-0.013	-0.031	-0.035	-0.013	-0.038	-0.018	-0.030	-0.030
15848	28.370	41.153	37.578	-0.041	-0.041	-0.034	-0.028	-0.037	-0.020	-0.027	-0.024	-0.027	-0.027
16024	28.406	41.345	37.613	0.003	0.010	-0.022	0.012	-0.009	0.009	-0.026	0.016	0.013	0.012
16105	28.420	41.397	37.446	-0.010	-0.023	0.027	-0.011	0.014	0.001	-0.021	-0.008	-0.011	-0.011
16302	28.497	41.326	37.461	-0.018	-0.015	-0.020	-0.020	-0.023	-0.025	-0.019	-0.013	-0.021	-0.021
16315	28.502	41.113	37.423	-0.021	-0.013	-0.003	-0.013	0.022	-0.024	-0.019	-0.015	-0.013	-0.013
16356	28.514	41.025	37.181	-0.083	-0.082	-0.129	-0.101	-0.090	-0.077	-0.018	-0.086	-0.096	-0.096
16380	28.572	41.145	37.400	-0.013	-0.004	-0.004	-0.008	-0.010	0.002	-0.014	-0.004	-0.006	-0.006
16435	28.603	41.264	37.381	-0.052	-0.048	-0.037	-0.061	-0.067	-0.085	-0.013	-0.069	-0.061	-0.061
16459	28.616	41.026	37.135	-0.053	-0.049	-0.115	-0.037	-0.065	-0.052	-0.013	-0.028	-0.035	-0.035
16481	28.618	41.311	37.120	0.040	0.041	0.039	-0.018	-0.018	0.005	-0.013	0.002	-0.018	-0.018
34343	28.630	41.195	37.338	-0.001	-0.001	-0.030	-0.007	-0.011	-0.006	-0.012	0.006	-0.003	-0.004
34349	28.641	41.303	37.096	0.028	0.030	0.057	-0.002	0.005	0.003	-0.010	0.010	-0.003	-0.003
34351	28.705	41.044	37.126	-0.045	-0.042	-0.097	-0.068	-0.075	-0.063	-0.009	-0.050	-0.067	-0.067
34363	28.745	41.263	36.976	-0.001	0.008	-0.017	-0.014	-0.017	-0.002	-0.009	-0.002	-0.011	-0.011
34369	28.755	41.192	37.120	-0.008	-0.002	0.028	0.030	0.034	0.020	-0.008	0.027	0.033	0.033
34370	28.793	41.248	36.905	-0.001	0.008	-0.002	0.004	0.002	0.012	-0.008	0.008	0.005	0.005
34377	28.848	41.242	36.792	-0.005	0.000	0.023	0.030	0.051	0.000	-0.003	0.015	0.029	0.029
34382	28.865	41.161	36.931	0.010	0.012	0.005	0.021	0.031	0.015	-0.003	0.019	0.019	0.019
34412	28.873	41.261	36.627	0.018	0.012	0.010	-0.015	-0.020	0.005	-0.003	-0.006	-0.015	-0.015
34417	29.035	41.192	36.535	0.033	0.028	0.000	0.003	-0.008	0.003	-0.001	0.004	0.003	0.003

N.N	X	Y	N _{OLC0}	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
34426	29.049	41.128	36.693	0.039	0.030	-0.015	0.011	0.025	0.017	-0.001	0.030	0.013	0.013
34454	29.265	41.151	36.333	0.007	0.001	0.032	0.017	0.024	0.007	0.004	0.013	0.016	0.016
34455	29.267	41.136	36.388	0.032	0.032	-0.076	0.008	-0.003	-0.005	0.005	0.017	0.006	0.006
34462	29.271	41.115	36.466	0.013	0.008	-0.035	-0.029	-0.057	0.001	0.008	-0.015	-0.022	-0.022
34472	29.322	41.152	36.340	0.037	0.042	-0.013	0.046	0.029	0.045	0.010	0.056	0.037	0.037
34491	29.340	40.810	36.724	0.037	0.045	-0.013	0.041	0.028	0.040	0.010	0.047	0.031	0.031
34506	29.354	40.772	36.769	0.030	0.038	0.060	0.022	0.020	0.028	0.010	0.026	0.017	0.017
34536	29.361	41.006	36.656	-0.055	-0.054	-0.034	-0.048	-0.048	-0.053	0.011	-0.048	-0.050	-0.050
34560	29.389	41.037	36.656	0.019	0.031	0.034	0.038	0.040	0.034	0.012	0.035	0.038	0.038
34571	29.392	40.875	36.875	-0.043	-0.025	-0.032	-0.021	-0.065	-0.022	0.014	-0.023	-0.024	-0.024
34574	29.406	40.774	36.727	0.067	0.071	0.040	0.051	-0.080	0.060	0.017	0.056	0.054	0.054
34636	29.409	41.102	36.416	-0.006	-0.012	-0.092	-0.056	-0.031	-0.037	0.017	-0.043	-0.061	-0.060
34657	29.421	40.862	36.884	-0.010	-0.012	-0.043	-0.020	-0.041	-0.010	0.021	-0.012	-0.019	-0.019
34667	29.427	41.050	36.609	0.011	0.023	0.000	0.001	-0.001	0.013	0.022	0.008	0.000	0.000
34722	29.430	40.831	36.792	-0.016	-0.005	0.046	-0.008	-0.059	-0.014	0.027	-0.011	-0.010	-0.009
34810	29.436	41.090	36.459	0.002	-0.006	-0.011	-0.012	-0.009	-0.009	0.028	-0.009	-0.012	-0.012
34815	29.465	41.013	36.727	-0.017	-0.024	-0.001	-0.008	0.010	-0.038	0.035	-0.024	-0.010	-0.010
34828	29.466	40.788	36.794	0.066	0.044	0.044	0.040	0.037	0.042	0.040	0.039	0.040	0.040
34854	29.580	40.950	36.964	-0.036	-0.027	-0.017	-0.047	-0.072	-0.044	0.048	-0.054	-0.048	-0.047
34858	29.035	41.192	36.535	-0.029	-0.046	-0.076	-0.052	-0.096	-0.044	0.055	-0.043	-0.051	-0.050
34859	29.049	41.128	36.693	-0.014	-0.021	-0.005	-0.007	-0.005	-0.008	0.056	-0.001	-0.007	-0.007
34878	29.265	41.151	36.333	-0.074	-0.097	0.001	-0.068	-0.100	-0.086	0.076	-0.053	-0.069	-0.069
1012	29.267	41.136	36.388	0.042	0.032	0.000	0.013	0.013	0.022	-0.085	0.016	0.014	0.014
			MAK	8.277	9.735	12.851	10.111	9.973	8.591	8.462	8.643	9.630	9.640
			MIN	0.087	0.009	0.014	0.073	0.100	0.021	0.142	0.033	0.046	0.047
			ORT	-0.220	-0.167	-1.003	-0.811	-1.539	-0.680	-0.341	-0.358	-0.812	-0.813
			KOH	3.385	3.450	4.343	3.472	4.343	3.439	3.237	3.231	3.417	3.417
			MORT	2.650	2.675	3.165	2.667	3.419	2.525	2.446	2.467	2.609	2.610
			> 5 cm	8	5	9	8	8	8	7	8	9	8

