T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİNEMATİK DEFORMASYON ANALİZİNİN GÜVENİRLİĞİ

Utkan Mustafa DURDAĞ

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Programı

Danışman

Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU

Haziran, 2019

TÜRKİYE CUMHURİYETİ

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİNEMATİK DEFORMASYON ANALİZİNİN GÜVENİRLİĞİ

Utkan Mustafa DURDAĞ tarafından hazırlanan tez çalışması __.__.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Uğur DOĞAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Tevfik ÖZLÜDEMİR, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kinematik Deformasyon Analizinin Güvenirliği başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Utkan Mustafa DURDAĞ

İmza

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 117Y263 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Anneme ithafen

TEŞEKKÜR

Bu tezin ortaya çıkmasında; fikren, manen ve maddeten emeği olan danışmanım Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU'na, tez proje yürütücüsü Doç. Dr. Bahattin ERDOĞAN'a, tezin izlenmesi adımlarında fikirlerinden faydalandığım Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK'e minnettarım.

Ölçüm aşamasında ve ölçülerin değerlendirilmesinde bana destek olan Arş. Gör. Ali Hasan DOĞAN'a zahmetinden dolayı müteşekkirim.

Eğitim hayatımda bugüne kadar bana sunulan ve gelecekte faydalanacağım her damla bilgide emeği olan saygıdeğer aileme, öğretmenlere, akademisyenlere, iş arkadaşlarıma ve Cumhuriyet'in kurucularına teşekkürü bir borç bilirim.

Utkan Mustafa DURDAĞ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ix

KISALTMA LİSTESİ xii

ŞEKİL LİSTESİ xiii

TABLO LİSTESİ xxi

ÖZET xxviii

ABSTRACT xxx

1 Giriş 1

1.1 Literatür Özeti ... 1

1.2 Tezin Amacı ... 4

1.3 Hipotez ... 5

2 Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizi 6

2.1 Deformasyon Ağlarında Duyarlılık Analizi ... 7

2.1.1 Teorik Belirlenebilir En Küçük Yer Değiştirme ... 7

2.1.2 Deneysel Belirlenebilir En Küçük Yer Değiştirme ... 9

2.2 Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin Analizi ... 11

2.2.1 Dengelemenin Matematiksel Modeli ... 12

2.2.2 Uyuşumsuz Ölçü Testi ... 13

2.3 Klasik Deformasyon Analizi ... 14

2.3.1 İki Varyansın Test Edilmesi ... 14

2.3.2 Global Eşdeğerlik Testi ... 15

2.3.3 Mutlak Modelde Konum Değişimi Anlamlı Olan Noktaların Belirlenmesi ... 17

2.4 Kinematik Deformasyon Analizi ... 19

2.4.1 İstatistiksel Testler ... 21

2.4.2 Kinematik Deformasyon Analizinde En Küçük Karelerin Yayma Etkisi .. 23

2.4.3 Karesel Hareket için Olası Kinematik Deformasyon Model Akışı 27

2.4.4 Doğrusal Hareket İçin Olası Kinematik Deformasyon Model Akışı 29

3 Güvenirlik Ölçütü 31

3.1 Ortalama Başarı Oranı 31

4 Kinematik Deformasyon Analizi Yöntemlerinin Güvenirliğinin Araştırılması 36

4.1 Hız ve ivme parametrelerine ait büyüklüklerin hesaplanması 36

4.2 Üç Boyutlu GPS Deformasyon Ağı için Uygulama 40

4.3 Analizler 41

5 Doğrusal Hareket Sistemi Yardımıyla Kinematik Deformasyon Analiz Modellerinin Güvenirliğinin Araştırılması 49

5.1 Doğrusal Hareket Sistemi ve Planlanan Yer Değiştirme Senaryoları 49

5.1.1 İmalatı Gerçekleştirilen Doğrusal Hareket Sistemleri 50

5.2 Planlanan Senaryolar ve Bu Senaryolar İçin Hesaplanan Minimum Yer Değiştirme Büyüklükleri 52

5.3 Ölçüm Gerçekleştirilen Tarihler ve Bu Tarihlerde Obje Noktalarına Yüklenen Yer Değiştirme Büyüklükleri 58

5.4 Kinematik Deformasyon Analiz Modelinin Güvenirliğinin Araştırılması 64

5.4.1 Birinci Yaklaşıma (ISTA noktasına dayalı) Göre Sonuçlar 66

5.4.2 İkinci Yaklaşıma (Tüm Referans noktalarına dayalı) Göre Sonuçlar.139

6 Bulgular ve Tartışma 185

7 Sonuç ve Öneriler 188

A Senaryolarda Ortaya Çıkan Sonuçlar 192

B GPS Simülasyon Ağında OBO ve EKK Yayma Etkisi 197

Kaynakça 198

SİMGE LİSTESİ

a	Hesaplanabilen ölçek faktörü
A	Katsayılar matrisi
d	Yer değiştirme vektörü
e	Rastgele hata vektörü
f	Serbestlik derecesi
F	Karşılaştırma büyüklüğü
g	Hareket doğrultusu vektör
G	Öz değerlerin öz vektörler matrisi
h	Rank değeri
H_0	Sıfır hipotezi
H_1	Alternatif hipotez
I	Birim matris
K	Kinematik model dengelemesinde yayma etki matrisi
$\mathbf{l}_{kin}$	Kinematik modele ait ölçü vektörü
$\mathbf{l}_i$	Küçültülmüş ölçüler vektörü
m	Yer değiştiren nokta sayısı
M	Her bir periyot için ortaya çıkan yayma etki matrisi
n	Ölçü sayısı
N	Normal denklem katsayılar matrisi
p	Nokta sayısı
P	Ağırlık matrisi
Q	Kestirilmiş bilinmeyenlerin kofaktör matrisi
r	Yer değiştirme küresi yarıçapı

r'	En küçük belirlenebilir yer değiştirme büyüklüğü
r''	İvme göz önüne alındığında en küçük belirlenebilir yer değiştirme büyüklüğü
R	Artık büyüklük
s_0^2	Sonsal varyans
$\mathbf{S}$	Dönüşüm matrisi
$\mathbf{s}$	Üretilen yer değiştirme vektörü
T	Test büyüklüğü
u	Bilinmeyen sayısı
$\mathbf{v}$	Düzeltme vektörü
$\hat{v}_v$	Bileşke hız değeri
$\hat{v}_p$	Parametrik hız değeri
v	Hız parametresi
v'	Yüklenen hız büyüklüğü
v	Düzeltme vektörü elemanı
w_i	Baarda test büyüklüğü
$\hat{\mathbf{x}}$	Kestirilmiş bilinmeyenler vektörü
a	İvme parametresi
a'	Yükleme yapılan ivme büyüklüğü
α	Yanılma olasılığı, I. Tür hata
β	II. Tür hata
$\hat{\boldsymbol{\beta}}$	Kinematik modele ait ölçü vektörü
θ	Küresel koordinat sistemi kutup açısı
λ	Dış merkezlik parametresi
λ_0	Dış merkezlik parametresi sınır değeri
γ	Testin gücü

ϕ	Küresel koordinat sistemi azimut açısı
φ	Bağıl hata elipsoidinde yarı eksen doğrultu açısı
Ω	Farklı ölçme periyotlarından elde edilen düzeltmelerin karesel toplamı
σ_0^2	Önsel varyans
μ_0	Gerçek olduğu varsayılan değer
υ	Elipsoit yarı eksen parametreleri

KISALTMA LİSTESİ

CA	Correct Acceptance
CI	Correct Identification
DHS	Doğrusal Hareket Sistemleri
DIA	Detection Identification Adaptation
EKBYD	En Küçük Belirlenebilir Yer Değiştirme
EKK	En Küçük Kareler
FA	False Alarm
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IGS	International GNSS Service
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KDA	Kinematik Deformasyon Analizi
LMS	Linear Motion System
LSE	Least Square Estimation
MD	Missed Detection
MDD	Minimum Detectable Displacement
OBO	Ortalama Başarı Oranı
QIF	Quasi Ionosphere Free
SOPAC	Scripps Orbit and Permanent Array Center
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
WI	Wrong Identification
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Yer değiştirme elipsoidi ve yer değiştirme küresi (Durdağ vd., 2018) 10

Şekil 2.2 Üç boyutlu ağ 24

Şekil 2.3 Doğrusal Düzgün Hareket için karesel ve doğrusal modelin farklı işlem sırasında kullanılması (soldan sağa; karesel, tümdengelim, tümevarım modeli) 28

Şekil 2.4 Doğrusal Düzgün Olmayan Hareket için karesel ve doğrusal modelin farklı işlem sırasında kullanılması (soldan sağa; karesel ve tümevarım modeli) 29

Şekil 4.1 EKBYD vektörünün küresel ve kartezyen koordinat sisteminde temsili gösterimi 37

Şekil 4.2 GPS deformasyon ağı 40

Şekil 4.3 İvme yüklü değilken vektör test ile elde edilen hız parametresine ait kestirilen değerle gerçek değer arasındaki farkın anlamlılığının OBO 46

Şekil 4.4 İvme yüklü değilken parametrik test ile elde edilen hız parametresine ait kestirilen değerle gerçek değer arasındaki farkın anlamlılığına ait OBO 47

Şekil 4.5 İvme yüklü iken vektör test ile elde edilen hız parametresine ait kestirilen değerle gerçek değer arasındaki farkın anlamlılığına ait OBO 47

Şekil 4.6 İvme yüklü iken parametrik test ile elde edilen hız parametresine ait kestirilen değerle gerçek değer arasındaki farkın anlamlılığına ait OBO 48

Şekil 5.1 Makine ekipmanlarının imalatı 50

Şekil 5.2 Evrensel sayacın montajı 50

Şekil 5.3 Evrensel sayacın kalibrasyonu 51

Şekil 5.4 DHS'lerin pilye üzerine tesis edilmiş hali 51

Şekil 5.5 Proje kapsamında tasarlanan 9 noktalı GPS ağı 52

Şekil 5.6 ARBY noktası üzerinde doğrusal hareket sisteminin kurulmuş hali 58

Şekil 5.7 AYDN noktası üzerinde doğrusal hareket sisteminin kurulmuş hali 62

Şekil 5.8 ERBD noktası üzerinde doğrusal hareket sisteminin kurulmuş hali 62

Şekil 5.9 UZEL noktası üzerinde doğrusal hareket sisteminin kurulmuş hali. 63

Şekil 5.10 Ölçüm sonunda verilerin GNSS aletlerinden aktarımı 63

Şekil 5.11 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için ARBY noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri.. 67

Şekil 5.12 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için AYDN noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri.. 67

Şekil 5.13 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için ERBD noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri.. 68

Şekil 5.14 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için UZEL noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri.. 68

Şekil 5.15 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için ARBY noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri.. 69

Şekil 5.16 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için AYDN noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri.. 69

Şekil 5.17 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için ERBD noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri.. 70

Şekil 5.18 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için UZEL noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri.. 70

Şekil 5.19 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ARBY noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 71

Şekil 5.20 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ARBY noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 71

Şekil 5.21 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için AYDN noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 72

Şekil 5.22 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için AYDN noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 72

Şekil 5.23 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ERBD noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 73

Şekil 5.24 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ERBD noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 73

Şekil 5.25 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için UZEL noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 74

Şekil 5.26 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için UZEL noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 74

Şekil 5.27 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 76

Şekil 5.28 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 78

Şekil 5.29 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir 80

Şekil 5.30 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 82

Şekil 5.31 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir 84

Şekil 5.32 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 86

Şekil 5.33 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir 87

Şekil 5.34 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 89

Şekil 5.35 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir 91

Şekil 5.36 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir 92

Şekil 5.37 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 94

Şekil 5.38 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir 96

Şekil 5.39 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 98

Şekil 5.40 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir 100

Şekil 5.41 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir 102

Şekil 5.42 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 104

Şekil 5.43 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir 105

Şekil 5.44 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir 107

Şekil 5.45 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir 109

Şekil 5.46 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir 110

Şekil 5.47 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....112

Şekil 5.48 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....113

Şekil 5.49 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....115

Şekil 5.50 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....116

Şekil 5.51 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....118

Şekil 5.52 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....119

Şekil 5.53 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....121

Şekil 5.54 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....122

Şekil 5.55 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....124

Şekil 5.56 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....125

Şekil 5.57 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....127

Şekil 5.58 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir.....128

Şekil 5.59 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.....129

Şekil 5.60 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir. 130

Şekil 5.61 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 132

Şekil 5.62 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 133

Şekil 5.63 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 135

Şekil 5.64 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir. 136

Şekil 5.65 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir. 137

Şekil 5.66 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir. 138

Şekil 5.67 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için ARBY noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 139

Şekil 5.68 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için AYDN noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 140

Şekil 5.69 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için ERBD noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 140

Şekil 5.70 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için UZEL noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 141

Şekil 5.71 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için ARBY noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 141

Şekil 5.72 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için AYDN noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 142

Şekil 5.73 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için ERBD noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 142

Şekil 5.74 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için UZEL noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 143

Şekil 5.75 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ARBY noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 143

Şekil 5.76 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ARBY noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 144

Şekil 5.77 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için AYDN noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 144

Şekil 5.78 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için AYDN noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 145

Şekil 5.79 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ERBD noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 145

Şekil 5.80 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ERBD noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 146

Şekil 5.81 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için UZEL noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 146

Şekil 5.82 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için UZEL noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri 147

Şekil 5.83 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 148

Şekil 5.84 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 151

Şekil 5.85 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 153

Şekil 5.86 Gerçekte yüklenen ve karesel modelden elde edilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir. 155

Şekil 5.87 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 156

Şekil 5.88 Gerçekte yüklenen ve karesel modelden elde edilen ivme vektörü büyüklükleri (sırasıyla kırmızı ve siyah renkte) gösterilmektedir. 158

Şekil 5.89 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 159

Şekil 5.90 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 162

Şekil 5.91 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 164

Şekil 5.92 Gerçekte yüklenen ve karesel modelden elde edilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir. 165

Şekil 5.93 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 167

Şekil 5.94 Gerçekte yüklenen ve karesel modelden elde edilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir. 168

Şekil 5.95 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 170

Şekil 5.96 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 171

Şekil 5.97 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 173

Şekil 5.98 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 174

Şekil 5.99 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 176

Şekil 5.100 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ivme vektörü (kırmızı renkte) ve karesel modelden kestirilen ivme vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 176

Şekil 5.101 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 178

Şekil 5.102 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ivme vektörü (kırmızı renkte) ve karesel modelden kestirilen ivme vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 178

Şekil 5.103 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 180

Şekil 5.104 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ivme vektörü (kırmızı renkte) ve karesel modelden kestirilen ivme vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 180

Şekil 5.105 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 182

Şekil 5.106 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ivme vektörü (kırmızı renkte) ve karesel modelden kestirilen ivme vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir. 182

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 DIA açısından hipotez testinde hatalı ve doğru karar olasılıkları 33

Tablo 4.1 Yer değiştirme vektörünün ilgili bileşkeye ait eksene iz düşümü için kutup ve azimut açılarına ait aralıklar 38

Tablo 4.2 Doğrusal hareket için karesel modelden kestirilen hız parametresine ait OBO 42

Tablo 4.3 Doğrusal hareket için karesel modelden kestirilen ivme parametresine ait OBO 42

Tablo 4.4 Karesel hareket için karesel modelden kestirilen hız parametresine ait OBO 43

Tablo 4.5 Karesel hareket için karesel modelden kestirilen ivme parametresine ait OBO 43

Tablo 4.6 Doğrusal hareket için tümdengelim modelinden kestirilen hız parametresine ait OBO 43

Tablo 4.7 Doğrusal hareket için tümdengelim modelinden kestirilen ivme parametresine ait OBO 44

Tablo 4.8 Doğrusal hareket için tümevarım modelinden kestirilen hız parametresine ait OBO 44

Tablo 4.9 Doğrusal hareket için tümevarım modelinden kestirilen ivme parametresine ait OBO 45

Tablo 4.10 Karesel hareket için tümevarım modelinden kestirilen hız parametresine ait OBO 45

Tablo 4.11 Karesel hareket için tümevarım modelinden kestirilen ivme parametresine ait OBO 46

Tablo 5.1 Proje çalışmasında obje noktalara yüklenmesi planlanan hız ve ivme parametreleri için minimum değerler 56

Tablo 5.2 Ölçümlerdeki senaryolar ve bu senaryolarda obje noktalarına yüklenmesi planlanan hız ve ivme değerleri 57

Tablo 5.3 Sadece düşey doğrultunun dikkate alındığı senaryolar ve bu senaryolarda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri ve ölçüm tarihleri 59

Tablo 5.4 Sadece yatay düzlemin dikkate alındığı senaryolar ve bu senaryolarda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri ve ölçüm tarihleri 60

Tablo 5.5 Yatay düzlemin ve düşey doğrultunun birlikte dikkate alındığı senaryolar ve bu senaryolarda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri ve ölçüm tarihleri 61

Tablo 5.6 ISTA noktasına göre yaklaşık baz uzunlukları 65

Tablo 5.7 Birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 75

Tablo 5.8 Birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 75

Tablo 5.9 Birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 77

Tablo 5.10 Birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 77

Tablo 5.11 İkinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 79

Tablo 5.12 İkinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 79

Tablo 5.13 İkinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 81

Tablo 5.14 İkinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 81

Tablo 5.15 Üçüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 83

Tablo 5.16 Üçüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 83

Tablo 5.17 Üçüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 85

Tablo 5.18 Üçüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 85

Tablo 5.19 Dördüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 88

Tablo 5.20 Dördüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 88

Tablo 5.21 Dördüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 90

Tablo 5.22 Dördüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 90

Tablo 5.23 Beşinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 93

Tablo 5.24 Beşinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 93

Tablo 5.25 Beşinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları 95

Tablo 5.26 Beşinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları..... 95

Tablo 5.27 Altıncı senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları..... 97

Tablo 5.28 Altıncı senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları..... 97

Tablo 5.29 Altıncı senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları..... 99

Tablo 5.30 Altıncı senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 99

Tablo 5.31 Yedinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....101

Tablo 5.32 Yedinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....101

Tablo 5.33 Yedinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....103

Tablo 5.34 Yedinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....103

Tablo 5.35 Sekizinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....106

Tablo 5.36 Sekizinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....106

Tablo 5.37 Sekizinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....108

Tablo 5.38 Sekizinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....108

Tablo 5.39 Dokuzuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....111

Tablo 5.40 Dokuzuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....111

Tablo 5.41 Dokuzuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....114

Tablo 5.42 Dokuzuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....114

Tablo 5.43 Onuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....117

Tablo 5.44 Onuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....117

Tablo 5.45 Onuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....120

Tablo 5.46 Onuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....120

Tablo 5.47 On birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....123

Tablo 5.48 On birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....123

Tablo 5.49 On birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....126

Tablo 5.50 On birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....126

Tablo 5.51 On ikinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....131

Tablo 5.52 On ikinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....131

Tablo 5.53 On ikinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....134

Tablo 5.54 On ikinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....134

Tablo 5.55 Birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....147

Tablo 5.56 Birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....148

Tablo 5.57 Birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....149

Tablo 5.58 Birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 149

Tablo 5.59 İkinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....150

Tablo 5.60 İkinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....150

Tablo 5.61 İkinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....151

Tablo 5.62 İkinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 152

Tablo 5.63 Üçüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....152

Tablo 5.64 Üçüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....153

Tablo 5.65 Üçüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....154

Tablo 5.66 Üçüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....154

Tablo 5.67 Dördüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....155

Tablo 5.68 Dördüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....156

Tablo 5.69 Dördüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....157

Tablo 5.70 Dördüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....157

Tablo 5.71 Beşinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....158

Tablo 5.72 Beşinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....159

Tablo 5.73 Beşinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....160

Tablo 5.74 Beşinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....160

Tablo 5.75 Altıncı senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....161

Tablo 5.76 Altıncı senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....161

Tablo 5.77 Altıncı senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....162

Tablo 5.78 Altıncı senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları 162

Tablo 5.79 Yedinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....163

Tablo 5.80 Yedinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....163

Tablo 5.81 Yedinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları.....164

Tablo 5.82 Yedinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....165

Tablo 5.83 Sekizinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....166

Tablo 5.84 Sekizinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....166

Tablo 5.85 Sekizinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....167

Tablo 5.86 Sekizinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....168

Tablo 5.87 Dokuzuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....169

Tablo 5.88 Dokuzuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....169

Tablo 5.89 Dokuzuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....170

Tablo 5.90 Dokuzuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....171

Tablo 5.91 Onuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....172

Tablo 5.92 Onuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....172

Tablo 5.93 Onuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....173

Tablo 5.94 Onuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....174

Tablo 5.95 On birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....175

Tablo 5.96 On birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....175

Tablo 5.97 On birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....177

Tablo 5.98 On birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....177

Tablo 5.99 On ikinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....179

Tablo 5.100 On ikinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları....179

Tablo 5.101 On ikinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları....181

Tablo 5.102 On ikinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları.....181

Tablo 5.103 Karesel model sonuçlarına göre kestirilen parametreler ve test istatistiği.....183

Tablo 5.104 Karesel model sonuçlarına göre kestirilen parametreler ve test istatistiği (devamı).....184

ÖZET

Kinematik Deformasyon Analizinin Güvenirliği

Utkan Mustafa DURDAĞ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU

Deformasyon analizinde yer değiştirme, hız ve ivme parametrelerini kestirmek için Kinematik Deformasyon Analizi (KDA) modelleri sıklıkla tercih edilmektedir. KDA'da doğrusal ve karesel gibi farklı modeller kullanılmaktadır. Yer değiştirme, hız ve ivme parametreleri genellikle En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile belirlenmektedir. EKK yöntemi yer değiştiren noktanın etkisini diğer yer değiştirmeyen noktalara yaymaktadır. Bu etki sebebiyle bir nokta gerçekte yer değiştirmediği halde analiz sonucunda yer değiştirmiş olarak ortaya çıkabilmektedir. Diğer taraftan bu etki hız ve ivme parametrelerinin yanlış kestirilmesi sonucunu da doğurabilir. Bu sebeple özellikle yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde başvurulan KDA yöntemine ait sonuçların doğru yorumlanması gerekmektedir. Doğrusal ve karesel model aslında iki farklı modeli değil uzayda hareket, hız ve ivme içeren genel bir modeli temsil etmektedirler. Doğrusal ve karesel modeller bu genel modelin birer özel halini tanımlamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada KDA ile kestirilen farklı modellerin sonuçlarının güvenirliğinin ölçülmesi ve sonuçların tartışılması amaçlanmıştır. Modellerin güvenirliğini araştırmak için tasarlanan bir Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System-GPS) ağında ortaya çıkması muhtemel deformasyon senaryoları göz önüne alınmıştır. Doğrusal hareket (ivmenin göz ardı edildiği) ve doğrusal olmayan düzgün hareket (ivmenin göz önüne alındığı) için elde edilen

sonuçlarda üç farklı yöntemden en başarılısının karesel model olduğu görülmektedir. Bununla beraber karesel modelde vektör test yönteminin parametrik teste nazaran daha yüksek başarı oranına sahip olduğu gösterilmiştir.

Ayrıca, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesini kapsayan tez bölümünde, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nde konumlandırılmış dört obje noktasına (pilye üzerine) GPS ile bütünleşik DHS (Doğrusal Hareket Sistemi) tesis edilmiş ve sürekli izlenen beş GPS istasyonu (kampüs dışında), referans noktası olarak belirlenmiştir. En Küçük Belirlenebilir Yer Değiştirme olarak adlandırılan, gerçekçi yer değiştirmeler, doğrusal hareket sistemi yardımıyla obje noktalarında yüklenmiştir. Obje noktalarında, DHS'yi üç farklı düzlem boyunca: 1. Düşey doğrultuda (Yukarı), 2. Yatay düzlemde (Kuzey-Doğu) ve 3. Yatay düzlem ve düşey doğrultuda hareket ettirerek planlanan farklı senaryolar gerçekleştirilmiştir. Doğrusal modelin kullanılması özellikle ivmenin gerçekte yüklendiği senaryolarda yayma etkisini arttırdığı gözlenmiştir. DHS ile yapılan analiz sonuçları ile bir önceki uygulamadan elde edilen OBO sonuçları karesel modelin daha güvenilir sonuçlar verdiği konusunda örtüşmektedir.

Sonuçta her iki uygulama için de fonksiyonel modelin daraltılmasına veya genişletilmesine karar verme aşamasında genel hareket modelinin araştırmacılar tarafından kullanılması deformasyonun karakterinin ortaya konmasında kilit rol oynamaktadır. Genel anlamda, ağı mutlak bir deformasyon ağı olarak kabul ederek genel (karesel) modelle çözmenin en uygun sonuçları sağladığı gösterilmiştir. Doğrusal model aşamasını içeren tümevarım ve tümdengelim yaklaşımlarının EKK'nin yayma etkisini arttırdığı tespit edilerek GPS ağında sayısal olarak gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Deformasyon analizi, Güvenirlik, Kinematik model, Doğrusal hareket sistemi, Küresel navigasyon uydu sistemi.

ABSTRACT

Reliability of Kinematic Deformation Analysis

Utkan Mustafa DURDAĞ

Department of Geomatic Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Şerif HEKİMOĞLU

In deformation analysis, KDA (Kinematic Deformation Analysis) models are often preferred to estimate displacement, velocity and acceleration parameters. Different models are used in KDA such as linear and quadratic. The displacement, velocity and acceleration parameters are generally determined by the Least Squares method. The LSE (Least Square Estimation) method spreads the effect of the displacement point to other non-displaced points. Due to this effect, a point can be seen to be displaced in the result of analysis although it does not actually move. On the other hand, this effect may result in incorrect estimation of velocity and acceleration parameters. For this reason, it is necessary to interpret the results of the KDA method which is applied especially in the determination of ground motions. Therefore, in this study, it is aimed to measure the reliability of the results of different models estimated by KDA and to discuss the results. In order to investigate the reliability of the models, possible deformation scenarios in the GPS (Global Positioning System) network are considered. According to the situation where the acceleration is taken into consideration and ignored, it is seen that the most successful of the three different methods is the quadratic model. However, in the quadratic model, the vector test method has been shown to have a higher success rate than the parametric test.

Also, in the part of the thesis, covering the TUBITAK project, LMS (Linear Motion System) integrated with GPS were established at four object points (pillar monument) located at properly in Yildiz Technical University Davutpasa Campus. Moreover, five continuously operating GPS sites (off-campus) were predefined as reference points. Realistic displacements mostly called Minimum Detectable Displacement (MDD) were loaded with the help of linear motion systems. The object points were displaced moving the Linear Motion System along three different planes: 1. Vertical platform (Up), 2. Horizontal platform (Northeast) and 3. Horizontal and vertical platforms (Northeast and Up) for intended scenarios as 1. Considering small velocity magnitude but neglecting acceleration, 2. Considering both small velocity magnitude and small acceleration magnitude. Each deformation scenario contains 4-period GPS observations with 8-hour session duration.

It has shown that the quadratic model should have been used to decide on reduction or expansion of functional model, also it is concluded that it has a key role on the characterization of deformation. In the general sense, considering the network as an absolute deformation network, solving it with the quadratic model from KDA models provides the most appropriate results. It is shown in the results that the inductive and deductive approaches containing linear models increase the spreading effect.

Keywords: Deformation analysis, Reliability, Kinematic model, Linear motion system, Global navigation satellite system.

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Yerkabuğu ve mühendislik yapıları (baraj, maden ocağı ve endüstriyel tesisler vb.) zaman içerisinde deformasyona uğrayarak insan hayatını ve ülke ekonomisini tehdit etmektedir. Deformasyona uğrayan objenin (yerkabuğu, mühendislik yapısı vb.) davranışının izlenebilmesi amacıyla jeodezik deformasyon ağları oluşturularak belirli zaman aralıklarında gözlemler yapılır. Jeodezik deformasyon ölçmeleri objenin karakteristiğini ortaya koyan obje noktalarının anlamlı konum değişimlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilir. Böylece objede meydana gelen deformasyonlar ortaya çıkarılmaktadır. Deformasyon analizinde klasik jeodezik yaklaşım, "zaman" ve "kuvvet" kavramlarından bağımsız, uzayda belirli sayıda karakteristik noktayla tanımlanan objenin iki durum arasındaki değişimini yalnızca geometrik olarak karşılaştırmayı sağlamaktadır (Welsch & Heunecke, 2001). Araştırmacılar, deformasyonun tespit edilmesinde ve yorumlanmasında öncelikle statik model üzerinde yoğunlaşmışlardır (Pelzer, 1971; Koch, 1985; Niemeier, 1985; Schaffrin, 1986; Caspary, 1988; Caspary, Haen & Borutta, 1990; Schaffrin & Bock, 1994; Betti, Biagi, Crespi & Riguzzi, 1999; Snow & Schaffrin 2007; Cai vd., 2008; Hekimoglu, Erdogan & Butterworth, 2010; Erdogan & Hekimoglu 2014; Zienkiewicz, Hejbudzka, & Dumalski, 2017).

Belirli bir zaman dilimi içinde noktada meydana gelen yer değişiminin kestirilmesi için hız ve ivmenin göz önünde bulundurulduğu KDA (Kinematik Deformasyon Analizi) modeli, bir diğer önemli yaklaşımdır. Bu model; referans ve obje noktalarına ilişkin koordinatların belirlenmesini zamanın fonksiyonu olarak tanımlar (Pelzer, 1985; Pelzer, 1987). Deformasyonları belirlemek amacıyla, KDA modeli kullanılarak birçok çalışma yürütülmüştür (Pelzer, 1986; Heunecke, 1995; Liu, 1998; Yalçinkaya & Bayrak 2005; Acar, Özlüdemir, Erol, Çelik & Ayan, 2008).

Literatürde, KDA modeli doğrusal (yalnızca hız göz önünde bulundurularak) veya karesel (hız ve ivme birlikte göz önünde bulundurularak) kinematik model olarak oluşturulabilir (Yu & Segall, 1996; Kenner & Segall, 2000; Shahar & Tzur, 2014). Zippelt (1986), fonksiyonel modeli, Holdahl (1975) tarafından tanımlanan Karlsruhe yaklaşımını kullanarak noktalara ait kinematik modelin yinelemeli şekilde tasarlanmasını araştırmıştır. Bu yinelemeli tasarım "adım adım model uyarlama (stepwise model fitting)" olarak da ifade edilmiş ve istatistiksel testler ile denetlenmiştir. Sıfır hipotezi kabul edildiği sürece hareketi tanımlayan katsayılar anlamsızdır ve modellemede göz ardı edilebilir. Genel yöntemler; Ghitau (1970) ve Holdahl (1975) tarafından dengelenmiş zamana bağlı yükseklikler, nokta hızları ve mümkünse ivmeler ile tanımlanmıştır (Mälzer, Schmitt & Zippelt, 1979; Mälzer, Hein & Zippelt, 1983). Diğer bir deyişle kinematik modelin genişletilmesi veya küçültülmesi, yinelemeli dengeleme yöntemiyle istatistiksel yönden belirlenebilir (Koch, 1999; Ghilani, 2017; Yalcinkaya & Bayrak, 2005). Eğer hız anlamlı ise, karesel model göz önünde bulundurulur. Ancak, ivmenin gerçekte var veya yok olduğu durumda doğrusal ve karesel modellerden hangisinin daha başarılı sonuç vereceği konusunda yeterli güvenirlikte kanıt bulunmamaktadır. Eğer ivmenin varlığı analizden önce bilinirse karesel model kullanılabilir. Fakat gerçekte hız ve ivmenin anlamlı olup olmadığını bilmenin imkânı yoktur. Bunun için analiz yapılması gerekmektedir. Ancak; analiz sonuçları kestirici ve test istatistiğinin kırılma noktasına, etki eğrisine yani diğer bir deyişle güvenirliğine bağlıdır. Bu anlamda en deformasyon modelinden elde edilen sonuçlar gerçekte var olan durumla aynı olmayabilir. Örneğin; eğer ivme modelde göz önüne alınmazsa, yani doğrusal modelin kullanılması durumunda ve hareketin karakteristiği hem hız hem de ivme barındırıyorsa, kestirilen hız parametresinin büyüklüğü gerçeği yansıtmaz. Genellikle sadece hız parametresini barındıran doğrusal model, karesel modelin özel bir halini tanımlamaktadır.

KDA modeli deformasyon analizinde sıklıkla kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, yer değiştirme, hız ve ivmenin ne kadar güvenirlikte belirlendiğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu tezde, KDA modeli sonuçlarının Monte Carlo simülasyon tekniği yardımıyla güvenirliklerinin ölçülmesi hedeflenmiştir. Güvenirliklerinin ölçülmesi için, yer değiştirmiş noktanın konumunun, hız ve

ivmenin büyüklüklerinin önceden bilinmesi gerekmektedir. Uygulamada bu bilgilerin elde edilmesi imkansız olduğu için güvenirlik analizi için simülasyon tekniği kullanılmaktadır (Hekimoğlu vd., 2010; Duchnowski & Wisnievski, 2014; Nowel & Kaminski, 2014; Velsink, 2015; Nowel 2016). Hekimoğlu vd. (2010) iki boyutlu deformasyon ağlarında statik deformasyon modelinin güvenirliğini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, EKK (En Küçük Kareler) kestirimi yer değiştiren noktanın etkisini ağdaki yer değiştirmeyen noktalar üzerine yaydığı ortaya konmuştur.

Uygulama aşamasına geçmeden önce bu çalışma için üç KDA modeli tasarlanmıştır. Bunlardan ilki karesel modele dayanmaktadır. İkinci model iki aşamadan oluşmakta ve ilk adımda karesel modelle ivmenin istatistiksel olarak anlamsız olduğu belirlenir ve sonraki adımda hız parametresinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı doğrusal model kullanılarak test edilir. Bu metot tümdengelim modeli olarak adlandırılmıştır. Sonuncu metot da iki aşamadan oluşmaktadır. Eğer doğrusal modelden hesaplanan hız parametresi anlamlı ise, ikinci aşamada karesel modelden kestirilen ivme parametresinin istatistiksel olarak anlamlılığı test edilir. Bu model tümevarım olarak adlandırılır.

İki boyutlu yatay kontrol ağında yer değiştirme büyüklüğünü üretmek için Hekimoğlu vd., (2010, s.56) yer değiştirme elipsi kullanmıştır. Bu yöntem teorik olarak hesaplanan EKBYD (En Küçük Belirlenebilir Yer Değiştirme) yöntemine (Niemeier, 1982) alternatif olarak Erdoğan, Hekimoğlu ve Durdağ (2017) tarafından ortaya konmuştur. Bu tez için GPS deformasyon ağında üç boyutlu kartezyen koordinatlar için yer değiştirme elipsoidi önerilmiştir (Durdağ, Hekimoğlu & Erdoğan, 2018). EKBYD büyüklüğü deneysel yöntemle hesaplanarak hız ve ivme büyüklükleri türetilmiştir. Üç farklı model için güvenirlikler Hekimoglu ve Koch (1999) tarafından önerilen OBO (Ortalama Başarı Oranı) kavramı kullanılarak ölçülmüştür.

Tezin diğer uygulama kısmı için 117Y263 no.lu TÜBİTAK projesi kapsamında Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Davutpaşa Kampüsünde bulunan 4 obje noktası belirlenmiştir. Ayrıca, kampüs dışından seçilen 5 sürekli gözlem yapan GPS istasyonu referans noktaları olarak önceden tanımlanmıştır. Toplamda 9 noktalı

olan GPS deformasyon ağındaki 4 obje noktası (pilye) üzerine GPS ile bütünleşik olan DHS (Doğrusal Hareket Sistemi) tesis edilmiştir. Kuzey, Doğu ve Yükseklik bileşenleri için EKBYD hesaplandıktan sonra DHS yardımıyla obje noktalarına yer değiştirmeler yüklenmiştir. Obje noktaları DHS ile hareket ettirilerek üç farklı durumda; 1. Düşey (yükseklik) doğrultuda, 2. Yatay (Kuzeydoğu) düzlemde ve 3. Yatay düzlem ve düşey doğrultuda (Kuzeydoğu ve yükseklik) ve dört farklı olasılık:

I. İvme göz ardı edildiği durumda küçük genlikli hız büyüklüğü
II. İvme göz ardı edildiği durumda büyük genlikli hız büyüklüğü
III. Küçük genlikli hız ve ivme büyüklüğü
IV. Büyük genlikli hız ve ivme büyüklüğü

(toplamda on iki farklı senaryo dikkate alındığı durum) için yer değiştirme yüklemesi gerçekleştirilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Deformasyon analizi statik, kinematik ve dinamik deformasyon analizi olarak üç ana başlığa ayrılabilir. Statik deformasyon analizi en basit modeldir ve sadece noktaların yer değiştirmeleri ile ilgilenir. KDA modelinde ise noktaların yer değiştirme, hız ve ivme parametreleri dikkate alınır. Dinamik deformasyon analiz modelinde KDA'ya ek olarak deformasyona neden olan kuvvetler de göz önünde bulundurulur. Bu üç model içerisinde KDA modeli heyelan, tektonik hareketler vb. çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu bağlamda analiz ile elde edilen sonuçların doğruluğu da yüksek önem taşımakla beraber sonuçların güvenirliğinin sorgulanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında KDA sonuçlarının doğruluğunun aynı zamanda kullanılacak modelin güvenirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu amaç kapsamında oluşturulan 4 noktalı DHS dayanaklı (obje noktaları) ve 5 adet sürekli veri toplayan sabit GPS istasyonları (referans noktaları) yardımı ile 9 noktalı jeodezik deformasyon ağında farklı senaryolarda (yön ve büyüklük olarak) yer değiştirmeler simüle edilerek belirlenen noktalara yüklenmiştir. Bunun sonucunda KDA modeli ile parametreler kestirilmiştir. KDA ile noktalara ait bilinmeyen parametrelerin (yer değiştirme, hız ve ivme) farklı dengeleme modellerinde hesaplanması ve bu dengeleme modellerine ilişkin sonuçların doğruluklarının

irdelenmesi hedeflenmektedir. Bunun yanında, sıklıkla başvurulan karesel ve doğrusal modelin hangi öncelikte kullanıldığında hız ve ivme parametresinin hangi doğrulukla kestirildiğinin ortaya konması hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

KDA modelinin genişletilmesi veya küçültülmesine istatistiksel açıdan karar verilerek belirlenebilir (Koch, 1999; Ghilani, 2017; Yalcinkaya & Bayrak, 2005). İvmenin gerçekte anlamlı bir büyüklük olduğu durumda, eğer doğrusal model ile analiz yapılırsa kestirilen hız değeri gerçeği yansıtmaz. Aksine ivmenin gerçekte anlamlı olmadığı durumda karesel modelle analiz yapılırsa, elde edilen büyüklüğün ne denli gerçeği yansıttığı güvenirlik açısından soru işareti barındırmaktadır. Çünkü ivmenin gerçekte var veya yok olduğu durumda hangi modelin daha başarılı sonuç vereceği konusunda yeterli güvenirlikte kanıt bulunmamaktadır. Eğer ivmenin varlığı analizden önce bilinseydi karesel model kullanılabilirdi. Fakat gerçekte yer değiştiren noktanın hangisi olduğu ve hız ve ivme büyüklüğünün anlamlı olup olmadığı hakkında ön bir bilgi sahibi olmaya imkân yoktur.

Her ne kadar hem doğrusal hem de karesel modelin sonuçlarının güvenirliği tartışmaya açık olsa da, genellikle sadece hız parametresini barındıran doğrusal model karesel modelin özel bir durumu olarak öngörülmektedir. Bununla beraber ağın bağıl deformasyon ağı olarak değerlendirilmesindense mutlak deformasyon ağı olarak düşünülmesi daha uygun sonuçlar alınmasına olanak sağlayacaktır. Aynı zamanda GPS gözlemlerinden elde edilen koordinat bileşenlerine ait stokastik ve fonksiyonel modelin; GPS hata kaynaklarını ve DHS'nin bütünleşik yapısından kaynaklı hataları içerecek olması, normal dağılımlı hataları ve yer değiştirme vektörü barındıran yapay ölçülere ait uygulama sonuçlarına göre test sonuçlarını etkilemesi kaçınılmazdır.

2
Jeodezik Ağlarda Deformasyon Analizi

Jeodezik deformasyon analizi; bir objenin hareketinin karakteristiğini en uygun şekilde ortaya koyan nokta kümesinde, meydana gelen yer değişimin (öteleme ve dönüklük) veya şekil değişiminin (deformasyon) belirlenmesini konu alır. Yer değişimi göreceli olarak, örneğin; referans (dayanak) noktasına göre, değiştiği için, deformasyon ağında referans noktalarının obje noktasından uzak olacak şekilde yer değiştirmediğinden emin olunan bir bölgeye tesisi önem arz etmektedir. Bu aşamada her ne kadar referans noktalarının yer değiştirmediği varsayılsa da analiz aşamasında referans noktalarının gerçekten yer değiştirmediği istatistiksel olarak ispatlanmalıdır. Eğer referans noktalarında anlamlı bir yer değiştirme olmadığı kanıtlanırsa, deformasyon ağı mutlak olarak tanımlanabilir. Deformasyon ağlarında; ağın boyutunun (1B, 2B ve 3B) en az 3 katı kadar dayanak ve obje noktası toplamı bulunmalıdır (Erdoğan, 2011; Öztürk, Konak & Atasoy, 2006).

Jeodezik deformasyon ağlarının tasarım aşamasında doğruluk, güvenirlik ve duyarlılığın göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Cooper, 1987). Doğruluk; tasarlanacak ağın kalitesinin yanında ölçülerin doğruluğuna bağlıdır. Tasarlanacak ağda öngörülen yer değiştirme ve deformasyonların belirlenebilirliği ise duyarlılık kavramının konusudur. Güvenirlik ise belirlenemeyen uyuşumsuz ölçülerin deformasyon analizi üzerindeki etki göstergesidir (Erdoğan vd., 2017). Böylece meydana gelen deformasyonların belirlenmesinde yüksek doğruluklu ölçüler, beklenen deformasyonun belirlenmesine duyarlı olacak şekilde tasarlanmış ağ ve uyuşumsuz ölçülerin deformasyona etkisinin minimum olması koşulları ölçü ve ağ tasarımı aşamalarında vazgeçilmez olmaktadır.

Bir deformasyonun belirlenmesi için planlanan aralıklarla objenin izlenmesi gerekmektedir. Farklı zamanlarda yapılan her bir döneme ait ölçümler serbest ağ dengelemesi yardımıyla uyuşumsuz ölçülerden arındırıldıktan sonra her bir periyoda ait dengeli koordinatların farkı yer değiştirme vektörü olarak tanımlanır.

Böylece iki koordinat vektörü arasındaki farkın anlamlılığı test edilerek, deformasyonun anlamlı olup olmadığı istatistiksel olarak ortaya konmaktadır.

2.1 Deformasyon Ağlarında Duyarlılık Analizi

Her istatistiksel test belirli kapasitesiye sahiptir. Global testin güç fonksiyonu kullanılarak deformasyon ağlarının kapasitesini araştırmak için duyarlık kavramını Niemeier (1985) önermiştir. Jeodezide "duyarlık" kavramı üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Kuang, 1991; Chen & Chrzanowski, 1994; Kutterer, 1998).

Deformasyon ağının duyarlılığını etkileyen üç temel faktör: Ağ tasarımı, oturum süresi (GPS ölçmeleri için) ve ölçme aletinin doğruluğudur. Kestirilen koordinatlar ve onların (ko)varyanslarının doğruluğu bu faktörlere dayalı olduğu için, teorik olarak hesaplanan ağın beklenen deformasyon büyüklüğünü tespit edebilme kapasitesi bu ölçütlere göre değişebilmektedir.

2.1.1 Teorik Belirlenebilir En Küçük Yer Değiştirme

Belirli bir $\gamma = 1 - \beta$ testin gücü, α yanılma olasılığı ve serbestlik dereceleri (h,$f = \infty$) için belirlenen dış merkezlik parametresi sınır değeri (lower bound of non-centrality parameter) ile karşılaştırılması sonucunda;

$$\lambda > \lambda_0 \tag{2.1}$$

eşitsizliği sağlanırsa, deformasyon ağının duyarlı olduğu sonucuna varılır. Bu işlem duyarlık analizi olarak adlandırılır (Niemeier, 1985; Cooper, 1987; Even-Tzur, 2006; Aydin, Arslan & Demirel, 2004).

$$\mathbf{d} = \hat{\mathbf{x}}_\mathbf{2} - \hat{\mathbf{x}}_\mathbf{1} \tag{2.2}$$

fark vektörünün sıfırdan farklı olduğu varsayımına dayanan alternatif hipotez, periyotlar arasında anlamlı bir hareket olmadığını ileri süren doğrusal hipoteze karşı;

$$H_0: [-\mathbf{I} \quad \mathbf{I}] \begin{bmatrix} E(\hat{\mathbf{x}}_\mathbf{1}) \\ E(\hat{\mathbf{x}}_\mathbf{2}) \end{bmatrix} = 0 \tag{2.3a}$$

$$H_1: [-\mathbf{I} \quad \mathbf{I}] \begin{bmatrix} E(\hat{\mathbf{x}}_\mathbf{1}) \\ E(\hat{\mathbf{x}}_\mathbf{2}) \end{bmatrix} \neq 0 \tag{2.3b}$$

şeklinde ifade edilir.

Burada;

$$\hat{\mathbf{x}}_1 = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}1\hat{\mathbf{x}}1}\mathbf{A}_1^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_1\mathbf{l}_1,\ \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}1\hat{\mathbf{x}}1} = \mathbf{N}_{11}^{+} = (\mathbf{A}_1^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_1\mathbf{A}_1)^{+} \tag{2.4}$$

$$\hat{\mathbf{x}}_2 = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}2\hat{\mathbf{x}}2}\mathbf{A}_2^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_2\mathbf{l}_2,\ \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}2\hat{\mathbf{x}}2} = \mathbf{N}_{22}^{+} = (\mathbf{A}_2^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_2\mathbf{A}_2)^{+} \tag{2.5}$$

ilgili periyotlara ait kestirilen bilinmeyen vektörlerin parametreleri ve onların kofaktör matrislerini temsil etmektedir. Fark vektörünün ağırlık katsayılar matrisi

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{dd}} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}1\hat{\mathbf{x}}1} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}2\hat{\mathbf{x}}2} \tag{2.6}$$

iken

$$R = \mathbf{d}^{\mathbf{T}}\mathbf{Q}_{\mathbf{dd}}^{+}\mathbf{d} \tag{2.7}$$

ve

$$\Omega = \mathbf{v}_1^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_1\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_2\mathbf{v}_2 \tag{2.8}$$

olmak üzere

$$s_0^2 = \frac{\Omega}{f}, f = f_1 + f_2 \tag{2.9}$$

şeklindedir. Ölçülerin normal dağılımlı olduğu varsayımıyla

$$T = \frac{R}{hs_0^2} \sim F_{h,f,a} \tag{2.10}$$

test büyüklüğü elde edilir. Benzer şekilde, dış merkezlik parametresi

$$\lambda = \frac{\mathbf{d_k^T Q_{dd}^{+} d_k}}{\sigma_0^2} \tag{2.11}$$

iken test büyüklüğü merkezsel olmayan F dağılımlıdır. Deformasyon ağında beklenen yer değiştirmeleri içeren vektör $\mathbf{d_k}$ ve önsel varyans σ_0^2 olsun. Yer değiştirmelerin belirlenmesi için (2.3b) eşitliğindeki karşıt hipotezin geçerli olması gerekmektedir.

