İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL METROPOLİTAN ALANINDA GEOİT ARAŞTIRMASI

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Mehmet YILMAZ

Anabilim Dalı : Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği
Programı : Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Ersoy ARSLAN

KASIM 2005

ÖNSÖZ

"İstanbul Metropolitan Alanında Geoit Araştırması**"** adlı tez çalışmam boyunca bana her türlü yardımda bulunan, beni yönlendiren tez danışmanım ve değerli hocam sayın Doç. Dr. Ersoy ARSLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez konusunun belirlenmesi sırasında tez konusunu öneren ve tezimin her aşamasında tez izleme raporlarına yaptığı eşsiz katkılarla bana yön veren değerli hocam sayın Prof. Dr. Rasim DENİZ'e ve çok değerli hocam sayın Prof Dr. M. Tamer ÜNAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bana her konuda destek olan, çalışmaya teşvik eden Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümündeki bütün mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca neşenin hiç eksik olmadığı, çalışmalardan sıkıldığım anda esprileri ile beni dinlendiren ve bana her türlü yardımı yapan değerli oda arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan ve bana her konuda destek olan anne ve babama ve tabii olarak değerli eşime sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos, 2005 Mehmet Yılmaz

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
KISALTMALAR vı
TABLO LİSTESİ vıı
ŞEKİL LİSTESİ xıı
SEMBOL LİSTESİ xıv
ÖZET xv
SUMMARY xvıı

1. GİRİŞ 1

2. GEOİT VE GEOİT BELİRLEME YÖNTEMLERİ 6
2.1. Geoidin Tanımı 6
2.2. Geoidin Önemi ve Global Geoit Belirleme Çalışması Yapan Kuruluşlar 9
2.3. Geoit Belirleme Yöntemleri 11
2.3.1. Astro - jeodezik yöntemle geoit belirleme 13
2.3.2. Gravite değerlerine göre geoit belirleme 14
2.3.2.1. Stokes fonksiyonu ile geoit yüksekliğinin belirlenmesi 14
2.3.2.2. Hızlı Fourier transformasyonu ile geoit yüksekliğinin belirlenmesi 16
2.3.2.2.1. Bir boyutlu hızlı Fourier transformasyonu (1D-FFT) ile geoidin belirlenmesi 16
2.3.2.2.2. İki boyutlu hızlı Fourier transformasyonu (2D-FFT) ile geoidin belirlenmesi 17
2.3.3. Jeopotansiyel model yaklaşımı ile geoit belirleme 18
2.3.3.1. Genel 18
2.3.3.2. Global jeopotansiyel model 19
2.3.3.3. Düzenlenmiş (tailored) jeopotansiyel model 25
2.3.4. Kombine yöntemle geoit belirleme (remove - restore) 27
2.3.5. GPS/nivelman yöntemi ile geoit belirleme 28
2.3.5.1. Polinomlarla geoit yüksekliklerinin hesabı 29
2.3.5.1.1. Polinom katsayılarının test edilmesi 32
2.3.5.2. Bulanık mantık yöntemine göre geoit yüksekliklerinin hesabı 32
2.3.5.2.1. Giriş 33
2.3.5.2.2. Üyelik fonksiyonları 36
2.3.5.2.3. Bulanıklaştırma 39
2.3.5.2.4. Üyelik derecesi ataması 39

2.3.5.2.5. Bulanık matematik 40
2.3.5.2.6. Durulaştırma 41
2.3.5.2.7. Uygulamada bulanık mantık yöntemi 43
2.3.5.2.8. Uyarlanabilir yapay sinir - bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) 43

3. ÜLKEMİZDE GEOİT BELİRLEME ÇALIŞMALARI 56
3.1. Ülkemizde Daha Önce Yapılan Geoit Belirleme Çalışmaları 56
3.1.1. Türkiye geoidi - 1991 (TG-91) 57
3.1.2. GPS/nivelman geoidi 57
3.1.3. Düzenlenmiş Türkiye geoidi - 1999 (TG-99A) 58
3.1.4. İzmir GPS/ nivelman geoidi (İzGPSG01) 60
3.2. İstanbul Geoidinin Belirlenmesi İle İlgili Çalışmalar 60

4. UYGULAMALAR 63
4.1. Test Ağı ve Verileri 63
4.2. GPS/Nivelman Yöntemine Göre Bulunan Geoit Yüksekliklerinin Polinomlarla Modellenmesi 68
4.2.1. Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi 70
4.2.2. 50 noktadan hesaplanan polinom katsayılarından geoit yüksekliklerinin hesaplanması 70
4.2.3. 200 noktadan hesaplanan polinom katsayılarından geoit yüksekliklerinin elde edilmesi 72
4.2.4. 393 noktadan hesaplanan polinom katsayılarından geoit yüksekliklerinin hesaplanması 76
4.2.5. 443 noktadan hesaplanan polinom katsayılarından geoit yüksekliklerinin elde edilmesi 79
4.3. EGM96 Yeryuvarı Modeline Göre İstanbul Geoidinin Belirlenmesi 81
4.4. EGM96 Yeryuvarı Modelinden Sapmaların Modellenmesi 82
4.5. GPS/Nivelman Yöntemine Göre Bulanan Geoit Yüksekliklerinin Bulanık Mantık Yöntemine Göre Modellenmesi 86
4.5.1. Bulanık mantık yöntemine göre 50 nokta ile oluşturulan model 87
4.5.2. Bulanık mantık yöntemine göre 200 nokta ile oluşturulan model 90
4.5.3. Bulanık mantık yöntemine göre 393 nokta ile oluşturulan model 95
4.5.4. Bulanık mantık yöntemine göre 443 nokta ile oluşturulan model 97
4.5. İGNA Projesi Kapsamında Elde Edilen Polinom Katsayıları ile 200, 393 ve 443 Nokta Kullanılarak Elde Edilen Polinom Katsayıları Sonuçlarının Karşılaştırılması 100

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **102**

KAYNAKLAR **107**

EKLER **115**

ÖZGEÇMİŞ **147**

KISALTMALAR

ANFIS	:Uyarlanabilir Yapay Sinir - Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)
BGI	: Uluslararası Gravite Servisi
EGM96	: Earth Gravity Model 1996
EKKK	: En Küçük Karelerle Kolokasyon
GPS	: Global Positioning System
GRS80	: Geodetic Reference System 1980
IAG	: International Association Of Geodesy
IERS	: International Earth Rotation And Reference Systems Service
IGeS	: Uluslararası Geoit Servisi
IGSN71	: International Gravity Standardization Net 1971
İGNA	: İstanbul GPS Nirengi Ağı
NIMA	: The National Imagery And Mapping Agency (USA)
TAG-94	: Türkiye Astrojeodezik Geoidi 1994
TDJ-92	: Türkiye Doppler Geoidi 1992
TG-91	: Türkiye Geoidi-1991
TG-99	: Türkiye Geoidi 1999
TG-99A	: Düzenlenmiş Türkiye Geoidi-1999
TUDKA	: Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
UGK	: Ulusal Gravite Kütüğü
WGS84	: World Geodetic System 1984
1D-FFT	: 1 Boyutlu Hızlı Fourier Transformasyonu
2D-FFT	: 2 Boyutlu Hızlı Fourier Transformasyonu
A.K.S.	: Alt Küme Sayısı

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	Tscherning ve Rapp (1974) tarafından geliştirilen global küresel harmonik açılım ile gravite anomalileri ve geoit yüksekliklerinin karesel ortalama hataları arasındaki bağıntılar...	10
Tablo 2.2	Günümüze kadar geliştirilmiş global jeopotansiyel modellerin bazıları ve maksimum dereceleri.....	22
Tablo 2.3	Avrupa için geliştirilmiş Değiştirilmiş (Tailored) jeopotansiyel modeller ve maksimum dereceleri.....	27
Tablo 2.4	Eğitimden önce enlem ve boylamın aralık değerleri.....	46
Tablo 2.5	Eğitimden sonra enlem ve boylamın aralık değerleri.....	52
Tablo 2.6	Veriler eğitildikten sonra 25 kural için elde edilen 1. derece polinom katsayıları.....	52
Tablo 2.7	ANFIS editöründe bulanık mantık ilkelerine göre çözümün yapılışına ait örnekte kullanılan noktalara ilişkin veriler.....	53
Tablo 3.1	TG-99A'nın kontrolü (farklar cm birimindedir).....	59
Tablo 3.2	İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakası arasındaki yükseklik farkları.....	62
Tablo 4.1	50 nokta ile elde edilmiş polinom katsayıları ile elde edilen geoit yükseklikleri (50 dayanak noktası ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)……	71
Tablo 4.2	200 noktaya dayalı olarak hesaplanan polinom katsayıları ile elde edilen geoit yükseklikleri (200 dayanak ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)....……	74
Tablo 4.3	50 ve 200 nokta ile elde edilmiş polinom katsayıları hesaplanan geoit yükseklikleri (50 ve 200 dayanak noktasında ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)...……	76
Tablo 4.4	393 noktaya dayalı olarak hesaplanan polinom katsayıları ile elde edilen geoit yükseklikleri (393 dayanak ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve ortalama karesel hata. değerleri (m biriminde).....	77

Tablo 4.5 50, 200 ve 393 nokta ile elde edilmiş polinom katsayıları ile elde edilen geoit yükseklikleri (50, 200, 393 dayanak ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve ortalama karesel hata değerleri (m biriminde)…..... 79

Tablo 4.6 443 noktaya dayalı olarak eşit ağırlıklarla (P_i=1) ve farklı ağırlıklarla hesaplanan polinom katsayılarıyla bulunan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltmeler ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalaması (m biriminde)..... 80

Tablo 4.7 EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan 443 noktadaki geoit yüksekliklerinin GPS/ nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farklarına ilişkin değerler (m biriminde)..... 82

Tablo 4.8 50 noktadaki EGM96 modeline göre geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki farklarla hesaplanan polinom katsayılarından elde edilen maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)……. 83

Tablo 4.9 50 Dayanak noktası ile GSP/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinin ve EGM96 modelinden sapmaların modellenmesi sonucu bulunan polinom katsayılarından hesaplanan yüksekliklerin GPS/Nivelman yüksekliklerinden farklarının ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)…..……... 84

Tablo 4.10 200 noktadaki (EGM96 - GPS/nivelman) geoit yükseklik farklarından elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan minimum, maksimum düzeltmeler ve farklar, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluğa ilişkin değerler (m biriminde)…….. 85

Tablo 4.11 200 Dayanak noktası ile GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinin ve EGM96 modelinden sapmaların modellenmesi sonucu bulunan polinom katsayılarından hesaplanan yüksekliklerin GPS/Nivelman yüksekliklerinden farklarının ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)..... 86

Tablo 4.12 50 nokta ile oluşturulan bulanık modelde 50 dayanak noktasına ait düzeltmelerin ve modele göre hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalamaları iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde, A.K.S. : Alt küme sayısı)……....…….... 87

Tablo 4.13 50 nokta ile polinomlarla ve bulanık mantık yöntemine göre oluşturulan modeller ile hesaplanan geoit yüksekliklerinin, GPS/nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinden olan farklarına ilişkin özet değerler (m biriminde)..... 90

Tablo 4.14 200 nokta ile oluşturulan bulanık modelde 200 dayanak noktasına ait düzeltmelerin ve modele göre hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)……...……...……. 91

Tablo 4.15 50 ve 200 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ve 200 nokta ile oluşturulan polinom modeli için dayanak (model) noktalarına ait düzeltmelerin ve modellere göre hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)……..……. 93

Tablo 4.16 393 nokta ile oluşturulan bulanık modelde 393 dayanak noktasına ait düzeltmelerin ve modele göre hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)……..…….. 96

Tablo 4.17 443 nokta ile elde edilen polinom katsayıları ve oluşturulan bulanık modeller ile 443 dayanak noktasının bulunan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki farklara ait maksimum, minimum düzeltme, düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalaması, iç doğruluk değerleri (m biriminde)…….. 99

Tablo A.1 50 nokta kullanılarak bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri……..... 117

Tablo A.2 200 nokta kullanılarak bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri …… 118

Tablo A.3 393 nokta kullanılarak bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri …..…….…… 119

Tablo A.4 443 nokta kullanılarak (P_i=1) bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri……..……. 120

Tablo A.5 443 nokta kullanılarak ($P_i \neq 1$) bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri……..…….. 121

Tablo A.6 50 noktada EGM yeryuvarı modeline göre geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre belirlenmiş geoit yükseklikleri arasındaki farklardan bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri ……... 122

Tablo A.7 200 noktada EGM yeryuvarı modeline göre geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre belirlenmiş geoit yükseklikleri arasındaki farklardan bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri…..…… 123

Tablo B.1 50 noktadan elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde)……..…… 125

Tablo B.2 200 noktadan elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde)…… 126

Tablo B.3 393 noktadan elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde)..……. 127

Tablo B.4 50 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ile (alt küme sayısı 3, 4 ve 5) ile hesaplanan test noktalarının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde)…..... 128

Tablo B.5 200 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ile (alt küme sayısı 7, 8 ve 11) ile hesaplanan test noktalarının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde)……... 129

Tablo B.6 393 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ile (alt küme sayısı 10, 11 ve 13) ile hesaplanan test noktalarının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde)……... 130

Tablo B.7 50, 200 ve 393 nokta ile elde edilen polinom katsayılarından ve oluşturulan bulanık modellerden hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde)……... 131

Tablo B.8 İGNA raporunda bulunan 5. derece polinom katsayıları ile 200 nokta kullanılarak elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasına ilişkin geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklara ait maksimum, minimum ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)…….....….... 133

Tablo B.9 İGNA raporunda bulunan 5. derece polinom katsayıları ile 393 nokta kullanılarak elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasına ilişkin geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklara ait maksimum, minimum ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)…….....….... 134

Tablo B.10 İGNA raporunda bulunan 5. derece polinom katsayıları ile 443 nokta kullanılarak elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasına ilişkin geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklara ait maksimum, minimum ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)…….....….... 135

Tablo B.11 Yapılan hesaplamalarda maksimum ve minimum hatanın (farkın) bulunduğu nokta numaraları …….....….... 136

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	**:**Geoit, elipsoit ve geoit yüksekliği arasındaki ilişki.....	7
Şekil 2.2	**:**Geoit, elipsoit ve çekül sapması arasındaki ilişki.....	13
Şekil 2.3	**:**Genel Bulanık Sistem.....	34
Şekil 2.4	**:**Bulanıklaştırma – durulaştırma birimli bulanık sistem.....	36
Şekil 2.5	**:**Örtüşmeli üçgen gösterim.....	37
Şekil 2.6	**:**Bulanık küme.....	38
Şekil 2.7	**:**Bulanık Sayılar (a) Üçgen, (b) Yamuk.....	41
Şekil 2.8	**:**İki girdi ve bir çıktılı ANFIS yapısı.....	44
Şekil 2.9	**:**Eğitimden önce enlem ve boylam alt küme aralıkları.....	46
Şekil 2.10	**:**Enlem ve boylamın 5'er alt kümeye ayrıldığı durumda oluşturulan kurallar kümesi.....	47
Şekil 2.11	**:**16458 numaralı noktanın enlem değerinin üyelik derecesinin belirlenmesi.....	48
Şekil 2.12	**:**16458 numaralı noktanın boylam değerinin üyelik derecesinin belirlenmesi.....	49
Şekil 2.13	**:**34007 numaralı noktanın enlem değerinin üyelik derecesinin belirlenmesi.....	50
Şekil 2.14	**:**34007 numaralı noktanın boylam değerinin üyelik derecesinin belirlenmesi.....	50
Şekil 2.15	**:**Eğitimden sonra enlem ve boylam alt küme aralıkları.....	52
Şekil 4.1	**:**50 nokta ile elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları ile hesaplanan test noktalarının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi.....	73
Şekil 4.2	**:**200 nokta ile elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları ile hesaplanan test noktalarının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi.....	75
Şekil 4.3	**:**50, 200 ve 393 nokta ile elde edilen 5. derece polinom katsayıları ile hesaplanan test noktalarının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi.....	78
Şekil 4.4	**:**50 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 3, 4 ve 5'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ile hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi	89

Şekil 4.5 **:**50 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 3, 4 ve 5'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ve 200 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 8 ve 11'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ile hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi 94
Şekil 4.6 **:**393 nokta ile elde edilen 5. derece polinom katsayıları, 200 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 11'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ve 393 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 13'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ile hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi 98
Şekil C.1 **:**Hesaplarda kullanılan 443 noktanın İstanbul içindeki dağılımı.. 138
Şekil C.2 **:**GPS/Nivelman yöntemine göre 443 noktadan yararlanılarak predikte edilen eş geoit yükseklikleri (eğri aralıkları 0.1 m)..... 139
Şekil C.3 **:**Seçilen 50 dayanak (model) ve 50 test noktasının İstanbul içindeki dağılımı..... 140
Şekil C.4 **:**Seçilen 200 dayanak ve 50 test noktasının İstanbul içindeki dağılımı..... 141
Şekil C.5 **:**Seçilen 393 dayanak ve 50 test noktasının İstanbul içindeki dağılımı..... 142
Şekil C.6 **:**443 noktada 5. derece polinom katsayılarından hesaplanmış geoit yüksekliklerine ilişkin eş geoit yükseklikleri (eğri aralığı 0.1 m)..... 143
Şekil C.7 **:**443 noktada EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yükseklikleri arasındaki farkları (EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaları) gösteren eş yükseklik eğrileri (eğri aralığı 0.1 m)..... 144
Şekil C.8 **:**393 nokta ve enlem ve boylam değerleri 13 alt kümeye ayrılarak oluşturulan bulanık model ile hesaplanan model ve test noktalarında elde edilen geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farkların İstanbul içindeki dağılımı (cm biriminde)..... 145
Şekil C.9 **:**443 nokta ile enlem ve boylam 20 alt kümeye ayrılarak oluşturulan bulanık modele göre model noktalarının hesaplanan geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farkların İstanbul içindeki dağılımı (cm biriminde)..... 146

SEMBOL LİSTESİ

a	:	Referans Elipsoidinin Büyük Ekseni
C	:	Jeopotansiyel Sayı
Cnm / Snm	:	Yeryuvarının Gravitasyonel Alanının Tamamı ile Normalize Edilmiş Küresel Harmonik Katsayıları
F	:	2D Diskrete Fourier Transformasyonunu (2D FFT)
F^{-1}	:	Ters 2D Diskrete Fourier Transformasyonunu
f	:	Basıklık
GM	:	Gravitasyonel Sabit
h	:	Elipsoidal Yükseklik
H	:	Ortometrik Yükseklik
k	:	Love Numarası
N_{EGM}	:	EGM96 Modeline Göre Jeoid Yüksekliği
N_{GPS}	:	GPS/Nivelman Yöntemine Göre Jeoid Yüksekliği
Nm	:	Mean Tide Sistemine Göre Jeoid Yüksekliği
Nn	:	Tide-Free (Nontidal) Sistemine Göre Jeoid Yüksekliği
Nz	:	Zero Tide Sistemine Göre Jeoid Yüksekliği
$P_{nm}(\cos\theta)$	:	Tamamı İle Normalize Edilmiş 1. Çeşit Lejendre Fonksiyonu
r	:	Elipsoidin Ekvatoryal Yarıçapı
R	:	Yeryuvarının Ortalama Yarıçapı
S(Ψ)	:	Stokes Fonksiyonunu
T	:	Bozucu Potansiyel
2D-FFT	:	2 Boyutlu Hızlı Fourier Transformasyonu
U_o	:	Elipsoid Üzerindeki Normal Potansiyel
W_o	:	Jeoid Üzerindeki Normal Potansiyel
α	:	Azimut
γ	:	Normal Gravite
ΔC	:	İki Nokta Arasındaki Jeopotansiyel Sayı Farkı
ΔC_{nm} / ΔS_{nm}	:	Jeopotansiyel Katsayılar İle Elipsoidal Katsayılar Arasındaki Farklar
λ	:	Boylam
ζ	:	Çekül Sapmasının Meridyen Doğrultusundaki Bileşeni
φ	:	Enlem
Φ	:	Merkezcil Kuvvetin Potansiyeli
ω	:	Yeryuvarının Ortalama Açısal Hızı
∇^2	:	Laplace Operatörü

İSTANBUL METROPOLİTAN ALANINDA GEOİT ARAŞTIRMASI

ÖZET

Geoit ağırlık kuvveti potansiyelinin sabit olduğu noktaların oluşturduğu ortalama deniz yüzeyine yakın olan yüzeye denir. Geoit kompleks bir yüzeydir ve matematiksel olarak kolayca tanımlanamaz. Jeodezide ölçmeler fiziksel yeryüzü üzerinde yapılır, öte yandan hesaplar ise boyutları belirlenmiş bir referans elipsoidi üzerinde yapılır. Geoit ile referans elipsoidi birbiri ile çakışmaz ve her iki yüzeyin merkezi yerin ağırlık merkeziyle çakıştırıldığında iki yüzey arasında fark oluşur ve bu farka geoit yüksekliği yada geoit ondülasyonu adı verilir.

Geoit belirleme denince, konumu bilinen bir noktadaki geoit yüksekliğinin belirlenmesini sağlayabilen modelleme anlaşılır. Gelişen uydu teknolojileri presizyonlu geoit belirlemeyi jeodezinin önemli problemlerinden birisi haline getirmiştir. Uydu ölçmelerinden elde edilen elipsoidal yükseklikler ile nivelmandan elde edilen ortometrik yükseklikler arasındaki bağ geoit yüksekliğidir. Bir yükseklik sisteminden diğerine geçiş geoit yüksekliğinin bilinmesi ile mümkün olmaktadır.

Geoit belirleme yöntemleri, kullanılan veriler ve modellere göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Astro-jeodezik yöntemle geoit belirleme,
- Gravite ölçülerine göre (Stokes fonksiyonu ve hızlı fourier transformasyonu)
- Jeopotansiyel model yaklaşımı ile geoit belirleme,
- Kombine yöntemle geoit belirleme (remove – restore)
- GPS/Nivelman yöntemine göre geoit belirleme,

İstanbul Metropolitan alanındaki geoidi belirlemek için hesaplarda enlem, boylam, elipsoidal ve ortometrik yükseklikleri belirli olan 443 nokta kullanılmıştır. Bu noktaların, İstanbul GPS Nirengi Ağı (İGNA) projesi kapsamında GPS/nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yükseklikleri, çok parametreli polinom katsayıları ve bulanık mantık yöntemleri ile farklı nokta yoğunlukları için modellenmiştir. Polinom katsayılarını hesaplarken ve bulanık modeller oluşturulurken GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri ölçü olarak kullanılmış, ölçülerin eşit ağırlıklı ve farklı ağırlıklı olmalarının sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada Jeopotansiyel yaklaşım modeli olarak EGM96 kullanılmıştır. Bu 434 nokta için EGM96 yeryuvarı modeline göre geoit yükseklikleri hesaplanmış, bu değerlerle GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yükseklikleri karşılaştırılmıştır. EGM96 ile GPS/nivelman yöntemine geoit yükseklikleri arasındaki farklar oldukça büyük değerlerde (- 0.18 ile + 1.04 m arasında) çıkmıştır. Bu nedenle EGM96 yeryuvarı modeli mevcut katsayılarla presizyonlu İstanbul geoidini belirlemek için kullanılamaz. Bu çalışmada ayrıca EGM96 yeryuvarı

modelinden sapmaların modellenmesi amacıyla araştırmalar yapılmış, yukarıda sözü edilen farklar değişik nokta yoğunlukları için polinomlarla modellenmiştir.

Polinom katsayılarından geoit yüksekliklerini hesaplarken nokta yoğunluğunun, polinom katsayılarının derecelerinin ve ölçü ağırlıklarının da sonuçlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 50, 200, 393 ve 443 nokta seçilerek 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplar sonucunda, polinom katsayılarından geoit yüksekliğini etkileyen en önemli faktörün nokta yoğunluğu olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanını temsil edecek sayıda ve homojen dağılmış nokta seçilmesi polinom katsayılarının artırılmasından daha presizyonlu sonuçlar vermiştir. Ölçü ağırlıklarının farklı alınmasının geoit yüksekliklerinin presizyonuna olumlu bir katkısı olmamıştır. EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların modellenmesi nokta yoğunluğu az olduğunda daha iyi sonuçlar vermekte, nokta yoğunluğu arttığı zaman doğrudan GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinin modellenmesi ile aynı sonuçları vermektedir.

Bulanık mantık yöntemi ile geoit belirlemede seçilen nokta sayısı ve girdilerin alt küme sayısı sonuçlara etki etmektedir. Bu çalışmada 50 nokta için enlem ve boylamın 3'er alt kümeye, 200 nokta için 11'er alt kümeye, 393 nokta için 13'er alt kümeye ve 443 nokta için de 20'şer alt kümeye ayrılması iyi sonuçlar vermiştir. Nokta sayısı az olduğu zaman enlem ve boylamı fazla alt kümeye ayırmak bazı test noktalarında büyük düzeltme değerlerine sebep olmaktadır.

Sonuç olarak, İstanbul Metropolitan alanındaki geoidi belirlemek için çok sayıda nokta kullanılarak oluşturulan bulanık modelin kullanılabileceği gösterilmiştir. Fakat polinomlarla modelleme pratik kullanım açısından daha uygundur. Bu nedenle polinomlarla modelleme de alternatif olabilir, ancak bulanık mantık yöntemi kadar presizyonlu sonuçlar vermediği görülmüştür. EGM96 yeryuvarı modelinin mevcut katsayıları presizyonlu İstanbul geoidinin hesaplanması için yeterli değildir. Eğer modele İstanbul'a ait yeni veriler (gravite, yükseklik vb.) eklenir ve küresel harmonik katsayılar yeniden hesaplanır ve aynı zamanda harmonik katsayıların derece ve seviyeleri de artırılabilirse presizyonlu İstanbul geoidini belirleme de kullanılabilir.

GEOID RESEARCH IN ISTANBUL METROPOLITAN AREA

SUMMARY

Geoid is called the surface which is constituted points that gravitational potential constant and close to Mean Sea Level (MSL). Geoid is a complex surface and can not be defined as mathematically. In geodesy, measurements are done on physical topography, however, computations are done on the ellipsoid whose dimensions are determined. For this reason, geoid and ellipsoid can not be collide with each other and there would be a difference between when center of these two surfaces were collided at the center of gravity and the difference between these two surface is called geoid height or geoid undulation.

Geoid determination is computation of geoid height on a point whose latitude and longitude are known. Precise geoid determination became one of the most important problem in geodesy by developed satellite techniques. The reason for this is that geoid height is the only tie between ellipsoidal height obtained by satellite measurement and orthometric height obtained by levelling. İt is possible to transform one height system to another via known geoid height.

Geoid determination can be classified according to used data and methods as follows;

- Astro-geodetic method,
- According to gravity value (Stokes' function and Fast Fourier Transform),
- Gravitational potential model,
- Remove- restore method,
- GPS/leveling method,
    - Fuzzy logic method,
    - Polynomial coefficients model.

In this study 443 point whose latitude, longitude, ellipsoidal height and orthometric height known are used to determine geoid in Istanbul Metropolitan area. These points, geoid heights obtained by GPS/leveling method according to Istanbul GPS Triangulation Network Project, were modeled using different point densities by polynomial coefficients and fuzzy logic methods. Geoid height obtained by GPS/levelling method were used as measurements in fuzzy logic and polynomial coefficients methods and it was examined effect of equal and different weight of measurements in calculations.

In this study, EGM96 is used as gravitational potential model. Geoid heights at these 443 points were determined according to EGM96 model and results were compared with GPS/leveling method results. The residuals between EGM96 and GPS/levelling results are fairly big (between -0.18 and +1.04 m). For this reason, EGM96 method

can not be used with present spherical harmonic coefficients to determine precise Istanbul geoid. Furthermore, researches were done in order to modeling of deviations from EGM96, residuals stated above were modeled by polynomial coefficients using different point densities.

The effect of point density, the order of polynomial coefficients and weight of measurements were also examined in the study area while geoid heights were being calculated. That is why, calculations were made by selected 50, 200, 393 and 443 points in the study area and 5., 6. and 7. order polynomial coefficients. When the computations were completed, it is seen that point density was the most important factor effecting geoid height by polynomial coefficients method. The number of points represent the study area give more precise results than adding more order to polynomial coefficients. Using weights of measurements made no positive contribution to geoid height precision. When point density is poor, modeling of deviations from EGM96 model gave better results. However, once the point density were increased the model gave same results with polynomial coefficients which directly obtained by GPS/leveling geoid heights.

The number of selected points and number of subsets of inputs effect geoid height results in fuzzy logic. In this study, latitude and longitude divided by three equal subsets for 50 points, 11 subsets for 200 points, 13 subsets for 393 points and 20 subsets for 443 points gave more precise results than other fuzzy model which constituted by 50, 200, 393 and 443 points. Dividing too many subsets of latitude and longitude when the number of points is sparse caused big residuals on some test points.

As a conclusion, it was shown that fuzzy model constituted by too many points can be used to determine geoid in Istanbul Metropolitan area. But, polynomial coefficient is more suitable for practical usage. For this reason, Polynomial coefficients can be also an alternative calculation method but it was shown that it could not give as precise result as fuzzy logic gave. EGM96 model with present spherical harmonic coefficients is not sufficient to be determined precise Istanbul geoid. If new data related to Istanbul (gravity, height, etc.) added and spherical harmonic coefficients could be calculated with these new data and degree and order of spherical harmonic coefficient could be improve, EGM96 model can also be used to determine geoid height.

1. GİRİŞ

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).** Geoit belirleme, Jeodezinin önemini kaybetmeyen güncel konularından birisidir. Gelişen uydu teknikleri geoit belirlemenin önemini daha da artırmıştır. 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).**

Geoit belirleme yöntemleri, eldeki mevcut verilere (ölçülere) ve kullanılan modellere göre sınıflandırılabilir. Geoit belirleme yöntemleri; astro-jeodezik, gravite verilerine (ayrık nokta gravite değerlerine) göre (Stokes fonksiyonunun çözümü ve hızlı fourier transformasyonu), jeopotansiyel model yaklaşımı (EGM96), kombine yöntemler ve GPS/nivelman yöntemi olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca, çok parametreli polinomlarla modelleme, bulanık mantık yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi, Kolokasyon yöntemi, enterpolasyon yöntemleri; GPS/nivelman yöntemine göre belirlenmiş geoit yüksekliklerinin veri olarak kullanıldığı hesap yöntemleri olarak sıralanabilir.

Bu çalışmanın amacı, jeodezinin önemli bir problemi olan ve uydu teknolojilerinin jeodezide kullanılması ile önemi daha da artan geoidin presizyonlu bir şekilde belirlenmesidir. GPS ölçmelerinin sayısının ve presizyonunun gittikçe artması sonucu, bu ölçmelerden elde edilen elipsoidal yüksekliklerin pratikte kullanılabilmesi için geoit yüksekliklerinin de presizyonlu bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bunun nedeni elipsoidal yükseklikler ile ortometrik yükseklikler arasındaki dönüşümün geoit yüksekliği ile yapılabilmesidir. Ayrıca GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklerinin kolayca elde edilmesi, bu yöntemle elde edilen geoit yüksekliklerinin veri olarak kullanıldığı çeşitli hesaplama yöntemleri ile geoit belirlemesine olanak

sağlamaktadır. Bunlar arasında çok parametreli polinom katsayıları ve bulanık mantık gibi pratik ve uygulanabilir hesaplama yöntemleri ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada geoit yüksekliğinin presizyonlu bir şekilde belirlenebileceği değişik enterpolasyon yöntemleri araştırılmıştır. Bu amaçla konumu bilinen bir noktada geoit yüksekliğinin cm mertebesinde doğrulukla belirlenmesi için veriler ve verilere uygun yöntemlerin seçilmesi için farklı hesaplar yapılmıştır. Bu çalışmada geoit belirleme; konumu bilinen bir noktada geoit yüksekliğinin enterpolasyonuna olanak sağlayan bir modelin elde edilmesi anlamındadır.

Çalışmada kullanılan veriler, İstanbul Metropolitan Alanını kapsayan, 1999 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından EMİ Harita Şirketine yaptırılan, **İstanbul GPS Nirengi Ağı 1999 (İGNA-99) Projesi** kapsamında üretilen verilerdir. Bunlara ek olarak, İGDAŞ için Mecidiyeköy, Beşiktaş ve Gültepe semtlerinde 1999 yılında GPS ölçmeleri ve geometrik nivelman ölçmeleri yapılan 14 tane noktaya ilişkin veriler hesaplamalara katılmıştır.

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Jeodezi Anabilim Dalı ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi arasında, İstanbul GPS Nirengi Ağı Projesi için gerekli Teknik Şartnamenin hazırlanması, Kontrol ve Danışmanlık için bir sözleşme yapılmıştır. Proje kapsamında, Jeodezi Anabilim Dalı öğretim üyeleri Teknik Şartnameyi hazırlamış, Kontrol ve Danışmanlık yapmış, ölçmeleri (GPS ölçmeleri ve geometrik nivelman) ise EMİ Harita Şirketi yapmıştır. Proje kapsamında, İstanbul Geoidi 1999 adı verilen bir geoit modeli, yine Jeodezi Anabilim Dalı öğretim üyeleri tarafından geliştirilmiştir. 3. Bölümde bu çalışma ile ilgili ayrıntılı bilgi verilecektir.

Tez çalışması kapsamında, "**İstanbul Metropolitan Alanında Geoit Araştırması**" için, İGNA-99 Projesinde üretilen ve İGDAŞ için üretilen GPS verileri Leica SKI 2.3 ticari yazılımı kullanılarak tarafımdan tekrar değerlendirilmiş, 5 adet TUTGA-99 (Türkiye Ulusal Temel GPS Nirengi Ağı – 1999) noktasına bağlı olarak ITRF94 sisteminde nokta koordinatları, tüm noktalara ilişkin varyans – kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Noktaların ortometrik yükseklikleri ise, geometrik nivelmanla elde edilen yükseklik farkları, ortometrik yükseklikleri TUDKA-92 (Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı – 1992) sisteminde bilinen 12 nokta Avrupa yakasında, 14 nokta da Anadolu yakasında sabit alınarak EMİ Harita Şirketi tarafından dengelenerek

verilmiştir. Bu çalışmada, GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ile ITRF96 sisteminde bulunan elipsoidal yüksekliklerle, nivelman dengelemesinden TUDKA-92 sisteminde bulunan ortometrik yüksekliklerin farkları alınarak, GPS/Nivelman yöntemine göre bulunan 443 noktaya ait geoit yükseklikleri ölçü olarak alınıştır. Modellerin test edilmesi amacıyla, bu 443 nokta arasından, İstanbul Metropolitan alanı içerisine dağılmış 50 nokta test noktası olarak seçilmiş, modellerin oluşturulmasında geriye kalan 393 nokta kullanılmıştır. Araştırmalardan sonra uygunluğuna karar verilen yöntemle noktaların tamamı kullanılarak İstanbul Metropolitan Alanı için geoit modeli oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, İstanbul Metropolitan alanında yüksek doğruluğa sahip bir geoit belirlemek amacıyla;

- Dayanak (model) noktası sayısı ile doğruluk arasında ilişki kurulması,
- GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının farklı alınmasının sonuçlar üzerindeki etkisinin araştırılması,
- EGM96 yer yuvarı modelinden sapmalar için matematik model araştırması,
- Bulanık mantık yönteminin geoit belirleme problemlerine uygulanması

konularında araştırmalar yapılmıştır.

Nokta yoğunluğunun geoit yüksekliği presizyonuna etkisini araştırmak için dört değişik nokta yoğunluğu ile hesaplamalar yapılmıştır. Böylece geoit yüksekliğinin presizyonlu bir şekilde elde edilebilmesi için gerekli nokta yoğunluğu hakkında bilgiler elde edilmiştir.

Nokta yoğunluğunun geoit hesabına etkisini araştırmak için başlıca 50 (~ 100 km^2'ye bir nokta), 200 (~ 25 km^2'ye bir nokta), 393(~ 13 km^2'ye bir nokta) ve 443 (~ 12 km^2'ye bir nokta) nokta kullanılarak ve bütün geoit yüksekliklerinin ağırlıkları eşit alınarak çok parametreli polinom katsayıları 5., 6. ve 7. dereceye kadar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu polinom katsayıları ile geoit yükseklikleri elde edilerek nokta yoğunluğunun geoit yüksekliğine etkisi belirlenmiştir. Aynı nokta sayıları ile bulanık mantık yöntemine göre hesaplar yapılıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.

GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının farklı alınmasının sonuçlar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, 443 noktadaki geoit

yüksekliklerinin ağırlıkları, GPS ölçülerinin değerlendirilmesinden elde edilen varyans-kovaryans matrisinde elipsoidal yükseklikler için bulunan değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının hesaplanmasında, noktaların ortometrik yüksekliklerinin doğrulukları hakkında bilgi olmaması nedeniyle, geometrik nivelmanın etkisi ihmal edilmiştir. Polinom katsayılarının elde edilmesinde geoit yükseklikleri farklı ağırlıklarla hesaplara katılarak yine 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları hesaplanmış ve bu katsayılar ile geoit yükseklikleri elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar, geoit yüksekliklerinin ağırlıkları eşit alınarak bulunan polinom katsayılarından elde edilen geoit yüksekliklerine ilişkin sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

EGM96 yeryuvarı modeli dünya genelinde veri içeren ve yaygın olarak kullanım alanı bulmuş bir global jeopotansiyel modeldir **(Aksoy, ve diğ., 1999).** Bu nedenle EGM96 yeryuvarı modeli bu çalışmada; bölgesel bir karşılaştırmayı sağlayacak global jeopotansiyel model olarak alınmıştır. 443 noktada EGM96 yeryuvarı modeline göre geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Ayrıca polinom katsayılarının doğrudan GPS/nivelman verilerinden elde edilmesi yerine EGM96 yeryuvarı modeline göre bulunan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre hesaplanan geoit yükseklikleri arasındaki farklardan elde edilmesinin geoit hesabına etkisi 50 ve 200 nokta kullanılarak araştırılmıştır. Burada amaç, iki farklı yöntem sonuçları arasında daha düzgün bir yüzey elde edebilmek ve bu yüzeye ait polinom katsayılarını ve daha presizyonlu geoit yükseklikleri elde edebilmektir.

50, 200 ve 393 nokta için elde edilen polinom katsayılarının ve bulanık modellerin sonuçlarının test edilmesi için 50 tane nokta hesaplara katılmamış, bu noktaların geoit yükseklikleri test için kullanılmıştır. Yapılan her bir hesaplamanın geoit yüksekliğine etkisini belirlemek için maksimum ve minimum hata, iç ve dış doğruluk değerleri belirlenmiştir.

Bu çalışma 5 bölümden oluşmaktadır. 1. bölüm Giriş bölümüdür, tezin amacı, kapsamı anlatılmakta ve yapılan işler özetlenmektedir. 2. bölümde geoidin tanımı yapılmış, geoit belirlemenin amacı ve önemi anlatılmıştır. Geoit belirleme yöntemleri sınıflandırılmış ve yöntemler kısaca açıklanmıştır. Bu bölümde global jeopotansiyel model ile değiştirilmiş jeopotansiyel modeller ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Bu bölümde ayrıca bulanık mantık yönteminin temel ilkeleri, bulanık mantık yöntemi ile Aristo mantığı arasındaki farklar ve bir bulanık sistemin temel öğeleri açıklanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan Matlab ticari yazılımında yer alan ve bir bulanık mantık çıkarım sistemi olarak ANFIS'in hesaplama bağıntıları verilmiş, Sugeno yöntemine göre sonuçları elde ederken izlenen yol detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu bölümde örnek hesaplamalar da yer almaktadır. 3. bölümde ülkemizde bugüne kadar yapılan geoit belirleme çalışmaları hakkında kısa bilgiler verilmektedir. 4. bölüm Uygulama bölümüdür. Bu bölümde, uygulamada kullanılan verilerin sağlandığı, İstanbul Metropolitan alanında yer alan İGNA ağı, GPS ölçüleri ve değerlendirilmeleri, aynı alanda gerçekleştirilen nivelman ölçüleri ve bunlardan elde edilen geoit yükseklikleri hakkında bilgi verilmektedir. EGM96 yeryuvarı modeli, çok parametreli polinom katsayıları ve bulanık mantık yöntemine göre yapılan hesapları, sonuçları ve yapılan yorumları içermektedir. 5. bölüm Sonuç ve Öneriler bölümüdür. Bu bölümde, özet olarak yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ve bundan sonraki çalışmalara yönelik öneriler yer almaktadır.

2. GEOİT VE GEOİT BELİRLEME YÖNTEMLERİ

2.1 Geoidin Tanımı

Bruns, jeodezinin temel ödevlerinden biri olan geoidin belirlenmesini nivo yüzeylerinin belirlenmesi şeklinde genelleştirerek,

$$W = Sabit \tag{2.1}$$

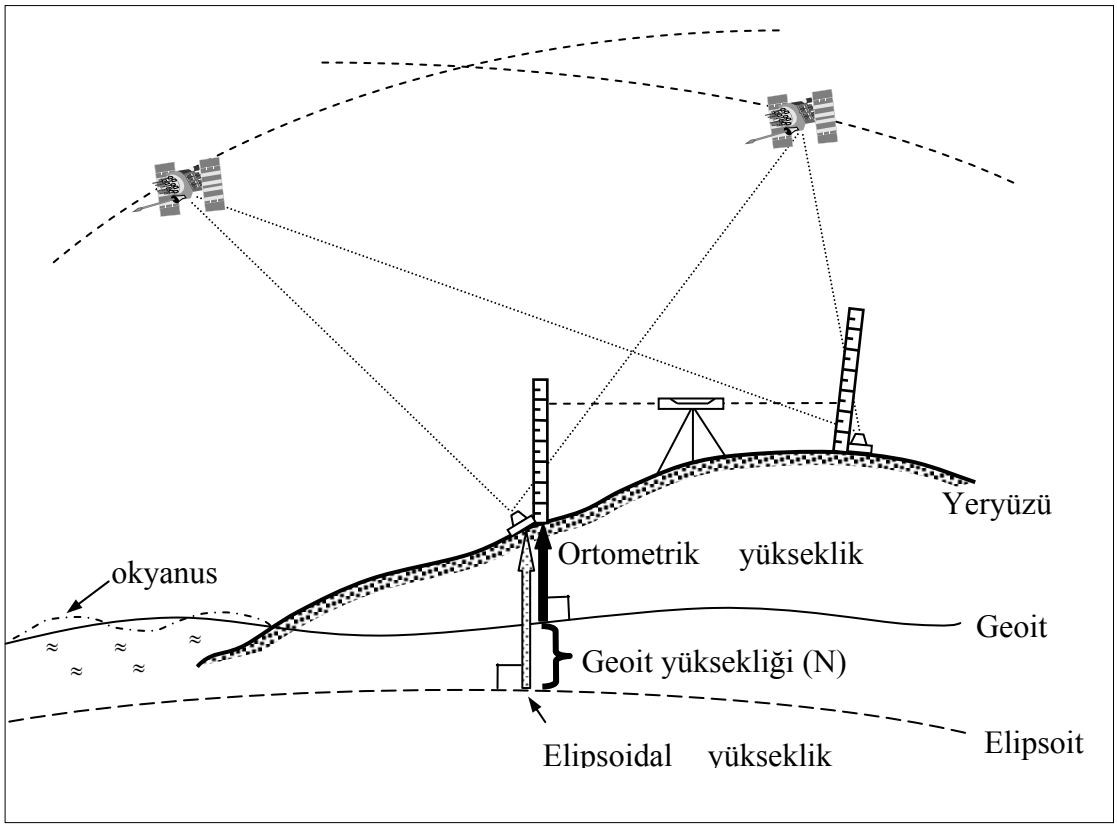
ile, potansiyeli sabit olan noktaların geometrik yeri olarak nivo yüzeyleri kümesini göstermiş, jeodezik ölçülerin üzerine indirgeneceği yüzey olarak geoidin potansiyelini W_o ile göstererek diğer yüzeyleri de bu yüzeye göre,

$$\begin{aligned} W &= W_o + \Delta W \\ W &= W_o - \int g dn \end{aligned} \tag{2.2}$$

ile ifade etmiştir. Böylece yeryuvarının şekli, Gauss'un tanımından başka fiziksel bir büyüklük olan potansiyele bağlı olarak tanımlanmıştır **(Ayan ve Deniz, 2000).** Bu tanıma göre, geoit, kısmen katı yeryüzü içinden geçen bir nivo yüzeyidir, bu yüzeyin eğriliği yoğunluğun ani olarak değiştiği yerlerde süreksizlik gösterir. Bu nedenle de geoit analitik bir yüzey değildir. Geoit potansiyel ve yükseklikler için iyi bir referans yüzeyidir **(Grafarend, 1994).**

Geoit, yeryuvarının gravite alanına en iyi uyan bir eşpotansiyel yüzeydir, en küçük kareler anlayışı ile global ortalama deniz seviyesidir **(URL1).** Jeodezik ölçmelerde, noktaların jeodezik koordinatlarının hesabı, ölçme bölgesindeki yeryuvarının şekline ve büyüklüğüne büyük ölçüde yakınsayan bir elipsoit üzerinde yapılır. Elipsoit matematiksel olarak tanımlanan düzenli bir yüzeydir. Bir referans elipsoidini tanımlamak için 4 temel büyüklüğün belirlenmesi gerekir. Bu 4 büyüklük şu şekilde seçilebilir: a (ekvatoral yarıçap), f (basıklığın tersi), ω (açısal hız) ve GM (jeosentrik gravitasyonel sabit). Alternatif seçimler de söz konusu olabilir, örneğin Jeodezik referans sistemi 1980'in tanımında olduğu gibi J_2 (dinamik basıklık) başlıca büyüklüktür **(Moritz, 1992).**

Öte yandan geoit düzensiz bir yüzeydir. Bu nedenle bu iki yüzey çakışmaz. İki yüzey arasındaki farka geoit ondülasyonu, geoit yüksekliği yada geoit ayrımı denir ve N ile gösterilir. Geoit gravite potansiyelinin her yerde eşit olduğu ve çekül doğrultusuna daima dik olan bir yüzeydir. Geoit, elipsoit ve elipsoidal yükseklik arasındaki ilişki **Şekil 2.1**' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Geoit, elipsoit ve geoit yüksekliği arasındaki ilişki.

Geoidi tanımlarken gel-git etkilerini de göz önünde bulundurmak gerekir çünkü, Ayın ve Güneşin sebep olduğu yeryüzünün sürekli deformasyonu nedeni ile geoidi tanımlamak karmaşık bir hal almaktadır. Bu sürekli gel-git etkileri düşüncesi 3 çeşit geoit ve referans elipsoidi tanımına götürmektedir **(Ekman, 1989; Bursa, 1995).** Bu üç geoit aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

1. Gel-git etkisinden arındırılmış (Tide-free): Güneşin ve Ayın (doğrudan ve dolaylı) bütün etkilerinin yeryüzünden kaldırıldığı durumlardaki geoittir **(URL2).**

2. Ortalama (Mean) : Güneşin ve Ayın sürekli gelgit etkilerinin kaldırılmadığı durumlarda geçerli olan geoittir **(URL2).**

3. Sıfır (Zero) : Güneşin ve Ayın doğrudan sürekli gel-git etkilerinin kaldırıldığı fakat dolaylı etki bileşeni ile ilgili yeryüzünün elastik deformasyonu korunduğu zaman bu geoit elde edilir **(URL2).**

Eğer referans elipsoidi ekvatoral yarıçap a ve basıklık f ile tanımlanırsa, çalışılan geoidin çeşidine göre (gel-git etkisinden arındırılmış, ortalama, sıfır) dayanan farklı geoit yüksekliği elde edilir. Bir sistemden diğerine dönüşüm eşitlikleri **(Ekman, 1989)** ve **(Rapp, 1994a)**'da bulunabilir. N_m ortalama gel-git etkili geoit yüksekliğini, N_n gel-git etkisinin olmadığı geoit yüksekliğini ve N_z gel-git etkisinin sıfır olduğu geoit yüksekliğini göstermek üzere

$$N_m - N_z = 9.9 - 29.6\sin^2\varphi \text{ cm} \qquad \textbf{(2.3)}$$

$$N_z - N_n = k(9.9-29.6\sin^2\varphi) \text{ cm} \qquad \textbf{(2.4)}$$

$$N_m - N_n = (1+k)(9.9 - 29.6\sin^2\varphi) \text{ cm} \qquad \textbf{(2.5)}$$

k Love sayısını göstermektedir ve genellikle 0.3 alınır. $\varphi = 45^\circ$ için $N_m - N_z = 5$ cm, $N_z - N_n = 1.5$ cm ve $N_m - N_n = 6.5$ cm olarak bulunur.

Geoit yüksekliğinin en önemli uygulamalarından birisi elipsoidal yüksekliklerden (h) ortometrik yüksekliklerin (H) elde edilmesidir. Burada $H = h - N$ ve H değeri N değeri ile verilen ve geoide göre ondülasyonu belirli bir elipsoide göre verilir. Şurası açıktır ki, h ve N tutarlı bir gel-git etkileri sistemine göre verilmelidir. IAG'nin 16. teklifi sıfır gel-git etkileri sistemini tavsiye etmesine rağmen, konum belirleme ile uğraşan pek çok sivil kuruluşlar ise konum (burada yükseklikler olmak üzere) bir gel-git etkilerinden arındırılmış sistemde kaydedilmesini işaret etmektedirler **(URL2).**

Gel-git etkilerinden arındırılmış ve sıfır gel-git etkileri sistemleri arasındaki yükseklikler arasındaki farklar 10 cm civarında olmasına rağmen, tutarlı sonuçlar elde etmek için h ve N aynı sistemde verilmelidir. EGM96 projesi kapsamında gel-git etkileri sistemi olarak gel-git etkilerinden arındırılmış sistem tercih edilmiştir. Bu nedenle EGM96 modeline göre hesaplanan geoit yükseklikleri de gel-git etkisinden arındırılmış geoit yükseklikleri olacaktır **(URL2).**

2.2. Geoidin Önemi ve Global Geoit Belirleme Çalışması Yapan Kuruluşlar

Bir referans yüzeyi olarak yükseklik sistemlerinde kullanılacak bir geoide güncel teknolojiyi kullanan herkesin ihtiyacı 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 belirleme, yatay konumu bilinen bir noktada, geoit yüksekliğinin sayısal veya analog olarak elde edilmesini sağlayacak biçimde verilerin modellendirilmesidir **(Ayan ve Deniz, 2000).** Geoit modelleri lokal, bölgesel veya global alanlar için geliştirilebilir. 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

Tablo 2.1'den, gravite anomalilerinin önemli bir parçasının, bölgesel jeolojik ve topoğrafik yapının neden olduğu orta ve kısa dalga içinde olduğu görülüyor. Ultra kısa dalga içinde lokal topoğrafik ve yüzey altındaki bozucu etkiler vardır. Buna göre, gravite anomalilerinden bir lokal veya global "cm" geoidinin elde edilmesi için ortalama birkaç km aralıklarla bir veya iki mgal doğrulukta gravite anomalilerine gereksinim vardır.

Geoit, derindeki uzun dalgalı kütle anomalilerinden daha fazla etkilenmektedir. Uzun ve orta dalga boyunu içeren 180^{o}'lik bir geoit modeli ± 2.1 metre doğruluk sağlamaktadır. Günümüzde geliştirilen 360^{o}'lik yer jeopotansiyel modeli 1996 EGM96, ± 50 cm'den daha iyi doğruluktadır. Yine tablodan, ± 2 cm doğrulukla geoit belirleyebilmek için (örneğin GPS / nivelman kombinasyonu ile) 20- 8 km aralıklarla enterpolasyon dayanak noktalarına gereksinim olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1, "cm" doğruluğundaki bir global geoidin belirlenmesindeki problemleri de açıklamaktadır. Tüm dünyayı kaplayan yeterli sıklıkta ve doğrulukta veriye ulaşmak uzun yıllar alacaktır. Günümüzde geliştirilen en son yer jeopotansiyel model EGM96, 1.7 milyon nokta gravite değeri, 12 milyon deniz gravite değeri, uydu altimetre ve uydu gravite verilerinden geliştirilmiştir. Modelde hesaplanan katsayılar toplamı 260640 'tır. Daha doğru global jeopotansiyel model için çok daha fazla veriye ve katsayı hesabına gereksinim olduğu açıktır.

Tablo: 2.1: Tscherning ve Rapp (1974) tarafından geliştirilen global küresel harmonik açılım ile gravite anomalileri ve geoit yüksekliklerinin karesel ortalama hataları arasındaki bağıntılar.

ALAN YAPISI	Küresel Harmonik Açılımın Derecesi (l)	Dalga Boyu $360^o / l$	Karesel Ortalama Hata	
			Δg(mgal)	N (m)
Uzun Dalga	2 - 36	$180^o - 10^o$	± 20.2	± 30.2
Orta Dalga	37 - 180	$10^o - 2^o$	± 22.5	± 2.1
Kısa Dalga	181 - 2000	$2^o - 10'$	± 27.2	± 0.47
Ultra Kısa Dalga	2001 - 5000 5001 - 10000 10001 - 20000	20 – 8 km 8 – 4 km 4 - 2 km	± 10.8 ± 4.6 ± 1.4	± 0.02 ± 0.005 < 0.001

Yukarıdaki düşünceler çerçevesinde, geliştirilen geoitler global modelin bir kesimini geliştiren lokal veya bölgesel geoitler olarak tanımlanabilir. Bu geoitler için kullanılan veriler birleştirilerek global geoit iyileştirilmektedir **(Sideris, 1994a).**

Geoit belirlemede kullanılan veriler GRS80'e referanslanır ise belirlenen geoit mutlak geoit, eğer rölatif bir datuma referanslanırsa rölatif geoit olarak adlandırılır. Çalışmaların mutlak geoidi destekler nitelikte olması, gelecekte tüm ülkeleri birleştirecek olan mutlak global geoidin iyileştirilmesini ve tamamlanmasını sağlayacaktır.

Uluslararası Jeodezi Birliğinin (International Union of Geodesy) alt kuruluşları olan Uluslararası Gravite Servisi (Bureau Gravimetrique International –BGI) ve Uluslararası Geoit Servisi (International Geoid Service – IGeS), yerin gravite

alanının ve tek bir geoidin belirlenmesi için çalışan uluslararası kuruluşlardır. Bu kuruluşlar, yersel gravite ölçüleri, gravite gradyometre ve uydu altimetre verilerinden yararlanarak lokal, bölgesel ve global gravite alanlarının ve geoitlerinin belirlenmesi çalışmalarını yürütmektedir.

Dünya geoidinin belirlenmesi çalışmaları ABD ulusal kuruluşu olan NIMA tarafından da yürütülmektedir. Yersel gravite verileri, uydu gradyometre ve uydu altimetre verilerinden yararlanarak yeryuvarının çekim alanının küresel harmonik açılımı yoluyla belirlenmesi çalışmaları sonucunda WGS datumun da Yeryuvarı Çekim Modeli 1996 (Earth Gravity Model 1996- EGM96) geliştirilmiştir **(Ayan ve diğ., 1999).** EGM96 n=m=360^o derece ve mertebeye kadar açılımı olan 260640 katsayıdan oluşmaktadır **(Ayan ve Deniz, 2000).** Böylece yeryüzü üzerinde; enlemi, boylamı ve elipsoidal yüksekliği bilinen bir noktada bozucu potansiyel (T) ve normal gravite (γ) değerleri de hesaplanabildiğinden aşağıdaki Bruns eşitliğinden

$$N = \frac{T}{\gamma} \qquad \textbf{(2.6)}$$

geoit yüksekliği (N) bulunabilmektedir **(Heiskanen ve Moritz, 1967).** Jeopotansiyel model **bölüm 2.3.3'**de ayrıntılı biçimde açıklanacaktır.