Tablo B3: 200 dayanak noktalı modelden hesaplanan $N_{HESAP-ölçü}$ farkları (m)

N.N	X	Y	$N_{ölçü}$	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
1012	28.123	41.130	37.541	0.045	0.030	-0.009	-0.008	-0.017	0.025	0.009	0.006	0.009	0.009
14205	28.146	41.080	37.470	-0.030	0.000	0.025	0.004	0.015	-0.011	-0.004	-0.004	-0.005	-0.005
14690	28.193	41.181	37.551	0.064	0.073	0.078	0.084	0.081	0.074	0.080	0.080	0.081	0.081
15103	28.275	41.093	37.410	0.003	-0.002	-0.014	-0.025	-0.031	-0.010	-0.013	-0.014	-0.019	-0.019
15121	28.284	41.149	37.547	0.009	-0.003	-0.002	-0.011	-0.011	-0.012	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011
15135	28.326	41.152	37.548	0.010	-0.003	-0.009	0.001	0.001	-0.010	0.000	-0.001	-0.002	-0.002
15251	28.328	41.198	37.633	0.005	-0.013	-0.043	-0.017	-0.023	-0.004	-0.003	-0.001	-0.012	-0.013
15842	28.368	41.075	37.317	0.021	0.020	-0.056	-0.032	-0.036	-0.006	-0.014	-0.015	-0.028	-0.028
15848	28.370	41.153	37.578	-0.025	-0.039	-0.034	-0.026	-0.027	-0.033	-0.027	-0.027	-0.026	-0.026
16024	28.406	41.345	37.613	0.006	0.020	-0.023	0.016	0.019	-0.002	0.007	0.006	0.009	0.008
16105	28.420	41.397	37.446	0.007	-0.032	-0.004	-0.023	-0.028	-0.004	-0.008	-0.004	-0.016	-0.016
16302	28.497	41.326	37.461	-0.017	-0.013	-0.021	-0.021	-0.022	-0.029	-0.019	-0.017	-0.022	-0.022
16315	28.502	41.113	37.423	-0.015	-0.012	-0.026	-0.029	-0.025	-0.025	-0.028	-0.029	-0.030	-0.030
16356	28.514	41.025	37.181	-0.085	-0.067	-0.084	-0.076	-0.085	-0.057	-0.055	-0.054	-0.070	-0.070
16380	28.572	41.145	37.400	0.000	-0.002	-0.006	-0.014	-0.014	-0.008	-0.003	-0.002	-0.009	-0.009
16435	28.603	41.264	37.381	-0.055	-0.054	-0.022	-0.055	-0.051	-0.088	-0.064	-0.064	-0.064	-0.064
16459	28.616	41.026	37.135	-0.070	-0.046	-0.101	-0.012	0.001	-0.059	-0.028	-0.027	-0.039	-0.039
16481	28.618	41.311	37.120	0.046	0.038	0.046	-0.012	-0.017	0.017	0.010	0.010	-0.003	-0.004
34343	28.630	41.195	37.338	0.005	0.010	-0.036	-0.018	-0.023	-0.002	-0.003	-0.005	-0.007	-0.007
34349	28.641	41.303	37.096	0.034	0.025	0.028	-0.002	0.001	0.008	0.011	0.011	-0.004	-0.003
34351	28.705	41.044	37.126	-0.061	-0.051	-0.094	-0.063	-0.068	-0.061	-0.053	-0.054	-0.065	-0.065
34363	28.745	41.263	36.976	0.002	-0.003	-0.017	-0.011	-0.014	-0.001	-0.002	-0.002	-0.009	-0.009
34369	28.755	41.192	37.120	-0.010	0.008	0.046	0.039	0.037	0.004	0.030	0.029	0.028	0.028
34370	28.793	41.248	36.905	0.000	-0.004	-0.004	-0.005	-0.005	0.002	-0.005	-0.005	-0.006	-0.006
34377	28.848	41.242	36.792	-0.002	-0.011	-0.043	-0.016	-0.015	-0.010	-0.018	-0.017	-0.018	-0.018
34382	28.865	41.161	36.931	0.007	0.021	0.081	0.034	0.033	0.019	0.041	0.037	0.031	0.031
34412	28.873	41.261	36.627	0.031	0.016	0.034	-0.005	-0.011	0.022	0.010	0.011	0.005	0.005
34417	29.001	41.042	36.764	0.044	0.032	-0.004	-0.030	-0.047	0.010	-0.005	-0.008	-0.008	-0.008