Üç boyutlu bir ağda noktalardaki hareket doğrultusunu veren vektör **g** olsun

$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} sin\,\theta_1 * cos\,\phi_1 & sin\,\theta_1 * sin\,\phi_1 & cos\,\theta_1 & \cdots \\ \cdots & sin\,\theta_p * cos\,\phi_p & sin\,\theta_p * sin\,\phi_p & cos\,\theta_p \end{bmatrix}^T \tag{2.12}$$

burada p nokta sayısını temsil etmektedir. Yer değiştirmediği göz önüne alınan noktaya ait bileşenler "0" olarak kabul edilir. Böylece deformasyon vektörü

$$\mathbf{d_k} = \mathrm{a}\mathbf{g} \tag{2.13}$$

olur. Burada a hesaplanabilen ölçek faktörüdür. (2.13) eşitliği (2.11) yerine yazılırsa

$$\lambda = \frac{\mathrm{a}^2}{\sigma_0^2}\mathbf{g^T Q_{dd}^{+} g} \tag{2.14}$$

elde edilir. Daha sonra $\lambda > \lambda_0$ eşitsizliği (2.13) eşitliğiyle beraber düşünüldüğünde

$$\frac{\mathrm{a}^2}{\sigma_0^2}\mathbf{g^T Q_{dd}^{+} g} > \lambda_0 \tag{2.15}$$

elde edilir. Bu eşitlikte "a" değerinin minimumu

$$\mathrm{a}_{min} = \sigma_0\sqrt{\frac{\lambda_0}{\mathbf{g^T Q_{dd}^{+} g}}} \tag{2.16}$$

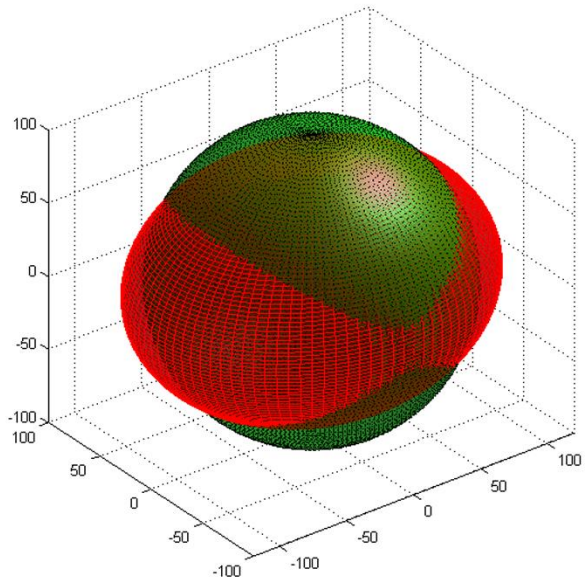
şeklinde elde edilir. Böylece (2.13) eşitliğinden en küçük belirlenebilir yer değiştirme büyüklüğü istenen noktada herhangi bir doğrultu için a_{min} değeri kullanılarak elde edilebilir (Niemeier, 1982; Niemeier, 1985; Aydin, Arslan & Demirel, 2004).

2.1.2 Deneysel Belirlenebilir En Küçük Yer Değiştirme

Hekimoglu vd. (2010, s.56) tarafından iki boyutlu yatay deformasyon ağı için yer değiştirme elipsi kullanılmıştır. Yer değiştirme elipsinin yarıçapı, noktalara ait yer değiştirme dairesinin yarıçaplarının ortalaması alınarak hesaplanabilir (Hekimoğlu vd., 2010). Beklenen yer değiştirme elipsinin elemanlarının hesaplanmasında kullanılan formüller Kaminski ve Nowel (2013, s.46), Nowel ve Kaminski (2014, s.143) ve Nowel (2016, s.25) tarafından yer değiştirmenin üretilmesi için simülasyon aşamasında kullanılmıştır. Bu çalışmada GPS ağından elde edilen koordinatlar kullanılarak üç boyutlu Kartezyen koordinatlarında yer değiştirme elipsoidi kullanılmıştır.

2.1.2.1 Yer Değiştirme Küresi

Noktalara ait beklenen yer değiştirme elipsoidinin küçük ve büyük yarı eksen büyüklükleri ve bunların doğrultuları birbirinden farklıdır. Bu nedenle elipsoit yerine küre kullanılmıştır. Toplam hacmi elipsoidin hacmine eşit olacak bir küre hesaplanmıştır (Şekil 2.1). Diğer bir deyişle kırmızı taralı elipsoidin hacmi yeşil taralı kürenin hacmine eşitlenerek yer değiştirme alanı korunmuştur. Yer değiştirme küresinin yarıçapı, ağdaki noktalara ait yer değiştirme kürelerinin farklı yarıçaplarının ortalaması alınarak hesaplanabilir.



Şekil 2.1 Yer değiştirme elipsoidi ve yer değiştirme küresi (Durdağ vd., 2019)

Yer değiştirme elipsoit parametrelerine geçişte kullanılan ara eşitlikler aşağıdaki şekilde verilmektedir (Wolf, 1975):

$$a_i = -(Q_{xx_i} + Q_{yy_i} + Q_{zz_i}) \tag{2.17}$$

$$b_i = Q_{xx_i}Q_{yy_i} + Q_{xx_i}Q_{zz_i} + Q_{yy_i}Q_{zz_i} - Q_{xy_i}^2 - Q_{xz_i}^2 - Q_{yz_i}^2 \tag{2.18}$$

$$c_i = Q_{xx_i}Q_{yz_i}^2 + Q_{yy_i}Q_{xz_i}^2 + Q_{zz_i}Q_{xy_i}^2 - Q_{xx_i}Q_{yy_i}Q_{zz_i} - 2Q_{xy_i}Q_{xz_i}Q_{yz_i} \tag{2.19}$$

burada Q_{xx_i}, Q_{yy_i}, Q_{zz_i}, Q_{xy_i}, Q_{xz_i}, ve Q_{yz_i}elemanları (2.6)'da gösterilen $\mathbf{Q_{dd}}$ matrisinin i. noktasını tanımlamaktadır.

$$k_i = b_i - \frac{{a_i}^3}{3}, q_i = c_i - \left(\frac{a_i b_i}{3}\right) + \frac{(2{a_i}^3)}{27}, \cos 3\varphi_i = -\frac{q_i}{2}\sqrt{-(\frac{k_i}{3})^3} \quad (2.20)$$

$$v_{1_i} = 2\sqrt{-\left(\frac{k_i}{3}\right)}cos\varphi_i - (a_i/3) \quad (2.21)$$

$$v_{2_i} = 2\sqrt{-\left(\frac{k_i}{3}\right)}cos(\varphi_i + \frac{2\pi}{3}) - (a_i/3) \quad (2.22)$$

$$v_{3_i} = 2\sqrt{-\left(\frac{k_i}{3}\right)}cos(\varphi_i + \frac{4\pi}{3}) - (a_i/3) \quad (2.23)$$

burada $i = 1,2,\cdots,p$ olmak üzere p nokta sayısını temsil etmektedir. Her bir nokta için λ_1, λ_2 and λ_3 değerleri hesaplandıktan sonra, her bir parametre için ortalama değerler şu şekilde hesaplanır:

$$\bar{v}_1 = \frac{1}{p}\sum_{i=1}^{p} v_{1_i} \;\; ; \;\; \bar{v}_2 = \frac{1}{p}\sum_{i=1}^{p} v_{2_i} \;\; ; \;\; \bar{v}_3 = \frac{1}{p}\sum_{i=1}^{p} v_{3_i} \quad (2.24)$$

Yer değiştirme elipsoidinin parametreleri

$$a_e = \sigma_0\sqrt{\bar{v}_1\chi^2_{3,0.001}}, b_e = \sigma_0\sqrt{\bar{v}_2\chi^2_{3,0.001}}, c_e = \sigma_0\sqrt{\bar{v}_3\chi^2_{3,0.001}} \quad (2.25)$$

formülleriyle hesaplanır. Burada a_e, b_e ve c_e ağdaki bütün noktalara ait beklenen yer değiştirme elipsoidinin yarı eksenleridir, σ_0 önsel standart sapmadır, $\chi^2_{3,\alpha}$ serbestlik derecesi 3 için seçilen α anlamlılık düzeyindeki dağılımdır. Stokastik etkinin nerdeyse tamamına yakınını yer değiştirme büyüklüğüne yansıtmak için α anlamlılık değeri 0.001 olarak seçilmiştir. Yer değiştirme küresinin yarıçapı; (2.25) eşitliğindeki parametreler yer değiştirme küresiyle yer değiştirme elipsoidi arasındaki

$$r = \sqrt[3]{a_e b_e c_e} \quad (2.26)$$

hacim eşitliğinde yerine konarak hesaplanır.

2.2 Jeodezik Deformasyon Ölçülerinin Analizi

Jeodezik ölçülerin deformasyonların tespitinde kullanılması için objeyi en uygun tanımlayan noktaların aranan deformasyon büyüklüğüne uygun ölçme

planlamasıyla belirli zaman aralıklarında izlenmesi gerekmektedir. Bu aşamadan sonra her bir periyoda ait ölçülerde serbest ağ dengelemesi yardımıyla uyuşumsuz ölçü araştırması yapılmalıdır. Bunun yanı sıra ölçülere ait stokastik modelin, kovaryans ve ağırlık matrislerinin ve uygun datumun tanımlanmasıyla beraber dengeli (kesin) koordinatlar elde edilir (Demirel, 1987).

2.2.1 Dengelemenin Matematiksel Modeli

Her bir periyot için serbest dengeleme aşamasında noktaların koordinatları bilinmeyen kabul edilir. Doğrusallaştırılmış fonksiyonel model ve stokastik modeli barındıran Gauss Markoff modeli

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{l} \tag{2.27}$$

$$\mathbf{C_{ll}} = \sigma_0^2 \mathbf{Q_{ll}} = \sigma_0^2 \mathbf{P^{-1}} \tag{2.28}$$

şeklindedir. Burada, **A** katsayılar matrisini, **x** küçültülmüş bilinmeyenler vektörünü, **l** küçültülmüş ölçüler vektörünü, $\mathbf{C_{ll}}$ ölçülere ait varyans-kovaryans matrisini, **v** ölçülere getirilecek düzeltmeler vektörünü, **P** ölçülerin ağırlık matrisini, $\mathbf{Q_{ll}}$ ölçülerin ağırlık katsayıları (kofaktör) matrisini ve σ_0^2 ise önsel varyansı temsil etmektedir.

En uygun yansız kestirici olarak ifade edilen (Koch, 1999, s.153) EKK ilkesine (Koch, 1999) dayanarak fonksiyonel ve stokastik modele ait normal denklemler,

$$\mathbf{A^T P A \hat{x}} = \mathbf{A^T P l} \tag{2.29}$$

eşitliğiyle verilmektedir. Bilinmeyenler vektörü,

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Q_{xx} A^T P l} \tag{2.30}$$

eşitliğiyle elde edilir. Burada $\mathbf{Q_{xx}} = (\mathbf{A^T P A})^{-1}$ bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları (kofaktör) matrisidir. Sonuç olarak,

$$\mathbf{v^T P v} = \min \tag{2.31}$$

olmak üzere

$$\mathbf{Q_{vv}} = \mathbf{P^{-1}} - (\mathbf{A Q_{xx} A^T})^{-1} \tag{2.32}$$

düzeltmelerin ağırlık katsayıları matrisi ve,

$$s_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v^T P v}}{f}} \tag{2.33}$$

birim ağırlıklı ölçünün standart sapması elde edilir. Burada f serbestlik derecesini ifade etmektedir (Koch, 1999).

2.2.2 Uyuşumsuz Ölçü Testi

Ölçülerin normal dağılımlı olması beklenmesine rağmen, bir ölçünün düzeltme değeri üzerinden uyuşumsuz ölçülerin araştırılması sonuçların doğruluğunun ve güvenirliğinin yorumlanması açısından önem arz etmektedir. Bir ölçüde var olan kaba hatanın bilinmeyen parametrelere, düzeltmelere, düzeltmelerin kareleri toplamına ve sonsal varyans üzerine etki etmesi sebebiyle uyuşumsuz ölçülerin tespit edilmesi ve ayıklanması gerekmektedir. Bu amaçla; kullanılan varyans faktörüne ve dağılımına bağlı olarak değişen yöntemler geliştirilmiştir. Baarda test yönteminde (Data-Snooping) önsel varyans σ_0 (Baarda, 1968) kullanılarak

$$w_i = \frac{|v_i|}{\sigma_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \tag{2.34}$$

test büyüklüğü elde edilir. Burada $q_{vivi} = (\mathbf{Q_{vv}})_i$' dir.

σ_0^2 önsel varyansı için güvenilir bir değer alınamıyorsa, Pope testinde test büyüklüğü için kaba hatalardan muhtemelen etkilenmiş s_0^2 sonsal varyans değeri kullanılır:

$$T_i = \frac{|v_i|}{s_0 \sqrt{q_{vivi}}} \tag{2.35}$$

Test büyüklüğü τ dağılımlıdır (Pope, 1976). Test büyüklüklerinden en büyüğü α yanılma olasılığı, f serbestlik derecesi ve n ölçü sayısı olmak üzere hesaplanan $\tau_{f,1-\alpha_0/2}$ sınır değerinden büyükse ilgili ölçü uyuşumsuz ölçü olarak kabul edilir (Ayan, 1992). Burada, $\alpha_0 = \alpha/n$ alınır.

Pope testinde kaba hatalı ölçü sonsal varyansa etki ettiği için, ilgili ölçünün düzeltmelerin kareleri toplamındaki etkisi çıkarılırsa, bu ölçünün kaba hatasından arınmış sonsal varyans,

$$s_{0i}^2 = (\mathbf{v^T P v} - \frac{v_i^2}{q_{vivi}})/(f-1) \tag{2.36}$$

şeklinde ifade edilir. Ayrıca, her ölçü için test büyüklüğü

$$t_i = \frac{|v_i|}{s_{0i}\sqrt{q_{vivi}}} \tag{2.37}$$

olarak hesaplanır. Bu test büyüklüğü $t_{f-1,1-\alpha_0/2}$ sınır değerinden büyükse ilgili ölçü uyuşumsuz ölçü olarak değerlendirilir (Ayan, 1992; Erdoğan, 2011).

2.3 Klasik Deformasyon Analizi

Deformasyon analizi temelde nokta konum değişimlerini ve buna bağlı olacak şekilde objede meydana gelen deformasyonları tespit etmeyi konu alsa da, belirli bir zaman diliminde meydana gelen deformasyona bağlı olarak noktadaki yer değiştirmenin hızını ve ivmesini de belirlemektedir. Bölüm 2.4'te kinematik deformasyon modelleri detaylı olarak incelenecektir.

Bu bölümde deformasyon analizinde sıklıkla kullanılan modellerden bahsedilecektir. İlk olarak deformasyon ağının tamamı için iki ölçme periyodu arasında meydana gelen yer değiştirmenin anlamlı olup olmadığının ortaya konduğu global eşdeğerlik testinden, mutlak olarak tanımlanan bir deformasyon ağında referans noktaları ve obje noktalarının test edilmesinden bahsedilecektir.

2.3.1 İki Varyansın Test Edilmesi

Birbirinden bağımsız ve normal dağılımlı iki ölçü kümesinin serbest dengeleme sonucunda elde edilen sonsal varyanslarının uyuşumlu olup olmadığının test edilmesi gerekmektedir. Aynı önsel varyans değerin kestirim değerleri olan bu iki büyüklüğün aynı dağılım kümesinden çıktığı beklendiği için sıfır hipotezi

$$H_0: E(s_{01}^2) = E(s_{02}^2) \tag{2.38a}$$

ve karşısında alternatif hipotez

$$H_1: E(s_{01}^2) \neq E(s_{02}^2) \tag{2.38b}$$

şeklinde oluşturulur. s_{01}^2/s_{02}^2 oranı merkezsel F – dağılımına uymaktadır, böylece test büyüklüğü,

$$T = \frac{s_{01}^2}{s_{02}^2} \sim F_{f_1,f_2,1-\alpha},\ s_{01}^2 > s_{02}^2 \tag{2.39}$$

$$T = \frac{s_{02}^2}{s_{01}^2} \sim F_{f_2,f_1,1-\alpha},\ s_{02}^2 > s_{01}^2 \tag{2.40}$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada, f_1 1. periyoda, f_2 2. periyoda ait olan serbestlik dereceleridir. T test büyüklüğü F dağılımının güven sınırından küçükse, bu iki varyans istatistiksel anlamda eşit kabul edilir. Böylece deformasyon analizinde kullanılmak üzere,

$$s_0^2 = \frac{\mathbf{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2}}{f_1 + f_2} \tag{2.41}$$

eşitliğiyle birleştirilmiş varyans (pooled variance) değeri elde edilir. Aksi durumda, yani test değeri sınır değerden büyükse, iki varyans değeri karşılaştırma için uygun değildir (Erdoğan, 2011; Demirel, 2003).

2.3.2 Global Eşdeğerlik Testi

Global test, iki periyot ölçüye ait koordinat farklarının karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bütün periyotlar arasında datum birliği sağlanmalıdır. Periyotlar arasında stokastik ve fonksiyonel modelde herhangi bir bağımlılık olmadığı durumda Gauss Markoff modeli aşağıdaki gibidir:

$$\mathbf{l_1 + v_1 = A_1 x_1}, \quad \mathbf{C_{l_1 l_1}} = \sigma_0^2 \mathbf{P_1^{-1}} \tag{2.42}$$

$$\mathbf{l_2 + v_2 = A_2 x_2}, \quad \mathbf{C_{l_2 l_2}} = \sigma_0^2 \mathbf{P_2^{-1}} \tag{2.43}$$

Burada $\mathbf{A_1}$ ve $\mathbf{A_2}$ sırasıyla birinci ve ikinci periyoda ait katsayılar matrisini göstermektedir. Eğer farklı periyotlar için ağın konfigürasyonunda herhangi bir değişim yoksa $\mathbf{A_1} = \mathbf{A_2}$'dir. t_1 ve t_2 periyotlarına ait sırasıyla, $\mathbf{x_1}$ ve $\mathbf{x_2}$ küçültülmüş bilinmeyen koordinat vektörleri, $\mathbf{l_1}$ ve $\mathbf{l_2}$ küçültülmüş ölçü vektörleri, $\mathbf{v_1}$ ve $\mathbf{v_2}$ ölçülere ait düzeltme vektörlerini ve $\mathbf{P_1}$ ve $\mathbf{P_2}$ ağırlık matrislerini temsil etmektedir. Kestirilmiş koordinatlar

$$\mathbf{\hat{x}_1} = (\mathbf{A_1^T P_1 A_1})^+ \mathbf{A_1 P_1 l_1};\ \ \mathbf{Q_{\hat{x}_1 \hat{x}_1}} = (\mathbf{A_1^T P_1 A_1})^+ \tag{2.44}$$

$$\mathbf{\hat{x}_2} = (\mathbf{A_2^T P_2 A_2})^+ \mathbf{A_2 P_2 l_2};\ \ \mathbf{Q_{\hat{x}_2 \hat{x}_2}} = (\mathbf{A_2^T P_2 A_2})^+ \tag{2.45}$$

$$\Omega = \mathbf{v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2} \tag{2.46}$$

$$s_0^2 = \frac{\Omega}{f_1 + f_2} \tag{2.47}$$

olacak şekilde yazılır. Burada $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1}$ ve $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2}$ bilinmeyenlerin ağırlık katsayıları matrislerini, f_1 ve f_2 serbestlik derecelerini ve s_0^2 birleştirilmiş varyansı göstermektedir. İstatiksel olarak iki periyot arasında herhangi anlamlı bir yer değiştirmenin olup olmadığını bulmak için seçilen anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi;

$$H_0: E(\hat{\mathbf{x}}_1) = E(\hat{\mathbf{x}}_2) \tag{2.48}$$

veya karşısında alternatif hipotez

$$H_0: E(\hat{\mathbf{x}}_1) \neq E(\hat{\mathbf{x}}_2) \tag{2.49}$$

şeklindedir. Burada E umut değeri tanımlamaktadır. Korelasyonun göz önüne alınmadığı durumda noktanın yer değiştirip değiştirmediği aşağıda türetilen istatistiksel test değeri ile belirlenmektedir.

$$\mathbf{d} = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1 \tag{2.50}$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{dd}} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1\hat{\mathbf{x}}_1} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2\hat{\mathbf{x}}_2} \tag{2.51}$$

$$R = \mathbf{d}^{\mathbf{T}}\mathbf{Q}_{\mathbf{dd}}{}^{+}\mathbf{d} \tag{2.52}$$

$$T = \frac{R}{s_0^2 h} \sim F_{h,f,1-\alpha} \tag{2.53}$$

Burada $\mathbf{d}$ iki epoğa ait kestirilmiş koordinatların farklarını, $\mathbf{Q}_{\mathbf{dd}}$ kofaktör matrisi, $\mathbf{d}$ ve onun pseudo-inversi (yalancı tersi) $\mathbf{Q}_{\mathbf{dd}}{}^{+}$, h ise $\mathbf{Q}_{\mathbf{dd}}$ matrisinin rank değerini ifade etmektedir. $f = f_1 + f_2$ serbetstlik dereceleri toplamı ve α değeri ise seçilen anlamlılık düzeyini göstermektedir.

H_0 hipotezi istatistiksel olarak doğru olduğu varsayıldığında (koordinat farkı normal dağılımlı hatalardan ileri gelmektedir), $T > F_{h,f,1-\alpha}$ ise sıfır hipotezi reddedilir. Bu durumda, iki periyot arasındaki koordinat farkının beklenmeyen bir yer değiştirmeden kaynaklandığı yorumuna ulaşılmaktadır (Koch, 1985; Demirel, 2003).

Bağıl Modelde Konum Değişimi Anlamlı Olan Noktaların Belirlenmesi

Teorik açıdan deformasyon ağındaki bütün noktaların kuşkulu görülmesi gerekir. Global eşdeğerlik testi sonucunda ağda herhangi anlamlı yer değiştirme tespit

edilirse, hangi nokta veya noktaların yer değiştirdiğinin belirlenmesine geçilir. Bunun için:

- S-dönüşümü yöntemi
- Kapalı hipotez yöntemi
- Maksimum aykırılık yöntemi

konum değişiminin anlamlı olduğu noktaların tespit edilmesinde kullanılan yerelleştirme yöntemleridir.

2.3.3 Mutlak Modelde Konum Değişimi Anlamlı Olan Noktaların Belirlenmesi

Uygulamada deformasyon ağları iki ayrı nokta kümesi; obje noktaları ve referans (dayanak) noktaları olacak şekilde ayrılmaktadır. Ancak yine de ağdaki bütün noktalara şüpheli (yer değiştirmiş olarak) bakılması gerekir. Bu sebeple obje noktalarının hareketinin anlamlı olup olmadığını doğru şekilde belirlemek için, ilk olarak referans noktalarının hareket etmediğinden emin olmak gerekmektedir.

Referans Noktalarının İncelenmesi

Referans noktalarının hareketsiz olduğundan emin olduktan sonra bu noktalara göre objede meydana gelen deformasyonlar belirlenir. Bunun için tüm referans noktalarının datum tanımında katkıda bulunacağı şekilde dönüşüm yapılarak matematiksel model ve stokastik model tekrar elde edilir. Bu aşamada referans noktası olarak belirlenen noktalarda global eşdeğerlik modeli kullanılarak anlamlı bir yer değiştirmenin olup olmadığı araştırılır. Eğer referans noktaları için istatistiksel olarak hareketsiz olduğuna karar verilirse obje noktalarının hareketinin analizine geçilir. Aksi durumda referans noktalarında yerelleştirme yöntemleri kullanılarak hareketli nokta veya noktaların tespiti gerçekleştirilir ve bu noktalar datum tanımına katkı yapmayacak şekilde, eşlenik olmayan noktaymış gibi düşünülerek, datum dönüşümü yinelenir.

Obje Noktalarının İncelenmesi

Obje noktalarının koordinatları, referans noktalarına dayalı olacak şekilde (referans noktaları datum tanımına katkı sağlayarak) hesaplanmaktadır. Obje noktaları için

yerelleştirme yöntemleri kullanılarak anlamlı yer değiştiren noktaların tespiti mümkündür. Eğer dört veya daha fazla ölçü periyodu mevcutsa, hız ve ivme parametreleri de KDA modelleri ile kestirilebilmektedir.

S-Transformasyonu

Yerelleştirme adımında; iki periyot koordinatlarını karşılaştırmak için bunların ortak bir datumda tanımlanmaları gerekir. S-dönüşümü uygulandığında, kestirilen büyüklükler ortak bir hesap temelinde ifade edilir. Ayrıca, farklı serbest ağ dengelemesi (zorlamasız, tüm-iz minimum ve kısmi-iz minimum gibi) sonuçları yeni bir dengelemeye gerek duymaksızın birbirine dönüştürülebilir. Bilinmeyenler ve bunların varyans-kovaryansları datuma bağlı olsa da; düzeltilmiş ölçüler ve bunların varyans-kovaryansları S-dönüşümü sonucunda değişmez (Demirel, 2003).

Var olan deformasyonların yerini belirlemek için, serbest ağ dengelemesinden kestirilen koordinatlar ve bunların kofaktör matrisleri, başlangıç ve ardından gelen periyotların sonuçlarına ait alt vektör ve alt matrisleri (Baarda, 1973)

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_\mathbf{F} \\ \hat{\mathbf{x}}_\mathbf{B} \end{bmatrix} \tag{2.54}$$

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{\mathbf{FF}} & \mathbf{Q}_{\mathbf{FB}} \\ \mathbf{Q}_{\mathbf{BF}} & \mathbf{Q}_{\mathbf{BB}} \end{bmatrix} \tag{2.55}$$

olmak üzere, $\hat{\mathbf{x}}_\mathbf{B}$ ve $\hat{\mathbf{x}}_\mathbf{F}$ sırasıyla yer değiştirdiği ve sabit olduğu varsayılan noktaların kestirilen koordinatlarını, $\mathbf{Q}_{\mathbf{BB}}$ ve $\mathbf{Q}_{\mathbf{FF}}$ koordinatların kofaktör matrislerini temsil etmektedir.

Bağıl deformasyon ağında; noktaların yer değiştirmelerini hesaplamak için bütün noktalar şüpheli olarak göz önüne alınmaktadır. Her bir nokta datum tanımından dışlanarak yeni datum tanımı kalan noktalarla yapılır. S-dönüşüm matrisi; $\mathbf{B}_j^T = \mathbf{G}^T\mathbf{E}_j$ olmak üzere

$$\mathbf{S}_j = \mathbf{I} - \mathbf{G}(\mathbf{B}_j^T\mathbf{G})^{-1}\mathbf{B}_j^T \tag{2.56}$$

eşitlikleriyle elde edilir (Niemeier, 1985). Burada $\mathbf{E}_j$ matrisinin j. noktaya ait köşegen elemanı sıfır olarak yazılmış, yani j. nokta datum tanımından dışlanmış, bir birim matristir. $\mathbf{G}^T$ ise normal denklem eşitliğinin ($\mathbf{N} = \mathbf{A}^T\mathbf{P}\mathbf{A}$) katsayılarına ait öz değerlerin, öz vektörler matrisidir.

Dönüşüm,

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{F}}^{j} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{B}}^{j} \end{bmatrix} = \mathbf{S}_j \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{F}} \\ \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{B}} \end{bmatrix} \tag{2.57}$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{\mathbf{FF}}^{j} & \mathbf{Q}_{\mathbf{FB}}^{j} \\ \mathbf{Q}_{\mathbf{BF}}^{j} & \mathbf{Q}_{\mathbf{BB}}^{j} \end{bmatrix} = \mathbf{S}_j \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{\mathbf{FF}} & \mathbf{Q}_{\mathbf{FB}} \\ \mathbf{Q}_{\mathbf{BF}} & \mathbf{Q}_{\mathbf{BB}} \end{bmatrix} \mathbf{S}_j^{\mathbf{T}} \tag{2.58}$$

formülleriyle elde edilir. Sıfır hipotezinin dengeleme modeli üzerine etkisini belirten $R_F = \mathbf{d}_{\mathbf{F}}^{T} \mathbf{Q}_{\mathbf{FF}}^{+} \mathbf{d}_{\mathbf{F}}$ değeri

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{FF}} = \mathbf{Q}_{\mathbf{FF1}}^{j} + \mathbf{Q}_{\mathbf{FF2}}^{j} \tag{2.59}$$

$$\mathbf{d}_{\mathbf{F}} = \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{F2}}^{j} - \hat{\mathbf{x}}_{\mathbf{F1}}^{j} \tag{2.60}$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. R_F büyüklüğü; datum tanımından çıkarılan her bir nokta için hesaplanır. Dışlanan noktalar arasında bu noktalara ait R_F büyüklüğü en küçük olanı,

$$(R_F)_{min} = \text{minimum}\,(R_{F1}, R_{F1}, \dots, R_{Fm}) \tag{2.61}$$

yer değiştirmiş olarak işaretlenir (Niemeier 1985). Burada m deformasyon ağındaki nokta sayısını temsil etmektedir. Yer değiştiren nokta datum tanımından çıkartılır ve $(R_F)_{min}$ büyüklüğü ile yeniden global eşdeğerlik testi uygulanır. Eğer yeniden global eşdeğerlik testi hala anlamlıysa, aynı yerelleştirme yöntemi uygulanır ve bu iteratif yaklaşım global eşdeğerlilik test sonucunda anlamlı yer değiştirmenin varlığından söz edilmeyene dek sürdürülür. Elde edilen yer değiştiren noktalar yerelleştirme adımının sonuçlarıdır.

2.4 Kinematik Deformasyon Analizi

Ghitau (1970) ve Holdahl (1975) zamana bağlı düşey tektonik hareketlerin hesaplanması için matematiksel bir model sunmuşlardır. Yükseklik farklarının fonksiyonel modeli Taylor serisine açılarak diferansiyel eşitlikler ile açıklanmıştır. Bu eşitlikler, nokta hızları ve eğer gerekliyse ivme için Malzer vd. (1979) tarafından basitleştirilmiştir.

Tek nokta için konum, hız ve ivme parametrelerini kapsayan karesel yaklaşıma ait matematiksel modeli aşağıdaki gibi yazılır:

$$x_j^{i+1} = x_j^i + v_{x_j}(t_{i+1} - t_i) + \frac{1}{2}a_{x_j}(t_{i+1} - t_i)^2$$

$$y_j^{i+1} = y_j^i + v_{y_j}(t_{i+1} - t_i) + \frac{1}{2}a_{y_j}(t_{i+1} - t_i)^2 \qquad (2.62)$$

$$z_j^{i+1} = z_j^i + v_{z_j}(t_{i+1} - t_i) + \frac{1}{2}a_{z_j}(t_{i+1} - t_i)^2$$

Burada $j = 1,2,\cdots,p$ olmak üzere ve p nokta sayısını, x_j^i, y_j^i, z_j^i üç bileşene ait j. noktanın i. zamandaki koordinatlarını, v_{x_j}, v_{y_j}, v_{z_j} hız parametrelerini ve a_{x_j}, a_{y_j}, a_{z_j} ivme parametrelerini göstermektedir (Pelzer, 1985; Pelzer, 1987).

Konum ve hız parametrelerini barındıran doğrusal model ise aşağıda gösterildiği gibi verilmektedir:

$$x_j^{i+1} = x_j^i + v_{x_j}(t_{i+1} - t_i)$$

$$y_j^{i+1} = y_j^i + v_{y_j}(t_{i+1} - t_i) \qquad (2.63)$$

$$z_j^{i+1} = z_j^i + v_{z_j}(t_{i+1} - t_i)$$

Bütün noktalara ait ivme parametresini içeren katsayılar matrisi;

$$\mathbf{A_{kin}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{I} \times (t_{i+1} - t_i) & \mathbf{I} \times \frac{(t_{i+1} - t_i)^2}{2} \\ \mathbf{I} & \mathbf{I} \times (t_{i+2} - t_i) & \mathbf{I} \times \frac{(t_{i+2} - t_i)^2}{2} \\ \mathbf{I} & \mathbf{I} \times (t_{i+3} - t_i) & \mathbf{I} \times \frac{(t_{i+3} - t_i)^2}{2} \\ \mathbf{I} & \mathbf{I} \times (t_{i+4} - t_i) & \mathbf{I} \times \frac{(t_{i+4} - t_i)^2}{2} \end{bmatrix} \qquad (2.64)$$

veya ivme göz ardı edildiğinde;

$$\mathbf{A_{lin}} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{I} \times (t_{i+1} - t_i) \\ \mathbf{I} & \mathbf{I} \times (t_{i+2} - t_i) \\ \mathbf{I} & \mathbf{I} \times (t_{i+3} - t_i) \\ \mathbf{I} & \mathbf{I} \times (t_{i+4} - t_i) \end{bmatrix} \qquad (2.65)$$

şeklinde yazılır. Burada $\mathbf{I}$ birim matrisi $p \times p$ boyutundadır (Yu & Segall, 1996; Kenner & Segall, 2000; Shahar & Tzur, 2014; Doğan, Ergintav, Demirel, Çakmak & Özener, 2003). Serbest ağ dengelemesi ile her ölçü periyoduna ait kestirilmiş koordinatlar elde edilir ve ölçü vektörü olarak kinematik modelde aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathbf{0}} = \widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathbf{1}} \tag{2.66}$$

ve her bir periyot için koordinat farkları aşağıdaki şekilde

$$\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{i}}' = \widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i}} - \widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathbf{0}}, \; i = 1, 2, 3, 4 \text{ iken.} \tag{2.67}$$

$$\mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}}^{\boldsymbol{T}} = [\boldsymbol{\beta}_{\mathbf{1}}' \quad \boldsymbol{\beta}_{\mathbf{2}}' \quad \boldsymbol{\beta}_{\mathbf{3}}' \quad \boldsymbol{\beta}_{\mathbf{4}}'] \tag{2.68}$$

hesaplanır. Burada $\boldsymbol{\beta}_{\mathbf{1}}', \boldsymbol{\beta}_{\mathbf{2}}', \boldsymbol{\beta}_{\mathbf{3}}'$ ve $\boldsymbol{\beta}_{\mathbf{4}}'$ vektörleri; i. epoğa $\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{i}}$ ait kestirilmiş koordinatlar ile $\boldsymbol{\beta}_{\mathbf{0}}$ ilk epoğa ait kestirilmiş koordinatların farklarını, $\mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}}$ kinematik modele ait ölçü vektörünü tanımlamaktadır. Modelin dengelemesine ilişkin eşitlikler aşağıdaki gibidir:

$$\mathbf{Q}_{\boldsymbol{kin}} = (\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}} \mathbf{P}_{\mathbf{k}} \mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}})^{-\mathbf{1}} \tag{2.69}$$

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{kin}} = \mathbf{Q}_{\boldsymbol{kin}} (\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}} \mathbf{P}_{\mathbf{k}} \mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}}) \tag{2.70}$$

$$\mathbf{v}_{\boldsymbol{kin}} = \mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}} \widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{kin}} - \mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}} \tag{2.71}$$

$$\mathrm{s}_{0\mathrm{k}} = \sqrt{(\mathbf{v}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}} \mathbf{P}_{\mathbf{k}} \mathbf{v}_{\boldsymbol{kin}})/\mathrm{f}} \tag{2.72}$$

$$f_k = n_k - u_k \tag{2.73}$$

burada $\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{kin}}$ yer değiştirme, hız ve ivme parametrelerini içeren bilinmeyenler vektörünü, $\mathbf{Q}_{\boldsymbol{kin}}$ bilinmeyenler vektörünün kofaktör matrisini, $\mathbf{v}_{\boldsymbol{kin}}$ ise düzeltme vektörünü, $\mathrm{s}_{0\mathrm{k}}$ sonsal standart sapmayı, f_k serbestlik derecesini, n_k ölçü sayısını ve u_k bilinmeyen parametre sayısını göstermektedir.

2.4.1 İstatistiksel Testler

Kinematik model ile kestirim işleminden sonra, anlamlılık testinde kullanılmak üzere hız ve ivme parametreleri için sıfır hipotezi, kestirilen hız ve ivmenin normal dağılımlı hatalardan geldiği durum ve karşısında alternatif hipotez aşağıdaki gibi kurulur:

$$H_0: E(\hat{v}) = 0 \quad H_A: E(\hat{v}) \neq 0 \tag{2.74a}$$

$$H_0: E(\hat{a}) = 0 \quad H_A: E(\hat{a}) \neq 0, \tag{2.74b}$$

Alternatif hipotez ise kestirilen hız ve/veya ivme parametresinin normal dağılımlı hatalardan kaynaklı olmayan, yer değiştirmeden kaynaklı anlamlılığı olduğu üzerine kurulmaktadır.

Test değerleri ilgili parametrenin kestirilmiş değerinin standart sapmasına oranı olarak

$$\hat{t}_i = \frac{|\hat{\boldsymbol{\beta}}_{kin,i}|}{s_{0_k}\sqrt{\mathbf{Q}_{kin_{i,i}}}} \sim t_{f_k,1-\alpha/2} \tag{2.75}$$

eşitliğiyle hesaplanıp sınır değer ile kıyaslanmaktadır (Cooper, 1987). Burada $i = 1 \cdots u_k$ olmak üzere u_k bilinmeyen sayısını, f_k serbestlik derecesini, α anlamlılık düzeyini 0.001, $\widehat{\boldsymbol{\beta}}_i$ kestirilen parametre değerini, $\mathbf{Q}_{\mathbf{x_{kin}}}$ sonsal kofaktör matrisini, s_{0_k} ise kinematik modelden kestirilen sonsal standart sapma değerini göstermektedir. Eğer $\hat{t}_i > t_{f,1-\alpha/2}$ ise i. noktaya ait ilgili parametrenin, α anlamlılık düzeyinde, anlamlı olduğu sonucuna varılır.

Yüklenen hız ve ivme büyüklüklerinin, kestirilmiş değerler ile farkı alınarak yapılan anlamlılık testinde elde edilen farkın istatiksel olarak başarılı olması için aradaki farkın anlamsız olması gerekmektedir. Böylece oluşan sıfır hipotezi

$$H_0: E(\hat{v}) = E(\mu_{0_{\hat{v}}}) \quad H_A: E(\hat{v}) \neq E(\mu_{0_{\hat{v}}}) \tag{2.76a}$$

ve alternatif hipotez

$$H_0: E(\hat{a}) = E(\mu_{0_{\hat{a}}}) \quad H_A: E(\hat{a}) \neq E(\mu_{0_{\hat{a}}}) \tag{2.76b}$$

olarak ortaya çıkar. Test büyüklüğü (Cooper, 1987):

$$\hat{T}_i = \frac{|\hat{\boldsymbol{\beta}}_{kin,i} - \mu_0|}{s_{0k}\sqrt{\mathbf{Q}_{kin_{i,i}}}} \sim t_{f_k,1-\alpha/2} \tag{2.77}$$

şeklinde hesaplanır (Cooper, 1987).

Farklı yaklaşımlar kullanılarak bilinmeyen parametrelerin kestirilmesinden sonra, parametreler iki farklı test yöntemine tabi tutulmuştur. İlk yöntemde her üç bileşen ayrı ayrı test edilmektedir. Eğer herhangi bir senaryoda yalnızca tek bileşen yönünde yer değiştirme yüklendiyse, örneğin X ∨ Y ∨ Z senaryosunda, sadece yükleme yapılan bileşende parametre anlamlı olmalı ve diğer iki bileşende anlamlı

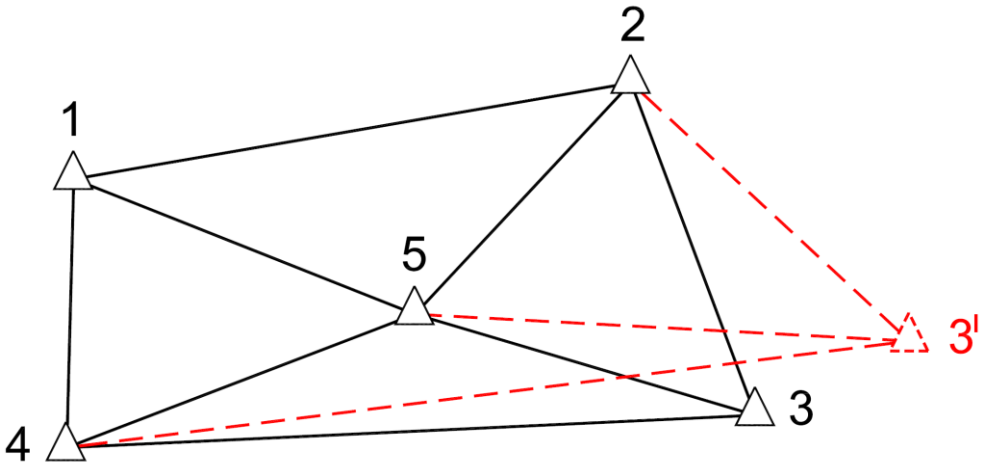
olmaması dikkate alınmaktadır. Örneğin yalnızca X bileşeni doğrultusunda hız ve/veya ivme yüklendiyse yine sadece aynı bileşende anlamlı sonuç vermesi ve diğer bileşenlerde (Y, Z) anlamlı olmamasına dayanmaktadır. Eğer bir noktadaki üç bileşen doğrultusunda (X ∧ Y ∧ Z) da hız ve/veya ivme yüklenmişse kestirilen parametrenin üç bileşen doğrultusu için anlamlı olması beklenmektedir. Kestirilen ve yüklenen "gerçek" olduğu varsayılan büyüklükler arasındaki farklar da benzer şekilde bileşkelerin ayrı ayrı test edilmesiyle istatistiksel anlamlılık testine tabi tutulur. Bu yöntem "parametrik test" olarak adlandırılmıştır.

Diğer test yönteminde; kestirilen ilgili bileşenlerin tek bir vektör olarak temsil edilmesi için bileşkesi alınmaktadır. Her bir noktada kestirilen bileşenlerin hız ve vektör için ayrı ayrı bileşkesi hesaplanmaktadır. Bilinmeyen kestirilen parametreler vektörü $\widehat{\boldsymbol{\beta}} = [\cdots \hat{v}_x, \hat{v}_y, \hat{v}_z, \hat{a}_x, \hat{a}_y, \hat{a}_z \cdots]$ olduğu düşünülürse, bileşke vektör $\hat{v}_v = \sqrt{\hat{v}_x{}^2 + \hat{v}_y{}^2 + \hat{v}_z{}^2}$ eşitliğinden elde edilmektedir. Bileşke vektöre ait t-test değerleri (2.75) eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Aynı hesaplama işlemleri ivme bileşke büyüklüğü ve t-test değeri hesaplamalarında uygulanmaktadır. Daha sonra (2.77)'de gösterilen ivme ve hıza ait "gerçek" olduğu varsayılan büyüklüklerle kestirilen bileşke büyüklükleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı ya da anlamsız oldukları kanıtlanmaktadır. Bu yönteme ise "vektör testi" adı verilmektedir.

2.4.2 Kinematik Deformasyon Analizinde En Küçük Karelerin Yayma Etkisi

Deformasyon analizinde herhangi bir noktada meydana gelen yer değişimi diğer noktalar üzerinde de olumsuz anlamda etki yaratmaktadır. EKK'nin bozucu etkisi olarak da adlandırılan bu yayma Hekimoğlu vd. (2010) tarafından deformasyon ağında kanıtlanmıştır.

KDA modelinde ise EKK yayma etkisinin matematiksel gösterimi için üç boyutlu bir ağ aşağıda gösterildiği gibi (Şekil 2.2) oluşturulmuştur. Burada 3 noktası ikinci durumda 3' noktası olarak yer değiştirmiş olsun.



Şekil 2.2 Üç boyutlu ağ

Bu durumda noktalar arasındaki ölçülere ait farklar

$$\begin{aligned} x_{3'2} &= x_{32} + \Delta x_{32} \\ y_{3'2} &= y_{32} + \Delta y_{32} \\ z_{3'2} &= z_{32} + \Delta z_{32} \\ x_{3'4} &= x_{34} + \Delta x_{34} \\ &\vdots \\ z_{3'5} &= z_{35} + \Delta z_{35} \end{aligned} \tag{2.78}$$

şeklinde yazılabilir. Eğer bu farklar $\Delta\mathbf{l}_i$ vektöründe yazılırsa, ikinci periyoda ait $\mathbf{l}'_i$ ölçü vektörü

$$\mathbf{l}'_i = \mathbf{l}_i + \Delta\mathbf{l}_i \,, \quad \text{i=1, 2, 3, 4,} \tag{2.79}$$

şeklini alır. Burada $\Delta\mathbf{l}_i$ vektörü i. periyot için yer değiştiren noktanın ölçülerindeki değişimleri göstermektedir. $\mathbf{l}_i$ vektörü $E(\mathbf{l}_i)$ ve rastgele hatalar vektörünü $(\mathbf{e}_i)$ içermektedir. Böylece bilinmeyen parametrelere ait vektör

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_i = (\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{A})^{+}\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{l}'_i \tag{2.80}$$

eşitliğinden elde edilir. (2.79) eşitliği, (2.80)'de yerine konursa, kestirilen parametrelere ait eşitlik

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_i = (\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{A})^{+}\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}(\mathbf{l}_i + \Delta\mathbf{l}_i) \tag{2.81}$$

şeklini alır. Yer değiştiren noktaların bilinmeyenler üzerindeki bozucu etkisini ortaya çıkarmak için (2.81) eşitliği

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i}} = (\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{A})^{+}\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{l}_i + (\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{A})^{+}\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\Delta\mathbf{l}_i = \overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i}} + \Delta\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{i}} \tag{2.82}$$

olmak üzere yeniden yazılabilir. Burada

$$\Delta\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{i}} = (\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{A})^{+}\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\Delta\mathbf{l}_i \tag{2.83}$$

eşitliğinde, eğer $(\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{A})^{+}\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P} = \mathbf{M}$ olacak şekilde kısaltılırsa, (2.83) eşitliği

$$\Delta\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{i}} = \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_i, \tag{2.84}$$

halini alır. Bu eşitlik aynı zamanda

$$\begin{aligned}
\Delta x_{i_1} &= \mathfrak{m}_{1,1}\Delta \mathrm{l}_{i_1} + \mathfrak{m}_{1,2}\Delta \mathrm{l}_{i_2} + \cdots + \mathfrak{m}_{1,n}\Delta \mathrm{l}_{i_\mathrm{n}} \\
\Delta y_{i_1} &= \mathfrak{m}_{2,1}\Delta \mathrm{l}_{i_1} + \mathfrak{m}_{2,2}\Delta \mathrm{l}_{i_2} + \cdots + \mathfrak{m}_{2,n}\Delta \mathrm{l}_{i_\mathrm{n}} \\
\Delta z_{i_1} &= \mathfrak{m}_{3,1}\Delta \mathrm{l}_{i_1} + \mathfrak{m}_{3,2}\Delta \mathrm{l}_{i_2} + \cdots + \mathfrak{m}_{3,n}\Delta \mathrm{l}_{i_\mathrm{n}} \\
&\cdots \\
\Delta x_{i_5} &= \mathfrak{m}_{13,1}\Delta \mathrm{l}_{i_1} + \mathfrak{m}_{13,2}\Delta \mathrm{l}_{i_2} + \cdots + \mathfrak{m}_{13,n}\Delta \mathrm{l}_{i_\mathrm{n}} \\
\Delta y_{i_5} &= \mathfrak{m}_{14,1}\Delta \mathrm{l}_{i_1} + \mathfrak{m}_{14,2}\Delta \mathrm{l}_{i_2} + \cdots + \mathfrak{m}_{14,n}\Delta \mathrm{l}_{i_\mathrm{n}} \\
\Delta z_{i_5} &= \mathfrak{m}_{15,1}\Delta \mathrm{l}_{i_1} + \mathfrak{m}_{15,2}\Delta \mathrm{l}_{i_2} + \cdots + \mathfrak{m}_{15,n}\Delta \mathrm{l}_{i_\mathrm{n}}
\end{aligned} \tag{2.85}$$

olarak da ifade edilebilir. Burada (2.79)'daki $\mathbf{l}_i'$ vektör eşitliğinde bulunan $\Delta\mathbf{l}_i$ vektörü yer değiştiren noktalara ait ölçü değerlerinden ve sabit noktalara ait ölçüler için sıfırdan oluşan değerlerden oluşmaktadır. Burada ölçü sayısı $n = 24$, bilinmeyen parametrelerin sayısı $u = 15$'tir. (2.85) eşitliği; yer değiştirmenin sadece 3 noktasının koordinatlarına değil aynı zamanda diğer noktaların koordinatlarına da kötü anlamda etki ettiğini göstermektedir. Bu etki EKK yönteminin yayma etkisi olarak bilinmektedir.