2.3 Geoit Belirleme Yöntemleri

Geoit belirleme yöntemleri tarihsel olarak kullanılan verilere ve geliştirilen alet ve bilgisayar olanaklarına göre bir gelişim göstermiştir. İlk geoit belirlemelerde bir noktadaki astronomik enlem ve boylam ile aynı noktadaki jeodezik enlem ve boylam arasındaki farkı kullanarak geoit eğim değişimini belirlemeye dayanan astro-jeodezik yöntem kullanılmıştır. 1970'li yılların başlarında bilgisayarın hesaplarda kullanılmaya başlamasıyla birlikte düşük dereceli jeopotansiyel modeller geliştirilmiş ve geoit belirlenmiştir **(Featherstone ve Olliver, 2001).** 1980'li yıllarda gravite verilerinin elde edilmesi ve bilgisayarların hızlarının artması sayesinde hızlı fourier transformasyonu kullanılarak çeşitli gravimetrik geoitler belirlenmiştir. Yine bu yıllarda jeopotansiyel model katsayılarının derece ve seviyeleri artırılmış (OSU81 n=m=180 ve OSU86F n=m=360 gibi) ve global geoit belirlemedeki presizyon da böylece iyileştirilmiştir **(Featherstone ve Olliver, 2001).** 90'lı yıllara geldiğimizde artık uydulardan konum belirleme yöntemleri sivil kullanımda da yaygınlaşmış ve

böylece GPS/nivelman yöntemi ile geoit belirleme yöntemi daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca gravite verileri de uydular yardımı ile hem karada hem de denizde ve kutup bölgelerinde oldukça fazla miktarda elde edilmeye başlanmıştır. Bu da gravimetrik geoit belirleme yöntemlerinin doğruluğunu artırmıştır. Bunlara ek olarak yüksek dereceli jeopotansiyel modeller bütün dünyayı kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. 1990'lı yıllarla birlikte uydu teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşması elipsoidal yüksekliklerin kolayca elde edilmesini sağlamıştır. Ortometrik yüksekliklerin belirli olduğu noktalarda GPS ölçüleri yapılarak aynı noktaların elipsoidal yükseklikleri de belirlenmiş ve böylece bu noktalardaki geoit yükseklikleri elde edilmiştir. Son yıllarda GPS ölçülerinin miktarının artması ile, geoit herhangi bir bölge için kolayca lokal olarak modellenebilir. Böylece bu bölge içinde enlem ve boylamı belli olan bir noktanın geoit yüksekliği de, model kullanılarak enterpolasyonla hesaplanabilir.

Geoit belirleme yöntemleri, kullanılan verilere ve bu verilerin değerlendirilmesinde kullanılan hesap modelleri dikkate alınarak aşağıda sınıflandırılmıştır **(Sjöberg, 1994);**

1-Astro-Jeodezik Yöntemle Geoit Belirleme
2- Gravite Değerlerine Göre Geoit Belirleme
    a-Stokes Fonksiyonu ile
    b- Hızlı Fourier Transformasyonu ile
        a-Bir Boyutlu Hızlı Fourier Transformasyonu ile (1D-FFT)
        b-İki Boyutlu Hızlı Fourier Transformasyonu ile (2D-FFT)
3-Sayısal Yoğunluk Yöntemine Göre Geoit Belirleme
4-Jeopotansiyel Model Yaklaşımı ile Geoit Belirleme
5-Kombine Yöntemle Geoit Belirleme (Remove – Restore)
6-GPS / Nivelman Yöntemine Göre Geoit Belirleme
    a- Polinomlarla modelleme ile
    b- Bulanık mantık modelleme ile
    c- Sonlu elemanlarla modelleme ile
    d- Kolokasyonla modelleme ile
    e- Enterpolasyon yöntemleriyle modelleme ile.

Yukarıdaki tüm modellerden bulunan sonuçların karşılaştırılabilmesi için, tüm verilerin aynı referans sistemlerine (GRS80 ve IGSN71) dayandırılması gerekir. Geoit belirleme yöntemleri aşağıda kısaca açıklanacaktır.

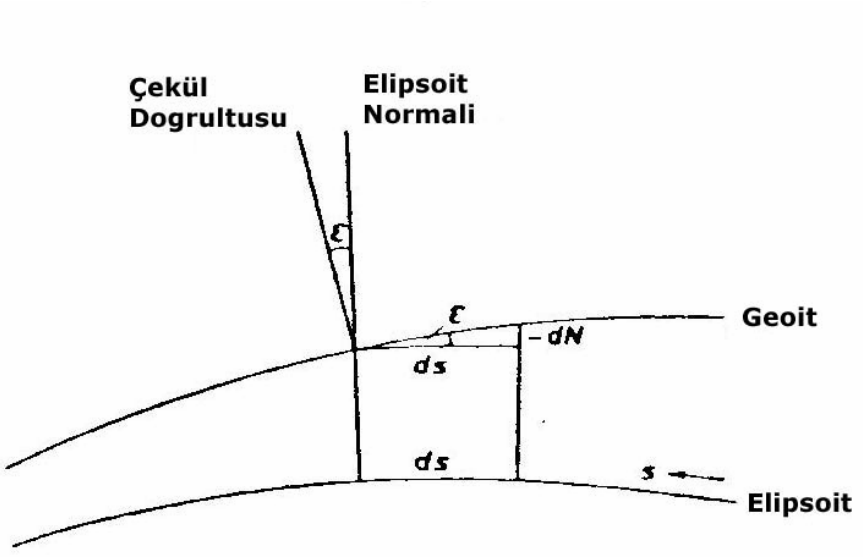
Geoit belirleme yöntemlerinden tezde kullanılan yöntemler ve hesaplama şekilleri aşağıda kısaca açıklanacaktır.

2.3.1 Astro-Jeodezik Yöntemle Geoit Belirleme

Eğer bir noktadaki çekül sapmasının meridyen ve paralel doğrultularındaki bileşenleri verilmişse (yada elde edilebiliyorsa), geoidin eğimi kolayca belirlenebilir. Bir ds mesafesinde geoit yüksekliği N'deki değişiklik

$$dN = -\varepsilon ds. \tag{2.7}$$

eşitliği ile hesaplanabilir **(Heiskanen ve Moritz, 1967).**



Şekil 2.2: Geoit, elipsoit ve çekül sapması arasındaki ilişki

Burada ε, azimutu α olan doğrultudaki çekül sapmasıdır ve

$$\varepsilon = \xi \cos\alpha + \eta \sin\alpha \tag{2.8}$$

olarak bulunur. Eşitlikte geçen ξ ve η sırasıyla çekül sapmasının meridyen ve birinci düşey doğrultudaki bileşenleridir ve aşağıdaki formüllerden hesaplanırlar,

$$\begin{aligned} \xi &= \Phi - \varphi \\ \eta &= (\Lambda - \lambda)\cos\varphi \end{aligned} \tag{2.9}$$

Burada, φ ve λ noktanın jeodezik (elipsoidal), Φ ve Λ ise sırasıyla noktanın astronomik enlem ve boylamıdır.

Eğer A başlangıç noktasındaki geoit yüksekliği biliniyorsa, bir AB kenarı boyunca N değeri aşağıdaki integralle hesaplanabilir

$$N_B = N_A - \int_A^B \varepsilon ds \qquad \textbf{(2.10)}$$

Geoidin bu şekilde belirlenmesine, astro-jeodezik geoit belirlenmesi denir. φ ve λ eskiden, açıların ve bazların (kenarların) ölçüldüğü, çok yorucu ve zaman alan bir çalışmanın sonunda kurulan nirengi ağlarının dengelenmesi ile belirlenirdi. Oysa günümüzde bu koordinatlar daha güvenilir bir tarzda GPS ölçmeleri ile kolayca belirlenebilirler **(Ollikainen, 1997).** Ayrıca, astronomik enlem Φ ve boylam Λ'nın yeterli doğrulukla belirlenebilmesi geçmişte çok zor bir işti. Fakat son yıllarda kullanımı artan ve kısmen ölçmelerin otomatik hale getirildiği CCD (Charge Coupled Devices) ve Zenith kameralarla astronomik enlem ve boylamın belirlenmesi biraz daha kolaylaştırılmıştır. Bu kameraların avantajları hem daha az personele gerek duyulması hem de dağlık arazilerde kullanımının klasik astronomik gözlemelere göre daha kolay olmasıdır. Ayrıca yaklaşık 1000 km^2'lik bir geoit projesi için yaklaşık 500-1000 tane gravite ölçmesine (±2 cm doğruluklu bir gravimetrik geoit için) gerek duyulurken, sadece 30 tane astro jeodezik noktaya ihtiyaç duyulması bir avantajdır. Yöntemin dezavantajı ise gözlemler için açık bir gökyüzüne ihtiyaç duyulmasıdır **(Gerstbach, 2003).**

2.3.2 Gravite Değerlerine Göre Geoit Belirleme

2.3.2.1 Stokes Fonksiyonu ile Geoit Yüksekliğinin Belirlenmesi

Stokes'un sınır değer probleminin çözümü geoidin gravimetrik olarak hesaplanmasını sağlar. Stokes problemi, geoit yüzeyi üzerindeki her nokta için verilen gravite anomalilerinden (kütlenin dışında harmonik olan) bir potansiyelin hesaplanmasıyla ilgilidir. Sonuç olarak geoidin dışındaki hiçbir kütleye izin verilmediğinden, yeryuvarının topografyası matematiksel olarak elimine edilmelidir **(Sideris, 1994b).**

Laplace denklemini sağlayan bozucu potansiyeli (T) hesaplamak için kullanılacak klasik sınır değer problemi aşağıda ifade edilmiştir:

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 . \qquad \textbf{(2.11)}$$

Burada, ∇^2 Laplace operatörü ve geoit üzerindeki bir sınır koşulu altında, küresel yaklaşımda, örneğin referans elipsoidinin basıklığının rölatif hatası ihmal edildiğinde

$$\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{2}{r} T + \Delta g = 0 . \qquad \textbf{(2.12)}$$

olur. Burada, $\frac{\partial}{\partial r}$ radyal düşey türevi göstermektedir. (3.5) eşitliğinin (3.6) koşulu altındaki çözümü geoit üzerindeki gravite anomalilerinin (Δg) bir fonksiyonu olarak bozucu potansiyel T'yi verir ve Stokes integrali ile aşağıdaki biçimde ifade edilir;

$$T = \frac{R}{4\pi} \iint_{\sigma} \Delta g S(\Psi) d\sigma . \qquad \textbf{(2.13)}$$

Burada,

R :yeryuvarının ortalama yarıçapı,

σ :yeryuvarının yüzeyini,

S(Ψ) :Stokes fonksiyonunu gösterir ve

$$S(\Psi) = \frac{1}{\sin(\Psi/2)} - 6\sin\frac{\Psi}{2} + 1 - 5\cos\Psi - 3\cos\Psi \ln\left(\sin\frac{\Psi}{2} + \sin^2\frac{\Psi}{2}\right) \qquad \textbf{(2.14)}$$

$$\sin^2\frac{\Psi}{2} = \sin^2\frac{\varphi_P - \varphi}{2} + \sin^2\frac{\lambda_P - \lambda}{2}\cos\varphi_P\cos\varphi$$

biçimde ifade edilir.

Ψ veri noktası (φ, λ) ile hesap noktası (φ_P, λ_P) arasındaki küresel uzaklıktır. Referans elipsoidini geoit üzerindeki gravite potansiyeliyle aynı normal potansiyele sahip seçerek, bozucu potansiyel T referans elipsoidi üzerindeki normal potansiyel γ ile geoit yüksekliği N aşağıdaki gibi ilişkilendirilebilir;

$$T = \gamma N . \qquad \textbf{(2.15)}$$

Burada geoit yükseklikleri N, Bruns formülü ile geoit üzerindeki her nokta için bozucu potansiyelden aşağıdaki gibi elde edilebilirler;

$$N = \frac{T}{\gamma} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} \Delta g S(\Psi) d\sigma \,. \qquad \textbf{(2.16)}$$

2.3.2.2 Hızlı Fourier Transformasyonu ile Geoit Yüksekliğinin Belirlenmesi

2.3.2.2.1 Bir Boyutlu Hızlı Fourier Transformasyonu ile (1D-FFT) Geoidin Belirlenmesi

Bir boyutlu (1D FFT) metodunun en önemli özelliği, Stokes fonksiyonu gibi kernel fonksiyon değerleri, aynı boylam üzerindeki bütün hesap noktaları için hesap noktası ile integrasyon noktası arasındaki fark belirli bir boylam farkı için aynıdır fakat farklı paralellerdeki hesap noktaları için farklıdır. Bu nedenle, FFT metoduyla sadece bir doğu – batı yönünde bükülme (sarılma, konvolusyon) yapılır. Kuzey – güney yönündeki integrasyon ise bir noktasal integrasyonla yapılabilir. Bu işlem de integrasyon bölgesinin her yerinde doğru bir kernel fonksiyonunun kullanılmasını sağlar. Sonuçta küre üzerindeki noktasal integrasyonla elde edilen sonuçla aynı değerler elde edilir. 1D FFT geleneksel integrasyon yöntemiyle 2D FFT metodunun bir karışımıdır **(Haagmans, 1993).** Gerçekte φ_j enleminin paraleli boyunca olan gravite anomali verilerini kullanarak φ_l belirli bir enlemin paraleli için sonuçlarda Ψ sadece $\lambda_k - \lambda_l$ ve Δg sadece λ_j kadar değişirler. Ayrık (diskrete) Fourier transformasyonun (DFT) ekleme teoremini kullanarak, sabit bir paralel için ayrık Stokes integrali, aşağıdaki gibi değerlendirilir **(Sideris, 1994b);**

$$N(\varphi_l, \lambda_k) = \frac{R\Delta\varphi\Delta\lambda}{\mathbf{4}\pi\gamma} \mathbf{F_1}^{-1} \left\{ \sum_{j=\mathbf{0}}^{N-\mathbf{1}} \mathbf{F^1} \left\{ \Delta g(\varphi_j, \lambda_k) \cos\varphi_j \right\} \mathbf{F_1} \left\{ S(\varphi_l, \phi_j, \lambda_k \right\} \right\} \,, \qquad \textbf{(2.17)}$$

$\varphi_l = \varphi_1 \,, \varphi_2, ..., \varphi_N$.

Burada $\mathbf{F_1}$ ve $\mathbf{F_1}^{-1}$ 1D Fourier transformasyon operatörü ve onun tersidir. 1D küresel FFT yaklaşımının en büyük avantajı, doğrudan nümerik integral yöntemi ile elde edilen sonuçlarla birebir aynı sonuçları vermesidir. İlave olarak, her defasında sadece bir 1D kompleks sıralanış (komplex array) gerektirmesidir. 2D FFT metodu ile karşılaştırıldığında son derece önemli bir bilgisayar zamanı tasarrufu sağlar.

Üstelik, FFT'nin uygulanması klasik direkt nümerik integral yönteminden işlem olarak daha uygundur **(Sideris, 1996).**

2.3.2.2.2 İki Boyutlu Hızlı Fourier Transformasyonu ile (2D-FFT) Geoidin Belirlenmesi

Eğer bir E alanı için gravite anomalileri verilmişse, gravite anomalilerinden geoit yükseklikleri bir 2 boyutlu bükülme, (sarılma, konvolusyon) integraliyle düzlem yaklaşımda ifade edilebilirler. MxN gridli ve Δx ve Δy aralıklı nokta gravite anomalilerini kullanarak, bir (x_k, y_l) noktasındaki geoit yüksekliği aşağıdaki ayrık (diskrete) bükülme ile hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} N^{\Delta g}(x_k, y_l) &= \frac{1}{2\pi\gamma}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\Delta g(x_i, y_j) l_N(x_k - x_i, y_l - y_j)\Delta x\Delta y \\ &= \frac{\Delta x\Delta y}{2\pi\gamma}\Delta g(x_k, y_l) * l_N(x_k, y_l) \end{aligned}, \qquad \textbf{(2.18)}$$

$$l_N(x_k - x_i, y_l - y_j) = \begin{Bmatrix} \left[(x_k - x_i)^2 + (y_l - y_j)^2\right]^{-1/2}, & x_k \neq x_i \text{ yada } y_l \neq y_j \\ 0, & x_k = x_i \text{ ve } y_1 = y_j \end{Bmatrix},$$

burada * bükülmeyi göstermektedir. l_N'nin tekilliğini (singularity) hesaba katmak için, kernel orijinde sıfıra (0) eşitlenir ve hesap noktasındaki gravite anomalisinin $N^{\Delta g}$ 'ye katkısı ayrıca hesaplanmalıdır **(Omang ve Forsberg, 2002).**

Geoit yükseklikleri 2 boyutlu hızlı Fourier transformasyonu ile aşağıdaki gibi hesaplanabilirler:

$$\begin{aligned} N^{\Delta g}(x_k, y_l) &= \frac{\Delta x\Delta y}{2\pi\gamma}\mathbf{F}^{-1}\left\{\mathbf{F}\left\{\Delta g(x_k, y_l)\right\}\mathbf{F}\left\{l_N(x_k, y_l)\right\}\right\} \\ &= \frac{\Delta x\Delta y}{2\pi\gamma}\mathbf{F}^{-1}\left\{\Delta G(u_m, v_n) L_N(u_m, v_n)\right\} \end{aligned}. \qquad \textbf{(2.19)}$$

Burada

F **:**2D diskrete Fourier transformasyonunu (2D FFT),

$\mathbf{F^{-1}}$ **:**ters 2D diskrete Fourier transformasyonunu,

u ve ***v*** ise sırası ile x ve y'ye karşılık gelen frekansları göstermektedir.

ΔG ayrık fourier transformasyonu ile hesaplanmalıdır, öte yandan L_N ya ayrık fourier transformasyonu (DFT) ile yada sürekli fourier transformasyonu (CFT) ile hesaplanmalıdır. ΔG, CFT ile hesaplanırsa $L_N=(u^2+v^2)^{-1/2}=q^{-1}$'i verir. Burada q radyal frekanstır ve (2.19) numaralı eşitlikte kullanmak için ayrıklaştırılır (diskrete edilir). q^{-1} olarak tanımlanan L_N, Stokes çekirdeğinin (kernelinin) analitik olarak tanımlanmış spektrumu olarak adlandırılır. Analitik olarak tanımlanmış spektrum ayrık olanla karşılaştırıldığında değerlendirme için DFT gerektirmemesi, sızıntı (leakage) ve aliasing etkisinin olmaması gibi bazı avantajları olmasına rağmen, eğer sonuçların nümerik integral yöntemi ile elde edilenlerle aynı olması istenilirse, ayrık bükülme hesabı için uygun değildir **(Zhang ve diğ., 2000).**

2.3.3 Jeopotansiyel Model Yaklaşımı İle Geoit Belirleme

2.3.3.1 Genel

Yeryuvarının gravite alanının (W) küresel harmonik gösterimi Heiskanen ve Moritz (1967)'e göre

$$W(r,\theta,\lambda)=\frac{GM}{r}\left\{1+\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^n\sum_{m=0}^{n}\left(C_{nm}\cos m\lambda+S_{nm}\sin m\lambda\right)P_{nm}\left(\cos\theta\right)\right\}+\Phi\,. \qquad \textbf{(2.20)}$$

Burada,

r, θ, λ :W'nin hesaplanacağı noktanın kutupsal koordinatları,

GM :Gravitasyonel sabit,

a :referans elipsoidinin büyük ekseni,

$P_{nm}(\cos\theta)$:tam normalleştirilmiş Legendre fonksiyonu,

C_{nm}, S_{nm} :Yeryuvarı gravite alanının tam normalleştirilmiş küresel harmonik katsayıları,

Φ :merkezkaç potansiyeli ($\Phi=\frac{1}{2}\omega^2 r^2\sin\varphi$, ω yeryuvarının açısal dönme hızı) dır.

Bir dönel elipsoidin potansiyeli açılımla aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$U(r,\theta)=\frac{GM'}{r}\left\{1+\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^{2n}P_{2n}(\cos\theta)\right\}+\Phi\,. \qquad \textbf{(2.21)}$$

Burada, M' referans elipsoidinin kütlesidir. Bozucu potansiyelin (T=W-U) standart gösterimi ise şöyle verilir:

$$T(r,\theta,\lambda)=\frac{GM}{r}\left\{\sum_{n=2}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^{n}\sum_{m=0}^{n}(\Delta C_{nm}\cos m\lambda+\Delta S_{nm}\sin m\lambda)P_{nm}(\cos\theta)\right\}. \qquad \textbf{(2.22)}$$

Burada, ΔC_{nm} ve ΔS_{nm} jeopotansiyel katsayılar ile elipsoidal katsayılar arasındaki farklardır. Ayrıca M-M´ farkının küçük olduğu düşünülür ve eşitlikte M´ yerine M yazılabilir.

Fiziksel jeodezinin sınır koşullarını dikkate aldığımızda, gravite anomalileri için aşağıdaki açılımları elde ederiz;

$$\Delta g(r,\theta,\lambda)=\frac{GM}{r^2}\left\{\sum_{n=2}^{\infty}(n-1)\left(\frac{a}{r}\right)^{n}\sum_{m=0}^{n}(\Delta C_{nm}\cos m\lambda+\Delta S_{nm}\sin m\lambda)P_{nm}(\cos\theta)\right\}, \qquad \textbf{(2.23)}$$

ve geoit yükseklikleri Bruns eşitliği ile aşağıdaki biçimde elde edilirler;

$$N(r,\theta,\lambda)=\frac{GM}{r\gamma}\left\{\sum_{n=2}^{\infty}\left(\frac{a}{r}\right)^{n}\sum_{m=0}^{n}(\Delta C_{nm}\cos m\lambda+\Delta S_{nm}\sin m\lambda)P_{nm}(\cos\theta)\right\}. \qquad \textbf{(2.24)}$$

Burada, γ, P(r, θ, λ) noktasındaki normal gravite değeridir.

Genelde, yeryuvarının gravite alanının daha kısa dalga boyu bilgilerini içeren modelde daha fazla katsayı oldukça modelin daha presizyonlu olduğu söylenebilir **(Sevilla, 1996).**

2.3.3.2 Global Jeopotansiyel Model

Bir jeopotansiyel model, sadece geoit yüksekliklerinin bir modelini üretmek için yeryuvarının dış gravitasyonel potansiyelinin küresel harmonik katsayılarının bir kümesinin kullanılmasıyla elde edilmesi değildir. Jeopotansiyel modeli tanımlayabilmek için aşağıdaki dört bilgiye daha ihtiyaç vardır:

Bir normal gravitasyonel potansiyel alanın seçimi (referans elipsoidini kapsayan),

Hangi nivo yüzeyinin geoit olduğunun seçimi,

Jeopotansiyel modelin ilişkili olduğu sürekli gel-git etkileriyle ilgili bilgi,

Topoğrafik kütlelerin içinde potansiyel alanın nasıl davrandığı.

Yukarıdaki 4 soru çoğu zaman aşağıdaki gibi yanıtlanabilir;

Bir ekvatoral ölçek faktörü (a_1),

Modeli oluşturmada kullanılan uyarlanmış gravite kütle sabiti (GM_1),

Modelin sürekli gel-git etkileri,

2.dereceden n. Dereceye kadar (ve genellikle C_{nm} ve S_{nm} diye adlandırılan) katsayılar kümesi.

Yukarıdaki 4 çeşit bilgi ile bir jeopotansiyel model oluşturulabilir ve yarıçapı $r = a_1$ olan bir kürenin dışındaki gravitasyonel potansiyelin hesaplanması için yeterlidir **(Smith, 1998).**

Yeryuvarının gravite alanını ifade eden ve böylece küresel harmonik katsayıların bir fonksiyonu olarak geoit yüksekliğini hesaplayan pek çok jeopotansiyel model çeşitli zamanlarda değişik ülkelerdeki çalışma grupları tarafından geliştirilmiştir. Başlıca iki grup jeopotansiyel model vardır. Bunlar, yalnızca uydu ölçmelerinin kullanıldığı ve uydu ölçmeleri ile birlikte diğer ölçmelerin (gravite verileri ve uydu altimetre verileri gibi) bir kombinasyonu şeklindeki ölçmelerin kullanıldığı modeller olarak sınıflandırılabilir **(Featherstone ve Olliver, 2001).**

Yalnızca uydu ölçmelerinden geliştirilen jeopotansiyel modeller yapay uyduların yörüngelerindeki bozulmaların analizinden elde edilirler. Uydu izleme ölçmelerinden sadece jeopotansiyel modelin düşük dereceli katsayıları (50. dereceye kadar bütün katsayılar ve 70. dereceye kadar seçilmiş katsayılar) belirlenebilir **(Wenzel, 1998b).** Sadece uydu ölçmelerinden elde edilen jeopotansiyel modeller, nokta koordinatları, uydu parametreleri ve jeopotansiyel model katsayıları bilinmeyen olarak uydu izleme ölçmelerinden en küçük kareler dengelemesiyle belirlenirler **(Wenzel, 1999).** Hem yersel gravite anomalileri hem de okyanuslardaki uydu altimetresi, jeopotansiyel modeller için uydu izleme ölçmelerinden daha yüksek uzaysal çözünürlülüğe sahiptirler. Yersel gravite ve yersel data okyanuslardaki uydu altimetre verilerine ilave edilerek kombine global jeopotansiyel modeli üretmek için birlikte çözüme katılırlar. Yüksek derece ve ultra yüksek dereceli jeopotansiyel modeller düşük dereceli katsayıların başlıca uydu

izleme ölçmelerinden belirlendiği kombine modellerdir. Kombine global jeopotansiyel modeller sadece uydu izleme ölçmelerinden elde edilen modellerden çoğu zaman daha yüksek uzaysal çözünürlülüğe sahip olduğundan, GPS ölçmelerinden elde edilen yüksekliklerin transformasyonu için genellikle daha uygundur.

Tablo 2.2'de 1998 yılına kadar geliştirilmiş global jeopotansiyel modeller, maksimum küresel harmonik derece ve katsayıları, hangi yöntemle geliştirildiği gösterilmiştir. Bir jeopotansiyel modelin kilometre biriminde uzaysal çözünürlülüğü (minimum dalga uzunluğunun yarısı) 20000 km'nin maksimum dereceye bölünmesiyle basit bir şekilde elde edilir **(Wenzel, 1999; Collier ve Croft, 1997).**

Bir global jeopotansiyel modelin küresel harmonik katsayıları verildiğinde, herhangi bir noktadaki geoit yüksekliği hesaplanabilir. Bu hesaplama Ohio State Üniversite'sinden Prof Richard Rapp'in yazmış olduğu F477 FORTRAN programı **(Rapp, 1997)** ile kolaylıkla yapılabilir. F477 programı Amerika Birleşik Devletleri National Geospatial Intelligence Agency (NGA)'nın web sayfası olan http://earth-info.nga.mil/GandG/wgsegm/f477.f sayfasından ücretsiz olarak elde edilebilir.

Bu FORTRAN programında geoit yüksekliği N aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanmaktadır**:**

$$N(\varphi,\lambda) = N_o + \zeta(\varphi,\lambda,r) + \frac{\Delta g_{BA}(\varphi,\lambda)}{\gamma} H(\varphi,\lambda)\,. \qquad \textbf{(2.25)}$$

Burada;

H : Ortometrik yükseklik,

Δg_{BA} : Bouguer anomali,

γ : Normal gravite,

ζ : Yükseklik anomalisidir.

Yükseklik anomalisi ise (2.22) eşitliği ile hesaplanan bozucu potansiyele bağlı olarak (2.26) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Tablo 2.2: Günümüze kadar geliştirilmiş global jeopotansiyel modellerin bazıları ve maksimum dereceleri

Model	Maksimum Derecesi	Yılı	Ölçme Çeşidi
GEM3	12	1972	
GEM8	25	1976	
GEM10A	30	1978	
GEM10B	36	1978	
GEM-T1	36	1988	
GEM-T3S	50		Y. Uydu Ölç
GPM2	200	1980	
JGM-1	70		Kombine
JGM-1S	60		Y. Uydu Ölç
JGM-3	70		Kombine
PGTF-4	50		Y. Uydu Ölç
TEG-3	70		Kombine
GRIM5-S1	120		Y. Uydu Ölç
IFE87E1	200	1987	
IFE87E2	360	1987	
IFE88E1	360	1988	
IFE88E2	360	1988	
OSU68	14	1968	
OSU81	180	1981	
OSU86E	360	1986	
OSU86F	360	1986	
OSU89A	360		Kombine
OSU89B	360		Kombine
OSU89TOP	360	1989	
OSU91A	360		Kombine
OGE12	360		Kombine
GFZ93A	360		Kombine
GFZ93B	360		Kombine
GFZ95A	360		Kombine
GFZ97	359		Kombine
EGM96	360		Kombine
GAO-98	360		Kombine

$$\zeta(\varphi,\lambda,r)=\frac{T(\varphi,\lambda,r)}{\gamma}. \qquad \textbf{(2.26)}$$

(2.25) eşitliğindeki N_o ise sıfırıncı terim olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır **(Rapp, 1994b),**

$$N_o=\frac{GM-GM_o}{r\gamma}-\frac{\left(W_o-U_o\right)}{\gamma}. \qquad \textbf{(2.27)}$$

Burada γ ve r elipsoit üzerindeki ortalama gravite ve ortalama yarıçaptır ve WGS84 elipsoidine göre

$\gamma = 9.797645\ ms^{-2}$,

r = 6371007 m.

GM_o değeri WGS84 elipsoidinin yenilenmiş GM değeri için uyarlanmış değeridir. Bu değerde $3.986004418x10^{14}\ m^3s^{-2}$ ve IERS sayısal standartlarında verilenle benzerdir **(Mc Carty, 1996).** GM değerinin en iyi tahmini IAG'nin özel komisyonu SC3 temel sabitlerindeki (IAG Special Commission SC3 Fundamental Constant), tavsiyelere dayanan aynı değer olarak alınabilir. Bu durumda da (2.27) formülündeki 1.terim sıfıra eşittir **(Kirby ve Featherstone, 1997).**

Eşitlikteki 2.terimi hesaplamak için iyileştirilmiş WGS84 **(NIMA)** elipsoidinin parametrelerine dayanan U_o'ın hesaplanmasından sonra geoit yüzeyindeki ideal potansiyelin belirlenmesi yada uyarlanması gerekmektedir. W_o değeri **(Bursa, 1995)**'da

$W_o = 62636856{,}88\ m^2s^{-2}$ olarak verilmektedir.

Bu değer tutarlı bir gel-git etkileri sisteminde verilen a ve f değerleri kümesi ile uyumludur. Eğer gel-git etkilerinden arındırılmış sistemi seçecek olursak şunlar alınır:

a = 6378136.46 m,

f = 1/298.25765.

U_o'ın hesaplanması için, iyileştirilmiş WGS84 elipsoidinin parametreleri alınabilir;

a = 6378137.00 m,

f = 1/298.257223563,

$GM = 3{,}986004418x10^{14}\ m^2s^{-2}$,

$\omega = 7292115x10^{-11}\ sec^{-2}$.

Burada ω yeryuvarının ortalama açısal hız değeridir. Yukarıdaki 4 değeri kullanarak, elipsoit yüzeyindeki U_o değeri **Heiskanen ve Moritz (1967)**'in kitabındaki (2-61) eşitliğine göre hesaplanabilir ve sonuçta aşağıdaki değer bulunur:

$U_o = 62636851{,}71\ m^2s^{-2}$.

U_o ve W_o değerlerini kullanarak (2.27)'den, No = -52.8 cm olarak bulunur.

N_o'nun diğer bir hesaplama metodu da **Heiskanen ve Moritz (1967)**'in kitabındaki (2-200) eşitliğine göre yapılabilir:

$$\zeta N_o = \delta\ a - \frac{1}{3} a \delta f\ . \qquad \textbf{(2.28)}$$

Burada δa ve δf ideal değerlerden ekvatoral yarıçapın ve basıklığın çıkarılmasıdır. Gel-git etkilerinden arındırılmış ve iyileştirilmiş WGS84 elipsoidine ait a ve f değerlerini kullanarak N_o = -52.9 cm bulunur ki bir önceki hesaplamayla uyuşumlu olduğu görülür **(Lemoine ve diğ., 1998).**

Tablo 2.2'deki global jeopotansiyel modellerin pek çoğunun katsayıları Uluslararası Geoit Servisinin web sayfası olan http://www.iges.polimi.it/index/ geoid_repo/global_models.htm adresinden elde edilebilir.

Bu global jeopotansiyel modeller incelendiğinde EGM96 modelinin daha iyi sonuçlar verdiği görülür. EGM96, küresel harmonik katsayıların derece ve sayısının 360 olduğu bir yeryuvarı jeopotansiyel modelidir. Model, karma (bileşik) bir çözüme sahiptir; (1) 70. dereceye kadar birleşik çözüm, (2) 71'den 359.dereceye kadar bir blok köşegen çözüm ve (3) 360. derecede dörtlü bir çözüm ile model oluşturulmuştur. EGM96 modeli, NIMA, NASA Goddard Space Flight Center ve Ohio State üniversitesinin ortak çalışmaları sonucu geliştirilmiştir **(URL4).**

NIMA arşivlerinden yeni yayınlanmış verileri de içermek üzere dünyanın pek çok bölgesinden yüzey gravite verileri projeye dahil edilmiştir. 1990'dan sonra NIMA' nın gravite verileri toplamak için pek çok projesi olmuştur. Bu NIMA projeleri sayesinde pek çok bölgede yeni gravite verileri (Antarktika, kutuplar ve Grönland) elde edildiği gibi, daha önce gravite verilerinin olduğu Afrika, Kanada, Güney Amerika'nın bir kısmı, güneydoğu Asya, Avrupa'nın güneyi ve eski Sovyetler Birliğindeki bazı bölgelerdeki gravite verileri de iyileştirilmiştir.

NIMA, GEOSAT ölçmelerinden 30'x30' ortalama altimetre ölçmelerinden gravite anomalilerini türetmiştir. EGM96 ayrıca kutuplar ve Antarktika üzerindeki ERS-1'den elde edilmiş altimetre ölçmelerinden türetilmiş gravite anomalilerini de içermektedir. Ayrıca TOPEX/POSEIDON, GEOSAT, SLR, GPS ve DORIS gibi uydu ve altimetre ölçmelerinden de yararlanılmıştır.

Mevcut 360 derecelik global jeopotansiyel modeller geoit hesabı için sadece 19980/360=55.5 km'lik bir uzaysal çözünürlük sağlarlar. Bu çözünürlük genellikle lokal haritacılık çalışmaları için yetersizdir. Bu yüzden düzenlenmiş (tailored) jeopotansiyel modeller yada bölgesel gravimetrik geoit modelleri uzaysal çözünürlüğü ve genellikle de global jeopotansiyel modellerin presizyonunu artırabilir.

2.3.3.3 Düzenlenmiş (Tailored) Jeopotansiyel Model

Global jeopotansiyel modeller genellikle düzenlenme adı verilen bir işlemle iyileştirilebilir. Çoğu zaman global jeopotansiyel model hesabında kullanılması gerekli olmayabilen yersel ve gravite verileri de kullanılarak mevcut küresel harmonik katsayılar daha yüksek derecelere genişletilerek yeniden dengelenir **(Kearsley ve Forsberg, 1990).** Düzenlenmiş jeopotansiyel modeller ya global olarak yada belirli bir bölge için geliştirilebilirler. Bununla birlikte bölgesel olarak düzenlenmiş jeopotansiyel modeller sadece düzenlenme işleminin uygulandığı alan için geçerlidir çünkü hiçbir verinin olmadığı bölgelerde hatalı sonuçlar verebilirler **(Wenzel, 1998a).**

Bölgesel olarak geliştirilmiş modellerden birisi IFE88E2'dir. IFE88E2 düzenlenmiş jeopotansiyel modeli OSU86F global jeopotansiyel modeline dayanır ve sadece Avrupa gravite verileri kullanarak düzenlenme işlemi yapılmıştır. Düzenlenme işlemi, 30° kuzey < φ < 73° kuzey ve 30° batı < λ < 46° doğu bölgeleri arasında kalan alan için İskandinavya (73°kuzey < φ <81.5°kuzey ve 3°doğu < λ <36°doğu) bölgesini içeren gravite verilerinin eklenmesiyle uygulanmıştır. Bu modelin maksimum küresel harmonik derecesi de modelin geliştirilmesine temel teşkil eden OSU86F ile aynıdır yani 360 dır. IFE88E2 modelinin Avrupa'nın sadece bu bölgeleri için OSU86F'in presizyonunu artırması beklenebilir fakat uzaysal çözünürlük olan 55 km'yi aşmaz. 0.5° x 0.5°' lik bölümler halinde toplam 6715 tane GRS80 elipsoidine göre olan ortalama serbest hava gravite anomalileri düzenlenme işlemi için kullanılmıştır. IFE88E2'de kullanılan gravite verilerinin kalitesine bakıldığında, EGM96 global jeopotansiyel modelin IFE88E2 modelinden daha iyi olabileceği **Featherstone ve Olliver, (2001)**'de ifade edilmektedir.

EGM96 global jeopotansiyel modelin, GPM3E97A, GPM3E97B ve GPM3E97C Avrupa için bölgesel olarak geliştirilmiş düzenlenmiş modellerden ve IFE88E2 modelinden daha iyi sonuçlar verdiği yine **Featherstone ve Olliver, (2001)**'de belirtilmektedir. Bu modellerin maksimum dereceleri sırası ile 1800, 1080 ve 720 dir ve bunlara karşılık gelen uzaysal çözünürlükler ise sırası ile 11, 18.5 ve 28 km dir. Bu modellerin geliştirilmesinde olağan düzenlenme işleminin bir değişik biçimi uygulanmış, EGM96 global jeopotansiyel modelini düzenlenme işlemine tabi tutmak için gravite verilerini kullanmak yerine, EGG97 Avrupa gravimetrik quasi-geoit modelinden hesaplanan quasi-geoit yükseklikleri kullanılmıştır **(Denker ve diğ., 1997).** Bu modellerdeki düzenlenme işleminin kapsadığı alan 25° kuzey < φ <77° kuzey ve 35° batı < λ <67.4° doğudur. EGG97 quasi-geoit yükseklikleri GPM3E97A için 5' x 5' lik gridden, GPM3E97B için 10' x 10' lik gridden ve GPM3E97C için 15' x 15' lik gridden alınmıştır.

GPM98A, GPM98B ve GPM98C modelleri Wenzel tarafından global olarak düzenlenme işlemine tabi tutularak geliştirilmiş düzenlenmiş global jeopotansiyel modellerdir ve küresel harmonik katsayılar 1800'e kadar hesaplanmıştır. Bu modellerin uzaysal çözünürlükleri 11 km'dir. GPM98 modellerinin kombine global jeopotansiyel model olarak mı yoksa global düzenlenmiş jeopotansiyel model olarak mı sınıflandırılacağı tartışmalıdır. Bunun nedeni ise GPM98 modelleri EGM96'nın 20 derecelik açılımını ve global 5' x 5' gridli gravite anomalisini daha yüksek küresel harmonik katsayıların iterasyonla hesaplanmasında kullanılmalarıdır. Bununla birlikte Avustralya gibi Wenzel'in yerel gravite verilerine sahip olmadığı bölgelerde GPM98 modelleri EGM96'nın 360^{o}'lik açılımından daha kötü sonuçlar vermektedir. Gravite verilerinin mevcut olduğu alanlarda lokal düşey datumdaki GPS ve nivelman verileriyle karşılaştırıldığında GPM98 modelleri EGM96'ya üstünlük sağlamışlardır **(Featherstone ve Olliver, 2001).** Ayrıca İsrail'de yapılan bir çalışmada yeni veriler eklendiğinde düzenlenmiş jeopotansiyel modelin daha iyi sonuç verdiği **(Sharni ve Papo, 2000)'** de gösterilmiştir. **Tablo 2.3** bölgesel ve global düzenlenmiş jeopotansiyel modelleri göstermektedir.

Tablo 2.3: Avrupa için geliştirilmiş düzenlenmiş jeopotansiyel modeller ve maksimum dereceleri

Model	Maksimum Derece
IFE88E2	360
GPM3E97A	720
GPM3E97B	1080
GPM3E97C	1080
GPM98A,B,C	1800

2.3.4 Kombine Yöntemle Geoit Belirleme (Remove – Restore)

Yöntemi kısaca aşağıdaki biçimde özetlemek mümkündür. Ölçülen gravite değerleri g'den, GRS80'nin atmosferik düzeltmeyi de içeren serbest – hava gravite anomalilerinin hesaplanması **(Ayan ve Deniz, 2000; Duquenne ve Jiang, 1996)**

$$\Delta g_{FA} = g + \delta g_{atm} + \frac{\partial g}{\partial H} H - \gamma_0, \qquad \textbf{(2.29)}$$

ve

$$\delta g_{atm} = \mathbf{0.874 - 9.9 * 10^{-5}} H. \qquad \textbf{(2.30)}$$

eşitlikleri ile gerçekleştirilir.

Sayısal arazi modellerinden topografyanın doğrudan ve dolaylı etkileri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır **(Omang ve Forsberg, 2000);**

$$\delta g_{RT} = \int_{\sigma} \frac{\rho(H - H_0)}{r^3} d\tau \qquad \text{(Doğrudan etki),} \qquad \textbf{(2.31)}$$

$$\delta g_{IRT} \approx \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial H} \delta W_{RT} \qquad \text{(Dolaylı etki).} \qquad \textbf{(2.32)}$$

Küresel harmonik katsayılarla oluşturulan bir jeopotansiyel modelden, geoit üzerindeki model gravite anomalileri

$$\Delta g_{\mathbf{model}} = g_{\mathbf{model}} - \gamma_0 + N_{\mathbf{model}} \frac{\partial \gamma}{\partial h} \qquad \textbf{(2.33)}$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada $N_{\mathbf{model}}$, jeopotansiyel modele göre hesaplanan geoit yüksekliğidir. Noktasal serbest- hava anomalilerinin hesaplanması ise aşağıdaki eşitlikle yapılır;

$$\Delta g_{RFA} = \Delta g_{FA} - (\delta g_{RT} - \delta g_{IRT}) - \Delta g_{\mathbf{model}} . \quad \textbf{(2.34)}$$

Stokes'un integral formülü ile belirlenen bir gridden yararlanarak geoit yükseklik bileşeninin hesaplanması

$$N_R = \frac{R}{\mathbf{4}\pi\gamma} \int_{\sigma} \Delta g_{RFA} S(\Psi) d\sigma. \quad \textbf{(2.35)}$$

eşitliği ile, geoitteki dolaylı arazi etkisinin hesaplanması

$$\delta N_R = \frac{1}{\gamma} \delta W_{RT} \quad \textbf{(2.36)}$$

eşitliği ile yapılır. Geoit yükseklikleri ise, jeopotansiyel modelden hesaplanan değere yukarıdaki eşitliklerden hesaplanana değerlerin eklenmesiyle

$$N = N_{\mathrm{mod}el} + N_R + \delta N_R \quad \textbf{(2.37)}$$

eşitliği ile bulunur **(Bajracharya, 2003; Tóth ve diğ., 2000).**

2.3.5 GPS / Nivelman Yöntemi ile Geoit Belirleme

Global Konum Belirlemenin (GPS) jeodezi alanındaki etkisi büyük olmuştur. Üç boyutlu konum belirleme sistemi olan GPS, yersel ölçme yöntemleri ile açı ve kenarlar ölçülerek yapılan konum belirlemenin zorluklarını ortadan kaldırmıştır **(URL3).**

Bununla birlikte GPS ile elde edilen yükseklikler geleneksel yükseklik ölçme yöntemleri (nivelman) ile elde edilen yüksekliklerden farklı bir yükseklik sistemindedir. GPS verilerinden elipsoidal yükseklik h kolaylıkla elde edilebilir. Bu yükseklik yeryuvarının basit bir elipsoit modeline göre belirlenir ve elipsoidal yükseklik (h) olarak adlandırılır. Ortometrik yükseklik (H) geoide göre belirlenir. Bu iki yükseklik sistemi arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle ifade edilir **(Gilliland ve Jaksa, 1994; Featherstone ve diğ., 1998) :**

$$h = H + N. \quad \textbf{(2.38)}$$

Burada, N geoit yüksekliğidir. Eğer bir noktada ortometrik yükseklik (H) ve elipsoidal yükseklik (h) biliniyorsa geoit yüksekliği (N) kolaylıkla bulunabilir **(Banarjee ve diğ., 1999; Fotopoulos ve diğ., 2003).**

Yukarıdaki eşitlik GPS / Nivelman yöntemine göre geoit belirleme yöntemini ifade eder **(Akçın, 1998; Soycan, 2002).** Bir bölgede yer alan ve bu temel eşitlikle geoit yükseklikleri hesaplanan noktalara dayalı olarak bu bölge için geoit yüzeyi modellenebilir. Bölge içerisinde bulunan ve koordinatı bilinen noktalardaki geoit yükseklikleri bu modele göre hesaplanabilir. Bu modelleme değişik hesap teknikleri kullanılarak yapılabilir. Bunlardan ikisi, bu çalışmada uygulanan iki yöntem, "Polinomlarla Geoit Yüzeyi Geçirme" ve "Bulanık Mantık Yöntemi" aşağıda kısaca açıklanacaktır.

2.3.5.1 Polinomlarla Geoit Yüksekliklerinin Hesabı

GPS / Nivelman verilerinden geoit belirlemede, pratik uygulanabilirlik ve sayısal sonuçların elde edilmesi açısından bir enterpolasyon yöntemi olan "çok parametreli polinomlarla regresyon" yöntemi tercih edilmektedir.

Polinom yüzeyleriyle enterpolasyon tekniği yüzey modellemelerinde en yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Bu tekniğin amacı çalışma bölgesinin tek bir fonksiyonla ifade edilmesidir. Başka bir ifade ile, bölgeyi en iyi karakterize eden ve problemin çözümünde gerekli olan argümanlar (X, Y, N veya μ, λ, N) ile model noktalarından yararlanarak bölge içinde konumu belli herhangi bir noktadaki N geoit yüksekliği değerini bulmak için polinom katsayılarını belirlemektir.

Polinomlar ayrıca Kolokasyon, Kriging gibi yöntemlerin uygulanmasında çalışma bölgesinde trend yüzeyleri olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bir polinomun derecesini içerisinde bulunan en yüksek dereceli terim belirler

Yüzey genellikle iki değişkenli yüksek dereceden polinomlarla tanımlanılır.

$$N(X, Y) = \sum_{k=0}^{n} \sum_{\substack{j=k-i \\ i=0}}^{k} a_{ij} x^i y^j \qquad \textbf{(2.39)}$$

eşitliği ile ortogonal polinomun genel ifadesi elde edilir. Burada,

a_{ij}: Polinomun bilinmeyen katsayıları,

n : Polinomun derecesi,

x , y : Noktaların koordinatlarıdır.

(1) eşitliğinde polinomun derecesi, n=1 seçildiğinde yüzey lineer, n=2 seçildiğinde yüzey quadratik, n=3 seçildiğinde yüzey kübik olarak adlandırılır **(Yiğit, 2003).**

Örneğin (2.39) genel ortogonal polinom yüzeyinde n = 3 seçilirse, k; 0, 1, 2, 3 değerlerini alır ve,

$$N(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3 \qquad \textbf{(2.40)}$$

eşitliğiyle 10 bilinmeyenli kübik yüzey elde edilir. Bu ifadenin çözümü için en az 10 model noktası gereklidir. Model nokta sayısını s ile gösterirsek, s>10 olması durumunda bilinmeyen katsayıları en küçük kareler yöntemi ilkesine göre dengeleme ile hesaplanır.

Model nokta sayısının bilinmeyenlerin sayısından fazla olması durumunda, her bir nokta için aşağıdaki biçimde bir düzeltme denklemi yazılır;

$$V_N = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + ... - N \qquad \textbf{(2.41)}$$

Bu düzeltme denklemleri için katsayılar matrisi ve sabit terimler vektörü oluşturulur. Bunlarla, sırasıyla normal denklem matrisi ve yalın terimler vektörü

$$\underline{N} = \underline{A}^T \underline{A}, \qquad \textbf{(2.42)}$$

$$\underline{n} = \underline{A}^T \underline{l} \qquad \textbf{(2.43)}$$

eşitlikleri ile elde edilir.

Normal denklemler matrisinin inversi (bilinmeyenlerin varyans – kovaryans matrisi)

$$Q_{xx} = N^{-1} = (A^T A)^{-1} \qquad \textbf{(2.44)}$$

alınarak

$$\underline{X} = \underline{N}^{-1} \underline{n} \qquad \textbf{(2.45)}$$

matris eşitliği ile bilinmeyenler vektörü bulunur.

Ölçülerin (model noktalarının geoit yüksekliklerinin) düzeltmeleri

$$v = AX - l \tag{2.46}$$

eşitliği ile elde edilir.

Birim ölçünün karesel ortalama hatası m_o ,

$$m_o = \mp\sqrt{\frac{v^T v}{n-u}} \tag{2.47}$$

eşitliği ile, herhangi bir katsayının karesel ortalama hatası

$$m_{a_i} = m_o\sqrt{Q_{xx}} \tag{2.48}$$

eşitliği ile hesaplanır.

Yukarıda ifade edilen matris ve vektörlerin elemanları;

$$m_{a_i} = m_o\sqrt{Q_{xx}} \tag{2.49}$$

$$\underline{X}^T = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix} \tag{2.50}$$

$$\underline{l}^T = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & . & . & . & . & . & . & N_s \end{bmatrix} \tag{2.51}$$

$$\underline{A}^T = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 & x_1^3 & x_1^2y & x_1y_1^2 & y_1^3 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2y_2 & y_2^2 & x_2^3 & x_2^2y & x_2y_2^2 & y_2^3 \\ 1 & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 1 & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 1 & x_s & y_s & x_s^2 & x_sy_s & y_s^2 & x_s^3 & x_s^2y & x_sy_s^2 & y_s^3 \end{bmatrix} \tag{2.52}$$

şeklindedir .Burada;

X: (10x1) boyutlu bilinmeyen polinom katsayıları vektörü

A: (sx10) boyutlu bilinmeyenlere ait katsayılar matrisi (model noktalarına ait konum bilgilerini ve 1 elemanlarını içerir)

l: (sx1) boyutlu sabit terimler vektörüdür (model noktalarına ait geoit yükseklik değerlerini içeren sütun matrisi).

Polinomun bilinmeyen katsayıları bulunduktan sonra, bölge içinde her hangi bir noktadaki geoit yüksekliği noktanın koordinatlarına bağlı olarak (2.39) eşitliği ile bulunabilir.

2.3.5.1.1 Polinom Katsayılarının Test edilmesi

Polinom eşitliklerinde polinomun derecesine göre ve gittikçe artan sayıda polinom katsayıları elde edilmektedir. Elde edilen bu katsayıların güvenilir olup olmadıklarının test edilmesi gerekir. Bu test Student Dağılımı ile yapılabilir.

Bu test yönteminde, a_i katsayısı ve bunun karesel ortalama hatası m_{a_i} arasındaki oranın mutlak değeri $\left|\frac{a_i}{m_{a_i}}\right|$, test değeri $T_{f,1-\frac{\alpha}{2}}$ ile karşılaştırılarak anlamlı polinom katsayıları belirlenebilir **(Demirel, 2003).**

Polinom katsayılarının test edilmesi için, $\alpha = 0.05$ alınarak, $f = n - u$ eşitliği ile hesaplanan f serbestlik derecesine göre (f: serbestlik derecesi, n: ölçü sayısı ve u: bilinmeyen sayısı) her bir hesaplama için t dağılım tablosundan $T_{f,1-\frac{\alpha}{2}}$ test sınır değeri alınır. Eğer polinom katsayıları $\left|\frac{a_i}{m_{a_i}}\right| > T_{f,1-\frac{\alpha}{2}}$'ı sağlıyorsa polinom katsayıları anlamlı, aksi durumda, yani $\left|\frac{a_i}{m_{a_i}}\right| < T_{f,1-\frac{\alpha}{2}}$ çıktığında ise polinom katsayısı anlamsız kabul edilir ve elimine edilir. Anlamsız polinom katsayıları birden fazla ise $\left|\frac{a_i}{m_{a_i}}\right|$ değeri en küçük olan polinom katsayısı elimine edilerek işleme anlamsız polinom katsayısı kalmayıncaya kadar devam edilir.

2.3.5.2 Bulanık Mantık Yöntemine Göre Geoit Yüksekliklerinin Hesabı

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 nokta eldeki verilerin iyi bir şekilde incelenmesidir. Çünkü bulanık mantık ilkelerine göre verilerin alt kümelere ayrılması gerekmektedir. Örneğin enlem ve boylam değerleri, geoit yüksekliklerinin değişimini gösterecek şekilde büyük, küçük ve orta olarak adlandırılabilecek alt kümelere ayrılabilir. Veriler alt kümelere ayrıldıktan sonra üyelik fonksiyonları belirlenmelidir. Üyelik fonksiyonları olarak yaygın biçimde kullanılan başlıca fonksiyonlar üçgen, yamuk

yada Gauss dağılım eğrileridir. Son olarak da verilere ait kurallar kümesinin oluşturulması gerekmektedir. Bulanık mantık ilkeleri ve bulanık mantık yöntemine göre geoit yüksekliklerinin hesaplanması bu bölümde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

2.3.5.2.1 Giriş

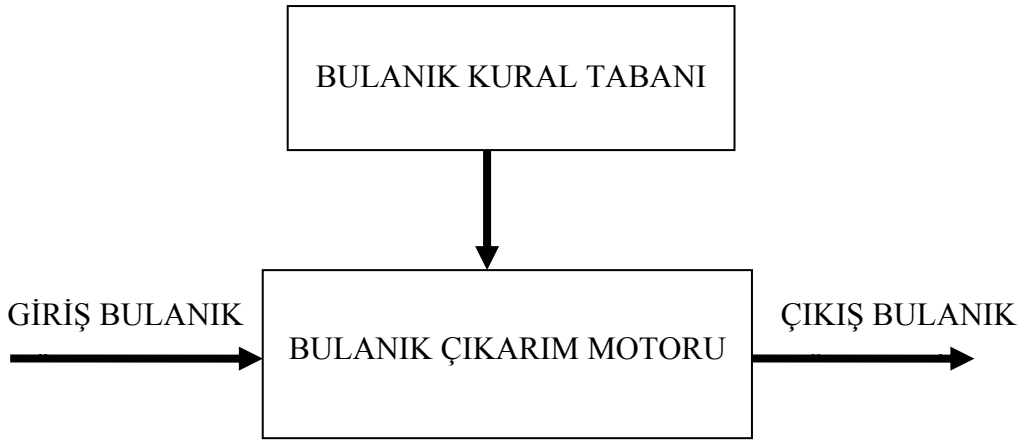
Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünce ve kararlar verilememesinden kaynaklanır. Birçok sosyal, ekonomik ve teknik konuda insan düşüncesinin tam anlamı ile olgunlaşmamış oluşundan dolayı belirsizlikler her zaman bulunur. İnsan tarafından geliştirilmiş olan bilgisayarlar, bu türlü belirsizlikleri işleyemezler ve çalışmaları için sayısal bilgiler gereklidir. Gerçek bir olayın insan bilgisinin sonucunda tam anlamı ile kavranması mümkün olmadığından, insan düşünce sisteminde ve aklında bu gibi olayları yaklaşık olarak canlandırarak yorumlar. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünme, oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Bu durumlar bilgisayarlarda bulunmaz. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına Bulanık (Fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh **(1973)** tarafından, gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceği ifade edilmiştir. Çünkü çok fazla olan bilgi kaynaklarının türünü insan aynı anda ve etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan kesin sonuçlar çıkaramaz. Burada, bilgi kaynaklarının temel ve kesin bilgilere ek olarak, özellikle sözel olan bilgileri de içerdiği vurgulanmalıdır.