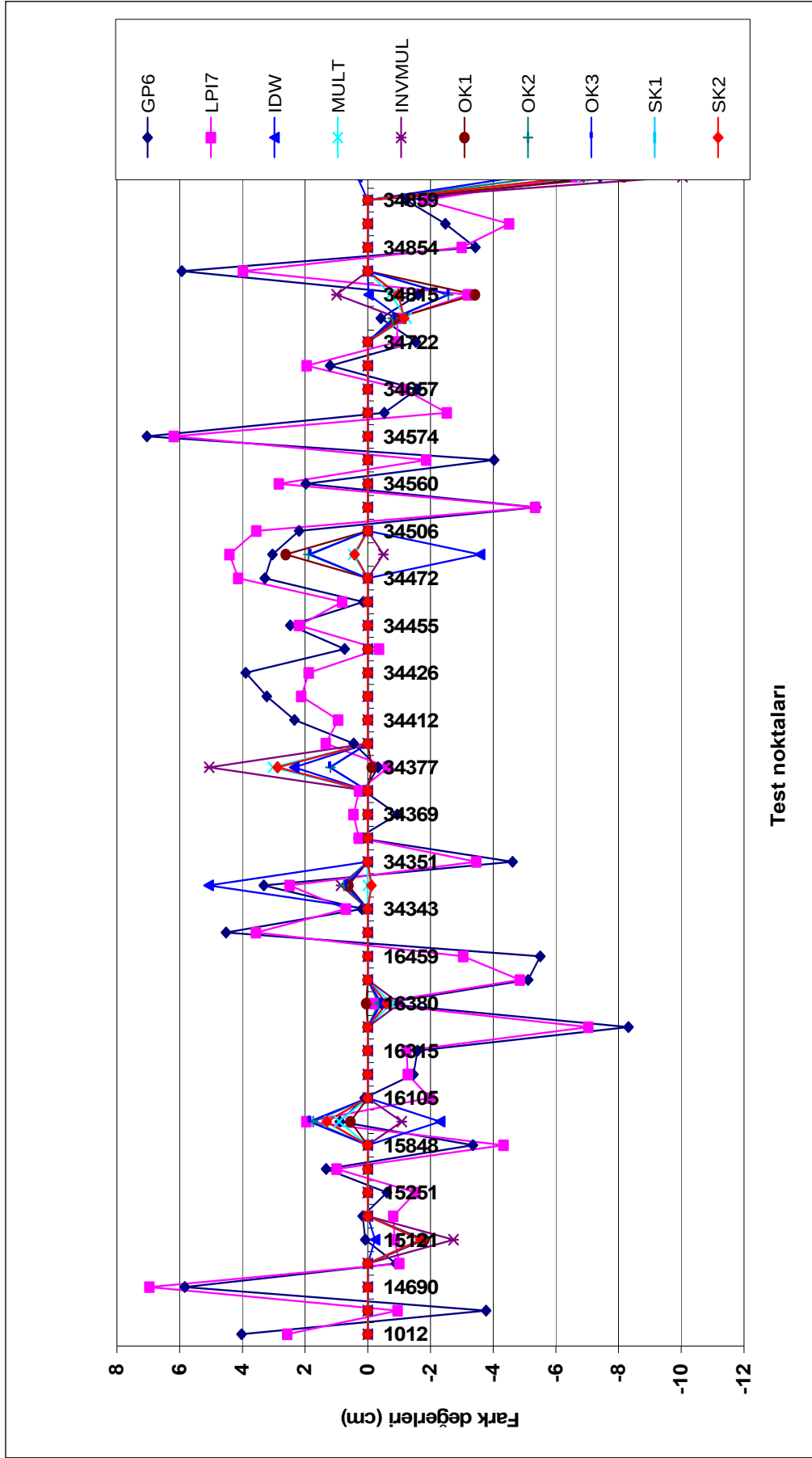
N.N	X	Y	N ₀ LC0	GP6	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
34426	29.017	41.222	36.445	0.046	0.028	0.007	0.026	0.039	0.020	0.017	0.020	0.013	0.013
34454	29.023	41.008	36.758	0.014	-0.001	-0.019	-0.026	-0.041	-0.007	-0.012	-0.011	-0.021	-0.021
34455	29.035	41.192	36.535	0.028	0.024	-0.079	-0.022	-0.021	-0.008	-0.009	-0.007	-0.024	-0.024
34462	29.049	41.128	36.693	0.010	0.012	-0.011	-0.028	-0.035	-0.005	-0.017	-0.020	-0.019	-0.019
34472	29.265	41.151	36.333	0.036	0.047	-0.013	0.052	0.051	0.041	0.054	0.054	0.041	0.041
34491	29.267	41.136	36.388	0.034	0.049	-0.018	0.041	0.028	0.037	0.048	0.049	0.036	0.036
34506	29.271	41.115	36.466	0.028	0.040	0.062	0.023	0.013	0.026	0.026	0.026	0.021	0.021
34536	29.322	41.152	36.340	-0.053	-0.051	-0.032	-0.050	-0.046	-0.052	-0.050	-0.051	-0.055	-0.055
34560	29.340	40.810	36.724	0.018	0.027	0.046	0.034	0.032	0.031	0.029	0.029	0.034	0.034
34571	29.354	40.772	36.769	-0.036	-0.027	0.013	0.008	0.012	-0.028	-0.022	-0.020	-0.006	-0.006
34574	29.361	41.006	36.656	0.096	0.082	0.036	0.067	0.066	0.078	0.068	0.067	0.068	0.068
34636	29.389	41.037	36.656	0.010	-0.012	-0.041	-0.031	-0.047	-0.018	-0.015	-0.014	-0.025	-0.025
34657	29.392	40.875	36.875	0.001	-0.001	0.034	0.016	0.018	-0.018	0.008	0.006	0.005	0.005
34667	29.406	40.774	36.727	0.017	0.031	0.010	-0.010	-0.011	0.030	0.009	0.007	0.008	0.008
34722	29.409	41.102	36.416	-0.015	-0.011	0.050	0.020	0.021	-0.009	0.012	0.013	0.011	0.011
34810	29.421	40.862	36.884	0.011	-0.003	-0.036	-0.015	-0.015	-0.011	-0.013	-0.014	-0.015	-0.015
34815	29.427	41.050	36.609	-0.009	-0.026	-0.044	-0.028	-0.031	-0.027	-0.026	-0.027	-0.030	-0.030
34828	29.430	40.831	36.792	0.067	0.046	0.045	0.039	0.038	0.052	0.041	0.040	0.041	0.041
34854	29.436	41.090	36.459	-0.035	-0.032	-0.010	-0.051	-0.049	-0.039	-0.044	-0.044	-0.049	-0.049
34858	29.465	41.013	36.727	-0.013	-0.038	-0.036	-0.024	-0.025	-0.036	-0.029	-0.027	-0.033	-0.033
34859	29.466	40.788	36.794	-0.007	-0.015	0.009	0.018	0.034	0.001	0.005	0.006	-0.001	-0.001
34878	29.580	40.950	36.964	-0.069	-0.062	-0.002	-0.056	-0.051	-0.091	-0.062	-0.056	-0.066	-0.066
1012	28.123	41.130	37.541	0.045	0.030	-0.009	-0.008	-0.017	0.025	0.009	0.006	0.009	0.009
			MAK	9.629	8.223	10.145	8.373	8.525	9.138	7.987	8.039	8.099	8.097
			Min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			ORT	0.300	0.090	-0.690	-0.660	-0.800	-0.560	-0.290	-0.290	-0.750	-0.750
			KOH	3.630	3.240	4.140	3.340	3.520	3.460	3.090	3.054	4.140	3.250
			MORT	2.728	2.629	3.285	2.741	2.962	2.557	2.352	2.318	2.511	2.512
			> 5 cm	10	8	9	9	8	10	9	9	8	8

Tablo B4: 50 dayanak noktalı modelden hesaplanan $N_{\text{HESAP-ÖLÇÜ}}$ farkları (m)