Eğer ikinci ölçme periyodunda ağ konfigürasyonu değişmezse $\mathbf{M}$ matrisi değişmez. Birbirini izleyen periyotlar için bu etki

$$\Delta\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{i+1}} = \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i+1} \tag{2.86}$$

eşitliğiyle yazılabilir. (2.84) ve (2.86) eşitlikleri göz önüne alındığında, $\mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}}$ vektöründe her bir periyoda ait ölçü vektörü birleştirilerek

$$\mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}} = [\overline{\boldsymbol{\beta}}_{i-1} + \Delta\mathbf{l}_{i-1};\ \overline{\boldsymbol{\beta}}_{i} + \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i};\overline{\boldsymbol{\beta}}_{i+1} + \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i+1};\overline{\boldsymbol{\beta}}_{i+2} + \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i+2}] \tag{2.87}$$

vektörü elde edilmektedir. KDA modelinden elde edilen kestirilen parametreler

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{kin}} = \left(\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}\right)^{-1}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\left(\begin{bmatrix}\overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i-1}}\\ \overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i}}\\ \overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i+2}}\\ \overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i+3}}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i-1}\\ \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i}\\ \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i+2}\\ \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i+3}\end{bmatrix}\right) \tag{2.88}$$

şeklinde yazılabilir. Burada $\Delta\mathbf{l}_{i-1}$ vektörünün elemanları sıfırdır. Vektörler için

$$\begin{bmatrix}\mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i-1}\\ \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i}\\ \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i+2}\\ \mathbf{M}\Delta\mathbf{l}_{i+3}\end{bmatrix} = \Delta\mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}}\ ; \qquad \begin{bmatrix}\overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i-1}}\\ \overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i}}\\ \overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i+2}}\\ \overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{i+3}}\end{bmatrix} = \bar{\mathbf{l}}_{\boldsymbol{kin}}\ , \tag{2.89}$$

kısaltmaları (2.88)'de yerine yazılarak

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{kin}} = \left(\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}\right)^{-1}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\bar{\mathbf{l}}_{\boldsymbol{kin}} + \left(\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}\right)^{-1}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\Delta\mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}} = \overline{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{kin}} + \Delta\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{kin}} \tag{2.90}$$

elde edilir. Burada

$$\Delta\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{kin}} = \left(\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}\right)^{-1}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\Delta\mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}} \tag{2.91}$$

iken eğer, $\left(\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}\right)^{-1}\mathbf{A}_{\boldsymbol{kin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}_{\mathbf{k}} = \mathbf{K}$ eşitliği yazılırsa, (2.91)

$$\Delta\boldsymbol{\beta}_{\boldsymbol{kin}} = \mathbf{K}\Delta\mathbf{l}_{\boldsymbol{kin}} \tag{2.92}$$

şeklinde düzenlenebilir. (2.92) açık şekilde yazıldığında

$$d_{x_1} = \mathrm{k}_{1,1}\Delta\mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{1,2}\Delta\mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{1,nk}\Delta\mathrm{l}_{kin_{nk}}$$

$$d_{y_1} = \mathrm{k}_{2,1}\Delta\mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{2,2}\Delta\mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{2,nk}\Delta\mathrm{l}_{kin_{nk}}$$

$$d_{z_1} = \mathrm{k}_{3,1}\Delta\mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{3,2}\Delta\mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{3,nk}\Delta\mathrm{l}_{kin_{nk}}$$

$$v_{x_1} = \mathrm{k}_{4,1}\Delta\mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{4,2}\Delta\mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{4,nk}\Delta\mathrm{l}_{kin_{nk}}$$

$$v_{y_1} = \mathrm{k}_{5,1}\Delta\mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{5,2}\Delta\mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{5,nk}\Delta\mathrm{l}_{kin_{nk}}$$

$$
\begin{aligned}
v_{z_1} &= \mathrm{k}_{6,1}\Delta \mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{6,2}\Delta \mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{6,nk}\Delta \mathrm{l}_{kin_{nk}} \\
a_{x_1} &= \mathrm{k}_{7,1}\Delta \mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{7,2}\Delta \mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{7,nk}\Delta \mathrm{l}_{kin_{nk}} \\
a_{y_1} &= \mathrm{k}_{8,1}\Delta \mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{8,2}\Delta \mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{8,nk}\Delta \mathrm{l}_{kin_{nk}} \\
a_{z_1} &= \mathrm{k}_{9,1}\Delta \mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{9,2}\Delta \mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{9,nk}\Delta \mathrm{l}_{kin_{nk}} \\
&\cdots \\
a_{x_5} &= \mathrm{k}_{uk-2,1}\Delta \mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{uk-2,2}\Delta \mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{uk-2,nk}\Delta \mathrm{l}_{kin_{nk}} \\
a_{y_5} &= \mathrm{k}_{uk-1,1}\Delta \mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{uk-1,2}\Delta \mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{uk-1,nk}\Delta \mathrm{l}_{kin_{nk}} \\
a_{z_5} &= \mathrm{k}_{uk,1}\Delta \mathrm{l}_{kin_1} + \mathrm{k}_{uk,2}\Delta \mathrm{l}_{kin_2} + \cdots + \mathrm{k}_{uk,nk}\Delta \mathrm{l}_{kin_{nk}}
\end{aligned}
\tag{2.93}
$$

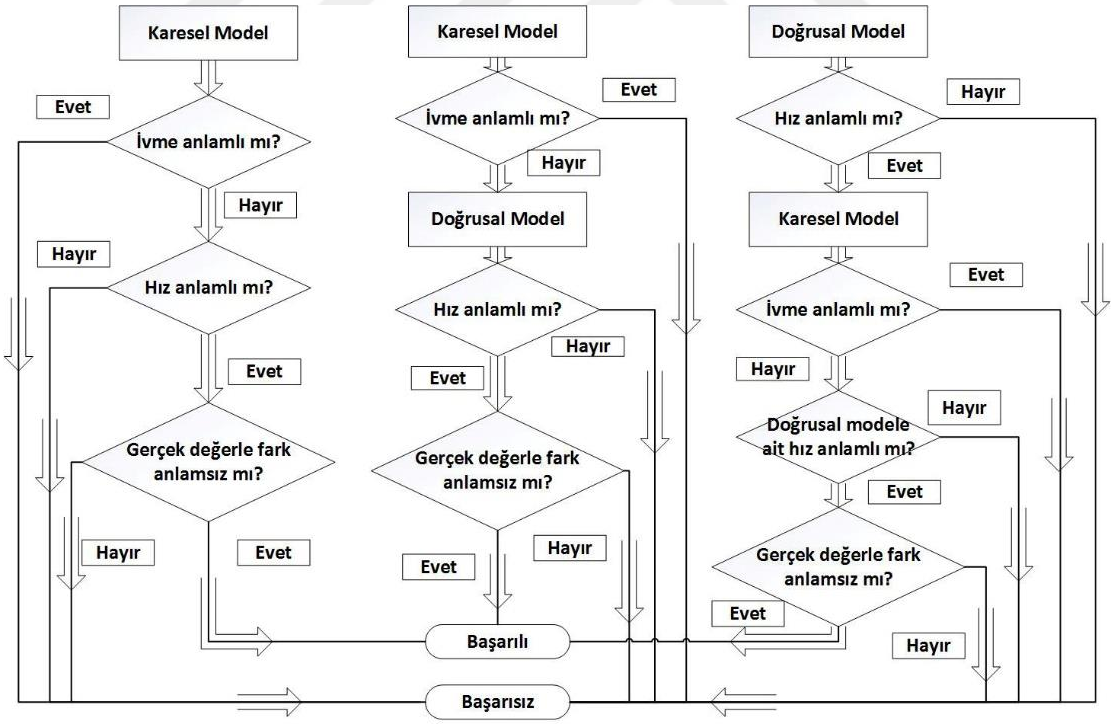
olur. Burada nk ölçü sayısını ve uk modelde bilinmeyen parametrelerin sayısını temsil etmektedir. (2.93) KDA'da yer değiştirmenin bütün noktalara ait bilinmeyen parametreler üzerindeki yayılma etkisini açıkça göstermektedir. Sabit noktalara ait parametrelerin (2.85)'te serbest ağ dengelemesi ve (2.93)'te KDA aşamasında uğradığı yayma etkisi katlanarak ortaya çıkmaktadır. Bu kanıt art arda dengeleme yönteminin uygulandığı modeller için genelleştirilebilir.

2.4.3 Karesel Hareket için Olası Kinematik Deformasyon Model Akışı

Doğrusal hareket, yani ivmenin anlamlı olmadığı durumda hangi deformasyon modelinin seçileceği sonuçların doğruluğu ve güvenilir olması açısından önemlidir. Hangi parametrenin anlamlı olacağını analizden önce tahmin etmek mümkün değildir. Bu sebeple; ölçülere yüklenen yer değiştirme vektörlerinin sonraki periyotlarda anlamlı hız ve/veya ivme büyüklüğü olarak ortaya çıkması mümkün olacaktır. Hızın anlamlılığının test edilmesi için doğrusal veya karesel model tercih edilebilir. Ancak ivme parametresinin anlamlılığının testi ancak karesel modelin kullanılmasıyla mümkündür. Doğrusal model yalnızca hız parametresi hakkında yorum yapmamızı sağlayacaktır. Bu açıdan baktığımızda KDA modeli için ivmenin gerçekte anlamsız olduğu durumda doğrusal modelin tercih edilmesi daha sonrasında karesel modelin kullanılması veya tam tersi, ilk önce karesel model ile analiz yapıp eğer ivme anlamsızsa doğrusal modele geçilmesi, analiz yöntemleri için sonuçların güvenirliğinin araştırılması gerekmektedir.

Karesel ve doğrusal model farklı işlem sırasında kullanılabilir. Yer değiştirme global eşdeğerlik testi sonucunda anlamlı çıktığında, üç farklı akış göz önüne alınabilir (Şekil 2.3).

Bu aşamada ivmenin "0" olduğu varsayımından yola çıkarak ölçülere belirli zaman içinde, başlangıç periyodu referans alınarak, aynı büyüklükte yer değiştirme yüklenmiştir. Diğer bir deyişle; ivme anlamlılığı göz ardı edilerek yalnızca hızın anlamlı olduğu varsayımı göz önüne alınmıştır. İki periyot arasında global eşdeğerlik testi sonucunda anlamlı yer değiştirme vardır sonucundan sonra, KDA modeli ile analiz kısmına geçilir. Bu aşamada üç farklı işlem sırası kullanılabilir. Bunlardan ilki; yalnızca karesel modelin kullanıldığı durumdur. Karesel model ile kestirilen parametrelerin, ivme ve hız, anlamlılığının araştırılması mümkündür. İkinci akışta; karesel model sonucunda ivmenin anlamsız olduğu sonucunu elde ettikten sonra hız parametresinin doğrusal model kullanılarak elde edilmesi yaklaşımı göz önüne alınmıştır ve bu yaklaşım tümdengelim modeli olarak adlandırılmaktadır.

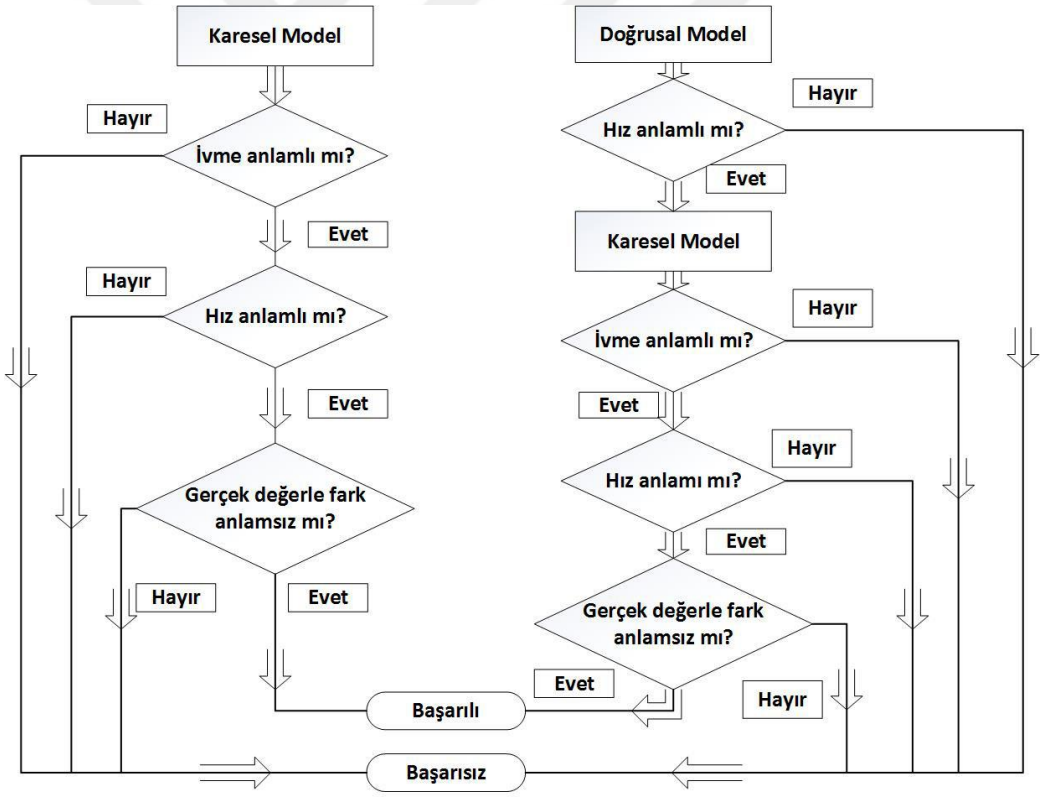


Şekil 2.3 Doğrusal Düzgün Hareket için karesel ve doğrusal modelin farklı işlem sırasında kullanılması (soldan sağa; karesel, tümdengelim, tümevarım modeli)

Üçüncü ve son yaklaşımda; ilk olarak doğrusal model uygulandıktan sonra elde edilen hız parametreleri anlamlıysa parametreler karesel modelle kestirilerek elde edilir. Eğer ikinci adımda karesel model kestiriminden elde edilen ivme parametreleri anlamsızsa ilk adımda doğrusal modelden elde edilen hız parametreleri dikkate alınır. Bu yaklaşım ise tümevarım olarak adlandırılmıştır (Durdağ vd., 2018).

2.4.4 Doğrusal Hareket İçin Olası Kinematik Deformasyon Model Akışı

Bu bölümde ise hem hız hem de ivmenin anlamlı olduğu varsayımından yola çıkarak yer değiştirmelerin yüklendiği durumda karesel model ve tümevarım modeli göz önüne alınmıştır. Tümdengelim yaklaşımı, karesel modelle aynı akış adımlarına sahip olduğu için, Şekil 2.4'te karesel model ve tümevarım yaklaşımları gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Doğrusal Düzgün Olmayan Hareket için karesel ve doğrusal modelin farklı işlem sırasında kullanılması (soldan sağa; karesel ve tümevarım modeli)

Global eşdeğerlik testiyle anlamlı yer değiştirme sonucuna ulaşıldığında oluşturulan algoritma işleyişleri şu şekilde tasarlanmıştır: karesel model sonucunda elde edilen ivme parametresi anlamlıysa hız parametrelerinin test edilmesi adımına geçilerek karesel model yaklaşımı sonlandırılır. Tümevarım yaklaşımında doğrusal model sonucunda elde edilen hız parametresi anlamlıysa, ivme araştırması için modelin karesel forma genişletilmesine geçilir. Eğer ivme anlamlıysa, karesel modelden elde edilen hızın anlamlılığı da test edilerek algoritma akışı sonlandırılmaktadır (Durdağ vd., 2019).

3
Güvenirlik Ölçütü

EKK yöntemi klasik deformasyon analizinde halen en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. EKK, ölçü kümesinde kaba hatalı ölçü bulunmadığı durumda en iyi sonuçları vermesine rağmen, en az bir kaba hatalı ölçü ortaya çıkarsa sonuçlar olumsuz şekilde etkilenir. Hekimoğlu vd. (2010), yer değiştiren noktaların sabit noktalar üzerinde olumsuz etki ettiğini göstermiştir. Etkileri en aza indirgemek için Hekimoglu, Erdogan, Soycan ve Durdağ (2014) orijinal ölçülerin kullanılmasını önermiştir. Yöntemlerin verimliliği, OBO ile ölçülmüştür. Hekimoğlu ve Koch (1999) ilk kez uyuşumsuz ölçü testlerinin ve robust yöntemlerin kapasitesini ölçmek için OBO kavramını ortaya attılar. Daha sonra Hekimoğlu, Demirel ve Aydın (2002) ve Hekimoğlu vd. (2010) tarafından deformasyon analizine uyarlanmıştır. OBO, yöntemlerin kapasitelerini veya güvenirliklerini ölçmek için kullanılan göstergelerden biridir. Ayrıca, Etki Fonksiyonu (Influence Function) kestiricilerin sağlamlığını ölçmek için de kullanılabilmektedir. Bu fonksiyon sağlamlık ve kırılma noktası gibi iki temel kavrama dayanmaktadır. Etki fonksiyonu tarafından elde edilen en önemli sağlamlık bilgisi asıl olarak Etki Eğrisi (Influence Curve) olarak adlandırılır. Model dağılımına olan uzaklık, bir diğer önemli sağlamlık ölçütlerinden biri olan genel sağlamlık ölçüsü, yani kırılma noktası (breakdown point) ile sağlanmaktadır (Hampel, Ronchetti, Rousseeuw & Stahel, 1986). Etki fonksiyonu ve kırılma değerleri sırasıyla, ölçü kümesinde kaba hata ortaya çıktığında kestiricinin davranışını ve kaç kaba hatalı ölçünün kestirimin başarısız olmasına neden olabileceği sorularını açıklar (Duchnowski, 2011). OBO, bu istatistiksel yaklaşımları kendi başına taşıyabilen bir kapsama sahiptir (Nowel, 2016; Erdoğan vd., 2017).

3.1 Ortalama Başarı Oranı

Bir test yönteminin yürütülmesi; DIA (Detection Identification Adaptation) yani saptama (Detection), tayin etme (Identification) ve uyarlama (Adaptation) adımlarından oluşur (Teunissen, 2018; Zaminpardaz & Teunissen, 2019). Saptama aşamasında istatistiksel açıdan incelenmesinde ortaya çıkan sıfır hipotezi

karşısında alternatif hipotez oluşur. Hipotezlerin gerçekleşmesinde iki tür hata ortaya çıkar. Gerçekte doğru olan bir sıfır hipotezinin reddedilmesi olasılığı birinci tür hata (Type I error veya False Alarm (P_{FA})) olarak adlandırılır. İkinci tür hata (Type II error veya Missed Detection(P_{MD})) ise gerçekte doğru olan bir karşıt hipotezin reddedilmesi, diğer bir deyişle gerçekte yanlış olan bir sıfır hipotezinin, doğru kabul edilmesi, olasılığına eşittir. FA, yanılma olasılığı veya anlamlılık düzeyi(α) ile özdeştir. Birinci tür hatanın gerçekte oluşacak bütün olasılıklara göre tümleyeni, yani bütün olasılıklardan farkı, doğru kabul (Correct Acceptance (CA)) $CA=1-P_{FA}$ veya "güven düzeyi" $P_{CA}=1-\alpha$ olarak adlandırılır. İkinci tür hatanın tümleyeni de, doğru tayin etme (Correct Identification (CI)) $P_{CI}=1-P_{MD}$ veya "testin gücü" $P_{CI}=1-\beta$ olarak türetilir. Buradan testin gücü; doğru olan bir karşıt hipotezin doğru olarak kabul edilmesi olasılığı olarak tanımlanır (Teunissen, 2018; Zaminpardaz & Teunissen, 2019).

Testin gücü her ne kadar $P_{CI}=1-\beta$ olarak karşımıza çıksa da, tam anlamıyla doğru tayin etme ifadesini karşılamaz. Aslında testin gücü hipotezin global anlamda varlığıyla ilgilenir, ancak hangi noktada hipotezin geçerli olduğu konusunu görmezden gelir. Diğer bir deyişle "Wrong Identification (Yanlış Tayin Etme)" olasılığı sıfır, $P_{WI}=0$, olarak öngörülür.

Ancak, herhangi jeodezik ağda kaba hatalı ölçünün var olduğunun tespiti aslında kaba hatanın yerinin belirlenmesinden bir önceki aşama olan kaba hatanın varlığının saptanmasıdır. Bu aşamadan sonra noktanın yerinin bulunması "tayin etme" adımı olarak adlandırılır. Bu durumda aslında hatalı saptama (missed detection (MD)), doğru tayin etme (correct identification (CI)) ve hatalı tayin etme (wrong identification (WI)) olasılıkları

$$1 = P_{MD} + P_{CI} + P_{WI} \tag{3.1}$$

şeklinde yazılır (Teunissen, 2018; Zaminpardaz & Teunissen, 2019). Teoride testin gücü, noktanın yerinin hatalı tayin edilmesi(Wrong Identification(WI)) olasılığını görmezden gelse de, hatalı tayin etme olasılığının P_{WI}, dikkate alınması gerekmektedir.

Tablo 3.1 DIA açısından hipotez testinde hatalı ve doğru karar olasılıkları

		Gerçek Hipotez	
		H_0 Doğru	H_A Doğru
Test Sonucu Kabul Edilen Hipotez	H_0 Doğru	Doğru Kabul (P_{CA}) (Güven Düzeyi) 1-α	II. Tür Hata (P_{MD}) β
	H_A Doğru	I. Tür hata (P_{FA}) α	Doğru Tayin (P_{CI}) (Testin Gücü) 1-β-P_{WI}

OBO saptama ve tayin etme adımlarının sonuçlarını içermektedir. Bu durumda P_{WI} her ne kadar P_{MD} değerine göre küçük olsa da $P_{CI} = 1 - P_{MD} - P_{WI}$ eşitliği ortaya çıkar (Tablo 3.1). OBO'nun testin gücüne göre farkı P_{WI} olasılığını dikkate almasıdır. OBO kavramının deneysel anlamda testin gücünü temsil ettiği ve daha gerçekçi olduğu kanıtlanmıştır (Erdoğan, Hekimoğlu, Durdağ & Öcalan, 2019).

Analiz yapmadan ağda herhangi bir noktada yer değiştirme veya herhangi bir ölçüde kaba hata olup olmadığını bilmeye imkan yoktur. Buna ilaveten, oluşturulan iki hipotezden hangisinin geçerli olacağı ve hangi hata türlerinin ortaya çıkacağı kestirilemez. Bu sebeple güvenirlik çalışmalarında; yer değiştirme büyüklüğü veya kaba hatalar ölçülere literatüre uygun şekilde eklenerek, noktalarda yer değiştirme veya ölçülerde kaba hata üretilebilir. Bu şekilde kaba hatalı ölçülerin belirlenmesi ve deformasyon analizinde yer değiştirmelerin belirlenmesi problemlerinde; yöntemlerin güvenirliğini, etkinliğini veya doğruluğunu araştırma konularında birçok çalışma geçmişte yapılmıştır (Hekimoğlu & Koch, 1999; Wiśniewski, 2014; Zienkiewicz, 2015; Nowel, 2016; Zienkiewicz, Hejbudzka & Dumalski, 2017).

Ard arda ölçü periyotlarının elde edilmesi için; 1. periyot ölçüleri, hatasız olduğu varsayılan ölçülere ilgili periyoda ait normal dağılımlı $\mathbf{e_1}$ rasgele hata vektörü yüklenerek elde edilir. Ardı sıra gelen diğer periyotlara hem normal dağılımlı rastgele hata vektörleri ($\mathbf{e_2}$, $\mathbf{e_3}$, $\mathbf{e_4}$) hem de hesaplanan yer değiştirme büyüklükleri yüklenir. Her 4 periyot ölçünün oluşturduğu ölçü kümesi bir örneklem olarak ele alınır. Her bir örneklem için analiz sonucunda, deformasyona uğramış olarak tayin edilen noktalar ile 2., 3. ve 4. periyot ölçüleri oluşturulurken yer değiştirmelerin ve dolaylı olarak hız ve/veya ivmenin yüklendiği noktalar aynı ise, ilgili örneklem sonucunda yöntem başarılı olarak kabul edilmektedir. Aksi takdirde başarısız sayılmaktadır. Kısaca, hangi noktalarda yer değiştirme üretilmişse ve deformasyon modeliyle analiz sonucunda da aynı noktalar elde edilirse yöntem başarılı sayılmaktadır. Yer değiştirme büyüklüğü rastgele olacak şekilde belirlenen aralıktan seçileceği için örneklem sayısı keyfi olarak artırılabilir. Böylece istenen sayıda örnek küme elde edilerek, her bir örnek küme için yöntemin başarılı sonuç verip vermediği yukarıda bahsedilen şekilde analiz edilir. OBO bu örnek kümelerden başarılı deney sayısının toplam deney sayısına bölümü ile elde edilir:

$$\gamma_i(L, \mathrm{l_{1i}}, \mathrm{l_{2i}}, \mathrm{l_{3i}}, \mathrm{l_{4i}}, int, n_d, e_{1\mathrm{i}}, \mathrm{e_{2i}}, \mathrm{e_{3i}}, \mathrm{e_{4i}}, n, u) = \frac{q_i}{N} \qquad (3.2)$$

Burada, L analiz yöntemini, int yer değiştirmenin aralığını, $\mathrm{l_{1i}}$ 1. Periyot, $\mathrm{l_{2i}}$ 2. Periyot, $\mathrm{l_{3i}}$ 3.Periyot ve $\mathrm{l_{4i}}$ 4.Periyot ölçülerini, $\mathrm{n_d}$ yer değiştiren nokta sayısını, n ölçü sayısını, $\mathrm{q_i}$ yer değiştiren noktaların doğru belirlendiği örnek küme sayısını, u bilinmeyen sayısını, N toplam örnek küme sayısını ve $i = 1 \cdots N$'ye kadar ilgili örnek kümeyi ifade etmektedir. Böylece, değişik etkiler (deformasyon analiz yöntemi, nokta sayısı, yer değiştirme büyüklük aralığı) göz önüne alınarak OBO hesaplanabilir.

OBO'nun belirlenmesi için aşağıda verilen şartların sağlanması gerekmektedir:

- Eğer yükleme yapılan nokta dışında herhangi bir noktada anlamlı hız ve/veya ivme parametresi bulunursa sonuç başarısız olarak hesaplanır.
- Eğer hız ve ivme gerçekte yüklenen nokta veya noktalarda tespit edilirse, yüklenen değerle kestirilen değer arasındaki farkın istatistiksel olarak belirlenen anlamlılık düzeyinde anlamsız olması gerekmektedir. Fark

değerleri bu testte anlamsız hesaplanırsa, istatistiksel olarak kestirilen değerin gerçek değere eşit olduğu yorumu yapılır ve sonuç başarılı olur.

4
Kinematik Deformasyon Analizi Yöntemlerinin Güvenirliğinin Araştırılması

Yöntemlerin sonuçlarının güvenirliklerinin araştırılması için, kestirilen parametrelerin gerçek değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu nedenle güvenirlik çalışmalarında ölçülerin ve araştırma konusu olan büyüklüklerin yapay olarak modellenerek sisteme eklendiği simülasyon çalışmaları dikkate alınır. Tez çalışmasının bu bölümünde KDA modellerinin sonuçlarının güvenirliklerinin araştırılması için gerçekleştirilen birinci simülasyon çalışması anlatılacaktır.

4.1 Hız ve ivme parametrelerine ait büyüklüklerin hesaplanması

Bu çalışmada noktalara yüklenecek yerdeğiştirme büyüklüklerine ilişkin hız ve ivme parametreleri için önceki bölümlerde açıklanan yer değiştirme küresi dikkate alınmıştır. Yer değiştirme küresinin yarıçapı r' EKBYD olarak adlandırılmakta, r ve $2r$ aralığından rastgele seçilmektedir. Hız büyüklüğü başlangıç ve $i+1$. periyotlar için, $i = 1,2,3$ iken

$$v'_{t_{i+1},t_1} = r'/(t_{i+1} - t_i) \tag{4.1}$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Yer değiştirme vektörü, ilgili periyotlar için ivme büyüklüğünün sıfır olduğu varsayıldığında,

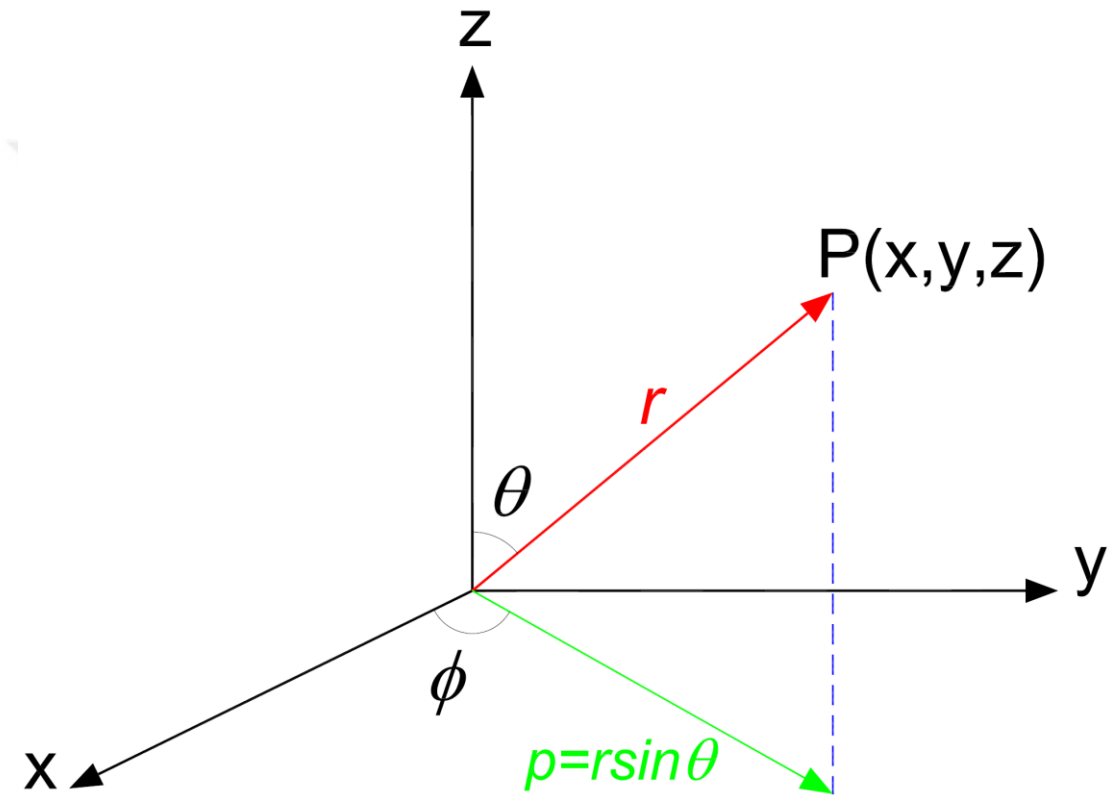
$$r'_{t_{i+1},t_1} = v'_{t_{i+1},t_1}\ (t_{i+1} - t_1) \tag{4.2}$$

eşitliğiyle elde edilir. Yer değiştirme vektörünün bileşenleri (4.3) eşitliklerine dayanarak hesaplanmaktadır. Başlangıç ve $i+1$. periyotlara ait küresel koordinatlar

$$\begin{aligned} s^x_{t_{i+1},t_1} &= r'_{t_{i+1},t_1} \sin\theta \cos\phi \\ s^y_{t_{i+1},t_1} &= r'_{t_{i+1},t_1} \sin\theta \sin\phi \\ s^z_{t_{i+1},t_1} &= r'_{t_{i+1},t_1} \cos\theta \end{aligned} \tag{4.3}$$

eşitlikleriyle kartezyen koordinatlar şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 4.1).

Yer değiştirme vektörünün simülasyonunda birbirinden farklı doğrultular için farklı olasılıklarda iz düşüm gerçekleşebilmektedir. Yer değiştirme sadece tek bir bileşke doğrultusunda(X ∨ Y ∨ Z), iki bileşke doğrultusunda (X ∧ Y, X ∧ Z, Y ∧ Z) veya üç bileşke ekseni doğrultusunda (X ∧ Y ∧ Z) ortaya çıkabilir. Kutup açısı (θ) ve azimut açısı (ϕ) olarak adlandırılan küresel açılar, 0≤θ≤200 ve 0≤ ϕ<400 aralıklarından seçilmektedir (Moon & Spencer, 1988, s. 24) (Tablo 4.1).



Şekil 4.1 EKBYD vektörünün küresel ve kartezyen koordinat sisteminde temsili gösterimi

GPS ağı için üretilen yer değiştirme vektörü başlangıç ve sonrasındaki periyotlar için

$$\mathbf{s}_{t_{i+1},t_1} = [\,0\;0\;0\;\ldots s^x_{t_{i+1},t_1}, s^y_{t_{i+1},t_1}, s^z_{t_{i+1},t_1} \ldots 0\;0\;0] \qquad (4.4)$$

şeklinde yazılır. Burada s^x, s^y, s^z bileşenleri **s** yer değiştirme vektörünün sırasıyla x, y ve z ekseni üzerine iz düşümlerini göstermektedir. Burada her periyoda ait

"gerçek" olduğu varsayılan ölçü vektörüne, normal dağılımlı rastgele hata vektörü ve yer değiştirme vektörü (başlangıç periyodu hariç)

$$\mathbf{l}_{t_1} = \mathbf{l} + \mathbf{e}_1 \tag{4.5}$$

$$\mathbf{l}_{t_{i+1}} = \mathbf{l} + \mathbf{e}_{i+1} + \mathbf{A_1} \times \mathbf{s}_{t_{i+1},t_1}, \quad i = 1, 2, 3 \tag{4.6}$$

eşitlikleri kullanılarak yüklenmektedir. Burada $\mathbf{A_1}$ (2.42)'de bulunan katsayılar matrisini, $\mathbf{l}$ Bernese v5.2 (Dach, Lutz, Walser & Fridez, 2015) yazılımı ile çözülen GPS ağına ait elde edilen "gerçek" olduğu varsayılan (rastgele hata olmaksızın) ölçüleri ifade etmektedir. Ayrıca $\mathbf{e}_i \sim N(0, 1)$ normal dağılımlı rastgele hata vektörünü belirtmektedir. Bu aşamada, Matlab sayı üreteci kullanılarak ölçülere eklemek için üretilen rastgele hata vektörü, hem 4-periyottan her biri hem de her 10 000 deneyden her biri için farklı "seed" değeri seçtirilerek üretilmiştir.

Tablo 4.1 Yer değiştirme vektörünün ilgili bileşkeye ait eksene iz düşümü için kutup ve azimut açılarına ait aralıklar

Axis	θ (grad)	ϕ (grad)
X	100	0
Y	100	300
Z	0	200
X∧Y∧Z	0<θ<200	0<ϕ<400

Böylece hem aynı rastgele hata büyüklüklerinin tekrarından kaçınılmış hem de farklı KDA modelleri için aynı örneklem kümelerinin kullanılması sağlanmıştır. Birinci periyoda ait vektör $\mathbf{l}_{t_1}$, "gerçek" olduğu varsayılan ölçülere (4.5)'te gösterildiği gibi normal dağılımlı rastgele hata vektörünün eklenmesiyle elde edilmekte olup ardı sıra gelen periyotlar için (4.6)'da olduğu gibi yer değiştirme büyüklüğünün ölçülere yüklenmesi işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada; EKBYD büyüklüğü r, (2.26) kullanılarak 15.07 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değer

3-periyot zamanı için göz önüne alınarak (4.1)'deki şekilde hız için belirlenebilir en küçük büyüklük elde edilmektedir.

Eğer ivme göz önüne alınırsa (4.2) eşitliği yeniden ölçü periyodu $i = 1, 2, 3$ için

$$r''_{t_{i+1},t_1} = v'_{t_{i+1},t_1}\ (t_{i+1} - t_1) + \frac{1}{2}a'(t_{i+1} - t_1)^2 \tag{4.7}$$

şeklinde yazılır. Buradaki r''_{t_{i+1},t_1} değeri, (4.3)'te r' ifadesinin yerine yazılarak, yer değiştirme vektörü (4.4), (4.5) ve (4.6) eşitlikleri için yeniden oluşturulmaktadır.

Burada a' yükleme yapılan ivme büyüklüğüdür. Bu büyüklüğün nasıl seçildiğinden önce en küçük belirlenebilir ivme büyüklüğünün hesabı aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

I. Hızın yüklendiği senaryoda konum ve hız parametrelerinin kofaktör matrisi

$$\mathbf{Q}_{dv'} = (\mathbf{A}_{\boldsymbol{lin}}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}\mathbf{A}_{\boldsymbol{lin}})^{-1} \tag{4.8}$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada $\mathbf{A}_{\boldsymbol{lin}}$ (2.65)'te gösterilen doğrusal model için katsayılar matrisidir. $\mathbf{Q}_{dv'}$ kofaktör matrisinden hızlara ait kofaktör değerleri alınarak $\mathbf{Q}_{v'}$ matrisinde yazılır.

II. Hız parametrelerinin kofaktörlerinin ortalama değeri

$$q_{v'} = mean(diag(\mathbf{Q}_{v'})) \tag{4.9}$$

eşitliğinden yola çıkarak elde edildikten sonra

III. bu değerin karakökü önsel standart sapma ile çarpılarak

$$s_a = \sqrt{q_{v'}}\sigma_0 \tag{4.10}$$

elde edilmektedir. Burada $\sigma_0 = s_1^{t1} = 4.99\,mm$ (4.13)'te gösterilen kinematik modele ait birim ağırlıklı standart sapmayı s_a ise hız parametrelerinin ortalama sonsal standart sapmalarını göstermektedir.

IV. Son adımda elde edilen standart sapma, 3.29 ($\boldsymbol{z_{1-\alpha/2}, \alpha = 0.001}$) sınır değeri ile

$$a = 3.29 \times s_a \tag{4.11}$$

eşitliğindeki gibi çarpılarak ivme büyüklüğü hesaplanmaktadır. Sonuçta eğer hız parametresinde meydana gelen sapmalar istatistiksel olarak anlamlı olması bekleniyorsa, bu değerlerin $3.29 \times s_a$ çarpımından büyük olması gerekmektedir.

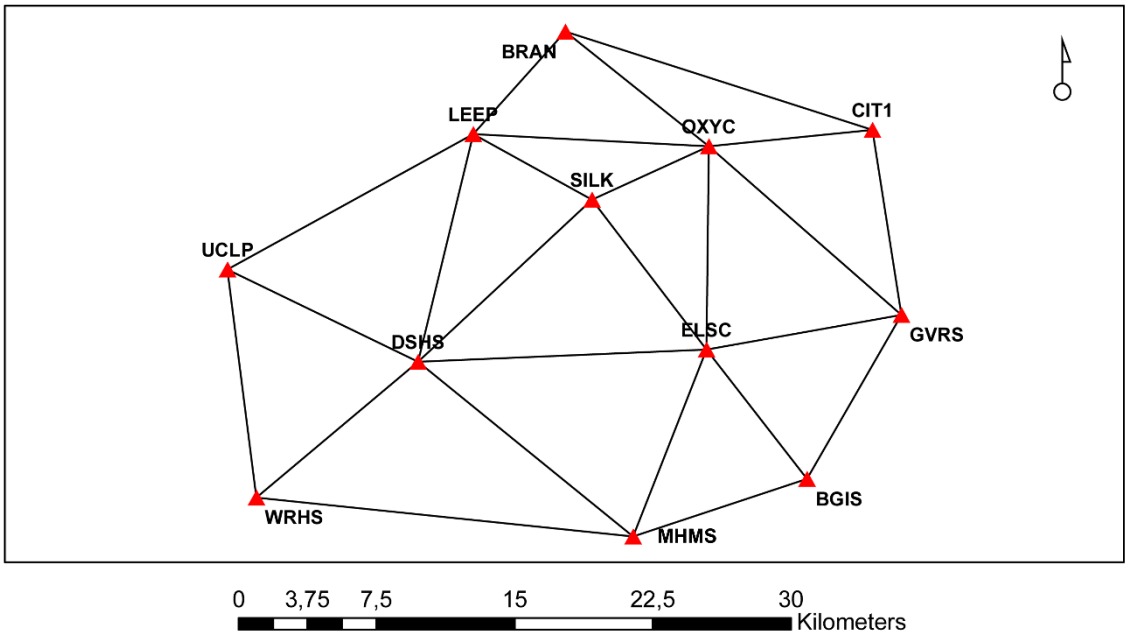
İvme büyüklüğü a' rastgele şekilde a ve $2a$ aralığından seçilerek (4.7)'de yerine konulmaktadır. Her bir periyot için elde edilen yer değiştirme vektörleri ilgili bileşene ait eksenlere (4.3)'te gösterildiği şekilde iz düşürülerek, (4.4) eşitliğinde yerine yazılır. Sonuç olarak yer değiştirme vektörü katsayılar matrisiyle çarpılarak yer değiştirmelerin her bir ölçü periyoduna eklenmesi sağlanmaktadır.

4.2 Üç Boyutlu GPS Deformasyon Ağı için Uygulama

GPS baz bileşenlerinin ağırlık matrisi

$$P = diag(\sigma_0^2/\sigma_{l_{1_x}}^2, \sigma_0^2/\sigma_{l_{1_y}}^2, \sigma_0^2/\sigma_{l_{1_z}}^2 \cdots, \sigma_0^2/\sigma_{l_{n_x}}^2, \sigma_0^2/\sigma_{l_{n_y}}^2, \sigma_0^2/\sigma_{l_{n_z}}^2) \qquad (4.12)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada n ölçü sayısını, $\sigma_{l_i} = \pm(5\ mm + 1ppm)$ olmak üzere $i = 1, .., n$ ve her X, Y ve Z doğrultuları için aynıdır. Periyotlarda ağ geometrisi aynı olduğundan ağırlık matrisi değişmemektedir. Birim ağırlıklı ölçünün varyansı $\sigma_0^2 = \sigma_{l_{1_x}}^2$ ilk ölçü olacak şekilde $24.98\ mm^2$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.2 GPS deformasyon ağı

KDA ile dört periyot ölçünün birlikte dengelenmesinden önce her bir periyot ayrı ayrı serbest ağ dengelemesiyle koordinatlar kestirilmektedir. Her bir periyoda ait kestirilmiş koordinatların sonsal standart sapmaları

$$s_i^{tj} = s_0^{tj}\sqrt{\mathbf{Q_{xx}}_{i,i}} \tag{4.13}$$

eşitliğiyle elde edilmektedir. Burada $i = 1, \cdots, u_k$ olmak üzere, $u_k = 36$ bilinmeyen parametrelerin sayısını ve j ise ilgili periyodu temsil etmektedir. s_0^{tj} ise tj periyoduna ait sonsal standart sapmayı ve s_i^{tj} ifadesi her bir bilinmeyen parametrelerinin standart sapmalarını barındıran tj periyoduna ait vektörü belirtmektedir. KDA'da kullanılan modeller için $s_1^{t1^2}$ birim ağırlıklı varyans olarak belirlenmiştir.

Bilinmeyen parametrelerine ait kofaktör matrisi $\mathbf{Q_{xx}}$ ağ geometrisi değişmediği için her bir periyotta özdeştir. Böylece, kinematik model için ağırlık matrisi

$$s^{tj} = s_1^{t1^2}/s_i^{tj^2} \tag{4.14}$$

iken, $\mathbf{P_k} = diag(\boldsymbol{s^{t1}s^{t2}s^{t3}s^{t4}})$ eşitliğiyle elde edilmektedir.

4.3 Analizler

OBO hem vektör hem de parametrik test için hesaplanmıştır. Analizlerde v_v ve a_v sırasıyla hız ve ivme parametreleri için vektör testine ait sonuçları; v_p and a_p ise sırasıyla yine hız ve ivme parametreleri için parametrik teste ait sonuçları ifade etmektedir. Bunun yanı sıra "gerçek" olduğu varsayılan (yüklenen değer) büyüklük ile kestirilen değer arasındaki farkın anlamlılığı sırasıyla hız ve ivme parametreleri için $\bar{v}_v$ ve $\bar{a}_v$ vektörel; $\bar{v}_p$ ve $\bar{a}_p$ ise parametrik test yöntemleriyle araştırılmıştır. İlgili testler Şekil 2.3 ve 2.4'te gösterilen yaklaşımlar kullanılarak 10 000 farklı senaryoda gerçekteki durumla karşılaştırılarak OBO'lar hesaplanmıştır.