Araştırmacıların bulanık sistemleri kullanması için genel olarak iki sebep vardır:

1) Gerçek dünya olaylarının çok karmaşık olması nedeni ile bu olayların belirgin denklemlerle tanımlanarak kesinlikle kontrol altına alınması mümkün olmaz. Bunun doğal sonucu olarak araştırmacı kesin olmasa bile yaklaşık fakat çözülebilirliği olan yöntemlere baş vurmayı her zaman tercih eder. Bu nedenle yapılan bütün çalışmalarda çözümler bir dereceye kadar yaklaşıktır.

2) Mühendislikte bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir şekilde ifade eder. Bir çok gerçek sistem doğrusal (lineer) olmamasına rağmen bunların klasik yöntemlerle incelenmesinde doğrusallığı kabul etmek için her türlü çaba gösterilir.

Bulanık sistemlerin klasik sistemlerden farkı, sistem davranış kısmının ikiye ayrılarak **Şekil 2.3**'te gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır **(Şen, 2001).** Burada bulunan birimlerin her birinin farklı, fakat birbiri ile ilişkili olabilen aşağıdaki görevleri vardır:



Şekil 2.3: Genel Bulanık Sistem

1) Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olayın etkilendiği girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

2) Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER – İSE türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm ara (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.

3) Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

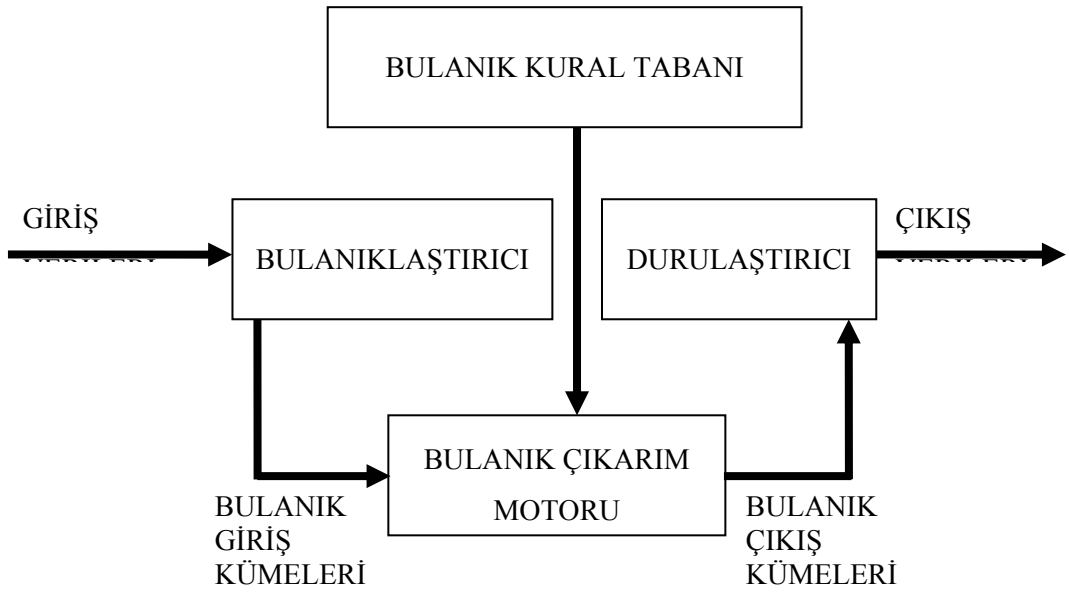
4) Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

Şekil 2.3 genel bir bulanık sistemi göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, genel olarak girdi yani veri tabanındaki bilgilerin ve çıktıların bulanık

değerler olmasıdır. Yani **Şekil 2.3**'deki sistemde, her birim tamamen bulanık kümelerden oluşmaktadır. Temel bulanık sistemin en önemli sakıncası, sayısal olan veri tabanının böyle bir genel bulanık sisteme girememesi ve çıktıların sayısal olmaması dolayısı ile mühendislik tasarımlarında doğrudan kullanılamamasıdır.

Genel bulanık sistemin sakıncalarını bir dereceye kadar ortadan kaldırabilmek için Takagi ve Sugeno (1985) ve Sugeno ve Kank (1988) tarafından teklif edilen ve Takagi – Sugeno – Kank (TSK) bulanık sistemi denilen sistem kullanılır. Burada veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorunun çalışması sonucunda elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklindedir. Yani kural tabanındaki öncül kısımların değişkenleri olduğu gibi, İSE kelimesinden sonraki kural soncul kısmına bu değişkenlerin birer doğrusal fonksiyonu olarak yansıtıldığı düşünülmüştür. Bütün kuralların soncul kısımları sanki çok terimli bir doğrusal denklemden ibarettir. Böyle bir yapıya sahip olan bulanık sistemde soncullar bulanık küme şeklinde olmadıklarından **Şekil 2.3**'deki Bulanık Çıkarım Motoru birimi yerine, her bir kuralın öncül kısmından hesaplanan üyelik dereceleri ağırlık olmak üzere ağırlıklı çıkarım hesaplaması birimi gelir.

Aslında böyle bir bulanık sistemde çıktı uzayı girdilerin fonksiyonu olarak, her bir alt uzayda geçerli bir kural olmak üzere temsil edilmiştir. TSK yaklaşımı ile çıktı yüzeyinin doğrusal olmaması halinde bile, bu yüzeyin alt uzaylar üzerinde girdi değişkenleri cinsinden düzlem parçaları şeklinde modellendiği anlaşılır. Ancak, TSK bulanık sisteminin sakıncaları arasında İSE kısmından sonra matematik bir ilişki bulunduğundan, kuralların soncul kısımlarının insan tarafından verilecek sözel bilgileri modelleyememesi ve giriş-çıkış değişkenleri arasında yazılması mümkün olan tüm kuralların soncul kısımlarının bulanık olmaması dolayısı ile yazılamamasıdır. İşte bu sakıncaları ortadan kaldırabilmek için **Şekil 2.4**'de verilen girdi ve çıktı birimlerinde sırası ile bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemleri yapıldığından bu birimlerin de kutu şeklinde gösterildiği bir bulanık sistem karşımıza çıkar.



Şekil 2.4: Bulanıklaştırma – durulaştırma birimli bulanık sistem

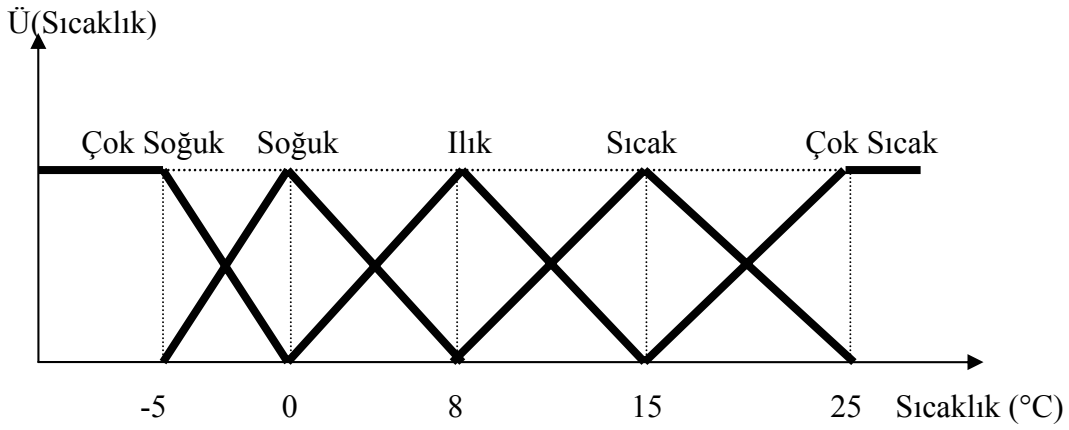
Burada genel bir bulanık sistemdeki bulanık kural tabanı ve çıkarım motoru aynen kalmaktadır. Girişlerin sayısal olmaları durumunda bir işleme tabi tutularak bulanıklaştırılmasına yarayan bulanıklaştırıcı birim ile yine bulanık olan çıktıların sayısallaştırılmasına yarayan durulaştırıcı birim ilave edilmiştir. Bulanıklaştırma ve durulaştırma sırası ile giriş sayılarının bulanıklaşması ve bulanık sayıların sayısallaştırılması anlamına gelir. Bu sisteme, bulanık sözel bilgiler ile bulanıklaştırılmış sayısal bilgiler bir arada toplanarak, sanki **Şekil 2.3**'de gösterilen genel bulanık sistemin girdisine indirgenmiş bir durum ortaya çıkar. Bulanık sistem çıktılarının mühendislik tasarımlarında kullanılması amacı ile sayısallaştırılması için durulaştırma birimi ilave edilmiştir. Bu bulanıklaştırıcı – durulaştırıcı sistem, genel ve TSK bulanık sistemlerinde bulunan tüm sakıncaları ortadan kaldırır.

2.3.5.2.2 Üyelik Fonksiyonları

Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal ifade, o aralık hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenir. Örneğin, İstanbul'da sıcaklık değerinin değişim aralığının aşağı yukarı -5° C 'den +35° C'ye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerinin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak, günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da bir takım aralıklardan oluştuğu düşünülür, örneğin 'çok soğuk', 'soğuk', 'ılık', 'sıcak' ve 'aşırı sıcak' gibi. Burada, önce "her

bir aralığın ne olduğuna karar veriniz" diye bir soru ile karşılaşılırsa, belki mühendis olanlar bu alt kümelerin her birinin üst üste örtüşmeyen ancak birbirinin sınırında devamlarıymış gibi olduklarını söyleyebilir. örneğin çok soğuğun -5° C ile 0° C, soğuğun 0° C ile +8° C, ılığın +8° C ile +15° C, sıcağın +15° C ile +25° C, çok sıcağın +25° C'den başladığı söylenebilir.

Ancak makul düşünen birisi, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının her birinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin olması gerektiğini söylerse, daha mantıklı, günlük hayatta daha geçerli ve uzlaştırıcı çözümlere gitmiş olur. Çünkü herkesin "ılık" sınırlarının +8° C ile +15° C'de sıfır üyelik derecelerine sahip olacağını kabul etmesini savunmak mümkün değildir. Halbuki, günlük hayatta sınıra yakın olan değerlerin hangi aralığa düşeceği oldukça şüpheli yani bulanıktır. Böylece sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile sonuçta **Şekil 2.5**'de verilen üyelik fonksiyonları karşımıza çıkar **(Şen, 2001).**

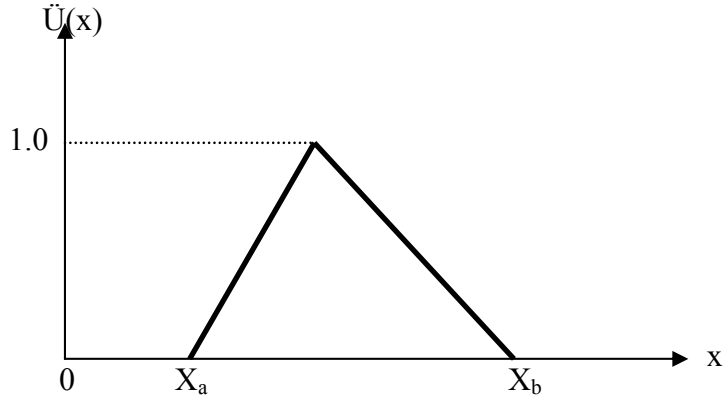


Şekil 2.5: Örtüşmeli üçgen gösterim

Burada, yukarıda söylenenlerden sonra ilk ve son alt aralıktaki sıcaklık durumlarının "çok çok soğuğa" veya "çok çok sıcağa" doğru giderken başka aralıklar olmadığından üyelik derecelerinin 1'e eşit kalmasının makul olacağı anlaşılır. Bunun doğal bir sonucu olarak da ilk ve son üyelik fonksiyonlarının üçgen değil de yamuk şeklinde olacağı sonucuna varılır. Böylece her alt aralığa girişimli olarak bir üyelik fonksiyonu şekli atanmıştır.

Burada sorun her bir aralığa, örneğin "ılık" aralığına düşen sıcaklık derecelerinin hepsinin aynı önemde olup olmayacağıdır. Tabii olarak, "ılık" aralığının alt ve üst uçlarına yaklaştıkça onun komşusu olan altta "soğuk", üstte "sıcak" alt kümelerine

doğru geçişler beklendiği için, o geçiş bölgelerine rastlayan kısımların tam anlamı ile "ılık" vasfına sahip olacağı söylenemez. Böylece her bir aralığa düşen sıcaklık derecelerinin, o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında önemlerini, ortaya kıyasla göreceli olarak kaybedeceği sonucuna varılır. Buradan da eğer, bir aralıkta önem derecesi diye bir değer düşünülecek olursa bunun en büyük değerlerinin o aralığın ortalarında, en düşük değerlerinin ise uçlarda olacağını söyleyebiliriz. Bu düşünceler bizi **Şekil 2.6**'da gösterilen bir geometrik gösterime sürükler. Genel olarak, her alt aralığın ayrık üyelik fonksiyonu **Şekil 2.6**'da gösterildiği gibi olur. Bu fonksiyonların simetrik olması gerekmez. Böylece X_a ve X_b gibi alt ve üst sınırlara sahip X değişkeninin bu aralıktaki her değerine ayrı bir üyelik derecesi, Ü(x), atanmış olur. Bu aralıktaki tüm X değerleri, o X değişkeninin bir alt kümesini teşkil eder.



Şekil 2.6: Bulanık küme

Genel olarak küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Bunun en önemli özellikleri, alt küme sınırındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalıklı ve sürekli değiştiği sonucuna varılır. İşte bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin, her bir öğe için değerine üyelik derecesi, bunun bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilir. Böylece, üyelik fonksiyonu şemsiyesi altında toplanan öğeler önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahiptir **(Ross, 1995).**

2.3.5.2.3 Bulanıklaştırma

Pratikte genel olarak, klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesine sahip olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. İşte böyle olunca da, bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir.

2.3.5.2.4 Üyelik Derecesi Ataması

Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından kişisel algılama (sezgi), mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile, ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre alınmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemlerin tümü bu çalışmada gösterilmeyecek kadar fazladır. Başlıcaları şunlardır:

a) Algılama (sezgi),
b) Çıkarım,
c) Mertebeleme,
d) Açılı bulanık kümeler,
e) Yapay sinir ağları,
f) Genetik algoritmalar.

Bunlardan algılama fazlaca yöntembilim bilgisi gerektirmemektedir. Zaten bu bölümün başlarında üyelik derecesi ve fonksiyonlarının algılama ile elde edilmesi konusunda açıklamalar yapılmıştır. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışı önemli rol oynar. Buna en basit örnek herkesin, hemen her gün karşı karşıya kalarak görüş ileriye sürdüğü sıcaklık kelimesinin belirttiği belirsiz alt kümeleri düşünebiliriz. En azından soğuk, serin, ılık ve sıcak gibi dört tane alt küme belirlenebilir.

Çıkarım ile bulanık küme üyelik fonksiyonlarının bulunması için mutlaka incelenen olay hakkında bazı temel bilgilere sahip bulunmak gereklidir.

Üyelik fonksiyonu atamalarında mertebelendirme yöntemi de kullanılır. Burada bir bulanık değişken hakkında anketler, araştırmalar veya seçimler yapılarak üyelik derecelerinin atanmasına çalışılır. Her zaman, verilen iki seçenek arasındaki

tercihler sayılır veya bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler yapılır. Üyelik fonksiyonlarının atanması ile ilgili olarak özellikle yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi yöntemlerin kullanılmasına literatürde sıkça rastlanmaktadır **(Şen, 2001).**

2.3.5.2.5 Bulanık Matematik

Bulanık kuralların öncül ve soncul kısımlarında bulunan, mesela, 'hız yüksek' gibi bulanık küme kısımları birer yaklaşıklığı ifade eder. Bu bakımdan, 'yaklaşık 3',

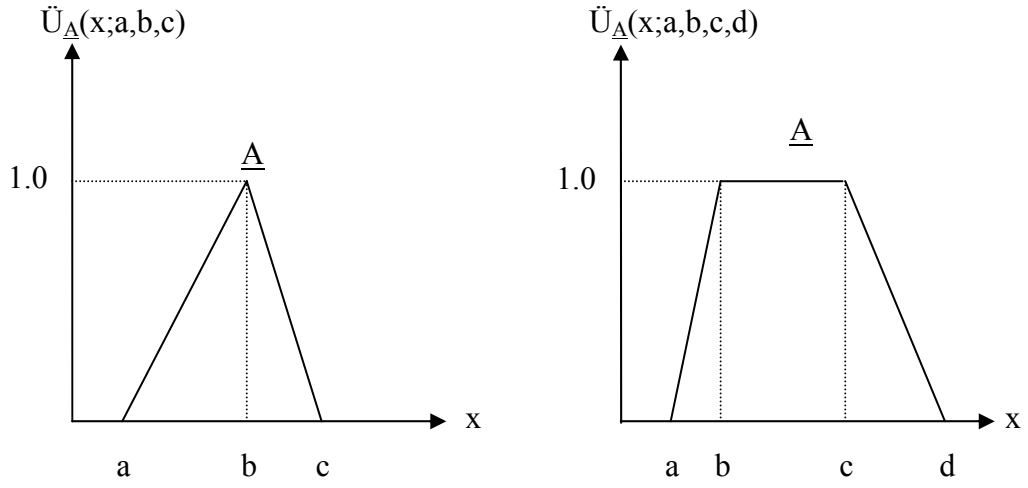
'yaklaşık 7', 'aşağı yukarı 9', '5'den büyük ve yaklaşık' gibi ifadelerin hepsi bir bulanık (yaklaşık) sayıyı ifade eder. Bu yaklaşıklıkların her biri bir bulanık alt kümeye karşı gelir. Bu bulanık sayılarla bildiğimiz aritmetik işlemlerin yapılması durumu karşımıza çıkar ve bunun ayrıntılı olarak öğrenilmesi gerekmektedir.

Bulanık sayılar bazı kısıtlamaların altında tanımlanarak işlemler yapılır. Bir bulanık sayının olabilmesi için bunun $\underline{A}$ gibi bulanık kümesinin normal, dışbükey, sınırlı dayanak ve her üyelik derecesi kesiminde kapalı ve sonlu bir aralığın bulunması gerekir. Bulanık sayıların normal olabilmeleri için bulanık ifadedeki gerçek sayılardan en az birinin üyelik derecesinin 1'e eşit olması gerekir. Yani 'yaklaşık 8' ifadesinde Ü(8) = 1'dir.

Genel olarak pratik uygulamalarda kullanılan üçgen ve yamuk olmak üzere iki tane bulanık sayı söz konusudur. $\underline{A}$ bulanık kümesi ile gösterilen bir üçgen bulanık sayının yukarıda söylenenlere göre matematik ifadesi**(Şekil 2.7 (a)**)

$$\text{Ü}_{\underline{A}}(x) = \text{Ü}_{\underline{A}}(x; a, b, c) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{eğer} \quad a \le x < b \\ (c - x)/(c - b) & \text{eğer} \quad b \le x < c \\ 0 & \text{eğer} \quad x > c \ \text{ veya } x < a \end{cases} \qquad \textbf{(2.53)}$$

şeklindedir. Burada şimdiye kadar alışılagelmiş bir üyelik derecesi gösterimi $\text{Ü}_{\underline{A}}(x; a, b, c)$ şeklinde karşımıza çıkar.



(a) **(b)**

Şekil 2.7: Bulanık Sayılar (a) Üçgen, (b) Yamuk

Burada a ve c bulanık küme dayanağının sırası ile alt ve üst sınır değerlerini, b ise tam üyelikli tek sayıyı gösterir. Benzer olarak yamuk sayılar ise bu defa a, b, c ve d olmak üzere dört tane sayı ile temsil edilir. Bunlardan a ve d yamuk bulanık sayının dayanağının sırası ile alt ve üst sınırlarını, b ve c ise bu iki sayı arasında üyelik derecesi tam olan yamuk sayıların kümesinin sınırlarını gösterir. Yamuk sayının matematik gösterimi ise üçgen sayıya benzer olarak

$$\ddot{U}_{\underline{A}}(x) = \ddot{U}_{\underline{A}}(x;a,b,c,d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer} \quad a \le x < b \\ 1 & \text{eğer} \quad b \le x < c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eğer} \quad c \le x < d \\ 0 & \text{eğer} \quad x > d \text{ veya } x < a \end{cases} \qquad \textbf{(2.54)}$$

şeklinde ifade edilir. Dikkat edilirse b = c olduğu zaman yamuk bulanık sayı üçgen bulanık sayı haline dönüşür. Bu sayıların grafik gösterimleri **Şekil 2.7(b)**'de verilmiştir.

2.3.5.2.6 Durulaştırma

İnsanlar için yapay zeka çalışmalarında bulanık değişken, küme, mantık ve sistemler öneme sahip olmasına karşın, bunların bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir. Bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne durulaştırma adı verilir.

Burada sadece üç çeşit durulaştırma yöntemi verilecektir. Bunların hangisinin kullanılacağına araştırma veya tasarımı yapan mühendisin, elindeki sorunun türüne göre karar vermesi gereklidir. Çıkarım bulanık kümesi Z, öğeleri z ve durulaştırılmış değer ise z* ile gösterilmiştir **(Şen, 2001).**

a) En Büyük Üyelik İlkesi

Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılması için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Bu durulaştırma işleminin aritmetik notasyon şeklinde gösterimi

$$Ü_{\underline{Ç}}(z^*) \geq Ü_{\underline{Ç}}(z), \text{ tüm } z \in Z \qquad \textbf{(2.55)}$$

olur.

b) Sentroid (Ağırlık Merkezi) Yöntemi

Bu durulaştırmanın matematik işlemi aşağıdaki denklem vasıtası ile yapılır **(Şen, 2001)**

$$z^* = \frac{\int Ü_{\underline{Ç}}(z) z dz}{\int Ü_{\underline{Ç}}(z) dz} \qquad \textbf{(2.56)}$$

Buradaki integral işareti integrasyon yapılacağı anlamına gelmektedir.

c) Ortalama En Büyük Üyelik İlkesi

Bu yöntem aynı zamanda en büyüklerin ortası diye de bilinir. Bu bakımdan birinci durulaştırma ilkesine çok yakındır. Ancak, en büyük üyeliğin konumu tekil olmayabilir. Bunun anlamı üyelik fonksiyonunda en büyük üyelik derecesine sahip olan, ÜA(z) = 1, bir nokta yerine plato gibi düzlük kısmı bulunabilir. Bu durulaştırma işlemi, matematiksel olarak

$$z^* = \frac{a+b}{2} \qquad \textbf{(2.57)}$$

şeklinde ifade edilir.

2.3.5.2.7 Uygulamada Bulanık Mantık Yöntemi

Uygulamada bulanık mantık yöntemi ile model oluşturulurken başlıca iki yöntem yaygın olarak kullanılır. Bunlar; Mamdani ve Sugeno yöntemleridir **(URL5 ; URL6).** Mamdani yöntemi sezgiye (tecrübeye) dayanır, geniş bir şekilde uygulama alanı vardır. Öte yandan Sugeno yöntemi hesap olarak daha hızlı ve uygulanması daha kolay, tecrübe gerektirmeyen, optimizasyon ve uyarlanabilir yöntemle birlikte kullanılabildiği için özellikle kontrol ve lineer olmayan dinamik sistem problemlerinin çözümünde yaygın kullanılan bir yöntemdir. Sugeno yöntemine göre problemlerin bulanık mantık ile çözümlenmesinde Matlab ticari yazılımının bulanık mantık modülü altındaki ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System, Uyarlanabilir Yapay Sinir - Bulanık Çıkarım Sistemi) editörü iyi sonuçlar vermesi nedeni ile çoğu mühendislik alanlarındaki problemlerin çözümünde tercih edilmektedir. ANFIS'in başlıca avantajları ve bulanık modelin oluşturulmasında (verilerin eğitilmesinde) izlenen yöntem aşağıda anlatılmıştır.

2.3.5.2.8 Uyarlanabilir Yapay Sinir – Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

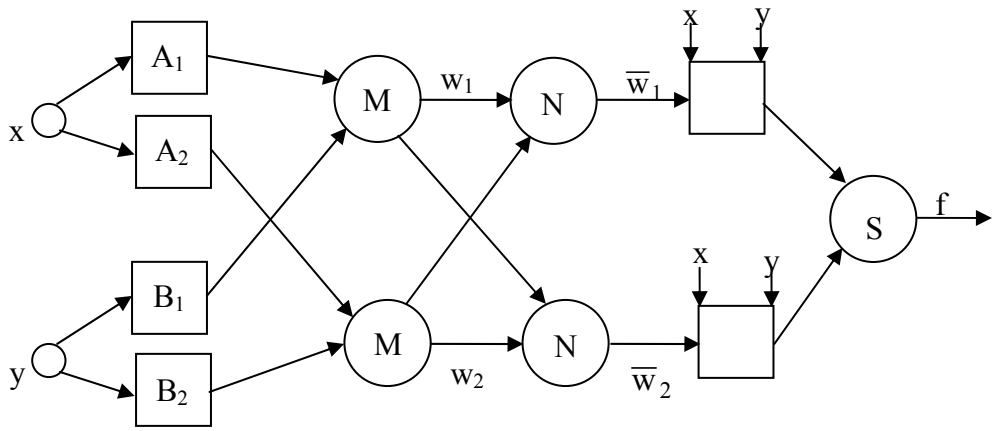
Bulanık mantık denetleyicileri pek çok sayıdaki uygulamaların tasarımında ve iyileştirilmesinde önemli rol oynamışlardır. Pek çok durumda belirlenmesi güç olan veri miktarı, yöntem çeşidi, bulanık üyelik fonksiyonlarının parametrelerinin ve kurallarının düzenli bir şekilde seçilmesi istenilen sonuçları elde etmek için kritiktir ve çok güçtür. Çoğu uygulamalarda hala deneme ve yanılma şeklinde yapılmaktadır. Bu gerçek uyarlanabilen bulanık sistemlerin önemini vurgulamaktadır **(Jhy – Shing, 1995).**

ANFIS Sugeno bulanık modeller öğrenme ve uyarlamayı kolaylaştıran uyarlanabilir sistemlerin çerçevesini çizmektedir.Böyle çerçeveler bulanık mantık denetleyicilerini daha sistematik bir duruma getirir ve böylece uzman bilgisine daha az gereksinim duyulmasını sağlar. ANFIS yapısını göstermek için 2 bulanık kurallı bir Sugeno bulanık modelini ele alalım.

Kural 1: eğer ($x=A_1$) ve ($y=B_1$) ise $f_1=p_1x+q_1y+r_1$

Kural 2: eğer ($x=A_2$) ve ($y=B_2$) ise $f_2=p_2x+q_2y+r_2$

bu iki kuralı uygulamak için olası ANFIS yapılarından birisi **Şekil 2.8**'de görülmektedir **(Akyılmaz ve diğ., 2003).** Daire sabit bir düğüm noktasını, kare ise uyarlanabilir bir düğüm



Şekil 2.8: İki girdi ve bir çıktılı ANFIS yapısı

noktasını (verilerin eğitimi sırasında parametrelerin değiştiği) göstermektedir. O_{Li} ; L tabakasındaki *i* düğüm noktasındaki çıktıyı göstermek üzere;

1.Tabaka:Bu tabakadaki bütün düğüm noktaları uyarlanabilirdir. *i* düğüm noktalarında bulanık üyelik fonksiyonu (MF) ile gösterilen girdilerin üyelik dereceleridir ve şöyle belirtilir:

$$O_{1,i} = \mu_{Ai}(x) \qquad \text{i=1,2 ,}$$
$$O_{1,i} = \mu_{Bi-2}(y) \qquad \text{i=3,4 .} \qquad \textbf{(2.58)}$$

A_i ve B_i herhangi bir bulanık küme olabilir. Örneğin eğer çan üyelik fonksiyonu kullanılabilir;

$$\mu_{Ai}(x) = \frac{1}{1+\left[\left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}} \qquad \text{i=1,2 .} \qquad \textbf{(2.59)}$$

Burada a, b ve c üyelik fonksiyonu için parametrelerdir.

2. Tabaka: Bu tabakadaki düğüm noktaları sabittir. Bu düğüm noktaları basit bir çarpan rolüne sahip oldukları için M ile isimlendirilmişlerdir. Bu düğüm noktalarının sonuçları şöyle verilir:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{Ai}(x)\mu_{Bi}(y) \qquad \text{i=1,2 .} \tag{2.60}$$

Bu tabakadaki her bir düğüm noktasının çıktısı kuralın ağırlığı (w_i) olarak adlandırılır.

3. Tabaka: Bu tabakadaki düğüm noktaları da sabittir. Önceki tabakadan gelen ağırlıkların normlandırılması işlemi yapıldığından N ile gösterilmiştir. Bu tabakadaki her bir düğüm noktasının çıktısı şöyledir:

$$O_{3,i} = \overline{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \qquad \text{i=1,2 .} \tag{2.61}$$

4.Tabaka: Bu tabakadaki düğüm noktaları uyarlanabilirdir. Her bir düğüm noktasının çıktısı normlandırılmış ağırlık ile birinci derece polinomun basitçe çarpımıdır;

$$O_{4,i} = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \qquad \text{i=1,2 .} \tag{2.62}$$

Burada p, q ve r bulanık kural ile ilgili sonuç parametreleridir.

5.Tabaka: Bu tabakada sadece bir düğüm noktası vardır ve basit bir toplama işlemi yapıldığı için S ile gösterilmiştir. Bu tek düğüm noktasının çıktısı ise şöyle verilebilir:

$$O_{5,i} = f = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \qquad \text{i=1,2 .} \tag{2.63}$$

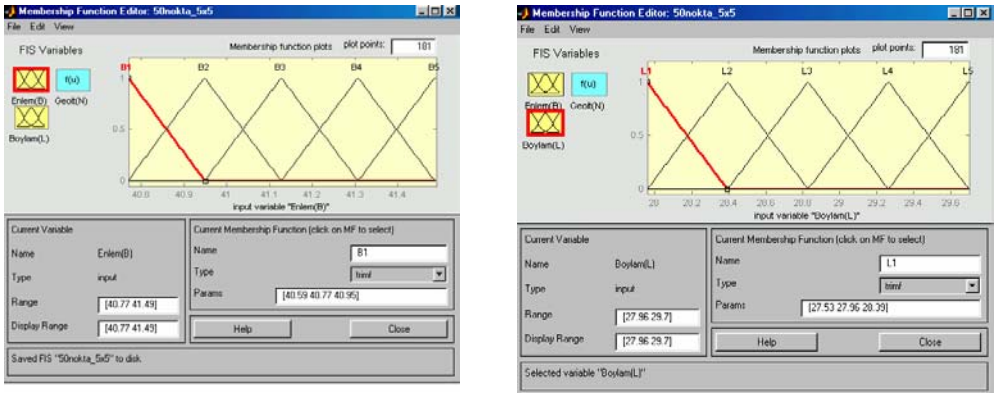
1. tabaka girdi üyelik fonksiyonlarına ilişkin 3 uyarlanabilir parametreye (üyelik fonksiyonlarına ait a, b ve c) sahiptir. Bu parametreler öncül parametreler olarak adlandırılırlar. 4. tabaka da 1. derece polinoma ilişkin 3 uyarlanabilir parametreye (p, q ve r) sahiptir ve bu parametrelere de soncul parametreler denir **(Jyh- Shing, 1993).**

Matlab yazılımının bulanık mantık modülü altındaki ANFIS editörü kullanılarak Sugeno yöntemi ile geoit yüksekliğinin hesaplanması için izlenecek yol aşağıdaki gibidir.

İlk önce mevcut veriler (enlem, boylam ve geoit yükseklikleri) bulanık modeli oluşturmak ve oluşturulan modelin doğruluğunun test edilmesi için eğitim ve test verileri olarak iki gruba ayrılmalıdır. Genelde test verilerinin sayısı eğitim verilerinin sayısının %10-15'inden daha az olmaması gerekir. Burada uygulamada kullanılan 50 nokta ile oluşturulan ve 50 test noktası ile hesapların kontrol edildiği bulanık model ele alınmıştır. İlk önce bulanık model oluşturulurken enlem ve boylam değerlerinin kaç alt bölgeye ayrılacağının ve hangi çeşit üyelik fonksiyonunun (üçgen, yamuk, Gauss eğrisi v.b.) kullanılacağının belirlenmesi gerekir. Burada enlem ve boylam değerleri 5'er alt bölgeye ayrılmış ve üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Burada kullanılan üçgen üyelik fonksiyonlarının aralıkları **Tablo 2.4**'deki gibi seçilmiştir. Ayrıca bu aralıklar **Şekil 2.9**'da gösterilmiştir.

Tablo 2.4: Eğitimden önce enlem ve boylamın aralık değerleri

Enlem(B) (derece)				Boylam(L) (derece)			
Alt Küme	Aralık değerleri			Alt Küme	Aralık değerleri		
B1	40.59	40.77	40.95	L1	27.53	27.96	28.39
B2	40.77	40.95	41.13	L2	27.96	28.39	28.83
B3	40.95	41.13	41.31	L3	28.39	28.83	29.26
B4	41.13	41.31	41.49	L4	28.83	29.26	29.70
B5	41.31	41.49	41.67	L5	29.26	29.70	30.13



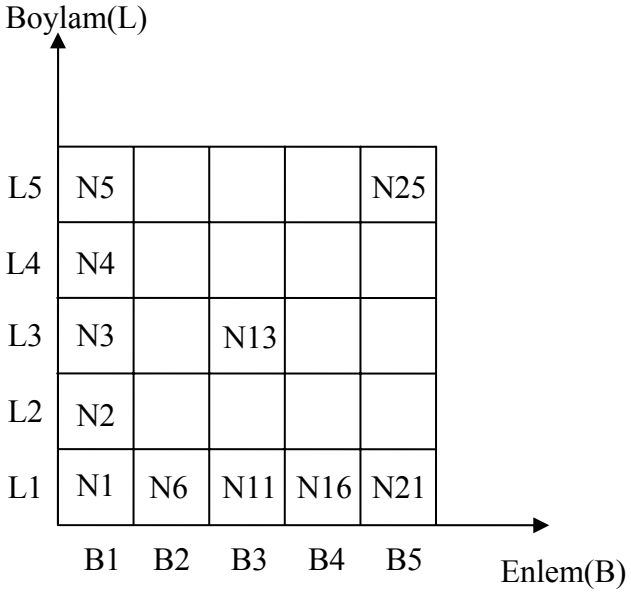
Şekil 2.9: Eğitimden önce enlem ve boylam alt küme aralıkları

Sugeno bulanık mantık yönteminde çıktılar f = px + qy + r şeklinde bir birinci derece polinom yada f = r gibi bir sabit ile ifade edilir. 1.derece polinom (doğrusal

yaklaşım) ile daha iyi sonuçlar elde edildiği yapılan uygulamalarla doğrulanmıştır. Bu nedenle uygulamalarda sonuçların elde edilmesinde 1. derece polinom katsayıları ile modeller oluşturulmuştur.

Enlem ve boylam değerleri 5'er alt kümeye ayrıldığı için toplam 5x5=25 tane kural oluşturulur. Bu kurallar **Şekil 2.10**'da gösterilmiş ve toplam 25 kuraldan bazıları sözel olarak aşağıdaki gibi yazılırlar;

- Eğer enlem B1 ve boylam L1 ise geoit yüksekliği N1
- Eğer enlem B1 ve boylam L2 ise geoit yüksekliği N2
- Eğer enlem B2 ve boylam L3 ise geoit yüksekliği N8
- Eğer enlem B3 ve boylam L4 ise geoit yüksekliği N14
- Eğer enlem B4 ve boylam L5 ise geoit yüksekliği N20



Şekil 2.10: Enlem ve boylamın 5'er alt kümeye ayrıldığı durumda oluşturulan kurallar kümesi

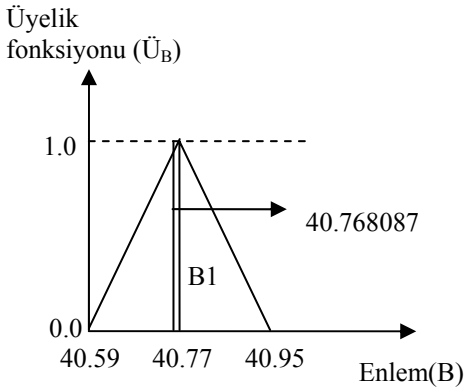
Yazılan her bir kurala karşı sonuç elde etmek için de bir 1. derece polinom denklemi yazılır. Örneğin yukarıdaki 3 numaralı kural için $f_8 = p_8B + q_8L + r_8$ (B enlem ve L boylam değerlerini göstermektedir) ve 4 numaralı kural için $f_{14} = p_{14}B + q_{14}L + r_{14}$ denklemleri yazılır. Toplam 25 tane kuralın her biri için p, q ve r bilinmeyenleri aşağıdaki gibi çözülür.

İlk önce eğitim verilerinden birisi ele alınır ve verinin enlem ve boylam değerlerinin üyelik fonksiyonları belirlenir ve bu veri hangi kuralı tetikliyorsa o kural yada kuralların ağırlıkları (w) belirlenir. Daha sonra normlandırılmış ağırlıklar $\overline{w}_i$ bulunur. Son olarak normlandırılmış ağırlıklar ile 1. derece polinom denklemi

katsayılarının çarpımlarının toplamı geoit yüksekliğini vereceği için o bu veriye ait 1. derece polinom katsayıları ile ilgili denklem elde edilmiş olur. Yukarıda anlatılan işlemi 50 nokta ile enlem ve boylam 5'er alt bölgeye ayrıldığında oluşturulan bulanık modelde kullanılan 2 veri ile aşağıdaki gibi gösterilebilir.

Nokta no:16458, enlem = 40°.768087, boylam = 29°.402153 ve N = 37.7169 m.

İlk önce yukarıdaki noktanın enlem ve boylam değerlerine karşılık gelen üyelik fonksiyonlarının bulunması gerekir. Enlem değeri alt küme aralıklarından B1 aralığına düşmektedir ve üyelik fonksiyonu **Şekil 2.11**'deki benzer üçgen formüllerinden yararlanılarak hesaplandığında $Ü_{B1} = 0.989372$ bulunur.



Şekil 2.11:16458 numaralı noktanın enlem değerinin üyelik derecesinin belirlenmesi.

Boylam değeri alt küme aralılarından iki tanesine düşmektedir. Bunlar L4 ve L5 aralıklarıdır. Boylam değerinin L4 ve L5 aralıklarındaki üyelik fonksiyonu **Şekil 2.12**'deki gibi benzer üçgen formüllerinden yararlanarak $U_{L4} = 0.676925$ ve $Ü_{L5} = 0.33846$ olarak bulunur.

Şimdi bu noktanın hangi kuralları tetiklediğinin bulunması gerekmektedir:

- Enlem B1 ve boylam L4 ise geoit yüksekliği N4
- Enlem B1 ve boylam L5 ise geoit yüksekliği N5.

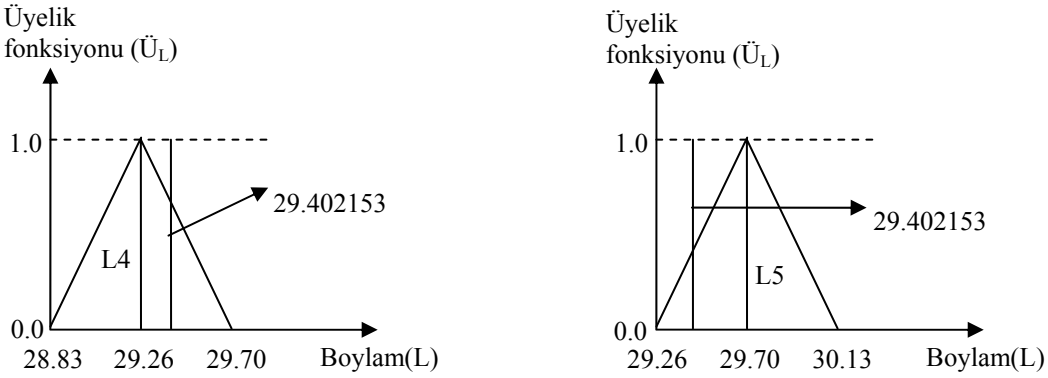
Yukarıdaki kuralların ağırlığı ise şöyle bulunur

N4 kuralının ağırlığı $w_4 = Ü_{B1} * Ü_{L4}$ ve N5 kuralının ağırlığı ise $w_5 = Ü_{B1} * Ü_{L5}$ şeklinde hesaplandığı zaman $w_4 = 0.669731$ ve $w_5 = 0.334863$ olarak bulunur.

Bundan sonra normlandırılmış ağırlıkların bulunması gerekmektedir. Bunlar

$\overline{w}_4 = \frac{w_4}{w_4 + w_5}$ ve $\overline{w}_5 = \frac{w_5}{w_4 + w_5}$ şeklinde ifade edildikleri için

$\overline{w}_4 = 0.666668$ ve $\overline{w}_5 = 0.333332$ olarak bulunurlar.



Şekil 2.12:16458 numaralı noktanın boylam değerinin üyelik derecesinin belirlenmesi

Geoit yüksekliğini bulmak için normlandırılmış ağırlıklar ile ilgili kurala ait 1. derece polinom katsayılarının çarpımlarının toplamı o noktaya ait geoit yüksekliğini vermektedir. Yani

$$N_{16458} = \overline{w}_4 * f_4 + \overline{w}_5 * f_5 \qquad \textbf{(2.64)}$$

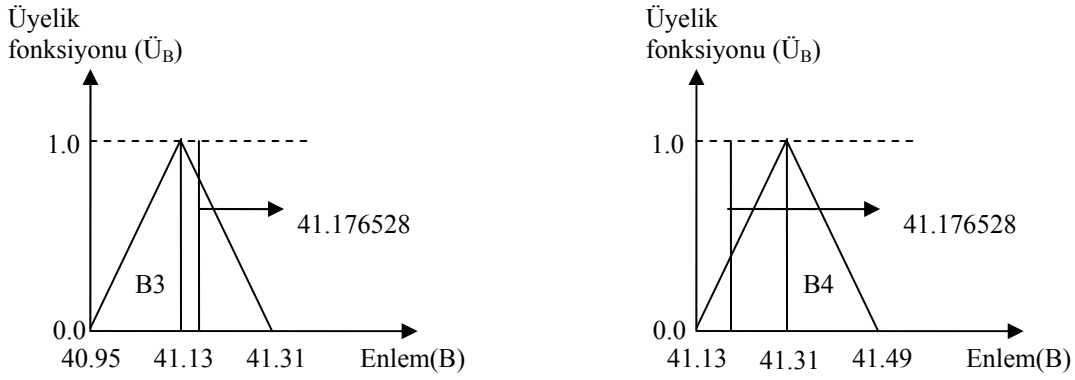
$$\overline{w}_4 f_4 = 0.666668 * (p_4 * 40.768087) + (q_4 * 29.202153) + r_4 \qquad \textbf{(2.65a)}$$
$$\overline{w}_5 f_5 = 0.333332 * (p_4 * 40.768087) + (q_4 * 29.402153) + r_5 \qquad \textbf{(2.65b)}$$

böylece 16458 numaralı nokta 2 kuralı (N4 ve N5) tetiklediği için bu kurallarla ilgili 1. derece polinom katsayıları ile ilgili denklem elde edilmektedir.

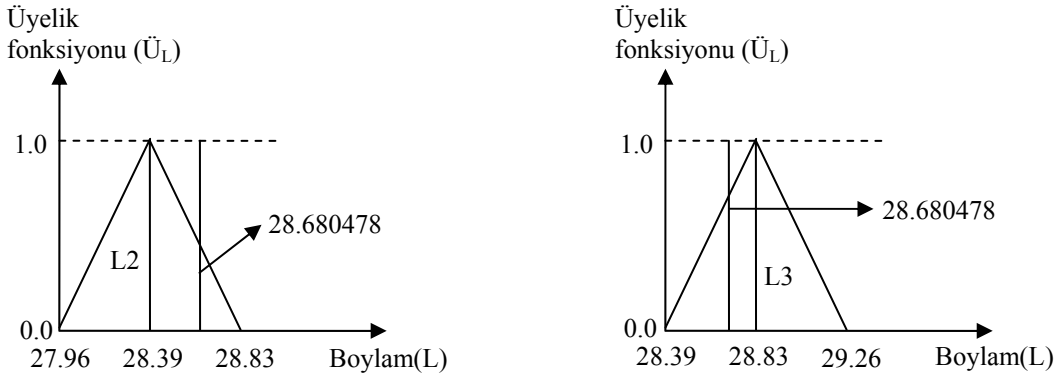
Benzer bir hesaplama 34007 nokta nolu , enlem = 41°.176528, boylam = 28°.680478 ve N= 37.2934 m olan veri için yapıldığında enlem değeri B3 ve B4, boylam değeri de L2 ve L3 alt bölgelerine düşmektedir. Bu noktanın tetiklediği kurallar kümesi ise aşağıdaki gibidir;

- Enlem B3 ve boylam L2 ise geoit yüksekliği N12,
- Enlem B3 ve boylam L3 ise geoit yüksekliği N13,
- Enlem B4 ve boylam L2 ise geoit yüksekliği N17,
- Enlem B4 ve boylam L3 ise geoit yüksekliği N18.

Bu noktanın üyelik fonksiyonları enlem ve boylam değerleri **Şekil 2.13** ve **Şekil 2.14** 'den üçgenlerin benzerliğinden faydalanarak sırası ile hesapladığında $Ü_{B3}$= 0.74151, $Ü_{B4}$ = 0.258489, $Ü_{L2}$ = 0.339823 ve $Ü_{L3}$ = 0.660177 olarak bulunurlar. Her bir kuralın ağırlığı $w_i = Ü_{Bi} * Ü_{Li}$ şeklinde hesaplanır. Sonuçta



Şekil 2.13:34007 numaralı noktanın enlem değerinin üyelik derecesinin belirlenmesi.



Şekil 2.14: 34007 numaralı noktanın boylam değerinin üyelik derecesinin belirlenmesi

w_{12}= $Ü_{B3}$* $Ü_{L2}$=0.741511*0.339823 =0.251982,
w_{13}= $Ü_{B3}$* $Ü_{L3}$=0.741511*0.36296= 0.489529,
w_{17}= $Ü_{B4}$* $Ü_{L2}$=0.258489*0.339823 = 0.087841,
w_{18}= $Ü_{B4}$* $Ü_{L3}$=0.258489*0.339823 = 0.170648,
olarak elde edilirler.

Şimdi de normlandırılmış ağırlıkların bulunması gerekmektedir. Yukarıda üçgen üyelik fonksiyonlarını eşit aralıklı olarak aldığımız için bulduğumuz bu ağırlıklar aynı zamanda normlandırılmış ağırlıklar olarak çıkmıştır ($Ü_{B3}$ = 1- $Ü_{B4}$ ve $Ü_{L2}$ = 1- $Ü_{L3}$ olduğu görülmektedir). Bu nedenle verilerin eğitilmesinden önce $\overline{w}_i = w_i$ olarak çıkmıştır. Geoit yüksekliğini bulmak için normlandırılmış ağırlıklar ile ilgili kurala ait 1.derece polinom katsayılarının çarpımlarının toplamının bulunması gerekir. Yani;

$$N_{34007} = \overline{w}_{12} * f_{12} + \overline{w}_{13} * f_{13} + \overline{w}_{17} * f_{17} + \overline{w}_{18} * f_{18} \quad \textbf{(2.66)}$$

$$\overline{w}_{12} f_{12} = 0.251982 * (p_{12} * 41.176528) + (q_{12} * 28.680478) + r_{12} \quad \textbf{(2.67a)}$$
$$\overline{w}_{13} f_{13} = 0.489529 * (p_{13} * 40.176528) + (q_{13} * 28.680478) + r_{13} \quad \textbf{(2.67b)}$$
$$\overline{w}_{17} f_{17} = 0.087841 * (p_{17} * 41.176528) + (q_{17} * 28.680478) + r_{17} \quad \textbf{(2.67a)}$$
$$\overline{w}_{18} f_{18} = 0.170648 * (p_{18} * 41.176528) + (q_{18} * 28.680478) + r_{18} \quad \textbf{(2.67b)}$$

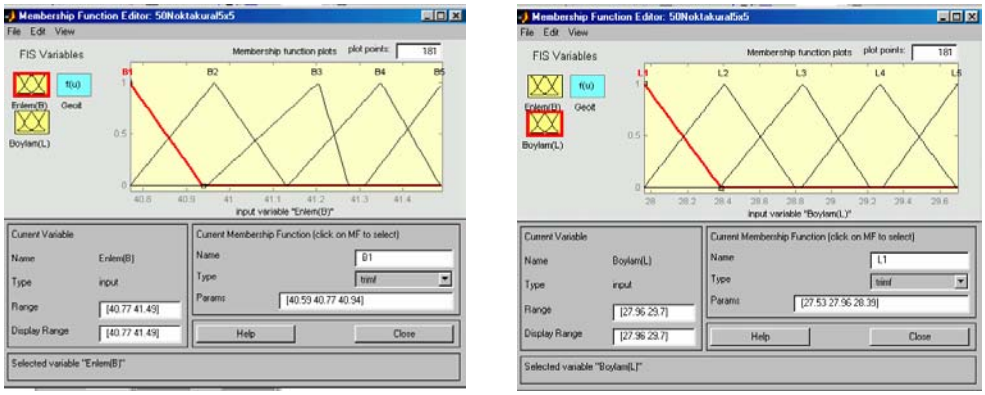
dir. Böylece 34007 nolu noktanın enlem ve boylam değerleri 4 kuralı tetiklediği için bu noktada 4 tane 1. derece polinom katsayıları ile ilgili denklem elde edilmiştir.

Kalan 48 nokta ile aynı işlemleri tekrarlayarak her bir nokta için tetiklediği kurallar ve kuralların ağırlıkları, normlandırılmış ağırlıklar ve normlandırılmış ağırlıklarla ilgili kurallara ait 1.derece polinom katsayılarının oluşturduğu denklemler kümesi elde edilir. Sonuçta katsayılar matrisi olarak $\mathbf{A_{mxp}}$(mxp, m=toplam veri sayısı (50), p= toplam kuralların 3 katı (75) çünkü her bir kural için 3 tane bilinmeyen vardır), bilinmeyenler matrisi olarak $\mathbf{X_{px1}}$ (px1, her bir kural için 3 tane bilinmeyen katsayı p, q ve r olduğu için) ve sabit değerler matrisi $Y_{\mathbf{mx1}}$ (mx1, toplam verilere ait sonuç değerleri (verilere ait geoit yükseklikleri). Böylece **A X = Y** gibi bir denklem sistemi elde edilmiş olur. Buradan X bilinmeyenler matrisi çözüldüğünde her bir kurala ait doğru denklem katsayıları elde edilmiş olur **(Hines, 1997).**

Bulunan bu doğru denklem katsayıları ile her bir noktanın model ile elde edilen geoit yükseklikleri belirlenir. Model ile belirlenen geoit yüksekliği ile gerçek geoit yüksekliği arasındaki fark hata değerini verir. Bulunan bu hata değeri yapay sinir ağları ile (geriye doğru dağıtılarak) alt küme aralıkları (öncül parametreler) değiştirilir ve işlem bir kez daha yapılır. Bu işleme hata miktarı istenen miktardan küçük oluncaya kadar devam edilir. Sonuçta alt küme aralıkları başlangıçtakine göre bir miktar değişmekte ve her bir kural için (o kuralın geçerli olduğu bölgede yeterli sayıda veri varsa) 1. derece polinom katsayıları elde edilir. 50 nokta ile enlem ve boylam değerlerinin 5'er alt kümeye ayrıldığı durumda veriler eğitildikten sonraki alt küme aralıkları **Tablo 2.5**'de verilmektedir ve bu alt küme aralıkları **Şekil 2.15**'de gösterilmiştir.

Tablo 2.5: Eğitimden sonra enlem ve boylamın aralık değerleri

Enlem(B) (derece)				Boylam(L) (derece)			
Alt Küme	Aralık değerleri			Alt Küme	Aralık değerleri		
B1	40.59	40.77	40.94	L1	27.53	27.96	28.39
B2	40.77	40.96	41.13	L2	27.96	28.41	28.80
B3	40.95	41.21	41.28	L3	28.38	28.84	29.21
B4	41.13	41.35	41.49	L4	28.83	29.27	29.69
B5	41.31	41.49	41.67	L5	29.28	29.70	30.13



Şekil 2.15: Eğitimden sonra enlem ve boylam alt küme aralıkları

50 nokta ile enlem ve boylam değerlerinin 5'er alt kümeye ayrıldığında oluşturulan bulanık modelde her bir kural için bulunmuş olan 1. derece polinom katsayıları aşağıda **Tablo 2.6**'da görülmektedir.

Tablo 2.6: Veriler eğitildikten sonra 25 kural için elde edilen 1. derece polinom katsayıları.

	Doğru denklem katsayıları				Doğru denklem katsayıları		
Kural No	**p**	**q**	**r**	**Kural No**	**p**	**q**	**r**
N1	0.0000	0.0000	0.0000	**N14**	2.5210	-2.2050	-2.7390
N2	0.0000	0.0000	0.0000	**N15**	3.0830	-3.0610	-0.2242
N3	0.4481	0.3198	0.01096	**N16**	-0.1397	1.5920	-1.0470
N4	4.3080	-4.7550	0.2955	**N17**	0.2727	0.9335	0.02347
N5	-2.6500	4.9820	-0.2925	**N18**	0.1997	1.0020	-0.4475
N6	5.2680	-6.4040	0.3079	**N19**	0.3323	0.7076	0.6485
N7	5.1660	-6.2010	0.8887	**N20**	-5.5100	8.7990	-0.06375
N8	4.2920	-4.8150	0.1716	**N21**	-4.0120	7.3020	0.4975
N9	1.6140	-0.9812	-0.5452	**N22**	-1.2970	3.1990	-0.1210
N10	1.8140	-1.2860	0.7399	**N23**	0.6087	0.3476	0.01569
N11	2.1370	-1.7730	-0.3734	**N24**	0.0000	0.0000	0.0000
N12	0.7323	0.2815	-0.5482	**N25**	0.0000	0.0000	0.0000
N13	2.1850	-1.7900	-1.4380				

Tablo 2.6'da verilen alt küme aralıkları ve 1. derece polinom katsayıları ile modelde kullanılan bir noktanın ve bir test noktasının geoit yüksekliklerinin hesaplanarak kontrol edilmesi aşağıdaki **Tablo 2.7**'deki veriler kullanılarak detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Tablo 2.7: ANFIS editöründe bulanık mantık ilkelerine göre çözümün yapılışına ait örnekte kullanılan noktalara ilişkin veriler.

N.N	Enlem (derece)	Boylam (derece)	$N_{GPS/Niv.}$ (m)	$N_{ANFİS}$ Program (m)	
34363	41.129891	28.123332	37.5410	37.5980	Test Noktası
34007	41.176528	28.680478	37.2934	37.2850	Model Noktası

İlk önce 34363 numaralı noktaya ait enlem ve boylam değerlerinin üyelik fonksiyonları $Ü_{B2}$= 0.000641, $Ü_{B3}$= 0.691888, $Ü_{L1}$= 0.620158 ve $Ü_{L2}$=0.36296

olarak bulunur. Bu noktanın tetiklediği kurallar ve 1. derece polinom katsayıları ise

- Enlem B2 ve boylam L1 ise geoit yüksekliği N6(5.2680, -6.4040, 0.3079)
- Enlem B2 ve boylam L2 ise geoit yüksekliği N7(5.1660, -6.2010, 0.8887)
- Enlem B3 ve boylam L1 ise geoit yüksekliği N11(2.1370, -1.7730, -0.3734)
- Enlem B3 ve boylam L2 ise geoit yüksekliği N12(0.7323, 0.2815, -0.5482)

olarak bulunur.