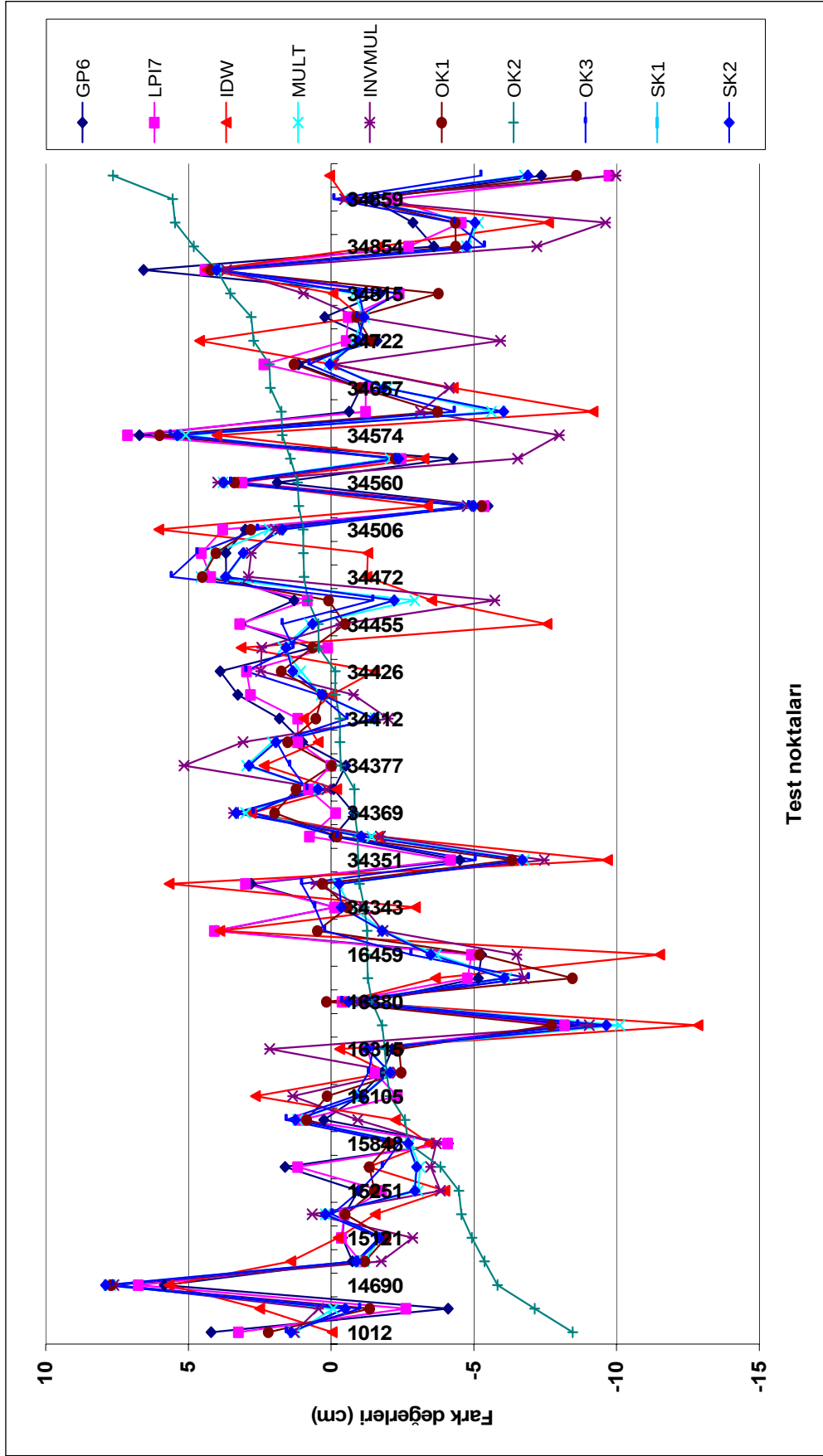
N.N	X	Y	$N_{\text{ölçü}}$	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
1012	28.123	41.130	37.541	0.032	0.026	0.098	0.098	0.098	0.074	0.050	0.064	0.064
14205	28.146	41.080	37.470	-0.046	-0.055	-0.030	-0.030	-0.030	-0.032	-0.024	-0.025	-0.025
14690	28.193	41.181	37.551	0.081	0.025	0.107	0.107	0.107	0.108	0.113	0.095	0.095
15103	28.275	41.093	37.410	-0.024	0.066	-0.090	-0.090	-0.090	-0.018	-0.002	-0.023	-0.022
15121	28.284	41.149	37.547	0.019	0.048	-0.044	-0.044	-0.044	-0.004	0.008	-0.019	-0.019
15135	28.326	41.152	37.548	0.031	0.044	-0.030	-0.030	-0.030	-0.012	0.007	-0.016	-0.016
15251	28.328	41.198	37.633	0.056	-0.033	0.017	0.017	0.017	0.006	0.023	0.012	0.012
15842	28.368	41.075	37.317	-0.002	0.123	0.026	0.026	0.026	-0.027	0.002	-0.032	-0.032
15848	28.370	41.153	37.578	0.005	0.012	0.024	0.024	0.024	0.017	0.025	0.024	0.024
16024	28.406	41.345	37.613	-0.003	0.062	-0.034	-0.034	-0.034	-0.052	0.017	-0.046	-0.046
16105	28.420	41.397	37.446	-0.053	0.025	-0.079	-0.079	-0.079	-0.039	0.010	-0.031	-0.030
16302	28.497	41.326	37.461	-0.014	0.020	-0.004	-0.004	-0.004	-0.014	0.013	-0.016	-0.017
16315	28.502	41.113	37.423	0.009	-0.086	0.065	0.065	0.065	0.006	-0.027	-0.013	-0.014
16356	28.514	41.025	37.181	-0.104	0.070	-0.096	-0.096	-0.096	-0.047	-0.070	-0.045	-0.044
16380	28.572	41.145	37.400	0.042	-0.097	0.074	0.074	0.074	-0.010	-0.010	-0.015	-0.017
16435	28.603	41.264	37.381	-0.026	0.021	-0.034	-0.034	-0.034	-0.014	-0.049	-0.051	-0.051
16459	28.616	41.026	37.135	-0.071	-0.279	-0.106	-0.106	-0.106	-0.065	-0.087	-0.135	-0.135
16481	28.618	41.311	37.120	0.052	-0.034	0.070	0.070	0.070	0.087	0.071	0.057	0.057
34343	28.630	41.195	37.338	0.046	-0.037	0.041	0.041	0.041	0.008	0.003	0.003	0.002
34349	28.641	41.303	37.096	0.042	-0.088	0.054	0.054	0.054	0.059	0.055	0.032	0.032
34351	28.705	41.044	37.126	-0.048	0.027	-0.061	-0.061	-0.061	-0.043	-0.068	-0.072	-0.072
34363	28.745	41.263	36.976	0.013	0.030	-0.021	-0.021	-0.021	0.020	0.013	-0.001	-0.001
34369	28.755	41.192	37.120	0.009	-0.103	0.009	0.009	0.009	0.001	-0.011	-0.019	-0.019
34370	28.793	41.248	36.905	0.009	0.087	-0.041	-0.041	-0.041	-0.011	0.006	-0.014	-0.015
34377	28.848	41.242	36.792	0.003	-0.125	-0.032	-0.032	-0.032	-0.018	0.002	-0.032	-0.032
34382	28.865	41.161	36.931	0.008	-0.069	0.037	0.037	0.037	0.007	0.008	-0.001	-0.002
34412	28.873	41.261	36.627	0.035	-0.017	0.025	0.025	0.025	0.025	0.042	0.017	0.017
34417	29.001	41.042	36.764	0.046	-0.027	-0.012	-0.012	-0.012	0.019	0.032	-0.015	-0.016
34426	29.017	41.222	36.445	0.047	-0.017	0.024	0.024	0.024	0.035	0.041	0.003	0.003
34454	29.023	41.008	36.758	0.023	-0.024	-0.046	-0.046	-0.046	-0.011	0.007	-0.033	-0.033