İvmenin "0" olarak dikkate alındığı, doğrusal hareket, yalnızca bir bileşen ekseninde yüklenmesi ve üç bileşen ekseninde yapılan yükleme senaryolarına ait karesel modelin OBO sonuçları, Tablo 4.2 ve 4.3'te sunulmaktadır. Tablolarda m yer değiştiren nokta sayısını temsil etmektedir.

Tablo 4.2 Doğrusal hareket için karesel modelden kestirilen hız parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Karesel Model							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
v_p	87.81	77.50	88.26	76.97	88.27	77.04	76.57	52.53
$\bar{v}_p$	87.77	77.25	88.21	76.58	88.19	76.62	76.40	51.65
v_v	83.27	73.33	83.38	72.71	83.25	72.51	83.50	71.49
$\bar{v}_v$	83.26	73.22	83.34	72.59	83.24	72.33	83.35	70.97

Noktanın üç bileşene ait eksen yönünde yer değiştirdiği duruma ait (X ∧ Y ∧ Z) senaryo sonuçlarına bakıldığında vektör testin parametrik teste göre daha başarılı sonuç verdiği görülmektedir. Parametrik test ile tek yer değiştiren nokta ve iki yer değiştiren nokta olduğu durumlar için anlamlılığa ait OBO sırasıyla %76.57 ve %52.53'tür. X ∧ Y ∧ Z durumunda parametrik testin güvenirliği X ∨ Y ∨ Z durumuna göre daha düşük olmasına rağmen, vektör test iki durumda da aynı başarıyı göstermiştir.

Hız parametrelerine ait hesaplanan OBO, ivme parametrelerinin OBO'suna bağlıdır. Tablo 4.2'de gösterilen hıza ait vektör ve parametrik testin OBO farkı (yaklaşık %5), Tablo 4.3'te sunulan ivmeye ait vektör ve parametrik test arasındaki OBO farkının yansımasıdır. Vektör testinde yer değiştiren noktanın etkisini parametrik teste göre yaklaşık %5 daha fazla yaymaktadır.

Tablo 4.3 Doğrusal hareket için karesel modelden kestirilen ivme parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Karesel Model							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
a_p	96.98	96.91	97.03	96.91	97.05	97.02	96.94	91.07
a_v	91.27	91.20	91.36	91.30	91.37	91.34	91.24	91.34

İvme parametresinin göz önüne alındığı, düzgün olmayan (non-uniform) hareket, durumu için karesel model sonuçlarına göre X ∨ Y ∨ Z senaryosu için vektör test ve parametrik test OBO'ları neredeyse aynıdır (Tablo 4.4). Ancak X ∧ Y ∧ Z senaryosunda ise vektör teste ait OBO'lar hem tek hem de iki nokta yer değiştirdiğinde parametrik teste göre daha yüksektir (Tablo 4.4 ve 4.5).

Tablo 4.4 Karesel hareket için karesel modelden kestirilen hız parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Karesel Model							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
v_p	61.10	39.57	61.57	39.04	61.00	39.61	33.04	10.95
$\bar{v}_p$	61.02	39.32	61.47	38.83	60.97	39.36	32.90	10.69
v_v	60.95	41.50	60.54	41.20	60.11	41.44	78.06	64.90
$\bar{v}_v$	54.65	34.11	54.42	33.69	54.00	34.32	77.96	64.51

X ∨ Y ∨ Z senaryosuna göre X ∧ Y ∧ Z senaryosunda ivmeye ait hesaplanan OBO ne kadar yüksekse hıza ait OBO da daha başarılı olarak ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.4 ve 4.5).

Tablo 4.5 Karesel hareket için karesel modelden kestirilen ivme parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Karesel Model							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
a_p	67.50	47.08	67.98	46.32	67.11	47.57	38.71	15.58
$\bar{a}_p$	67.47	46.92	67.93	46.18	67.07	47.31	38.63	15.32
a_v	66.85	49.09	66.85	48.80	66.61	49.10	84.90	77.57
$\bar{a}_v$	66.82	49.03	66.79	48.71	66.58	49.01	84.77	77.23

Tablo 4.6'da X ∨ Y ∨ Z senaryosu için tek nokta yer değiştirdiğinde tümdengelim modeline ait parametrik test sonuçlarının, vektör test sonuçlarına göre yaklaşık %15 daha başarılı olduğu gösterilmektedir.

Tablo 4.6 Doğrusal hareket için tümdengelim modelinden kestirilen hız parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Tümdengelim Modeli							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
v_p	51.62	47.64	52.27	47.6	51.79	47.6	21.61	12.11
$\bar{v}_p$	49.68	47.37	49.89	47.41	49.74	47.32	19.83	11.79
v_v	36.4	43.54	37.52	43.55	36.97	43.6	0.86	10.53
$\bar{v}_v$	35.37	43.34	36.26	43.44	35.82	43.4	-	-

Ancak iki yer değiştiren nokta olduğu durumda vektör testin başarı oranı parametrik teste yaklaşmaktadır. Bunun yanı sıra X ∧ Y ∧ Z senaryosunda her iki test yöntemine ait sonuçların başarısız olduğu görünmektedir (Tablo 4.6).

Tablo 4.7 Doğrusal hareket için tümdengelim modelinden kestirilen ivme parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Tümdengelim Modeli							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
a_p	96.98	96.91	97.03	96.95	97.05	97.02	96.82	96.55
a_v	91.27	91.20	91.36	91.27	91.37	91.34	91.10	90.79

Tablo 4.6 incelendiğinde tümdengelim yaklaşımının doğrusal model aşamasında kestirilen hız parametresine ait parametrik ve özellikle vektör testte yayma etkisi fazla olduğu için OBO sonuçlarının düşük olduğu görülmektedir. Örneğin; tek bileşen yönünde, yani X ∨ Y ∨ Z, yüklenen senaryoda m=1 iken, iki ve üç noktada anlamlı yer değiştirme bulunması oranı parametrik test için yaklaşık %45 iken vektör test için %55'tir (Tablo B.1 ve B.2). Tablo 4.3 ve 4.7'de karesel model kullanılarak elde edilen ivmeye ait OBO'nun yakın değerler olduğu göz önüne alındığında, hız parametresinde meydana gelen yayma etkisinin doğrusal model kaynaklı olduğu dikkat çekmektedir.

İvmenin yüklendiği doğrusal olmayan düzgün hareket durumunda tümdengelim yaklaşımı ve karesel model yaklaşımı aynıdır (Şekil 2.4). Tablo 4.8'den 4.12'ye kadar tümevarım modeline ait sonuçlar gösterilmektedir.

Tablo 4.8 Doğrusal hareket için tümevarım modelinden kestirilen hız parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Tümevarım Modeli							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
v_p	51.23	47.22	51.10	48.01	52.60	48.62	22.05	12.53
$\bar{v}_p$	51.18	47.19	51.02	47.95	52.51	48.39	20.18	12.20
v_v	30.93	40.35	31.20	41.40	32.03	40.55	0.86	10.53
$\bar{v}_v$	30.93	40.35	30.21	41.05	31.99	40.46	-	-

Tablo 4.6 ve 4.8 incelendiğince, hız parametresi doğrusal model kullanılarak elde edildiği için, tümdengelim ve tümevarım sonuçlarında önemli benzerlikler

görülmektedir. İvmenin kestirilmesinde tümevarım ve tümdengelim yaklaşımlarına ait Tablo 4.9ve 4.7'deki sonuçlar karşılaştırıldığında, Tablo 4.8'de gösterilen karesel modele genişletmeden önce doğrusal modele ait hızın OBO'ları ivme parametresinin başarısını düşürmektedir.

Tablo 4.9 Doğrusal hareket için tümevarım modelinden kestirilen ivme parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Tümevarım Modeli							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
a_p	51.17	47.16	51.34	47.10	51.17	47.70	22.05	12.53
a_v	36.40	43.54	36.35	42.88	36.40	43.62	0.86	10.53

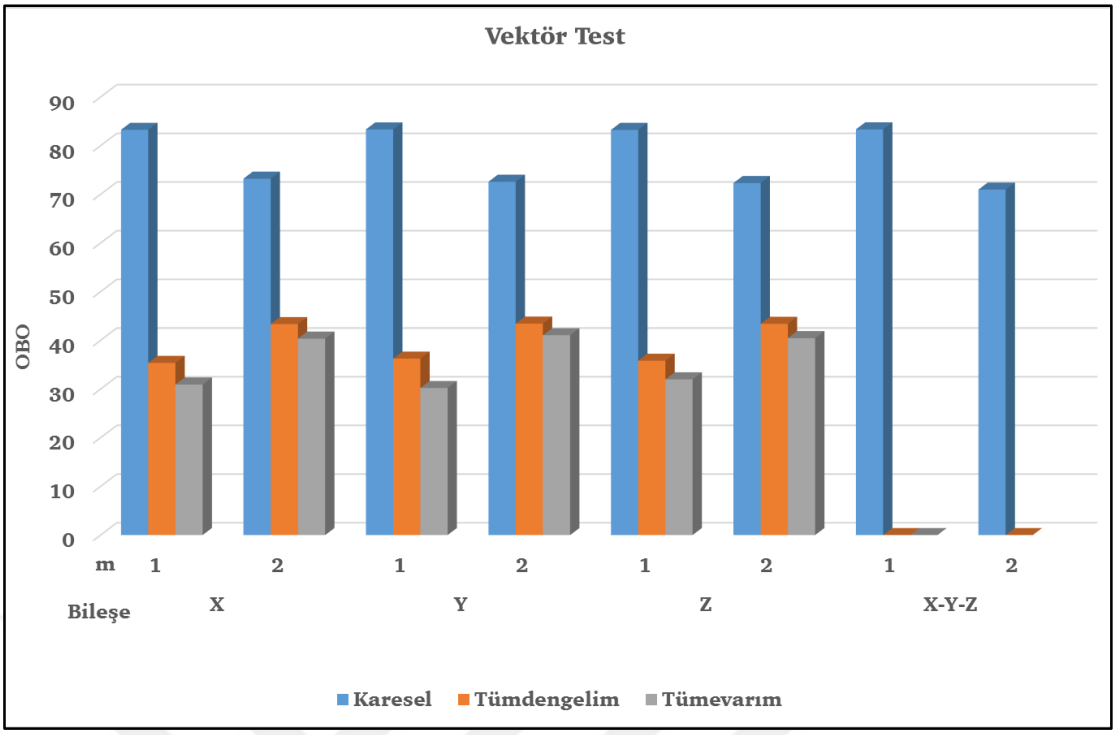
Diğer bir deyişle, tümdengelim modelinde karesel model ilk aşamada kullanılmasına rağmen, tümevarım yaklaşımında hız parametresinin kestirilmesinde; karesel modelden önce doğrusal model kullanılmaktadır. Bu durum ivmeye ait OBO'yu kötü anlamda etkilemektedir (Tablo 4.8 ve 4.9).

Tümevarım yaklaşımının; karesel modelin doğrusal modelden sonra ikinci aşamada kullanılarak hız parametresine ait en düşük OBO'ya sahip olduğu dikkat çekmektedir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10 Karesel hareket için tümevarım modelinden kestirilen hız parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Tümevarım Modeli							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
v_p	7.61	30.54	7.38	30.49	7.84	30.58	10.66	4.55
$\bar{v}_p$	7.56	30.51	7.36	30.46	7.82	30.58	10.61	4.52
v_v	3.81	29.75	3.74	29.66	3.56	29.94	-	11.43
$\bar{v}_v$	3.29	27.63	3.25	27.59	3.03	27.86	-	4.35

Bunu nedeni; elde edilen başarı oranının, hem birinci aşamada doğrusal model kullanılarak elde edilen hıza ait OBO'ya hem de karesel modelden elde edilen ivmenin OBO'suna bağımlı olmasıdır (Tablo 4.11).

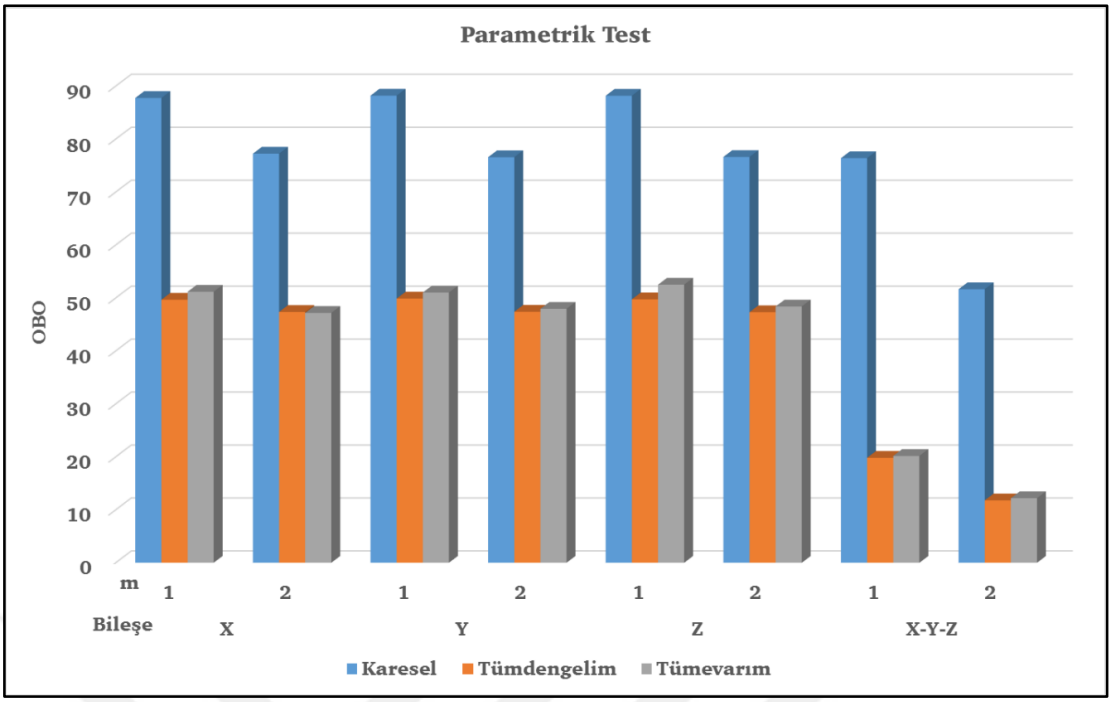


Şekil 4.3 İvme yüklü değilken vektör test ile elde edilen hız parametresine ait kestirilen değerle gerçek değer arasındaki farkın anlamlılığının OBO

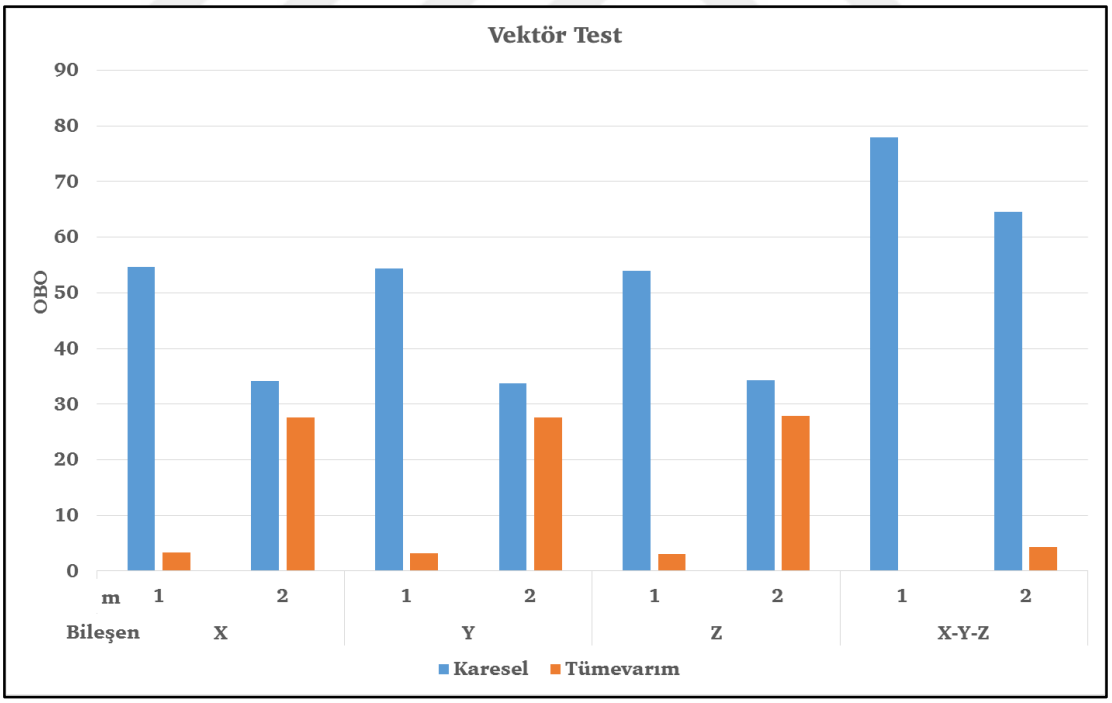
Tablo 4.11 Karesel hareket için tümevarım modelinden kestirilen ivme parametresine ait OBO

Model	OBO (%) Tümevarım Modeli							
Doğrultu	**X**		**Y**		**Z**		**X ∧ Y ∧ Z**	
m	1	2	1	2	1	2	1	2
a_p	7.61	30.54	7.38	30.49	7.84	30.58	10.66	4.55
$\bar{a}_p$	7.61	30.47	7.36	30.44	7.84	30.52	10.61	4.49
a_v	5.12	31.74	5.18	31.74	5.04	32.04	-	11.52
$\bar{a}_v$	5.12	31.68	5.17	31.69	5.04	31.96	-	11.49

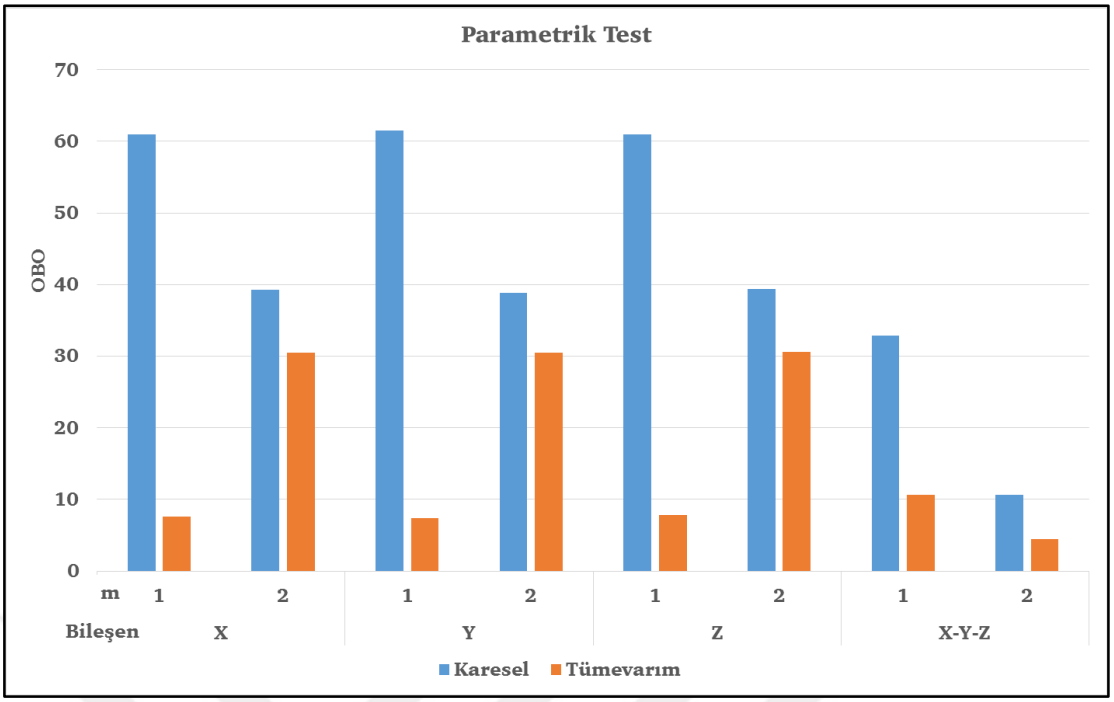
Tablo 4.11'de görüldüğü üzere doğrusal modelden elde edilen hız parametresinin kestiriminde yayma etkisi oldukça fazla olduğu için, ivmenin yüklendiği bu senaryoda tümevarım yaklaşımı en düşük OBO sonucunu vermektedir.



Şekil 4.4 İvme yüklü değilken parametrik test ile elde edilen hız parametresine ait kestirilen değerle gerçek değer arasındaki farkın anlamlılığına ait OBO



Şekil 4.5 İvme yüklü iken vektör test ile elde edilen hız parametresine ait kestirilen değerle gerçek değer arasındaki farkın anlamlılığına ait OBO



Şekil 4.6 İvme yüklü iken parametrik test ile elde edilen hız parametresine ait kestirilen değerle gerçek değer arasındaki farkın anlamlılığına ait OBO

Yukarıda gösterilen Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6 karesel modelin vektör ve parametrik test için en başarılı yaklaşım olduğunu göstermektedir. Bu sebeple karesel modelin kullanılmasıyla, tümevarım ve tümdengelim yaklaşımlarına göre daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

5
Doğrusal Hareket Sistemi Yardımıyla Kinematik Deformasyon Analiz Modellerinin Güvenirliğinin Araştırılması

Bir önceki uygulama bölümünde yapay olarak oluşturulan GPS ağında normal dağılımlı rastgele hatalar üretilerek ve EKBYD büyüklükleri hesaplanarak "gerçek" olduğu varsayılan baz ölçülerine yüklenmiştir. Bununla beraber tasarlanan üç yaklaşıma ait sonuçlar iki farklı teknikle incelenmiştir. Bu uygulamada ise üretilen DHS yardımıyla GPS ağında daha önceden tasarlanan obje noktaları hareket ettirilerek yer değiştirme, hız ve ivme büyüklükleri için farklı senaryolar oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir.

5.1 Doğrusal Hareket Sistemi ve Planlanan Yer Değiştirme Senaryoları

Yer değiştirme büyüklükleri küçük genlikli (r değerine daha yakın) ve büyük genlikli (2r değerine daha yakın) değerlerden seçilmiştir. Hesaplanan bu yer değiştirme büyüklükleri 4 noktada DHS (Şekil 5.4) yardımıyla hareket ettirilerek yüklenmiştir. Senaryolar;

1- Yükseklik doğrultusunda küçük genlikli hızın modele katıldığı ivmenin göz ardı ediliği

2- Yükseklik doğrultusunda büyük genlikli hızın modele katıldığı ivmenin göz ardı ediliği

3- Yükseklik doğrultusunda küçük genlikli hız ve ivmenin modele katıldığı

4- Yükseklik doğrultusunda büyük genlikli hız ve ivmenin modele katıldığı

olası deformasyonları incelemek üzere senaryolar,

- Yalnızca Düşey doğrultu
- Yalnızca Yatay düzlem (Kuzey-Doğu bileşeni)
- Düşey doğrultuda ve Yatay (Kuzey-Doğu bileşeni) düzlem

boyunca toplamda 12 olmak üzere planlanmıştır. İlgili senaryolara daha detaylı olarak gelecek alt başlıklarda yer verilmiştir.

5.1.1 İmalatı Gerçekleştirilen Doğrusal Hareket Sistemleri

Bölüm envanterinde bir adet DHS yer almaktadır. Bu bakımdan Mart – Haziran 2018 döneminde çalışmada ihtiyaç duyulan 3 adet DHS'nin imalatı ve kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3).

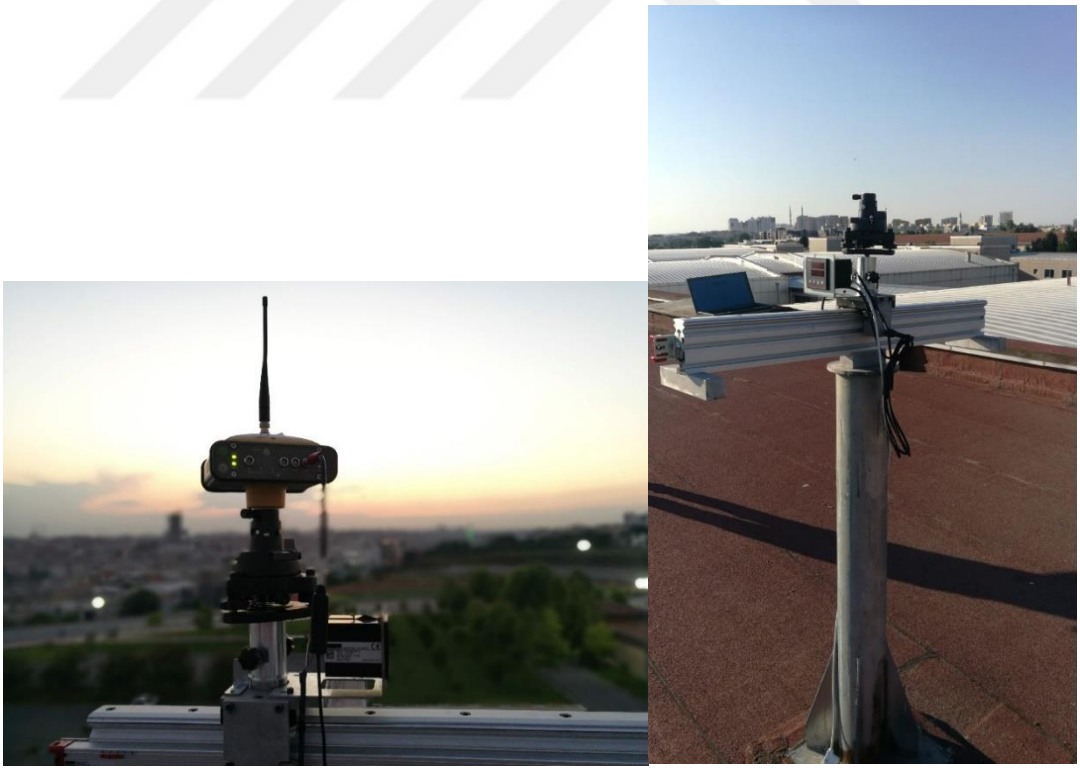
Şekil 5.1 Makine ekipmanlarının imalatı

Şekil 5.2 Evrensel sayacın montajı

Ölçümlerde kullanılan nokta tesisleri pilyedir. Şekil 5.4'te obje noktası olarak tasarlanmış pilye üzerine doğrusal hareket sistemlerinin tesis edilmiş hali görülmektedir. Yaklaşık 1m uzunluğunda bir yatak üzerine yerleştirilen manyetik doğrusal artımlı sinyal kodlayıcı (magnetic linear incremental encoder)'nın doğruluğu $\pm 15 \mu m$'dir ("MPS Abkant Pres Lineer Enkoder," t.y., par. 2).

Şekil 5.3 Evrensel sayacın kalibrasyonu

DHS'ler ve Global Navigation Satellite System (GNSS) aletleri pilyeler üzerine düzeçlenerek yerleştirilmiştir. Ölçümlerde Topcon Hiper Pro GNSS alıcıları kullanılmıştır. Senaryolar sırasında mümkün olduğunca GNSS aletlerine dokunulmamıştır.



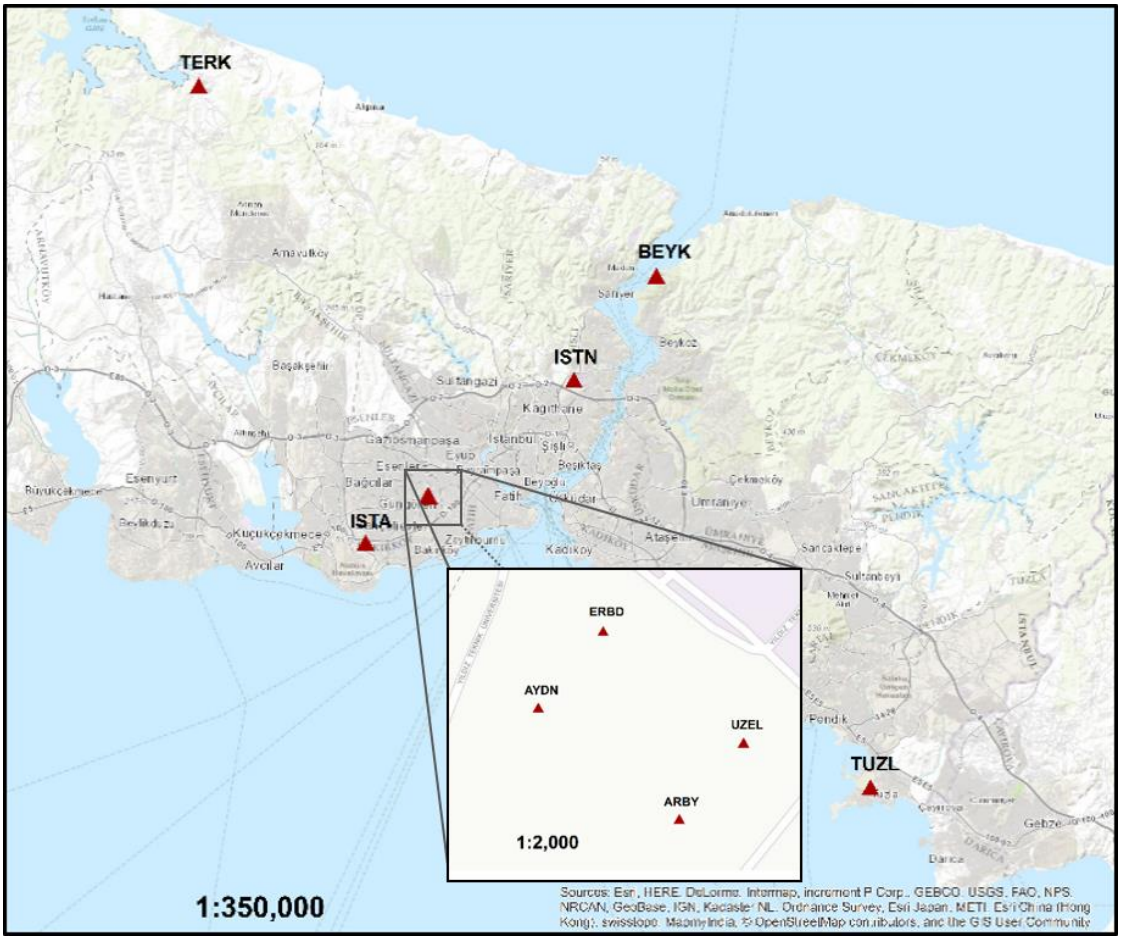
(a) (b)

Şekil 5.4 DHS'lerin pilye üzerine tesis edilmiş hali

Güç bağlantıları yapılarak aletler yerlerinden sökülmeden şarjları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, verilerin aktarılması işlemlerinde de aynı özene dikkat edilmiştir. Simülasyon çalışmasının gerçeğe uygun olması için her bir ölçüm gününde ölçü başlangıcında GNSS aletleri açılmış, kontrollü olarak alet yükseklikleri ölçülmüş ve 8 saat sonunda ölçüm sonlandırılırken GNSS aletleri kapatılmıştır.

5.2 Planlanan Senaryolar ve Bu Senaryolar İçin Hesaplanan Minimum Yer Değiştirme Büyüklükleri

Proje çalışması kapsamında 4 noktalı DHS dayanaklı (obje noktaları) ve 5 adet sürekli veri toplayan sabit GNSS istasyonları (referans noktaları) yardımı ile 9 noktalı jeodezik deformasyon ağı tasarlanmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Proje kapsamında tasarlanan 9 noktalı GPS ağı

Sabit GNSS istasyonları için International GNSS Service (IGS) ağından ISTA noktası, Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA)-Aktif sisteminden ISTN noktası ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) ağından TERK, BEYK ve TUZL noktaları seçilmiştir. Oluşturulan bu ağda ölçüler eş zamanlı olarak 8 saat gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda noktalar arasında 35 baz oluşturulmuştur. Her bir noktada EKBYD büyüklüğü ve anlamlı hız bileşeninden yola çıkarak yatay düzlemde ve düşey doğrultuda noktalara yüklenecek minimum hız ve ivme değerleri hesaplanmıştır.

Simülasyon gerçekleştirilirken toplamda 9 noktalı bu deformasyon ağındaki 4 obje noktasına yüklenecek yer değiştirmelerin belirlenmesi çok önemlidir. Bunun için gerekli olan kofaktör matrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Kuzey (k), doğu (d) ve yükseklik (y) bileşenleri için önsel standart sapma değerleri ilk olarak Eckl, Snay, Soler, Cline ve Mader, (2001) tarafından hesaplanan daha sonra Şanlı ve Hayal (2014) tarafından geliştirilen doğruluk modelinden aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır:

$$\sigma_k = \frac{7.7}{\sqrt{T}} \tag{5.1}$$

$$\sigma_d = \frac{7.4}{\sqrt{T}} \tag{5.2}$$

$$\sigma_y = \frac{30.8}{\sqrt{T}} \tag{5.3}$$

Burada, T saat biriminde zamanı ifade etmektedir. GNSS ölçümleri 8 saat olacak şekilde planlandığında kuzey bileşeni için $\sigma_k = 2.72\ mm$, doğu bileşeni için $\sigma_d = 2.62\ mm$ ve yükseklik bileşeni için $\sigma_y = 10.89\ mm$ değerlerini almaktadır. Böylece korelasyonun dikkate alınmadığı durumda ağırlık matrisinin köşegen elemanları aşağıdaki şekilde oluşturulur:

$$\mathbf{P} = diag(\sigma_0^2/\sigma_{1_k}^2, \sigma_0^2/\sigma_{1_d}^2, \sigma_0^2/\sigma_{1_y}^2 \cdots, \sigma_0^2/\sigma_{i_k}^2, \sigma_0^2/\sigma_{i_d}^2, \sigma_0^2/\sigma_{i_y}^2) \tag{5.4}$$

Burada $i = 1, 2 \cdots n$'ye kadar ölçü sayısını göstermektedir. Birim ağırlıklı varyans $\sigma_0^2 = 7.39\ mm^2$ olmak üzere birinci ölçünün varyansı olarak seçilmiştir. Daha sonra ağırlık matrisi **P** ve katsayılar matrisi **A** yardımıyla kofaktör matirisi;

$$\mathbf{Q_{k,d}} = (\mathbf{A^T P A})^+ \tag{5.5}$$

eşitliği ile elde edilir. Kuzey ve doğu bileşenine ait kofaktör değerleri ayrı bir matrise aktarılır ve yer değiştirme büyüklüğüne ilişkin kofaktör matrisi (ağ konfigürasyonu ikinci periyotta değişmediği durumda kofaktör matrisi birinci periyoda ait kofaktör değerleri ile aynıdır):

$$\mathbf{Q_{D_{k,d}}} = \mathbf{Q_{t1_{k,d}}} + \mathbf{Q_{t2_{k,d}}} \tag{5.6}$$

şeklinde hesaplanır. Burada t1 ve t2 sırasıyla birinci ve ikinci periyodu göstermektedir.

İki boyut için güven elipsinin yarı eksenleri şu şekilde elde edilir:

$$a = \sigma_o \sqrt{\lambda_1 \chi^2_{2,\alpha}} \tag{5.7}$$

$$b = \sigma_o \sqrt{\lambda_2 \chi^2_{2,\alpha}}. \tag{5.8}$$

$$\lambda_1 = \frac{q_{Dxi.xi.} + q_{Dyiyi} + w}{2} \tag{5.9}$$

$$\lambda_2 = \frac{q_{Dxi.xi.} + q_{Dyiyi} - w}{2} \tag{5.10}$$

$$w = \sqrt{(q_{Dxixi} - q_{Dyiyi})^2 + 4q^2_{Dxiyi}} \tag{5.11}$$

Burada stokastik etkinin tamamına yakınının belirlenebilir en küçük yer değiştirme büyüklüğüne etki etmesi için α=0.001 olarak seçilmiştir. a ve b güven elipsine ait yarı eksenleri göstermektedir (Demirel, 2003). Yarı eksen değerleri sadece obje noktası olarak tasarlanan 4 nokta için hesaplanarak bu noktalara ait ortalama eksen değerleri elde edilmektedir. Hesaplanan ortalama yarı eksenlerin oluşturduğu elipsin alanına eşit alana sahip olan dairenin yarıçapı

$$\pi \, {r_{k,d}}^2 = \pi a_{ort} b_{ort} \tag{5.12}$$

$$r_{k,d} = \sqrt{a_{ort} b_{ort}} \tag{5.13}$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir. Yer değiştirme dairesi için belirlenebilir en küçük yer değiştirme büyüklüğü, dairenin yarıçapı ($r_{k,d}$) şeklinde tanımlanır (Hekimoglu vd. 2010, s.56; Nowel 2016 s.25; Erdoğan vd., 2017). Benzer şekilde yükseklik bileşeni için de yer değiştirmeye ilişkin kofaktör matrisi $\mathbf{Q_{D_y}} = \mathbf{Q_{t1_y}} + \mathbf{Q_{t2_y}}$ şeklinde

hesaplanır. Elde edilen matrisin köşegen elemanlarının ortalaması hesaplanarak ($\mathbf{Q_{y_{ort}}}$), $r_y = 3.29\sqrt{\mathbf{Q_{y_{ort}}}}$ formülü ile yükseklik bileşenine ait belirlenebilir en küçük yer değiştirme büyüklüğü elde edilmiştir.

Yer değiştirme büyüklüğüne ilişkin yer değiştirme çemberinin yarıçapı belirlendikten sonra ölçüm periyotlarının arasında geçen süre 1 yıl olarak hesaba katılmıştır. Bu şekilde yer değiştirme büyüklüğü sayesinde noktalardaki hız değerleri simüle edilmiştir. Obje noktalarında yer değiştirmeye ilişkin olarak hız parametresi yanında ivme parametresi de yer almaktadır. Bu bakımdan obje noktalarına yüklenecek ivmenin de etki ettiği yer değiştirme büyüklüğü son olarak aşağıdaki şekli almaktadır:

$$v = r_{k,d}/(t_{i+1} - t_i) \tag{5.14}$$

$$r_{t_2-t_1} = v\,(t_2 - t_1) + \frac{1}{2} r_a (t_2 - t_1)^2 \tag{5.15}$$

$$r_{t_3-t_1} = v\,(t_3 - t_1) + \frac{1}{2} r_a (t_3 - t_1)^2 \tag{5.16}$$

$$r_{t_4-t_1} = v\,(t_4 - t_1) + \frac{1}{2} r_a (t_4 - t_1)^2 \tag{5.17}$$

Burada, v hız büyüklüğünü, t ölçüm periyotlarının zamanını ve r_a yüklenecek ivme büyüklüğünü göstermektedir. Bu ivme büyüklüğü r_a değerini hesaplamak için öncelikle dört periyot sonunda kestirilen koordinat değerleri ölçü olarak düşünülerek, bu ölçülere ait ağırlık matrisi belirlenir. (5.5) eşitliğinde verilen denklem ile ağa ait elde edilen kofaktör matrisinden obje noktalarına ilişkin kuzey ve doğu bileşenlere ait değerler ayrı matrise aktarılır $\mathbf{Q_{k,d}}$. Buradan noktaların standart sapmaları hesaplanır:

$$s_{k,d(i,i)} = \sigma_0 \sqrt{\mathrm{q_{k,d}}_{(i,i)}} \tag{5.18}$$

ve ölçüler arasındaki korelasyonlar dikkate alınmazsa ağırlık matrisinin köşegen elemanları belirlenir:

$$p_{1(i,i)} = {s_{k,d(1,1)}}^2 / {s_{k,d(i,i)}}^2 \tag{5.19}$$

Elde edilen birinci periyoda ait ağırlık vektörü ikinci, üçüncü ve dördüncü periyot için eşit alınır ve ağırlık matrisi şu şekilde oluşturulur: $\mathbf{PP} = diag$ [p1 p2 p3 p4]**.** Doğrusal modele ait kofaktör matirisi

$$\mathbf{Q}_{doğrusal} = \mathbf{A1}^{\mathbf{T}}\mathbf{PPA1} \tag{5.20}$$

eşitliğinden elde edilir. Burada,

$$\mathbf{A1} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{I}(t_{i+1} - t_i) \\ \mathbf{I} & \mathbf{I}(t_{i+1} - t_i) \\ \mathbf{I} & \mathbf{I}(t_{i+1} - t_i) \\ \mathbf{I} & \mathbf{I}(t_{i+1} - t_i) \end{bmatrix} \tag{5.21}$$

şeklindedir. $\mathbf{Q}_{doğrusal}$ matrisinden yararlanarak hız bilinmeyenlerine ilişkin standart sapma değerleri $S_v = \sigma_0\sqrt{\mathrm{q}_{doğrusal}}$ eşitliğinden elde edilir. Daha sonra bu değerlerin ortalaması 3.29 ile çarpılarak en küçük belirlenebilir periyotlar arasındaki hızdaki değişim belirlenmiştir. Benzer işlemler yükseklik bileşeni için de gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan GNSS ağında hesaplanan minimum değerler Tablo 5.1' de verilmektedir.

Tablo 5.1 Proje çalışmasında obje noktalara yüklenmesi planlanan hız ve ivme parametreleri için minimum değerler

	Hız (mm/y)		**İvme (mm/y²)**	
	Yatay Düzlem (k, d)	**Düşey Doğrultu (y)**	**Yatay Düzlem (k, d)**	**Düşey Doğrultu (y)**
Küçük Genlik (r)	4.41	15.92	3.93	14.87

Simülasyonda kullanılacak minimum değerler hesaplandıktan sonra 12 adet senaryo ve bu senaryolarda Tablo 5.1'deki büyüklükler dikkate alınarak sisteme yüklenecek yer değiştirme büyüklükleri hesaplanmıştır. Tablo 5.2'de senaryoların numaraları, açıklamaları ve obje noktalarına yüklenen hız ve ivme değerleri verilmektedir.

Tablo 5.2 Ölçümlerdeki senaryolar ve bu senaryolarda obje noktalarına yüklenmesi planlanan hız ve ivme değerleri

Senaryo Numarası	Açıklama	Büyüklükler			
		Hız (mm/yıl)		İvme mm/yıl^2	
		Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu
1	Sadece düşey doğrultuda, küçük genlikli, ivmesiz hareket	-	ARBY – 16.90 AYDN – 17.30 ERDB – 17.15 UZEL – 17.00	-	ARBY – 0.00 AYDN – 0.00 ERDB – 0.00 UZEL – 0.00
2	Sadece düşey doğrultuda, büyük genlikli, ivmesiz hareket	-	ARBY – 29.90 AYDN – 30.30 ERDB – 30.15 UZEL – 30.00	-	ARBY – 0.00 AYDN – 0.00 ERDB – 0.00 UZEL – 0.00
3	Sadece düşey doğrultuda, küçük genlikli, ivmeli hareket	-	ARBY – 16.90 AYDN – 17.30 ERDB – 17.15 UZEL – 17.00	-	ARBY – 16.00 AYDN – 16.00 ERDB – 16.00 UZEL – 16.00
4	Sadece düşey doğrultuda, büyük genlikli, ivmeli hareket	-	ARBY – 29.90 AYDN – 30.30 ERDB – 30.15 UZEL – 30.00	-	ARBY – 32.00 AYDN – 32.00 ERDB – 32.00 UZEL – 32.00
5	Sadece yatay düzlemde, küçük genlikli, ivmesiz hareket	ARBY – 5.13 AYDN – 5.00 ERDB – 5.18 UZEL – 4.91	-	ARBY – 0.00 AYDN – 0.00 ERDB – 0.00 UZEL – 0.00	-
6	Sadece yatay düzlemde, büyük genlikli, ivmesiz hareket	ARBY – 8.00 AYDN – 7.90 ERDB – 8.19 UZEL – 8.11	-	ARBY – 0.00 AYDN – 0.00 ERDB – 0.00 UZEL – 0.00	-
7	Sadece yatay düzlemde, küçük genlikli, ivmeli hareket	ARBY – 5.00 AYDN – 5.20 ERDB – 5.10 UZEL – 4.90	-	ARBY – 5.70 AYDN – 5.90 ERDB – 5.80 UZEL – 5.60	-
8	Sadece yatay düzlemde, büyük genlikli, ivmeli hareket	ARBY – 8.30 AYDN – 8.10 ERDB – 8.20 UZEL – 8.00	-	ARBY – 8.10 AYDN – 8.00 ERDB – 8.30 UZEL – 8.20	-
9	Yatay düzlem ve düşey doğrultuda, küçük genlikli, ivmesiz hareket	ARBY – 5.13 AYDN – 5.00 ERDB – 5.18 UZEL – 4.91	ARBY – 16.90 AYDN – 17.30 ERDB – 17.15 UZEL – 17.00	ARBY – 0.00 AYDN – 0.00 ERDB – 0.00 UZEL – 0.00	ARBY – 0.00 AYDN – 0.00 ERDB – 0.00 UZEL – 0.00
10	Yatay düzlem ve düşey doğrultuda, büyük genlikli, ivmesiz hareket	ARBY – 8.00 AYDN – 7.90 ERDB – 8.19 UZEL – 8.11	ARBY – 29.90 AYDN – 30.30 ERDB – 30.15 UZEL – 30.00	ARBY – 0.00 AYDN – 0.00 ERDB – 0.00 UZEL – 0.00	ARBY – 0.00 AYDN – 0.00 ERDB – 0.00 UZEL – 0.00
11	Yatay düzlem ve düşey doğrultuda, küçük genlikli, ivmeli hareket	ARBY – 5.13 AYDN – 5.00 ERDB – 5.18 UZEL – 4.91	ARBY – 16.90 AYDN – 17.30 ERDB – 17.15 UZEL – 17.00	ARBY – 6.00 AYDN – 6.00 ERDB – 6.00 UZEL – 6.00	ARBY – 16.00 AYDN – 16.00 ERDB – 16.00 UZEL – 16.00
12	Yatay düzlem ve düşey doğrultuda, büyük genlikli, ivmeli hareket	ARBY – 8.00 AYDN – 7.90 ERDB – 8.19 UZEL – 8.11	ARBY – 29.90 AYDN – 30.30 ERDB – 30.15 UZEL – 30.00	ARBY – 8.00 AYDN – 8.00 ERDB – 8.00 UZEL – 8.00	ARBY – 32.00 AYDN – 32.00 ERDB – 32.00 UZEL – 32.00

5.3 Ölçüm Gerçekleştirilen Tarihler ve Bu Tarihlerde Obje Noktalarına Yüklenen Yer Değiştirme Büyüklükleri

Senaryoların uygulaması aşamasında her bir senaryonun 4 periyot ölçüm içermesi amaçlanmıştır. Referans ölçümünün tüm senaryolar için aynı olması planlanmıştır. Periyotlar arasında geçen sürenin 1 yıl olduğu düşünülerek, Tablo 5.2'de gösterilen değerler kullanılarak her bir periyotta doğrusal hareket sistemleri yardımıyla obje noktalarına yüklenecek değerler aşağıdaki (5.22) ve (5.23) formülleri hesaplanmıştır.

$$db_j = db_i + v_{db}\,(t_j - t_0) + \frac{1}{2}a_{db}(t_j - t_0)^2 \tag{5.22}$$

$$y_j = y_i + v_y\,(t_j - t_0) + \frac{1}{2}a_y(t_j - t_0)^2 \tag{5.23}$$

Burada, *db* yatay düzlemi, y düşey doğrultuyu, t_0 referans periyot zamanı (0 olarak alınmıştır), t_j j. periyot zamanını, v hız parametre değerini ve a ivme parametre değerini ifade etmektedir. Her bir senaryoda periyotlar için hesaplanan değerler ve GNSS ölçüm tarihleri Tablo 5.3, 5.4 ve 5.5'te verilmektedir.