Şimdi bulunan üyelik fonksiyonları ve 1. derece polinom katsayıları ile 34363 numaralı noktanın geoit yüksekliğini elde etmek için her bir kuralın ağırlığının (w_i= $Ü_{Bi}$*$Ü_{Li}$) bulunması gerekir:

- w_6= $Ü_{B2}$* $Ü_{L1}$=0.000641*0.620158=0.000398
- w_7= $Ü_{B2}$* $Ü_{L2}$=0.000641*0.36296= 0.000233
- w_{11}= $Ü_{B3}$* $Ü_{L1}$=0.691888*0.620158 = 0.42908
- w_{12}= $Ü_{B3}$* $Ü_{L2}$=0.691888*0.36296= 0.251128 .

Yukarıdaki ağırlıklardan normlandırılmış ağırlıklar $\overline{w}_i = \frac{w_i}{w_6 + w_7 + w_{11} + w_{12}}$'lerin hesaplanması sonucu

$$\overline{w}_6 = \frac{w_6}{w_6 + w_7 + w_{11} + w_{12}} = 0.000585, \quad \overline{w}_7 = \frac{w_7}{w_6 + w_7 + w_{11} + w_{12}} = 0.000342$$

$$\overline{w}_{11} = \frac{w_{11}}{w_6 + w_7 + w_{11} + w_{12}} = 0.630222, \quad \overline{w}_{12} = \frac{w_{12}}{w_6 + w_7 + w_{11} + w_{12}} = 0.368851$$

olarak bulunduktan sonra bunlarla $\overline{w}_i * f_i$ çarpımlarının hesaplanması gerekir;

$\overline{w}_6 * f_6 = 0.000585*[(5.2680*41.129891) +(-6.4040*28.123332) + 0.3079]= 0.021558$

$\overline{w}_7 * f_7 = 0.000342*[(5.1660*41.129891) +(-6.2010*28.123332) + 0.8887]= 0.013338$

$\overline{w}_{11} * f_{11} = 0.630222*[(2.1370*41.129891)+(-1.7730*28.123332)+ (-0.3734)]= 23.73324$

$\overline{w}_{12} * f_{12} = 0.368851*[(0.7323*41.129891)+(0.2815*28.123332)+(-0.5482)]= 13.82746.$

Buradan geoit yüksekliği N değeri

$$N = \overline{w}_6 * f_6 + \overline{w}_7 * f_7 + \overline{w}_{11} * f_{11} + \overline{w}_{12} * f_{12} = 37.59559 \text{ m}$$

olarak bulunur. 34363 numaralı noktanın, 50 nokta ile enlem ve boylamın 5'er alt bölgeye ayrılarak oluşturulan bulanık modele göre Matlab programı ile bilgisayarda doğrudan hesaplanan geoit yüksekliği ise $N_{model34363}$=37.5980 m olarak bulunmuştur. Adım adım soncul parametrelere ait 1.derece polinom katsayıları kullanarak hesaplanan geoit yüksekliği ile aynı noktanın $N_{GPS/niv}$ yüksekliği arasında + 5.46 cm, bilgisayarda doğrudan hesaplanan geoit yüksekliği ile aynı noktanın $N_{GPS/niv}$ yüksekliği arasında ise + 5.70 cm fark bulunmuştur. Adım adım yapılan geoit yüksekliği hesabı ile bilgisayar kullanılarak yapılan hesap arasındaki fark ise 2.4 mm dir.

Şimdi de bulanık modelde kullanılan 34007 numaralı noktanın geoit yüksekliğinin hesaplanması için yine enlem ve boylam değerlerinin üyelik fonksiyonları $Ü_{B3}$= 0.871262, $Ü_{B4}$= 0.211491, $Ü_{L2}$= 0.306467 ve $Ü_{L3}$=0.653213 olarak bulunur. Bu noktanın tetiklediği kurallar ve doğru denklem katsayıları ise

- Enlem B3 ve boylam L2 ise geoit yüksekliği N12(0.7323, 0.2815, -0.5482)
- Enlem B3 ve boylam L3 ise geoit yüksekliği N13(2.1850, -1.7900, -1.4380)
- Enlem B4 ve boylam L2 ise geoit yüksekliği N17(0.2727, 0.9335, 0.02347)
- Enlem B4 ve boylam L3 ise geoit yüksekliği N18(0.1997, 1.0020, -0.4475)

olarak bulunur.

Şimdi bulunan üyelik fonksiyonları ve 1. derece polinom katsayıları ile 34007 numaralı noktanın geoit yüksekliğini elde etmek için her bir kuralın ağırlığının (w_i= $Ü_{Bi}$*$Ü_{Li}$) bulunması gerekir. Her bir kuralın ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplandığı zaman

w_6= $Ü_{B3}$* $Ü_{L2}$=0.871262*0.306467 =0.267013
w_7= $Ü_{B3}$* $Ü_{L3}$=0.871262*0.653213 = 0.569119

w_{11}= $Ü_{B4}$* $Ü_{L2}$=0.211491*0.306467 = 0.064815

w_{12}= $Ü_{B4}$* $Ü_{L3}$=0.211491*0.653213 = 0.138149

olarak elde edilirler. Şimdide yukarıda hesaplanmış ağırlıklardan normlandırılmış ağırlıkların hesaplanması gerekir. Normlandırılmış ağırlıklar $\overline{w}_{12} = 0.256967$, $\overline{w}_{13} = 0.547706$, $\overline{w}_{17} = 0.062376$, $\overline{w}_{18} = 0.132951$ olarak bulunmuştur.

Daha sonra $\overline{w}_i * f_i$ çarpımlarının hesaplanması gerekir. Bu nokta için

$\overline{w}_{12} * f_{12}$ = 0.256967*[(0.7323*41.176528) +(0.2815*28.680478) -0.5482]= 9.682227

$\overline{w}_{13} * f_{13}$ = 0.000342*[(2.1850*41.176528) +(-1.7900*28.680478) -1.4380]= 20.37173

$\overline{w}_{17} * f_{17}$ = 0.630222*[(0.2727*41.176528)+(0.9335*28.680478)+ 0.02347]= 2.371894

$\overline{w}_{18} * f_{18}$ = 0.368851*[(0.1997*41.176528)+(1.0020*28.680478)+(-0.4475)]= 4.854484

değerleri elde edilir ve buradan geoit yüksekliği N değeri

$N = \overline{w}_{12} * f_{12} + \overline{w}_{13} * f_{13} + \overline{w}_{17} * f_{17} + \overline{w}_{18} * f_{18} = 37.28034\,\text{m}$ olarak bulunmuştur. 34007 numaralı noktanın, 50 nokta ile enlem ve boylamın 5'er alt bölgeye ayrılarak oluşturulan bulanık modele göre Matlab programı ile bilgisayarda doğrudan hesaplandığında geoit yüksekliği $N_{model34007}$=37.2850 m olarak bulunmuştur. Adım adım soncul parametrelere ait 1.derece polinom katsayıları kullanarak hesaplanan geoit yüksekliği (37.28034 m) ile aynı noktanın $N_{GPS/niv}$ yüksekliği arasında - 13.1 mm, bilgisayarda doğrudan hesaplanan geoit yüksekliği ile aynı noktanın $N_{GPS/niv}$ yüksekliği arasında ise - 8.4 mm fark bulunmuştur. Adım adım yapılan geoit yüksekliği hesabı ile bilgisayar kullanılarak yapılan hesap arasındaki fark ise 4.7 mm dir.

3. ÜLKEMİZDE GEOİT BELİRLEME ÇALIŞMALARI

3.1 Ülkemizde Daha Önce Yapılan Geoit Belirleme Çalışmaları

Ülkemizde geoit belirleme ile ilgili olarak yapılan ilk çalışmalar 1976 yılında başlamış olup halen devam etmektedir. **(Ayan, 1976, 1978)** ve tarafından yapılan ilk çalışmalarda ülke I. Derece nirengi ağının Laplace noktalarında hesaplanan (106 nokta) ED50 datumundaki astro-jeodezik çekül sapmalarından yararlanılarak astro-jeodezik geoidi (TG-76) belirlenmiştir **(Ayan, 1976, 1978)**. Daha sonra özellikle uydu teknolojilerinin gelişmesiyle Güney Batı Anadolu Doppler Geoidi hesaplanmıştır **(Ayhan ve diğ., 1987).** Bilgisayar olanaklarının artması, ölçülerin çeşitlerinin ve sayılarının çoğalması ve hesaplama yöntemlerinin gelişmesi ile 1991 yılında gravite, topografya ve global jeopotansiyel model kullanılarak tüm Türkiye için gravimetrik geoit (TG91) En Küçük Karelerle Kolokasyon yöntemi ile hesaplanmıştır **(Ayhan,1992, 1993)**. TG-91, Türkiye'de ilk kez çok sık heterojen veri kullanılarak hesaplanan ve topografya ve gravitenin kısa ve çok kısa dalga boyu etkilerini de içeren bir geoit modeli olması nedeniyle önemlidir. Daha sonra 184 noktada belirli TRANSİT Doppler elipsoit yükseklikleri ve ortometrik yükseklikler ile Türkiye Doppler Geoidi 92 (TDJ-92) hesaplanmıştır **(Ayhan ve Kılıçoğlu, 1993).** TDJ-92'den sonra 200 noktada çekül sapması bileşenleri ile astrogravimetrik nivelman yöntemi ile Türkiye Astrojeodezik Geoidi 94 (TAG-94) elde edilmiştir **(Ayhan ve Alp, 1994).** Türkiye Ulusal Temel GPS ağı (TUTGA)'nın oluşturulmasıyla birlikte tutarlı ve homojen elipsoit yükseklik belirleme olanağı doğmuştur. Seçilen 197 TUTGA noktasının Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA)'na bağlı olarak presizyonlu geometrik nivelman ölçüleriyle ortometrik yükseklikleri belirlenmiştir. Böylece GPS / Nivelman geoit yükseklikleri elde edilmiştir. TG-91 mutlak jeosentrik geoit modeli ile tam olarak uyuşmamakta ve aralarında kayıklık ve eğim gibi uzun dalga boyunda etkili farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle GPS/Nivelman geoidi ile TG-91 geoidinin birleştirilerek GPS ile uyumlu geoit modelinin oluşturulması için TUTGA99 projesi içinde çalışmalar gerçekleştirilmiş ve Türkiye Geoidi

99 (TG-99) hesaplanmıştır **(Ayhan ve diğ., 1999).** Ayrıca GPS/Nivelman geoit yüksekliği belirli ilave noktaların katılması ile TUTGA99 güncelleştirilmiş ve yeni elde edilen geoit modeli TG-99'un ilk güncelleştirilmesi olarak TG-99A olarak isimlendirilmiştir **(Ayhan ve diğ., 2002).**

3.l.1. Türkiye Geoidi-1991 (TG-91)

Türkiye Geoidi-1991 (TG-91) adı ile bilinen gravimetrik geoit, GPM2-T1 yer potansiyel katsayıları, topoğrafik yükseklikler ve gravite ölçüleri değerlendirilerek hesaplanmıştır **(Ayhan, 1992, 1993).** Mevcut yer potansiyel modellerinin oluşturulmasında Türkiye'deki gravite ölçüleri kullanılmadığından, GPM2 yer potansiyel modeli Türkiye'deki gravite ölçüleri ile geliştirilip GPM2-T1 modeli oluşturulmuştur. Ulusal Gravite Kütüğü (UGK), düzenlenmiş Postdam gravite datumunda, 34° 30′ – 42° 30′ enlem ve 25° 30′ - 45° 0′ boylamları arasında kalan bölgede, 3-5 km sıklıkla 62250 nokta gravite ölçüsünü kapsamaktadır. UGK'de komşu ülkeler ile denizler için gravite ölçüleri yoktur. 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"xl5" ve 30"x30" grid hücrelerinde ortalama yükseklikler hesaplanmıştır.

Türkiye Geoidi-1991, yer potansiyel modeli, topoğrafik yükseklikler ve nokta gravite ölçülerinin "kaldır-yerine koy" (Remove-restore) tekniği kullanılarak En Küçük Karelerle Kolokasyon (EKKK) yöntemiyle değerlendirilmesi ile GRS80 elipsoidine göre belirlenmiştir. l°xl° boyutlu alt bölgelerde 3'x3' grid köşelerinde GEOCOL yazılımı **(Tscherning ve diğ., 1994)** kullanılarak geoit yükseklikleri hesaplanmış ve l°xl° alt bölgeler birleştirilerek tüm Türkiye için TG-91 geoit yükseklikleri grid kütüğü oluşturulmuştur.

3.1.2. GPS/Nivelman Geoidi

GPS/Nivelman geoit yüksekliklerini belirlemek için, Türkiye içinde uygun dağılımda, geoidin hızlı değiştiği bölgelerde daha sık olmak üzere, 197 TUTGA-99 noktası seçilmiş ve geometrik nivelman ölçüleriyle Türkiye Ulusal Kontrol Ağı -1999 (TUDKA-99)'na bağlanmıştır. Toplam 197 GPS/nivelman noktasının TUTGA-99 koordinat sisteminde elipsoit yükseklikleri ile TUDKA-99 datumunda geometrik ölçüleri ve gravite değerleri ile ortometrik yükseklikleri belirlenmiştir.

Nivelman bağlantısı yapılan TUTGA-99 noktalarında elipsoit yükseklikleri, 1992-1999 yılları arasında gerçekleştirilen GPS kampanyalarının birleştirilmesi ile ITRF96 koordinat sisteminde ve GRS80 elipsoidine göre tanımlanmıştır. TUTGA-99 datumunda elipsoit yükseklikleri belirli GPS/nivelman noktalarının ortometrik yükseklikleri TUDKA-99'a göre belirlenmiştir.

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

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

ile bulunmuştur. Burada K, TUDKA-99 noktasından GPS noktasına kadar olan ara noktaların sayısı, Δn_k, ardışık iki ara nokta arasında geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı, g, noktalardaki gerçek gravitedir. Daha sonra P, TUDKA-99 noktasının jeopotansiyel sayısı Cp'den yararlanarak GPS noktasının jeopotansiyel sayısı, C

$$C = C_P + \Delta C \qquad \textbf{(3.2)}$$

bulunmuştur. Helmert ortometrik yüksekliği H,

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

eşitliği ile C jeopotansiyel sayısına bağlı olarak hesaplanmıştır. GPS noktasının elipsoit yüksekliği h olmak üzere GPS/Nivelman geoit yüksekliği N_{GPS}

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

ile hesaplanmıştır.

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

TG-91 ile GPS/Nivelman geoidinin birleştirilmesi için GPS/Nivelman geoit yüksekliği bilinen 197 noktada TG-91 ile GPS/Nivelman geoit yükseklik farklarının bilinmesi gerekir. İstenen noktalarda TG-91 geoit yükseklikleri enterpole edilebilmektedir. Herhangi bir noktada presizyonlu GPS/Nivelman geoit yüksekliğini enterpole etmek yeterli veri sıklığı olmadığından pek mümkün değildir. Bu nedenle TG-91 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 TG-91 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 (TG-99A) olarak adlandırılmıştır **(Kılıçoğlu, 2002).**

TG-99A gravimetrik geoit (TG-91) ile GPS/Nivelman geoidinin birleştirilmiş halidir ve GPS yöntemi ile hesaplanan elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için

$$H = h - N \qquad \textbf{(3.5)}$$

eşitliğinde doğrudan kullanılabilir.

TG-99A'nın kontrolü amacıyla aşağıdaki uygulamalar yapılmış olup istatistikler **Tablo 3.1**'de verilmiştir:

A. Hesap noktalarında TG-99A geoit yüksekliklerinin enterpolasyonu ve karşılaştırılması (iç kontrol $N_{TG-99A} - N_{GPS}$),

B. Kontrol noktası olarak seçilen 122 noktada TG-99A geoit yüksekliklerinin prediksiyonu ve karşılaştırılması (Dış kontrol, N_{TG-99A} - N_{GPS}),

C. TG-99A ve TG-99 geoit modellerinin iç kontrol noktalarında (C_l), dış kontrol noktalarında (C_2) ve grid köşelerinde (C_3) karşılaştırılması (Kazanç kontrolü, $N_{TG99A} - N_{TG99}$).

Tablo 3.1: TG-99A'nın kontrolü (farklar cm birimindedir) **(Kılıçoğlu, 2002).**

	İç Kontrol	Dış Kontrol	Karşılaştırma (TG99A -TG99)		
	A	B	C_1	C_2	C_3
Minimum	-14.7	34.1	-264.7	-21.8	-459.2
Maksimum	91.2	52.3	60.6	33.2	248.2
Ortalama	1.4	1.4	-3.5	0.2	-10.4
St.Sapma	9.1	14.5	30.7	10.1	55.7

3.1.4. İzmir GPS / Nivelman Geoidi (İzGPSG01)

İzmir bölgesine ait bir geoit modeli 2001 yılında yapılan jeodezik çalışmalar sonucunda 'çok parametreli polinomlarla regresyon' yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu geoit modeli İzmir Metropolitan alanının nivelman ağı sınırları içinde geçerlidir ve nokta sıklığı ortalama 3 km^2/noktadır **(Ayan ve diğ., 2001).**

Bu geoit modelinin oluşturulmasında kullanılan veriler ülke nivelman ağına bağlantılı üretilmiş nokta yükseklikleri ve ITRF96 epoch'unda belirlenmiş GRS80 elipsoidinden olan yüksekliklerdir.

Dayanak noktalarına (310 adet) ait ondülasyon değerleri kullanılarak beşinci dereceden yüzey polinomu hesaplanmıştır. Katsayılar en küçük kareler yöntemiyle belirlenmiştir. Bunların için 310 dayanak noktası mevcuttur ve bu dayanak noktalarında elde edilen ondülasyonlara ait düzeltme denklemleri oluşturulmuş, düzeltme değerleri hesaplanmıştır **(Ayan ve diğ., 2001).**

İzGPSG01 geoidinin geçerli olduğu bölge içinde GPS ile ITRF96 datumunda belirlenen bir noktanın 3D konumu kullanılarak bu noktanın deniz seviyesinden olan pratik yüksekliği ±3.9 cm karesel ortalama hata ile belirlenebilmektedir.

Geoit yüksekliklerinin ve dolayısıyla üzerinde GPS ölçüleri gerçekleştirilen noktaların modelden hesaplanan ülke sistemindeki yüksekliklerinin doğruluğu dayanak noktaları için verilen sinyaller (düzeltmeler) kullanılarak artırılabilmektedir.

3.2. İstanbul Geoidinin Belirlenmesi İle İlgili Çalışmalar

İstanbul geoidinin belirlenmesi için, İstanbul GPS Nirengi Ağı (İGNA) noktalarından yararlanılmıştır. İstanbul GPS Nirengi Ağı çalışmalarının kontrollük ve danışmanlık hizmetlerini İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Jeodezi Anabilim Dalı sağlamıştır. İGNA'nın amaçlarından birisi de GPS tekniğiyle Ülke Yükseklik Sisteminde yükseklik üretebilmek için gerekli olan İstanbul geoidini belirlemektir.

İGNA'nın bir yandan Ülke GPS ağı, bir yandan da Türkiye Ulusal Nirengi Ağı ile bağlantısının sağlanması için İGNA her iki ağdan da ortak noktalar içermektedir. Bu nedenle Ülke GPS Ağı (TUTGA) dan 5, Ulusal Nirengi Ağından 8 ve İstanbul Metropolitan Nirengi Ağından 7 nokta ile 34 yeni seçilmiş noktadan, kenar uzunlukları 15-20 km olan ve İstanbul il sınırlarını pratik olarak kaplayan bir Ana Ağ

tasarlanmıştır. Diğer nirengi noktaları bu ana ağın en az iki noktasından çıkış alınarak sıklaştırılmıştır **(Ayan ve diğ., 1999).**

Tarihsel gelişim içerisinde, farklı zamanlarda parça parça oluşturulan mevcut İstanbul nivelman ağının problemleri olduğu bilinmektedir. Böyle bir ağın konumsal bilgi sistemlerinde ve GPS tekniği ile ülke yükseklik sisteminde yükseklik üretebilmek için gerekli olan presizyonlu geoidin belirlenmesinde altlık olarak kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle, ülke yükseklik sistemine dayalı bir nivelman ağının yeniden oluşturulması kararlaştırılmıştır.

Nivelman ağının oluşturulmasında, İGNA'nın ana ağ ve sıklaştırma ağı noktalarından bazıları nivelman noktası olarak seçilmiştir. Bu noktalar geoit belirlemede "geoit dayanak" noktası olarak kullanılmıştır. Nivelman standart sapması 1mm/km olan aletlerle gidiş-dönüş olarak yapılmış ve en büyük lup uzunluğu 80 km olarak alınmıştır. Çalışmada üç adet barkodlu nivo kullanılmış ve toplam 2500 kilometrenin üzerinde nivelman gerçekleştirilmiştir. Gidiş-dönüş nivelman ölçülerinin değerlendirilmesinden, bir kilometrelik nivelman yolu için ±3.5 mm/km lik bir doğruluk değeri elde edilmiştir.

İstanbul Nivelman ağının Anadolu ve Trakya yakalarındaki parçaları ayrı ayrı değerlendirilerek uyuşumsuz ölçüler belirlenmiş ve bu ölçüler tekrarlanmıştır.

Nivelman ağı Anadolu ve Trakya olmak üzere iki parçalı olarak dengelenmiştir. Dengelemede Avrupa yakasında 12, Anadolu yakasında 14 Ülke Nivelman Ağı noktasının ortometrik yüksekliği sabit tutulmuştur. Anadolu yakasında 348, Avrupa yakasında 411 nivelman noktasının yüksekliği hesaplanmıştır. Dengeleme sonucunda 1 km lik nivelmanın karesel ortalama hatası ±7-8 mm elde edilmiştir.

Bilindiği gibi Ülke Nivelman Ağı'nın oluşturulmasında İstanbul Boğazı 1940' lı yıllarda presizyonlu trigonometrik nivelman yöntemiyle geçilmiştir. İstanbul çevresindeki Ülke Nivelman Ağı noktalarının yükseklikleri bu geçişe göre hesaplanmıştır. İstanbul Nivelman Ağının ayrı ayrı dengelenen iki parçası arasında bir datum probleminin olup olmadığının araştırılması gerekmiştir.

Bu amaçla, İstanbul Boğazının Rumeli Hisarı-Anadolu Hisarı ve Aşiyan-Küçüksu arasında İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi Anabilim Dalı öğretim üyeleri tarafından 1986 yılında vadi geçiş nivelmanı yöntemi ile belirlenen yükseklik farkları ile bu noktalar arasında yeniden hesaplanan yükseklik farkları karşılaştırılmıştır. Küçüksu

noktasının bölgede yapılan çalışmalar sonucu çöktüğü belirlenmiştir. Rumeli Hisarı-Anadolu Hisarı arasındaki yükseklik farkı,

$$\Delta H_{İTÜ} = 1.86156 \pm 0.0012 \text{ m}$$

bulunmuşken, söz konusu iki nokta nivelman ağının, ek ölçüler katılarak ağın yeniden dengelenmesinden sonra karşılaştırma için bulunan farkın $\Delta H_{yeni} = 1.881$ m olduğu görülmüştür. +2 cm'lik fark ise normal olarak değerlendirilmiştir **(Ayan ve diğ., 1999).**

Boğaz çevresinde geoidin en büyük eğim doğrultusu boğaz doğrultusuna yakın olduğundan buna dik doğrultularda geoit eğimi minimum olacaktır ve bunun sonucu boğazın iki yakasında birbirine yakın alınacak noktalar arasındaki elipsoidal yükseklik farkları ortometrik yükseklik farkları ile belirli bir doğrulukla karşılaştırılabilir. Bu düşünce ile, Anadolu Hisarı, Rumeli Hisarı ve Üsküdar kesimlerinde GPS ile kısa bazlar ölçülmüş ve yükseklik farkları belirlenmiş ve **Tablo 3. 2**'de gösterilmiştir **(Ayan ve diğ., 1999).**

Tablo 3. 2: İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakası arasındaki yükseklik farkları

Nokta No	Nokta No	Yükseklik Farkları		Fark(cm)
		Δh_{GPS}(m)	ΔH_{Niv}(m)	D = Δh - ΔH
34925	34932	0.132	0.108	2.4
34926	34931	0.120	0.135	-1.5
34927	34930	0.970	1.003	-3.3

Yukarıdaki kontroller sonucu İstanbul Nivelman Ağı'nın Anadolu ve Avrupa parçaları arasında signifikant bir datum probleminin olmadığı görülmüştür.

4. UYGULAMALAR

4.1 Test Ağı ve Verileri

Çalışmada kullanılan veriler, ayrıntıları tezin Giriş bölümünde verilen, İstanbul Metropolitan Alanını kapsayan, 1999 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından EMİ Harita Şirketine yaptırılan, **İstanbul GPS Nirengi Ağı 1999 (İGNA-99) Projesi** kapsamında üretilen verilerdir. Bunlara ek olarak, İGDAŞ için Mecidiyeköy, Beşiktaş ve Gültepe semtlerinde 1999 yılında GPS ölçmeleri ve geometrik nivelman ölçmeleri yapılan 14 tane noktaya ilişkin veriler hesaplamalara katılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan noktaların büyük bir çoğunluğu İGNA noktalarıdır. İGNA'nın bir yandan Ülke GPS ağı, bir yandan da Türkiye Ulusal Nirengi Ağı ile bağlantısının sağlanması için İGNA her iki ağdan da ortak noktalar içermektedir. Bu nedenle Ülke GPS Ağı (TUTGA) dan 5, Ulusal Nirengi Ağından 8 ve İstanbul Metropolitan Nirengi Ağından 7 ve 34 yeni seçilmiş noktadan oluşan, kenar uzunlukları 15-20 km olan ve İstanbul il sınırlarını pratik olarak kaplayan bir Ana Ağ tasarlanmıştır. Diğer nirengi noktaları bu ana ağın en az iki noktasından çıkış alınarak sıklaştırılmıştır **(Ayan ve diğ., 1999).**

Ana ağ GPS ölçmelerinde 6 adet Zeiss GPS alıcısı kullanılmıştır. Ana ağ ölçmeleri 30 oturum halinde, günde ortalama yol dahil 10.5 saat çalışmak suretiyle 20 iş gününde tamamlanmıştır. Ana ağ noktaları iki nokta referans alınarak eş zamanlı, en az dört uydu izlenerek statik yöntemle, en az 60 dakika süreli, 15 saniyede bir kayıt aralığı ile minimum uydu yüksekliği 15 derece olmak koşulu ile ölçülmüştür. Oturumlar arasında bir baz (iki nokta) daima ortak alınmıştır **(Ayan ve diğ., 1999).**

İGNA Sıklaştırma Ağı noktaları İstanbul'un ortofoto haritaları üzerinden seçilmiştir. Noktalar tahrip olmayacak, mümkün olduğu kadar uzun süre korunabilecek yerlerde, yerleşim bölgelerinde ortalama 3 km ve yerleşim dışındaki bölgelerde ortalama 5 km aralıklarla seçilmiştir.

Sıklaştırma ağı noktaları, iki ayrı Ana ağ noktası referans alınarak eş zamanlı en az dört uydu izlenerek hızlı – statik yöntemle en az 20 dakika süreli, 10 saniyede bir kayıt aralığı ile minimum uydu yüksekliği 15 derece olmak koşulu ile 6 adet Zeiss GPS alıcıları ile ölçülmüştür.

İGNA Projesi kapsamında GPS ölçmelerinin değerlendirilmesi SKI 2.3 yazılımı ile yapılmıştır. GPS ölçüleri değerlendirilirken ilk önce Ana ağ noktaları değerlendirilmiş, daha sonra Ana ağ noktaları sabit tutularak sıklaştırma ağı değerlendirilmiştir **(Ayan ve diğ., 1999).**

Tez çalışması kapsamında, İGNA-99 Projesinde üretilen ve İGDAŞ için üretilen GPS verileri, Leica SKI 2.3 ticari yazılımı kullanılarak tarafımdan Ocak, 2004'de tekrar değerlendirilmiş, 5 adet TUTGA-99 (Türkiye Ulusal Temel GPS Nirengi Ağı – 1999) noktasına bağlı olarak ITRF94 sisteminde nokta koordinatları ve ağırlıkların hesaplanması amacıyla tüm noktalara ilişkin varyans – kovaryans matrisleri elde edilmiştir.

İGNA projesi kapsamında hem GPS ölçmesi hem de nivelman ölçmesi yapılmış fakat geoit hesabında kullanılmamış noktaları geoit hesabına yeni nokta olarak ilave etmek ve uyuşumsuz oldukları için geoit hesabında elimine edilmiş noktaları tekrar araştırmak amacıyla yapılan bu yeniden değerlendirme sonucunda 11 yeni nokta kazanılmış ve geoit hesabına katılmıştır.

İGNA noktalarından farklı olarak İstanbul'un Gültepe, Beşiktaş ve Mecidiyeköy bölgelerinde İGDAŞ için yapılan bir projede yaklaşık 40 noktanın hem GPS ölçüleri hem de nivelman ölçüleri yapılmıştır. Bu noktalara ait GPS ölçmeleri yine SKI 2.3 ticari yazılımı kullanılarak tarafımdan değerlendirilmiştir. Bu noktalar birbirine yakın oldukları için bunlardan sadece 14 tanesi alınmış, diğerleri hesaplarda kullanılmamıştır.

Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1992 (TUDKA-92) oluşturulurken önce, geometrik nivelman ölçülerinden ve gravite değerlerinden yararlanarak düğüm noktalarının jeopotansiyel sayı farkları hesaplanmıştır ve ölçü planındaki geçkilerin her biri için bulunan jeopotansiyel sayı farklarından yararlanarak lup kapanmaları hesaplanmıştır. Düşey kontrol ağının jeopotansiyel sayılarla dengelenmesi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunun için, ağ önce serbest dengelenmiş ve

uyuşumsuz ölçü testleri ile uyuşumsuz geçkiler belirlenmiş ve bu ölçüler çıkarıldıktan sonra ağ yeniden serbest olarak dengelenmiştir.

Düğüm noktalarının serbest dengelemede bulunan jeopotansiyel sayıları, düşey datum bağlantısı olmadığından ortalama bir sıfır noktasına göre oluşmuşlardır. Düşey datumu belirlemek amacı ile Antalya maregraf istasyonunda 1936 – 1971 yıllarındaki anlık deniz seviyesi ölçüleri kullanılmıştır. Bu istasyondaki yıllık ortalamaların aritmetik ortalaması alınarak, ortalama deniz seviyesi ile maregraf yakınındaki R36 röper noktası arasındaki yükseklik farkı 1.4284 m bulunmuştur. R36 ile 53 nolu nivelman röperi arasındaki bağlantı sağlanarak düşey datum belirlenmiştir.

R36 noktasının jeopotansiyel sayısı C_{R36} = 1.3997 gpu hatasız ve bilinen alındıktan sonra düğüm noktalarından oluşan ağ dayalı olarak yeniden dengelenmiştir. Bu dengelemeden hesaplanan düğüm noktalarının jeopotansiyel sayılarından yararlanarak, ikinci aşamada düğüm noktalarını birleştiren geçkiler boyunca düşey kontrol noktalarının jeopotansiyel sayıları ve bunların karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Son aşamada ise jeopotansiyel sayısı hesaplanan düşey kontrol noktalarının Helmert ortometrik yükseklikleri (3.3) eşitliği kullanılarak bulunmuştur. Böylece Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı TUDKA – 92 oluşturulmuştur.

Tez kapsamında Geoit belirlemede kullanılan İGNA noktalarının ortometrik yükseklikleri ise, geometrik nivelmanla elde edilen yükseklik farkları, ortometrik yükseklikleri TUDKA-92 (Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı – 1992) sisteminde bilinen 26 adet noktaya bağlı olarak EMİ Harita Şirketi tarafından dengelenerek verilmiştir. İGNA noktalarını kapsayan nivelman ağı, Anadolu ve Trakya olmak üzere iki parçalı olarak dengelenmiştir. Dengelemede Avrupa yakasında 12, Anadolu yakasında 14 Ülke Nivelman Ağı noktası sabit tutulmuştur. Dengeleme sonucunda 1 km'lik nivelmanın karesel ortalama hatası ± 7-8 mm olarak elde edilmiş, nokta yüksekliklerinin karesel ortalama hatası ortalama ± 2.17 cm olarak bulunmuştur.

İGNA noktalarının yükseklikleri TUDKA-92 noktalarından çıkış alınarak yapılan nivelman ölçmeleri sonucu elde edildiği için ortometrik yükseklikler olarak kabul edilebilirler.

Tüm ağa ait İGNA noktalarının dengeleme sonucunda elipsoidal yüksekliklerin karesel ortalama hataları ortalama olarak ± 3.50 cm olarak bulunmuştur. İGNA noktalarının geometrik nivelmanla bulunan ortometrik yüksekliklerinin ortalama karesel ortalama hataları yukarıda da değinildiği gibi ± 2.17 cm olarak bulunmuştur.

Elipsoidal ve ortometrik yüksekliklerin farkları alınarak hesaplanan geoit yüksekliklerinin doğrulukları hata yayılma yasası ile aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$m_N = \sqrt{m_h^{\,2} + m_H^{\,2} + m_{OC}^2} \,. \tag{4.1}$$

Yukarıdaki eşitlikte elipsoidal yüksekliğin karesel ortalama hatası m_h= ±3.50 cm, ortometrik yüksekliğin karesel ortalama hatası m_H = ±2.17 cm alınır ve ortometrik düzeltmenin karesel ortalama hatası m_{oc} ihmal edilirse, geoit yüksekliğinin karesel ortalama hatası m_N= ± 4.11 cm bulunur. Bu veriler kullanılarak belirlenecek İstanbul Geoidinin ortalama doğruluğunun da bu mertebelerde olması beklenir.

Bu çalışmada, GPS ölçülerinin değerlendirilmesi ile ITRF94 sisteminde bulunan elipsoidal yüksekliklerle, nivelman dengelemesinden TUDKA-92 sisteminde bulunan ortometrik yüksekliklerin farkları alınarak, GPS/Nivelman yöntemine göre bulunan 443 noktaya ait geoit yükseklikleri ölçü olarak alınmıştır. Modellerin test edilmesi amacıyla, bu 443 nokta arasından, İstanbul Metropolitan alanı içerisine dağılmış 50 nokta test noktası olarak seçilmiş, modellerin oluşturulmasında geriye kalan 393 nokta kullanılmıştır. Araştırmalardan sonra uygunluğuna karar verilen yöntemle noktaların tamamı (443 nokta) kullanılarak İstanbul Metropolitan Alanı için geoit modeli oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan noktaların enlemleri 40° 45' 11".4588 ile 41° 29' 11".0710, boylamları 27° 57' 36".0162 ile 29° 41' 50".6868 ve elipsoidal yükseklikleri de 37.9781 m (16380) ile 523.2194 m (34295) arasında değişmektedir. Hesaplamalarda kullanılan 443 noktanın İstanbul il sınırları içindeki dağılımı ve yerleri **Şekil C.1**'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada, İstanbul Metropolitan alanında yüksek doğruluğa sahip bir geoit belirlemek amacıyla;

- Dayanak noktası sayısı ile doğruluk arasında ilişki kurulması,

- GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının farklı alınmasının sonuçlar üzerindeki etkisinin araştırılması,
- EGM96 yer yuvarı modelinden sapmalar için matematik model araştırması,
- Bulanık mantık yönteminin geoit belirleme problemlerine uygulanması

konularında araştırmalar yapılmıştır.

Nokta yoğunluğunun geoit hesabına etkisini araştırmak için başlıca 50 (~ 100 km^2'ye bir nokta), 200 (~ 25 km^2'ye bir nokta), 393(~ 13 km^2'ye bir nokta) ve 443 (~ 12 km^2'ye bir nokta) nokta kullanılarak ve bütün geoit yüksekliklerinin ağırlıkları eşit alınarak çok parametreli polinom katsayıları 5., 6. ve 7. dereceye kadar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu polinom katsayıları ile geoit yükseklikleri elde edilerek nokta yoğunluğunun geoit yüksekliğine etkisi incelenmiştir. Aynı nokta sayıları ile bulanık mantık yöntemine göre hesaplar yapılıp sonuçlar karşılaştırılmıştır.

GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının farklı alınmasının sonuçlar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, 443 noktadaki geoit yüksekliklerinin ağırlıkları, GPS ölçülerinin değerlendirilmesinden elde edilen varyans-kovaryans matrisinde elipsoidal yükseklikler için bulunan değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının hesaplanmasında, noktaların ortometrik yüksekliklerinin doğrulukları hakkında bilgi olmaması nedeniyle, geometrik nivelmanın etkisi ihmal edilmiştir. Polinom katsayılarının elde edilmesinde geoit yükseklikleri farklı ağırlıklarla hesaplara katılarak yine 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları hesaplanmış ve bu katsayılar ile geoit yükseklikleri elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar, geoit yüksekliklerinin ağırlıkları eşit alınarak bulunan polinom katsayılarından elde edilen geoit yüksekliklerine ilişkin sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

EGM96 yeryuvarı modeli dünya genelinde veri içeren ve yaygın olarak kullanım alanı bulmuş bir global jeopotansiyel modeldir **(Aksoy, ve diğ., 1999).** Bu nedenle EGM96 yeryuvarı modeli bu çalışmada, bölgesel bir karşılaştırmayı sağlayacak global jeopotansiyel model olarak alınmıştır. Bu amaçla 443 noktada EGM96 yeryuvarı modeline göre geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan geoit yükseklikleri GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yükseklikleri ile karşılaştırılmış ve aralarındaki uyuşum incelenmiştir.

Ayrıca polinom katsayılarının doğrudan GPS/nivelman verilerinden elde edilmesi yerine EGM96 yeryuvarı modeline göre bulunan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre hesaplanan geoit yükseklikleri arasındaki farklardan elde edilmesinin geoit hesabına etkisi 50 ve 200 nokta kullanılarak araştırılmıştır. Burada amaç, EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların modellenmesidir.

Bulanık mantık yönteminin geoit yüksekliklerinin prediksiyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla, aynı nokta sayıları ile (50, 200, 393 ve 443 nokta) hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2 GPS/Nivelman Yöntemine Göre Bulunan Geoit Yüksekliklerinin Polinomlarla Modellenmesi

GPS ölçmelerinden elde edilen elipsoidal yükseklikler ve aynı noktalara ait nivelman ölçmelerinden elde edilen ortometrik yüksekliklerden geoit yükseklikleri (2.38) eşitliğine göre hesaplanmıştır. Elde edilen bu geoit yükseklikleri, polinom katsayıları ve bulanık mantık hesaplamalarına göre geoit yüksekliklerinin belirlenmesinde ölçü olarak kullanılmıştır. 443 noktada GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden çizilen eş geoit yükseklik eğrileri **Şekil C.2**'de görülmektedir.

GPS / Nivelman verilerinden geoit belirlemede, pratik uygulanabilirlik ve sayısal sonuçların elde edilmesi açısından bir enterpolasyon yöntemi olan "çok parametreli polinomlarla regresyon" yöntemi ile geoit belirleme seçilmiştir. Model, (2.39) ve (2.41) eşitlikleri dikkate alınarak;

$$x = k * (\varphi_i - \varphi_0)$$
$$y = k * (\lambda_i - \lambda_0)$$
$$k = \frac{100}{\rho^o}$$

ile İstanbul için $\varphi_0 = 41°.19968$, $\lambda_0 = 28°.87309$ alınarak her nokta için düzeltme denklemi kurulmuş ve bunlardan dengeleme ile 3. dereceden 7. dereceye kadar polinom katsayıları elde edilmiştir**.**

Nokta yoğunluğunun geoit yüksekliği presizyonuna etkisini araştırmak için dört değişik nokta yoğunluğu ile hesaplamalar yapılmıştır. Böylece geoit yüksekliğinin

presizyonlu bir şekilde elde edilebilmesi için gerekli nokta yoğunluğu hakkında bilgiler elde edilmiştir.

Nokta yoğunluğunun geoit yüksekliği presizyonuna etkisini araştırmak için farklı sayıda uygun dağılmış noktalar seçilerek polinom katsayıları ve bu katsayılar yardımıyla da geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar ilk olarak, neredeyse tamamı İGNA ana ağ noktalarından seçilen 50 nokta (yaklaşık 100 km^2'ye bir nokta) ile yapılmıştır. İkinci olarak ana ağ noktalarına sıklaştırma noktalarından ilave edilerek ve nokta yoğunluğu 4 kat artırılarak seçilen 200 (yaklaşık 25 km^2'ye bir nokta) nokta ile hesap yapılmıştır. Daha sonra da bir önceki nokta yoğunluğunun yaklaşık iki katı civarında olan 393 (yaklaşık 13 km^2'ye bir nokta) nokta ile ve dördüncü olarak noktaların tamamı olan 443 (yaklaşık 12 km^2'ye bir nokta) nokta ile hesaplamalar yapılmıştır. 50, 200 ve393 noktalı hesaplamalarda 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları elde edilmiştir.

Ölçü ağırlıklarının geoit yüksekliklerinin hesabına etkisini araştırmak amacıyla 443 nokta ile, ilkinde ölçü ağırlıkları eşit alınarak (P_i=1), ikincisinde ölçü ağırlıkları farklı alınarak 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları hesaplanmıştır.

Ölçü ağırlıkları, GPS ölçülerinin değerlendirilmesi aşamasında dengeleme sonrası elipsoidal yükseklikler için elde edilen varyans – kovaryans matrisi bileşenlerinden ve nivelman ağının dengelenmesi ile ortometrik yükseklikler için bulunan varyans – kovaryans matrisi bileşenlerinden

$$P = \sum^{-1} = (\sum_{hh} + \sum_{HH})^{-1} \qquad (4.2)$$

(4.2) eşitliğine göre hesaplanır **(Zhong, D., 1997).**

Burada $\sum_{hh}$ GPS ölçmelerinden elde edilen elipsoidal yüksekliklere ilişkin varyans – kovaryans matrisi, $\sum_{HH}$ ise ortometrik yüksekliklere ilişkin varyans – kovaryans matrisidir. Bu çalışmada elde sadece İGNA projesi kapsamında yapılan GPS ölçmelerinin değerlendirilmesi sonucu elipsoidal yükseklikler için elde edilen varyans – kovaryans matrisi olduğundan, dengelenmiş ortometrik yüksekliklere ilişkin varyans – kovaryans matrisi bulunmadığından, hesaplamalarda $P = \sum^{-1} = (\sum_{hh})^{-1}$ şeklinde alınarak noktaların ağırlıkları hesaplanmış ve polinom katsayıları ile geoit hesabında kullanılmışlardır.

4.2.1 Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesi

GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yükseklikleri ölçü alınarak uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi amacıyla 5. derece bir polinom eşitliği kullanılarak polinom katsayıları elde edilmiş, bulunan bu katsayılar kullanılarak noktaların geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Ayrıca noktalara ilişkin düzeltme değerleri ve varyans – kovaryans matrisi elde edilmiştir. Polinom katsayıları elde edilirken bütün ölçüler eşit ağırlıklı ($P_i = 1$) kabul edilmiştir. Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi için (4.3) eşitliğinden birim ölçünün karesel ortalama hatası m_o

$$m_o = \mp\sqrt{\frac{v^T v}{n-u}} \tag{4.3}$$

ve (4.4) eşitliğinden bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrisi Q_{xx} (N^{-1})'in

$$Q_{xx} = N^{-1} = (A^T A)^{-1} \tag{4.4}$$

hesaplanması gerekir. Daha sonra da her bir ölçünün standartlaştırılmış hata değerleri

$$Q_{vv} = (\mathrm{I} - AN^{-1}A^T) \tag{4.5}$$

$$m_{vv} = m_o\sqrt{Q_{vv}} \tag{4.6}$$

(4.5) ve (4.6) eşitliklerinden yararlanarak hesaplanır **(Ayan, 1992; Şimşek, 1992).**

Ölçülerin (geoit yükseklikleri) uyuşum testi, $\left|\frac{v}{m_{vv}}\right|$ değeri $T_{f,1-\frac{\alpha}{2}}$ Student dağılımı test değeri ile karşılaştırılarak yapılır. Eğer $\left|\frac{v}{m_{vv}}\right|$ değeri test değerinden ($\alpha = 0.05$ ve serbestlik derecesi 500 alındığında test değeri 1.965) büyükse ölçünün uyuşumsuz, aksi halde uyuşumlu olduğuna karar verilir. Bu çalışmada, yapılan testler sonucu 14 tanesi kaba hatalı olmak üzere toplam 50 noktadaki geoit yüksekliklerinin uyuşumsuz oldukları belirlenmiş ve elimine edilmişlerdir**.**

4.2.2 50 Noktadan Elde Edilen Polinom Katsayılarından Geoit Yüksekliklerinin Hesaplanması

Bütün noktalar içerisinden uygun dağılımda ve yaklaşık 100 km^2'ye bir nokta düşecek şekilde seçilen 50 noktanın GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit

yükseklikleri ile ölçü ağırlıkları (P=1) eşit alınarak 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları elde edilmiştir. Bu polinomların katsayıları ile test değerleri **Tablo A.1**'de verilmiştir. Seçilen 50 dayanak noktasının ve 50 test noktasının İstanbul il sınırları içindeki dağılımı ise **Şekil C.3**'de gösterilmiştir. Bu polinom katsayıları ile 50 test noktasındaki geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu değerlerle, bu noktaların GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin farkları alınmıştır. 50 model noktasındaki geoit yüksekliklerinin düzeltmeleri ile 50 test noktası için hesaplanan farkların maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri **Tablo 4.1**' de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: 50 nokta ile elde edilmiş polinom katsayıları ile elde edilen geoit yükseklikleri (50 dayanak noktası ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)

50 dayanak noktası için düzeltmeler				50 test noktası için farklar			
Pol. Der.	5.der	6.der.	7.der.	5.der.	6.der.	7.der.	
Nokta No	34193	34310	34193	34377	34377	16105	Nokta No
Maksimum	0.0734	0.0658	0.0465	0.1062	0.1230	0.0732	Maksimum
Nokta No	34058	34058	34058	16481	34571	16435	Nokta No
Minimum	-0.0809	-0.0661	-0.0772	-0.1240	-0.1379	-0.1376	Minimum
Ortalama	0.0233	0.0238	0.0173	0.0355	0.0390	0.0390	Ortalama
m_{oi}	0.0300	0.0316	0.0230	0.0467	0.0476	0.0491	m_{od}
m_o	0.0381	0.0513	0.0325				

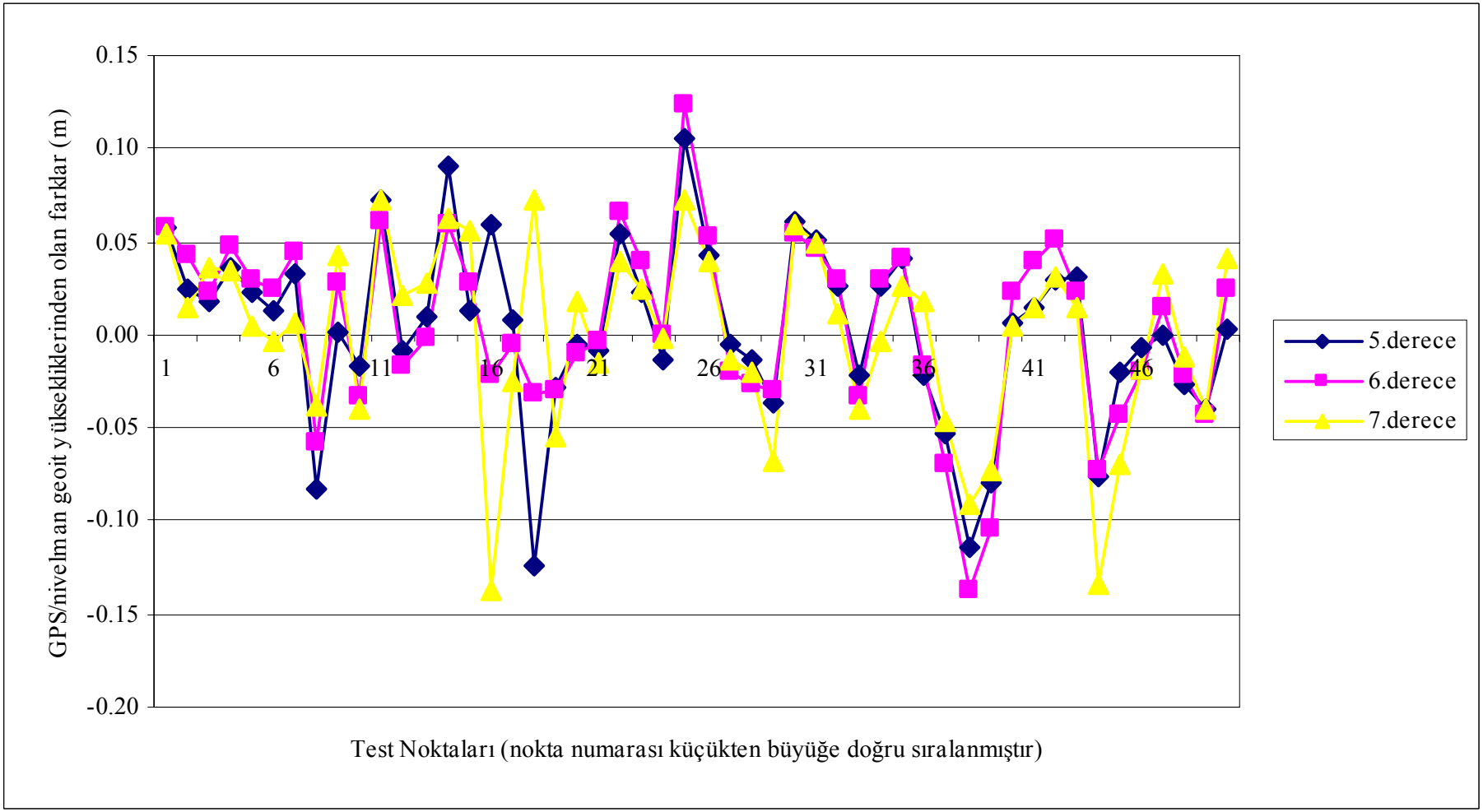
50 nokta ile elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan geoit yüksekliklerine ilişkin **Tablo 4.1**'te gösterilen iç doğruluk değerlerine baktığımızda ± 2.30 ile ±3.16 cm arasında değişmekte olduğu görülmektedir. 7. derece polinom katsayıları ile yapılan hesap en yüksek, 6.derece polinom katsayıları ile yapılan hesap ise en düşük iç doğruluğa sahiptir. Dış doğruluk değerlerine bakıldığında ise polinomun derecesinin artması ile dış doğruluk değerlerinin daha da büyüdüğü ve dolayısı ile daha kötü sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca iç ve dış doğruluk değerleri arasında ± 1.60 ile ± 2.61 cm arasında farkların çıktığı görülmüştür.

50 noktadan elde edilen polinom katsayılarından 50 test noktasının geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yükseklik farkları **Tablo B.1**'de gösterilmiştir. Ayrıca, test noktalarında 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları ile hesaplanmış geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farkları grafik olarak **Şekil 4.1**'de gösterilmiştir.

4.2.3 200 Noktadan Hesaplanan Polinom Katsayılarından Geoit Yüksekliklerinin Elde Edilmesi

Nokta yoğunluğunun etkisini araştırmak amacıyla yapılan ikinci uygulamada, polinom katsayılarını hesaplamak için bu kez uygun dağılımda ve yaklaşık 25 km^2'ye bir nokta düşecek şekilde 200 nokta seçilmiştir. Bu noktaların ve test noktalarının dağılımı ve yerleri **Şekil C.4**'de gösterilmiştir. 200 nokta ile ve eşit ağırlıklarla hesaplanan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri **Tablo A.2**'de görülmektedir. Bulunan Bu polinom katsayıları ile 50 test noktasındaki geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu değerlerle, bu noktaların GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin farkları alınmıştır. 200 model noktasındaki geoit yüksekliklerinin düzeltmeleri ile 50 test noktası için hesaplanan farkların maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri **Tablo 4.2**'de gösterilmiştir.

200 nokta kullanılarak hesaplanan polinom katsayılarından elde edilen geoit yüksekliklerine ait **Tablo 4.2**'ye baktığımızda iç doğruluğun 5., 6. ve 7. derece polinom için sırası ile ± 3.96, ± 3.73 ve ± 3.43 cm oldukları ve polinom derecesinin artması ile iyileştiği anlaşılmaktadır. Burada dikkat edilecek nokta dış doğruluğunda sırası ile ± 4.03, ± 3.90 ve ± 3.51 cm olduklarıdır. Bu değerler iç doğruluğa ait değerlere oldukça yakın değerlerdir. 200 noktadan elde edilen polinom katsayılarından 50 test noktasının geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farkları **Tablo B.2**'de gösterilmiştir. Ayrıca test noktalarında 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları ile hesaplanmış geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi **Şekil 4.2**'de gösterilmiştir.

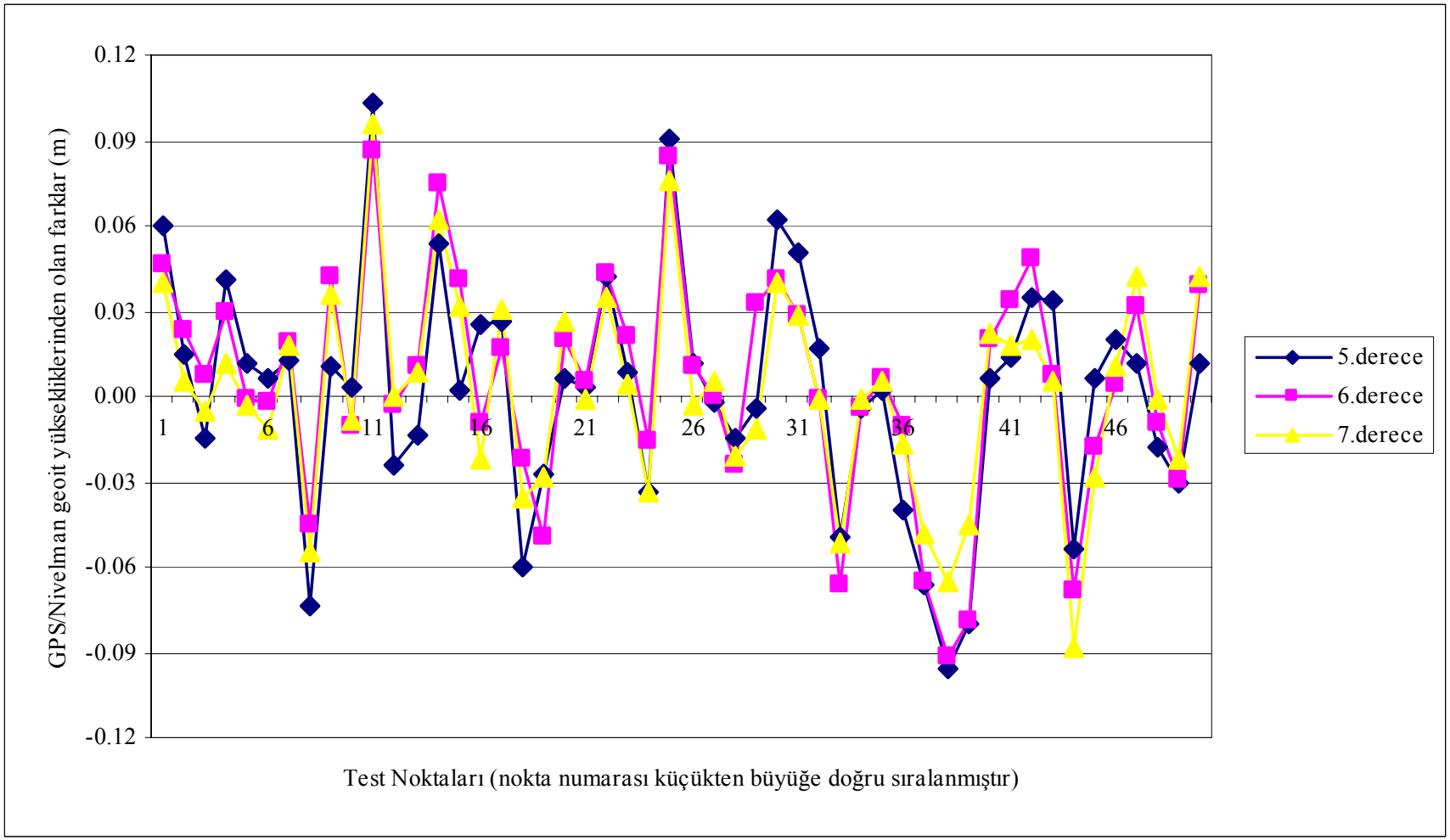


Şekil 4.1: 50 nokta ile elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları ile hesaplanan test noktalarının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi.