N.N	X	Y	N _{LEV}	LPI7	IDW	MULT	IMUL	OK1	OK2	OK3	SK1	SK2
34455	29.035	41.192	36.535	0.022	-0.002	-0.042	-0.042	-0.042	0.005	0.014	-0.050	-0.050
34462	29.049	41.128	36.693	-0.010	-0.025	-0.076	-0.076	-0.076	-0.020	-0.010	-0.065	-0.066
34472	29.265	41.151	36.333	0.033	0.135	0.020	0.020	0.020	0.022	0.033	-0.017	-0.017
34491	29.267	41.136	36.388	0.024	0.138	0.017	0.017	0.017	0.022	0.032	-0.012	-0.012
34506	29.271	41.115	36.466	0.007	0.075	0.010	0.010	0.010	0.016	0.026	-0.005	-0.005
34536	29.322	41.152	36.340	-0.047	-0.081	-0.069	-0.069	-0.069	-0.057	-0.058	-0.092	-0.092
34560	29.340	40.810	36.724	0.011	0.025	0.024	0.024	0.024	0.022	0.010	0.026	0.026
34571	29.354	40.772	36.769	-0.045	-0.033	-0.080	-0.080	-0.080	-0.111	-0.113	-0.040	-0.040
34574	29.361	41.006	36.656	0.072	0.035	0.060	0.060	0.060	0.061	0.074	0.061	0.061
34636	29.389	41.037	36.656	-0.025	0.031	-0.025	-0.025	-0.025	-0.027	-0.014	-0.034	-0.034
34657	29.392	40.875	36.875	0.007	-0.070	-0.025	-0.025	-0.025	-0.014	-0.015	-0.042	-0.043
34667	29.406	40.774	36.727	0.000	-0.010	0.004	0.004	0.004	0.008	0.013	0.004	0.004
34722	29.409	41.102	36.416	-0.028	-0.070	-0.020	-0.020	-0.020	-0.027	-0.030	-0.040	-0.040
34810	29.421	40.862	36.884	0.014	-0.065	-0.021	-0.021	-0.021	-0.013	-0.003	-0.033	-0.033
34815	29.427	41.050	36.609	-0.044	-0.046	-0.033	-0.033	-0.033	-0.048	-0.034	-0.054	-0.055
34828	29.430	40.831	36.792	0.061	0.030	0.050	0.050	0.050	0.055	0.074	0.047	0.047
34854	29.436	41.090	36.459	-0.052	-0.045	-0.043	-0.043	-0.043	-0.052	-0.053	-0.064	-0.064
34858	29.465	41.013	36.727	-0.052	-0.054	-0.042	-0.042	-0.042	-0.070	-0.051	-0.074	-0.074
34859	29.466	40.788	36.794	-0.026	-0.002	0.031	0.031	0.031	0.065	0.072	0.052	0.052
34878	29.580	40.950	36.964	-0.100	-0.060	-0.079	-0.079	-0.079	-0.119	-0.119	-0.176	-0.178
1012	28.123	41.130	37.541	0.032	0.026	0.098	0.098	0.098	0.074	0.050	0.064	0.064
			MAK	10.392	27.910	10.746	10.746	20.590	11.872	11.942	17.629	17.768
			MIN	0.009	0.157	0.382	0.382	0.100	0.096	0.156	0.132	0.130
			ORT	0.083	-1.965	-1.056	-1.056	-2.540	-0.519	-0.164	-2.006	-2.022
			KOH	4.160	7.200	5.190	5.250	5.560	4.510	4.650	5.120	5.140
			MORT	3.348	5.621	4.407	4.407	4.130	3.447	3.483	3.899	3.909
			> 5 cm	11	22	16	16	15	14	14	15	15