Şekil 5.6 ARBY noktası üzerinde doğrusal hareket sisteminin kurulmuş hali

Tablo 5.3 Sadece düşey doğrultunun dikkate alındığı senaryolar ve bu senaryolarda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri ve ölçüm tarihleri

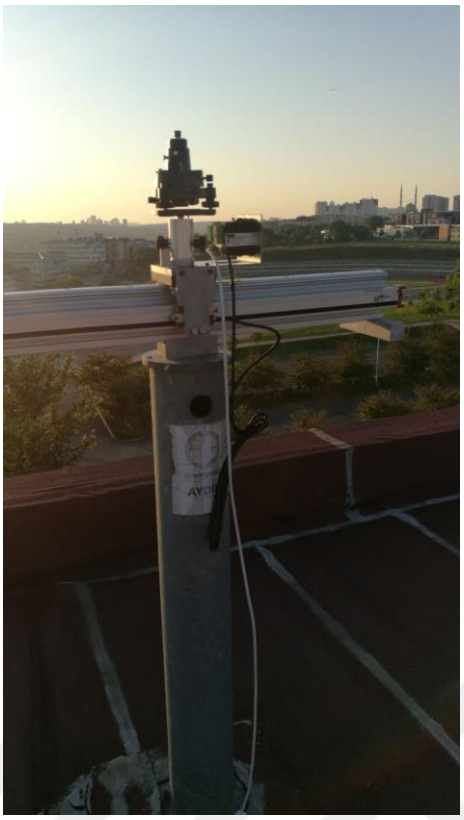
Senaryo Numarası	Ölçüm Tarihi	Düşey Doğrultuda Yüklenen Yer Değiştirme Büyüklüğü(mm)
Referans	03 Temmuz 2018	-
1	04 Temmuz 2018	ARBY – 16.90 AYDN – 17.30 ERDB – 17.15 UZEL – 17.00
	06 Temmuz 2018	ARBY – 33.80 AYDN – 34.60 ERDB – 34.30 UZEL – 34.00
	07 Temmuz 2018	ARBY – 50.70 AYDN – 51.90 ERDB – 51.45 UZEL – 51.00
2	08 Temmuz 2018	ARBY – 29.90 AYDN – 30.30 ERDB – 30.15 UZEL – 30.00
	09 Temmuz 2018	ARBY – 59.80 AYDN – 60.60 ERDB – 60.30 UZEL – 60.00
	10 Temmuz 2018	ARBY – 89.70 AYDN – 90.90 ERDB – 90.45 UZEL – 90.00
3	11 Temmuz 2018	ARBY – 24.90 AYDN – 25.30 ERDB – 25.15 UZEL – 25.00
	12 Temmuz 2018	ARBY – 65.80 AYDN – 66.60 ERDB – 66.30 UZEL – 66.00
	13 Temmuz 2018	ARBY – 122.70 AYDN – 123.90 ERDB – 123.45 UZEL – 123.00
4	14 Temmuz 2018	ARBY – 45.90 AYDN – 46.30 ERDB – 46.15 UZEL – 46.00
	15 Temmuz 2018	ARBY – 123.80 AYDN – 124.60 ERDB – 124.30 UZEL – 124.00
	16 Temmuz 2018	ARBY – 233.70 AYDN – 234.70 ERDB – 234.45 UZEL – 234.00

Tablo 5.4 Sadece yatay düzlemin dikkate alındığı senaryolar ve bu senaryolarda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri ve ölçüm tarihleri

Senaryo Numarası	Ölçüm Tarihi	Yatay Düzlemde Yüklenen Yer Değiştirme Büyüklüğü(mm)
5	17 Temmuz 2018	ARBY – 5.13 AYDN – 5.00 ERDB – 5.18 UZEL – 4.91
	19 Temmuz 2018	ARBY – 10.26 AYDN – 10.00 ERDB – 10.36 UZEL – 9.82
	21 Temmuz 2018	ARBY – 15.39 AYDN – 15.00 ERDB – 15.54 UZEL – 14.73
6	23 Temmuz 2018	ARBY – 8.00 AYDN – 7.90 ERDB – 8.19 UZEL – 8.11
	25 Temmuz 2018	ARBY – 16.00 AYDN – 15.80 ERDB – 16.38 UZEL – 16.22
	28 Temmuz 2018	ARBY – 24.00 AYDN – 23.70 ERDB – 24.57 UZEL – 24.33
7	30 Temmuz 2018	ARBY – 7.85 AYDN – 8.15 ERDB – 8.00 UZEL – 7.70
	01 Ağustos 2018	ARBY – 21.40 AYDN – 22.20 ERDB – 21.80 UZEL – 21.00
	03 Ağustos 2018	ARBY – 40.65 AYDN – 42.15 ERDB – 41.40 UZEL – 39.90
8	05 Ağustos 2018	ARBY – 12.35 AYDN – 12.10 ERDB – 12.35 UZEL – 12.10
	07 Ağustos 2018	ARBY – 32.80 AYDN – 32.20 ERDB – 33.00 UZEL – 32.40
	09 Ağustos 2018	ARBY – 61.35 AYDN – 60.30 ERDB – 61.95 UZEL – 60.90

Tablo 5.5 Yatay düzlemin ve düşey doğrultunun birlikte dikkate alındığı senaryolar ve bu senaryolarda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri ve ölçüm tarihleri

Senaryo Numarası	Ölçüm Tarihi	Yüklenen Yer Değiştirme Büyüklüğü	
		Yatay Düzlem (mm)	Düşey Doğrultu (mm)
9	18 Temmuz 2018	ARBY – 5.13 AYDN – 5.00 ERDB – 5.18 UZEL – 4.91	ARBY – 16.90 AYDN – 17.30 ERDB – 17.15 UZEL – 17.00
	20 Temmuz 2018	ARBY – 10.26 AYDN – 10.00 ERDB – 10.36 UZEL – 9.82	ARBY – 33.80 AYDN – 34.60 ERDB – 34.30 UZEL – 34.00
	22 Temmuz 2018	ARBY – 15.39 AYDN – 15.00 ERDB – 15.54 UZEL – 14.73	ARBY – 50.70 AYDN – 51.90 ERDB – 51.45 UZEL – 51.00
10	24 Temmuz 2018	ARBY – 8.00 AYDN – 7.90 ERDB – 8.19 UZEL – 8.11	ARBY – 29.90 AYDN – 30.30 ERDB – 30.15 UZEL – 30.00
	27 Temmuz 2018	ARBY – 16.00 AYDN – 15.80 ERDB – 16.38 UZEL – 16.22	ARBY – 59.80 AYDN – 60.60 ERDB – 60.30 UZEL – 60.00
	29 Temmuz 2018	ARBY – 24.00 AYDN – 23.70 ERDB – 24.57 UZEL – 24.33	ARBY – 89.70 AYDN – 90.90 ERDB – 90.45 UZEL – 90.00
11	31 Temmuz 2018	ARBY – 7.85 AYDN – 8.15 ERDB – 8.00 UZEL – 7.70	ARBY – 24.90 AYDN – 25.30 ERDB – 25.15 UZEL – 25.00
	02 Ağustos 2018	ARBY – 21.40 AYDN – 22.20 ERDB – 21.80 UZEL – 21.00	ARBY – 65.80 AYDN – 66.60 ERDB – 66.30 UZEL – 66.00
	04 Ağustos 2018	ARBY – 40.65 AYDN – 42.15 ERDB – 41.40 UZEL – 39.90	ARBY – 122.70 AYDN – 123.90 ERDB – 123.45 UZEL – 123.00
12	06 Ağustos 2018	ARBY – 12.35 AYDN – 12.10 ERDB – 12.35 UZEL – 12.10	ARBY – 45.90 AYDN – 46.30 ERDB – 46.15 UZEL – 46.00
	08 Ağustos 2018	ARBY – 32.80 AYDN – 32.20 ERDB – 33.00 UZEL – 32.40	ARBY – 123.80 AYDN – 124.60 ERDB – 124.30 UZEL – 124.00
	10 Ağustos 2018	ARBY – 61.35 AYDN – 60.30 ERDB – 61.95 UZEL – 60.90	ARBY – 233.70 AYDN – 234.70 ERDB – 234.45 UZEL – 234.00



Şekil 5.7 AYDN noktası üzerinde doğrusal hareket sisteminin kurulmuş hali

Şekil 5.8 ERBD noktası üzerinde doğrusal hareket sisteminin kurulmuş hali

Şekil 5.9 UZEL noktası üzerinde doğrusal hareket sisteminin kurulmuş hali

Şekil 5.10 Ölçüm sonunda verilerin GNSS aletlerinden aktarımı

5.4 Kinematik Deformasyon Analiz Modelinin Güvenirliğinin Araştırılması

Ağustos ayı içerisinde GNSS ölçümleri gerçekleştirildikten sonra, IGS duyarlı (final) yörünge ürünlerinin yayınlanmasını takiben Bernese v5.2 yazılımında çözümler gerçekleştirilmiştir. Bernese v5.2 yazılımı ile bağıl konumlama çözümleri yapılmıştır.

Bernese yazılımı tektonik çalışmalarında araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bilimsel bir yazılımdır. Bernese v5.2 yazılımında 8 saatlik ölçüler dikkate alınmıştır. Analizlerde Bernese v5.2 kılavuzunda belirtilen en uygun değerler kullanılmıştır. Duyarlı GPS yörüngeleri ve yer dönme parametreleri IGS'in veri merkezinden elde edilmiştir. İyonosferden arınmış L3 frekansı ile tek nokta konumlaması yapılarak her epokta alıcı saat hataları ve yeni noktalar için yaklaşık koordinatlar belirlenmiştir. Ölçülerdeki faz kesikliği ve uyuşumsuz ölçüler üçlü farklar oluşturularak kontrol edilmiştir. Bu işlem sonucunda uyuşumsuz ölçüler atılmış, düzeltilebilen faz kesiklikleri düzeltilmiş ve düzeltilemeyen kesikliklere, faz başlangıç belirsizliği parametresi eklenmiştir. Daha sonra, faz başlangıç belirsizliği parametreleri çözülmüştür. Faz başlangıç belirsizliği parametrelerinin çözümü için Quasi Ionosphere Free (QIF) stratejisi kullanılmıştır. Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) tarafından hesaplanan IGS noktalarından ISTA noktasının ITRF 2008.0 datumunda 2018.504 epoğundaki koordinatları datum tanımında kullanılarak çözüm yapılmıştır. Yapılan tüm Bernese değerlendirmelerinde bu kriterler dikkate alınmıştır. Analizde kullanılan noktaların ISTA noktasına göre yaklaşık baz uzunlukları Tablo 6'da verilmektedir. ISTA noktasına dayalı minimum zorlamalı çözümler daha sonra, tüm referans noktalarının datum tanımına katkıda bulunduğu kısmı iz minimum çözümüne dönüştürülmüştür. Bu şekilde kinematik deformasyon analizinde iki farklı durum da incelenmiştir.

Bernese v5.2 yazılımdan yer merkezcil kartezyen dik koordinatlar (X, Y, Z) ve kofaktör matrisleri elde edilmiştir.

Tablo 5.6 ISTA noktasına göre yaklaşık baz uzunlukları

Bazlar	Uzunluk (km)
ISTA – ISTN	20.2
ISTA – TUZL	38.5
ISTA – TERK	36.4
ISTA – BEYK	10.2
ISTA – ARBY	14.3
ISTA – AYDN	14.3
ISTA – ERBD	14.2
ISTA – UZEL	14.2

Bu koordinatlar ve ilgili kofaktör matrisleri (5.24), (5.25), (5.26) ve (5.27) eşitlikleri kullanılarak toposentrik dik koordinat sistemine (k, d, y) dönüştürülmüştür.

$$\begin{bmatrix}\Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0\end{bmatrix} \tag{5.24}$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix}-\sin\varphi_0\cos\lambda_0 & -\sin\varphi_0\cos\lambda_0 & \cos\varphi_0 \\ -\sin\varphi_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ \cos\varphi_0\cos\lambda_0 & \cos\varphi_0\sin\lambda_0 & \sin\varphi_0\end{bmatrix} \tag{5.25}$$

$$\begin{bmatrix}\Delta k_i \\ \Delta d_i \\ \Delta y_i\end{bmatrix} = \mathbf{R}\begin{bmatrix}\Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i\end{bmatrix}, i = 1,2,\dots,p \tag{5.26}$$

$$\mathbf{Q_{k,d,y}} = \mathbf{R}\mathbf{Q_{X,Y,Z}}\mathbf{R^T} \tag{5.27}$$

Burada, X_0, Y_0, Z_0 toposentrik sisteminde başlangıç noktası olarak seçilen noktanın yer merkezcil dik kartezyen koordinatlarını, φ_0 ve λ_0 bu başlangıç noktası olarak seçilen noktanın coğrafi koordinatlarını; X_i, Y_i, Z_i ise toposentrik sistemde koordinatları hesaplanmak istenen noktanın yer merkezcil dik kartezyen koordinatlarını, **R** dönüşüm matrisini, $\mathbf{Q_{k,d,y}}$ toposentrik sistemdeki kofaktör matrisini, $\mathbf{Q_{X,Y,Z}}$ yer merkezcil sistemdeki kofaktör matrisini, Δk_i, Δd_i ve Δy_i ise toposentrik koordinat farklarını ifade etmektedir.

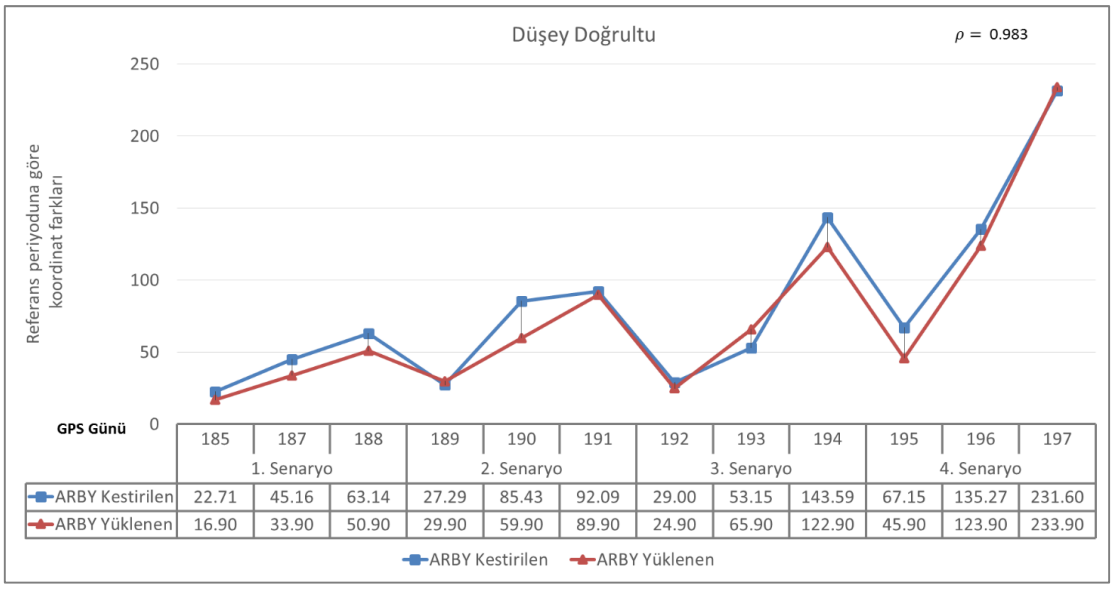
Toposentrik sisteme geçiş yapıldıktan sonra öncelikle her bir senaryoda referans periyot ile 4. Periyot arasında anlamlı yer değiştirme olup olmadığı araştırılmıştır. Santos, Vaníček ve Langley (1997) bazlar arasındaki korelasyonun dikkate alındığı durumda, bazların yalnızca kendi korelasyonunun dikkate alındığı duruma göre daha doğru sonuçlar ve daha gerçekçi duyarlılık elde edildiğini göstermiştir. Bu

sebeple bu çalışmada her bir periyot için Bernese v5.2 yazılımından elde edilen bazlar arasındaki matematiksel korelasyon dikkate alınarak stokastik model oluşturulmuştur. GPS verisinin EKK ile dengelenmesinden elde edilen konumun doğruluğu ve duyarlılığı verinin modellenmesinde kullanılan algoritmaya bağımlıdır. Deterministik kısma olan bağlılığın yanı sıra dengelemede kullanılacak olan verinin kovaryans matrisine de bağımlıdır (Santos vd., 1997). Bu nedenle; bu çalışmada elde edilen GPS verilerinin kofaktör matrisleri, Kashani, Wielgosz ve Grejner-Brezezinska, (2004) tarafından önerilen 22 katsayısı ile çarpılmıştır.

Senaryolara ait sonuçlarda kestirilen parametrelerin test değerleri Test 1, kestirilen değerle yüklenen büyüklüklerin farkına ait test değerleri ise Test 2 olarak tablolarda adlandırılmıştır.

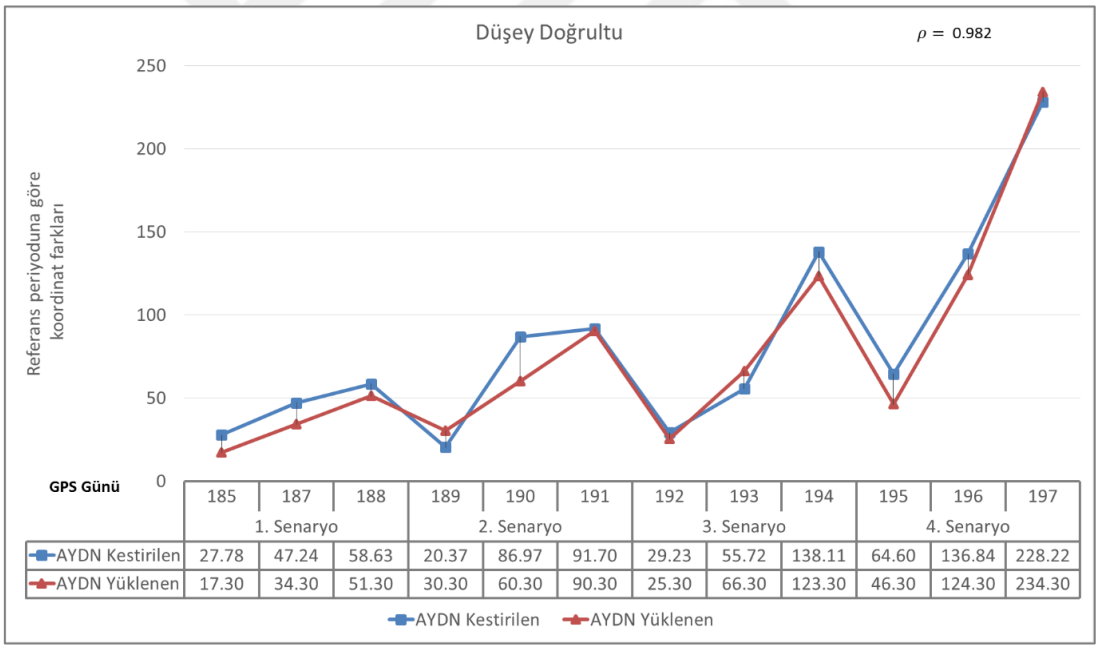
5.4.1 Birinci Yaklaşıma (ISTA noktasına dayalı) Göre Sonuçlar

Bu yöntemde her bir senaryo için çözümler gerçekleştirildikten sonra referans periyot ve dördüncü periyot arasında global uyuşumluluk testi yapılmışır. Tüm sonuçlarda ağda yer değiştiren nokta olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum belirlendikten sonra KDA gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.3, 5.4 ve 5.5'te her bir obje noktası için noktalara yüklenmesi planlanan yer değiştirme büyüklükleri verilmişti. Bernese v5.2 analizi sonucunda hesaplanan yer değiştirme büyüklükleri ve sisteme yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Şekil 5.11 - 5.26'da gösterilmektedir. ρ değeri iki veri kümesi arasındaki uyumu gösteren korelasyon değeridir. Değerler incelendiğinde yüklenen ve kestirilen büyüklüklerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sadece 9, 10, 11 ve 12. Senaryolarda UZEL noktasında yatay düzlemde kestirilen ve hesaplanan değerler arasında farklılıklar gözükmektedir.



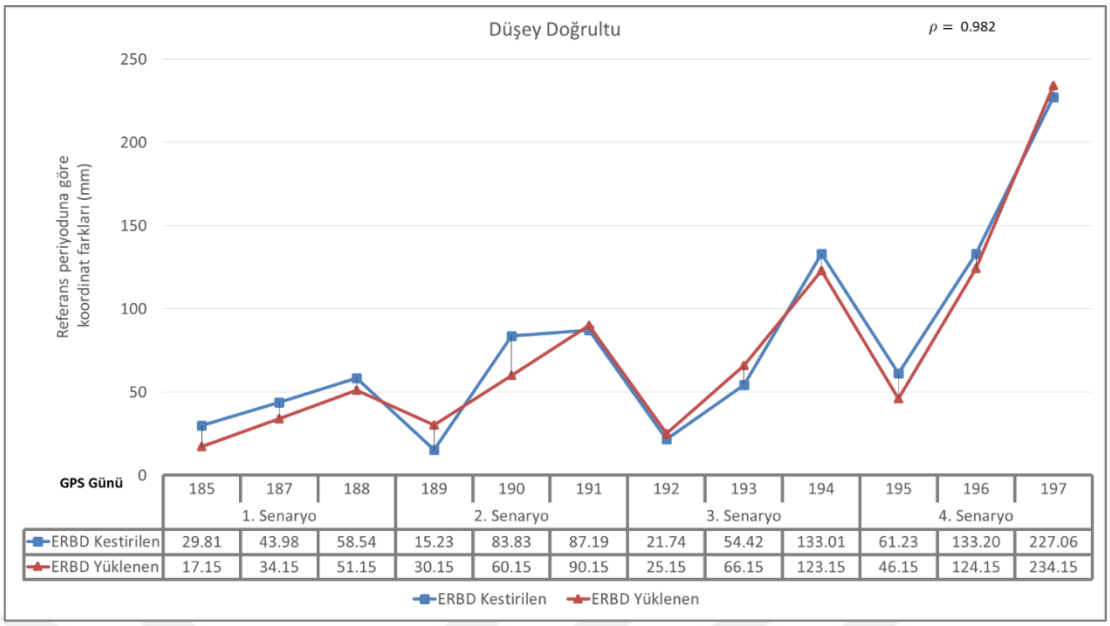
GPS Günü	185	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197
	1. Senaryo			2. Senaryo			3. Senaryo			4. Senaryo		
ARBY Kestirilen	22.71	45.16	63.14	27.29	85.43	92.09	29.00	53.15	143.59	67.15	135.27	231.60
ARBY Yüklenen	16.90	33.90	50.90	29.90	59.90	89.90	24.90	65.90	122.90	45.90	123.90	233.90

Şekil 5.11 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için ARBY noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri

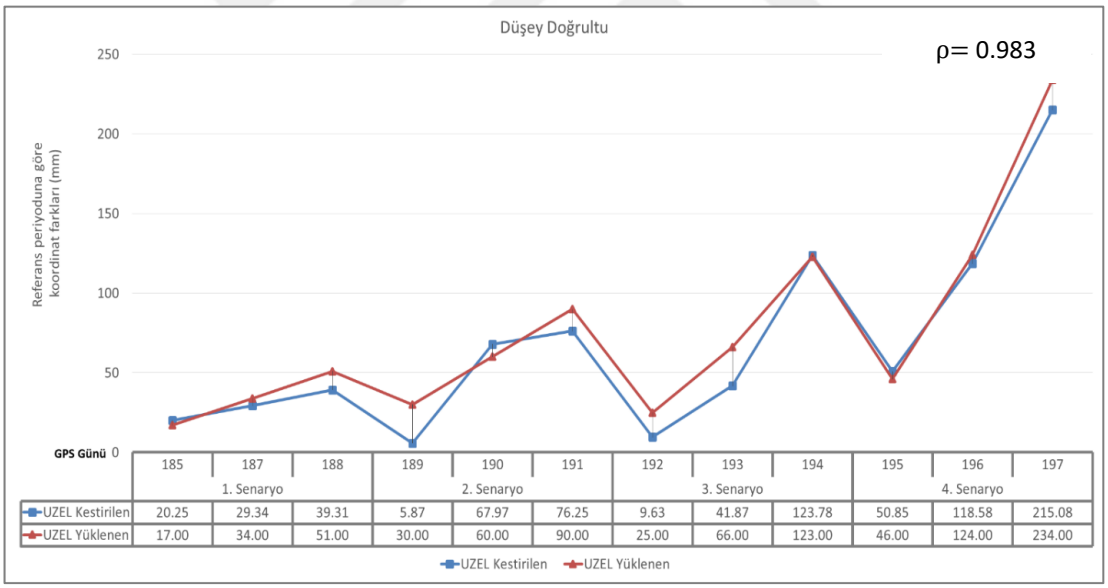


GPS Günü	185	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197
	1. Senaryo			2. Senaryo			3. Senaryo			4. Senaryo		
AYDN Kestirilen	27.78	47.24	58.63	20.37	86.97	91.70	29.23	55.72	138.11	64.60	136.84	228.22
AYDN Yüklenen	17.30	34.30	51.30	30.30	60.30	90.30	25.30	66.30	123.30	46.30	124.30	234.30

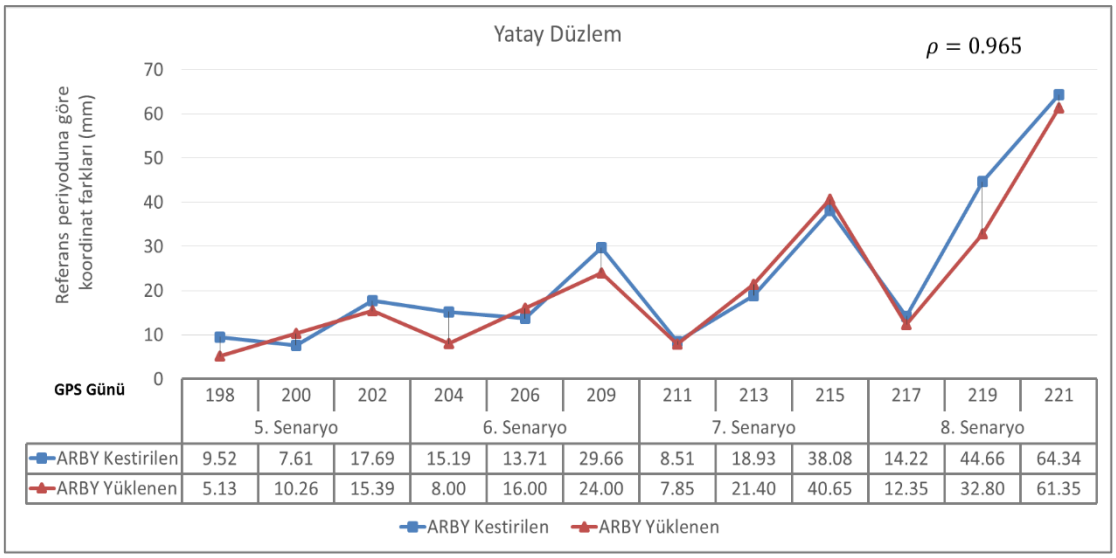
Şekil 5.12 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için AYDN noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



Şekil 5.13 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için ERBD noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri

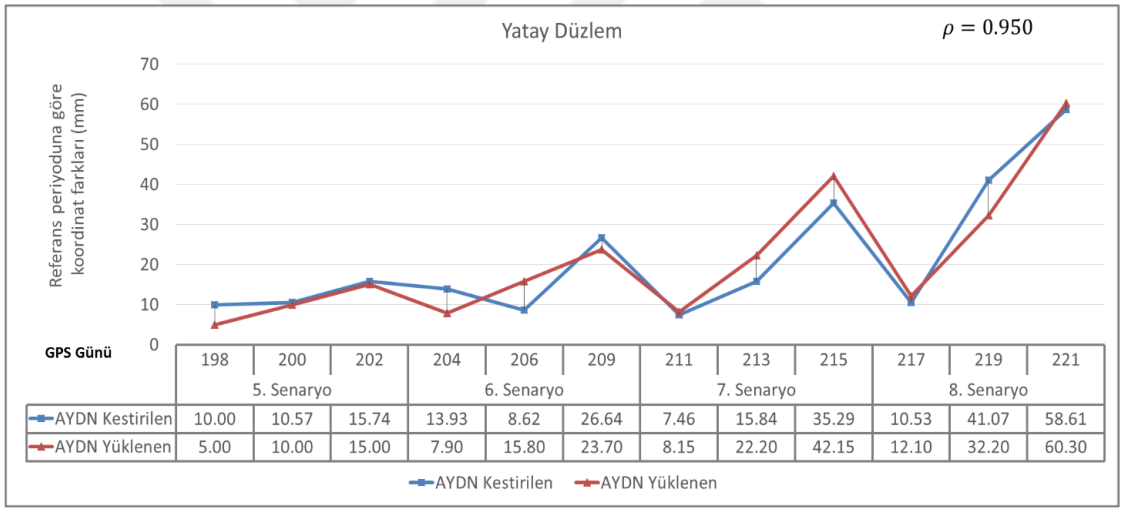


Şekil 5.14 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için UZEL noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



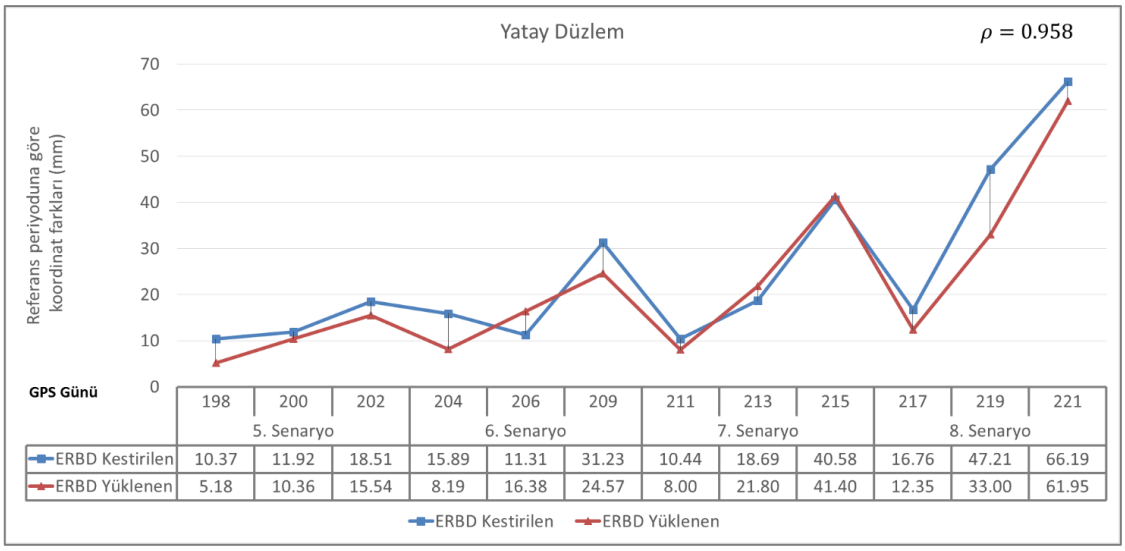
GPS Günü	198	200	202	204	206	209	211	213	215	217	219	221
	5. Senaryo			6. Senaryo			7. Senaryo			8. Senaryo		
ARBY Kestirilen	9.52	7.61	17.69	15.19	13.71	29.66	8.51	18.93	38.08	14.22	44.66	64.34
ARBY Yüklenen	5.13	10.26	15.39	8.00	16.00	24.00	7.85	21.40	40.65	12.35	32.80	61.35

Şekil 5.15 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için ARBY noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



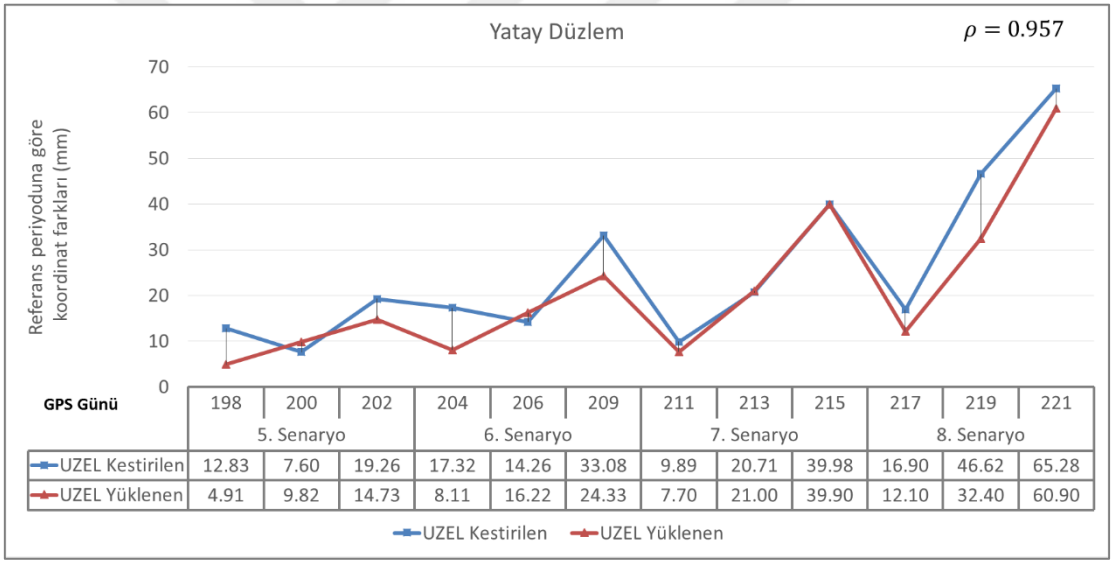
GPS Günü	198	200	202	204	206	209	211	213	215	217	219	221
	5. Senaryo			6. Senaryo			7. Senaryo			8. Senaryo		
AYDN Kestirilen	10.00	10.57	15.74	13.93	8.62	26.64	7.46	15.84	35.29	10.53	41.07	58.61
AYDN Yüklenen	5.00	10.00	15.00	7.90	15.80	23.70	8.15	22.20	42.15	12.10	32.20	60.30

Şekil 5.16 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için AYDN noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



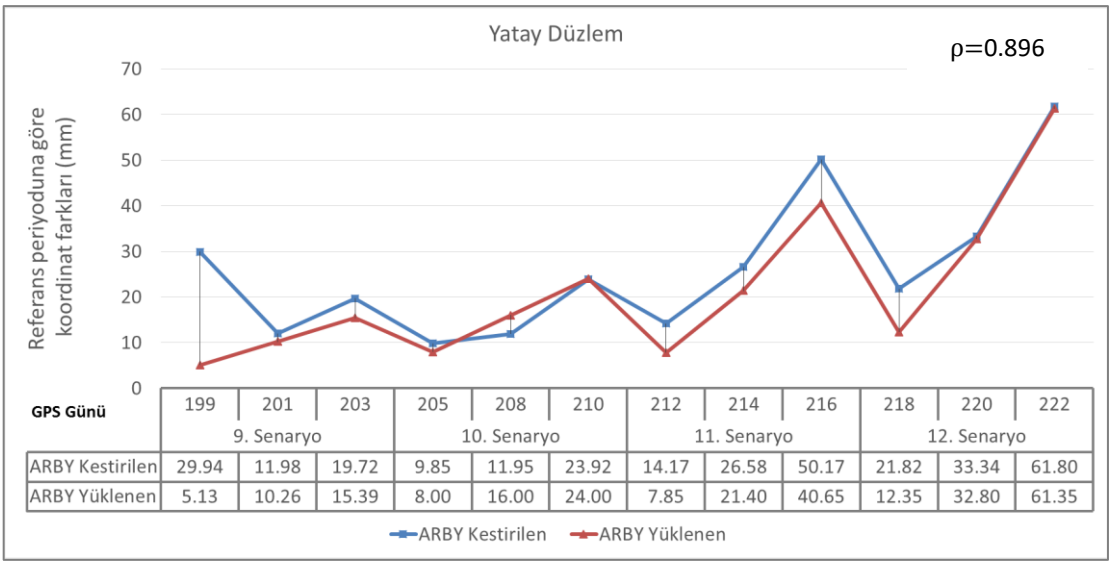
GPS Günü	198	200	202	204	206	209	211	213	215	217	219	221
	5. Senaryo			6. Senaryo			7. Senaryo			8. Senaryo		
ERBD Kestirilen	10.37	11.92	18.51	15.89	11.31	31.23	10.44	18.69	40.58	16.76	47.21	66.19
ERBD Yüklenen	5.18	10.36	15.54	8.19	16.38	24.57	8.00	21.80	41.40	12.35	33.00	61.95

Şekil 5.17 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için ERBD noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



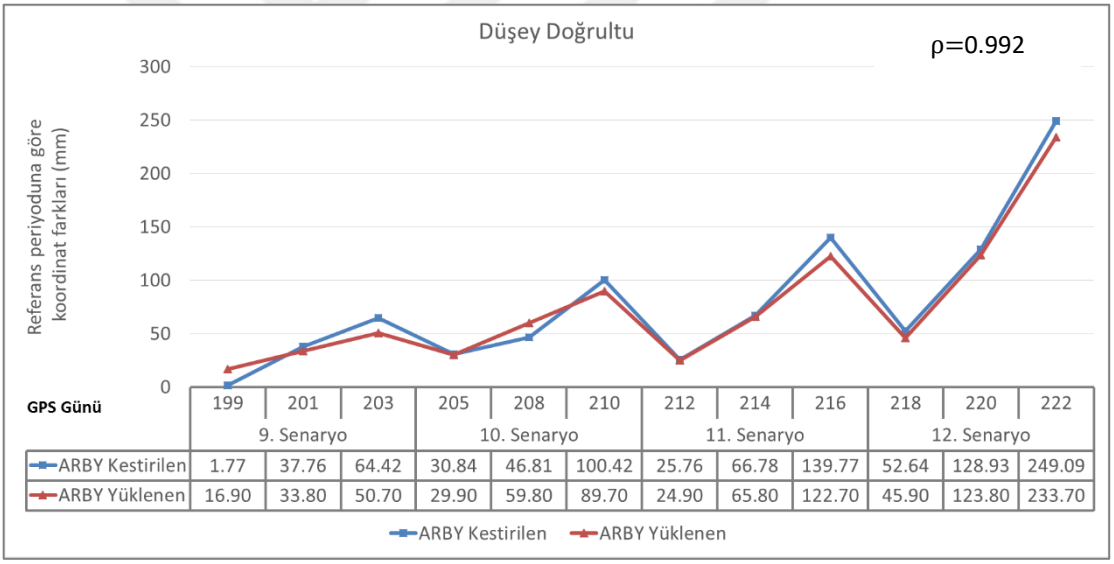
GPS Günü	198	200	202	204	206	209	211	213	215	217	219	221
	5. Senaryo			6. Senaryo			7. Senaryo			8. Senaryo		
UZEL Kestirilen	12.83	7.60	19.26	17.32	14.26	33.08	9.89	20.71	39.98	16.90	46.62	65.28
UZEL Yüklenen	4.91	9.82	14.73	8.11	16.22	24.33	7.70	21.00	39.90	12.10	32.40	60.90

Şekil 5.18 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için UZEL noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



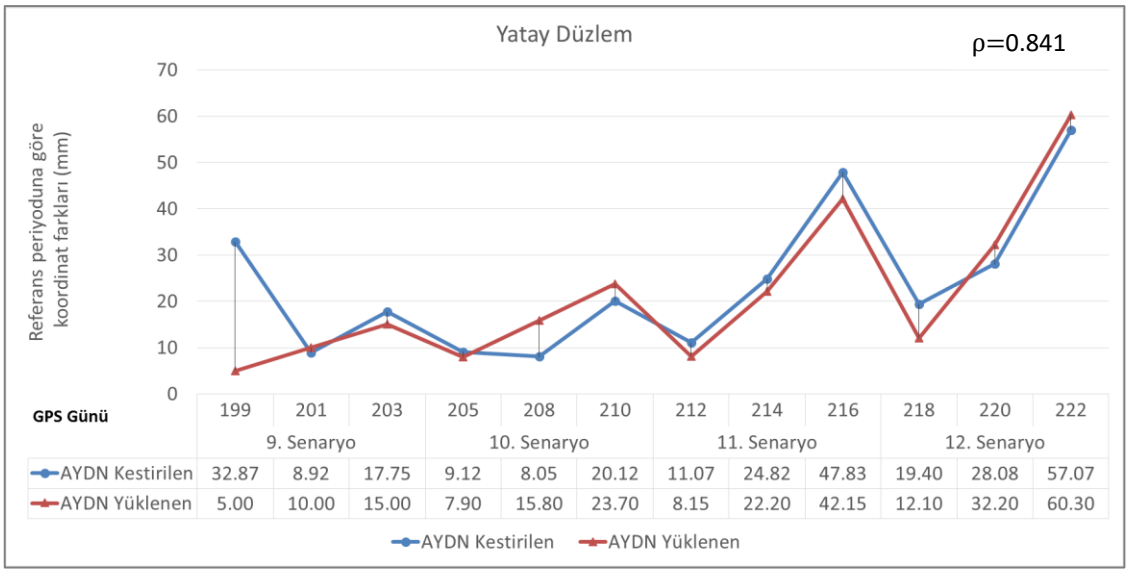
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
ARBY Kestirilen	29.94	11.98	19.72	9.85	11.95	23.92	14.17	26.58	50.17	21.82	33.34	61.80
ARBY Yüklenen	5.13	10.26	15.39	8.00	16.00	24.00	7.85	21.40	40.65	12.35	32.80	61.35

Şekil 5.19 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ARBY noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



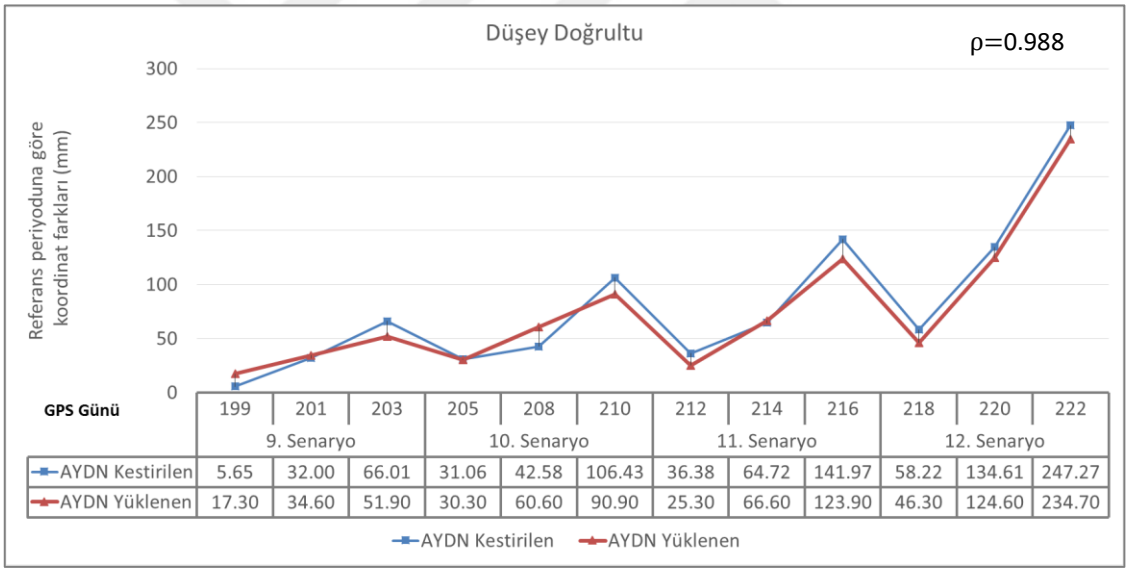
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
ARBY Kestirilen	1.77	37.76	64.42	30.84	46.81	100.42	25.76	66.78	139.77	52.64	128.93	249.09
ARBY Yüklenen	16.90	33.80	50.70	29.90	59.80	89.70	24.90	65.80	122.70	45.90	123.80	233.70

Şekil 5.20 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ARBY noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



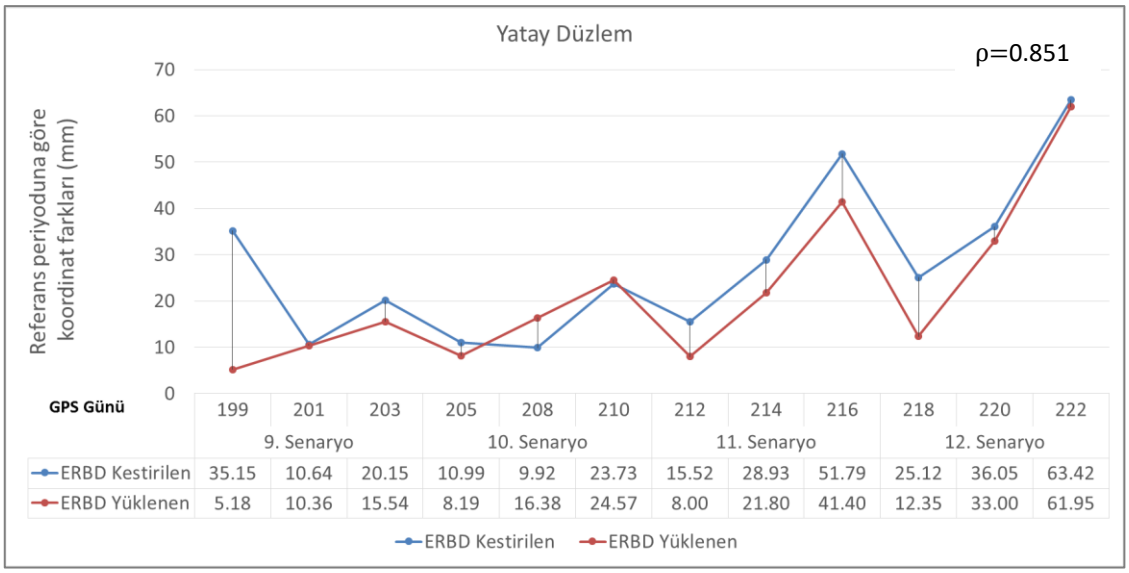
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
AYDN Kestirilen	32.87	8.92	17.75	9.12	8.05	20.12	11.07	24.82	47.83	19.40	28.08	57.07
AYDN Yüklenen	5.00	10.00	15.00	7.90	15.80	23.70	8.15	22.20	42.15	12.10	32.20	60.30

Şekil 5.21 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için AYDN noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