Tablo 4.2: 200 noktaya dayalı olarak hesaplanan polinom katsayıları ile elde edilen geoit yükseklikleri (200 dayanak ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)

200 dayanak noktası için düzeltmeler				50 test noktası için farklar			
Pol. Der.	5. der.	6. der.	7. der.	5. der.	6. der.	7. der.	
Nokta No	34310	34310	34310	16105	16105	16105	Nokta No
Maksimum	0.0907	0.1404	0.0847	0.1035	0.0861	0.0959	Maksimum
Nokta No	34541	15783	34058	34571	34571	34810	Nokta No
Minimum	-0.0992	-0.0919	-0.0959	-0.0955	-0.0917	-0.0889	Minimum
Ortalama	0.0328	0.0303	0.0275	0.0301	0.0300	0.0266	Ortalama
m_{oi}	0.0396	0.0373	0.0343	0.0403	0.0390	0.0351	m_{od}
m_o	0.0415	0.0394	0.0371				

50 ve 200 noktadan elde edilen polinom katsayıları ile hesaplanan geoit yüksekliklerine ait iç doğruluk değerleri karşılaştırıldığında 50 noktadan elde edilen polinom katsayıları ile hesaplanan geoit yüksekliklerinde iç doğruluk ± 2.30-3.16 cm arasında değişmekte oysa 200 noktadan elde edilen polinom katsayıları ile hesaplanan geoit yüksekliklerinde ise iç doğruluk ± 3.43 - 3.96 cm arasında değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak seçilen 50 noktanın neredeyse tamamını ana ağ noktaları oluşturmakta oysa seçilen 200 noktada ise ana ağ noktalarına ek olarak 150 tane sıklaştırma noktası kullanılmıştır. Sıklaştırma noktalarının koordinatları ana ağ noktalarından hesaplandığı için daha düşük presizyondadır. İki hesaplamalara ait dış doğruluklar karşılaştırıldığında ise durum biraz değişmektedir. 50 noktaya ait dış doğruluklar m_{od}'ler ± 4.67, ± 4.76 ve ± 4.91 cm oysa 200 noktaya ait m_{od}'ler ± 4.03, ± 3.90 ve ± 3.51 cm dir. 50 noktaya ait dış doğruluk değerleri iç doğruluk değerlerinden yaklaşık olarak ± 1.5 – 2.6 cm fazla çıkmıştır. Ayrıca bu değerlerin 200 noktaya ait dış doğruluk değerlerini de geçtiği görülmektedir. Oysa 200 noktaya ait dış doğruluk değerleri ile iç doğruluk değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Bunun sebebi olarak 50 noktanın nokta yoğunluğunun 200 noktaya göre dört kat daha az olması söylenebilir. 50 ve 200 nokta ile elde edilen polinom katsayıları ile hesaplanan geoit yüksekliklerine ait düzeltme ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ile iç ve dış doğruluk değerleri **Tablo 4.3**'de görülmektedir.



Şekil 4.2: 200 nokta ile elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları ile hesaplanan test noktalarının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi.

Tablo 4.3: 50 ve 200 nokta ile elde edilmiş polinom katsayıları hesaplanan geoit yükseklikleri (50 ve 200 dayanak noktasında ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)

50 dayanak noktası için düzeltmeler				50 test noktası için farklar			
Pol. Der.	5. der.	6. der.	7. der.	5. der.	6. der.	7. der.	
Ortalama	0.0233	0.0238	0.0173	0.0355	0.0390	0.0390	Ortalama
m_{oi}	0.0300	0.0316	0.0230	0.0467	0.0476	0.0491	m_{od}
m_o	0.0381	0.0513	0.0325				
200 dayanak noktası için düzeltmeler				50 test noktası için farklar			
Ortalama	0.0328	0.0303	0.0275	0.0301	0.0300	0.0266	Ortalama
m_{oi}	0.0396	0.0373	0.0343	0.0403	0.0390	0.0351	m_{od}
m_o	0.0415	0.0394	0.0371				

4.2.4 393 Noktadan Hesaplanan Polinom Katsayılarından Geoit Yüksekliklerinin Elde Edilmesi

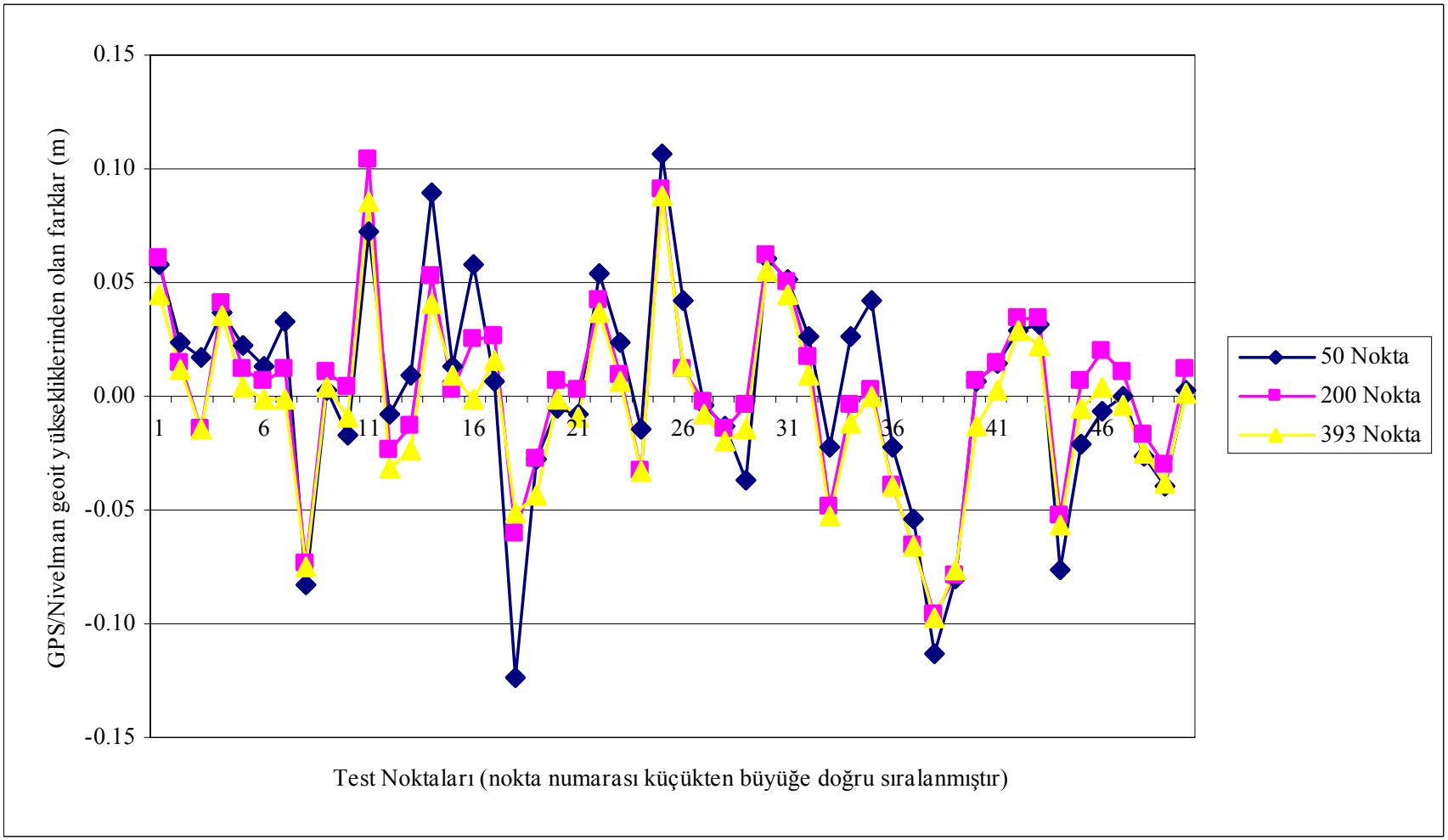
Nokta yoğunluğunu bir önceki hesaplamanın yaklaşık iki katına çıkararak, yani yaklaşık 13 km^2'ye bir nokta düşecek şekilde seçilen ve **Şekil C.5**'de 50 test noktası ile birlikte gösterilen, uygun dağılımdaki 393 nokta ile ölçü ağırlıkları eşit alınarak (P=1), yine 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları elde edilmiştir. Bulunan anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri **Tablo A.3**'de görülmektedir. Elde edilen bu polinom katsayıları ile 50 test noktasındaki geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu değerlerle, bu noktaların GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin farkları alınmıştır. 393 model noktasındaki geoit yüksekliklerinin düzeltmeleri ile 50 test noktası için hesaplanan farkların maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri **Tablo 4.4**'de gösterilmiştir.

393 noktadan elde edilen polinom katsayılarından test noktalarının geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinden farkları **Tablo B.3**'de gösterilmiştir. Ayrıca test noktalarında 50, 200 ve 393 nokta ile elde edilen 5. derece polinom katsayıları ile hesaplanmış geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi **Şekil 4.3**'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4: 393 noktaya dayalı olarak hesaplanan polinom katsayıları ile elde edilen geoit yükseklikleri (393 dayanak ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve ortalama karesel hata. değerleri (m biriminde)

393 dayanak noktası için düzeltmeler				50 test noktası için farklar			
Pol. Der.	5. der.	6. der.	7. der.	5. der.	6. der.	7. der.	
Nokta No	34432	34310	34925	34377	16105	16105	Nokta No
Maksimum	0.0997	0.1036	0.0860	0.0882	0.0784	0.0736	Maksimum
Nokta No	34541	15786	34058	34571	34571	34810	Nokta No
Minimum	-0.1005	-0.0934	-0.0923	-0.0970	-0.0874	-0.0990	Minimum
Ortalama	0.0322	0.0288	0.0272	0.0278	0.0264	0.0262	Ortalama
m_{oi}	0.0394	0.0359	0.0340	0.0380	0.0349	0.0344	m_{od}
m_o	0.0404	0.0371	0.0355				

393 nokta ile elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan geoit yüksekliklerine ait değerlerin 50 ve 200 nokta ile yapılan hesaplarla karşılaştırılması ise **Tablo 4.5**'de görülmektedir. **Tablo 4.5**'e bakıldığında 200 ve 393 nokta ile yapılan hesaplara ilişkin iç ve dış doğruluk değerlerinin birbirine oldukça yakın oldukları gözlenmektedir. Buradan da şöyle bir sonuç çıkarılabilir: mevcut veriler ile 25 km^2'ye bir nokta yoğunluğu ile elde edilen değerleri iyileştirmenin pek mümkün olmadığı anlaşılmaktadır. Çünkü elipsoidal yüksekliklerin ortalama karesel ortalama hatası $m_h = \pm 3.5$ cm dir ve verilerin kalitesini artırmadan sadece nokta yoğunluğunu 25 km^2'ye bir noktadan 13 km^2'ye bir noktaya çıkarmanın sonuçlarda fazla bir iyileştirme yapmayacağı açıktır. 50 ve 393 nokta ile yapılan hesaplar için ise 50 ve 200 nokta ile yapılan hesaplar için yazılmış olan konular tekrarlanabilir.



Şekil 4.3: 50, 200 ve 393 nokta ile elde edilen 5. derece polinom katsayıları ile hesaplanan test noktalarının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi.

Tablo 4.5: 50, 200 ve 393 nokta ile elde edilmiş polinom katsayıları ile elde edilen geoit yükseklikleri (50, 200, 393 dayanak ve 50 test noktasında) ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve ortalama karesel hata değerleri (m biriminde)

50 dayanak noktası için düzeltmeler				50 test noktası için farklar			
Pol. Der.	5. der.	6. der.	7. der.	5. der.	6. der.	7. der.	
Ortalama	0.0233	0.0238	0.0173	0.0355	0.0390	0.0390	Ortalama
m_{oi}	0.0300	0.0316	0.0230	0.0467	0.0476	0.0491	m_{od}
m_o	0.0381	0.0513	0.0325				
200 dayanak noktası için düzeltmeler				50 test noktası için farklar			
Ortalama	0.0328	0.0303	0.0275	0.0301	0.0300	0.0266	Ortalama
m_{oi}	0.0396	0.0373	0.0343	0.0403	0.0390	0.0351	m_{od}
m_o	0.0415	0.0394	0.0371				
393 dayanak noktası için düzeltmeler				50 test noktası için farklar			
Ortalama	0.0322	0.0288	0.0272	0.0278	0.0264	0.0262	Ortalama
m_{oi}	0.0394	0.0359	0.0340	0.0380	0.0349	0.0344	m_{od}
m_o	0.0404	0.0371	0.0355				

4.2.5 443 Noktadan Hesaplanan Polinom Katsayılarından Geoit Yüksekliklerinin Elde Edilmesi

a) Geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının eşit olduğu durum (P_i=1)

5., 6. ve 7. derece polinom katsayılarının hesabı, bir kez de 443 nokta kullanılarak GPS/nivelman yöntemine göre hesaplanan geoit yüksekliklerinin ağırlıkları eşit alınarak yapılmıştır. Elde edilen anlamlı polinom katsayıları **Tablo A.4**'de görülmektedir. Bu katsayılar ile hesaplanan 443 dayanak noktasındaki geoit yüksekliklerine ilişkin maksimum, minimum düzeltmeler ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalaması **Tablo 4.6**'da verilmiştir. 443 noktada 5 derece polinom katsayılarından bulunan geoit yükseklikleri ile 10 cm aralıklarla çizilen eş geoit yüksek eğrileri **Şekil C.6**'da görülmektedir.

b) Geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının farklı olduğu durum

Buraya kadar yapılan bütün hesaplamalarda, polinom katsayılarının hesaplanmasında GPS/nivelman yöntemine göre elde edilen bütün geoit yüksekliklerinin ağırlıkları

eşit (P=1) olarak alınmıştır. Geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının, oluşturulan modelle hesaplanan geoit yüksekliklerine etkisini araştırmak için 443 noktanın ağırlıkları farklı alınarak anlamlı polinom katsayıları hesaplanmıştır. Ağırlıklar yukarıda da ifade edildiği gibi yalnızca elipsoidal yüksekliklerin varyans-kovaryans değerlerinden hesaplanmış, ortometrik yüksekliklerin hatası zorunlu olarak ihmal edilmiştir. Bulunan anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri **Tablo A.5**'de gösterilmiştir.

Bulunan bu katsayılar ile elde edilen geoit yüksekliklerine ilişkin maksimum, minimum düzeltme değerleri ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalaması ve iç doğruluk değerleri **Tablo 4.6**'da verilmiştir.

Tablo 4.6: 443 noktaya dayalı olarak eşit ağırlıklarla (P_i=1) ve farklı ağırlıklarla hesaplanan polinom katsayılarıyla bulunan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki maksimum, minimum düzeltmeler ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalaması (m biriminde)

443 dayanak noktası için düzeltmeler (Eşit ağırlıklarla P=1 hesap)				443 dayanak noktası için düzeltmeler (Farklı ağırlıklarla hesap)			
Pol. Der.	5. der.	6. der.	7. der.	5. der.	6. der.	7. der.	
Nokta No	34432	34310	34310	34432	34561	34561	Nokta No
Maksimum	0.0960	0.1174	0.0882	0.0944	0.0847	0.0935	Maksimum
Nokta No	34694	34740	34058	34694	15786	34058	Nokta No
Minimum	-0.0971	-0.0957	-0.0977	-0.1119	-0.1089	-0.1152	Minimum
Ortalama	0.0318	0.0291	0.0270	0.0337	0.0295	0.0275	Ortalama
m_{oi}	0.0391	0.0364	0.0339	0.0414	0.0370	0.0350	m_{oi}
m_o	0.0400	0.0374	0.0352	0.0424	0.0380	0.0365	m_o

443 nokta kullanılarak elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan geoit yüksekliklerine ait iç doğruluk değerlerini hem birbiri ile hem de 200 ve 393 nokta ile hesaplan değerlerle karşılaştırdığımızda şöyle sonuçlar karşımıza çıkmaktadır: geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının eşit alındığı 443 nokta ile yapılan hesaplamada iç doğruluk değerleri ± 3.39 cm ile ± 3.91 cm arasında değişmekte ve polinom derecesinin arttırılması ile iç doğruluk değeri iyileşmektedir. Bu iç doğruluk değerleri ile 200 ve 393 nokta ile elde edilen iç doğruluk değerleri arasında maksimum ± 0.09 mm fark vardır. Öte yandan geoit yüksekliklerinin ağırlıkları farklı alınarak polinom katsayılarının elde edilmesi durumunda, hesaplanan geoit

yüksekliklerine ait iç doğruluk değerleri ± 3.50 cm ile ± 4.14 cm arasında değişmektedir ve yine polinom derecesinin arttırılması ile iç doğruluk iyileşmektedir. Geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının eşit ve ağırlıklarının farklı alınarak hesaba katıldığı durumlarda iç doğruluklar arasındaki farklar ± 0.6 mm (6. derece polinomda) ile ± 2.3 mm (5.derece polinomda) arasında değişmektedir. Bu değerler karşılaştırıldığında, polinom katsayılarının farklı ağırlıklarla hesaplanması durumunda sonuçların iyileşmediği, aksine az da olsa kötüleştiği söylenebilir. Ancak her iki yöntemde elde edilen düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalamaları karşılaştırıldığında, 5. derece polinomda yaklaşık 4 mm, 6. ve 7. derece polinomlarda sırasıyla 0.4 ve 0.5 mm olduğu, eşit ağırlıklara göre elde edilen sonuçların az da olsa daha iyi olduğu görülmektedir. Bu farklara bakarak yine farklı ağırlıklarla hesap yapmanın bir iyileştirme sağlamadığı, buna karşılık her ölçü için ayrı ağırlık hesaplamak gibi bir yük getirdiği söylenebilir. Ancak ağırlıkların, hem GPS değerlendirmesinden bulunan elipsoidal yüksekliklerin hem de nivelmandan bulunan yüksekliklerin varyans-kovaryans değerleri ile daha gerçekçi olarak hesaplanması durumunda belki farklı ağırlıklarla hesaplama daha iyi, daha gerçekçi sonuçlar verebilir.

4.3 EGM96 Yeryuvarı Modeline Göre İstanbul Geoidinin Belirlenmesi

Modele göre geoit yükseklikleri Ohio Devlet Üniversitesinden Prof. Richard Rapp'in yazmış olduğu ve küresel harmonik katsayıların derece ve seviyelerinin 360° eşit olduğu F477.For FORTRAN programı kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan 443 noktadaki geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan maksimum, minimum farkları, farkların mutlak değerlerinin ortalaması ve karesel ortalama hata değerleri **Tablo 4.7**'de gösterilmiştir. 443 noktada EGM96 yeryuvarı modeline belirlenen geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yükseklikleri arasındaki farklara ilişkin şematik gösterim **Şekil C.7**'de görülmektedir. **Tablo 4.7** ve **Şekil C.7** incelendiğinde farkların -0.182 m ile +1.038 m arasında değiştiği ve farkların mutlak değerlerinin ortalamasının 0.436 m olduğu görülmektedir. EGM96 yeryuvarı modeli ile elde edilen geoit yükseklikleri, mühendislik uygulamaları için GPS ölçmeleri ile elde

edilen elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için yeterli incelikte değildir.

Tablo 4.7: EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan 443 noktadaki geoit yüksekliklerinin GPS/ nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farklarına ilişkin değerler (m biriminde).

$N_{EGM96} - N_{GPS/Nivelman}$	
Nokta No	34742
Maksimum Fark	1.039
Nokta No	34498
Minimum Fark	-0.182
Farkların ortalaması	0.436
m_o	± 0.518

4.4 EGM96 Yeryuvarı Modelinden Sapmaların Modellenmesi

Bu bölümde, EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların modellenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. EGM96 yeryuvarı modeli ve GPS/nivelman yöntemi gibi iki ayrı yoldan elde edilen geoit yükseklikleri arasındaki farkların, EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların modellenmesi için kullanılması amaçlanmıştır. Bu farklarla oluşturulan yüzeyin GPS/Nivelman modeli ile elde edilen geoit yüzeyinden daha pürüzsüz, daha az değişen, daha az dalgalanan bir yüzey olabileceği ve bu yüzeyin daha az sayıda nokta ile ve daha az dereceli bir polinomla modellenebileceği düşünülerek bu konu araştırılmıştır.

Bu amaçla, diğer uygulamalarda da kullanılan 50 ve 200 noktadaki EGM96 yeryuvarı modeli ile hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin farkları, polinom katsayılarının elde edilmesinde ölçü olarak alınmıştır. Bu farklarla 5., 6 ve 7. derece polinom katsayıları elde edilmiştir. Bu polinom katsayıları ile test noktalarının EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaları hesaplanmıştır. Bu değerlerin noktaların EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan geoit yüksekliklerine eklenmesi ile bulunan yükseklikler, GPS/Nivelman yöntemine göre bulunan geoit yükseklikleri ile karşılaştırılmıştır.

a) 50 nokta ile hesap

İstanbul il sınırları içinde dağılmış olan ve önceki hesaplarda da kullanılan 50 noktaya ilişkin farklarla 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları hesaplanmış, gerekli testler yapılmış ve anlamlı polinom katsayıları belirlenmiştir. Bulunan anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri **Tablo A.6**'da gösterilmiştir. Bu polinom katsayıları ile 50 test noktasındaki geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu değerlerle, bu noktaların GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin farkları alınmıştır. 50 dayanak noktasındaki geoit yüksekliklerinin düzeltmeleri ile 50 test noktası için hesaplanan farkların maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri **Tablo 4.8**'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: 50 noktadaki EGM96 modeline göre geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki farklarla hesaplanan polinom katsayılarından elde edilen maksimum, minimum düzeltme ve fark değerleri, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)

50 dayanak noktası için düzeltmeler (EGM96 –GPS/Niv. Farkları ile)				50 test noktası için farklar (EGM96 –GPS/Niv. Farkları ile)			
Pol. Der.	5. der.	6. der.	7. der.	5. der.	6. der.	7. der.	
Nokta No	34193	34193	34152	34377	16105	16105	Nokta No
Maksimum	0.1030	0.0822	0.0668	0.1611	0.0878	0.0794	Maksimum
Nokta No	34301	34058	34058	16481	34571	34810	Nokta No
Minimum	-0.0928	-0.0741	-0.0558	-0.1699	-0.1118	-0.1013	Minimum
Ortalama	0.0317	0.0211	0.0185	0.0476	0.0334	0.0342	Ortalama
m_{oi}	0.0415	0.0284	0.0250	0.0619	0.0434	0.0417	m_{od}
m_o	0.0489	0.0366	0.0347				

Tablo 4.8 incelendiğinde, polinom derecesinin artmasıyla düzeltmelerin küçüldüğü, test noktalarında polinom katsayıları ile bulunan değerlerle GPS/Nivelman yöntemine göre bulunan geoit yükseklikleri arasındaki farkların azaldığı, iç ve dış doğrulukların iyileştiği görülür.

50 nokta ile EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların ve doğrudan GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin modellenmesi sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, her iki modelleme ile elde edilen dayanak (model) noktalarındaki düzeltmelerin ve test noktalarındaki farkların ortalama değerleri **Tablo 4.9**'da

verilmiştir. Bu tablo incelediğinde, düzeltmelerin ortalamalarının her iki yöntemde de birbirine yakın oldukları, polinomun derecesinin artması ile daha da iyileştikleri görülmektedir. Buna karşılık test noktaları için hesaplanan farkların ortalamaları incelendiğinde, en küçük farkların EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların 6. dereceden polinomla modellenmesi ile elde edildiği görülür. Her iki yöntemde de hesaplanan iç ve dış doğruluk değerlerinin sayısal olarak hataların ortalamasından daha büyük oldukları gözlenmektedir. EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların modellenmesinin, 6. derece polinom katsayıları ile yapılan hesaplamada çok az da olsa, doğrudan GPS/Nivelman yöntemiyle bulunan geoit yüksekliklerinin modellenmesinden daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.

Tablo 4.9: 50 Dayanak noktası ile GSP/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinin ve EGM96 modelinden sapmaların modellenmesi sonucu bulunan polinom katsayılarından hesaplanan yüksekliklerin GPS/Nivelman yüksekliklerinden farklarının ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde)

50 dayanak noktası için düzeltmeler (GSP/nivelman yöntemine göre)				50 test noktası için farklar (GSP/nivelman yöntemine göre)			
Pol. Der.	5. der	6. der	7. der	5. der	6. der	7. der	
Ortalama	0.0233	0.0238	0.0173	0.0355	0.0390	0.0390	Ortalama.
m_{oi}	0.0300	0.0316	0.0230	0.0467	0.0476	0.0491	m_{od}
m_o	0.0381	0.0513	0.0325				
50 dayanak noktası için düzeltmeler (EGM –GPS/Niv. Farkları ile)				50 test noktası için farklar (EGM –GPS/Niv. Farkları ile)			
Ortalama	0.0317	0.0211	0.0185	0.0476	0.0334	0.0342	Ortalama
m_{oi}	0.0415	0.0284	0.0250	0.0619	0.0434	0.0417	m_{od}
m_o	0.0489	0.0366	0.0347				

a) 200 nokta ile hesap

Yukarıda 50 nokta için yapılan hesaplar aynı şekilde 200 nokta için tekrarlanmıştır. Bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri **Tablo A.7**'de görülmektedir. Bu polinom katsayıları ile 50 test noktasındaki geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu değerlerle, bu noktaların GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin farkları alınmıştır. 200 dayanak noktasındaki geoit yüksekliklerinin düzeltmeleri ile 50 test noktası için hesaplanan farkların maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve

farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri **Tablo 4.10**'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10: 200 noktadaki (EGM96 - GPS/nivelman) geoit yükseklik farklarından elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan minimum, maksimum düzeltmeler ve farklar, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluğa ilişkin değerler (m biriminde).

200 dayanak noktası için düzeltmeler (EGM96 –GPS/Niv. Farkları ile)				50 test noktası için farklar (EGM96 –GPS/Niv. Farkları ile)			
Pol. Der.	5. der	6. der.	7. der.	5. der.	6. der.	7. der.	
Nokta No	34310	34310	34310	16105	16105	16105	Nokta No
Maksimum	0.0924	0.1085	0.0839	0.0982	0.0955	0.0929	Maksimum
Nokta No	34495	34495	15783	34571	34571	34810	Nokta No
Minimum	-0.0939	-0.0869	-0.0814	-0.0983	-0.0854	-0.0731	Minimum
Ortalama	0.0334	0.0292	0.0279	0.0303	0.0274	0.0286	Ortalama
m_{oi}	0.0406	0.0361	0.0348	0.0408	0.0362	0.0363	m_{od}
m_o	0.0425	0.0385	0.0375				

Tablo 4.10 incelendiğinde, polinom derecesinin artmasıyla düzeltmelerin küçüldüğü, test noktalarında polinom katsayıları ile bulunan değerlerle GPS/Nivelman yöntemine göre bulunan geoit yükseklikleri arasındaki farkların azaldığı, iç ve dış doğrulukların iyileştiği görülür.

200 nokta ile EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların ve doğrudan GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin modellenmesi sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, her iki modelleme ile elde edilen dayanak (model) noktalarındaki düzeltmelerin ve test noktalarındaki farkların ortalama değerleri **Tablo 4.2** ve **4.10**'ten alınarak **Tablo 4.11**'de verilmiştir. Bu tablo incelediğinde, düzeltmelerin ortalamalarının her iki yöntemde de birbirine yakın oldukları, polinomun derecesinin artması ile daha da iyileştikleri görülmektedir. Buna karşılık test noktaları için hesaplanan farkların ortalamaları incelendiğinde, en küçük farkların GPS/Nivelman yöntemiyle bulunan geoit yüksekliklerinin 7. dereceden polinomla modellenmesi ile elde edildiği görülür. EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların 6. dereceden polinomla modellenmesi ile elde edilen sonuçların da buna çok yakın olduğu görülmektedir. Dayanak noktalarının sayısı arttığı zaman her iki modelin birbirine yakın sonuçlar verdiği, polinom derecesinin artmasının sonuçları iyileştirdiği söylenebilir.

Tablo 4.11: 200 Dayanak noktası ile GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinin ve EGM96 modelinden sapmaların modellenmesi sonucu bulunan polinom katsayılarından hesaplanan yüksekliklerin GPS/Nivelman yüksekliklerinden farklarının ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde).

200 dayanak noktası için düzeltmeler (GSP/nivelman yöntemine göre)				50 test noktası için farklar (GSP/nivelman yöntemine göre)			
Pol. Der.	5. der	6. der	7. der	5. der	6. der	7. der	
Ortalama	0.0328	0.0303	0.0275	0.0301	0.0300	0.0266	Ortalama
m_{oi}	0.0396	0.0373	0.0343	0.0403	0.0390	0.0351	m_{od}
m_o	0.0415	0.0394	0.0371				
200 dayanak noktası için düzeltmeler (EGM –GPS/Niv. Farkları ile)				50 test noktası için farklar (EGM –GPS/Niv. Farkları ile)			
Ortalama	0.0334	0.0292	0.0279	0.0303	0.0274	0.0286	Ortalama
m_{oi}	0.0406	0.0361	0.0348	0.0408	0.0362	0.0363	m_{od}
m_o	0.0425	0.0385	0.0375				

4.5 GPS/Nivelman Yöntemine Göre Bulunan Geoit Yüksekliklerinin Bulanık Mantık Yöntemine Göre Modellenmesi

GPS/nivelman yöntemine göre elde edilmiş geoit yükseklik verileri, bulanık mantık yönteminde iki girdili (enlem ve boylam) bir çıktılı (geoit yüksekliği) bulanık modeller oluşturmak için kullanılmıştır. Ayrıntıları **bölüm 2.3.5.2**'de anlatılan bulanık mantık yöntemi, Matlab ticari yazılımının bulanık mantık modülü altında ANFIS editörü kullanılarak uygulanmış, Sugeno bulanık mantık yöntemine göre çözümler elde edilmiştir. Çözümlerde Sugeno bulanık mantık yönteminin kullanılmasının nedeni, yöntemin bilgisayar ile hesap yapmaya Mamdani yöntemine göre daha elverişli olmasıdır. Bu yöntemle bulanık modeller oluşturulurken veriler eğitildiği için daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

GPS/nivelman yöntemine göre elde edilmiş geoit yüksekliklerinin önceki bölümlerde polinomlarla modellenmesinde olduğu gibi yine 50, 200, 393 ve 443 nokta kullanılarak bulanık modeller oluşturulmuştur. Bulanık modeller oluşturulurken enlem ve boylam değerleri eşit sayıda olmak üzere değişik sayıda alt kümelere ayrılarak nokta yoğunluğuna bağlı olarak en uygun alt küme sayılarının da belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.5.1 Bulanık Mantık Yöntemine Göre 50 Nokta ile Oluşturulan Model

50 nokta kullanarak yapılan bulanık hesapta enlem ve boylam eşit sayıda olmak üzere sırası ile 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10'ar alt kümeye ayrılmıştır. Hesaplarda kullanılan 50 dayanak (model) noktası ile yukarıda sıralanan alt küme sayılarının her biri için bulanık mantık modelleri oluşturulmuş ve bu modellerle 50 test noktasına ilişkin geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Modeli test etmek amacıyla, test noktaları için modele göre hesaplanan geoit yükseklikleri ile bu noktalar için GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin farkları alınmıştır. Modellerin oluşturulmasında 50 dayanak noktası için hesaplanan düzeltmelerin ve test noktaları için hesaplanan farkların maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri **Tablo 4.12**'de görülmektedir.

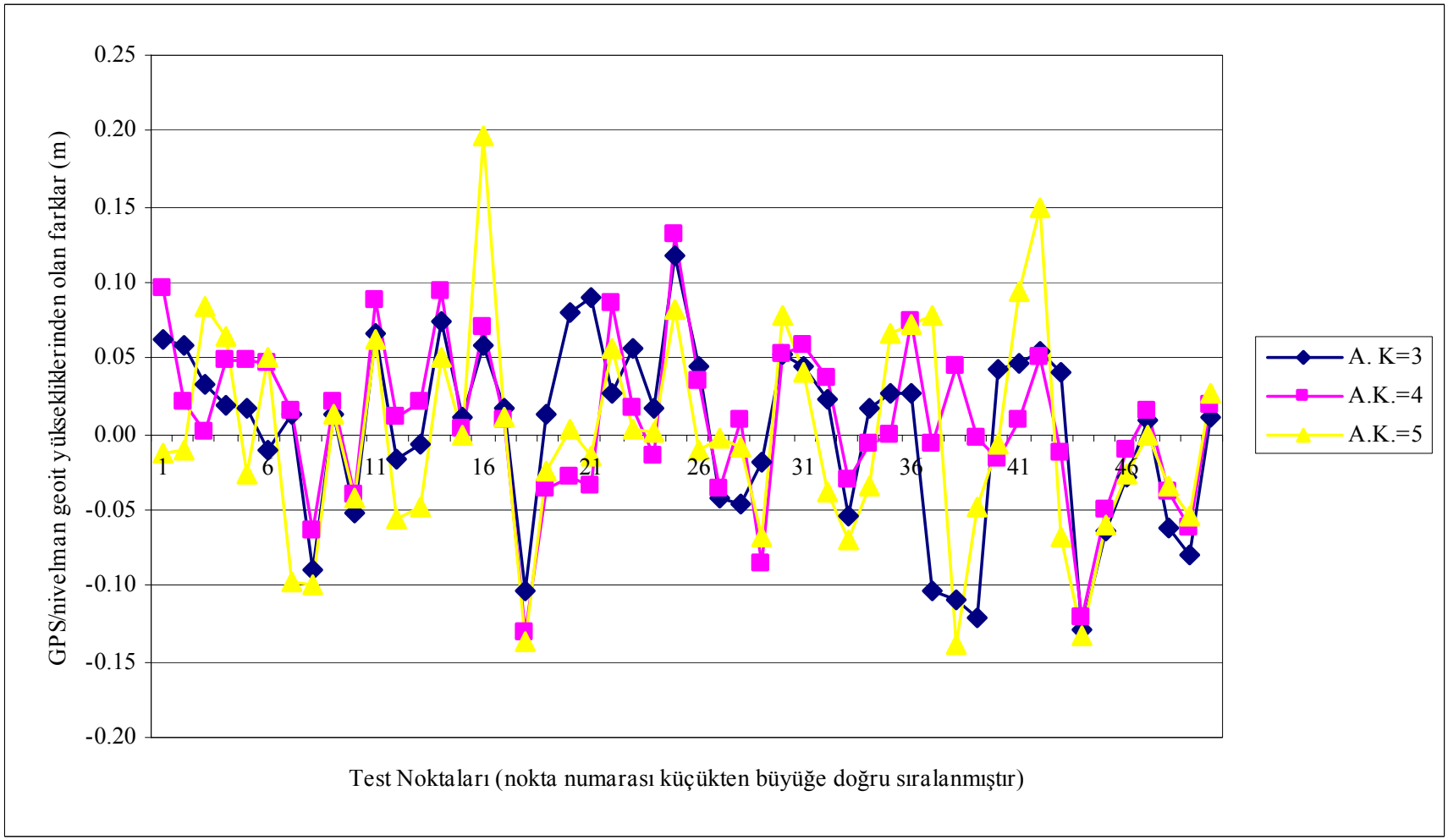
Tablo 4.12: 50 nokta ile oluşturulan bulanık modelde 50 dayanak noktasına ait düzeltmelerin ve modele göre hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalamaları iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde, A.K.S. : Alt küme sayısı).

50 Dayanak noktası için düzeltmeler									
A.K.S.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nokta No	34298	34303	34305	34317	34394				
Maksimum	0.2158	0.1039	0.0445	0.0086	0.0069	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nokta No	34295	34301	34007	34058	34312				
Minimum	-0.1453	-0.1318	-0.0395	-0.0110	-0.0063	-0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Ortalama	0.0570	0.0363	0.0172	0.0019	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
m_{oi}	0.0728	0.0456	0.0218	0.0032	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50 Test noktası için farklar									
A.K.S.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nokta No	34377	34377	34377	16435	15848	14690	34571	34722	34377
Maksimum	0.1722	0.1174	0.1321	0.1970	0.2266	0.1645	4.2540	2.1250	8.8202
Nokta No	16481	34810	16481	34571	34426	16435	16435	34571	34343
Minimum	-0.1454	-0.1299	-0.1301	-0.1390	-0.1221	-0.2377	-1.9920	-2.4564	-9.1502
Ortalama	0.0591	0.0484	0.0413	0.0531	0.0503	0.0570	0.2779	0.3654	1.7872
m_{od}	0.0721	0.0586	0.0536	0.0688	0.0686	0.0745	0.7559	0.6682	2.9229

Tablo 4.12 incelendiğinde, enlem ve boylam 2'şer alt kümeye ayrıldığında iç doğruluğun ± 7.28 cm olduğu görülmektedir. Alt küme sayısının artması ile iç doğruluk hızla artmakta ve alt küme sayısı 6'ya eşit olduğunda ± 0.20 cm'ye düşmekte ve alt küme sayısının daha da artırılması ile iç doğruluk sıfıra yaklaşmakta

yani bulanık modelde hesaplanan geoit yükseklikleri GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinin hemen hemen aynısı elde edilmektedir. Öte yandan dış doğruluklar incelendiğinde farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Örneğin alt küme sayısı 2 ile 7 arasında alındığında dış doğruluk ± 5.36 ile ± 7.45 cm arasında değişmektedir. Alt küme sayısının 8 veya 9 olması durumunda dış doğruluk sırasıyla ± 66.8 cm ile ± 75.6 cm'ye çıkmaktadır. Alt küme sayısı 10 olduğunda ise dış doğruluk değeri ± 2.93 m'ye fırlamaktadır. Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere 50 nokta kullanılarak bulanık model oluşturulması durumunda alt küme sayısının 7'yi geçmemesi gerekmektedir. 50 nokta ve alt küme sayısı 3, 4 ve 5 alınarak oluşturulan bulanık modeller ile hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi **Şekil 4.4**'de, alt küme sayısı 3, 4 ve 5 olduğu durumda test noktalarının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farkları ise **Tablo B.4**'de görülmektedir.

50 noktanın GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yükseklikleri kullanılarak oluşturulan bulanık model ile elde edilen sonuçlar, yine aynı 50 noktanın polinomlarla modellenmesi ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar **Tablo 4.13**'de verilmiştir. **Tablo 4.13** incelediğinde, bulanık modelde iç doğrulukların alt küme sayısının artması ile sıfıra yaklaşmakta olduğu görülmektedir. Buna karşılık polinomlarla modellemede, polinom derecesine bağlı olarak iç doğruluklar ± 2.06 ile 3.00 cm arasında değişmektedir. Buna karşılık dış doğruluklar, polinomlarla modellemede polinom derecesine bağlı olarak ± 4.11 ile 6.03 cm arasında; bulanık modelde ise alt küme sayısına göre ± 5.36 cm ile ± 2.93 m arasında değişmektedir.Bulanık modelde en iyi değer alt küme sayısı 4 olduğunda ± 5.36 cm çıkmaktadır. Bulanık modelde dış doğruluklar 7 alt kümeye kadar ortalama ± 6.6 cm iken, alt bölge sayısı 8 ve daha fazla olduğunda ise ± 76 cm ve üzerine fırlamaktadır. Buradan, 50 nokta ile yapılan hesaplamalarda, bulanık modellerde enlem ve boylam 3 yada 4 alt kümeye ayrılarak hesap yapıldığında iyi sonuçlar elde edildiği, ancak aynı nokta sayısı ile polinomlarla modelleme sonuçlarının daha iyi olduğu (özellikle 6. derece polinom katsayıları kullanıldığında) görülmektedir.



Şekil 4.4: 50 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 3, 4 ve 5'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ile hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi.

Tablo 4.13: 50 nokta ile polinomlarla ve bulanık mantık yöntemine göre oluşturulan modeller ile hesaplanan geoit yüksekliklerinin, GPS/nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinden olan farklarına ilişkin özet değerler (m biriminde, A.K.S. : Alt küme sayısı).

50 model noktası için düzeltmeler (bulanık model)									
A.K.S.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ortalama	0.0570	0.0363	0.0172	0.0019	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
m_{oi}	0.0728	0.0456	0.0218	0.0032	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50 test noktası için farklar (bulanık model)									
A.K.S.	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ortalama	0.0591	0.0484	0.0413	0.0531	0.0503	0.0570	0.2779	0.3654	1.7872
m_{od}	0.0721	0.0586	0.0536	0.0688	0.0686	0.0745	0.7559	0.6682	2.9229

50 model noktası için düzeltmeler (Polinomlarla modelleme)					**50 test noktası için farklar (Polinomlarla modelleme)**				
Pol. Der.	5. der.	6. der.	7. der.		Pol.Der	5.der	6.der.	7.der.	
Ortalama	0.0233	0.0238	0.0173		Ortalama	0.0355	0.0390	0.0390	
m_{oi}	0.0300	0.0316	0.0230		m_{od}	0.0467	0.0476	0.0491	

4.5.2 Bulanık Mantık Yöntemine Göre 200 Nokta ile Oluşturulan Model

200 nokta kullanarak yapılan bulanık hesapta enlem ve boylam yine eşit sayıda olmak üzere sırası ile 2'den 20'ye kadar alt kümelere ayrılmıştır. Hesaplarda kullanılan 200 dayanak (model) noktası ile bu alt küme sayılarının her biri için bulanık mantık modelleri oluşturulmuş ve bu modellerle 50 test noktasına ilişkin geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Modeli test etmek amacıyla, test noktaları için modele göre hesaplanan geoit yükseklikleri ile bu noktalar için GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin farkları alınmıştır. Modellerin oluşturulmasında 200 dayanak noktası için hesaplanan düzeltmelerin ve test noktaları için hesaplanan farkların maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalaması, iç ve dış doğruluk değerleri **Tablo 4.14**'de görülmektedir.

Tablo 4.14 incelediğinde iç doğruluğun, alt küme sayısı 2 iken ± 6.84 cm'den başlayıp alt küme sayısı 20 olduğu zaman ± 0.01 cm'ye düştüğü görülmektedir. Buna karşılık dış doğruluk ise ± 7.13 cm'den başlayıp (alt küme sayısı 2 iken) sonraları ise ± 3.35 cm ile ± 5.82 cm arasında değişmektedir (alt küme sayısı 3 ile 16 arasında). Alt küme sayısı 16'dan büyük olduğu zaman sonuçlarda bir sıçrama olduğu dış doğruluk değerlerinden anlaşılmaktadır.

Tablo 4.14: 200 nokta ile oluşturulan bulanık modelde 200 dayanak noktasına ait düzeltmelerin ve modele göre hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde).

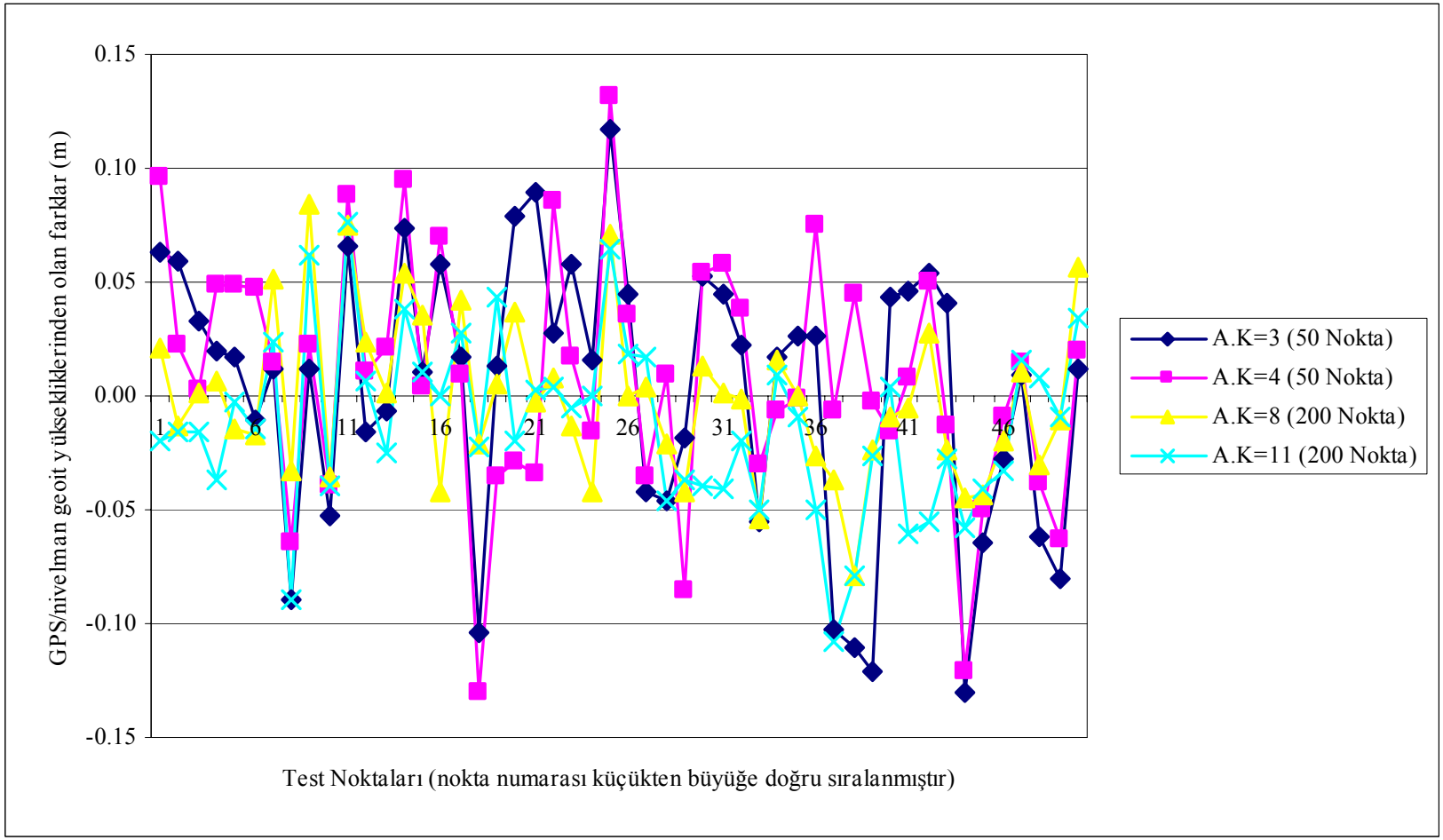
200 nokta bulanık modeller										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Nokta No	34298	34640	34310	34640	14771	34640	34855	34707	14771	34707
Maksimum	0.1973	0.1152	0.0957	0.0831	0.0587	0.0674	0.0714	0.0626	0.0521	0.0459
Nokta No	34413	34301	34413	34058	34304	1031	15958	1031	34304	34304
Minimum	-0.1672	-0.1544	-0.0981	-0.0907	-0.0764	-0.0879	-0.0587	-0.0740	-0.0585	-0.0435
Ortalama	0.0565	0.0369	0.0307	0.0234	0.0216	0.0185	0.0156	0.0124	0.0102	0.0099
$\mathbf{m_{oi}}$	0.0684	0.0457	0.0383	0.0304	0.0275	0.0247	0.0207	0.0177	0.0150	0.0142
A.K.S.	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	
Nokta No	1005	34371	34353	34539	16468	16468	16460	16468	16460	
Maksimum	0.0352	0.0215	0.0110	0.0115	0.0034	0.0010	0.0005	0.0007	0.0004	
Nokta No	34699	14399	34302	34304	16469	16469	14399	16469	16468	
Minimum	-0.0285	-0.0299	-0.0078	-0.0141	-0.0037	-0.0011	-0.0005	-0.0009	-0.0005	
Ortalama	0.0054	0.0028	0.0010	0.0010	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	
$\mathbf{m_{oi}}$	0.0084	0.0052	0.0017	0.0020	0.0005	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	
200 nokta bulanık modeller (50 test noktası)										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Nokta No	34377	34377	16105	16105	16105	34377	15848	34377	16105	16105
Maksimum	0.1606	0.0978	0.1021	0.0928	0.0652	0.0713	0.0839	0.0820	0.0790	0.0759
Nokta No	16481	34810	34810	34810	34810	34810	34571	34657	34426	34560
Minimum	-0.1302	-0.1105	-0.1002	-0.0968	-0.0783	-0.0691	-0.0787	-0.1011	-0.1376	-0.1078
Ortalama	0.0603	0.0426	0.0331	0.0297	0.0297	0.0270	0.0271	0.0330	0.0314	0.0313
$\mathbf{m_{od}}$	0.0713	0.0514	0.0426	0.0385	0.0368	0.0335	0.0348	0.0425	0.0412	0.0396
A.K.S.	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	
Nokta No	34667	34667	34377	34667	34667	34426	34426	34574	34491	
Maksimum	0.2075	0.1581	0.1092	0.0906	0.1263	3.4521	0.2327	3.7551	1.4600	
Nokta No	16481	34349	34657	34349	34363	34412	34472	34560	34667	
Minimum	-0.2247	-0.1884	-0.0839	-0.1332	-0.2092	-1.0052	-0.0721	-2.0274	-8.3277	
Ortalama	0.0369	0.0388	0.0311	0.0349	0.0411	0.1485	0.0369	0.2109	0.2900	
$\mathbf{m_{od}}$	0.0563	0.0579	0.0405	0.0444	0.0582	0.5200	0.0522	0.6625	1.2177	

50 ve 200 noktanın GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yükseklikleri ile oluşturulan bulanık modeller karşılaştırıldığında, iç ve dış doğruluk değerlerine bakılarak 200 nokta ile oluşturulan bulanık model ile elde edilen sonuçların daha iyi olduğu söylenebilir. 200 noktaya dayalı olarak oluşturulan bulanık mantık modelleri ve polinom modelleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, bulanık mantık modellerinin alt küme sayısı 6, 7 ve 8 olduğu zaman daha iyi sonuçlar verdiği görülür. Alt küme sayısı 9-16 arasında olduğu zaman bulanık modele göre elde edilen geoit yüksekliklerine ait iç doğruluklar polinom katsayılarından elde edilen değerlere ait iç doğruluklardan daha küçük olmasına karşın dış doğruluk değerleri az da olsa büyük çıkmaktadır. Öte yandan alt küme sayısı 17 ve daha büyük olduğunda polinom katsayılarından elde edilen dış doğruluk değeri ile bulanık modelden elde edilen dış doğruluk değerleri arasında 35 kata varan farklar oluşmakta, bulanık model sonuçları daha kötü çıkmaktadır. Bunun sebebi olarak, bulanık model ile elde edilen geoit yüksekliklerinde alt küme sayısı 17 ve daha büyük olduğu zaman bazı noktalarda meydana gelen sıçramalar gösterilebilir. 50 ve 200 nokta ile elde edilen bulanık model ve polinom katsayılarından elde edilen sonuçların karşılaştırması **Tablo 4.15**'de gösterilmiştir. Ayrıca 50 nokta ile alt küme sayısı 3, 4 ve 200 nokta ile alt küme sayısı 8, 11 olduğu durumda oluşturulan bulanık modellere göre 50 test noktası için hesaplanan geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi **Şekil 4.5**'te gösterilmiştir.

Alt küme sayısı 7, 8 ve 11 olduğu durumdaki bulanık modellerle hesaplanan test noktalarının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklar **Tablo B.5**'de verilmiştir.

Tablo 4.15: 50 ve 200 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ve 200 nokta ile oluşturulan polinom modeli için dayanak (model) noktalarına ait düzeltmelerin ve modellere göre hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde).

50 nokta bulanık modeller										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
Ortalama	0.0570	0.0363	0.0172	0.0019	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
$\mathbf{m_{oi}}$	0.0728	0.0456	0.0218	0.0032	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
50 nokta bulanık modeller (50 test noktası)										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
Ortalama.	0.0591	0.0484	0.0413	0.0531	0.0503	0.0570	0.2779	0.3654	1.7872	
$\mathbf{m_{od}}$	0.0721	0.0586	0.0536	0.0688	0.0686	0.0745	0.7559	0.6682	2.9229	
50 nokta polinom					**50 nokta polinom (test noktaları)**					
N	**5. der.**	**6. der.**	**7. der.**		**N**	**5. der.**	**6. der.**	**7. der.**		
Ortalama	0.0233	0.0183	0.0146		**Ortalama**	0.0355	0.0334	0.0448		
$\mathbf{m_{oi}}$	0.0300	0.0254	0.0206		$\mathbf{m_{od}}$	0.0468	0.0411	0.0603		
200 nokta bulanık modeller										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Ortalama	0.0565	0.0369	0.0307	0.0234	0.0216	0.0185	0.0156	0.0124	0.0102	0.0099
$\mathbf{m_{oi}}$	0.0684	0.0457	0.0383	0.0304	0.0275	0.0247	0.0207	0.0177	0.0150	0.0142
A.K.S.	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	
Ortalama	0.0054	0.0028	0.0010	0.0010	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	
$\mathbf{m_{oi}}$	0.0084	0.0052	0.0017	0.0020	0.0005	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	
200 nokta bulanık modeller (50 test noktası)										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Ortalama	0.0603	0.0426	0.0331	0.0297	0.0297	0.0270	0.0271	0.0330	0.0314	0.0313
$\mathbf{m_{od}}$	0.0713	0.0514	0.0426	0.0385	0.0368	0.0335	0.0348	0.0425	0.0412	0.0396
A.K.S.	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	
Ortalama	0.0369	0.0388	0.0311	0.0349	0.0411	0.1485	0.0369	0.2109	0.2900	
$\mathbf{m_{od}}$	0.0563	0.0579	0.0405	0.0444	0.0582	0.5200	0.0522	0.6625	1.2177	
200 nokta polinom					**200 nokta polinom (test noktaları)**					
N	**5. der.**	**6. der.**	**7. der.**		**N**	**5. der.**	**6. der.**	**7. der.**		
Ortalama	0.0328	0.0303	0.0275		**Ortalama**	0.0301	0.0300	0.0266		
$\mathbf{m_{od}}$	0.0396	0.0373	0.0343		$\mathbf{m_{od}}$	0.0403	0.0390	0.0351		



Şekil 4.5: 50 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 3 ve 4'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ve 200 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 8 ve 11'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ile hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi.