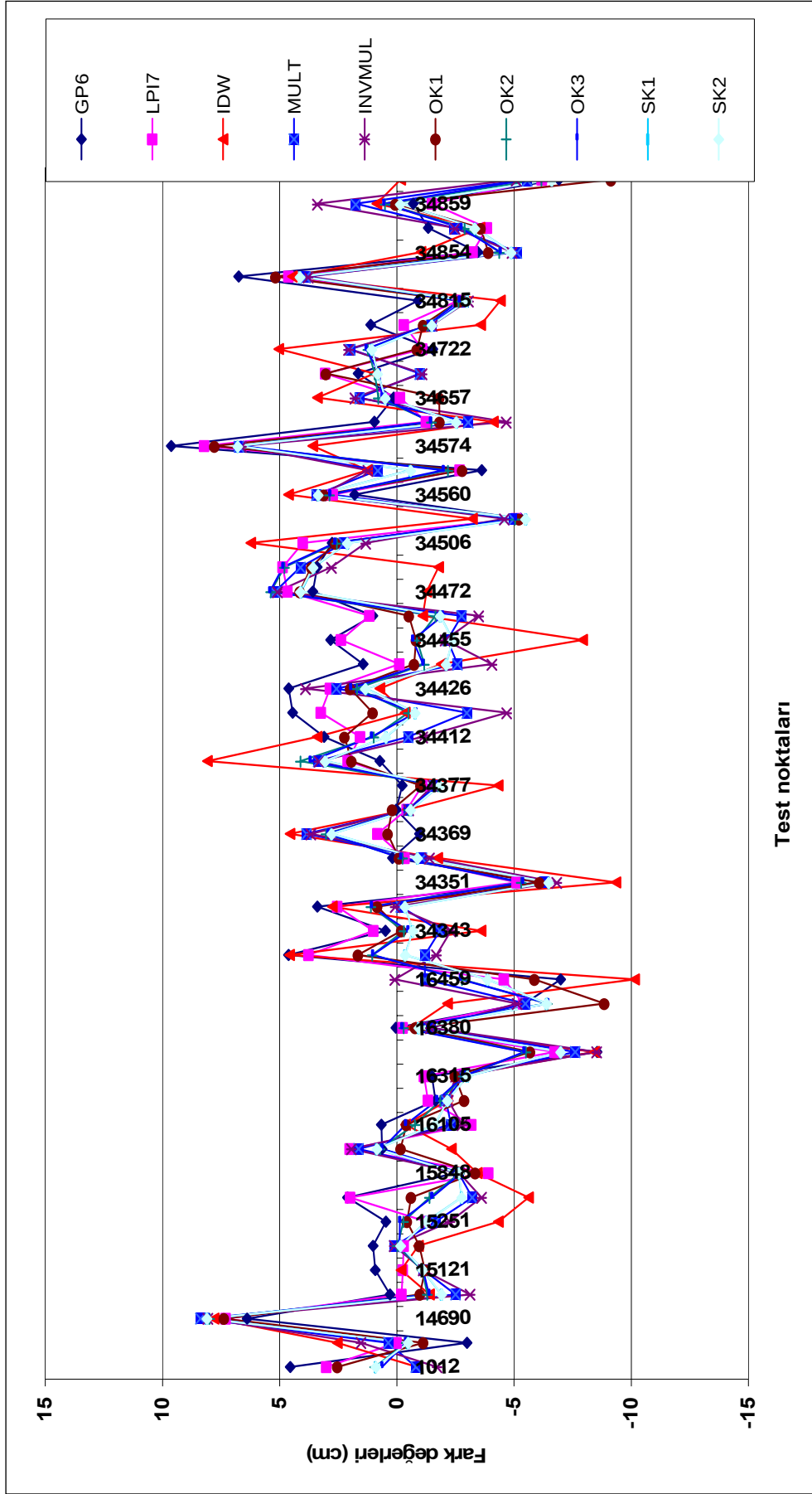
EK: C



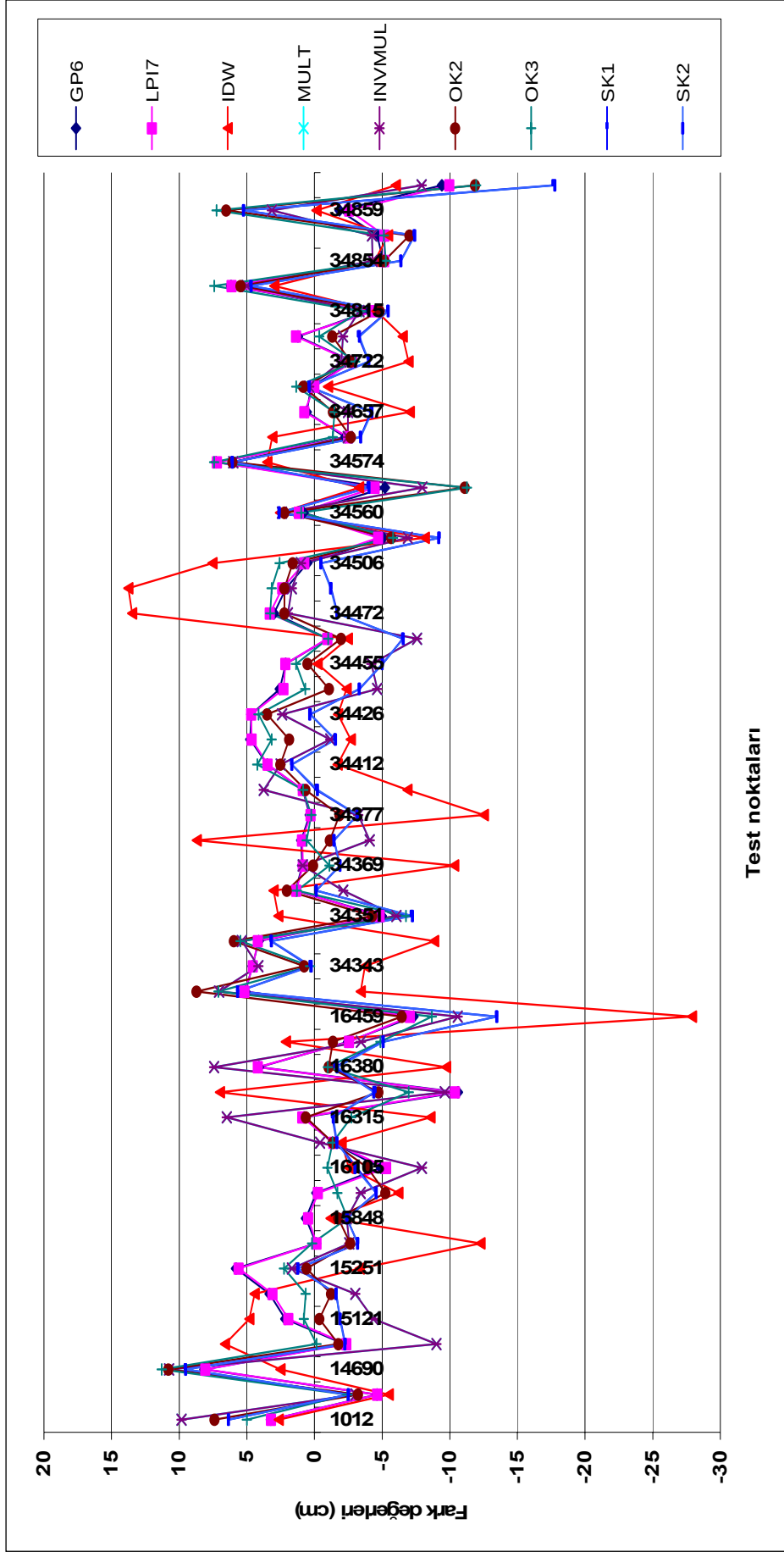
Şekil C.1: 434 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farkları grafiği (cm)



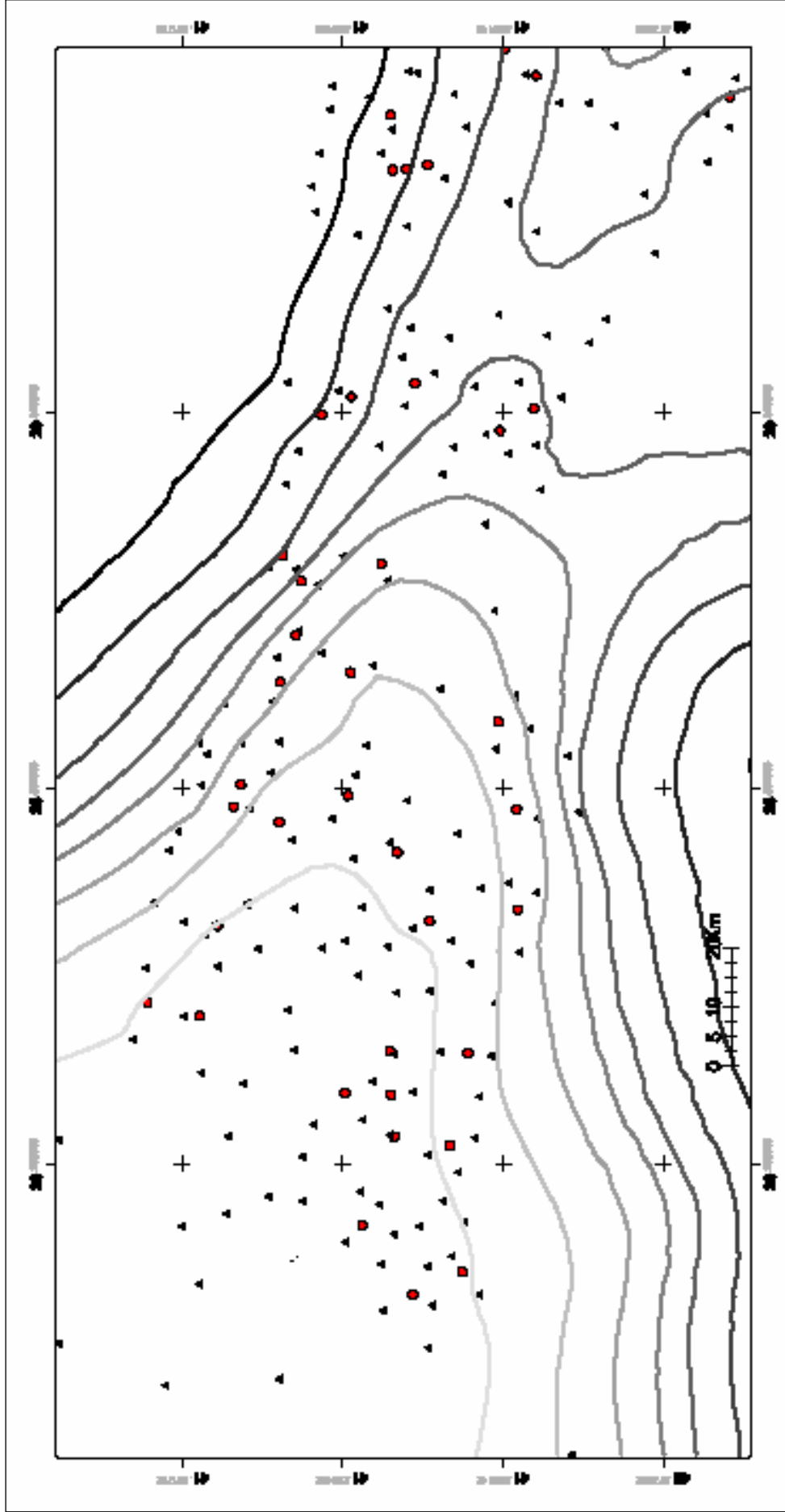
Şekil C.2: 393 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HESAP-ÖLCÜ}$ farkları grafiği (cm)