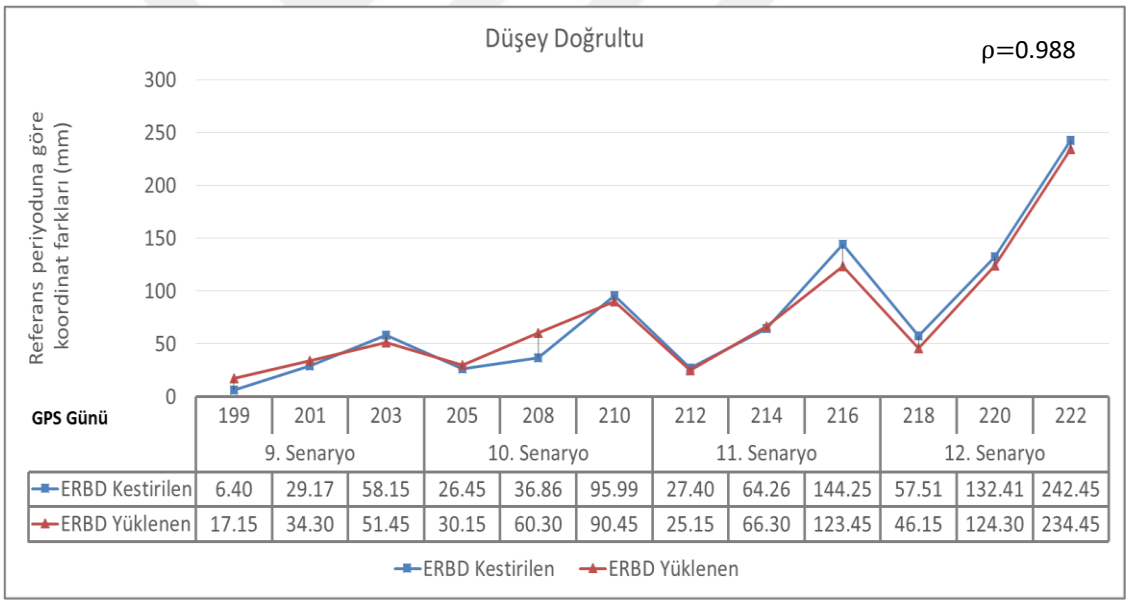
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
AYDN Kestirilen	5.65	32.00	66.01	31.06	42.58	106.43	36.38	64.72	141.97	58.22	134.61	247.27
AYDN Yüklenen	17.30	34.60	51.90	30.30	60.60	90.90	25.30	66.60	123.90	46.30	124.60	234.70

Şekil 5.22 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için AYDN noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



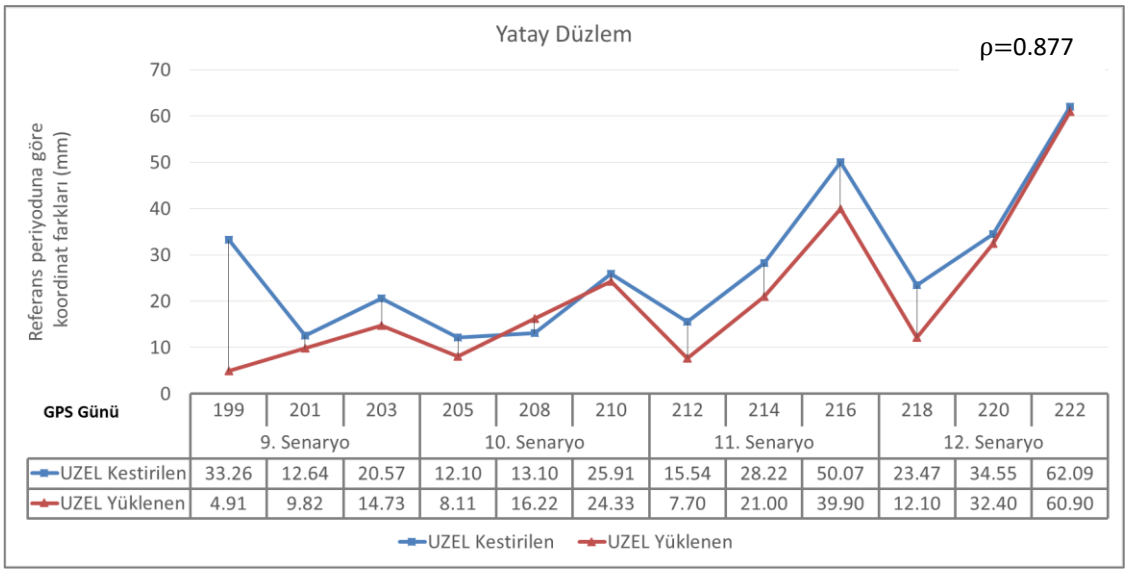
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
ERBD Kestirilen	35.15	10.64	20.15	10.99	9.92	23.73	15.52	28.93	51.79	25.12	36.05	63.42
ERBD Yüklenen	5.18	10.36	15.54	8.19	16.38	24.57	8.00	21.80	41.40	12.35	33.00	61.95

Şekil 5.23 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ERBD noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



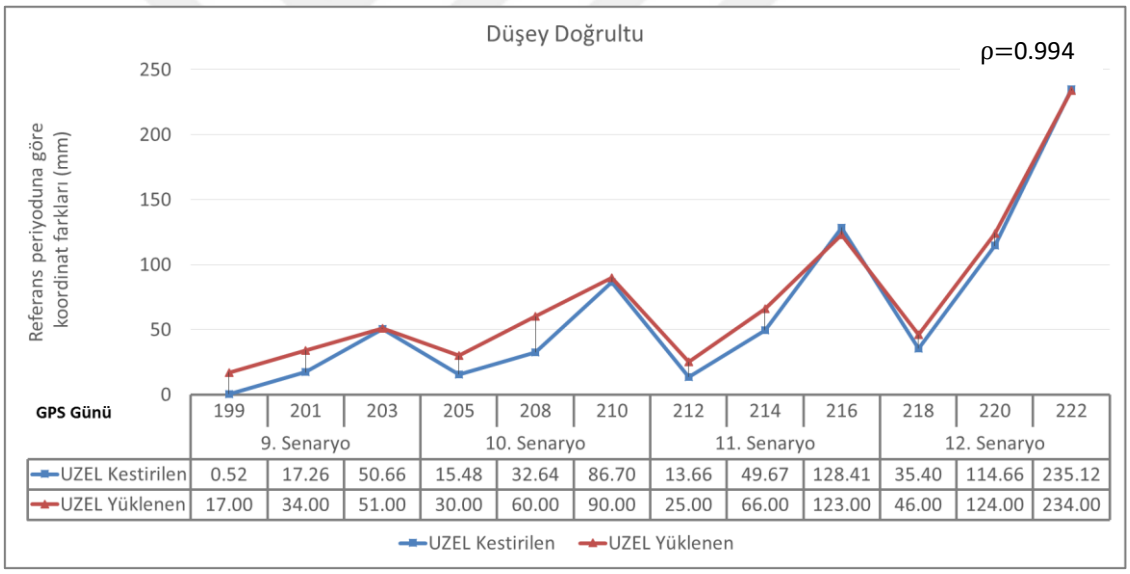
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
ERBD Kestirilen	6.40	29.17	58.15	26.45	36.86	95.99	27.40	64.26	144.25	57.51	132.41	242.45
ERBD Yüklenen	17.15	34.30	51.45	30.15	60.30	90.45	25.15	66.30	123.45	46.15	124.30	234.45

Şekil 5.24 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ERBD noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
UZEL Kestirilen	33.26	12.64	20.57	12.10	13.10	25.91	15.54	28.22	50.07	23.47	34.55	62.09
UZEL Yüklenen	4.91	9.82	14.73	8.11	16.22	24.33	7.70	21.00	39.90	12.10	32.40	60.90

Şekil 5.25 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için UZEL noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
UZEL Kestirilen	0.52	17.26	50.66	15.48	32.64	86.70	13.66	49.67	128.41	35.40	114.66	235.12
UZEL Yüklenen	17.00	34.00	51.00	30.00	60.00	90.00	25.00	66.00	123.00	46.00	124.00	234.00

Şekil 5.26 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için UZEL noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri

Birinci Senaryo: Sadece düşey doğrultuda, küçük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 4, 6 ve 7 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.7 ve 5.8'de verilmektedir.

Tablo 5.7 Birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

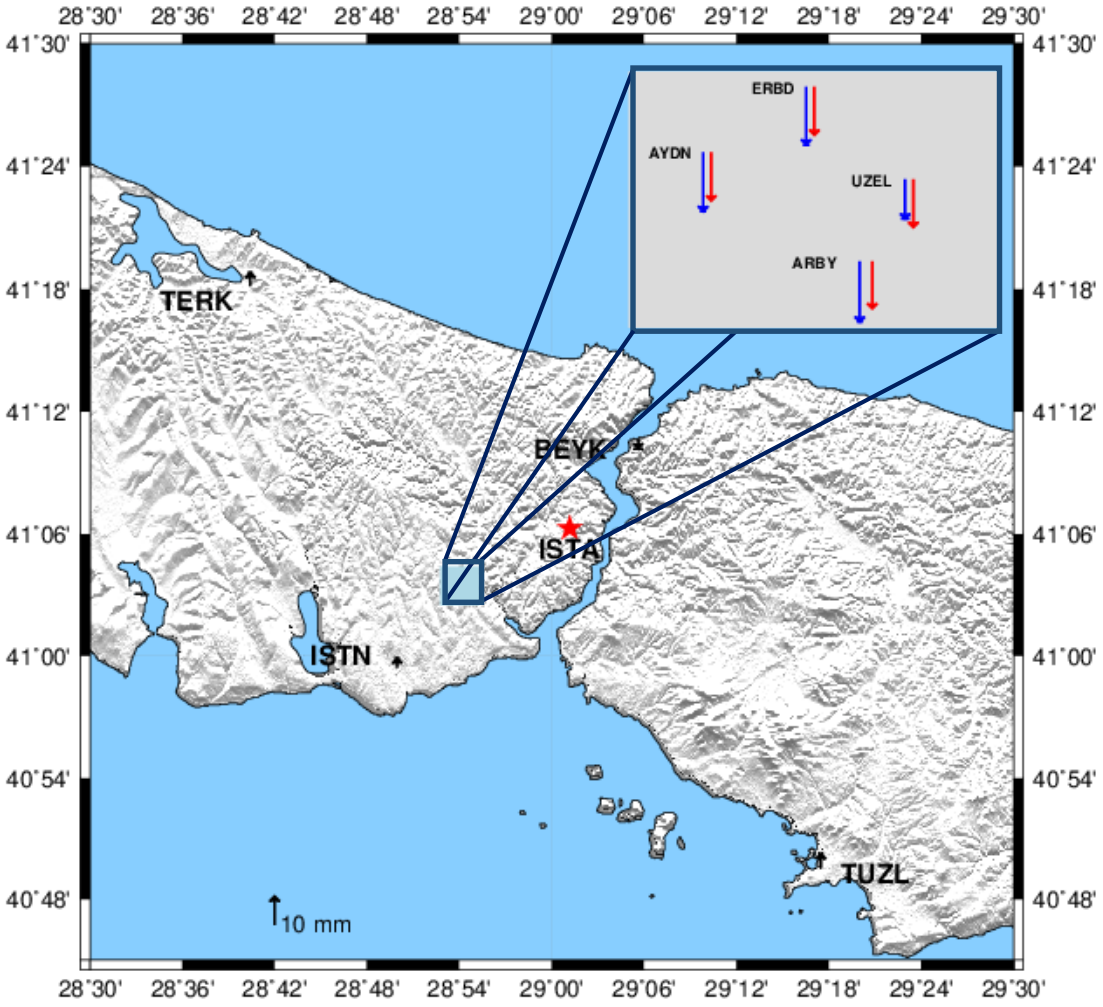
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	0.87	-21.71	0.35	6.94	1.677
AYDN	0.29	-21.16	0.29	6.83	
ERBD	0.61	-20.69	0.16	6.68	
UZEL	1.35	-13.96	0.33	4.52	
BEYK	0.68	-3.19	0.23	0.94	
ISTN	1.56	3.18	0.36	0.97	
TERK	1.16	4.57	0.41	1.33	
TUZL	0.54	4.90	0.18	1.44	

Doğrusal modelde tüm obje noktalarında hız bileşeni anlamlı çıktığı için bir sonraki adımda karesel model analizleri gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, sisteme yüklenen değerler ile doğrusal model analiz sonucundan elde edilen değerler kıyaslandığında istatistiksel olarak bu değerlerin eşit olduğu görülmektedir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8 Birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
ARBY	-21.71	1.54	1.677
AYDN	-21.16	1.24	
ERBD	-20.69	1.14	
UZEL	-13.96	0.98	

Senaryolara ait sonuçlarda kestirilen parametrelerin test değerleri Test 1, kestirilen değerle yüklenen büyüklüklerin farkına ait test değerleri ise Test 2 olarak adlandırılmıştır.



Şekil 5.27 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Şekil 5.27'de doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Bununla beraber kestirilen parametrelerin standart sapmaları mavi renkle vektörlerin altında yatay olarak gösterilmiştir.

Karesel modele ilişkin sonuçlar Tablo 5.9 ve 5.10'da (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir. Karesel modele ilişkin sonuçlar incelendiğinde sadece düşey doğrultuda yer değiştirme olmasına karşın obje noktalarından AYDN noktasında yatay düzlemde anlamlı hareket tespit edilmiştir. Düşey doğrultuda

UZEL noktası hariç diğer obje noktalarında anlamlı hız parametreleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.9 Birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	2.11	2.16	-25.81	3.17	1.51	0.43	1.96	0.33
AYDN	3.78	3.15	-32.32	8.53	3.29	0.61	2.49	0.90
ERBD	1.14	0.51	-31.21	8.05	0.33	0.10	2.40	0.85
UZEL	2.76	2.26	-21.74	5.95	1.09	0.17	1.67	0.62
BEYK	2.47	2.38	-20.58	13.28	1.23	0.19	1.46	1.28
ISTN	1.02	1.95	-13.30	12.53	0.19	0.46	0.96	1.25
TERK	5.73	4.87	-0.25	3.89	1.57	0.39	0.02	0.37
TUZL	3.47	2.62	-19.14	18.18	0.72	0.19	1.36	1.77

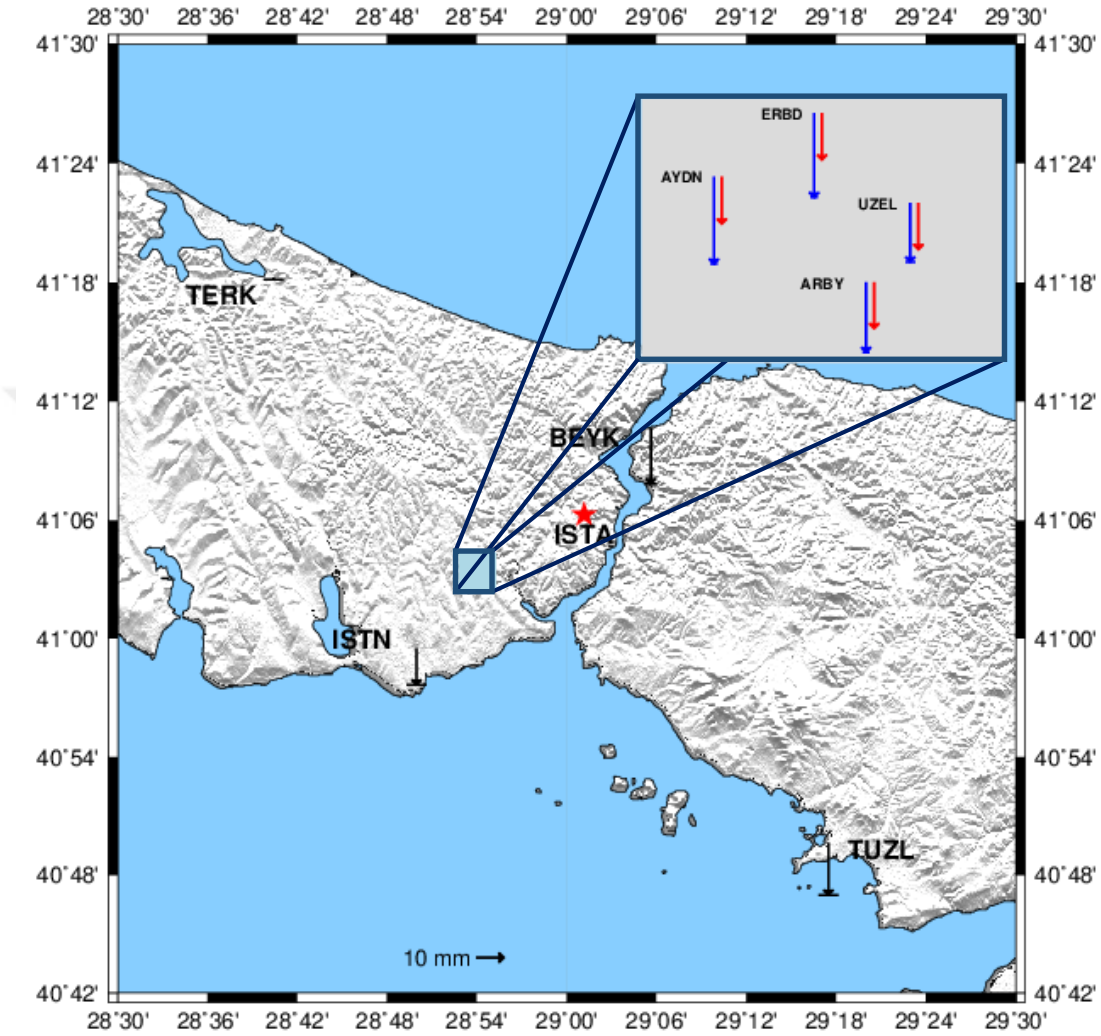
ISTA noktasına dayalı çözüm sonuçlarına göre birinci senaryoda; sisteme yüklenen büyüklükler ile karesel modelden hesaplanan büyüklükler arasında farkın istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmıştır (Tablo 5.10).

Tablo 5.10 Birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	-25.81	3.17	0.68	0.33	1.711
AYDN	-32.32	8.53	1.16	0.90	
ERBD	-31.21	8.05	1.08	0.85	
UZEL	-21.74	5.95	0.36	0.62	

Şekil 5.28'de karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Ayrıca kestirilen

parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.28 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

İkinci Senaryo: Sadece düşey doğrultuda, büyük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 8, 9 ve 10 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.11 ve 5.12'de verilmektedir.

Tablo 5.11 İkinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	1.97	-33.44	1.58	8.67	1.677
AYDN	1.75	-33.19	0.64	8.68	
ERBD	1.95	-31.49	0.51	8.26	
UZEL	3.01	-26.61	0.86	6.92	
BEYK	1.72	-7.67	0.42	1.81	
ISTN	1.56	0.49	1.57	0.11	
TERK	3.67	1.51	1.38	0.34	
TUZL	5.19	-6.49	2.05	1.46	

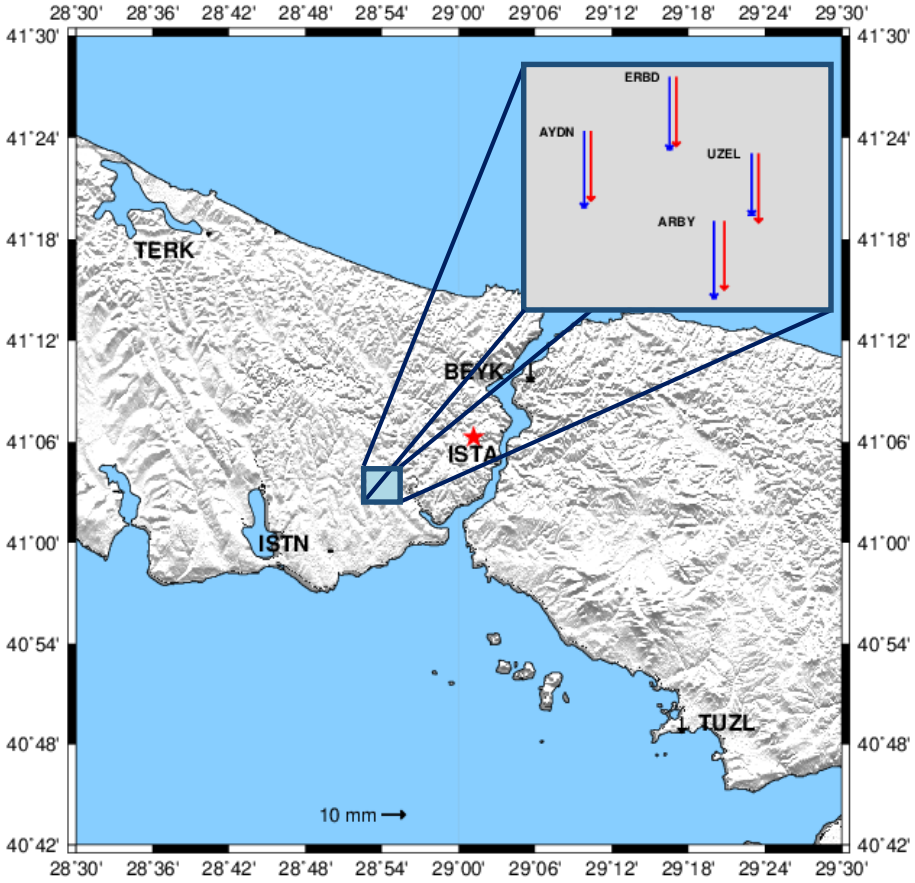
İkinci senaryoda düşey doğrultuda büyük genlikli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da düşey doğrultuda anlamlı, yatay düzlemde anlamsız hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir. Bunun yanında EKK yönteminin yayma etkisi nedeniyle gerçekte olmayan BEYK ve TUZL noktalarında anlamlı hareketler ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.12'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5.12 İkinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	-33.44	0.92	1.677
AYDN	-33.19	0.76	
ERBD	-31.49	0.35	
UZEL	-26.61	0.88	

Şekil 5.29'da doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 5.29 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Aynı zamanda kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir.

İkinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.13 ve 5.14'te (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir. Karesel modele ilişkin sonuçlar incelendiğinde sadece düşey doğrultuda yer değiştirme olmasına karşın obje noktalarından ARBY ve AYDN noktalarında yatay düzlemde anlamlı hareket tespit edilmiştir. Düşey doğrultuda UZEL noktası hariç diğer noktalarda anlamlı hız parametreleri ve anlamsız ivme parametreleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.13 İkinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

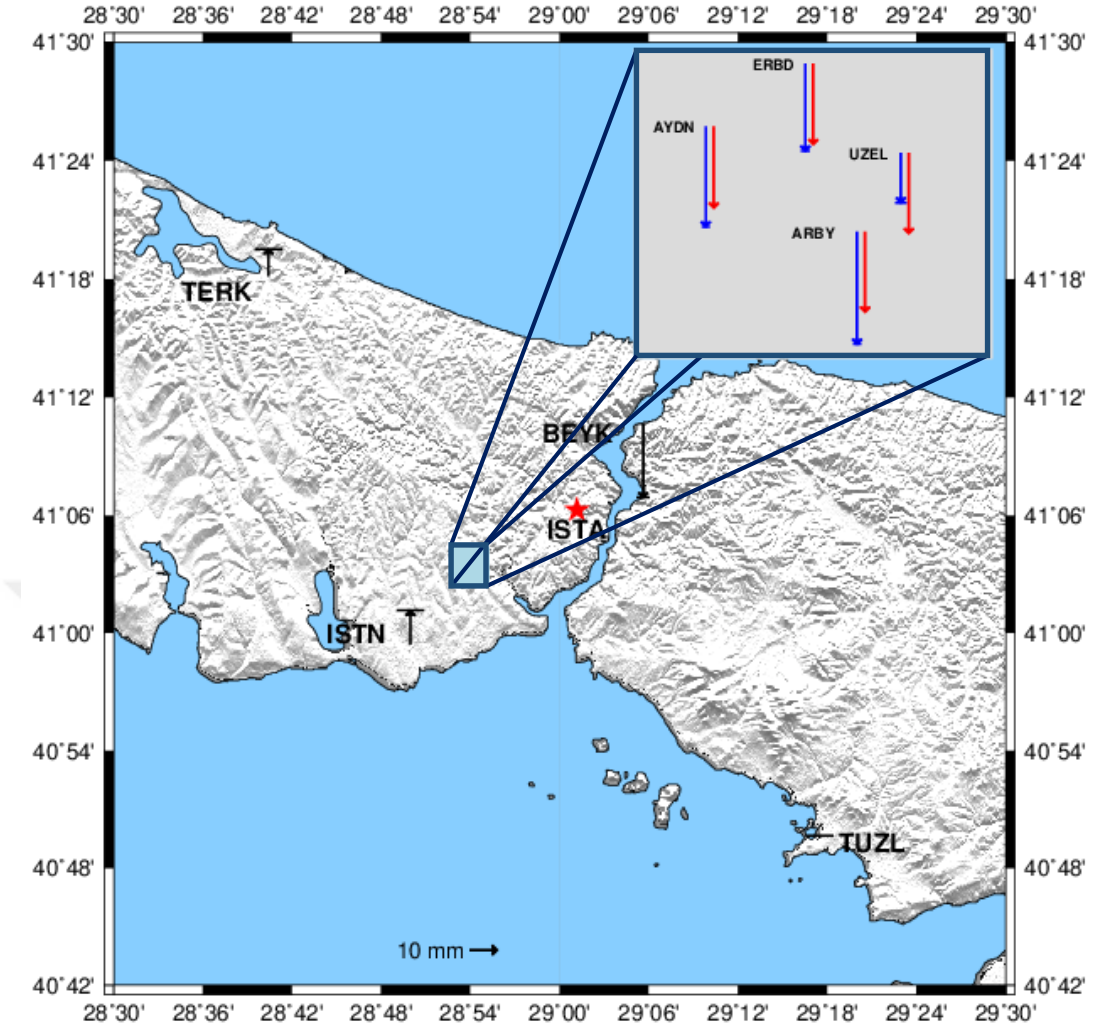
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	7.30	4.31	-41.98	6.48	2.89	0.88	2.33	0.50
AYDN	3.74	2.17	-37.38	3.17	2.31	0.44	2.09	0.24
ERBD	2.24	1.37	-32.61	0.88	1.36	0.33	1.83	0.07
UZEL	4.67	1.70	-18.44	-6.06	1.55	0.10	1.03	0.47
BEYK	2.43	1.96	-27.47	15.03	0.49	0.12	1.40	1.05
ISTN	3.73	2.18	12.49	-9.37	0.67	0.31	0.65	0.66
TERK	7.34	8.45	9.87	-6.39	0.49	0.70	0.49	0.43
TUZL	0.10	3.63	0.45	-5.29	0.01	0.22	0.02	0.36

UZEL noktasında düşey doğrultuda sisteme yüklenen yer değiştirme büyüklüğünden daha küçük bir değer analiz sonucunda hesaplanmıştır. Obje noktalarından uzakta yer alan referans noktalarında anlamlı bir hareket tespit edilmemiştir.

Tablo 5.14 İkinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ ($\alpha = 0.05$)
	Düşey Doğrultu				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	
ARBY	-41.98	6.48	0.67	0.49	1.711
AYDN	-37.38	3.17	0.40	0.24	
ERBD	-32.61	0.88	0.14	0.07	
UZEL	-18.44	-6.06	0.65	0.47	

Tablo 5.14'te sisteme yüklenen büyüklükler ile karesel modelden hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.30'da karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 5.30 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Aynı zamanda kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir.

Üçüncü Senaryo: Sadece düşey doğrultuda, küçük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 11, 12 ve 13 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.15 ve 5.16'da verilmektedir.

Tablo 5.15 Üçüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	1.71	-40.90	0.69	9.73	1.677
AYDN	0.95	-40.13	0.21	9.61	
ERBD	1.53	-38.56	0.30	9.25	
UZEL	2.80	-34.20	0.63	8.21	
BEYK	1.06	-8.19	0.21	1.83	
ISTN	0.93	1.03	0.27	0.23	
TERK	1.08	1.40	0.78	0.30	
TUZL	3.57	-1.76	1.16	0.38	

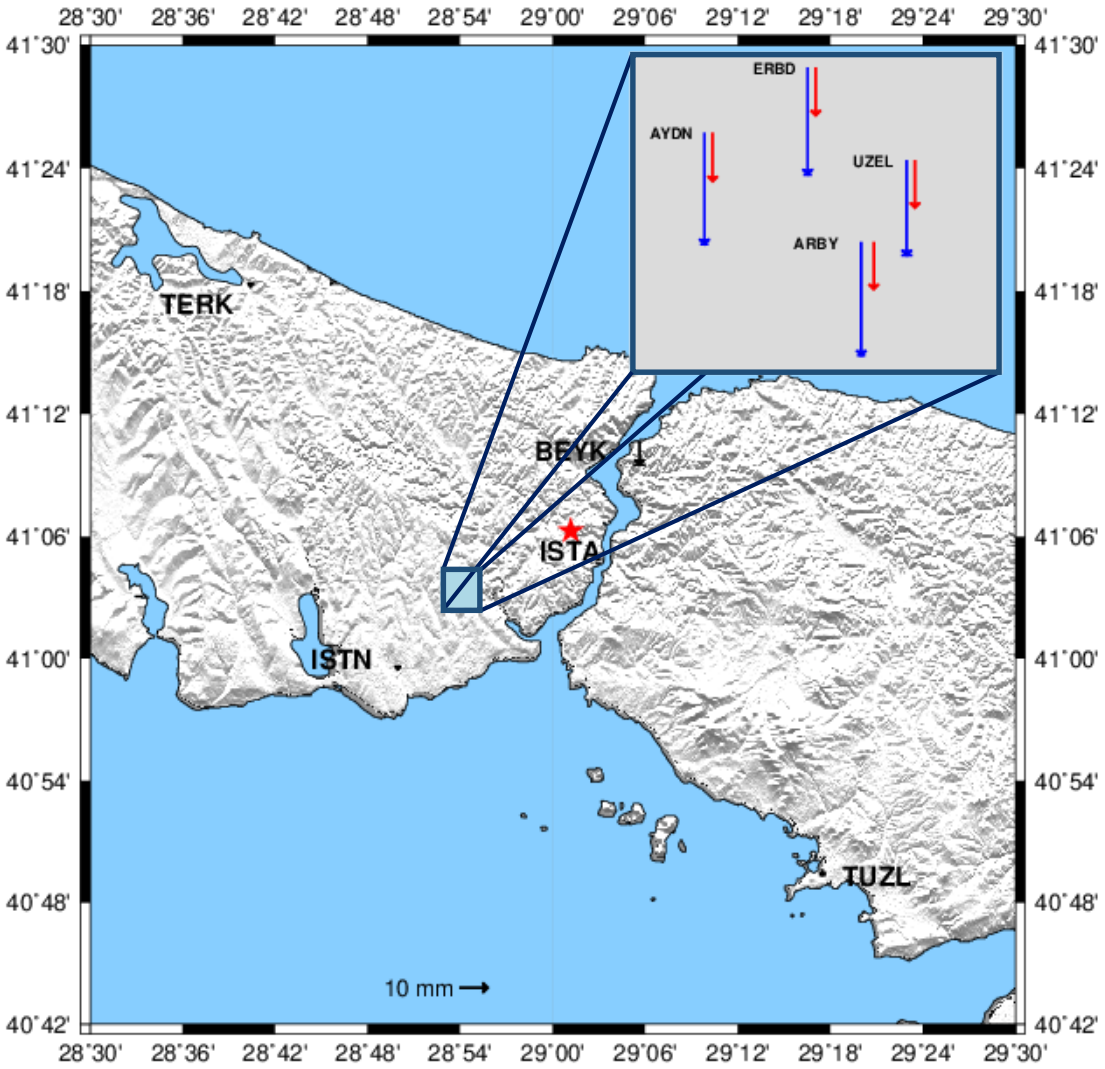
Üçüncü senaryoda düşey doğrultuda küçük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da düşey doğrultuda anlamlı, yatay düzlemde anlamsız hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir. Bunun yanında EKK yönteminin yayma etkisi nedeniyle gerçekte olmayan BEYK noktasında anlamlı hareketler ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.16 Üçüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
ARBY	-40.90	5.71	1.677
AYDN	-40.13	5.46	
ERBD	-38.56	5.13	
UZEL	-34.20	4.13	

Tablo 5.16'da sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerine ait büyüklükleri içermektedir. Şekil 5.31'de doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Aynı zamanda kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir.

Bir sonraki adımda üçüncü senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.17 ve 5.18'de (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir.



Şekil 5.31 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Tablo 5.17 ve 5.18 incelendiğinde sistemde sadece düşey doğrultuda hareket olmasına karşın, obje noktalarında yatay düzlemde anlamlı hız parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca, düşey doğrultuda hız parametreleri anlamsız çıkmasına karşın ivme parametreleri anlamlı çıkmaktadır. Bununla birlikte BEYK ve ISTN noktalarında da anlamlı parametreler hesaplanmıştır.

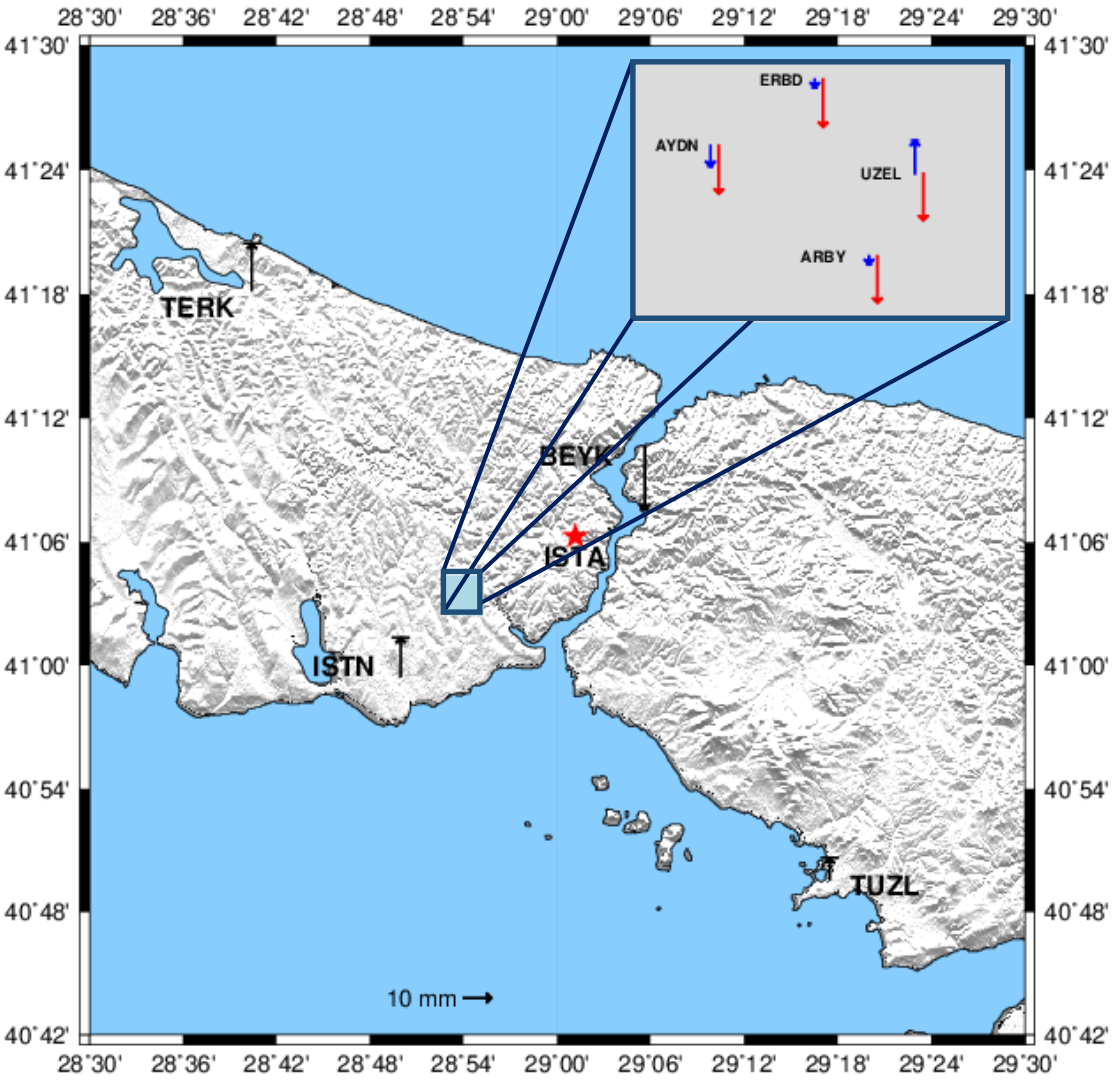
Tablo 5.17 Üçüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	6.78	4.03	-3.04	-28.78	6.83	1.01	0.27	3.45
AYDN	4.69	3.10	-7.43	-24.81	2.84	0.77	0.66	2.99
ERBD	6.26	4.07	-2.90	-27.08	3.03	0.99	0.26	3.27
UZEL	9.22	5.29	11.83	-34.96	4.30	0.47	1.05	4.22
BEYK	4.12	2.49	-22.49	11.01	1.55	0.24	1.87	1.24
ISTN	6.81	4.54	14.05	9.90	1.85	0.57	1.18	1.14
TERK	3.05	2.36	16.84	11.55	0.29	0.72	1.35	1.26
TUZL	8.93	4.16	7.76	7.41	1.19	0.42	0.63	0.82

Tablo 5.18 Üçüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

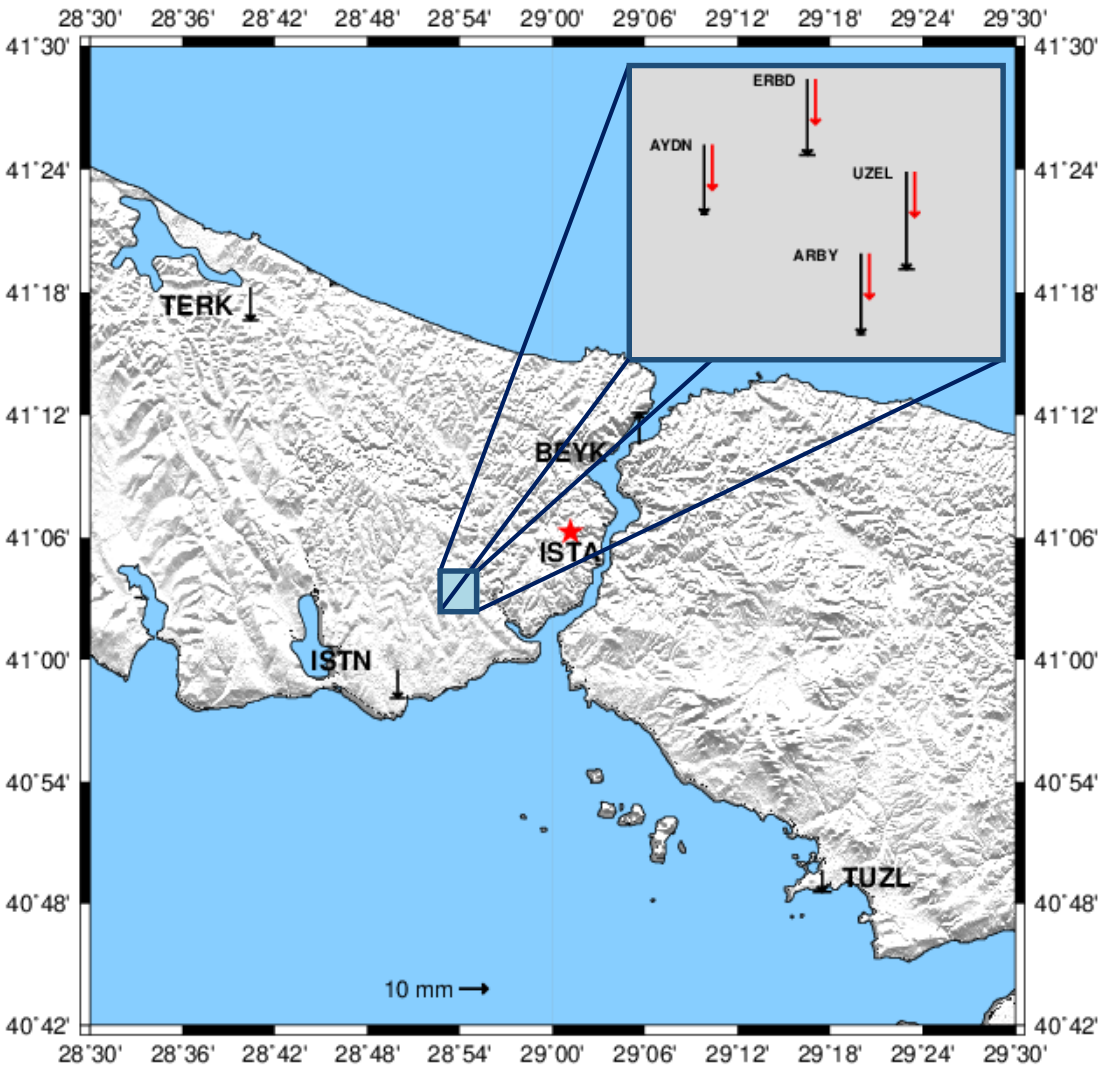
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ ($\alpha = 0.05$)
	Düşey Doğrultu				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	-3.04	-28.78	1.22	1.53	1.711
AYDN	-7.43	-24.81	0.87	1.06	
ERBD	-2.90	-27.08	1.26	1.33	
UZEL	11.83	-34.96	0.46	2.29	

Obje noktalarında hesaplanan parametre değerleri ile gerçek değerler karşılaştırıldığında sadece UZEL noktasının hesaplanan ivme parametresi ile gerçek değeri istatistiksel olarak uyuşumsuz çıkmıştır.



Şekil 5.32 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Şekil 5.32'de karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü UZEL noktası hariç aynı yönde bulunarak sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Aynı zamanda kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir. Şekil 5.33'te ise karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen ivme vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla siyah ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Bununla beraber kestirilen ivme parametrelerinin standart sapmaları da siyah renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.33 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir

Dördüncü Senaryo: Sadece düşey doğrultuda, büyük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 14, 15 ve 16 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.19 ve 5.20'de verilmektedir.

Tablo 5.19 Dördüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	3.34	-73.27	1.00	17.13	1.677
AYDN	2.84	-72.64	0.70	17.10	
ERBD	2.99	-71.66	0.64	16.87	
UZEL	4.49	-66.31	1.04	15.61	
BEYK	2.77	-7.22	0.89	1.59	
ISTN	0.60	1.69	0.33	0.37	
TERK	1.12	0.97	0.32	0.19	
TUZL	2.85	1.62	0.75	0.33	

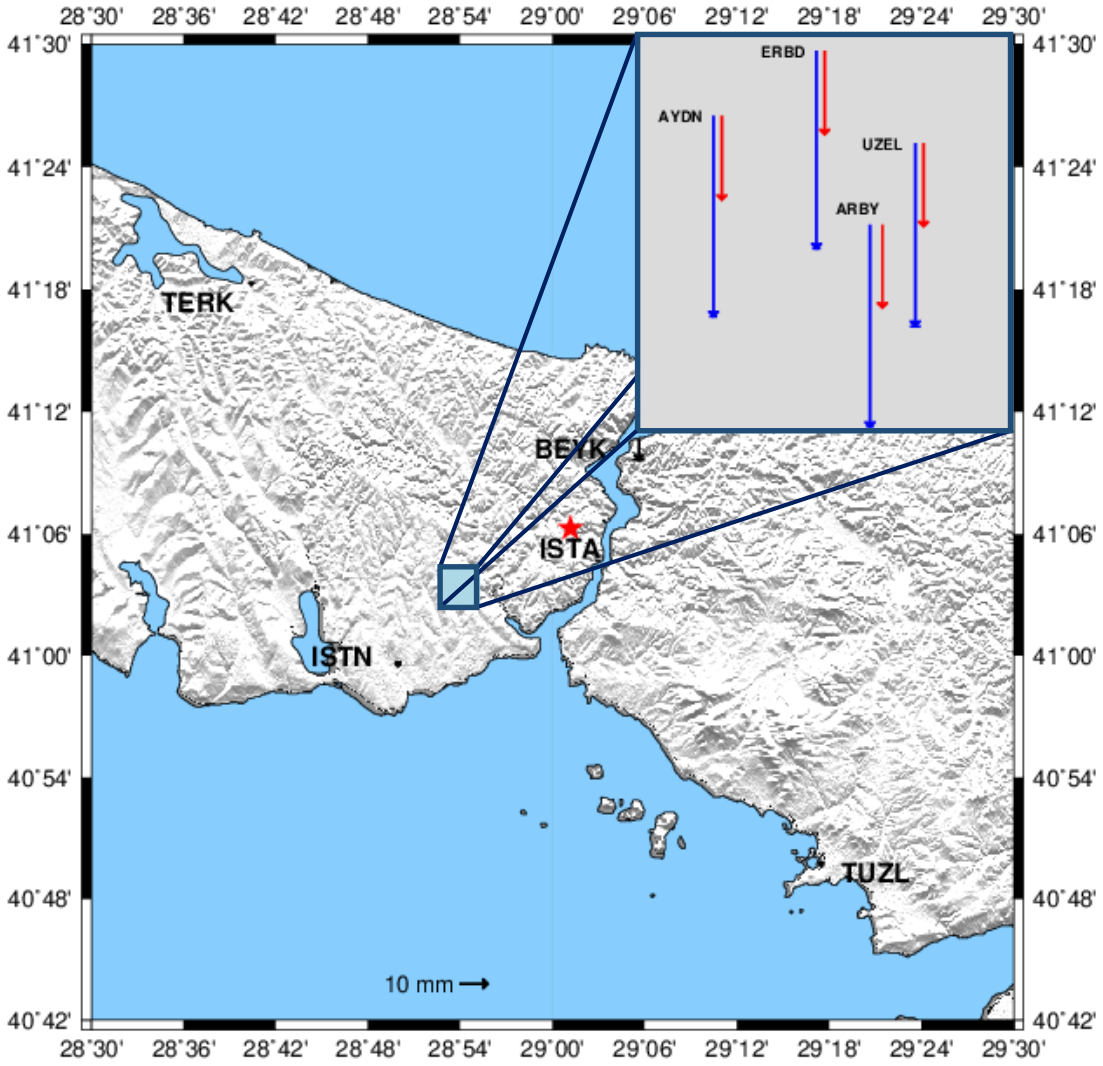
Dördüncü senaryoda düşey doğrultuda büyük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da düşey doğrultuda anlamlı, yatay düzlemde anlamsız hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.20 Dördüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	-73.27	10.14	1.677
AYDN	-72.64	9.97	
ERBD	-71.66	9.77	
UZEL	-66.31	8.55	

Tablo 5.20'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile hesaplanmasından kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerine ait büyüklükleri içermektedir.