4.5.3 Bulanık Mantık Yöntemine Göre 393 Nokta ile Oluşturulan Model

393 nokta kullanılarak ve yine enlem ve boylam değerleri eşit sayıda olmak üzere sırası ile 2'den 20'ye kadar alt kümeye bölünerek bulanık modeller oluşturulmuş, bu modellerle 50 test noktasının geoit yükseklikleri hesaplanmış, bulunan bu geoit yükseklikleri ile bu test noktalarının GPS/Nivelman yöntemine göre verilen geoit yüksekliklerinin farkları alınmış ve sonuçlar özet olarak **Tablo 4.16**'da verilmiştir.

Tablo 4.16 incelediğinde, iç doğrulukların alt küme sayısına bağlı olarak ± 6.52 cm'den ± 0.79 cm'ye düştüğü görülmektedir. Dış doğruluklar ise ± 2.27 cm ile ± 3.43 cm arasında değişmektedir. Burada dikkati çeken nokta dış doğruluk değerlerinin çok fazla değişmediğidir. Alt küme sayısı 13 alınarak oluşturulan bulanık modelde, model noktalarındaki düzeltme değerleri ve test noktalarında hesaplanan geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farkların İstanbul içindeki dağılımı **Şekil C.8**'de görülmektedir. Alt küme sayısı 10, 11 ve 13 alınarak 393 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ile 50 test noktasının hesaplanan geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre belirlenmiş geoit yüksekliklerinden olan farkları **Tablo B.6**'da gösterilmiştir.

393 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ile 200 ve 50 noktalı bulanık modeller karşılaştırıldığında 393 nokta ile oluşturulan bulanık modellerin daha iyi sonuçlar verdiği özellikle dış doğruluk değerlerine bakılarak anlaşılabilir. Çünkü 50 ve 200 nokta ile oluşturulan bulanık modellerde en küçük dış doğruluk değerleri sırası ile ± 5.36 ve ± 3.35 cm dir. Buna karşılık 393 nokta ile oluşturulan bulanık modelde en büyük dış doğruluk değeri ± 3.43 cm elde edilmekte ve genelde ± 2.27 - ± 3.43 cm arasında değişmektedir. Buna karşılık iç doğruluklarda durum bunun tersinedir. 50 nokta ile oluşturulan bulanık model en iyi iç doğruluğa sahip olmasına karşın 393 nokta ile oluşturulan bulanık modellerin en kötü iç doğruluğa sahip oldukları görülmektedir. Fakat pratik kullanım açısından, iç ve dış doğruluk değerleri birbirine yakın olan 393 nokta ile oluşturulan bulanık modellerin (özellikle alt küme sayısı 6 ile 16 arasında olduğu zaman) oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

393 nokta kullanılarak oluşturulan bulanık modeller ve yine aynı sayıda nokta kullanılarak elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan geoit yükseklikleri karşılaştırıldığında, 393 nokta kullanılarak oluşturulan bulanık modellerde, alt küme

Tablo 4.16: 393 nokta ile oluşturulan bulanık modelde 393 dayanak noktasına ait düzeltmelerin ve modele göre hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarının maksimum, minimum değerleri, ilgili nokta numaraları, düzeltmelerin ve farkların mutlak değerlerinin ortalamaları, iç ve dış doğruluk değerleri (m biriminde).

393 nokta bulanık modeller										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Nokta No	34298	34925	34310	34432	34925	34925	34925	34925	34925	34925
Maksimum	0.1782	0.1282	0.0977	0.0910	0.0910	0.0902	0.0955	0.0891	0.0918	0.0952
Nokta No	15787	34301	34413	34058	1031	1031	1031	1031	1031	1031
Minimum	-0.1801	-0.1571	-0.1041	-0.1044	-0.0955	-0.0985	-0.0948	-0.1091	-0.0884	-0.0936
Ortalama	0.0522	0.0356	0.0301	0.0248	0.0226	0.0196	0.0187	0.0165	0.0158	0.0142
$\mathbf{m_{oi}}$	0.0652	0.0443	0.0374	0.0316	0.0290	0.0255	0.0249	0.0222	0.0217	0.0200
A.K.S.	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	
Nokta No	34925	34925	34925	15973	34925	34925	15973	34925	34747	
Maksimum	0.0832	0.0719	0.0691	0.0519	0.0586	0.0644	0.0365	0.0431	0.0325	
Nokta No	1031	34641	16464	34641	34641	34641	16507	34641	16464	
Minimum	-0.0715	-0.0564	-0.0438	-0.0557	-0.0645	-0.0578	-0.0459	-0.0559	-0.0428	
Ortalama	0.0137	0.0112	0.0091	0.0082	0.0087	0.0061	0.0059	0.0055	0.0045	
$\mathbf{m_{oi}}$	0.0187	0.0157	0.0132	0.0125	0.0136	0.0101	0.0095	0.0092	0.0079	
393 nokta bulanık modeller (50 test noktası)										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Nokta No	34377	34377	16105	34377	15848	34377	34377	34377	34377	34377
Maksimum	0.1539	0.0794	0.0992	0.0832	0.0592	0.0752	0.0712	0.0969	0.0836	0.0780
Nokta No	16481	34810	34810	34810	34571	34571	34571	34426	34560	34560
Minimum	-0.1265	-0.1135	-0.1037	-0.0938	-0.0853	-0.0793	-0.0769	-0.1227	-0.0950	-0.1286
Ortalama	0.0588	0.0404	0.0320	0.0299	0.0259	0.0290	0.0288	0.0314	0.0286	0.0304
$\mathbf{m_{od}}$	0.0694	0.0495	0.0417	0.0383	0.0343	0.0359	0.0353	0.0408	0.0373	0.0405
A.K.S.	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	
Nokta No	34667	15848	34667	34667	34667	34426	34667	34667	34343	
Maksimum	0.1565	0.0959	0.2670	0.1075	0.1245	0.5625	0.2196	0.1771	0.2856	
Nokta No	34571	34571	34810	34560	34560	34667	34878	34382	34810	
Minimum	-0.0867	-0.1265	-0.1284	-0.1768	-0.1717	-0.2451	-0.2286	-0.2198	-0.2542	
Ortalama	0.0305	0.0285	0.0401	0.0410	0.0372	0.0565	0.0456	0.0477	0.0578	
$\mathbf{m_{od}}$	0.0422	0.0395	0.0613	0.0543	0.0504	0.1037	0.0700	0.0701	0.0871	

sayısı 5 ile 20 arasında olduğunda iç doğruluk değerleri ± 0.79 ile ± 3.16 cm, dış doğruluk değerleri de ± 2.27 - ± 3.40 cm arasında değişmektedir. Oysa aynı sayıda noktanın polinomlarla modellenmesi durumunda iç doğruluk değerleri ± 3.39 ile ± 3.93 cm, dış doğruluk değerleri de ± 3.48 ile ± 3.74 cm arasında değişmektedir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, 393 nokta ile hesap yapıldığı yani yaklaşık olarak 13 km^2'ye bir nokta düştüğü zaman, bulanık modeller polinom katsayılarına göre geoit hesabında daha iyi sonuç vermektedirler. Burada sadece alt bölge sayılarını 5'den küçük almamak gerekmektedir.

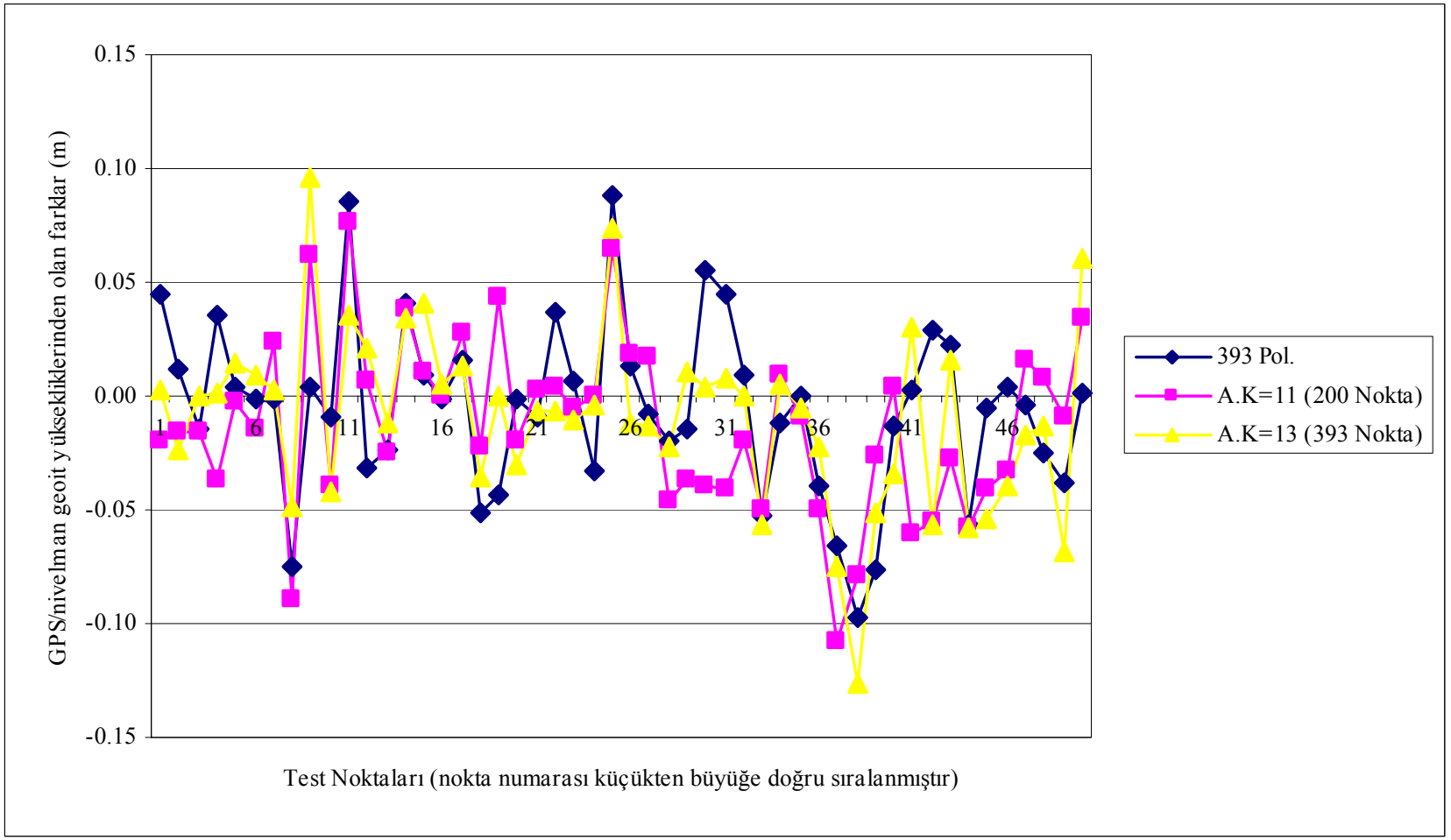
200 nokta ile alt küme sayısı 11 ve 393 nokta ile alt küme sayısı 13 alınarak oluşturulan bulanık modellerle ve 393 nokta ile elde edilen 5. derecece polinom katsayıları ile 50 test noktası için hesaplanan geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklarına ait grafik gösterim **Şekil 4.6**'da görülmektedir.

50, 200 ve 393 nokta ile elde edilen polinom katsayılarından ve oluşturulan bulanık modellerden hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farkları **Tablo B.7**'de gösterilmiştir.

4.5.4 Bulanık Mantık Yöntemine Göre 443 Nokta ile Oluşturulan Model

Bulanık model ile yapılan son uygulama 443 model noktası kullanılarak, enlem ve boylam yine 2'den 20'ye kadar eşit aralıklara bölünerek bulanık modeller oluşturularak yapılmıştır. 443 nokta ile oluşturulan bu bulanık modellere göre ve yine aynı noktalarla geoit yüksekliklerinin ağırlıkları eşit alınarak **(Pi=1)** belirlenen polinom katsayıları ile 443 dayanak noktası için bulunan maksimum, minimum düzeltmeler ve düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalamaları ve iç doğruluk değerleri **Tablo 4.17**'de görülmektedir. **Tablo 4.17**'ye baktığımızda 443 nokta ile oluşturulan bulanık modellere ait iç doğruluk değerlerinin ± 0.78 cm ile ± 4.46 cm arasında değiştiği ve alt küme sayısının arttırılması ile gittikçe düşük değerlere ulaştığı görülmektedir.

Polinomlarla modellemedeki iç doğruluk değerleri ile bulanık modellerdeki iç doğruluklar karşılaştırıldığında, bulanık model sonuçlarının iç doğruluğunun alt bölge sayısı 5 ve daha büyük olduğu zaman daha iyi olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.6: 393 nokta ile elde edilen 5. derece polinom katsayıları, 200 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 11'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ve 393 nokta ile oluşturulan ve enlem ve boylamın 13'er alt kümeye ayrıldığı bulanık model ile hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklarının grafik gösterimi. .

Tablo 4.17: 443 nokta ile elde edilen polinom katsayıları ve oluşturulan bulanık modeller ile 443 dayanak noktasının bulunan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki farklara ait maksimum, minimum düzeltme, düzeltmelerin mutlak değerlerinin ortalaması, iç doğruluk değerleri (m biriminde).

434 nokta bulanık modeller										
A.K.S.	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Nokta No	34657	34301	34413	34058	1031	1031	1031	1031	1031	1031
Maksimum	0.1011	0.1557	0.1036	0.1079	0.0939	0.0987	0.0981	0.1028	0.0952	0.1104
Nokta No	34401	34925	34310	34432	34925	34925	34925	34925	34925	34925
Minimum	-0.0928	-0.1242	-0.0966	-0.0904	-0.0871	-0.0940	-0.0916	-0.0838	-0.0936	-0.0881
Ortalama	0.0218	0.0362	0.0303	0.0251	0.0230	0.0204	0.0193	0.0183	0.0173	0.0155
m_{oi}	0.0304	0.0446	0.0377	0.0321	0.0295	0.0268	0.0256	0.0242	0.0232	0.0217
A.K.S.	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	
Nokta No	1031	34642	16464	16464	16464	34641	34859	34641	16437	
Maksimum	0.0733	0.0573	0.0484	0.0564	0.0631	0.0458	0.0428	0.0532	0.0345	
Nokta No	34925	34925	34925	15973	34925	34925	34925	34925	16437	
Minimum	-0.0870	-0.0754	-0.0770	-0.0663	-0.0746	-0.0848	-0.0655	-0.0710	-0.0391	
Ortalama	0.0153	0.0122	0.0114	0.0094	0.0101	0.0077	0.0067	0.0065	0.0046	
m_{oi}	0.0203	0.0172	0.0159	0.0138	0.0147	0.0125	0.0106	0.0106	0.0078	
443 nokta polinom ($P_i = 1$)										
N	**5.der**	**6.der.**	**7.der.**							
m_{oi}	0.0391	0.0364	0.0339							

Alt küme sayısı 20 alınarak oluşturulan bulanık model ile model noktalarının hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki farkların İstanbul içindeki dağılımları **Şekil C.9**'da gösterilmiştir.

4.6 İGNA Projesi Kapsamında Elde Edilen Polinom Katsayıları ile 200, 393 ve 443 Nokta Kullanılarak Elde Edilen Polinom Katsayıları Sonuçlarının Karşılaştırılması

İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Jeodezi Anabilim Dalı öğretim üyeleri danışmanlığında yapılan İGNA projesi kapsamında, İstanbul geoidini belirlemek için İstanbul içine dağılmış 409 nokta kullanılarak 5. derece anlamlı polinom katsayıları elde edilmiştir. Polinom katsayıları **Ayan ve diğ. (1999)**'da gösterilmiştir. İGNA projesinde elde edilen polinom katsayıları ile bu çalışmada test noktası olarak seçilen 50 noktanın geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farkları elde edilmiştir. Ayrıca bu farkların maksimum ve minimum değerleri ve dış doğruluk değerleri hesaplanmış, bu değerler bu çalışmada 200 ve 393 nokta kullanılarak yapılan hesaplamalara ilişkin değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar **Tablo B.8** ve **B.9**'da gösterilmiştir.

Tablo B.8 ve **B.9** incelendiğinde İGNA raporundaki 5. derece polinom katsayıları ile elde edilen 50 test noktasının geoit yüksekliklerine ait dış doğruluk değeri ± 4.60 cm olarak bulunmuştur. Bu tez çalışmasında 200 nokta kullanılarak elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasına ait geoit yüksekliklerine ilişkin dış doğruluk değerleri ise, 5., 6. ve 7. derece polinomlar için sırasıyla ± 4.00 cm, ± 3.90 cm ve ± 3.50 cm olarak bulunmuştur. 393 nokta ile yapılan benzer hesaplamalarda ise dış doğruluk değerleri 5., 6. ve 7. derece polinomlar için sırasıyla ± 3.80 cm, ± 3.50 cm ve ± 3.40 cm olarak elde edilmiştir. Her iki nokta yoğunluğu için de polinomun derecesinin artması ile dış doğruluk değerlerinin daha küçük değerlere ulaştığı görülmektedir. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi, yapılan bu çalışmada elde edilen dış doğrulukların, İGNA projesi kapsamında elde edilen 5. derece polinom katsayılarından hesaplanan geoit yüksekliklerine ait dış doğruluk değerlerinden, polinom derecesi ve kullanılan nokta yoğunluğuna bağlı olarak ± 0.60 cm ile ± 1.2 cm arasında değişen miktarlar kadar daha küçük oldukları ve bir iyileşme sağlandığı anlaşılmaktadır.

443 nokta ile polinomlarla modelleme ile 50 test noktasında yapılan 5., 6. ve 7. derece polinom katsayıları ile yapılan hesaplamalarda da benzer 200 ve 393 noktadakine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar **Tablo B.10**'da gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geoit belirlemenin amaçlarından biri enlem ve boylamı belirli olan bir noktadaki geoit yüksekliği (N) değerini bulabilmek ve buradan da uydu ölçmelerinden elde edilen elipsoidal yüksekliklerden (h) ortometrik yükseklikleri (H) kolayca ve presizyonlu bir şekilde elde etmektir. Gelişen uydu teknolojileri presizyonlu geoit belirlemeyi bir zorunluluk haline getirmiştir.

Bu çalışmada, İstanbul Metropolitan alanında yüksek doğruluğa sahip bir geoit belirlemek amacıyla;

Dayanak noktası sayısı ile doğruluk arasında ilişki kurulması,

GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının farklı alınmasının sonuçlar üzerindeki etkisinin araştırılması,

EGM96 yer yuvarı modelinden sapmalar için matematik model araştırması,

Bulanık mantık yönteminin geoit belirleme problemlerine uygulanması

konularında araştırmalar yapılmıştır. Araştırmada İstanbul GPS Nirengi Ağı (İGNA) projesi kapsamında üretilen veriler kullanılmıştır. Bu projede GPS/Nivelman yöntemine göre 443 noktada elde edilen geoit yükseklikleri 35.83 – 38.24 m arasında değişmektedir. Bu geoit yükseklikleri ile polinomlarla ve bulanık mantık yöntemine göre değişik nokta yoğunlukları için modeller oluşturulmuştur.

Nokta yoğunluğunun geoit hesabına etkisini araştırmak için 50 (~ 100 km^2'ye bir nokta), 200 (~ 25 km^2'ye bir nokta), 393(~ 13 km^2'ye bir nokta) ve 443 (~ 12 km^2'ye bir nokta) nokta kullanılarak uygulamalar yapılmıştır. Buna karşılık, 23/06/2005 tarihinde yürürlüğe giren yeni Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğine (BÖHHUY) göre, yerel GPS/nivelman geoit belirleme çalışmalarında nokta yoğunluğunun 15 km^2'ye bir noktadan az olmaması istenmektedir. Bu nedenle 50 ve 200 nokta ile yapılan hesaplamalar yeni yönetmeliğin gerektirdiği nokta yoğunluğunu sağlamamaktadır. 393 ve 434 nokta yeni yönetmeliğin gerektirdiği nokta yoğunluklarını sağlamaktadır.

EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların araştırılması amacıyla, EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin farkları alınmış ve bu farklar yine değişik nokta yoğunlukları için polinomlarla modellenmiştir. EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan geoit yükseklikleri 36.58 – 38.67 m arasında değişmektedir. EGM96 yeryuvarı modeline göre geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki farklar ise -0.18 – 1.04 m arasında değişmekte olup ortama fark ise 0.44 m dir.

GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin ağırlıklarının sonuçlar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, 443 nokta ile geoit yüksekliklerinin ağırlıkları P=1 alınarak ve bu yüksekliklerin ağırlıkları GPS ölçülerinin değerlendirilmesi aşamasında elde edilen varyans-kovaryans matrislerinden ayrı ayrı hesaplanarak polinomlarla modellenmiştir.

Bulanık mantık yönteminin geoit belirleme problemine uygulanması değişik nokta yoğunlukları ve değişik alt küme sayıları ile gerçekleştirilmiştir.

Nokta yoğunluğunun sonuçlar üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla polinomlarla modellemede;

- 50 nokta (~ 100 km^2'ye bir nokta) ile polinomlarla modellemede, polinom derecesinin artmasıyla iç doğruluklar artmakta, dış doğruluklar azalmaktadır. Nokta yoğunluğu az olduğu zaman polinom derecesinin düşük alınması daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.
- 200 nokta (~ 25 km^2'ye bir nokta), 393 nokta (~ 13 km^2'ye bir nokta) ve 443 nokta (~ 12 km^2'ye bir nokta) ile polinomlarla modellemede, polinom derecesinin artmasıyla iç ve dış doğruluklar birbirine yaklaşmakta ve iyileşmektedir.
- 200, 393 ve 443 nokta ile yapılan hesaplara ilişkin iç ve dış doğruluk değerlerinin birbirine oldukça yakın oldukları gözlenmektedir. Nokta yoğunluğunun iki katına çıkması sonuçlarda belirgin bir iyileşme sağlamamıştır. Bunun, GPS ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerin ortalama karesel ortalama hatasının $m_h = \pm 3.5$ cm olması, geometrik nivelmandan gelecek hatalarla birlikte hesaplanan geoit yüksekliklerinin karesel ortalama

hatalarının biraz daha büyük olmasından yani data kalitesinden kaynaklandığı söylenebilir. Daha iyi sonuçlar elde edebilmek için nokta yoğunluğunun artırılması ile birlikte data kalitesinin de artırılması gerekmektedir.

- Geoit yüksekliklerinin ağırlıkları farklı alınarak polinom katsayılarının elde edilmesi durumunda, iç ve dış doğrulukların eşit ağırlıklı modellemeye göre iyileşmediği, aksine az da olsa kötüleştiği söylenebilir. Eşit ağırlıklı ve farklı ağırlıklı modellemelerin sonuçlarına bakarak, farklı ağırlıklarla hesap yapmanın bir iyileştirme sağlamadığı, buna karşılık her ölçü için ayrı ağırlık hesaplamak gibi bir yük getirdiği söylenebilir. Ancak ağırlıkların, hem GPS değerlendirmesinden bulunan elipsoidal yüksekliklerin hem de nivelmandan bulunan yüksekliklerin varyans-kovaryans değerleri ile daha gerçekçi olarak hesaplanması durumunda belki farklı ağırlıklarla hesaplama daha iyi, daha gerçekçi sonuçlar verebilir.

EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların modellenmesi;

- İstanbul il sınırları içine dağılmış olan ve uygulamada kullanılan 443 noktanın EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin farklarının -0.182 m ile +1.038 m arasında değiştiği ve farkların mutlak değerlerinin ortalamasının 0.436 m olduğu görülmektedir. EGM96 yeryuvarı modeli ile elde edilen geoit yükseklikleri, mühendislik uygulamaları için GPS ölçmeleri ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için yeterli incelikte değildir.
- EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların modellenmesi amacıyla, 50 ve 200 noktanın EGM96 yeryuvarı modeli ve GPS/nivelman yöntemi gibi iki ayrı yoldan elde edilen geoit yükseklikleri arasındaki farklar kullanılmış ve polinomlarla modellenmiştir. 50 noktadaki farklarla yapılan modellemede, polinom derecesinin artmasıyla, önceki uygulamanın aksine iç ve dış doğrulukların iyileştiği görülür. 200 nokta ile yapılan modellemelerde sonuçların her iki yöntemde de birbirine yakın oldukları görülmektedir.
- Nokta yoğunluğu az olduğu zaman EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaların modellenmesinin, çok az da olsa, doğrudan GPS/Nivelman yöntemiyle

bulunan geoit yüksekliklerinin modellenmesinden daha iyi sonuçlar verdiği, model noktalarının sayısı arttığı zaman her iki modelin birbirine yakın sonuçlar verdiği, polinom derecesinin artmasının sonuçları iyileştirdiği söylenebilir.

Bulanık mantık yönteminin geoit belirleme problemine uygulanması;

GPS/nivelman yöntemine göre elde edilmiş geoit yükseklikleri kullanılarak yine 50, 200, 393 ve 443 nokta ile bulanık modeller oluşturulmuştur.

50 nokta ile oluşturulan bulanık model sonuçları ve polinomlarla modelleme sonuçları karşılaştırıldığında, polinomlarla modellemenin daha iyi olduğu görülmektedir. 200, 393 ve 443 noktaya dayalı olarak oluşturulan bulanık mantık modelleri ve polinom modelleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, bulanık mantık modellerinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Polinomlarla modellemenin aksine 200, 393 ve 443 nokta kullanılarak oluşturulan bulanık modellerin sonuçlarında, nokta yoğunluğunun artışına paralel belirgin bir iyileşme görülmektedir.

GPS/nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin yada EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki farkların polinomlarla modellenmesinde 50, 200, 393 ve 443 nokta ile yapılan hesaplarda maksimum ve minimum düzeltme değerleri hemen hemen aynı noktalarda elde edilmiştir. Test noktalarında yine bu modellere göre hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin farklarının maksimum ve minimum değerleri de genellikle ortak noktalarda çıkmıştır.

Ekstrem değerlerin oluştuğu noktalar;

- Öte yandan farklı nokta yoğunluğu ve farklı alt küme sayısı ile bulanık mantık modeline göre yapılan hesaplamalarda maksimum ve minimum hataların olduğu noktalar değişmekle birlikte bunların büyük çoğunluğunun ortak noktalar oldukları gözlenmektedir. Bu noktalardan bazıları polinomlarla modellemede ekstrem değerlerin olduğu noktalardır.
- Polinomlarla ve bulanık mantıkla yapılan modellemelerde ekstrem değerlerin elde edildiği bu noktaların yerleri incelendiğinde, bu noktaların genellikle ağın dış noktaları veya ağ içerinde etrafında nokta yoğunluğunun az olduğu noktalar oldukları görülmektedir.
- Değişik nokta yoğunlukları ve değişik hesaplamalar için ekstrem değerlerin elde edildiği nokta numaraları özet olarak **Tablo B.11'**de verilmektedir. Yine bu noktaların yerleri değişik nokta yoğunlukları için **Şekil C.3, C.4 ve C.5** üzerinde gösterilmiştir.

Sonuç olarak, GPS/Nivelman yöntemine göre elde edilen geoit yüksekliklerinin bulanık mantık yöntemi ile modellendirilmesinin, polinomlarla modellendirmeye göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Fakat pratik kullanım açısından polinomlarla modelleme daha uygundur. Geoit belirlemede elde edilecek doğruluk, verilerin doğruluğuna, yoğunluğuna ve kullanılan hesaplama yöntemine göre değişmektedir. Nokta yoğunluğunun 15 km^2'ye bir noktadan az olmaması ve noktaların kütle dağılımını karakterize eden yerlerde seçilmesi gerekmektedir. Nokta yoğunluğunu gereğinden fazla artırmak yerine kütle dağılımının değiştiği yerlerde yeni noktaların ilave edilmesi daha yararlıdır.

KAYNAKLAR

Akçın, H., 1998. GPS ölçülerinden pratik yükseklikler elde edilmesi üzerine bir çalışma, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü., İstanbul.

Aksoy A., Ayan T., Çelik R.N., Demirel H., Deniz R., Gürkan O., 1999. Güncel gelişmeler ışığında mekansal bilgi sistemleri için jeodezik altyapı ve problemleri, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Eğitim dizisi*, 28 Mayıs, İstanbul.

Aksoy A., Güneş İ.H., 1990. Jeodezi I Ders Notları, İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

Akyılmaz, O., Ayan, T., Özlüdemir, T., 2003. Geoid surface approximation by using Adaptive Network based Fuzzy Inference Systems, *Allgemeine Vermessungsnachrichten – AVN*, **8-9**, 22-27, Wichmann, Hüthig.

Ayan, T., 1976. Astrogeodatissche geoidberechnung für das gebeit der Türkei, *Ph. D. Thesis*, University of Karlsruhe.

Ayan, T., 1978. Türkiye geoidi, *Harita Dergisi*, **85**, 5-17.

Ayan, T., 1992. Uyuşumsuz ölçüler testi, *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., Özöner B., 1999. İstanbul GPS Nirengi Ağı (İGNA) Teknik Rapor, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

Ayan, T., ve Deniz, R., 2000. Fiziksel Jeodezi Ders Notu, İ. T.Ü. İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul.

Ayan, T., Deniz, R., Çelik, R. N., Denli, H. H., Özlüdemir, M. T., Erol, S., Özöner, B., Akyımaz, O., Güney, C., 2001. İzmir jeodezik referans sistemi-2001 (İzJRS-2001), Teknik Rapor, İ.T.Ü, İnşaat Fakültesi, **2000/2294**, İstanbul, 44-57.

Ayhan, M.E., Bank, E., Lenk, O., ve Şeker, H.A., 1987. South western Anatolia (Agean region) Doppler geoid, *Bolletino di Geod. e Sc. Affini Anno* **XLVI**, **4**, 293-308.

Ayhan, M.E., 1992. Türkiye jeoidi -1991 (TG-91), *Harita Dergisi*, **108**, 1-17, Ankara.

Ayhan, M.E., 1993. Geoid determination in Turkey (TG-91), **Bull. Geod.**, **167(1)**, 10-22.

Ayhan, M.E. ve Kılıçoğlu, A., 1993. Türkiye Doppler jeoidi (TDJ), *Prof Dr. H. Wolf Jeodezi Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 3-5 Kasım, 409-435.

Ayhan, M.E. ve Alp, O., 1994. Türkiye astrojeodezik jeoidi-1994 (TAG-94), İç rapor, **Jeof-94-2**, HGK, Ankara, Türkiye.

Ayhan, M.E., Lenk, O., Demir, C., Kılıçoğlu, A., Kahveci, M., Türkezer, A., Ocak, M., Açıkgöz, M., Yıldırım, A., Aktuğ, B., Şengün, Y.S., Kurt, A.İ, Fırat, O., 1999. Türkiye ulusal temel GPS ağı-1999 (TUTGA-99), Teknik Rapor, HGK, Ankara, Türkiye.

Ayhan, M.E., Lenk, O., Demir, C., Kılıçoğlu, A., Kahveci, M., Türkezer, A., Ocak, M., Açıkgöz, M., Yıldırım, A., Aktuğ, B., Şengün, Y.S., Kurt, A.İ, Fırat, O., Cingöz, A., Gürdal, M.A., Yıldız, H., Ata, M., Beyazıt, N., Çağlar, Y., Özerkan, A., 2002. Türkiye ulusal temel GPS ağı-1999A (TUTGA-99A), *Harita Dergisi*, Özel Sayı **16**, Ankara

Banarjee, P., Foulger, G.R., Satyaprakash, and Dabral, C.P., 1999. Geoid undulation modelling and interpretation at Ladak, NW Himalaya using GPS and levelling data, *Journal of Geodesy*, **73**, 79-86.

Bajracharya, S., 2003, Terrain effects on geoid determination, *Ph.D. Thesis*, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

Bursa, M., 1995. Primary and derived parameters of common relevance of Astronomy, Geodesy, and Geodynamics, *Earth, Moon, and Planets*, **69**, 51–63.

Collier, P.A., and Croft, M.J., 1997. Heights from GPS in an engineering environment. *Survey Review*, **34**(**263)**, 11-18.

Demirel, H., 2003. Dengeleme Hesabı, Üniversite yayın no:YTÜ.İN.DK-03.0703/ Fakülte yayın no:İN.JFM-2003.003, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım – Yayın Merkezi, İstanbul.

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, 523-539.

Duquenne H., and Jiang Z., 1996. The geoid in the Southern Alps of France, *Joint Special Issue of the of the Bureau Gravimétrique Intarnational Bulletin d'Information* **77,** *International Geoid Service Bulletin* **4**, 115-130.

Ekman, M., 1989. Impacts of geodynamic phenomena on systems for height and gravity, *Bulletin Geodesique*, **63(3)**, 281–296.

Featherstone, W.E., Dentith, M.C., Kirby, J.F., 1998. Strategies for accurate determination of orthometric heights from GPS, *Survey Review*, **34(267)**, 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(280)**, 78-100.

Fotopoulos, G., Kotsakis, C., Sideris, M.C., 2003. How accurately can we determine orthometric height differences from GPS and geoid data?, *Journal of Surveying Engineering*, **129(1)**, 1–10.

Gerstbach, G., 2003. Geoid monitoring by zenith camera and geology, *In honour of Prof. J. Melicher*, TU, Bratislava, Czech.

Gilliland, J.R., Jaksa, D.S., 1994. GPS – A tool for orthometric height determinations, *Survey Review*, **32(251)**, 265-272.

Grafarend, E. W., 1994. What is geoid?**,** *Geoid and its geophysical interpretations*, Eds. Petr Vanicek and Nikolas T.Christou, Chapter 1, CRC pres, Boca Raton, FL, USA.

Haagmans R., De Min E., and Van Gelderen M., 1993. Fast evaluation of convolution integrals on the sphere using 1D FFT, and a comparison with existing methods for Stokes integral, *Manuscripta Geodaetica,* **18**, 227-241.

Heiskanen, W.H., and Moritz, H., 1967. Physical Geodesy, Freeman, San Fransisco, USA.

Hines, J.W., 1997**.** MATLAB Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John Wiley & Sons Inc, New York.

Jyh- Shing, R. J., 1993. ANFIS: adaptive – network based fuzzy inference system, *IEEE Transactions on systems, man, and Cybernetics*, **23(3)**, 665-685.

Jyh- Shing, R. J., 1995. Neuro – fuzzy modelling and control, *Proceedings of the IEEE*, **83(3)**, 378-406.

Kearsley, A.H.W., and Forsberg, R., 1990. Tailored geopotential model – applications and shortcoming, *Manuscripta Geodaetica*, **25**, 151-158.

Kılıçoğlu, A., 2002. Güncelleştirilmiş Türkiye jeoidi – 1999A (TG99A). *TUJK 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı - Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, Boğaziçi Üniversitesi Deprem Zararlarının Azaltılması Araştırma ve Uygulama Merkezi, İznik-Bursa, 10-12 Ekim, 153-166.

Kirby, J.F., and Featherstone, W.E., 1997. A study of zero and first degree terms in geopotantial models over Australia, *Geomatics Research Australasia*, **66**, 93-108.

Lemoine, F.G., Kenyon, S.C, Factor, J.K., Trimmer, R.G., Pavlis, N.K., Chinn, D.S., Cox, C.M., Klosko, S.M., Lutchke, S.B., Torrence, M.H., Wang, Y.M., Willamson, R.G., Pavlis, E.C., Rapp, R.H., Olson, T.R., 1998. The development of the joint NASA GSFC and National Imagery And Mapping Agency (NIMA) geopotential model EGM96, NASA/TP-**1998-206861**, National Aeronautics and Space Administration, USA.

McCarthy, D., 1996. IERS conventions (1996), IERS Technical Note **21**, Observatoire de Paris.

Moritz, H., 1992. Geodetic Reference System 1980, *Bulletin Geodesique*, **66(2)**, 187–192.

NIMA, 2000. World geodetic system 1984: its definition and relationships with local geodetic systems, Technical report, **TR8350.2,** St. Louis, MO., USA.

Ollikainen M., 1997. Determination of orthometric heights using GPS levelling, Finnish Geodetic Institute, **123**, Kirkkonummi, Finland.

Omang, O.C.D., and Forsberg, R., 2000. How to handle topography in practical geoid determination: three examples, Journal of Geodesy, **74**, 458-466.

Omang, O.C.D., and Forsberg, R., 2002. The northern European geoid: a case study on long-wavelength geoid errors, *Journal of Geodesy*, **76**, 369-380.

Rapp, R.H., 1994a. Global geoid determination, *Geoid and its geophysical interpretations*, Eds. Petr Vanicek and Nikolas T.Christou, Chapter 3, CRC pres, Boca Raton, FL, USA.

Rapp, R.H., 1994b. The use of potential coefficient models in computing geoid undulations, Lecture notes, *International School for the Determination and Use of the Geoid*, 71-97, Milan, Italy.

Rapp, R.H., 1997. 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.

Ross, J.T., 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications. McGraw – Hill Press, New York.

Sevilla M. J., 1996. A new gravimetric geoid in the Iberian Peninsula, *Joint Special Issue of the of the Bureau Gravimétrique Intarnational Bulletin d'Information* **77,** *International Geoid Service Bulletin* **4**, 163-180.

Sharni, D., Papo, H., 2000. The Carmel mountains precise geoid, *FIG Working Week 2000*, 21-26 May, Prague, Czech.

Sideris, M.G., 1994a. Regional geoid determination, *Geoid and its geophysical interpretations*, Eds. Petr Vanicek and Nikolas T.Christou, Chapter 4, CRC pres, Boca Raton, FL, USA.

Sideris M.G., 1994b. Geoid determination by FFT techniques, *International School for the Determination and Use of the Geoid*, Milan, Italy, October10-15.

Sideris M.G., 1996. New geoids in the world, *Joint Special Issue of the of the Bureau Gravimétrique Intarnational Bulletin d'Information* **77,** *International Geoid Service Bulletin* **4**, 37-52.

Sjöberg, L. E., 1994. Techniques for geoid determination, *Geoid and its geophysical interpretations*, Eds. Petr Vanicek and Nikolas T.Christou, Chapter 2, CRC pres, Boca Raton, FL, USA.

Smith, D.A., 1998. There is no such thing as "The" EGM96 geoid: subtle points on the use of a global geopotential model, *International Geoid Service* IGeS Bulletin, **8**, Milan, 17-28.

Soycan, M., 2002. Jeoit yüksekliklerinin GPS ve hassas trigonometrik nivelman ölçüleri ile belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü., İstanbul.

Sugeno, M., and Kank, G.T., 1988. Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy Sets and Systems*, **28(1)**, 15-33.

Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Yayıncılık, İstanbul.

Şimşek, M., 1992. Jeodezik ağlarda uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi, *Harita Dergisi*, **108**, 18 – 33.

Takagi, T., and Sugeno, M., 1985 . Fuzzy identification of systems and its applications to modelling and control. *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybern.*, **15(1)**, 116-132.

Tóth, G., Rózsa, S., Andritsanos, V.D., Ádám, J., and Tziavos, I.N., 2000. Towards a cm-geoid for Hungary: recent efforts and results, *Phys. Chem Earth (A)*, **25(1)**, 47-52.

Tscherning, C. C., and Rapp, R.H., 1974. Closed covariance expressions for gravity anomalies, geoid undulations and deflections of the vertical implied by degree-variance models. Report No. **208**, Department of Geodetic Science, Ohio State University, Columbus, USA.

Tscherning, C.C., Knudsen, P., and Forsberg, R., 1994. Description of the GRAVSOFT package. Geophysical Institute, University of Copenhagen, Technical Report, 1991, 2.Ed. 1992, 3.Ed.l993, 4.Ed.1994.

Wenzel, H.G., 1998a. Ultra-high degree geopotential models GPM98A,B and C to degree 1800. *Proceedings of the joint meeting of the International Gravity Commission and International Geoid Commission*, September 7-12, Trieste, Italy.

Wenzel, H.G., 1998b. Ultra-high degree geopotential model GPM3E97A to degree 1800 tailored to Europe. *Proc. Second Continental Workshop on the Geoid in Europe* (Eds. Vermeer M and Adam, J.) Budapest, Hungary, March, 71-80.

Wenzel, H.G., 1999. Global models of the gravity field of high and ultra – high resolution. *Preprint of published in Bulletin of International Geoid Service*, 15-19 February, Milan, Italy.

Yiğit, C.Ö., 2003. Elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüşümünde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya.

Zadeh, L., 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process, *IEEE Transactions on systems, man, and Cybernetics*, **3**, 28-44.

Zhang, K.F., Dodson, A.H., and Chen, W., 2000. Factors affecting FFT gravimetric geoid determination precision, *Physical Chemical and Earth Sciences*, **25**, 31-37.

Zhong, D., 1997. Robust estimation and optimal selection of polynomial parameters for the interpolation of GPS geoid heights, *Journal of Geodesy*, **71**, 552-561.

URL1:http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/geoid_def.html (en son ziyaret edildiği tarih, 02/05/2004).

URL2:http://cddis.gsfc.nasa.gov/926/egm96/doc/S11.HTML (en son ziyaret edildiği tarih, 02/08/2005).

URL3: http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/geoid_def.html (en son ziyaret edildiği tarih, 02/07/2004).

URL4:http://cddis.gsfc.nasa.gov/926/egm96/nasatm.html (en son ziyaret edildiği tarih, 12/03/2004).

URL5:http://www.computing.surrey.ac.uk/courses/cs364 (en son ziyaret edildiği tarih, 22/01/2004).

URL6:http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy/fp351dup8.html (en son ziyaret edildiği tarih, 11/06/2005).

EKLER

EK A

İstanbul Metropolitan Alanında geoit araştırması için yapılan hesaplamalarda bulunan anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri

Tablo A.1: 50 nokta kullanılarak bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri.

50 Nokta polinom		**5. derece polinom**		**6. derece polinom**		**7. derece polinom**	
Sıra	**Terim**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**
1	A_{00}	36.8743	0.0111	36.8879	0.0120	36.8472	0.0144
2	$A_{10}X$	-1.4482	0.0851	-1.4259	0.0923	-1.3563	0.0626
3	$A_{01}Y$	-1.2923	0.0387	-1.2421	0.0377	-1.2326	0.0355
4	$A_{20}X^2$	-5.0690	0.5207	-5.1645	0.4392	-3.5095	0.4673
5	$A_{11}XY$	-2.7825	0.1837	-2.6317	0.1271	-2.2376	0.2264
6	$A_{02}Y^2$					0.2025	0.0697
7	$A_{30}X^3$			-1.5704	0.7033		
8	$A_{21}X^2Y$	2.4231	0.5281				
9	$A_{12}XY^2$	1.1687	0.2794	0.4976	0.2103		
10	$A_{03}Y^3$	0.5604	0.0703	0.4648	0.0674	0.4452	0.0799
11	$A_{40}X^4$	12.0793	5.1532				
12	$A_{31}X^3Y$	13.6615	4.0362	-4.5066	1.3546		
13	$A_{22}X^2Y^2$	7.0035	1.4729			-3.0015	1.2577
14	$A_{13}XY^3$	0.9843	0.2971			-1.2145	0.4050
15	$A_{04}Y^4$	-0.1031	0.0189	-0.1383	0.0098	-0.3966	0.0916
16	$A_{50}X^5$	16.0296	7.5202			27.8845	7.7980
17	$A_{41}X^4Y$	21.1568	6.9469	-8.8700	3.7304	19.3668	6.3577
18	$A_{32}X^3Y^2$	12.4074	2.5581	-7.7837	2.8461	-9.8157	3.7566
19	$A_{23}X^2Y^3$	1.5969	0.6360	-3.2176	0.7153	-5.0332	1.2810
20	$A_{14}XY^4$	-0.3967	0.1189	-0.7329	0.1249		
21	$A_{05}Y^5$	-0.1812	0.0288	-0.1682	0.0285	-0.1346	0.0380
22	$A_{60}X^6$			8.8628	3.6728		
23	$A_{51}X^5Y$					-34.5430	11.2997
24	$A_{42}X^4Y^2$			-14.7252	4.0149	-18.1571	5.8773
25	$A_{33}X^3Y^3$			-6.8172	1.8066		
26	$A_{24}X^2Y^4$			-0.7738	0.3150	3.5477	0.7151
27	$A_{15}XY^5$					0.9034	0.1706
28	$A_{06}Y^6$					0.1007	0.0351
29	$A_{70}X^7$					-87.2826	25.3582
30	$A_{61}X^6Y$					-139.5572	36.6349
31	$A_{52}X^5Y^2$					-48.2985	13.8999
32	$A_{43}X^4Y^3$						
33	$A_{34}X^3Y^4$					8.4658	1.8380
34	$A_{25}X^2Y^5$					2.7063	0.5516
35	$A_{16}XY^6$						
36	$A_{07}Y^7$						

Tablo A.2: 200 nokta kullanılarak bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri.

200 Nokta polinom		5. derece polinom		6. derece polinom		7. derece polinom	
Sıra	**Terim**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**
1	A_{00}	36.8582	0.0060	36.8613	0.0087	36.8599	0.0067
2	$A_{10}X$	-1.3361	0.0487	-1.4279	0.0458	-1.5150	0.0643
3	$A_{01}Y$	-1.2244	0.0215	-1.1837	0.0191	-1.2345	0.0214
4	$A_{20}X^2$	-4.1401	0.2099	-4.5911	0.1891	-6.0864	0.5737
5	$A_{11}XY$	-2.6687	0.0997	-2.4261	0.0971	-3.4078	0.2324
6	$A_{02}Y^2$			0.0912	0.0404		
7	$A_{30}X^3$						
8	$A_{21}X^2Y$	1.8439	0.2924				
9	$A_{12}XY^2$	0.8655	0.1525	0.5850	0.1230	0.5346	0.2421
10	$A_{03}Y^3$	0.4873	0.0393	0.4275	0.0367	0.5292	0.0430
11	$A_{40}X^4$	1.9212	0.8557			50.8391	13.6540
12	$A_{31}X^3Y$	8.0961	1.1851			49.0458	10.9105
13	$A_{22}X^2Y^2$	6.1834	0.7577	3.6736	0.4239	19.4553	3.4417
14	$A_{13}XY^3$	1.0595	0.1837	0.3489	0.1159	2.8329	0.5611
15	$A_{04}Y^4$	-0.0895	0.0124	-0.2555	0.0499	-0.1179	0.0143
16	$A_{50}X^5$					214.6065	60.1057
17	$A_{41}X^4Y$	8.9244	1.2354	8.0363	1.1632	253.0510	64.4104
18	$A_{32}X^3Y^2$	9.5326	1.0441	4.4695	0.6006	101.8089	23.7251
19	$A_{23}X^2Y^3$	1.8007	0.3729			17.0713	3.6763
20	$A_{14}XY^4$	-0.1929	0.0663	-0.4778	0.0813	1.1010	0.3672
21	$A_{05}Y^5$	-0.1499	0.0154	-0.1507	0.0192	-0.1915	0.0205
22	$A_{60}X^6$			9.3531	2.1874	402.6606	125.8839
23	$A_{51}X^5Y$			15.4316	2.4246	568.1699	165.3035
24	$A_{42}X^4Y^2$					270.3481	73.7222
25	$A_{33}X^3Y^3$			-1.3210	0.4627	47.7020	12.2346
26	$A_{24}X^2Y^4$			-0.6392	0.1816		
27	$A_{15}XY^5$					-0.7153	0.1845
28	$A_{06}Y^6$			0.0477	0.0186		
29	$A_{70}X^7$					304.2113	104.6292
30	$A_{61}X^6Y$					522.0131	161.8262
31	$A_{52}X^5Y^2$					314.4894	87.8414
32	$A_{43}X^4Y^3$					71.1639	19.0409
33	$A_{34}X^3Y^4$						
34	$A_{25}X^2Y^5$					-2.7240	0.7651
35	$A_{16}XY^6$					-0.5434	0.1350
36	$A_{07}Y^7$						

Tablo A.3: 393 nokta kullanılarak bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri.

393 Nokta polinom		5. derece polinom		6. derece polinom		7. derece polinom	
Sıra	**Terim**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**
1	A_{00}	36.8465	0.0061	36.8547	0.0063	36.8595	0.0055
2	$A_{10}X$	-1.3004	0.0377	-1.3233	0.0467	-1.4029	0.0462
3	$A_{01}Y$	-1.2356	0.0168	-1.1802	0.0173	-1.2188	0.0186
4	$A_{20}X^2$	-3.9776	0.2018	-4.8985	0.2424	-6.4123	0.4413
5	$A_{11}XY$	-2.4476	0.1075	-2.5357	0.1184	-3.4409	0.1958
6	$A_{02}Y^2$	0.0493	0.0226	0.1190	0.0299		
7	$A_{30}X^3$			-1.8560	0.6092	-4.4244	1.6400
8	$A_{21}X^2Y$	2.4360	0.2093			-2.4699	0.8677
9	$A_{12}XY^2$	1.1161	0.1163	0.5668	0.0975		
10	$A_{03}Y^3$	0.5355	0.0315	0.4080	0.0352	0.4757	0.0428
11	$A_{40}X^4$	2.3154	0.7054	9.1006	2.8024	49.0518	10.4998
12	$A_{31}X^3Y$	8.4950	0.9397	9.7470	1.8515	48.5625	8.8335
13	$A_{22}X^2Y^2$	6.3788	0.6424	6.2569	0.5717	19.8849	2.6660
14	$A_{13}XY^3$	1.0085	0.1809	0.4999	0.2073	2.8057	0.3966
15	$A_{04}Y^4$	-0.1102	0.0208	-0.3029	0.0424	-0.1363	0.0246
16	$A_{50}X^5$			26.4914	7.1481	248.3488	47.8140
17	$A_{41}X^4Y$	8.6893	0.9945	29.6785	5.0996	301.2836	52.5445
18	$A_{32}X^3Y^2$	9.9969	0.7993	13.7645	1.3723	131.4586	20.4022
19	$A_{23}X^2Y^3$	1.7844	0.3367	2.5532	0.2436	24.8841	3.4998
20	$A_{14}XY^4$	-0.2897	0.0840			2.0002	0.3018
21	$A_{05}Y^5$	-0.1707	0.0146	-0.1059	0.0136	-0.1307	0.0259
22	$A_{60}X^6$			20.5790	4.6654	471.8243	105.1185
23	$A_{51}X^5Y$			16.8703	2.5350	685.5564	137.4188
24	$A_{42}X^4Y^2$					355.8393	66.1777
25	$A_{33}X^3Y^3$					80.1359	14.3712
26	$A_{24}X^2Y^4$			0.5367	0.1741	6.5093	1.3944
27	$A_{15}XY^5$			0.3315	0.0717		
28	$A_{06}Y^6$			0.0891	0.0154	0.0381	0.0164
29	$A_{70}X^7$					340.7692	80.4765
30	$A_{61}X^6Y$					595.9658	122.3317
31	$A_{52}X^5Y^2$					381.0065	70.7164
32	$A_{43}X^4Y^3$					104.2782	19.4201
33	$A_{34}X^3Y^4$					8.6814	2.8460
34	$A_{25}X^2Y^5$					-1.2666	0.4323
35	$A_{16}XY^6$					-0.3803	0.0701
36	$A_{07}Y^7$						

Tablo A.4: 443 nokta kullanılarak (P_i=1) bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri.

443 Nokta polinom (P_i=1)		**5. derece polinom**		**6. derece polinom**		**7. derece polinom**	
Sıra	**Terim**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**
1	A_{00}	36.84741	0.00582	36.8583	0.0057	36.85749	0.00487
2	$A_{10}X$	-1.27278	0.03429	-1.3759	0.0436	-1.39494	0.04308
3	$A_{01}Y$	-1.23352	0.01566	-1.1979	0.0166	-1.23298	0.01671
4	$A_{20}X^2$	-4.20588	0.23064	-5.1249	0.2280	-6.38210	0.39793
5	$A_{11}XY$	-2.48528	0.10678	-2.6725	0.1075	-3.45243	0.18287
6	$A_{02}Y^2$	0.06584	0.01995	0.0946	0.0275		
7	$A_{30}X^3$	-1.87921	0.48404	-1.9693	0.5859	-5.27160	1.55404
8	$A_{21}X^2Y$	1.28095	0.34751			-2.91295	0.81940
9	$A_{12}XY^2$	0.98747	0.11811	0.7178	0.0898		
10	$A_{03}Y^3$	0.54688	0.02982	0.4452	0.0338	0.53888	0.03235
11	$A_{40}X^4$			4.9646	2.2589	43.96846	9.10319
12	$A_{31}X^3Y$	6.12808	0.77498	7.5677	1.5561	44.62428	7.54803
13	$A_{22}X^2Y^2$	5.55530	0.52320	7.0418	0.5273	19.34354	2.35307
14	$A_{13}XY^3$	0.83580	0.14414	0.8844	0.1706	3.00284	0.40870
15	$A_{04}Y^4$	-0.13589	0.01703	-0.2756	0.0407	-0.10221	0.01452
16	$A_{50}X^5$			15.3667	5.5619	237.92970	44.83916
17	$A_{41}X^4Y$	8.35700	0.99414	20.6162	3.6550	288.84509	49.18304
18	$A_{32}X^3Y^2$	9.80686	0.74849	11.9058	1.1157	126.88082	19.04655
19	$A_{23}X^2Y^3$	1.61654	0.27536	2.6283	0.2365	24.26857	3.24481
20	$A_{14}XY^4$	-0.39729	0.06238			1.92913	0.28027
21	$A_{05}Y^5$	-0.18801	0.01311	-0.1134	0.0132	-0.18508	0.01742
22	$A_{60}X^6$			14.6671	3.9307	472.38527	100.81922
23	$A_{51}X^5Y$			12.9670	2.0283	685.89811	131.92911
24	$A_{42}X^4Y^2$					354.82786	63.46979
25	$A_{33}X^3Y^3$					77.52327	13.96512
26	$A_{24}X^2Y^4$					4.76255	1.79024
27	$A_{15}XY^5$			0.2009	0.0579	-0.45325	0.20395
28	$A_{06}Y^6$			0.0887	0.0151		
29	$A_{70}X^7$					355.49525	78.15767
30	$A_{61}X^6Y$					624.89842	119.23061
31	$A_{52}X^5Y^2$					401.99803	68.77827
32	$A_{43}X^4Y^3$					108.87647	18.60870
33	$A_{34}X^3Y^4$					6.78638	3.22306
34	$A_{25}X^2Y^5$					-2.43962	0.78360
35	$A_{16}XY^6$					-0.58417	0.10112
36	$A_{07}Y^7$						

Tablo A.5: 443 nokta kullanılarak ($P_i \neq 1$) bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri.