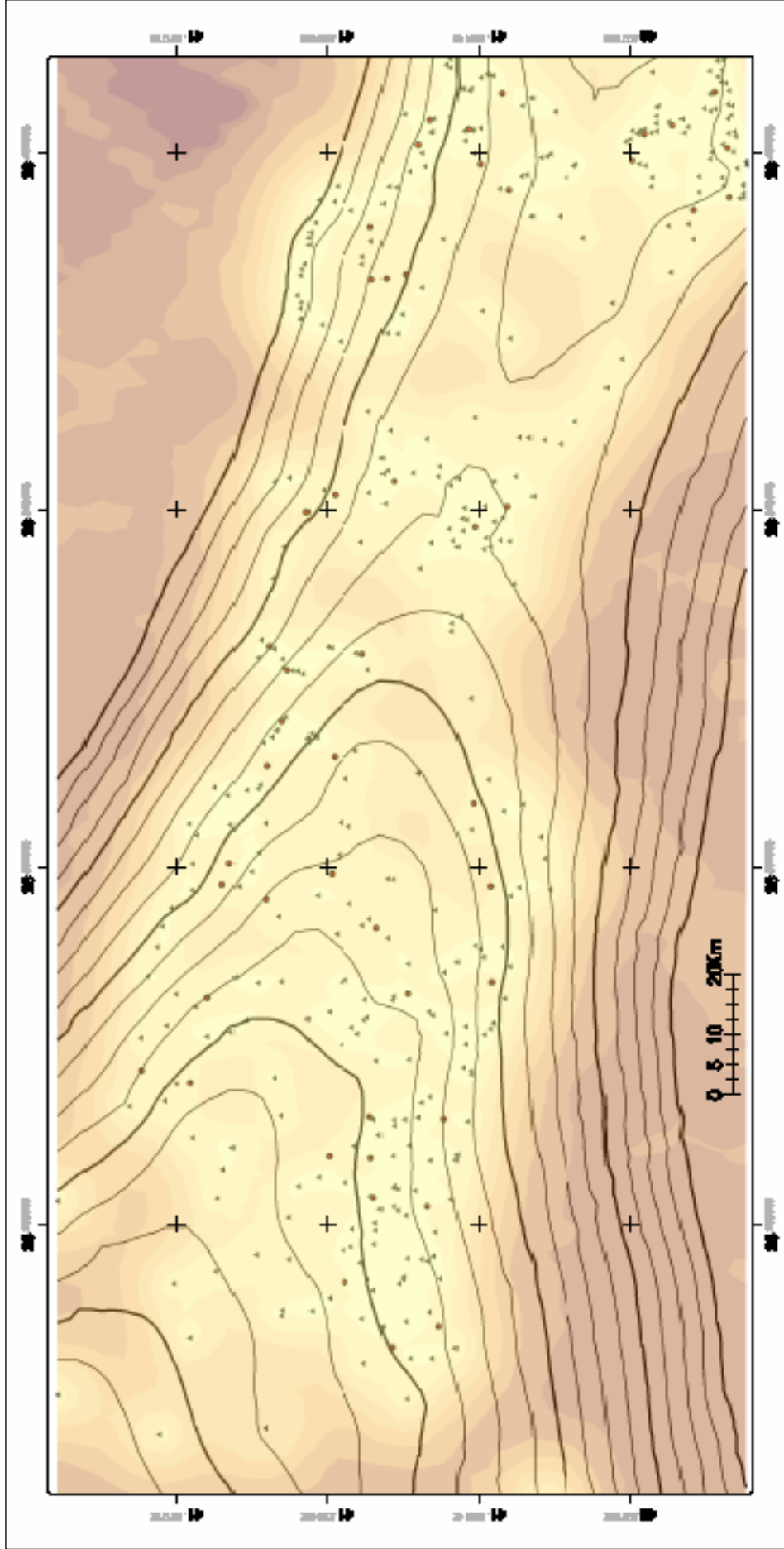
Şekil C.3: 200 dayanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{\text{HESAP-ÖLÇÜ}}$ farkları grafiği (cm)