Bir sonraki adımda dördüncü senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.21 ve 5.22'de (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir. Şekil 5.34'te doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 5.34 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Ayrıca, kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir. Tablo 5.21 ve 5.22 incelendiğinde sistemde sadece düşey doğrultuda hareket olmasına karşın, obje noktalarında yatay düzlemde anlamlı hız parametreleri belirlenmiştir. Buna karşın, dört obje noktasında da düşey doğrultuda hız ve ivme parametreleri anlamlı çıkmıştır. Bununla birlikte BEYK, ISTN ve TUZL noktalarında da EKK kestiriminin yayma etkisinden kaynaklı olarak anlamlı parametreler hesaplanmıştır.

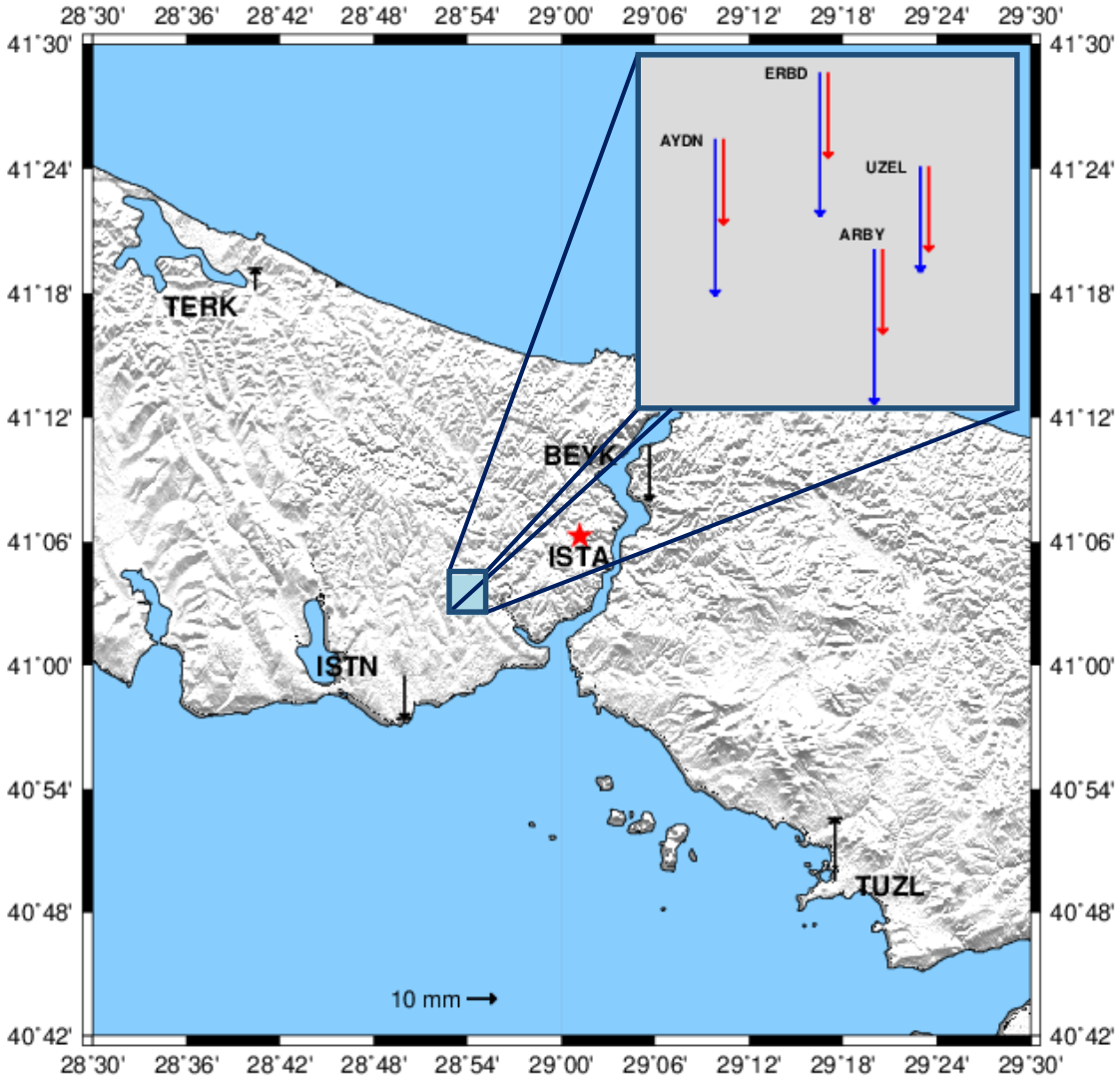
Tablo 5.21 Dördüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	5.35	7.10	-55.01	-14.44	2.36	3.77	6.18	2.16
AYDN	8.38	8.77	-55.72	-13.49	6.22	3.52	6.34	2.03
ERBD	6.89	7.42	-50.93	-16.44	5.73	2.83	5.79	2.48
UZEL	2.13	5.31	-37.15	-22.92	1.43	0.82	4.22	3.46
BEYK	5.30	2.28	-19.33	9.71	4.58	0.26	2.04	1.36
ISTN	5.70	4.72	-15.10	12.67	1.86	1.82	1.62	1.80
TERK	8.47	7.50	7.42	-4.62	1.36	1.11	0.72	0.59
TUZL	6.95	7.17	22.13	-15.71	0.83	2.50	2.22	2.08

Obje noktalarında hesaplanan parametre değerleri ile gerçek değerler karşılaştırıldığında UZEL noktası dışındaki noktalarda hesaplanan parametrelerin istatistiksel açıdan gerçek değerlere eşit olmadığı görülmektedir (Tablo 5.22).

Tablo 5.22 Dördüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

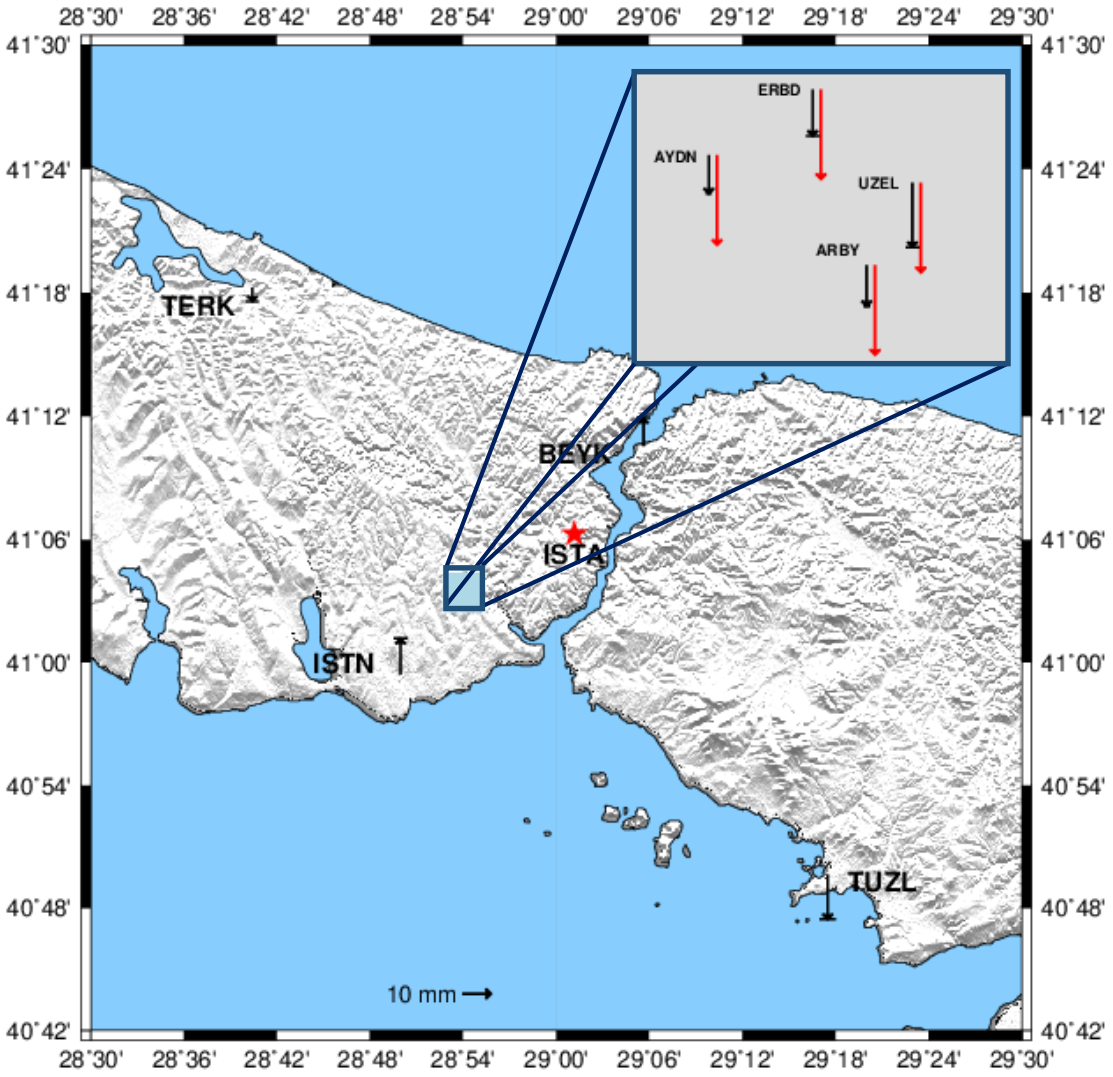
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	-55.01	-14.44	2.82	2.62	1.711
AYDN	-55.72	-13.49	2.89	2.79	
ERBD	-50.93	-16.44	2.36	2.35	
UZEL	-37.15	-22.92	0.81	1.37	



Şekil 5.35 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Şekil 5.35'te karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Aynı zamanda, kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir. Şekil 5.34 ile 5.35 karşılaştırıldığında doğrusal modelle kestirilen büyüklüklerin karesel modele nazaran oldukça büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca, Şekil 5.36'da karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen ivme vektörü aynı yönde bulunarak sırasıyla siyah ve kırmızı renkte gösterilmiş ve kestirilen

parametrelerin standart sapmaları da siyah renkle kestirilen vektörün altında yatay şekilde gösterilmiştir.



Şekil 5.36 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir

Beşinci Senaryo: Sadece yatay düzlemde, küçük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.4'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 17, 19 ve 21 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.23 ve 5.24'te verilmektedir.

Tablo 5.23 Beşinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

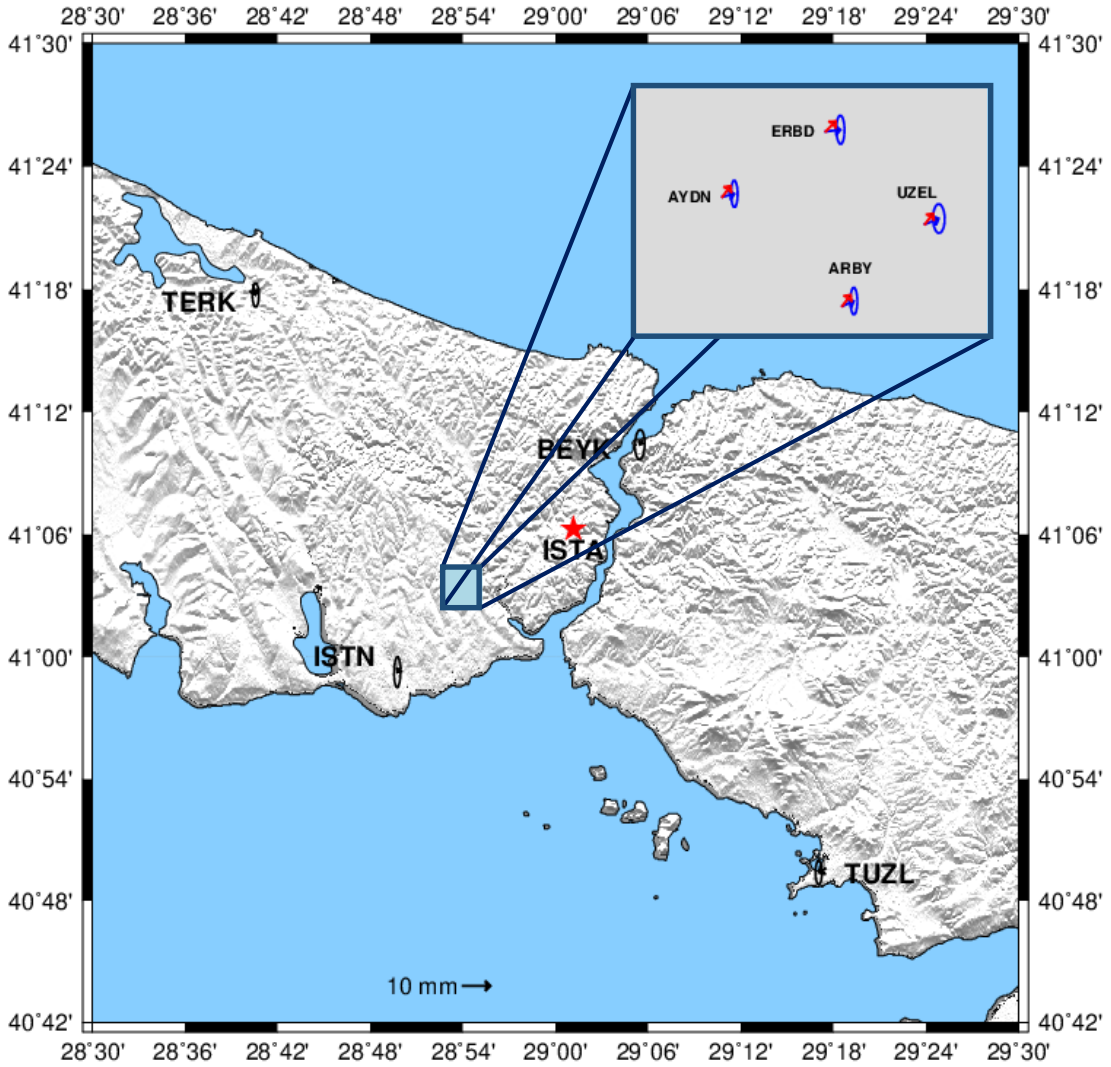
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	4.58	-2.78	1.02	0.64	1.677
AYDN	4.49	-3.06	0.95	0.71	
ERBD	5.37	-1.42	1.04	0.33	
UZEL	5.43	3.58	1.10	0.83	
BEYK	1.77	-8.66	0.59	1.87	
ISTN	2.00	-0.64	0.60	0.14	
TERK	3.68	0.84	2.34	0.17	
TUZL	2.86	-0.91	0.77	0.19	

Beşinci senaryoda yatay düzlemde küçük genlikli hız ve ivmesiz bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlem ve düşey doğrultudaki hız parametreleri anlamsız olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.24 Beşinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	4.58	0.12	1.677
AYDN	4.49	0.11	
ERBD	5.37	0.04	
UZEL	5.43	0.10	

Tablo 5.24'te sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.37'de doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Kestirilen parametrelerin hata elipsleri mavi renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.37 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Beşinci senaryoda ayrıca karesel model sonuçları da incelenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.25 ve 5.26'da (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir. Ayrıca, Şekil 5.38'de karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Bununla beraber kestirilen parametrelerin hata elipsleri de mavi renkle gösterilmiştir. Obje noktalarına ait bu kestirilen vektörlerin yönleri doğrusal modelde gerçeğe yakınsamasına rağmen karesel modelde daha çok sapma göstermiştir. Burada karesel modelle kestirilen

ivme büyüklüğünün altıncı senaryodaki ivme büyüklüğüne nazaran daha büyük olması bu sapmada etkili olmuştur.

Tablo 5.25 Beşinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

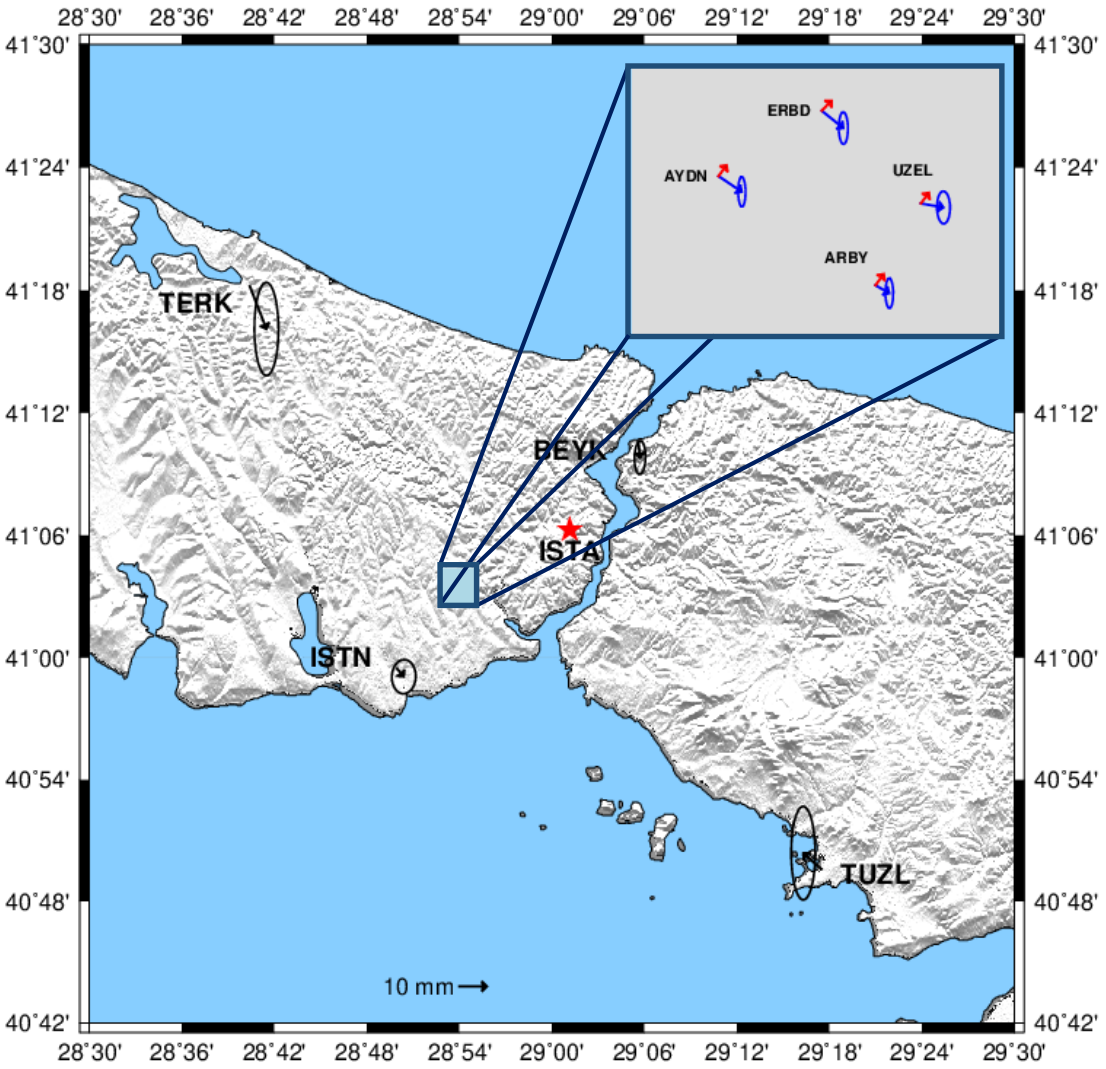
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	5.81	3.61	-13.51	8.41	1.21	0.62	0.79	0.67
AYDN	10.19	6.07	-10.94	6.27	2.22	1.16	0.64	0.50
ERBD	10.08	5.60	-15.77	11.23	2.16	0.95	0.93	0.89
UZEL	8.34	3.64	-0.56	3.31	1.42	0.29	0.03	0.26
BEYK	5.99	3.64	-29.03	15.79	2.85	0.22	1.59	1.17
ISTN	3.88	3.10	-17.89	13.49	0.74	0.46	0.99	1.00
TERK	16.66	10.43	-9.41	8.10	2.25	0.67	0.50	0.57
TUZL	8.81	6.91	-29.97	22.72	0.67	0.43	1.61	1.64

Tablo 5.26 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur.

Tablo 5.26 Beşinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ ($\alpha = 0.05$)
	Yatay Düzlem				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	5.81	3.61	0.14	0.62	1.711
AYDN	10.19	6.07	1.13	1.16	
ERBD	10.08	5.60	1.05	0.95	
UZEL	8.34	3.64	0.58	0.29	

Buna karşın, hız parametrelerinin küçük genlikli olması nedeniyle sadece iki obje noktasında anlamlı hız parametresi hesaplanmıştır. Ayrıca, BEYK ve TERK noktalarında da EKK kestiriminin yayma etkisinden kaynaklı olarak anlamlı parametreler hesaplanmıştır.



Şekil 5.38 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Altıncı Senaryo: Sadece yatay düzlemde, büyük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.4'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 23, 25 ve 28 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.27 ve 5.28'de verilmektedir.

Tablo 5.27 Altıncı senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	9.61	-6.06	2.78	1.57	1.677
AYDN	8.42	-7.78	2.25	2.02	
ERBD	9.91	-5.26	2.34	1.36	
UZEL	10.70	-0.61	2.69	0.16	
BEYK	3.49	-9.54	1.42	2.30	
ISTN	3.29	-7.68	0.76	1.82	
TERK	3.93	-3.90	1.13	0.84	
TUZL	4.93	-12.25	3.45	2.84	

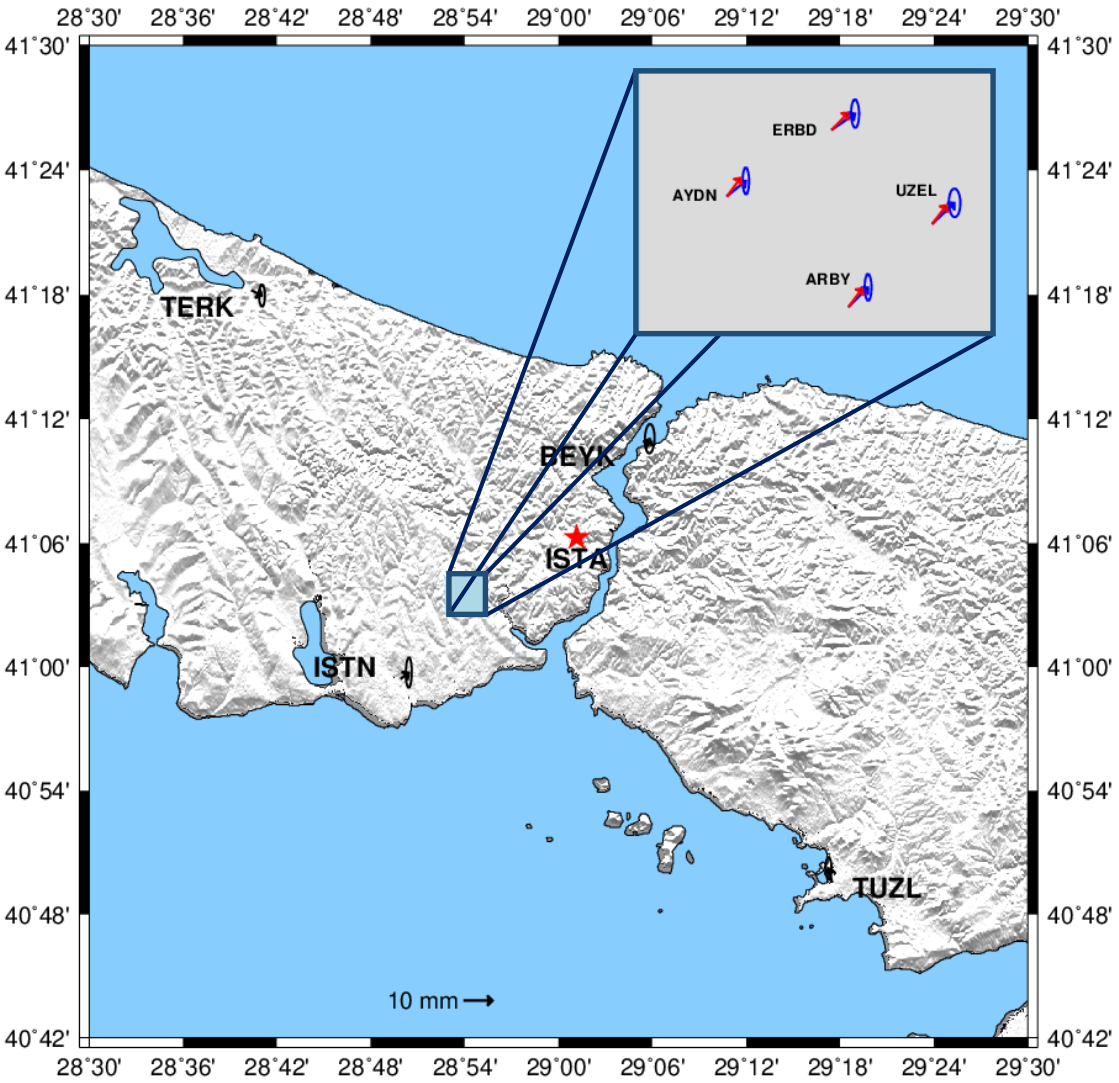
Altıncı senaryoda yatay düzlemde büyük genlikli hız ve ivmesiz bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde hız parametreleri anlamlı olarak hesaplanmıştır. Buna karşın, AYDN, BEYK, ISTN ve TUZL noktalarında da düşey doğrultudaki hız parametreleri anlamlı olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.28 Altıncı senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
ARBY	9.61	0.47	1.677
AYDN	8.42	0.14	
ERBD	9.91	0.41	
UZEL	10.70	0.65	

Tablo 5.28'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.39'da doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Ayrıca, kestirilen parametrelerin hata elipsleri mavi renkle gösterilmiştir.

Altıncı modelde ayrıca karesel model sonuçları da incelenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.29 ve 5.30'da (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir.



Şekil 5.39 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Tablo 5.29 ve 5.30 incelendiğinde karesel modelle kestirim sonuçlarına ait obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca, doğrusal modelden faklı olarak karesel modelde düşey doğrultuda herhangi bir anlamlı parametre hesaplanmamıştır. Yatay düzlemde de ISTN noktası hariç diğer tüm noktalardaki hareketler oluşturulan modele uygundur.

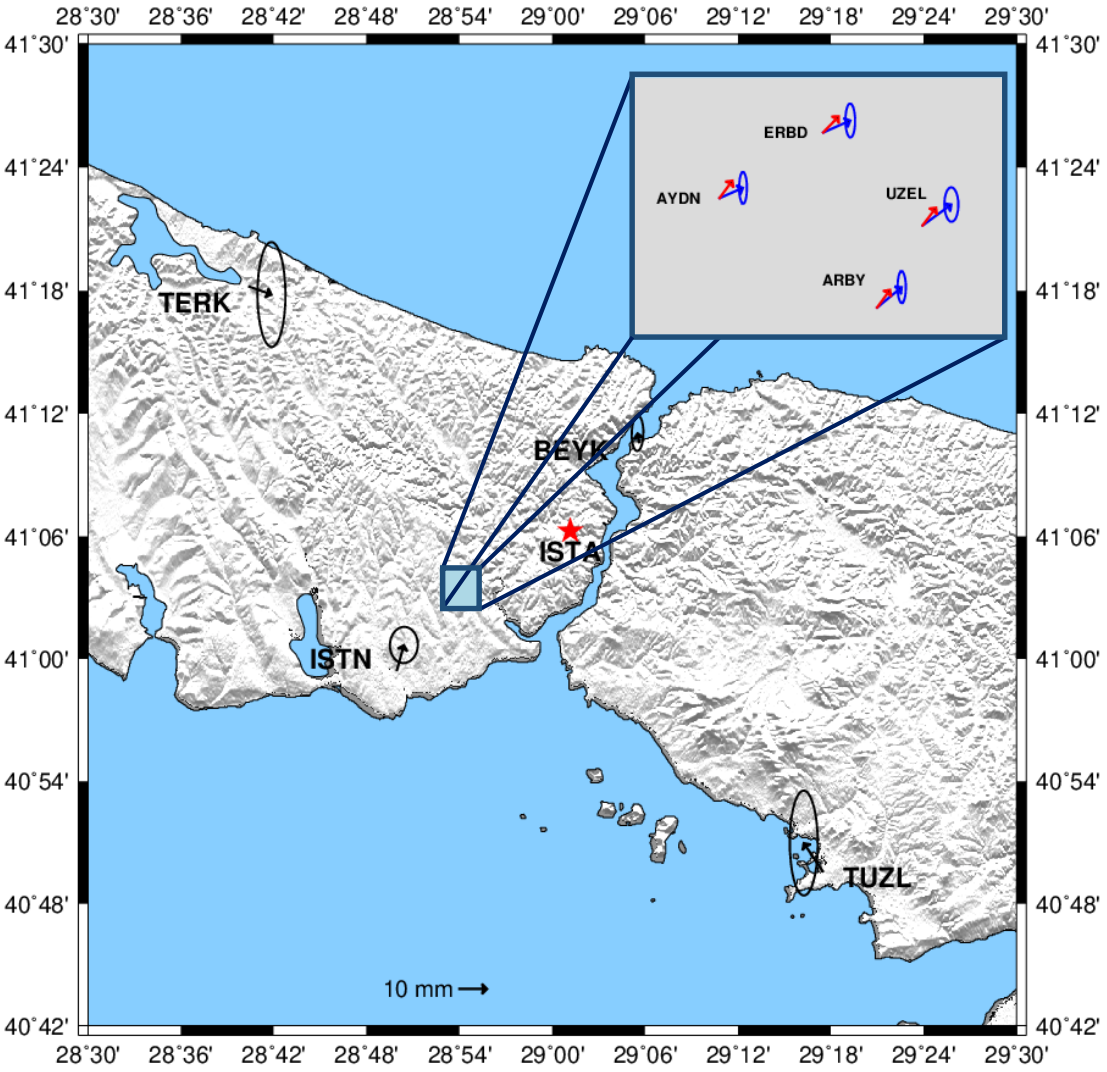
Tablo 5.29 Altıncı senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	11.59	1.61	-11.86	4.24	2.55	0.66	0.62	0.31
AYDN	9.29	1.82	-4.48	-2.37	1.75	0.42	0.23	0.18
ERBD	10.73	1.52	0.69	-4.33	1.89	0.34	0.04	0.32
UZEL	12.89	1.95	8.98	-7.03	2.45	0.32	0.47	0.52
BEYK	3.22	1.35	-1.92	-5.59	1.35	0.23	0.09	0.38
ISTN	9.40	5.24	3.92	-8.66	1.81	0.27	0.19	0.60
TERK	8.52	3.46	20.59	-18.17	0.47	0.50	0.95	1.16
TUZL	12.32	5.84	-11.65	-0.37	1.07	0.39	0.56	0.02

Tablo 5.30 Altıncı senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	
ARBY	11.59	1.61	0.79	0.66	1.711
AYDN	9.29	1.82	0.26	0.42	
ERBD	10.73	1.52	0.45	0.34	
UZEL	12.89	1.95	0.91	0.32	

Şekil 5.40'ta karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Kestirilen parametrelerin hata elipsleri de mavi renkle gösterilmiştir. Obje noktalarında hem karesel hem de doğrusal modelle kestirilen vektörlerin yönleri gerçeğe yakın bulunmuştur (Şekil 5.39 ve 5.40).



Şekil 5.40 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Yedinci Senaryo: Sadece yatay düzlemde, küçük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.4'de verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 30 Temmuz, 01 ve 03 Ağustos 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.31 ve 5.32'de verilmektedir.

Yedinci senaryoda yatay düzlemde küçük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde anlamlı, düşey doğrultuda anlamsız hız parametrelerinin hesaplandığı

görülmektedir. Bunun yanında EKK yönteminin yayma etkisi nedeniyle gerçekte olmayan BEYK noktasında düşey doğrultuda anlamlı hareketler ortaya çıkmıştır. Tablo 5.32'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

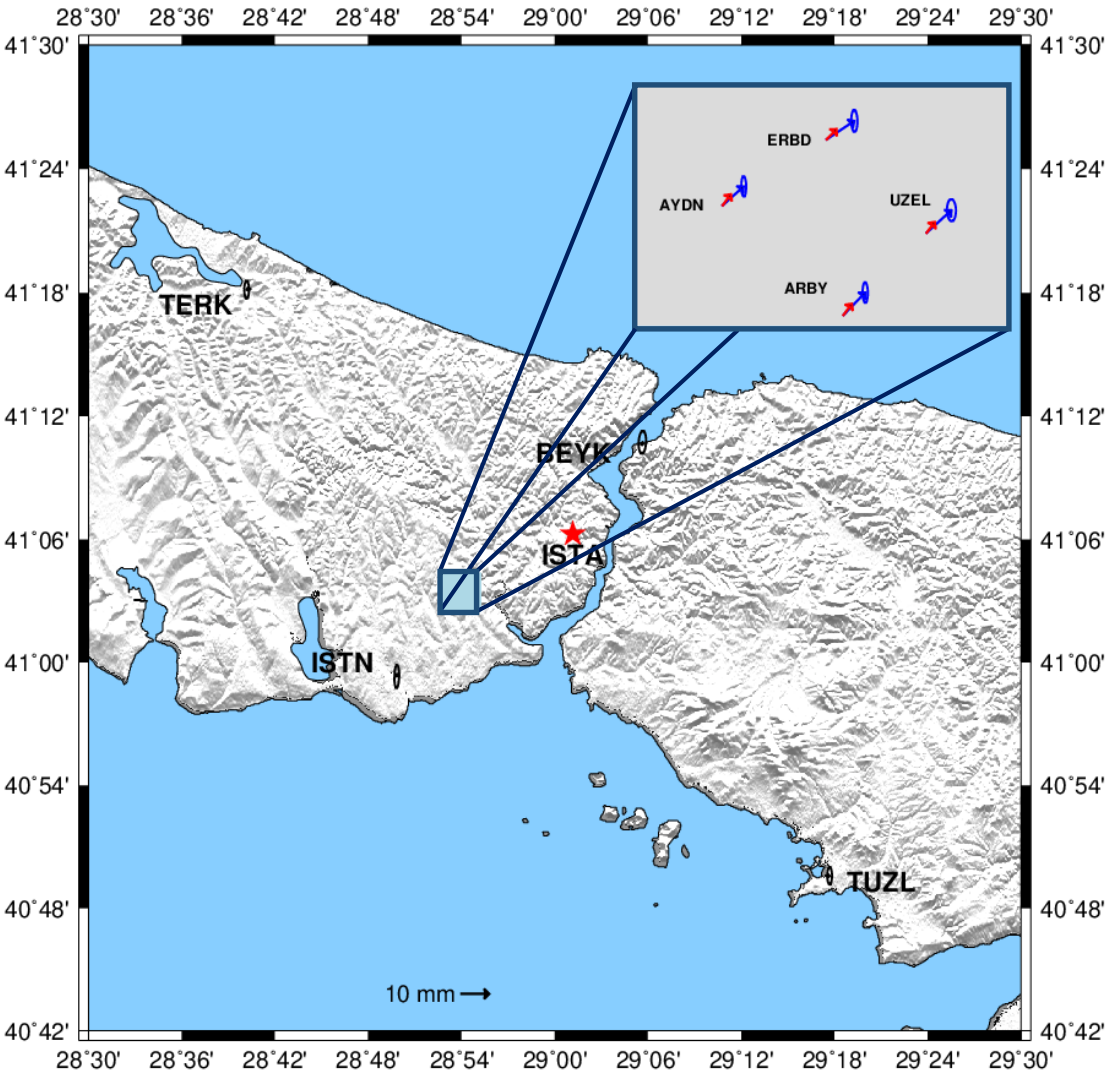
Tablo 5.31 Yedinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	11.33	-1.90	4.30	0.60	1.677
AYDN	10.18	-3.54	3.65	1.11	
ERBD	11.96	-1.36	3.61	0.43	
UZEL	12.09	4.16	3.84	1.31	
BEYK	0.90	-10.61	0.60	3.08	
ISTN	1.24	1.24	0.50	0.35	
TERK	1.40	3.91	0.46	1.09	
TUZL	1.14	-0.46	0.36	0.13	

Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerini içermektedir. Şekil 5.41'de doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir.

Tablo 5.32 Yedinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	11.33	2.35	1.677
AYDN	10.18	1.86	
ERBD	11.96	2.04	
UZEL	12.09	2.28	



Şekil 5.41 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Şekil 5.41'de doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Kestirilen parametrelerin hata elipsleri mavi renkle gösterilmiştir.

Bir sonraki adımda yedinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.33 ve 5.34'te (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir.

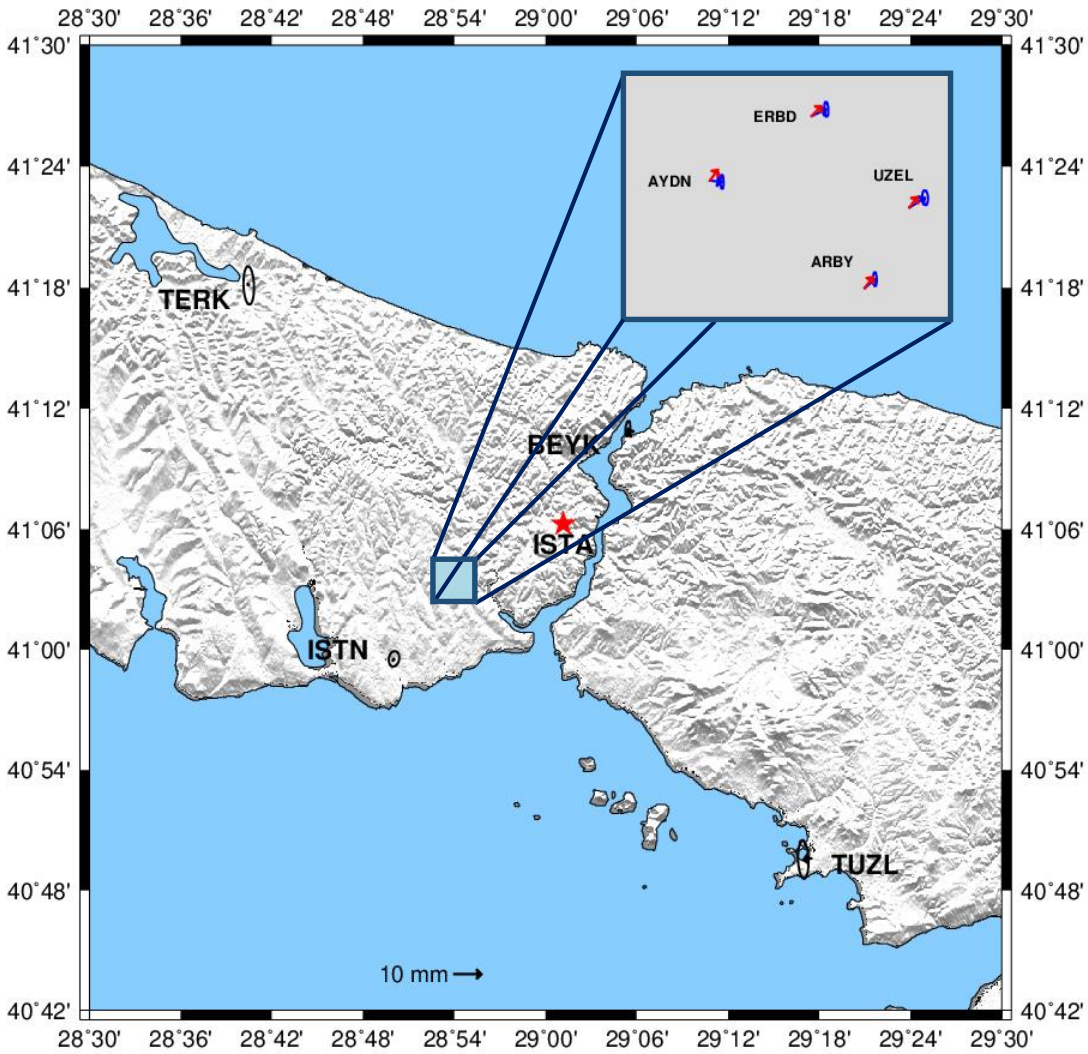
Tablo 5.33 Yedinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	5.05	4.95	0.33	-1.72	2.61	2.31	0.05	0.33
AYDN	4.45	6.23	-2.94	-0.44	1.79	2.41	0.42	0.08
ERBD	5.91	4.86	3.17	-3.54	2.41	2.29	0.45	0.67
UZEL	6.79	4.37	11.60	-5.82	2.85	0.74	1.65	1.11
BEYK	3.15	1.92	-14.95	3.49	2.37	0.32	1.97	0.61
ISTN	0.78	1.59	-2.74	3.44	0.35	0.27	0.35	0.58
TERK	0.69	1.25	4.64	-0.73	0.18	0.59	0.57	0.12
TUZL	3.04	3.18	1.48	-1.49	0.44	1.38	0.19	0.25

Tablo 5.34 Yedinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

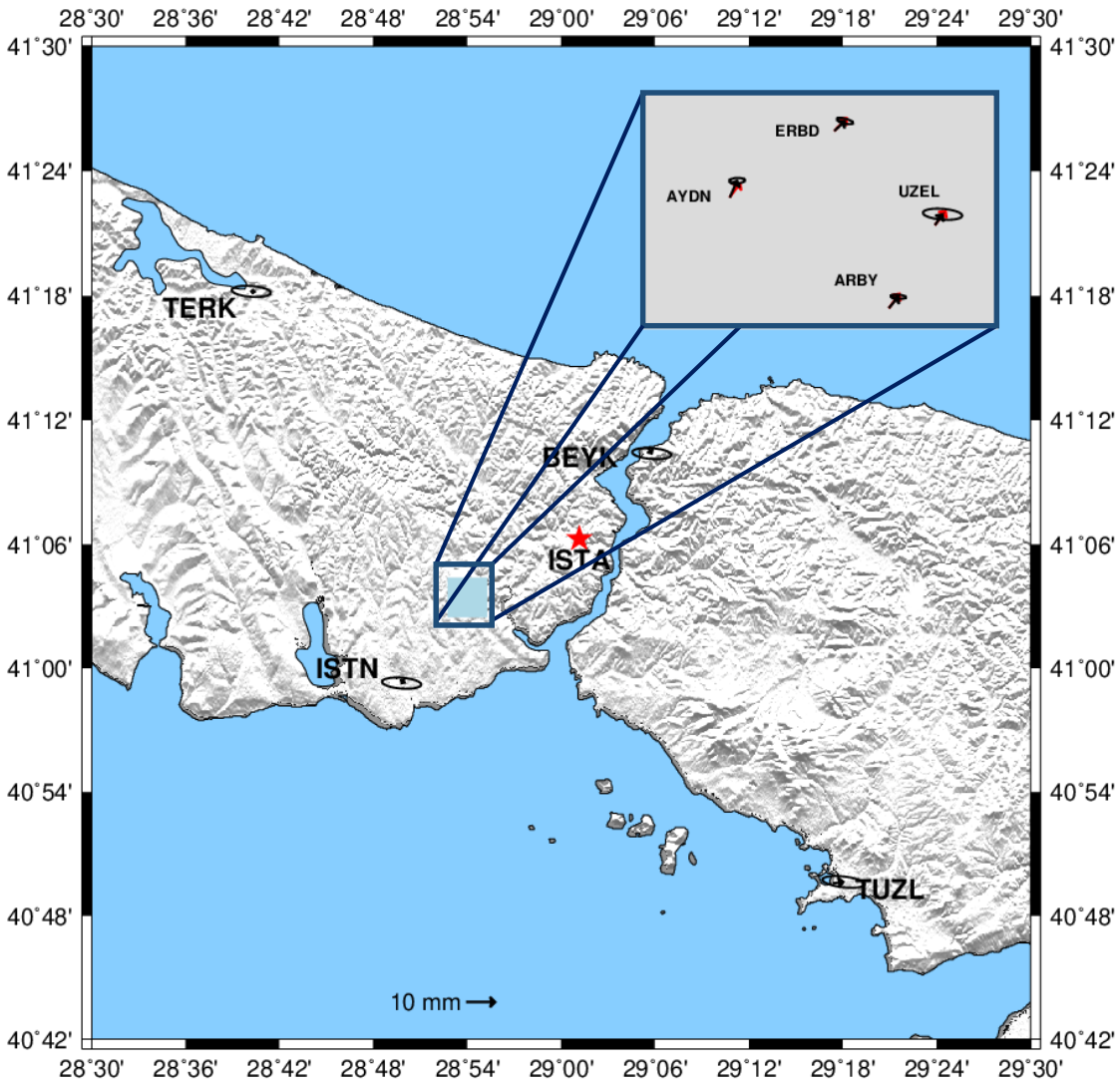
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	5.05	4.95	0.04	0.49	1.711
AYDN	4.45	6.23	0.22	0.09	
ERBD	5.91	4.86	0.30	0.54	
UZEL	6.79	4.37	0.79	0.28	

Tablo 5.33 ve 5.34 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca, obje noktalarında UZEL noktası hariç beklenen hız ve ivme parametreleri hesaplanmıştır. Buna karşın sadece BEYK noktasında yatay düzlem ve düşey doğrultuda anlamlı hız parametreleri bulunmuştur. Obje noktalarında karesel ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakın bulunmuştur (Şekil 5.41 ve 5.42).



Şekil 5.42 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.42'de, ivme vektörleri ise Şekil 5.43'te gösterilmiştir. Obje noktalarına ait karesel ve doğrusal modelden kestirilen hız ve ivme vektörleri hata elipsinin dışında kalmaktadır (Şekil 5.41, 5.42 ve 5.43). Obje noktalarında karesel modelle kestirilen ivme vektörlerinin yönleri gerçeğe yakın bulunmuştur (Şekil 5.43). Şekil 5.42'de karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkte gösterilmiştir. Kestirilen parametrelerin hata elipsleri mavi renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.43 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir

Şekil 5.43'te karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla siyah ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin hata elipsleri de siyah renkle gösterilmiştir.

Sekizinci Senaryo: Sadece yatay düzlemde, büyük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.4'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 05, 07 ve 09 Ağustos 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.35 ve 5.36'da verilmektedir.

Tablo 5.35 Sekizinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	20.93	-1.36	3.85	0.21	1.677
AYDN	18.91	-1.89	3.36	0.29	
ERBD	21.82	-1.05	3.31	0.16	
UZEL	21.48	4.59	3.38	0.71	
BEYK	2.59	-8.66	0.94	1.25	
ISTN	1.83	-0.17	0.23	0.02	
TERK	9.24	4.55	1.94	0.59	
TUZL	4.85	.51	1.86	0.47	

Sekizinci senaryoda yatay düzlemde büyük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde anlamlı, düşey doğrultuda anlamsız hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir. Bunun yanında TERK ve TUZL noktalarında yatay düzlemde gerçekte olmayan anlamlı hareketler ortaya çıkmıştır.