443 Nokta polinom ($P_i \neq 1$)		**5. derece polinom**		**6. derece polinom**		**7. derece polinom**	
Sıra	**Terim**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**
1	A_{00}	36.8378	0.0044	36.8490	0.0045	36.8525	0.0041
2	$A_{10}X$	-1.3733	0.0271	-1.2507	0.0269	-1.4133	0.0455
3	$A_{01}Y$	-1.2837	0.0114	-1.2050	0.0097	-1.2633	0.0169
4	$A_{20}X^2$	-3.9847	0.1677	-4.7283	0.1689	-6.5478	0.3271
5	$A_{11}XY$	-2.2988	0.0773	-2.3983	0.0672	-3.7219	0.1419
6	$A_{02}Y^2$	0.1140	0.0161	0.1417	0.0200		
7	$A_{30}X^3$			-5.1947	0.6443	-6.4566	1.7400
8	$A_{21}X^2Y$	2.2500	0.1758	-1.4881	0.3734	-4.5255	1.0965
9	$A_{12}XY^2$	1.2585	0.0868	0.2812	0.0755	-0.5718	0.2285
10	$A_{03}Y^3$	0.6384	0.0197	0.4450	0.0193	0.5783	0.0451
11	$A_{40}X^4$	6.1398	1.5601			50.8673	8.7981
12	$A_{31}X^3Y$	10.3467	1.1835	1.9239	0.7139	52.4921	7.2321
13	$A_{22}X^2Y^2$	5.7052	0.4689	3.3291	0.3710	21.1499	2.2000
14	$A_{13}XY^3$	0.5315	0.1238			3.3351	0.3107
15	$A_{04}Y^4$	-0.1821	0.0153	-0.3129	0.0266	-0.1224	0.0215
16	$A_{50}X^5$	9.2140	2.2390	17.9408	2.5655	289.8505	36.3234
17	$A_{41}X^4Y$	17.9381	2.0611	15.1137	1.1180	354.0510	40.3749
18	$A_{32}X^3Y^2$	11.6901	0.7748	8.7667	0.5801	157.6808	16.1654
19	$A_{23}X^2Y^3$	1.1043	0.2190	2.1128	0.1132	32.4293	2.9403
20	$A_{14}XY^4$	-0.6554	0.0591			3.0644	0.3011
21	$A_{05}Y^5$	-0.2422	0.0090	-0.1295	0.0089	-0.2277	0.0403
22	$A_{60}X^6$			13.2663	1.9747	573.0073	83.9488
23	$A_{51}X^5Y$					828.2730	110.8694
24	$A_{42}X^4Y^2$			-6.4863	0.5592	441.7800	54.1773
25	$A_{33}X^3Y^3$					104.4622	12.1977
26	$A_{24}X^2Y^4$			1.0713	0.1077	9.5836	1.2557
27	$A_{15}XY^5$			0.4403	0.0191		
28	$A_{06}Y^6$			0.0828	0.0101	0.0373	0.0143
29	$A_{70}X^7$					412.6114	67.7043
30	$A_{61}X^6Y$					719.6540	103.0806
31	$A_{52}X^5Y^2$					477.8058	59.7790
32	$A_{43}X^4Y^3$					139.8553	16.7323
33	$A_{34}X^3Y^4$					13.2605	2.4298
34	$A_{25}X^2Y^5$					-2.1558	0.2946
35	$A_{16}XY^6$					-0.6152	0.0658
36	$A_{07}Y^7$					0.0343	0.0134

Tablo A.6: 50 noktada EGM yeryuvarı modeline göre geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre belirlenmiş geoit yükseklikleri arasındaki farklardan bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri.

50 Nokta EGM/GPS farklar polinom		**5. derece polinom**		**6. derece polinom**		**7. derece polinom**	
Sıra	**Terim**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**
1	A_{00}	0.2158	0.0130	0.2301	0.0130	0.2192	0.0145
2	$A_{10}X$	0.3502	0.0969	0.3392	0.0725	0.1569	0.0733
3	$A_{01}Y$	0.9606	0.0430	1.0334	0.0388	0.9818	0.0385
4	$A_{20}X^2$	2.8064	0.2517	3.2469	0.1957	3.1206	0.4447
5	$A_{11}XY$						
6	$A_{02}Y^2$			-0.2110	0.0723	-0.1344	0.0643
7	$A_{30}X^3$					6.3874	1.5339
8	$A_{21}X^2Y$	-2.1106	0.3177	-5.1626	0.6094		
9	$A_{12}XY^2$	-0.4658	0.2066	-1.5099	0.2482		
10	$A_{03}Y^3$	-0.7630	0.0702	-0.9140	0.0754	-0.8221	0.0867
11	$A_{40}X^4$	3.6626	0.8266			20.1437	5.2403
12	$A_{31}X^3Y$	4.0498	0.6492			7.0529	2.1747
13	$A_{22}X^2Y^2$						
14	$A_{13}XY^3$	0.5041	0.0829	1.1111	0.2073	1.2466	0.2124
15	$A_{04}Y^4$	0.1497	0.0137	0.4437	0.1044	0.4082	0.0913
16	$A_{50}X^5$						
17	$A_{41}X^4Y$			21.5268	5.4555		
18	$A_{32}X^3Y^2$			17.6497	3.9432	1.6791	2.2593
19	$A_{23}X^2Y^3$	1.5299	0.2014	8.0459	1.2440	2.2385	1.0260
20	$A_{14}XY^4$	0.5273	0.0807	1.6047	0.1913		
21	$A_{05}Y^5$	0.1968	0.0273	0.2710	0.0333	0.1932	0.0402
22	$A_{60}X^6$						
23	$A_{51}X^5Y$			29.3840	7.2485	53.5439	15.7382
24	$A_{42}X^4Y^2$			31.1031	6.3325	22.8745	5.6246
25	$A_{33}X^3Y^3$			13.8274	2.3379		
26	$A_{24}X^2Y^4$			2.4166	0.5850	-2.0199	0.3792
27	$A_{15}XY^5$					-0.7464	0.1110
28	$A_{06}Y^6$			-0.0793	0.0383	-0.1119	0.0353
29	$A_{70}X^7$					56.4829	22.0538
30	$A_{61}X^6Y$					118.7555	40.7489
31	$A_{52}X^5Y^2$					42.3179	15.8980
32	$A_{43}X^4Y^3$						
33	$A_{34}X^3Y^4$					-3.6582	1.2487
34	$A_{25}X^2Y^5$					-1.3820	0.4212
35	$A_{16}XY^6$						
36	$A_{07}Y^7$						

Tablo A.7: 200 noktada EGM yeryuvarı modeline göre geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre belirlenmiş geoit yükseklikleri arasındaki farklardan bulunan 5., 6. ve 7. derece anlamlı polinom katsayıları ve test değerleri.

200 Nokta EGM/GPS farklar polinom		**5. derece polinom**		**6. derece polinom**		**7. derece polinom**	
Sıra	**Terim**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**	**Katsayı**	**Test değeri**
1	A_{00}	0.2248	0.0060	0.2176	0.0090	0.2102	0.0069
2	$A_{10}X$	0.3176	0.0494	0.3777	0.0481	0.4711	0.0560
3	$A_{01}Y$	0.9868	0.0218	0.9559	0.0194	0.9877	0.0207
4	$A_{20}X^2$	3.2141	0.1295	4.0227	0.2817	5.2100	0.5146
5	$A_{11}XY$	0.3988	0.0848	0.3083	0.1160	0.9626	0.1582
6	$A_{02}Y^2$			-0.0873	0.0411		
7	$A_{30}X^3$						
8	$A_{21}X^2Y$	-3.1463	0.2874	-2.6194	0.4750	-2.6910	0.5490
9	$A_{12}XY^2$	-0.9979	0.1534	-0.9437	0.1699	-1.0370	0.1805
10	$A_{03}Y^3$	-0.9042	0.0400	-0.8301	0.0431	-0.8796	0.0384
11	$A_{40}X^4$			-8.0257	4.0035	-47.2948	11.8589
12	$A_{31}X^3Y$	-5.7106	0.9839	-8.3132	3.0426	-45.1352	8.6592
13	$A_{22}X^2Y^2$	-5.3374	0.6753	-6.1170	0.7191	-17.2760	2.2266
14	$A_{13}XY^3$	-0.4658	0.1628			-1.3478	0.1899
15	$A_{04}Y^4$	0.1337	0.0121	0.3311	0.0544	0.2579	0.0250
16	$A_{50}X^5$			-24.6567	9.4856	-209.4920	49.9514
17	$A_{41}X^4Y$	-8.7188	1.2342	-26.3450	6.7916	-233.0493	50.7441
18	$A_{32}X^3Y^2$	-8.8221	1.0261	-9.6253	1.5215	-85.0015	16.7554
19	$A_{23}X^2Y^3$	-0.9514	0.3025			-10.0159	1.6814
20	$A_{14}XY^4$	0.3894	0.0542	0.4949	0.1035		
21	$A_{05}Y^5$	0.2428	0.0158	0.2092	0.0249	0.2197	0.0145
22	$A_{60}X^6$			-25.0404	6.7984	-370.4301	101.2321
23	$A_{51}X^5Y$			-22.5382	4.7967	-482.9142	128.1458
24	$A_{42}X^4Y^2$					-209.0341	53.0774
25	$A_{33}X^3Y^3$			2.1812	0.6708	-32.0433	7.6552
26	$A_{24}X^2Y^4$			0.6336	0.2144		
27	$A_{15}XY^5$			-0.1515	0.0589		
28	$A_{06}Y^6$			-0.0793	0.0226	-0.0771	0.0103
29	$A_{70}X^7$					-248.7920	82.9256
30	$A_{61}X^6Y$					-387.0153	123.2168
31	$A_{52}X^5Y^2$					-204.9891	60.8820
32	$A_{43}X^4Y^3$					-36.5400	10.9623
33	$A_{34}X^3Y^4$						
34	$A_{25}X^2Y^5$						
35	$A_{16}XY^6$						
36	$A_{07}Y^7$						

EK B

İstanbul Metropolitan Alanında geoit araştırması için yapılan hesaplamalarda 50 test noktasında bulunan geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklar

Tablo B.1: 50 noktadan elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/Niv}$	5.der	6.der	7.der	5.(fark)	6.(Fark)	7.(fark)
1012	41.043	29.001	36.764	36.822	36.821	36.818	0.058	0.057	0.054
14205	41.149	28.284	37.547	37.571	37.589	37.561	0.024	0.042	0.014
14690	41.145	28.572	37.400	37.417	37.423	37.436	0.017	0.023	0.036
15103	41.261	28.874	36.627	36.663	36.674	36.662	0.036	0.047	0.035
15121	41.248	28.793	36.905	36.928	36.934	36.909	0.023	0.029	0.004
15135	41.242	28.848	36.792	36.805	36.816	36.789	0.013	0.024	-0.003
15251	41.161	28.865	36.931	36.964	36.975	36.937	0.033	0.044	0.006
15842	41.152	29.322	36.340	36.258	36.282	36.302	-0.082	-0.058	-0.038
15848	41.151	29.266	36.333	36.335	36.361	36.376	0.002	0.028	0.043
16024	41.050	29.427	36.609	36.592	36.575	36.569	-0.017	-0.034	-0.040
16105	41.006	29.361	36.656	36.728	36.718	36.729	0.072	0.062	0.073
16302	40.875	29.392	36.875	36.867	36.858	36.897	-0.008	-0.017	0.022
16315	40.862	29.421	36.884	36.893	36.882	36.912	0.009	-0.002	0.028
16356	40.831	29.430	36.792	36.882	36.851	36.855	0.090	0.059	0.063
16380	40.811	29.340	36.724	36.737	36.752	36.780	0.013	0.028	0.056
16435	40.788	29.466	36.794	36.852	36.772	36.656	0.058	-0.022	-0.138
16459	40.774	29.406	36.727	36.734	36.722	36.703	0.007	-0.005	-0.024
16481	40.772	29.354	36.769	36.645	36.738	36.841	-0.124	-0.031	0.072
34343	41.080	28.146	37.470	37.442	37.441	37.415	-0.028	-0.029	-0.055
34349	41.075	28.368	37.317	37.312	37.306	37.334	-0.005	-0.011	0.017
34351	41.093	28.275	37.410	37.402	37.407	37.396	-0.008	-0.003	-0.014
34363	41.130	28.123	37.541	37.595	37.606	37.581	0.054	0.065	0.040
34369	41.152	28.326	37.548	37.571	37.588	37.573	0.023	0.040	0.025
34370	41.153	28.370	37.578	37.563	37.578	37.575	-0.015	0.000	-0.003
34377	41.181	28.193	37.551	37.657	37.674	37.624	0.106	0.123	0.073
34382	41.198	28.328	37.633	37.675	37.685	37.671	0.042	0.052	0.038
34412	41.345	28.406	37.613	37.609	37.593	37.600	-0.004	-0.020	-0.013
34417	41.327	28.497	37.461	37.448	37.434	37.441	-0.013	-0.027	-0.020
34426	41.398	28.420	37.446	37.409	37.417	37.378	-0.037	-0.029	-0.068
34454	41.311	28.618	37.120	37.181	37.175	37.180	0.061	0.055	0.060
34455	41.303	28.641	37.096	37.147	37.142	37.145	0.051	0.046	0.049
34462	41.263	28.746	36.976	37.002	37.005	36.987	0.026	0.029	0.011
34472	41.264	28.603	37.381	37.359	37.348	37.341	-0.022	-0.033	-0.040
34491	41.192	28.755	37.120	37.146	37.150	37.116	0.026	0.030	-0.004
34506	41.195	28.630	37.338	37.380	37.379	37.365	0.042	0.041	0.027
34536	41.113	28.502	37.423	37.401	37.406	37.441	-0.022	-0.017	0.018
34560	41.044	28.705	37.126	37.072	37.057	37.078	-0.054	-0.069	-0.048
34571	41.025	28.514	37.181	37.067	37.043	37.090	-0.114	-0.138	-0.091
34574	41.026	28.616	37.135	37.055	37.031	37.062	-0.080	-0.104	-0.073
34636	41.128	29.050	36.693	36.700	36.717	36.698	0.007	0.024	0.005
34657	41.192	29.035	36.535	36.549	36.574	36.549	0.014	0.039	0.014
34667	41.222	29.017	36.445	36.474	36.496	36.476	0.029	0.051	0.031
34722	41.008	29.023	36.758	36.790	36.781	36.774	0.032	0.023	0.016
34810	40.951	29.580	36.964	36.887	36.891	36.831	-0.077	-0.073	-0.133
34815	41.013	29.465	36.727	36.707	36.685	36.658	-0.020	-0.042	-0.069
34828	41.037	29.389	36.656	36.649	36.635	36.638	-0.007	-0.021	-0.018
34854	41.115	29.271	36.466	36.466	36.481	36.499	0.000	0.015	0.033
34858	41.102	29.409	36.416	36.389	36.394	36.404	-0.027	-0.022	-0.012
34859	41.090	29.436	36.459	36.419	36.416	36.418	-0.040	-0.043	-0.041
34878	41.136	29.267	36.388	36.391	36.413	36.429	0.003	0.025	0.041
$m_{o5,6}$ = 0.022		(5. ve 6. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o5,7}$ = 0.046		(5. ve 7. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o6,7}$ = 0.032		(6. ve 7. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							

Tablo B.2: 200 noktadan elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/Niv}$	5.der	6.der	7.der	5.(fark)	6.(Fark)	7.(fark)
1012	41.043	29.001	36.764	36.824	36.810	36.805	0.060	0.046	0.041
14205	41.149	28.284	37.547	37.561	37.569	37.552	0.014	0.022	0.005
14690	41.145	28.572	37.400	37.385	37.407	37.394	-0.015	0.007	-0.006
15103	41.261	28.874	36.627	36.668	36.656	36.638	0.041	0.029	0.011
15121	41.248	28.793	36.905	36.917	36.904	36.901	0.012	-0.001	-0.004
15135	41.242	28.848	36.792	36.798	36.790	36.780	0.006	-0.002	-0.012
15251	41.161	28.865	36.931	36.943	36.950	36.949	0.012	0.019	0.018
15842	41.152	29.322	36.340	36.266	36.295	36.286	-0.074	-0.045	-0.054
15848	41.151	29.266	36.333	36.344	36.375	36.369	0.011	0.042	0.036
16024	41.050	29.427	36.609	36.612	36.599	36.601	0.003	-0.010	-0.008
16105	41.006	29.361	36.656	36.760	36.742	36.752	0.104	0.086	0.096
16302	40.875	29.392	36.875	36.852	36.873	36.875	-0.023	-0.002	0.000
16315	40.862	29.421	36.884	36.871	36.895	36.892	-0.013	0.011	0.008
16356	40.831	29.430	36.792	36.845	36.867	36.854	0.053	0.075	0.062
16380	40.811	29.340	36.724	36.726	36.765	36.756	0.002	0.041	0.032
16435	40.788	29.466	36.794	36.819	36.784	36.772	0.025	-0.010	-0.022
16459	40.774	29.406	36.727	36.753	36.744	36.757	0.026	0.017	0.030
16481	40.772	29.354	36.769	36.708	36.746	36.733	-0.061	-0.023	-0.036
34343	41.080	28.146	37.470	37.443	37.421	37.442	-0.027	-0.049	-0.028
34349	41.075	28.368	37.317	37.324	37.337	37.343	0.007	0.020	0.026
34351	41.093	28.275	37.410	37.413	37.415	37.409	0.003	0.005	-0.001
34363	41.130	28.123	37.541	37.584	37.585	37.576	0.043	0.044	0.035
34369	41.152	28.326	37.548	37.557	37.570	37.552	0.009	0.022	0.004
34370	41.153	28.370	37.578	37.544	37.562	37.544	-0.034	-0.016	-0.034
34377	41.181	28.193	37.551	37.642	37.635	37.627	0.091	0.084	0.076
34382	41.198	28.328	37.633	37.644	37.643	37.629	0.011	0.010	-0.004
34412	41.345	28.406	37.613	37.611	37.613	37.618	-0.002	0.000	0.005
34417	41.327	28.497	37.461	37.446	37.436	37.439	-0.015	-0.025	-0.022
34426	41.398	28.420	37.446	37.442	37.479	37.435	-0.004	0.033	-0.011
34454	41.311	28.618	37.120	37.182	37.161	37.160	0.062	0.041	0.040
34455	41.303	28.641	37.096	37.146	37.124	37.124	0.050	0.028	0.028
34462	41.263	28.746	36.976	36.993	36.974	36.974	0.017	-0.002	-0.002
34472	41.264	28.603	37.381	37.332	37.315	37.329	-0.049	-0.066	-0.052
34491	41.192	28.755	37.120	37.116	37.116	37.119	-0.004	-0.004	-0.001
34506	41.195	28.630	37.338	37.341	37.344	37.343	0.003	0.006	0.005
34536	41.113	28.502	37.423	37.383	37.412	37.407	-0.040	-0.011	-0.016
34560	41.044	28.705	37.126	37.059	37.061	37.077	-0.067	-0.065	-0.049
34571	41.025	28.514	37.181	37.085	37.089	37.116	-0.096	-0.092	-0.065
34574	41.026	28.616	37.135	37.056	37.056	37.090	-0.079	-0.079	-0.045
34636	41.128	29.050	36.693	36.699	36.714	36.715	0.006	0.021	0.022
34657	41.192	29.035	36.535	36.549	36.569	36.553	0.014	0.034	0.018
34667	41.222	29.017	36.445	36.479	36.493	36.465	0.034	0.048	0.020
34722	41.008	29.023	36.758	36.792	36.766	36.763	0.034	0.008	0.005
34810	40.951	29.580	36.964	36.911	36.896	36.875	-0.053	-0.068	-0.089
34815	41.013	29.465	36.727	36.734	36.710	36.699	0.007	-0.017	-0.028
34828	41.037	29.389	36.656	36.675	36.660	36.666	0.019	0.004	0.010
34854	41.115	29.271	36.466	36.477	36.498	36.508	0.011	0.032	0.042
34858	41.102	29.409	36.416	36.398	36.406	36.415	-0.018	-0.010	-0.001
34859	41.090	29.436	36.459	36.428	36.429	36.436	-0.031	-0.030	-0.023
34878	41.136	29.267	36.388	36.400	36.428	36.430	0.012	0.040	0.042
$m_{o5,6} = 0.019$		(5. ve 6. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o5,7} = 0.020$		(5. ve 7. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o6,7} = 0.014$		(6. ve 7. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							

Tablo B.3: 393 noktadan elde edilen polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/Niv}$	5.der	6.der	7.der	5.(fark)	6.(Fark)	7.(fark)
1012	41.043	29.001	36.764	36.809	36.797	36.795	0.045	0.033	0.031
14205	41.149	28.284	37.547	37.558	37.547	37.547	0.011	0.000	0.000
14690	41.145	28.572	37.400	37.385	37.394	37.391	-0.015	-0.006	-0.009
15103	41.261	28.874	36.627	36.662	36.656	36.641	0.035	0.029	0.014
15121	41.248	28.793	36.905	36.909	36.904	36.905	0.004	-0.001	0.000
15135	41.242	28.848	36.792	36.790	36.789	36.785	-0.002	-0.003	-0.007
15251	41.161	28.865	36.931	36.930	36.936	36.940	-0.001	0.005	0.009
15842	41.152	29.322	36.340	36.265	36.288	36.282	-0.075	-0.052	-0.058
15848	41.151	29.266	36.333	36.337	36.368	36.366	0.004	0.035	0.033
16024	41.050	29.427	36.609	36.599	36.591	36.590	-0.010	-0.018	-0.019
16105	41.006	29.361	36.656	36.742	36.735	36.730	0.086	0.079	0.074
16302	40.875	29.392	36.875	36.843	36.858	36.863	-0.032	-0.017	-0.012
16315	40.862	29.421	36.884	36.860	36.878	36.880	-0.024	-0.006	-0.004
16356	40.831	29.430	36.792	36.833	36.850	36.845	0.041	0.058	0.053
16380	40.811	29.340	36.724	36.734	36.749	36.752	0.010	0.025	0.028
16435	40.788	29.466	36.794	36.793	36.782	36.773	-0.001	-0.012	-0.021
16459	40.774	29.406	36.727	36.743	36.742	36.751	0.016	0.015	0.024
16481	40.772	29.354	36.769	36.718	36.731	36.733	-0.051	-0.038	-0.036
34343	41.080	28.146	37.470	37.427	37.434	37.436	-0.043	-0.036	-0.034
34349	41.075	28.368	37.317	37.315	37.327	37.329	-0.002	0.010	0.012
34351	41.093	28.275	37.410	37.402	37.400	37.395	-0.008	-0.010	-0.015
34363	41.130	28.123	37.541	37.578	37.586	37.574	0.037	0.045	0.033
34369	41.152	28.326	37.548	37.556	37.550	37.548	0.008	0.002	0.000
34370	41.153	28.370	37.578	37.544	37.544	37.541	-0.034	-0.034	-0.037
34377	41.181	28.193	37.551	37.639	37.610	37.623	0.088	0.059	0.072
34382	41.198	28.328	37.633	37.646	37.632	37.626	0.013	-0.001	-0.007
34412	41.345	28.406	37.613	37.605	37.615	37.626	-0.008	0.002	0.013
34417	41.327	28.497	37.461	37.441	37.440	37.445	-0.020	-0.021	-0.016
34426	41.398	28.420	37.446	37.432	37.448	37.432	-0.014	0.002	-0.014
34454	41.311	28.618	37.120	37.176	37.162	37.162	0.056	0.042	0.042
34455	41.303	28.641	37.096	37.140	37.126	37.126	0.044	0.030	0.030
34462	41.263	28.746	36.976	36.986	36.976	36.978	0.010	0.000	0.002
34472	41.264	28.603	37.381	37.329	37.324	37.333	-0.052	-0.057	-0.048
34491	41.192	28.755	37.120	37.108	37.109	37.115	-0.012	-0.011	-0.005
34506	41.195	28.630	37.338	37.339	37.339	37.339	0.001	0.001	0.001
34536	41.113	28.502	37.423	37.383	37.402	37.404	-0.040	-0.021	-0.019
34560	41.044	28.705	37.126	37.060	37.069	37.078	-0.066	-0.057	-0.048
34571	41.025	28.514	37.181	37.084	37.093	37.104	-0.097	-0.088	-0.077
34574	41.026	28.616	37.135	37.059	37.073	37.087	-0.076	-0.062	-0.048
34636	41.128	29.050	36.693	36.680	36.699	36.703	-0.013	0.006	0.010
34657	41.192	29.035	36.535	36.538	36.564	36.555	0.003	0.029	0.020
34667	41.222	29.017	36.445	36.473	36.491	36.469	0.028	0.046	0.024
34722	41.008	29.023	36.758	36.781	36.763	36.761	0.023	0.005	0.003
34810	40.951	29.580	36.964	36.907	36.892	36.865	-0.057	-0.072	-0.099
34815	41.013	29.465	36.727	36.722	36.703	36.686	-0.005	-0.024	-0.041
34828	41.037	29.389	36.656	36.659	36.653	36.650	0.003	-0.003	-0.006
34854	41.115	29.271	36.466	36.463	36.490	36.500	-0.003	0.024	0.034
34858	41.102	29.409	36.416	36.390	36.396	36.410	-0.026	-0.020	-0.006
34859	41.090	29.436	36.459	36.420	36.419	36.432	-0.039	-0.040	-0.027
34878	41.136	29.267	36.388	36.389	36.420	36.425	0.001	0.032	0.037
$m_{o5,6} = 0.014$		(5. ve 6. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o5,7} = 0.018$		(5. ve 7. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o6,7} = 0.009$		(6. ve 7. derece polinom katsayıları ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							

Tablo B.4: 50 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ile (alt küme sayısı 3, 4 ve 5) ile hesaplanan test noktalarının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/niv}$	3	4	5	Fark	Fark	Fark
1012	41.043	29.001	36.764	36.827	36.860	36.753	0.063	0.096	-0.011
14205	41.149	28.284	37.547	37.605	37.568	37.536	0.058	0.021	-0.011
14690	41.145	28.572	37.400	37.433	37.402	37.484	0.033	0.002	0.084
15103	41.261	28.874	36.627	36.647	36.676	36.692	0.020	0.049	0.065
15121	41.248	28.793	36.905	36.922	36.953	36.878	0.017	0.048	-0.027
15135	41.242	28.848	36.792	36.781	36.839	36.843	-0.011	0.047	0.051
15251	41.161	28.865	36.931	36.943	36.946	36.834	0.012	0.015	-0.097
15842	41.152	29.322	36.340	36.250	36.276	36.241	-0.090	-0.064	-0.099
15848	41.151	29.266	36.333	36.345	36.355	36.345	0.012	0.022	0.012
16024	41.050	29.427	36.609	36.557	36.569	36.567	-0.052	-0.040	-0.042
16105	41.006	29.361	36.656	36.722	36.744	36.719	0.066	0.088	0.063
16302	40.875	29.392	36.875	36.859	36.886	36.820	-0.016	0.011	-0.055
16315	40.862	29.421	36.884	36.877	36.904	36.836	-0.007	0.020	-0.048
16356	40.831	29.430	36.792	36.866	36.887	36.843	0.074	0.095	0.051
16380	40.811	29.340	36.724	36.735	36.728	36.724	0.011	0.004	0.000
16435	40.788	29.466	36.794	36.852	36.864	36.991	0.058	0.070	0.197
16459	40.774	29.406	36.727	36.745	36.737	36.737	0.018	0.010	0.010
16481	40.772	29.354	36.769	36.665	36.639	36.632	-0.104	-0.130	-0.137
34343	41.080	28.146	37.470	37.483	37.435	37.446	0.013	-0.035	-0.024
34349	41.075	28.368	37.317	37.396	37.289	37.321	0.079	-0.028	0.004
34351	41.093	28.275	37.410	37.500	37.376	37.396	0.090	-0.034	-0.014
34363	41.130	28.123	37.541	37.568	37.627	37.598	0.027	0.086	0.057
34369	41.152	28.326	37.548	37.606	37.565	37.551	0.058	0.017	0.003
34370	41.153	28.370	37.578	37.594	37.562	37.578	0.016	-0.016	0.000
34377	41.181	28.193	37.551	37.668	37.683	37.633	0.117	0.132	0.082
34382	41.198	28.328	37.633	37.677	37.668	37.623	0.044	0.035	-0.010
34412	41.345	28.406	37.613	37.571	37.577	37.610	-0.042	-0.036	-0.003
34417	41.327	28.497	37.461	37.415	37.470	37.452	-0.046	0.009	-0.009
34426	41.398	28.420	37.446	37.429	37.361	37.378	-0.017	-0.085	-0.068
34454	41.311	28.618	37.120	37.172	37.174	37.199	0.052	0.054	0.079
34455	41.303	28.641	37.096	37.140	37.153	37.136	0.044	0.057	0.040
34462	41.263	28.746	36.976	36.999	37.014	36.938	0.023	0.038	-0.038
34472	41.264	28.603	37.381	37.327	37.351	37.311	-0.054	-0.030	-0.070
34491	41.192	28.755	37.120	37.138	37.114	37.085	0.018	-0.006	-0.035
34506	41.195	28.630	37.338	37.365	37.337	37.405	0.027	-0.001	0.067
34536	41.113	28.502	37.423	37.450	37.498	37.495	0.027	0.075	0.072
34560	41.044	28.705	37.126	37.023	37.119	37.204	-0.103	-0.007	0.078
34571	41.025	28.514	37.181	37.071	37.226	37.042	-0.110	0.045	-0.139
34574	41.026	28.616	37.135	37.014	37.133	37.087	-0.121	-0.002	-0.048
34636	41.128	29.050	36.693	36.736	36.677	36.686	0.043	-0.016	-0.007
34657	41.192	29.035	36.535	36.581	36.544	36.630	0.046	0.009	0.095
34667	41.222	29.017	36.445	36.499	36.495	36.595	0.054	0.050	0.150
34722	41.008	29.023	36.758	36.799	36.745	36.690	0.041	-0.013	-0.068
34810	40.951	29.580	36.964	36.834	36.842	36.831	-0.130	-0.122	-0.133
34815	41.013	29.465	36.727	36.663	36.677	36.668	-0.064	-0.050	-0.059
34828	41.037	29.389	36.656	36.628	36.646	36.629	-0.028	-0.010	-0.027
34854	41.115	29.271	36.466	36.476	36.481	36.466	0.010	0.015	0.000
34858	41.102	29.409	36.416	36.354	36.377	36.381	-0.062	-0.039	-0.035
34859	41.090	29.436	36.459	36.379	36.396	36.405	-0.080	-0.063	-0.054
34878	41.136	29.267	36.388	36.400	36.408	36.414	0.012	0.020	0.026
$m_{o3,4}$ = 0.048		(A.K.S. 3 ve 4 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o3,5}$ = 0.058		(A.K.S. 3 ve 5 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o4,5}$ = 0.056		(A.K.S. 4 ve 5 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							

Tablo B.5: 200 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ile (alt küme sayısı 7, 8 ve 11) ile hesaplanan test noktalarının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/niv}$	7	8	11	Fark	Fark	Fark
1012	41.043	29.001	36.764	36.784	36.785	36.744	0.020	0.021	-0.020
14205	41.149	28.284	37.547	37.522	37.534	37.530	-0.025	-0.013	-0.017
14690	41.145	28.572	37.400	37.394	37.401	37.384	-0.006	0.001	-0.016
15103	41.261	28.874	36.627	36.648	36.633	36.591	0.021	0.006	-0.036
15121	41.248	28.793	36.905	36.883	36.891	36.902	-0.022	-0.014	-0.003
15135	41.242	28.848	36.792	36.778	36.775	36.777	-0.014	-0.017	-0.015
15251	41.161	28.865	36.931	36.971	36.983	36.955	0.040	0.052	0.024
15842	41.152	29.322	36.340	36.283	36.307	36.251	-0.057	-0.033	-0.089
15848	41.151	29.266	36.333	36.372	36.417	36.395	0.039	0.084	0.062
16024	41.050	29.427	36.609	36.575	36.574	36.569	-0.034	-0.035	-0.040
16105	41.006	29.361	36.656	36.708	36.731	36.732	0.052	0.075	0.076
16302	40.875	29.392	36.875	36.878	36.899	36.883	0.003	0.024	0.008
16315	40.862	29.421	36.884	36.871	36.886	36.858	-0.013	0.002	-0.026
16356	40.831	29.430	36.792	36.843	36.846	36.830	0.051	0.054	0.038
16380	40.811	29.340	36.724	36.776	36.759	36.735	0.052	0.035	0.011
16435	40.788	29.466	36.794	36.797	36.752	36.793	0.003	-0.042	-0.001
16459	40.774	29.406	36.727	36.726	36.769	36.754	-0.001	0.042	0.027
16481	40.772	29.354	36.769	36.782	36.747	36.747	0.013	-0.022	-0.022
34343	41.080	28.146	37.470	37.467	37.476	37.513	-0.003	0.006	0.043
34349	41.075	28.368	37.317	37.342	37.354	37.297	0.025	0.037	-0.020
34351	41.093	28.275	37.410	37.415	37.408	37.413	0.005	-0.002	0.003
34363	41.130	28.123	37.541	37.562	37.548	37.545	0.021	0.007	0.004
34369	41.152	28.326	37.548	37.550	37.535	37.542	0.002	-0.013	-0.006
34370	41.153	28.370	37.578	37.553	37.535	37.578	-0.025	-0.043	0.000
34377	41.181	28.193	37.551	37.622	37.621	37.615	0.071	0.070	0.064
34382	41.198	28.328	37.633	37.635	37.632	37.651	0.002	-0.001	0.018
34412	41.345	28.406	37.613	37.655	37.617	37.630	0.042	0.004	0.017
34417	41.327	28.497	37.461	37.428	37.439	37.414	-0.033	-0.022	-0.047
34426	41.398	28.420	37.446	37.407	37.404	37.409	-0.039	-0.042	-0.037
34454	41.311	28.618	37.120	37.147	37.134	37.081	0.027	0.014	-0.039
34455	41.303	28.641	37.096	37.109	37.097	37.055	0.013	0.001	-0.041
34462	41.263	28.746	36.976	36.972	36.975	36.957	-0.004	-0.001	-0.019
34472	41.264	28.603	37.381	37.325	37.327	37.331	-0.056	-0.054	-0.050
34491	41.192	28.755	37.120	37.125	37.136	37.130	0.005	0.016	0.010
34506	41.195	28.630	37.338	37.332	37.338	37.329	-0.006	0.000	-0.009
34536	41.113	28.502	37.423	37.405	37.397	37.374	-0.018	-0.026	-0.049
34560	41.044	28.705	37.126	37.081	37.088	37.018	-0.045	-0.038	-0.108
34571	41.025	28.514	37.181	37.116	37.102	37.102	-0.065	-0.079	-0.079
34574	41.026	28.616	37.135	37.092	37.112	37.109	-0.043	-0.023	-0.026
34636	41.128	29.050	36.693	36.704	36.684	36.697	0.011	-0.009	0.004
34657	41.192	29.035	36.535	36.531	36.530	36.474	-0.004	-0.005	-0.061
34667	41.222	29.017	36.445	36.482	36.472	36.390	0.037	0.027	-0.055
34722	41.008	29.023	36.758	36.750	36.735	36.731	-0.008	-0.023	-0.027
34810	40.951	29.580	36.964	36.895	36.919	36.906	-0.069	-0.045	-0.058
34815	41.013	29.465	36.727	36.689	36.684	36.686	-0.038	-0.043	-0.041
34828	41.037	29.389	36.656	36.632	36.635	36.623	-0.024	-0.021	-0.033
34854	41.115	29.271	36.466	36.498	36.477	36.482	0.032	0.011	0.016
34858	41.102	29.409	36.416	36.396	36.385	36.424	-0.020	-0.031	0.008
34859	41.090	29.436	36.459	36.413	36.449	36.450	-0.046	-0.010	-0.009
34878	41.136	29.267	36.388	36.440	36.444	36.423	0.052	0.056	0.035
$m_{o7,8} = 0.018$		(A.K.S. 7 ve 8 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o7,11} = 0.030$		(A.K.S. 7 ve 11 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o8,11} = 0.029$		(A.K.S. 8 ve 11 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							

Tablo B.6: 393 nokta ile oluşturulan bulanık modeller ile (alt küme sayısı 10, 11 ve 13) ile hesaplanan test noktalarının geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre bulunan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/niv}$	10	11	13	Fark	Fark	Fark
1012	41.043	29.001	36.764	36.775	36.786	36.767	0.011	0.022	0.003
14205	41.149	28.284	37.547	37.529	37.529	37.523	-0.018	-0.018	-0.024
14690	41.145	28.572	37.400	37.398	37.402	37.400	-0.002	0.002	0.000
15103	41.261	28.874	36.627	36.631	36.607	36.628	0.004	-0.020	0.001
15121	41.248	28.793	36.905	36.904	36.923	36.919	-0.001	0.018	0.014
15135	41.242	28.848	36.792	36.805	36.799	36.801	0.013	0.007	0.009
15251	41.161	28.865	36.931	36.955	36.952	36.934	0.024	0.021	0.003
15842	41.152	29.322	36.340	36.280	36.297	36.291	-0.060	-0.043	-0.049
15848	41.151	29.266	36.333	36.405	36.393	36.429	0.072	0.060	0.096
16024	41.050	29.427	36.609	36.567	36.555	36.567	-0.042	-0.054	-0.042
16105	41.006	29.361	36.656	36.719	36.700	36.692	0.063	0.044	0.036
16302	40.875	29.392	36.875	36.884	36.884	36.897	0.009	0.009	0.022
16315	40.862	29.421	36.884	36.870	36.867	36.871	-0.014	-0.017	-0.013
16356	40.831	29.430	36.792	36.822	36.825	36.826	0.030	0.033	0.034
16380	40.811	29.340	36.724	36.777	36.774	36.765	0.053	0.050	0.041
16435	40.788	29.466	36.794	36.791	36.791	36.799	-0.003	-0.003	0.005
16459	40.774	29.406	36.727	36.752	36.751	36.739	0.025	0.024	0.012
16481	40.772	29.354	36.769	36.766	36.753	36.734	-0.003	-0.016	-0.035
34343	41.080	28.146	37.470	37.445	37.496	37.470	-0.025	0.026	0.000
34349	41.075	28.368	37.317	37.279	37.300	37.287	-0.038	-0.017	-0.030
34351	41.093	28.275	37.410	37.408	37.407	37.404	-0.002	-0.003	-0.006
34363	41.130	28.123	37.541	37.548	37.530	37.535	0.007	-0.011	-0.006
34369	41.152	28.326	37.548	37.567	37.540	37.538	0.019	-0.008	-0.010
34370	41.153	28.370	37.578	37.550	37.552	37.574	-0.028	-0.026	-0.004
34377	41.181	28.193	37.551	37.634	37.629	37.625	0.083	0.078	0.074
34382	41.198	28.328	37.633	37.616	37.607	37.621	-0.017	-0.026	-0.012
34412	41.345	28.406	37.613	37.648	37.657	37.601	0.035	0.044	-0.012
34417	41.327	28.497	37.461	37.423	37.443	37.439	-0.038	-0.018	-0.022
34426	41.398	28.420	37.446	37.461	37.440	37.457	0.015	-0.006	0.011
34454	41.311	28.618	37.120	37.101	37.117	37.124	-0.019	-0.003	0.004
34455	41.303	28.641	37.096	37.082	37.106	37.103	-0.014	0.010	0.007
34462	41.263	28.746	36.976	37.009	36.977	36.976	0.033	0.001	0.000
34472	41.264	28.603	37.381	37.326	37.334	37.325	-0.055	-0.047	-0.056
34491	41.192	28.755	37.120	37.131	37.087	37.125	0.011	-0.033	0.005
34506	41.195	28.630	37.338	37.340	37.342	37.333	0.002	0.004	-0.005
34536	41.113	28.502	37.423	37.416	37.385	37.401	-0.007	-0.038	-0.022
34560	41.044	28.705	37.126	37.031	36.997	37.050	-0.095	-0.129	-0.076
34571	41.025	28.514	37.181	37.098	37.089	37.054	-0.083	-0.092	-0.127
34574	41.026	28.616	37.135	37.112	37.124	37.084	-0.023	-0.011	-0.051
34636	41.128	29.050	36.693	36.694	36.687	36.660	0.001	-0.006	-0.033
34657	41.192	29.035	36.535	36.533	36.456	36.565	-0.002	-0.079	0.030
34667	41.222	29.017	36.445	36.479	36.520	36.389	0.034	0.075	-0.056
34722	41.008	29.023	36.758	36.763	36.755	36.774	0.005	-0.003	0.016
34810	40.951	29.580	36.964	36.905	36.900	36.906	-0.059	-0.064	-0.058
34815	41.013	29.465	36.727	36.678	36.668	36.673	-0.049	-0.059	-0.054
34828	41.037	29.389	36.656	36.625	36.633	36.617	-0.031	-0.023	-0.039
34854	41.115	29.271	36.466	36.494	36.480	36.449	0.028	0.014	-0.017
34858	41.102	29.409	36.416	36.385	36.393	36.403	-0.031	-0.023	-0.013
34859	41.090	29.436	36.459	36.410	36.411	36.390	-0.049	-0.048	-0.069
34878	41.136	29.267	36.388	36.441	36.424	36.449	0.053	0.036	0.061
$m_{o10,\ 11} = 0.021$		(A.K.S. 10 ve 11 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o10,\ 13} = 0.023$		(A.K.S. 10 ve 13 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							
$m_{o11,\ 13} = 0.031$		(A.K.S. 11 ve 13 alındığında bulanık model ile elde edilen sonuçların k.o.h. değeri)							

Tablo B.7: 50, 200 ve 393 nokta ile elde edilen polinom katsayılarından ve oluşturulan bulanık modellerden hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	50 Nokta Pol.			200 Nokta Pol.			393 Nokta Pol.			50 Nokta Bulanık			200 Nokta Bulanık			393 Nokta Bulanık		
			5.der	6.der	7.der	5.der	6.der	7.der	5.der	6.der	7.der	3	4	5	7	8	11	10	11	13
1012	41.043	29.001	0.058	0.046	0.059	0.054	0.048	0.040	0.042	0.034	0.029	0.063	0.096	-0.012	0.019	0.021	-0.020	0.011	0.022	0.003
14205	41.149	28.284	0.024	0.022	0.008	0.013	0.007	0.005	0.008	0.001	0.000	0.059	0.022	-0.011	-0.025	-0.013	-0.016	-0.017	-0.018	-0.024
14690	41.145	28.572	0.017	0.037	0.048	-0.013	0.002	-0.007	-0.015	-0.006	-0.008	0.033	0.002	0.084	-0.005	0.001	-0.016	-0.002	0.003	0.000
15103	41.261	28.874	0.036	0.038	0.045	0.037	0.027	0.015	0.034	0.026	0.013	0.020	0.049	0.065	0.021	0.007	-0.036	0.005	-0.020	0.001
15121	41.248	28.793	0.023	0.013	0.013	0.008	-0.002	0.000	0.006	0.001	0.002	0.017	0.048	-0.026	-0.021	-0.014	-0.003	-0.001	0.019	0.014
15135	41.242	28.848	0.013	0.008	0.006	0.002	-0.005	-0.008	-0.001	-0.003	-0.007	-0.011	0.047	0.051	-0.014	-0.017	-0.015	0.013	0.008	0.009
15251	41.161	28.865	0.033	0.007	0.001	0.007	0.011	0.016	0.002	0.007	0.011	0.012	0.015	-0.097	0.040	0.052	0.024	0.024	0.021	0.003
15842	41.152	29.322	-0.082	-0.044	-0.050	-0.066	-0.054	-0.058	-0.073	-0.055	-0.057	-0.090	-0.064	-0.100	-0.057	-0.033	-0.090	-0.060	-0.044	-0.049
15848	41.151	29.266	0.002	0.036	0.028	0.016	0.032	0.032	0.006	0.032	0.035	0.012	0.022	0.012	0.039	0.084	0.062	0.072	0.060	0.096
16024	41.050	29.427	-0.017	-0.043	-0.044	0.007	-0.008	-0.010	-0.008	-0.018	-0.018	-0.052	-0.040	-0.042	-0.034	-0.035	-0.040	-0.042	-0.054	-0.042
16105	41.006	29.361	0.072	0.070	0.069	0.099	0.097	0.097	0.083	0.074	0.076	0.066	0.088	0.063	0.052	0.075	0.076	0.063	0.043	0.036
16302	40.875	29.392	-0.008	0.006	0.042	-0.023	-0.001	-0.001	-0.032	-0.015	-0.013	-0.016	0.010	-0.055	0.003	0.023	0.007	0.008	0.009	0.021
16315	40.862	29.421	0.009	0.012	0.051	-0.011	0.009	0.006	-0.023	-0.004	-0.004	-0.006	0.021	-0.047	-0.013	0.002	-0.026	-0.014	-0.017	-0.012
16356	40.831	29.430	0.090	0.060	0.072	0.059	0.067	0.058	0.044	0.060	0.052	0.074	0.095	0.051	0.051	0.053	0.038	0.030	0.033	0.034
16380	40.811	29.340	0.013	0.007	0.046	0.008	0.021	0.030	0.018	0.023	0.028	0.011	0.003	0.000	0.051	0.035	0.010	0.052	0.050	0.040
16435	40.788	29.466	0.058	-0.022	-0.161	0.032	-0.005	-0.020	0.002	-0.011	-0.021	0.058	0.070	0.197	0.003	-0.042	-0.001	-0.003	-0.003	0.005
16459	40.774	29.406	0.007	0.002	-0.043	0.026	0.019	0.031	0.017	0.013	0.024	0.018	0.010	0.010	-0.001	0.042	0.027	0.025	0.024	0.013
16481	40.772	29.354	-0.124	-0.050	0.175	-0.068	-0.037	-0.039	-0.052	-0.040	-0.035	-0.104	-0.130	-0.137	0.013	-0.022	-0.022	-0.003	-0.016	-0.035
34343	41.080	28.146	-0.028	-0.046	-0.043	-0.023	-0.024	-0.029	-0.034	-0.043	-0.032	0.013	-0.036	-0.024	-0.004	0.005	0.043	-0.026	0.026	0.000
34349	41.075	28.368	-0.005	0.003	0.010	0.007	0.020	0.026	-0.003	0.011	0.010	0.079	-0.028	0.004	0.025	0.037	-0.020	-0.038	-0.017	-0.030
34351	41.093	28.275	-0.008	-0.018	-0.016	0.002	0.004	0.000	-0.009	-0.008	-0.015	0.090	-0.034	-0.014	0.005	-0.003	0.003	-0.002	-0.003	-0.006
34363	41.130	28.123	0.054	0.035	0.018	0.043	0.043	0.036	0.038	0.048	0.032	0.027	0.086	0.057	0.020	0.007	0.004	0.007	-0.011	-0.006
34369	41.152	28.326	0.023	0.033	0.024	0.009	0.009	0.003	0.004	0.000	-0.002	0.057	0.017	0.003	0.001	-0.014	-0.006	0.019	-0.008	-0.011
34370	41.153	28.370	-0.015	0.005	0.001	-0.033	-0.027	-0.035	-0.036	-0.036	-0.040	0.016	-0.015	0.001	-0.025	-0.042	0.001	-0.028	-0.026	-0.004
34377	41.181	28.193	0.106	0.081	0.047	0.087	0.064	0.075	0.084	0.062	0.075	0.117	0.132	0.083	0.071	0.071	0.064	0.084	0.078	0.074
34382	41.198	28.328	0.042	0.055	0.042	0.013	0.004	-0.006	0.013	-0.005	-0.011	0.045	0.036	-0.010	0.002	0.000	0.019	-0.017	-0.026	-0.011
34412	41.345	28.406	-0.005	0.002	-0.008	0.000	0.005	0.009	-0.006	0.006	0.012	-0.042	-0.036	-0.004	0.042	0.004	0.017	0.035	0.044	-0.013
34417	41.327	28.497	-0.013	-0.010	-0.012	-0.015	-0.017	-0.017	-0.019	-0.018	-0.015	-0.045	0.009	-0.009	-0.033	-0.022	-0.047	-0.038	-0.017	-0.022
34426	41.398	28.420	-0.037	-0.049	-0.071	-0.006	0.011	-0.021	-0.019	0.001	-0.015	-0.018	-0.085	-0.068	-0.040	-0.043	-0.037	0.015	-0.006	0.010

Tablo B.7: 50, 200 ve 393 nokta ile elde edilen polinom katsayılarından ve oluşturulan bulanık modellerden hesaplanan 50 test noktasının geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre olan geoit yüksekliklerinden olan farklar (m biriminde) (devamı).