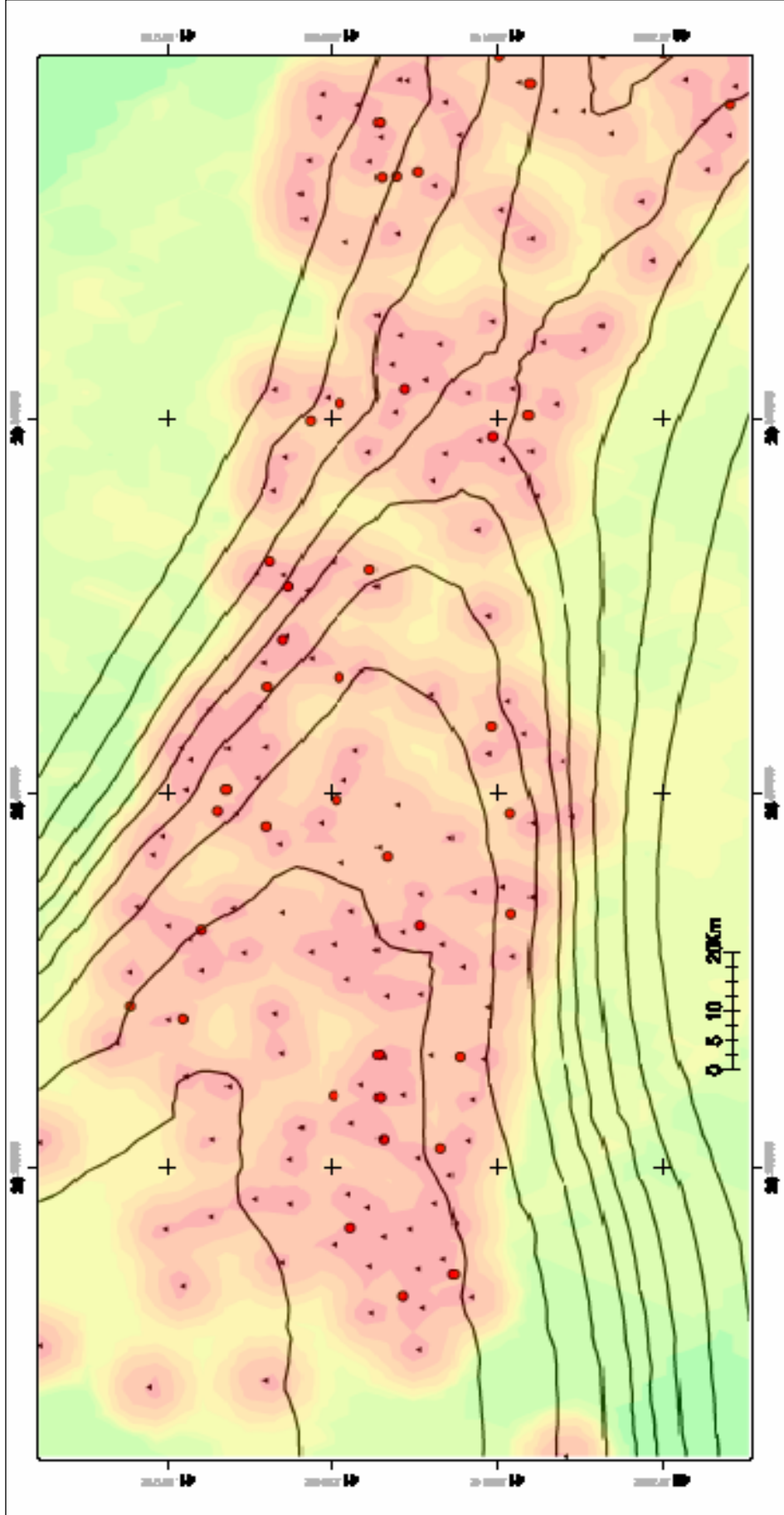
Sekil C.4: 50 davanak noktalı modelden 50 test noktası için hesaplanan $N_{HFSAP_01\ cm}$ farkları grafiği (cm)



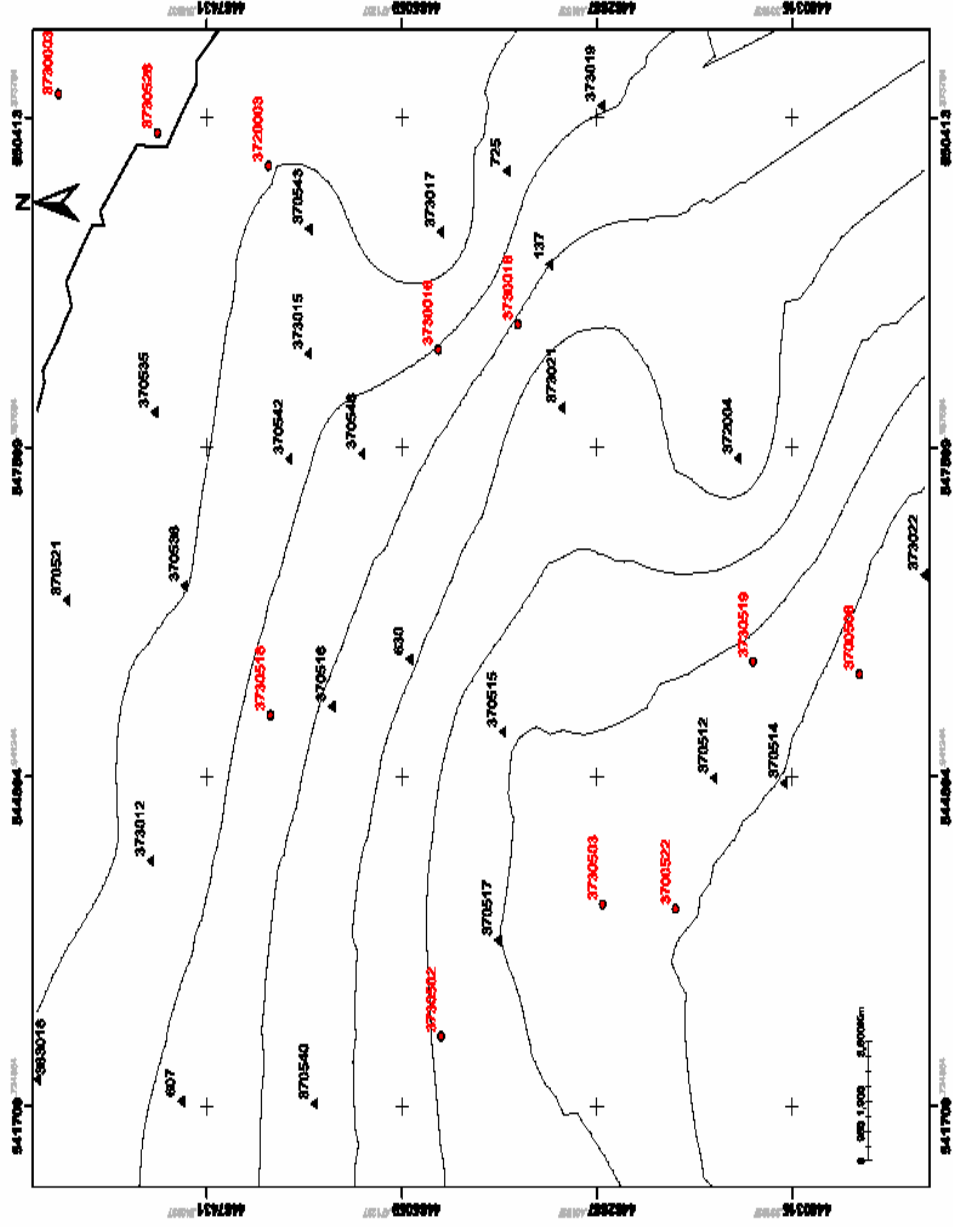
Sekil C.5: 434 davanak noktali modelden Ordinary Kriging yöntemi ile üretilen geoit es yükseklik haritasi



Şekil C.6: 434 dayanak noktalı modelden Ordinary Kriging yöntemi ile üretilen geoit eş yükseklik haritası



Şekil C.7: 200 dayanak noktalı modelden Ordinary Kriging yöntemi ile üretilen geoit eş yükseklik haritası



Şekil C.8:30 dayanak noktalı modelden Ordinary Kriging yöntemi ile üretilen Tokat geoit eş yükseklik haritası

ÖZGEÇMİŞ

1961 yılında Kahramanmaraş'ta dünyaya geldi. İlk ve orta öğrenimini Kahramanmaraş ve Kayseri'de tamamladı. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1984–1993 yılları arasında Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumunda mühendis olarak görev yaptı. 1993 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesinde Öğretim görevlisi olarak göreve başladı. 1998 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Jeodezi ve Fotogrametri ABD' da yüksek lisansını tamamladı. 1999 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü' nde doktora öğretimine başladı. Halen aynı statüde çalışmaya devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.