N.N	Enlem	Boylam	50 Nokta Pol.			200 Nokta Pol.			393 Nokta Pol.			50 Nokta Bulanık			200 Nokta Bulanık			393 Nokta Bulanık		
			5.der	6.der	7.der	5.der	6.der	7.der	5.der	6.der	7.der	3	4	5	7	8	11	10	11	13
34454	41.311	28.618	0.061	0.054	0.070	0.059	0.046	0.043	0.055	0.043	0.044	0.052	0.053	0.079	0.027	0.014	-0.039	-0.019	-0.003	0.004
34455	41.303	28.641	0.051	0.044	0.060	0.047	0.033	0.032	0.044	0.031	0.032	0.044	0.058	0.040	0.013	0.001	-0.040	-0.014	0.010	0.008
34462	41.263	28.746	0.026	0.017	0.023	0.013	0.001	0.003	0.011	0.002	0.005	0.023	0.038	-0.038	-0.004	-0.001	-0.019	0.033	0.002	0.000
34472	41.264	28.603	-0.022	-0.023	-0.032	-0.049	-0.054	-0.046	-0.048	-0.053	-0.046	-0.055	-0.030	-0.070	-0.057	-0.054	-0.050	-0.055	-0.047	-0.056
34491	41.192	28.755	0.026	0.008	-0.002	-0.007	-0.006	0.000	-0.009	-0.008	-0.002	0.018	-0.006	-0.035	0.005	0.016	0.010	0.011	-0.033	0.005
34506	41.195	28.630	0.042	0.043	0.034	0.003	0.009	0.007	0.004	0.003	0.003	0.026	-0.001	0.067	-0.006	0.000	-0.010	0.002	0.004	-0.005
34536	41.113	28.502	-0.022	0.008	0.026	-0.038	-0.017	-0.018	-0.042	-0.022	-0.020	0.027	0.075	0.072	-0.018	-0.026	-0.050	-0.007	-0.038	-0.022
34560	41.044	28.705	-0.054	-0.047	-0.059	-0.063	-0.065	-0.051	-0.066	-0.056	-0.042	-0.103	-0.006	0.078	-0.044	-0.037	-0.108	-0.095	-0.129	-0.075
34571	41.025	28.514	-0.114	-0.102	-0.125	-0.094	-0.087	-0.067	-0.096	-0.088	-0.078	-0.110	0.045	-0.139	-0.065	-0.079	-0.078	-0.083	-0.092	-0.127
34574	41.026	28.616	-0.080	-0.068	-0.103	-0.075	-0.074	-0.048	-0.076	-0.064	-0.045	-0.121	-0.002	-0.048	-0.043	-0.024	-0.026	-0.023	-0.011	-0.051
34636	41.128	29.050	0.007	-0.010	-0.011	0.001	0.011	0.017	-0.012	0.005	0.009	0.043	-0.016	-0.007	0.010	-0.009	0.003	0.001	-0.006	-0.034
34657	41.192	29.035	0.014	0.027	0.008	0.012	0.024	0.017	0.004	0.026	0.019	0.046	0.008	0.095	-0.004	-0.005	-0.061	-0.002	-0.079	0.030
34667	41.222	29.017	0.029	0.052	0.037	0.033	0.041	0.021	0.029	0.042	0.022	0.054	0.050	0.150	0.037	0.027	-0.055	0.035	0.075	-0.056
34722	41.008	29.023	0.032	0.027	0.023	0.030	0.016	0.008	0.020	0.007	0.001	0.041	-0.013	-0.069	-0.009	-0.023	-0.027	0.004	-0.004	0.015
34810	40.951	29.580	-0.076	-0.094	-0.167	-0.056	-0.066	-0.085	-0.060	-0.074	-0.104	-0.130	-0.122	-0.133	-0.069	-0.045	-0.058	-0.059	-0.064	-0.058
34815	41.013	29.465	-0.020	-0.049	-0.076	0.007	-0.011	-0.026	-0.006	-0.025	-0.042	-0.064	-0.050	-0.059	-0.038	-0.044	-0.041	-0.049	-0.060	-0.054
34828	41.037	29.389	-0.007	-0.025	-0.026	0.019	0.010	0.009	0.003	-0.005	-0.003	-0.028	-0.010	-0.026	-0.024	-0.020	-0.033	-0.030	-0.023	-0.039
34854	41.115	29.271	0.000	0.009	0.014	0.014	0.025	0.037	-0.001	0.021	0.037	0.009	0.014	0.000	0.031	0.011	0.016	0.028	0.014	-0.017
34858	41.102	29.409	-0.027	-0.026	-0.021	-0.010	-0.017	-0.004	-0.022	-0.019	-0.005	-0.062	-0.038	-0.035	-0.020	-0.030	0.008	-0.031	-0.022	-0.013
34859	41.090	29.436	-0.040	-0.050	-0.045	-0.023	-0.035	-0.025	-0.036	-0.038	-0.026	-0.080	-0.063	-0.054	-0.045	-0.010	-0.009	-0.048	-0.047	-0.069
34878	41.136	29.267	0.003	0.026	0.023	0.016	0.030	0.037	0.004	0.029	0.039	0.012	0.020	0.026	0.052	0.056	0.034	0.052	0.036	0.061
		Maks.	0.106	0.123	0.073	0.104	0.086	0.096	0.088	0.078	0.074	0.117	0.132	0.197	0.071	0.084	0.076	0.084	0.078	0.096
		Min.	-0.124	-0.138	-0.138	-0.096	-0.092	-0.089	-0.097	-0.087	-0.099	-0.130	-0.130	-0.139	-0.070	-0.079	-0.108	-0.095	-0.129	-0.127
		m_{od}	0.047	0.048	0.049	0.040	0.039	0.035	0.038	0.035	0.034	0.059	0.054	0.069	0.034	0.035	0.040	0.024	0.025	0.024

Tablo B.8: İGNA raporunda bulunan 5. derece polinom katsayıları ile 200 nokta kullanılarak elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasına ilişkin geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklara ait maksimum, minimum ve dış doğruluk değerleri (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/Niv}$	İGNA Rapor	5.der Pol.	6. der. Pol.	7. der. Pol	İGNA (fark)	5. der (fark)	6.der (Fark)	7.der (fark)
1012	41.043	29.001	36.764	36.810	36.824	36.810	36.805	0.045	0.060	0.046	0.041
14205	41.149	28.284	37.547	37.536	37.561	37.569	37.552	-0.011	0.014	0.022	0.005
14690	41.145	28.572	37.400	37.381	37.385	37.407	37.394	-0.019	-0.015	0.007	-0.006
15103	41.261	28.874	36.627	36.629	36.668	36.656	36.638	0.003	0.041	0.029	0.011
15121	41.248	28.793	36.905	36.873	36.917	36.904	36.901	-0.032	0.012	-0.001	-0.004
15135	41.242	28.848	36.792	36.756	36.798	36.790	36.780	-0.035	0.006	-0.002	-0.012
15251	41.161	28.865	36.931	36.919	36.943	36.950	36.949	-0.012	0.012	0.019	0.018
15842	41.152	29.322	36.340	36.261	36.266	36.295	36.286	-0.080	-0.074	-0.045	-0.054
15848	41.151	29.266	36.333	36.333	36.344	36.375	36.369	0.000	0.011	0.042	0.036
16024	41.050	29.427	36.609	36.601	36.612	36.599	36.601	-0.008	0.003	-0.010	-0.008
16105	41.006	29.361	36.656	36.736	36.760	36.742	36.752	0.080	0.104	0.086	0.096
16302	40.875	29.392	36.875	36.814	36.852	36.873	36.875	-0.062	-0.023	-0.002	0.000
16315	40.862	29.421	36.884	36.838	36.871	36.895	36.892	-0.046	-0.013	0.011	0.008
16356	40.831	29.430	36.792	36.825	36.845	36.867	36.854	0.033	0.053	0.075	0.062
16380	40.811	29.340	36.724	36.680	36.726	36.765	36.756	-0.044	0.002	0.041	0.032
16435	40.788	29.466	36.794	36.839	36.819	36.784	36.772	0.045	0.025	-0.010	-0.022
16459	40.774	29.406	36.727	36.745	36.753	36.744	36.757	0.018	0.026	0.017	0.030
16481	40.772	29.354	36.769	36.657	36.708	36.746	36.733	-0.112	-0.061	-0.023	-0.036
34343	41.080	28.146	37.470	37.440	37.443	37.421	37.442	-0.031	-0.027	-0.049	-0.028
34349	41.075	28.368	37.317	37.321	37.324	37.337	37.343	0.004	0.007	0.020	0.026
34351	41.093	28.275	37.410	37.402	37.413	37.415	37.409	-0.008	0.003	0.005	-0.001
34363	41.130	28.123	37.541	37.557	37.584	37.585	37.576	0.016	0.043	0.044	0.035
34369	41.152	28.326	37.548	37.536	37.557	37.570	37.552	-0.013	0.009	0.022	0.004
34370	41.153	28.370	37.578	37.527	37.544	37.562	37.544	-0.050	-0.034	-0.016	-0.034
34377	41.181	28.193	37.551	37.596	37.642	37.635	37.627	0.045	0.091	0.084	0.076
34382	41.198	28.328	37.633	37.611	37.644	37.643	37.629	-0.021	0.011	0.010	-0.004
34412	41.345	28.406	37.613	37.553	37.611	37.613	37.618	-0.060	-0.002	0.000	0.005
34417	41.327	28.497	37.461	37.389	37.446	37.436	37.439	-0.072	-0.015	-0.025	-0.022
34426	41.398	28.420	37.446	37.394	37.442	37.479	37.435	-0.052	-0.004	0.033	-0.011
34454	41.311	28.618	37.120	37.128	37.182	37.161	37.160	0.008	0.062	0.041	0.040
34455	41.303	28.641	37.096	37.093	37.146	37.124	37.124	-0.002	0.050	0.028	0.028
34462	41.263	28.746	36.976	36.945	36.993	36.974	36.974	-0.031	0.017	-0.002	-0.002
34472	41.264	28.603	37.381	37.286	37.332	37.315	37.329	-0.096	-0.049	-0.066	-0.052
34491	41.192	28.755	37.120	37.087	37.116	37.116	37.119	-0.033	-0.004	-0.004	-0.001
34506	41.195	28.630	37.338	37.318	37.341	37.344	37.343	-0.020	0.003	0.006	0.005
34536	41.113	28.502	37.423	37.386	37.383	37.412	37.407	-0.037	-0.040	-0.011	-0.016
34560	41.044	28.705	37.126	37.066	37.059	37.061	37.077	-0.060	-0.067	-0.065	-0.049
34571	41.025	28.514	37.181	37.079	37.085	37.089	37.116	-0.102	-0.096	-0.092	-0.065
34574	41.026	28.616	37.135	37.057	37.056	37.056	37.090	-0.078	-0.079	-0.079	-0.045
34636	41.128	29.050	36.693	36.677	36.699	36.714	36.715	-0.017	0.006	0.021	0.022
34657	41.192	29.035	36.535	36.520	36.549	36.569	36.553	-0.016	0.014	0.034	0.018
34667	41.222	29.017	36.445	36.450	36.479	36.493	36.465	0.005	0.034	0.048	0.020
34722	41.008	29.023	36.758	36.773	36.792	36.766	36.763	0.015	0.034	0.008	0.005
34810	40.951	29.580	36.964	36.871	36.911	36.896	36.875	-0.093	-0.053	-0.068	-0.089
34815	41.013	29.465	36.727	36.715	36.734	36.710	36.699	-0.013	0.007	-0.017	-0.028
34828	41.037	29.389	36.656	36.659	36.675	36.660	36.666	0.004	0.019	0.004	0.010
34854	41.115	29.271	36.466	36.464	36.477	36.498	36.508	-0.002	0.011	0.032	0.042
34858	41.102	29.409	36.416	36.392	36.398	36.406	36.415	-0.024	-0.018	-0.010	-0.001
34859	41.090	29.436	36.459	36.421	36.428	36.429	36.436	-0.038	-0.031	-0.030	-0.023
34878	41.136	29.267	36.388	36.388	36.400	36.428	36.430	0.000	0.012	0.040	0.042
							Min.	-0.112	-0.096	-0.092	-0.089
							Maks.	0.080	0.104	0.086	0.096
							m_{od}	0.046	0.040	0.039	0.035

Tablo B.9: İGNA raporunda bulunan 5. derece polinom katsayıları ile 393 nokta kullanılarak elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasına ilişkin geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklara ait maksimum, minimum ve dış doğruluk değerleri (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/Niv}$	İGNA Rapor	5. der. Pol.	6. der. Pol.	7. der. Pol	İGNA (fark)	5. (fark)	6. (Fark)	7. (fark)
1012	41.043	29.001	36.764	36.810	36.809	36.797	36.795	0.045	0.045	0.033	0.031
14205	41.149	28.284	37.547	37.536	37.558	37.547	37.547	-0.011	0.011	0.000	0.000
14690	41.145	28.572	37.400	37.381	37.385	37.394	37.391	-0.019	-0.015	-0.006	-0.009
15103	41.261	28.874	36.627	36.629	36.662	36.656	36.641	0.003	0.035	0.029	0.014
15121	41.248	28.793	36.905	36.873	36.909	36.904	36.905	-0.032	0.004	-0.001	0.000
15135	41.242	28.848	36.792	36.756	36.790	36.789	36.785	-0.035	-0.002	-0.003	-0.007
15251	41.161	28.865	36.931	36.919	36.930	36.936	36.940	-0.012	-0.001	0.005	0.009
15842	41.152	29.322	36.340	36.261	36.265	36.288	36.282	-0.080	-0.075	-0.052	-0.058
15848	41.151	29.266	36.333	36.333	36.337	36.368	36.366	0.000	0.004	0.035	0.033
16024	41.050	29.427	36.609	36.601	36.599	36.591	36.590	-0.008	-0.010	-0.018	-0.019
16105	41.006	29.361	36.656	36.736	36.742	36.735	36.730	0.080	0.086	0.079	0.074
16302	40.875	29.392	36.875	36.814	36.843	36.858	36.863	-0.062	-0.032	-0.017	-0.012
16315	40.862	29.421	36.884	36.838	36.860	36.878	36.880	-0.046	-0.024	-0.006	-0.004
16356	40.831	29.430	36.792	36.825	36.833	36.850	36.845	0.033	0.041	0.058	0.053
16380	40.811	29.340	36.724	36.680	36.734	36.749	36.752	-0.044	0.010	0.025	0.028
16435	40.788	29.466	36.794	36.839	36.793	36.782	36.773	0.045	-0.001	-0.012	-0.021
16459	40.774	29.406	36.727	36.745	36.743	36.742	36.751	0.018	0.016	0.015	0.024
16481	40.772	29.354	36.769	36.657	36.718	36.731	36.733	-0.112	-0.051	-0.038	-0.036
34343	41.080	28.146	37.470	37.440	37.427	37.434	37.436	-0.031	-0.043	-0.036	-0.034
34349	41.075	28.368	37.317	37.321	37.315	37.327	37.329	0.004	-0.002	0.010	0.012
34351	41.093	28.275	37.410	37.402	37.402	37.400	37.395	-0.008	-0.008	-0.010	-0.015
34363	41.130	28.123	37.541	37.557	37.578	37.586	37.574	0.016	0.037	0.045	0.033
34369	41.152	28.326	37.548	37.536	37.556	37.550	37.548	-0.013	0.008	0.002	0.000
34370	41.153	28.370	37.578	37.527	37.544	37.544	37.541	-0.050	-0.034	-0.034	-0.037
34377	41.181	28.193	37.551	37.596	37.639	37.610	37.623	0.045	0.088	0.059	0.072
34382	41.198	28.328	37.633	37.611	37.646	37.632	37.626	-0.021	0.013	-0.001	-0.007
34412	41.345	28.406	37.613	37.553	37.605	37.615	37.626	-0.060	-0.008	0.002	0.013
34417	41.327	28.497	37.461	37.389	37.441	37.440	37.445	-0.072	-0.020	-0.021	-0.016
34426	41.398	28.420	37.446	37.394	37.432	37.448	37.432	-0.052	-0.014	0.002	-0.014
34454	41.311	28.618	37.120	37.128	37.176	37.162	37.162	0.008	0.056	0.042	0.042
34455	41.303	28.641	37.096	37.093	37.140	37.126	37.126	-0.002	0.044	0.030	0.030
34462	41.263	28.746	36.976	36.945	36.986	36.976	36.978	-0.031	0.010	0.000	0.002
34472	41.264	28.603	37.381	37.286	37.329	37.324	37.333	-0.096	-0.052	-0.057	-0.048
34491	41.192	28.755	37.120	37.087	37.108	37.109	37.115	-0.033	-0.012	-0.011	-0.005
34506	41.195	28.630	37.338	37.318	37.339	37.339	37.339	-0.020	0.001	0.001	0.001
34536	41.113	28.502	37.423	37.386	37.383	37.402	37.404	-0.037	-0.040	-0.021	-0.019
34560	41.044	28.705	37.126	37.066	37.060	37.069	37.078	-0.060	-0.066	-0.057	-0.048
34571	41.025	28.514	37.181	37.079	37.084	37.093	37.104	-0.102	-0.097	-0.088	-0.077
34574	41.026	28.616	37.135	37.057	37.059	37.073	37.087	-0.078	-0.076	-0.062	-0.048
34636	41.128	29.050	36.693	36.677	36.680	36.699	36.703	-0.017	-0.013	0.006	0.010
34657	41.192	29.035	36.535	36.520	36.538	36.564	36.555	-0.016	0.003	0.029	0.020
34667	41.222	29.017	36.445	36.450	36.473	36.491	36.469	0.005	0.028	0.046	0.024
34722	41.008	29.023	36.758	36.773	36.781	36.763	36.761	0.015	0.023	0.005	0.003
34810	40.951	29.580	36.964	36.871	36.907	36.892	36.865	-0.093	-0.057	-0.072	-0.099
34815	41.013	29.465	36.727	36.715	36.722	36.703	36.686	-0.013	-0.005	-0.024	-0.041
34828	41.037	29.389	36.656	36.659	36.659	36.653	36.650	0.004	0.003	-0.003	-0.006
34854	41.115	29.271	36.466	36.464	36.463	36.490	36.500	-0.002	-0.003	0.024	0.034
34858	41.102	29.409	36.416	36.392	36.390	36.396	36.410	-0.024	-0.026	-0.020	-0.006
34859	41.090	29.436	36.459	36.421	36.420	36.419	36.432	-0.038	-0.039	-0.040	-0.027
34878	41.136	29.267	36.388	36.388	36.389	36.420	36.425	0.000	0.001	0.032	0.037
							Min.	-0.112	-0.097	-0.088	-0.099
							Maks.	0.080	0.088	0.079	0.074
							m_{od}	0.046	0.038	0.035	0.034

Tablo B.10: İGNA raporunda bulunan 5. derece polinom katsayıları ile 443 nokta kullanılarak elde edilen 5., 6. ve 7. derece polinom katsayılarından hesaplanan 50 test noktasına ilişkin geoit yükseklikleri ve GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farklara ait maksimum, minimum ve dış doğruluk değerleri (m biriminde).

N.N	Enlem	Boylam	$N_{GPS/Niv}$	İGNA Rapor	5. der. Pol.	6. der. Pol.	7. der. Pol	İGNA (fark)	5. der (fark)	6.der (Fark)	7.der (fark)
1012	41.043	29.001	36.764	36.810	36.805	36.797	36.792	0.045	0.041	0.033	0.028
14205	41.149	28.284	37.547	37.536	37.555	37.542	37.546	-0.011	0.008	-0.004	0.000
14690	41.145	28.572	37.400	37.381	37.386	37.396	37.392	-0.019	-0.014	-0.004	-0.007
15103	41.261	28.874	36.627	36.629	36.661	36.651	36.639	0.003	0.034	0.024	0.012
15121	41.248	28.793	36.905	36.873	36.911	36.906	36.906	-0.032	0.006	0.001	0.001
15135	41.242	28.848	36.792	36.756	36.791	36.789	36.784	-0.035	-0.001	-0.003	-0.008
15251	41.161	28.865	36.931	36.919	36.929	36.942	36.938	-0.012	-0.002	0.011	0.007
15842	41.152	29.322	36.340	36.261	36.276	36.284	36.288	-0.080	-0.065	-0.056	-0.053
15848	41.151	29.266	36.333	36.333	36.345	36.364	36.368	0.000	0.012	0.031	0.035
16024	41.050	29.427	36.609	36.601	36.600	36.589	36.589	-0.008	-0.009	-0.020	-0.020
16105	41.006	29.361	36.656	36.736	36.734	36.739	36.730	0.080	0.078	0.083	0.073
16302	40.875	29.392	36.875	36.814	36.842	36.861	36.861	-0.062	-0.034	-0.014	-0.015
16315	40.862	29.421	36.884	36.838	36.860	36.881	36.878	-0.046	-0.024	-0.003	-0.005
16356	40.831	29.430	36.792	36.825	36.836	36.851	36.842	0.033	0.044	0.059	0.050
16380	40.811	29.340	36.724	36.680	36.740	36.745	36.750	-0.044	0.016	0.021	0.026
16435	40.788	29.466	36.794	36.839	36.795	36.781	36.772	0.045	0.002	-0.013	-0.022
16459	40.774	29.406	36.727	36.745	36.743	36.743	36.751	0.018	0.016	0.016	0.024
16481	40.772	29.354	36.769	36.657	36.718	36.731	36.734	-0.112	-0.051	-0.037	-0.035
34343	41.080	28.146	37.470	37.440	37.432	37.433	37.441	-0.031	-0.039	-0.037	-0.029
34349	41.075	28.368	37.317	37.321	37.317	37.332	37.332	0.004	0.000	0.015	0.015
34351	41.093	28.275	37.410	37.402	37.402	37.402	37.396	-0.008	-0.009	-0.008	-0.014
34363	41.130	28.123	37.541	37.557	37.580	37.585	37.567	0.016	0.039	0.044	0.026
34369	41.152	28.326	37.548	37.536	37.553	37.545	37.548	-0.013	0.005	-0.003	0.000
34370	41.153	28.370	37.578	37.527	37.543	37.540	37.541	-0.050	-0.035	-0.038	-0.036
34377	41.181	28.193	37.551	37.596	37.633	37.609	37.620	0.045	0.082	0.058	0.070
34382	41.198	28.328	37.633	37.611	37.642	37.626	37.625	-0.021	0.010	-0.007	-0.008
34412	41.345	28.406	37.613	37.553	37.616	37.623	37.626	-0.060	0.003	0.009	0.012
34417	41.327	28.497	37.461	37.389	37.449	37.446	37.447	-0.072	-0.012	-0.015	-0.013
34426	41.398	28.420	37.446	37.394	37.435	37.459	37.435	-0.052	-0.012	0.013	-0.011
34454	41.311	28.618	37.120	37.128	37.179	37.165	37.166	0.008	0.059	0.045	0.046
34455	41.303	28.641	37.096	37.093	37.143	37.128	37.130	-0.002	0.047	0.032	0.034
34462	41.263	28.746	36.976	36.945	36.988	36.978	36.980	-0.031	0.012	0.002	0.005
34472	41.264	28.603	37.381	37.286	37.334	37.329	37.335	-0.096	-0.047	-0.053	-0.047
34491	41.192	28.755	37.120	37.087	37.108	37.115	37.115	-0.033	-0.012	-0.005	-0.005
34506	41.195	28.630	37.338	37.318	37.340	37.344	37.340	-0.020	0.002	0.006	0.001
34536	41.113	28.502	37.423	37.386	37.386	37.400	37.407	-0.037	-0.037	-0.023	-0.016
34560	41.044	28.705	37.126	37.066	37.068	37.062	37.086	-0.060	-0.057	-0.064	-0.040
34571	41.025	28.514	37.181	37.079	37.092	37.106	37.110	-0.102	-0.089	-0.075	-0.071
34574	41.026	28.616	37.135	37.057	37.069	37.071	37.097	-0.078	-0.066	-0.064	-0.038
34636	41.128	29.050	36.693	36.677	36.677	36.703	36.698	-0.017	-0.016	0.010	0.005
34657	41.192	29.035	36.535	36.520	36.540	36.563	36.551	-0.016	0.005	0.028	0.016
34667	41.222	29.017	36.445	36.450	36.475	36.487	36.465	0.005	0.030	0.042	0.020
34722	41.008	29.023	36.758	36.773	36.780	36.757	36.760	0.015	0.021	-0.002	0.001
34810	40.951	29.580	36.964	36.871	36.902	36.890	36.862	-0.093	-0.062	-0.074	-0.102
34815	41.013	29.465	36.727	36.715	36.718	36.703	36.684	-0.013	-0.009	-0.024	-0.044
34828	41.037	29.389	36.656	36.659	36.656	36.654	36.649	0.004	0.000	-0.002	-0.007
34854	41.115	29.271	36.466	36.464	36.467	36.487	36.499	-0.002	0.001	0.021	0.033
34858	41.102	29.409	36.416	36.392	36.399	36.391	36.414	-0.024	-0.016	-0.024	-0.002
34859	41.090	29.436	36.459	36.421	36.428	36.414	36.435	-0.038	-0.030	-0.045	-0.023
34878	41.136	29.267	36.388	36.388	36.397	36.417	36.426	0.000	0.008	0.028	0.038
							Min.	-0.112	-0.089	-0.075	-0.102
							Maks.	0.080	0.082	0.083	0.073
							m_{od}	0.046	0.036	0.035	0.033

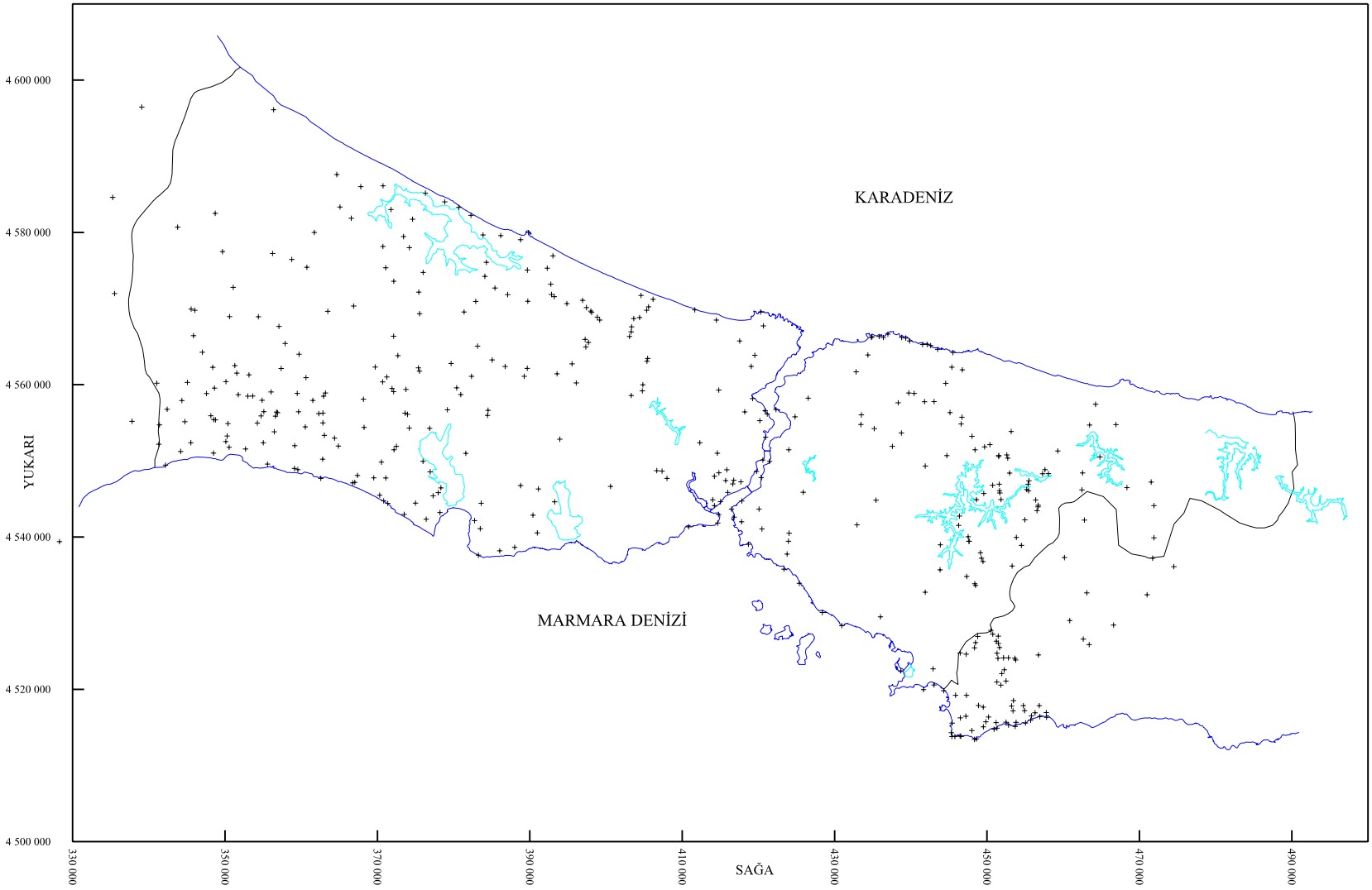
Tablo B.11: Yapılan hesaplamalarda maksimum ve minimum hatanın (farkın) bulunduğu nokta numaraları

Yöntem	Kullanılan Nokta sayısı		Maksimum hatanın (farkın) olduğu nokta numarası			Minimum hatanın (farkın) olduğu nokta numarası		
			Polinom derecesi			Polinom derecesi		
			5	6	7	5	6	7
GPS/nivelman polinom	Dayanak noktaları	50	34193	34310	34193	34058	34058	34058
		200	34310	34310	34310	34541	15783	34058
		393	34432	34310	34925	34432	15786	34058
		443 (P=1)	34432	34310	34310	34694	34740	34058
		443 (P≠1)	34432	34561	34561	34694	15786	34058
EGM – GPS/ nivelman polinom	Dayanak noktaları	50	34193	34193	34152	34301	34058	34058
		200	34310	34310	34640	34541	34495	15783
GPS/nivelman polinom	Test noktaları	50	34377	34377	16105	16481	34571	16435
		200	16105	16105	16105	34571	34571	34810
		393	34377	16105	16105	34571	34571	34810
EGM – GPS/ nivelman polinom	Test noktaları	50	34377	16105	16105	16481	34571	34810
		200	16105	16105	16105	34571	34571	34810
Bulanık Mantık	Dayanak noktaları		Alt Küme Sayısı			Alt Küme Sayısı		
		50	3	4	5	3	4	5
			34377	34377	16435	34810	16481	34571
		200	7	8	11	7	8	11
			34377	15848	16105	34810	34571	34560
		393	10	11	13	10	11	13
			34377	34377	15848	34560	34560	34571

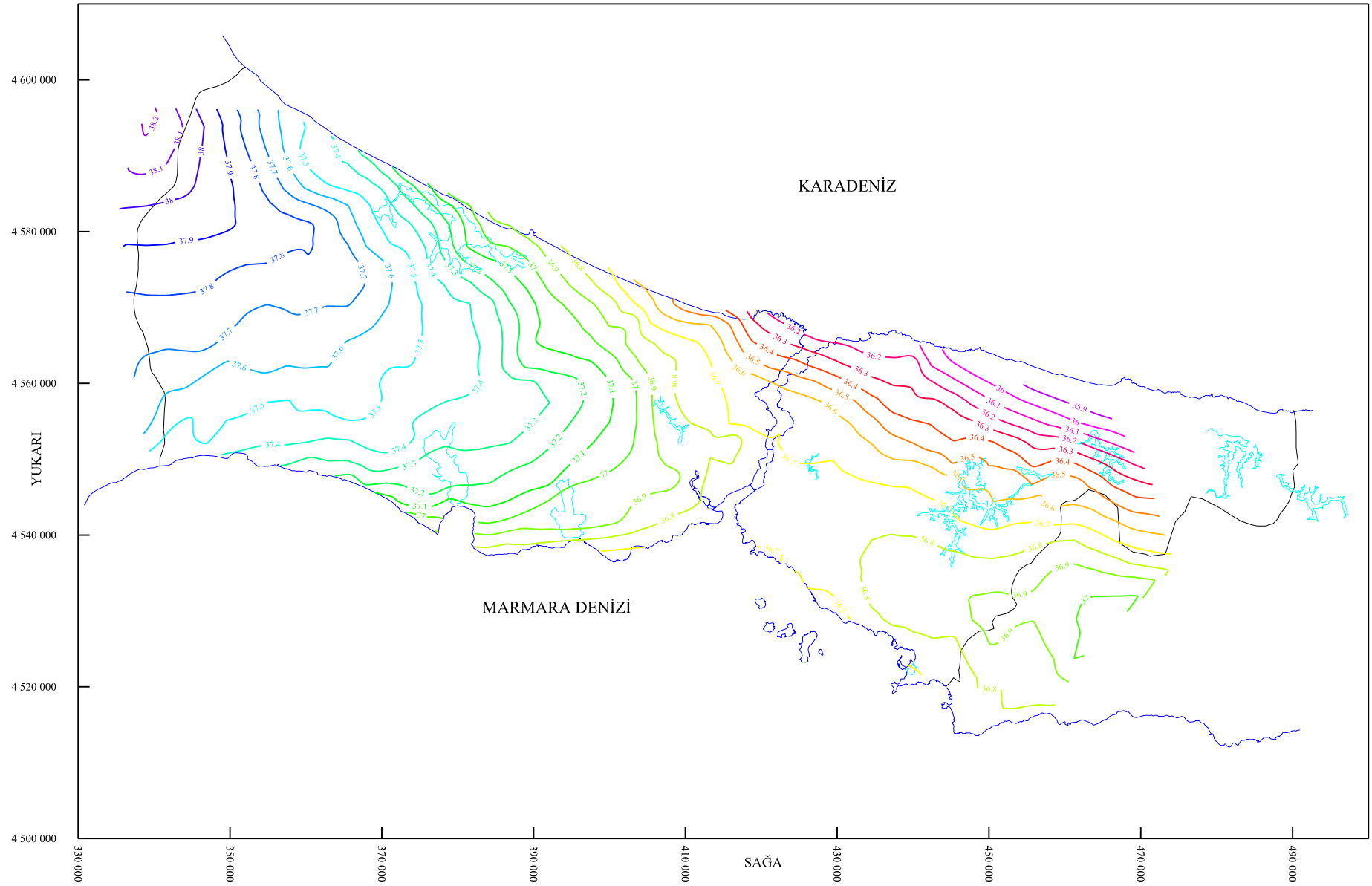
EK C

İstanbul Metropolitan Alanında geoit araştırması için yapılan hesaplamalarda kullanılan noktaların İstanbul içindeki dağılımı ve yöntemlerde elde edilen sonuçlara ait şematik gösterimler

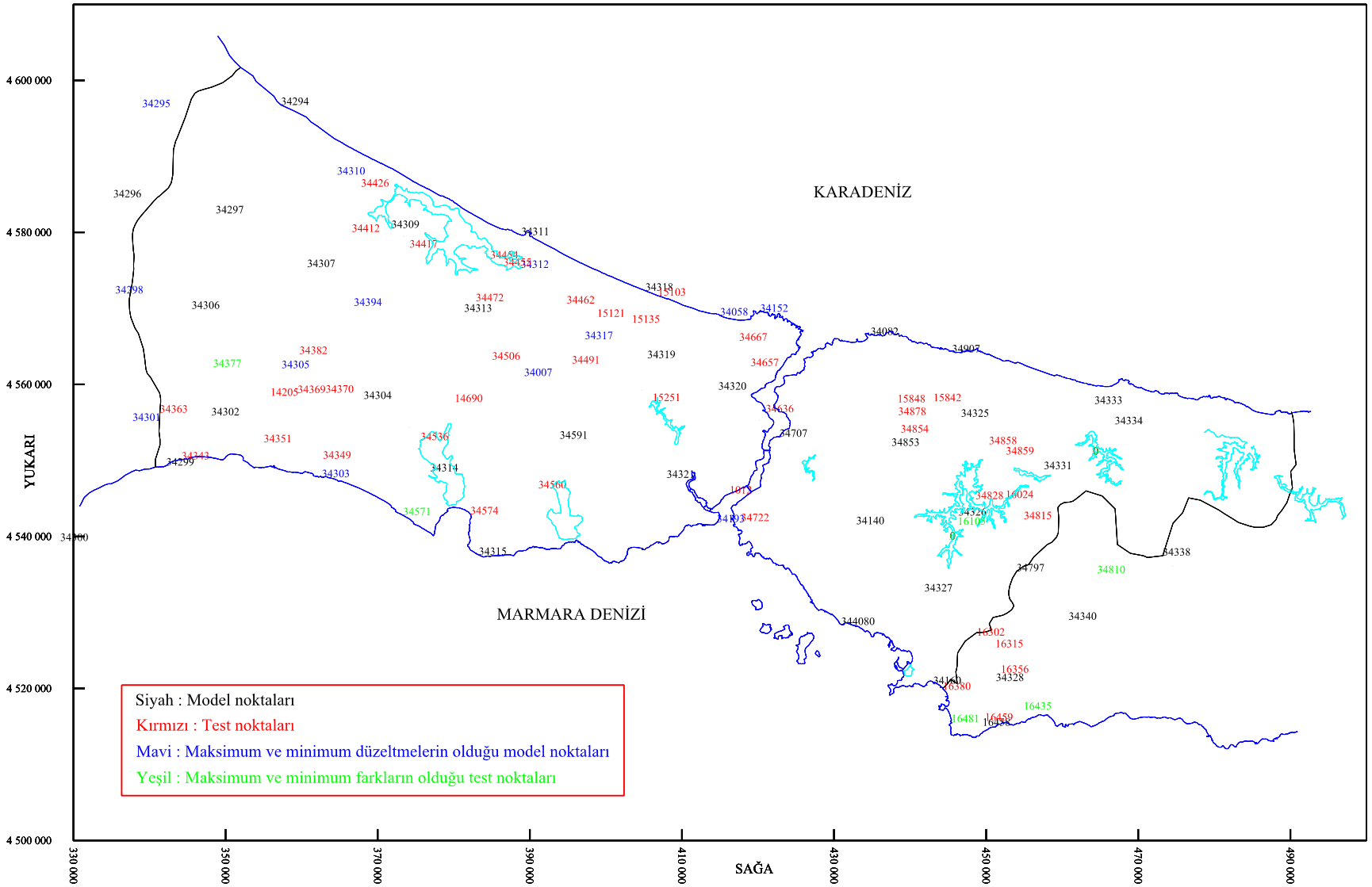
Şekil C.1: Hesaplarda kullanılan 443 noktanın İstanbul içindeki dağılımı.



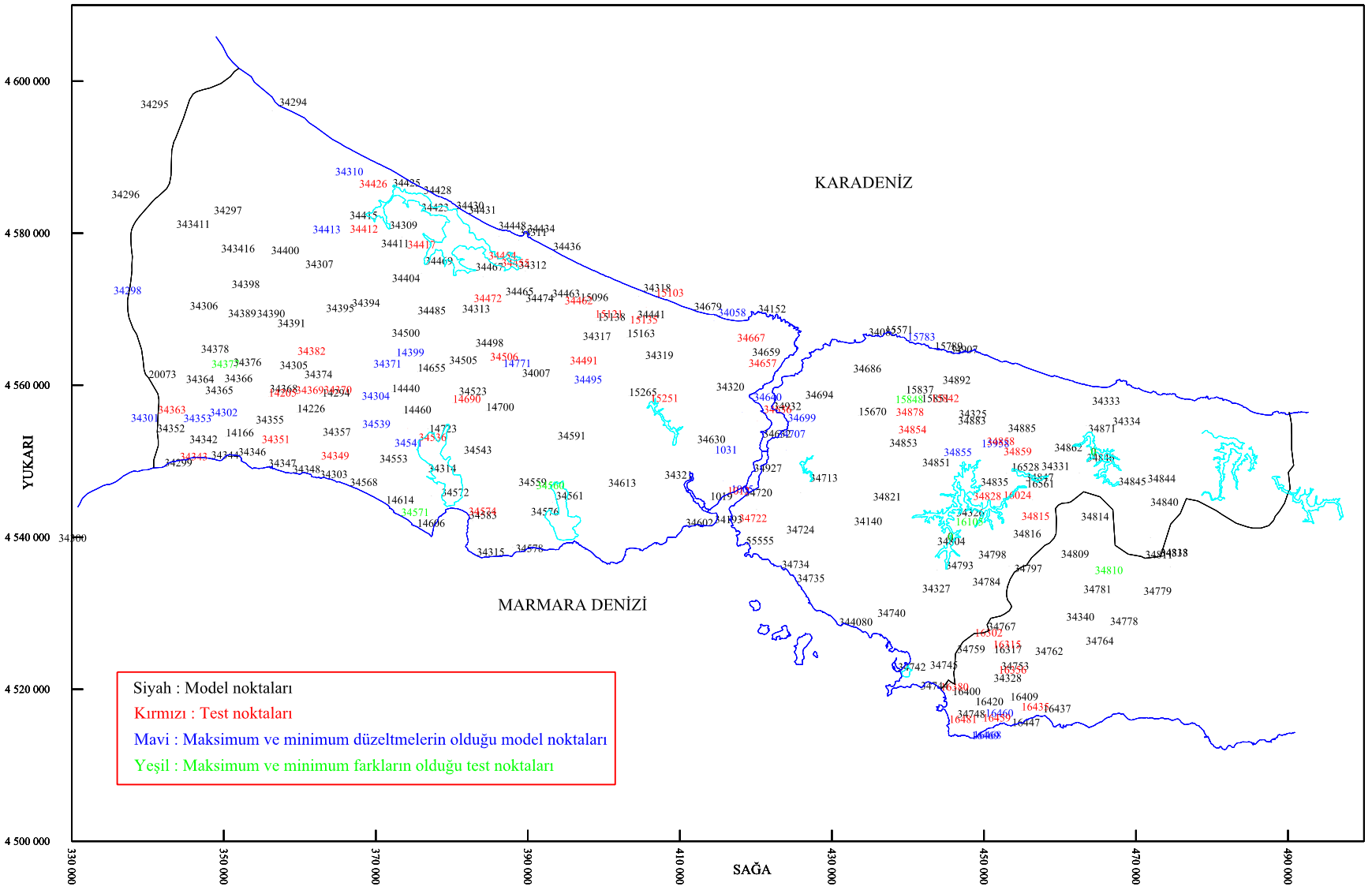
Şekil C.2: GPS/Nivelman yöntemine göre 443 noktadan yararlanılarak predikte edilen eş geoit yükseklikleri (eğri aralıkları 0.1 m).



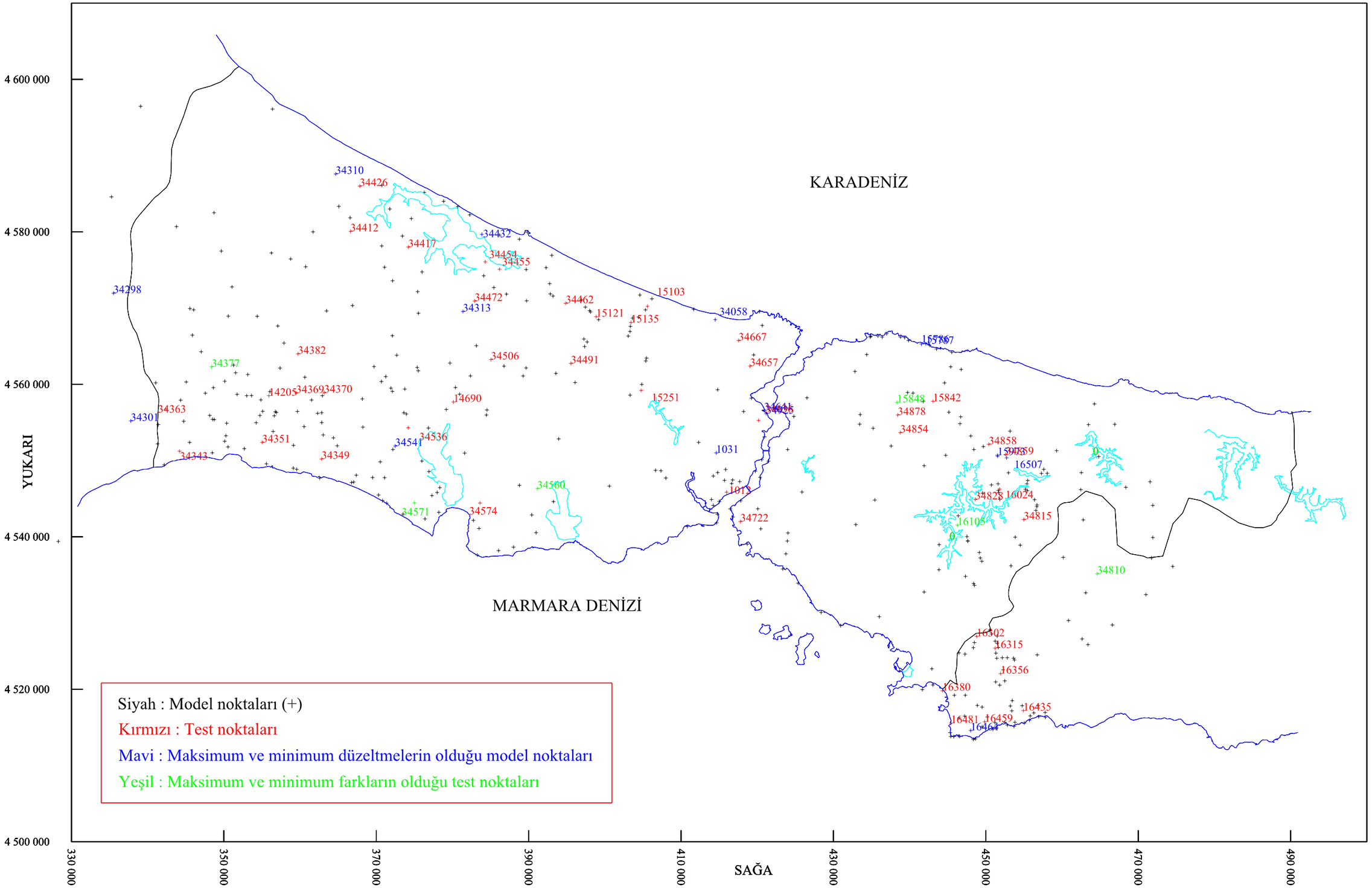
Şekil C.3: Seçilen 50 dayanak (model) ve 50 test noktasının İstanbul içindeki dağılımı.



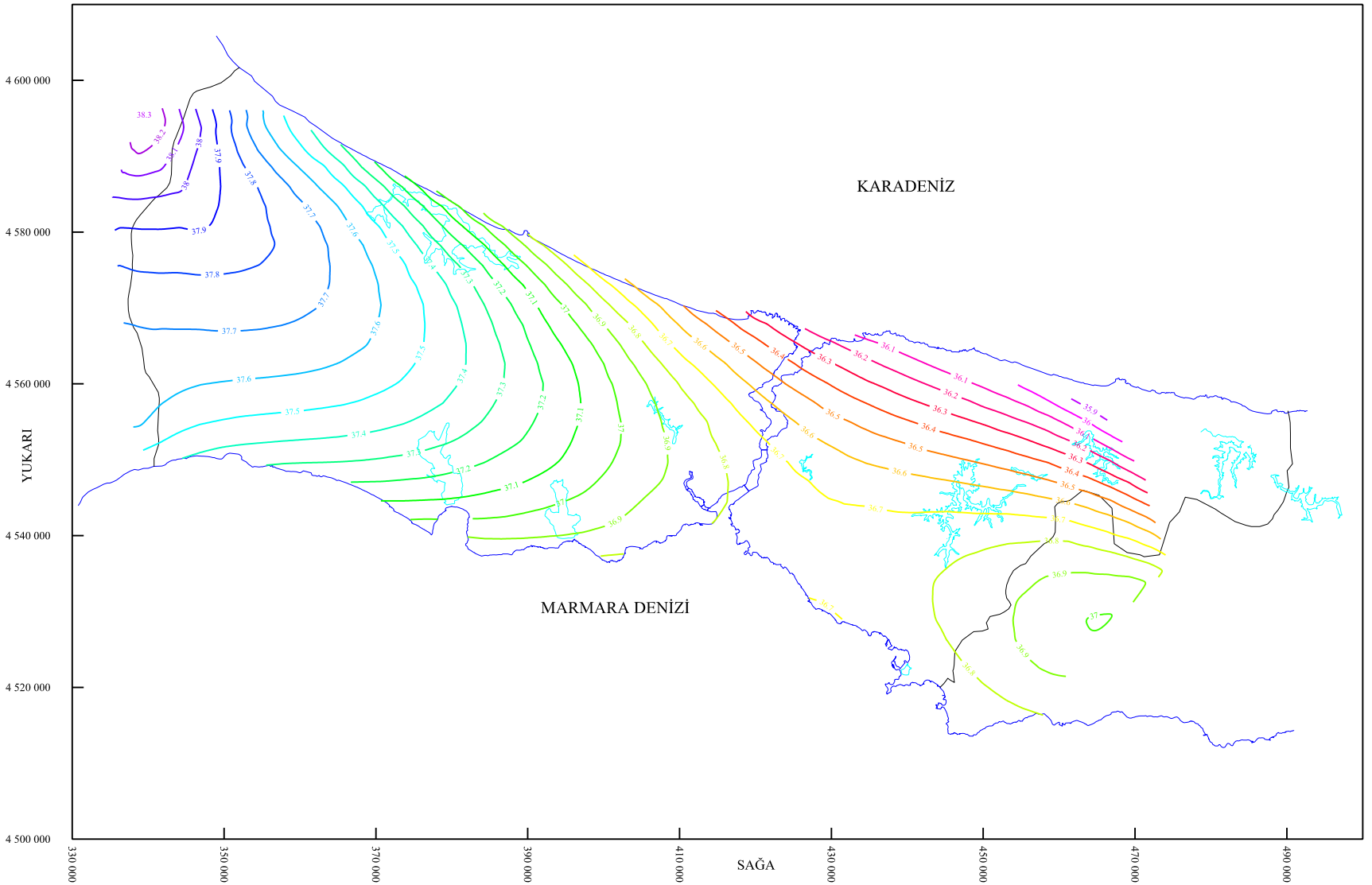
Şekil C.4: Seçilen 200 dayanak ve 50 test noktasının İstanbul içindeki dağılımı.



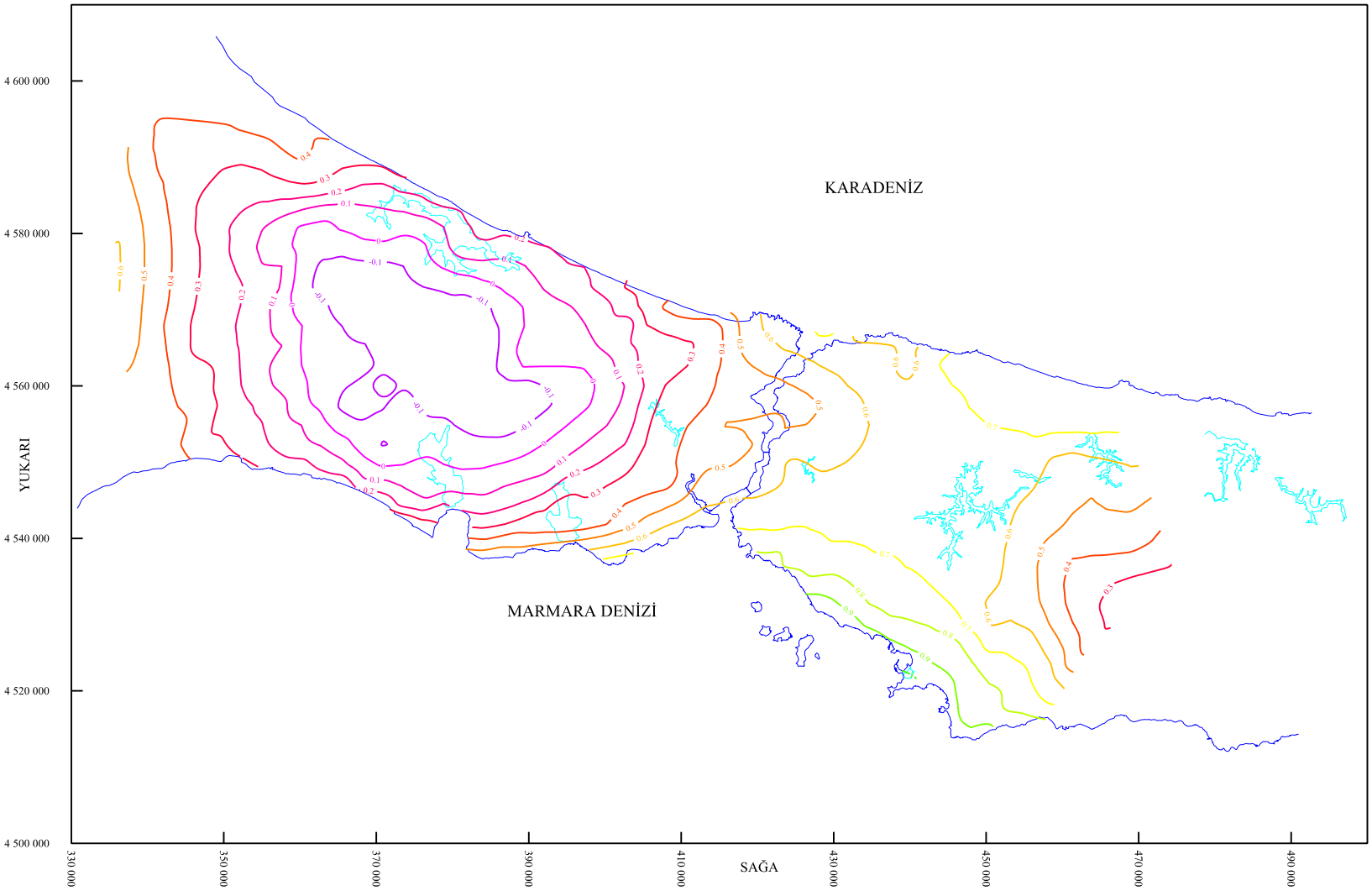
Şekil C.5: Seçilen 393 dayanak ve 50 test noktasının İstanbul içindeki dağılımı.



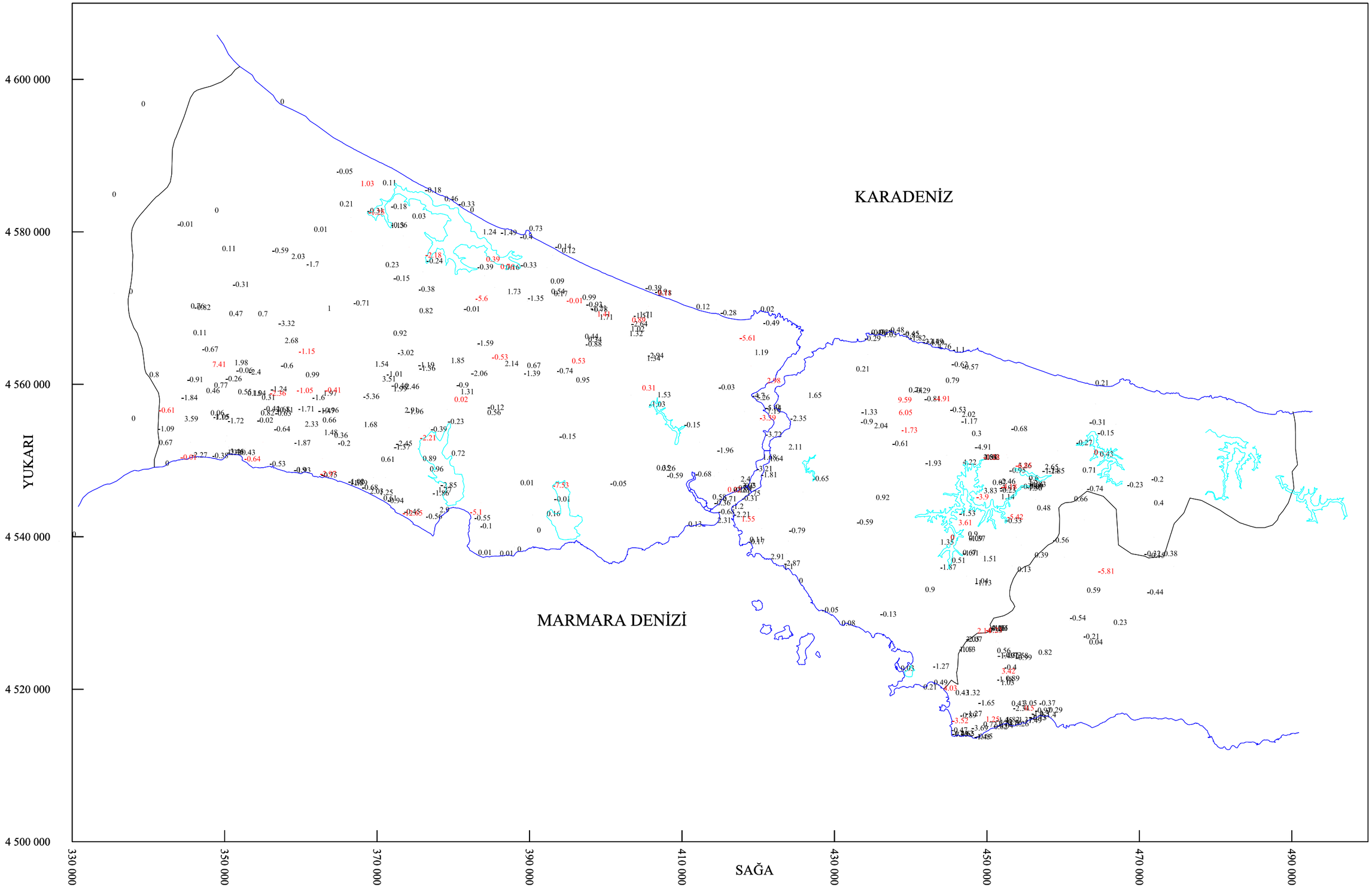
Şekil C.6: 443 noktada 5. derece polinom katsayılarından hesaplanmış geoit yüksekliklerine ilişkin eş geoit yükseklikleri (eğri aralığı 0.1 m).



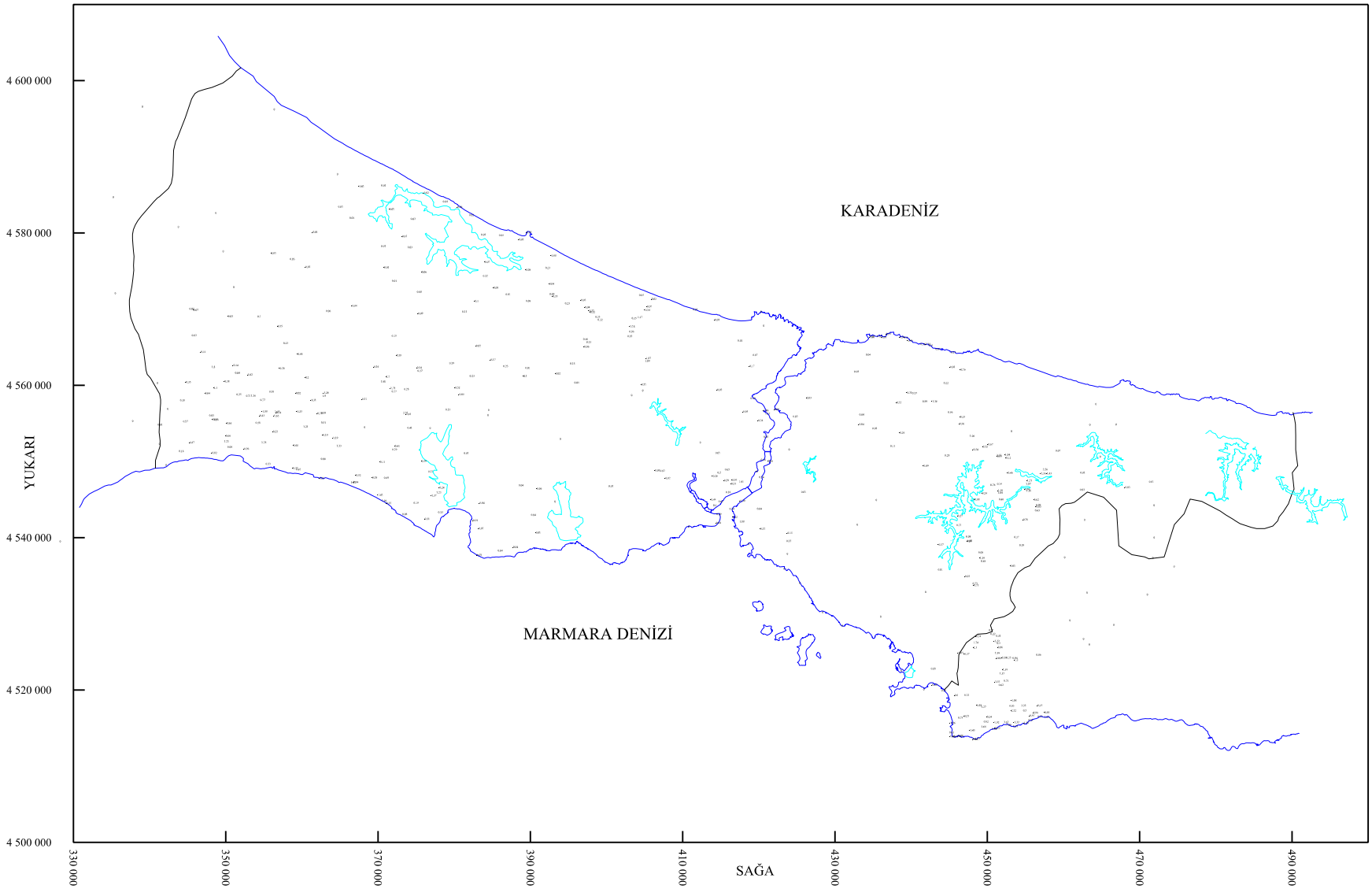
Şekil C.7: 443 noktada EGM96 yeryuvarı modeline göre hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre belirlenen geoit yükseklikleri arasındaki farkları (EGM96 yeryuvarı modelinden sapmaları) gösteren eş yükseklik eğrileri (eğri aralığı 0.1 m).



Şekil C.8: 393 nokta ve enlem ve boylam değerleri 13 alt kümeye ayrılarak oluşturulan bulanık model ile hesaplanan model ve test noktalarında elde edilen geoit yüksekliklerinin GPS/nivelman yöntemine göre geoit yüksekliklerinden olan farkların İstanbul içindeki dağılımı (cm biriminde).



Şekil C.9: 443 nokta ile enlem ve boylam 20 alt kümeye ayrılarak oluşturulan bulanık modele göre model noktalarının hesaplanan geoit yükseklikleri ile GPS/nivelman yöntemine göre geoit yükseklikleri arasındaki farkların İstanbul içindeki dağılımı (cm biriminde).



ÖZGEÇMİŞ

1968 Yılında Kırşehir'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kırşehir'de tamamladı. 1985 – 1989 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'ne devam etti. 1989 yılında bu bölümden mezun oldu ve 1989- 1993 yılları arasında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ensititüsünde Jeodezi Anabilim dalında yüksek lisans programına devam etti ve 1993 yılında yüksek lisans programını tamamladı. 1994 yılında Y.Ö.K'ün yapmış olduğu Yurtdışı Lisansüstü Eğitim sınavını kazanarak Harran Üniversitesine araştırma görevlisi olarak atandı. Mart 1994'de Amerika Birleşik Devletlerinde Ohio Devlet Üniversitesinde Master eğitimine başladı ve Aralık 1996'da tamamladı. Ağustos 1997'de Türkiye'ye döndü ve bir yıl Harran Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Eylül 1998'de 35. madde gereğince İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne geçici kadro ile araştırma görevlisi olarak atandı ve halen bu kurumda çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.