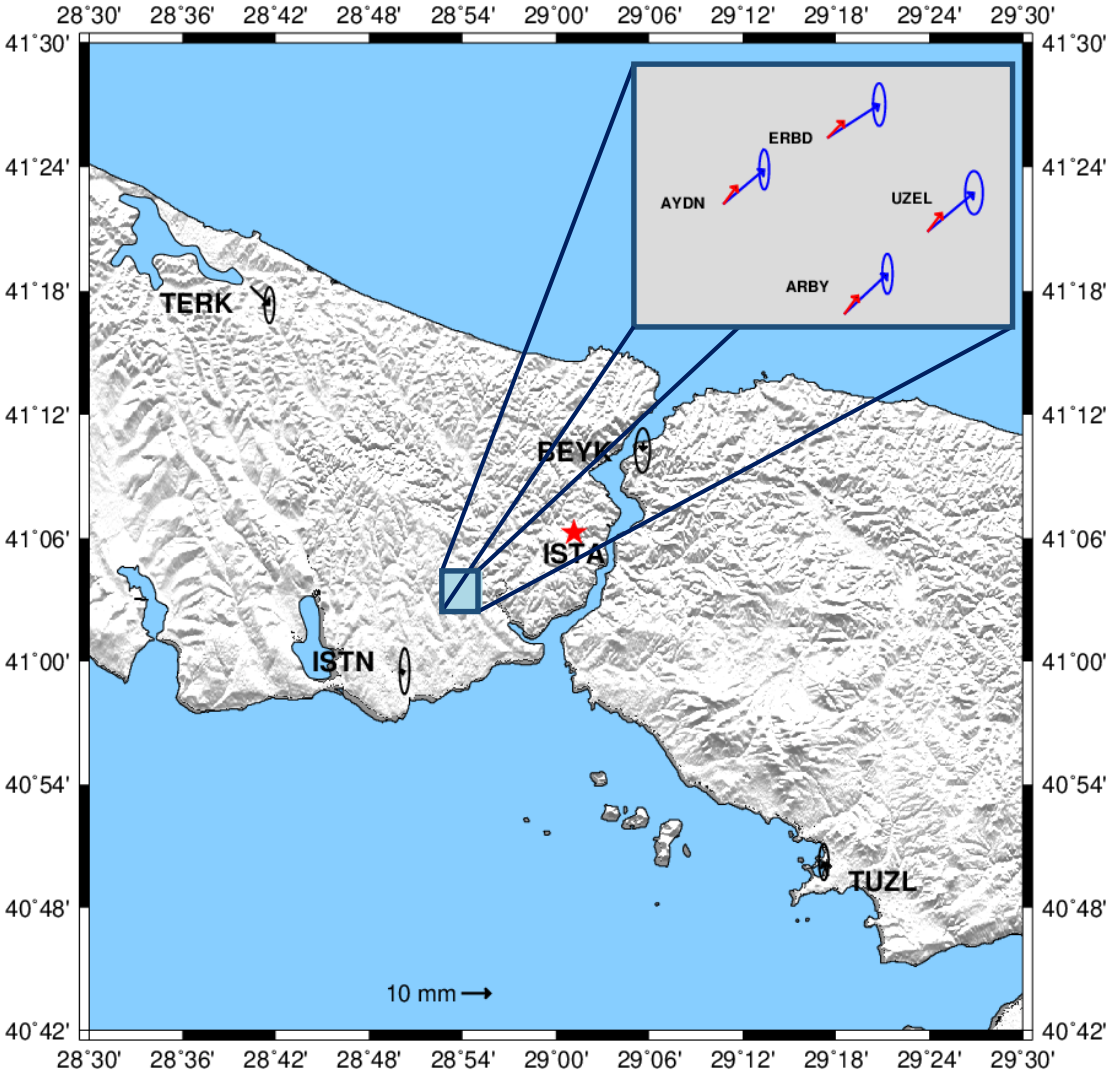
Tablo 5.36 Sekizinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	20.93	2.38	1.677
AYDN	18.91	1.96	
ERBD	21.82	2.07	
UZEL	21.48	2.10	

Tablo 5.36'da sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi sisteme yüklenen hız hem de ivme parametrelerini içermektedir.

Doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.44'te gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörleri hata elipsinin dışında kalmakta ve hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakın olmaktadır (Şekil 5.44).

Bir sonraki adımda sekizinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.37 ve 5.38'de (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir.



Şekil 5.44 Gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Tablo 5.37 ve 5.38 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar ERBD ve UZEL noktalarında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca, obje noktalarında ivme yüklemesi yapılmasına karşın analiz sonucunda bu parametreler anlamlı bulunamamıştır. Diğer taraftan, referans noktalarından ISTN ve TUZL'de anlamlı hız parametreleri hesaplanmıştır.

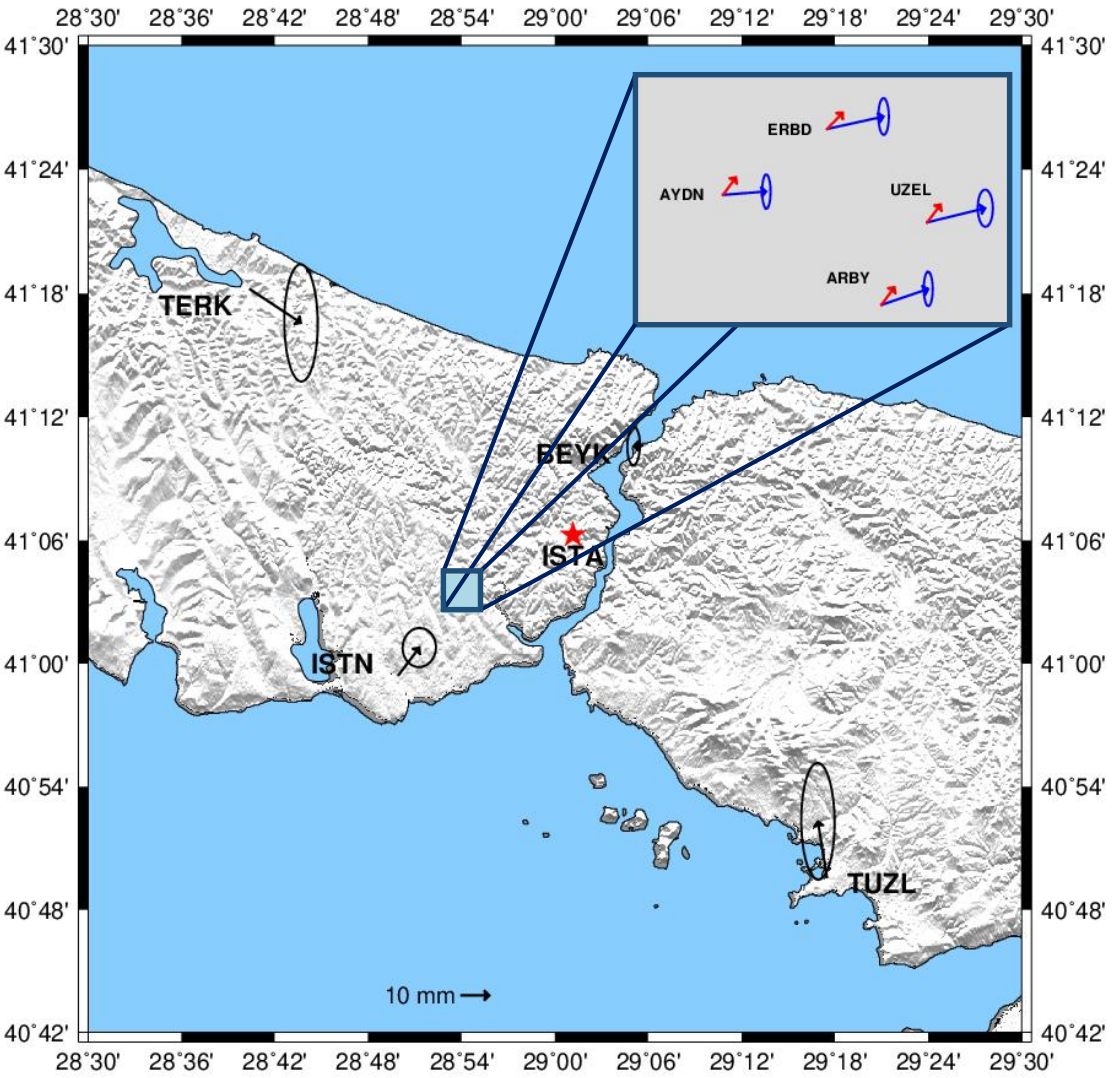
Tablo 5.37 Sekizinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	17.83	6.59	9.06	-7.77	3.03	1.00	0.43	0.50
AYDN	15.63	8.40	4.68	2.15	2.54	1.22	0.22	0.14
ERBD	20.78	5.78	7.62	5.01	3.22	0.84	0.36	0.33
UZEL	21.53	7.35	20.16	-11.71	3.29	0.38	0.95	0.76
BEYK	3.10	2.84	17.81	6.88	0.45	0.19	0.79	0.42
ISTN	12.28	8.01	0.98	0.59	1.91	0.43	0.04	0.03
TERK	21.91	9.29	18.69	-10.81	1.22	0.87	0.71	0.56
TUZL	20.34	11.38	31.43	-20.83	2.97	0.51	1.27	1.17

Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.45'te, ivme vektörleri ise Şekil 5.46'da gösterilmiştir.

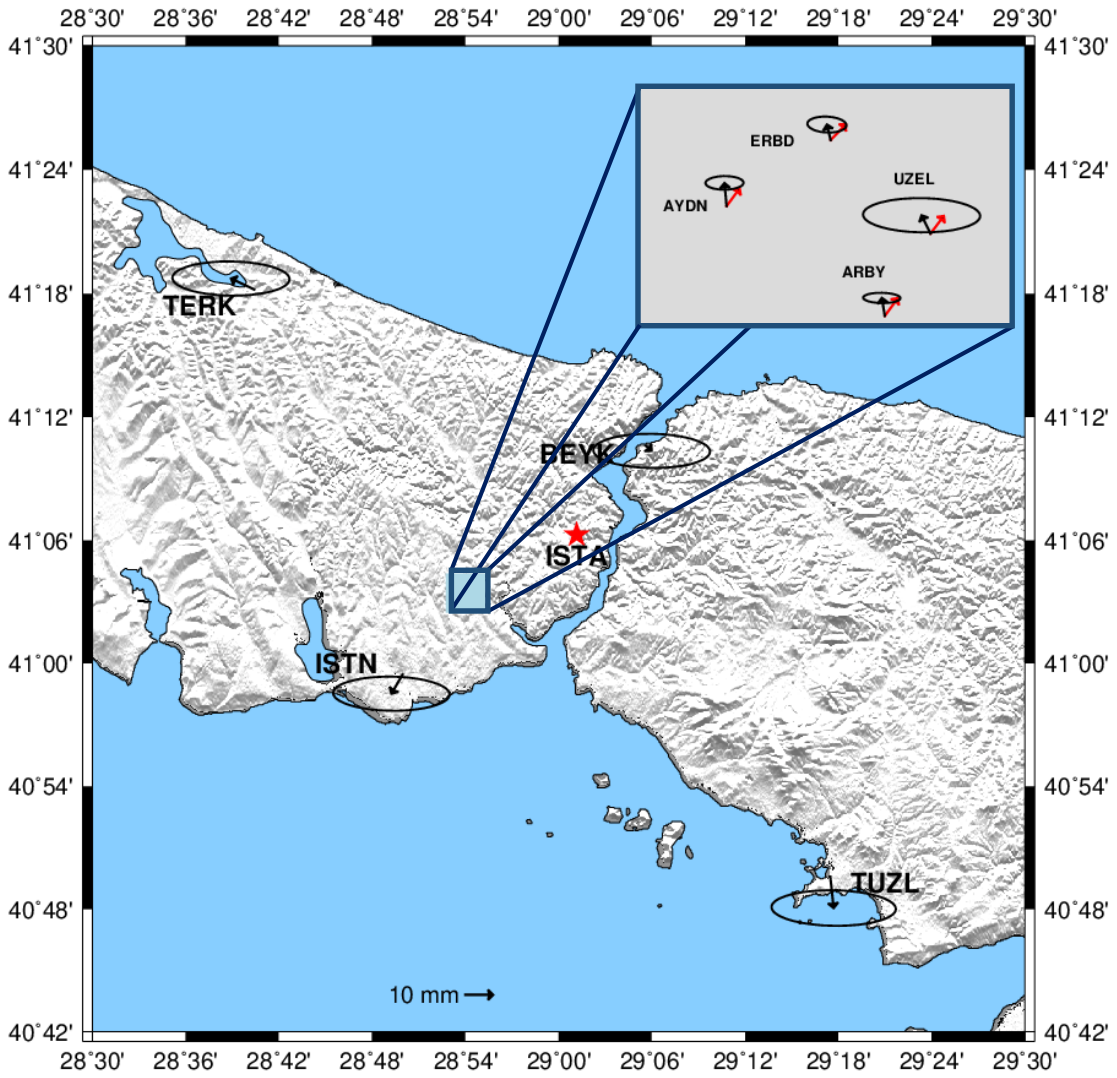
Tablo 5.38 Sekizinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ ($\alpha = 0.05$)
	Yatay Düzlem				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	17.83	6.59	1.67	0.21	1.711
AYDN	15.63	8.40	1.26	0.06	
ERBD	20.78	5.78	1.95	0.32	
UZEL	21.53	7.35	2.05	0.03	



Şekil 5.45. Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Obje noktalarına ait karesel ve doğrusal modelden kestirilen hız vektörleri hata elipsinin dışında kalmaktadır (Şekil 5.44, 5.45 ve 5.46). Karesel modelden kestirilen hız ve ivme vektörlerinin bileşkesi yükleme yapılan yer değiştirme yönüne yakın bulunmuştur (Şekil 5.45 ve 5.46).



Şekil 5.46 Gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir

Şekil 5.46'da karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla siyah ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin hata elipsleri de siyah renkle gösterilmiştir.

Dokuzuncu Senaryo: Yatay düzlem ve düşey doğrultuda küçük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de

18, 20 ve 22 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.39 ve 5.40'ta verilmektedir.

Tablo 5.39 Dokuzuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	5.94	-20.37	1.10	3.37	1.677
AYDN	5.17	-20.09	0.88	3.33	
ERBD	6.12	-17.96	0.93	2.97	
UZEL	6.34	-14.18	1.03	2.35	
BEYK	1.10	-6.33	0.26	0.97	
ISTN	1.50	-5.03	0.21	0.76	
TERK	2.17	0.66	0.38	0.10	
TUZL	1.24	-0.48	0.56	0.07	

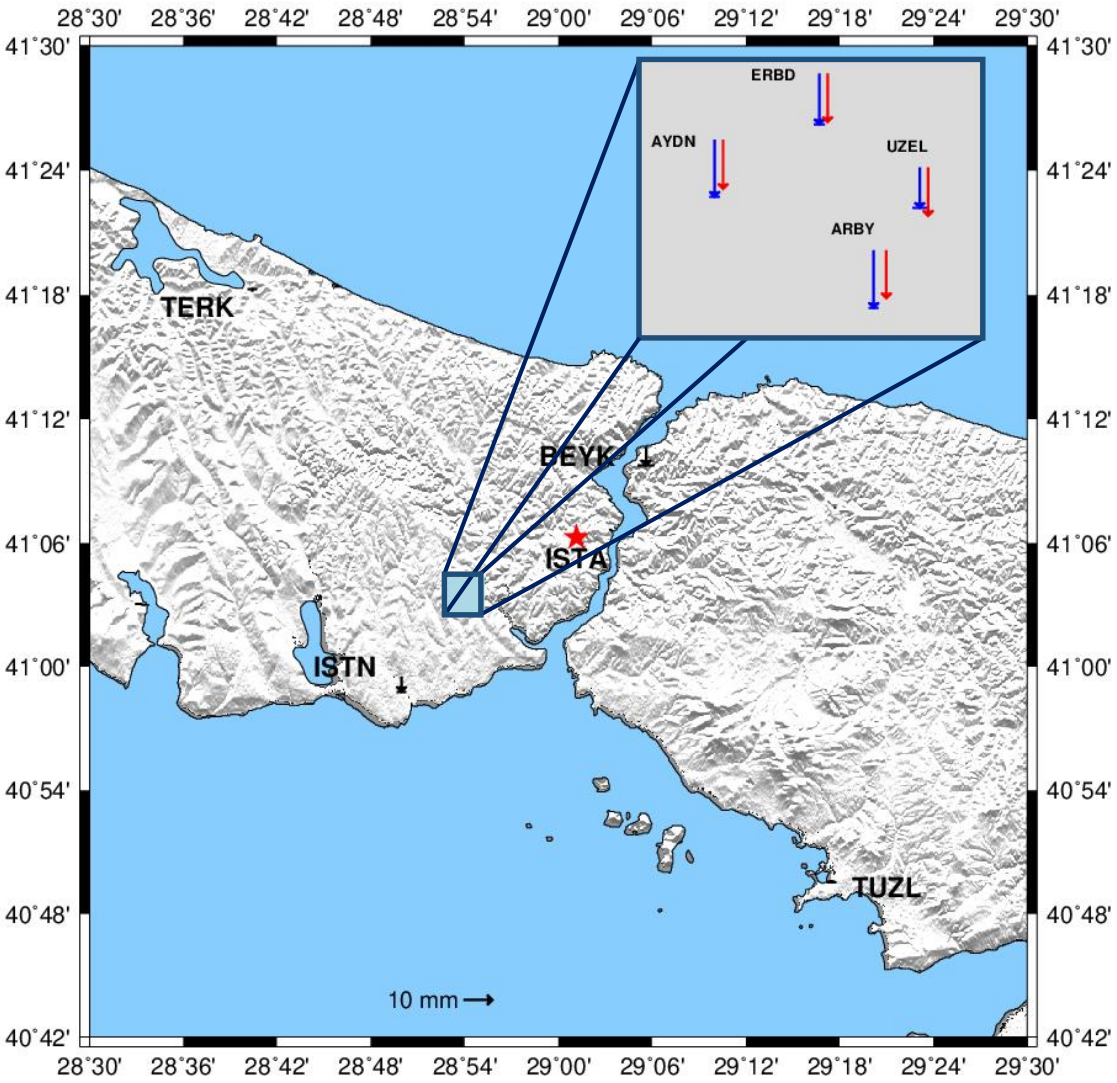
Dokuzuncu senaryoda yatay düzlemde ve düşey doğrultuda küçük genlikli hız ve ivmesiz bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde anlamsız, düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.40 Dokuzuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	5.94	-20.37	0.15	0.57	1.677
AYDN	5.17	-20.09	0.03	0.46	
ERBD	6.12	-17.96	0.14	0.13	
UZEL	6.34	-14.18	0.23	0.47	

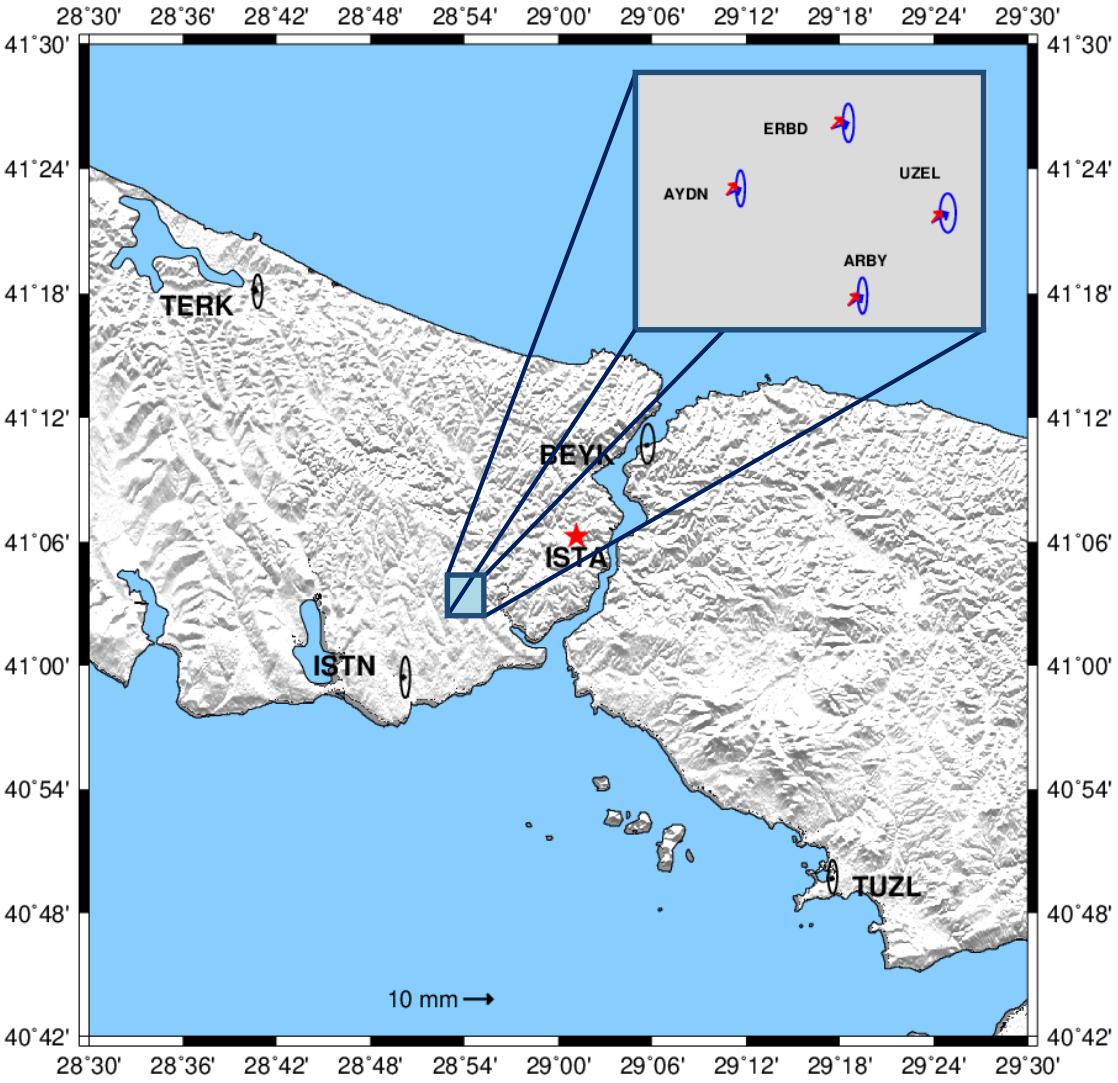
Tablo 5.40'ta sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır.

Dokuzuncu modelde ayrıca karesel model sonuçları da incelenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.41 ve 5.42'de (kritik değer 1.711 her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir.



Şekil 5.47 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Düşey doğrultuda doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.47'de gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakın bulunmuştur. Şekil 5.47'de doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle yatay olarak hız vektörünün altında gösterilmiştir.



Şekil 5.48 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Yatay düzleme ait doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.48'de gösterilmiştir. Yatay düzleme ait sonuçlarda obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörleri hata elipsinin dışında kalmakta ve hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakın bulunmuştur (Şekil 5.48). Şekil 5.48'de doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin hata elipsleri de mavi renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.41 Dokuzuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

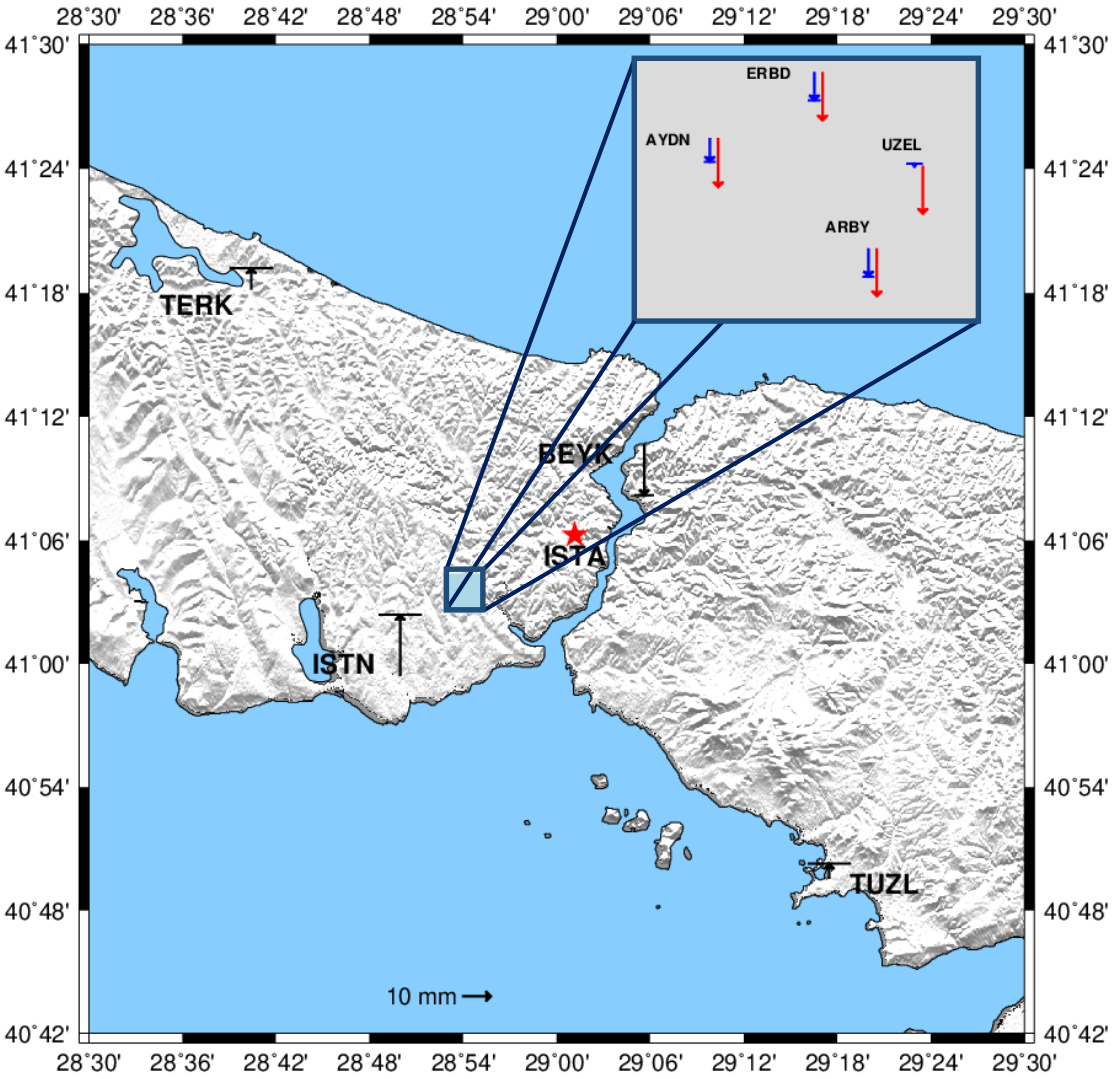
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	12.47	10.26	-9.83	-7.68	2.54	1.29	0.37	0.39
AYDN	15.13	11.69	-8.22	-8.69	3.52	1.43	0.31	0.44
ERBD	18.18	13.36	-9.85	-5.81	3.75	1.60	0.37	0.29
UZEL	14.83	11.38	1.10	-11.34	2.47	0.45	0.04	0.57
BEYK	1.47	0.71	-17.87	9.10	0.18	0.05	0.63	0.43
ISTN	9.65	7.08	21.65	-20.46	1.26	0.27	0.75	0.94
TERK	7.66	6.35	7.44	-5.12	0.55	0.32	0.25	0.23
TUZL	7.87	7.06	5.11	-4.14	1.01	0.25	0.16	0.18

Tablo 5.42 Dokuzuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 2			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	12.47	10.26	-9.83	-7.68	1.50	1.29	0.27	0.39
AYDN	15.13	11.69	-8.22	-8.69	2.36	1.43	0.34	0.44
ERBD	18.18	13.36	-9.85	-5.81	2.68	1.60	0.28	0.29
UZEL	14.83	11.38	1.10	11.34	1.65	0.45	0.60	0.57

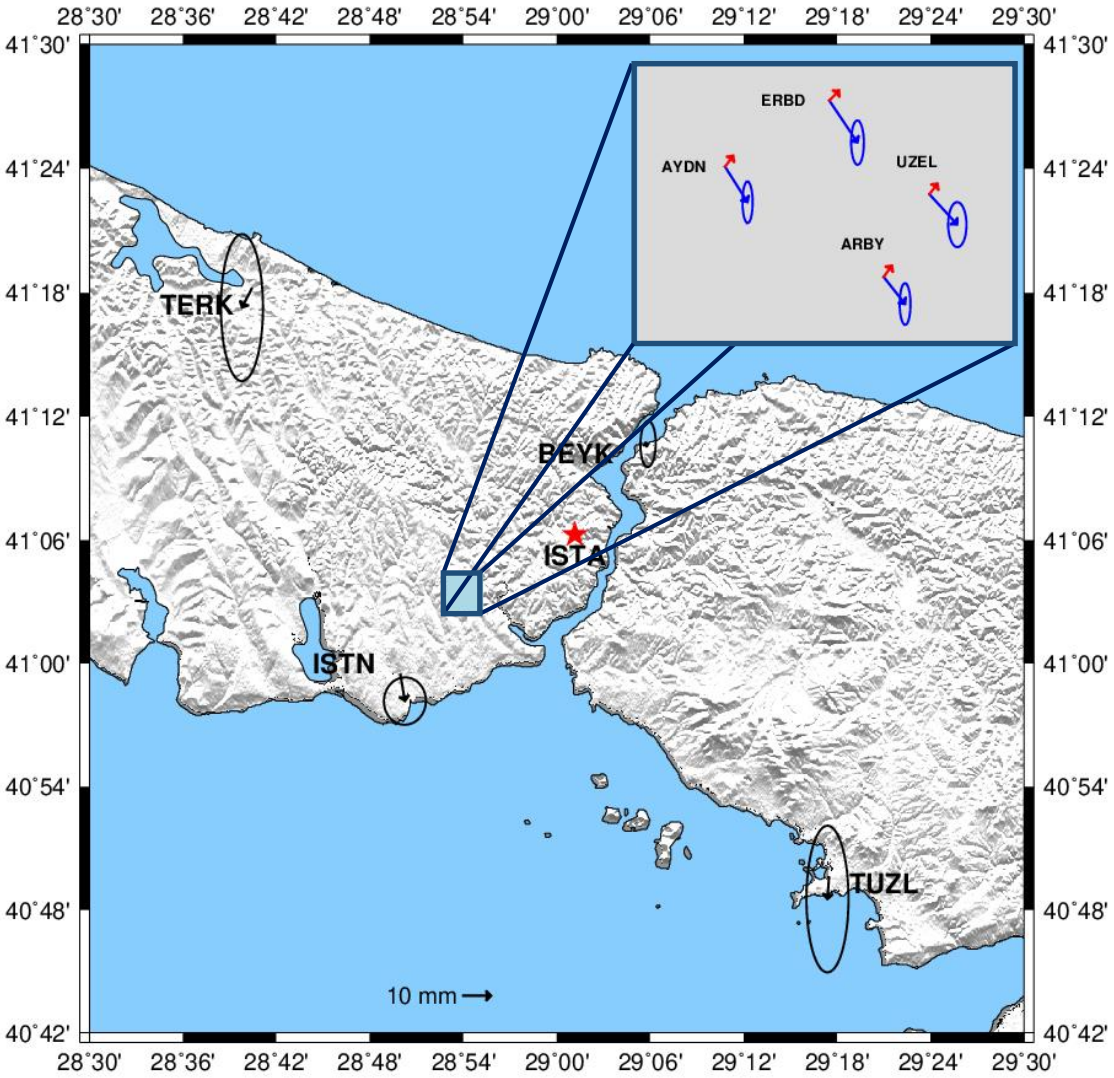
Tablo 5.41 ve 5.42 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar yatay düzlemde AYDN ve ERBD noktalarında istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca, obje noktalarında yatay ve düşey düzlemde hız yüklemesi yapılmasına karşın, sadece yatay düzlemdeki hız parametreleri anlamlı olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.47'de karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin standart sapmaları da yatay olarak hız vektörünün altında mavi renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.49 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Düşey doğrultuya ait sonuçlara bakıldığında karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.49'da gösterilmiştir. Yatay düzleme ait karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri de Şekil 5.50'de gösterilmiştir. Yatay düzleme ait sonuçlarda da düşey doğrultuya ait sonuçlarda olduğu gibi obje noktalarına ait karesel modelden kestirilen hız vektörleri hata elipsinin dışında kalmaktadır. Sisteme ivme yüklenmediği halde karesel modelle kestirilmesi hız vektörünün yönünde sapmaya neden olmuştur (Şekil 5.50).



Şekil 5.50 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Şekil 5.50'de karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere, kestirilen parametrelerin hata elipsleri de mavi renkle gösterilmiştir.

Onuncu Senaryo: Yatay düzlem ve düşey doğrultuda büyük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 24, 27 ve 29 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model

kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.43 ve 5.44'te (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmektedir.

Tablo 5.43 Onuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

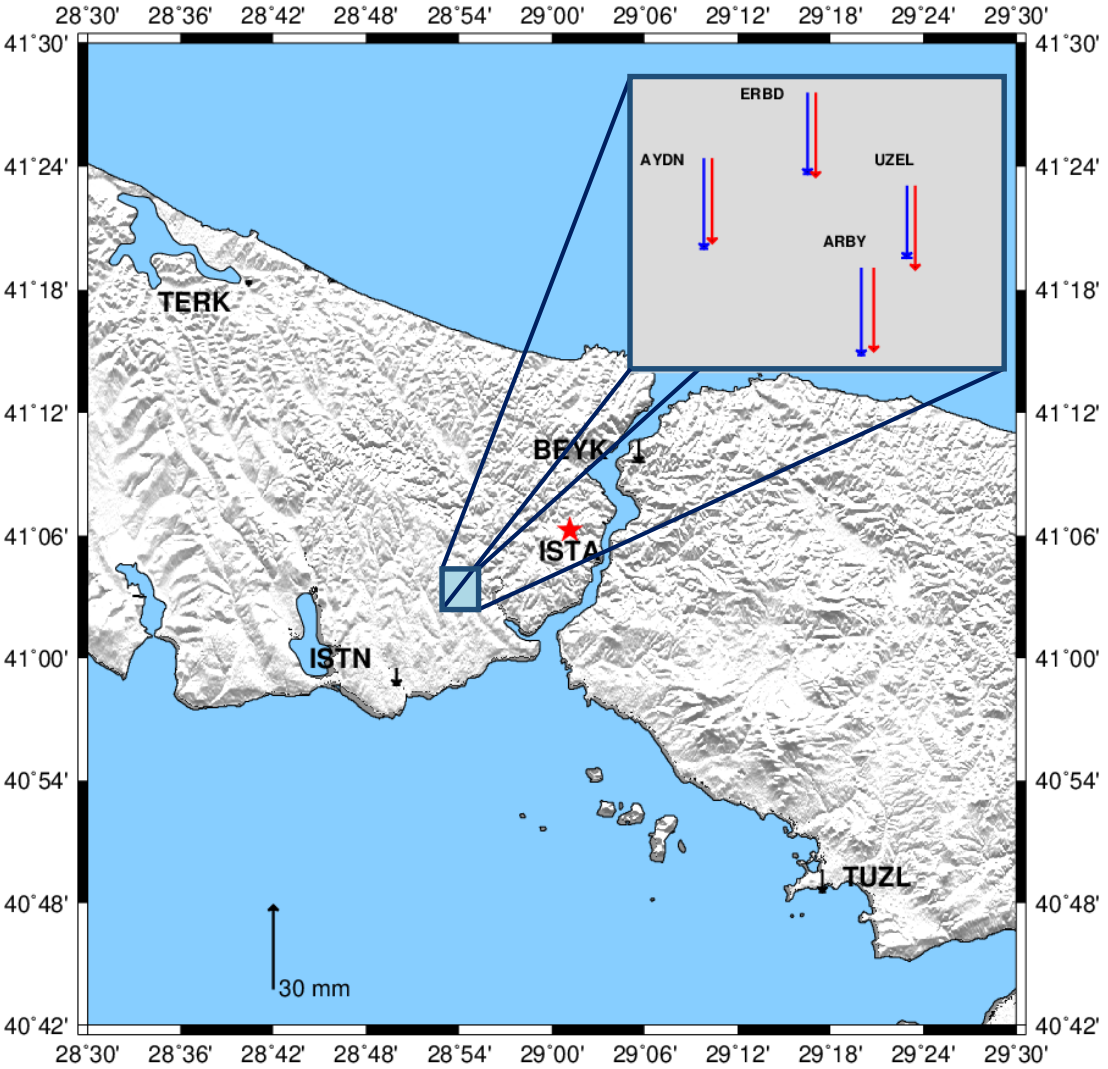
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	7.39	-31.30	1.95	7.11	1.677
AYDN	5.96	-32.34	1.37	7.32	
ERBD	7.16	-29.03	1.48	6.60	
UZEL	8.10	-25.76	1.90	5.87	
BEYK	0.45	-7.47	0.08	1.58	
ISTN	0.92	-5.75	0.15	1.19	
TERK	0.58	1.61	0.28	0.30	
TUZL	0.70	-7.81	0.45	1.53	

Tablo 5.44 Onuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük		Test 2	
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)		
ARBY	7.39	-31.30	0.16	0.32
AYDN	5.96	-32.34	0.45	0.46
ERBD	7.16	-29.03	0.21	0.25
UZEL	8.10	-25.76	0.01	0.96

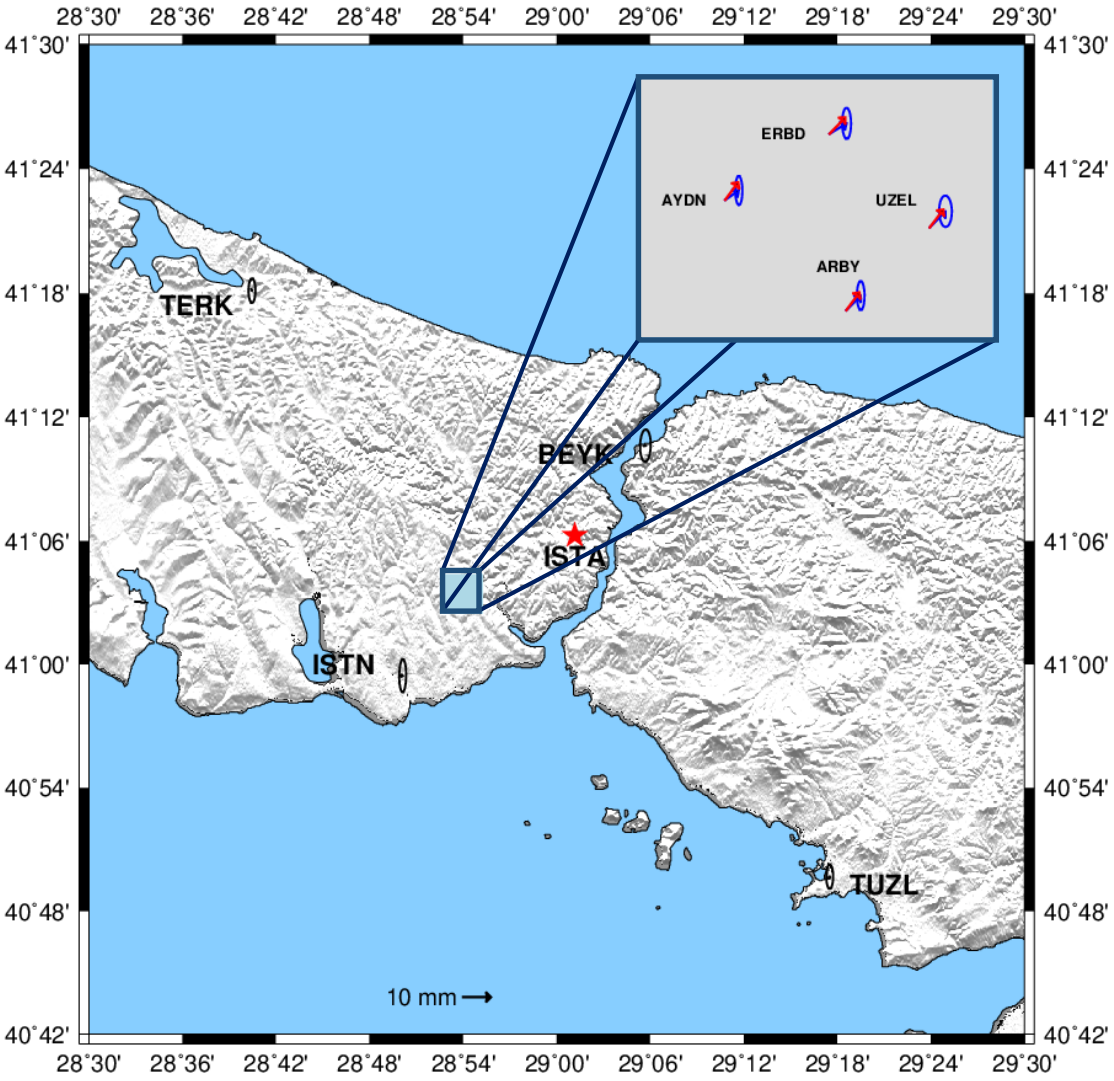
Onuncu senaryoda yatay düzlemde ve düşey doğrultuda büyük genlikli hız ve ivmesiz bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ARBY ve UZEL noktalarında yatay düzlemde ve 4 obje noktasında da düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir. Deformasyon alanı dışındaki referans noktalarında ise anlamlı bir parametre kestirilmemiştir.

Tablo 5.44'te sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.51 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Düşey doğrultuda doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.51'de gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörleri sınır değeri aşmakta ve hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakındır. Doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.52 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Yatay düzlemde ise doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.52'de gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörleri sınır değeri aşmakta ve hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakınsamıştır. Doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin hata elipsleri de mavi renkle gösterilmiştir.

Onuncu modelde ayrıca karesel model sonuçları da incelenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.45 ve 5.46'da (kritik değer 1.711 her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir.

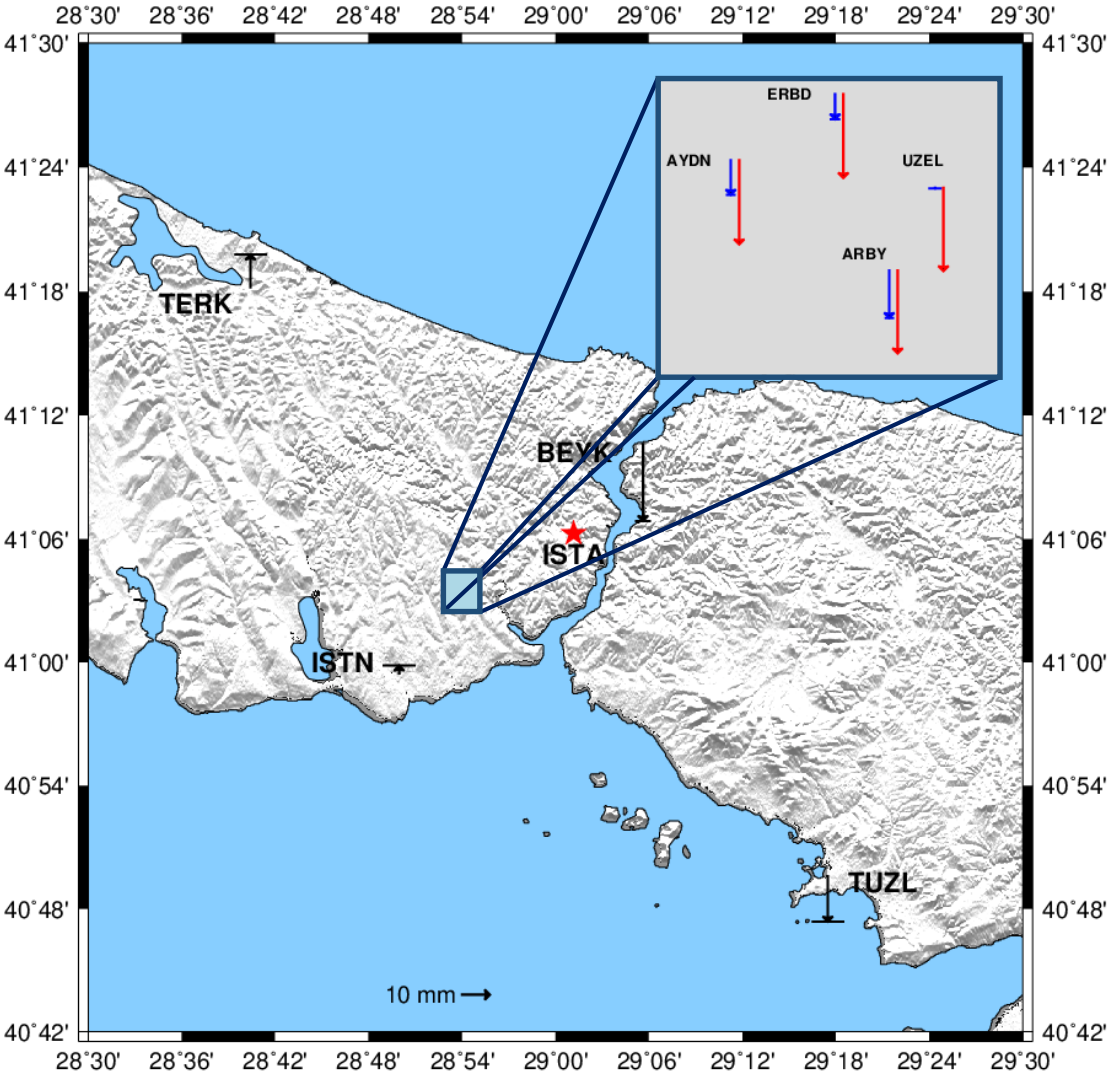
Tablo 5.45 Onuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	3.67	2.76	17.09	10.43	0.82	0.57	0.85	0.73
AYDN	3.48	4.46	12.46	14.62	0.72	0.70	0.62	1.02
ERBD	3.59	3.67	9.01	14.71	0.56	0.60	0.45	1.02
UZEL	5.42	2.29	0.19	18.86	0.94	0.12	0.01	1.31
BEYK	6.56	4.98	27.64	14.90	1.69	0.29	1.26	0.95
ISTN	0.53	0.64	2.90	6.34	0.09	0.05	0.13	0.41
TERK	0.85	1.14	11.86	7.28	0.15	0.06	0.52	0.43
TUZL	4.35	2.72	16.36	6.69	0.75	0.13	0.73	0.41

Tablo 5.46 Onuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 2			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	3.67	2.76	17.09	10.43	0.97	0.57	0.64	0.73
AYDN	3.48	4.46	12.46	14.62	0.92	0.70	0.89	1.02
ERBD	3.59	3.67	9.01	14.71	0.71	0.60	1.05	1.02
UZEL	5.42	2.29	0.19	18.86	0.47	0.12	1.49	1.31

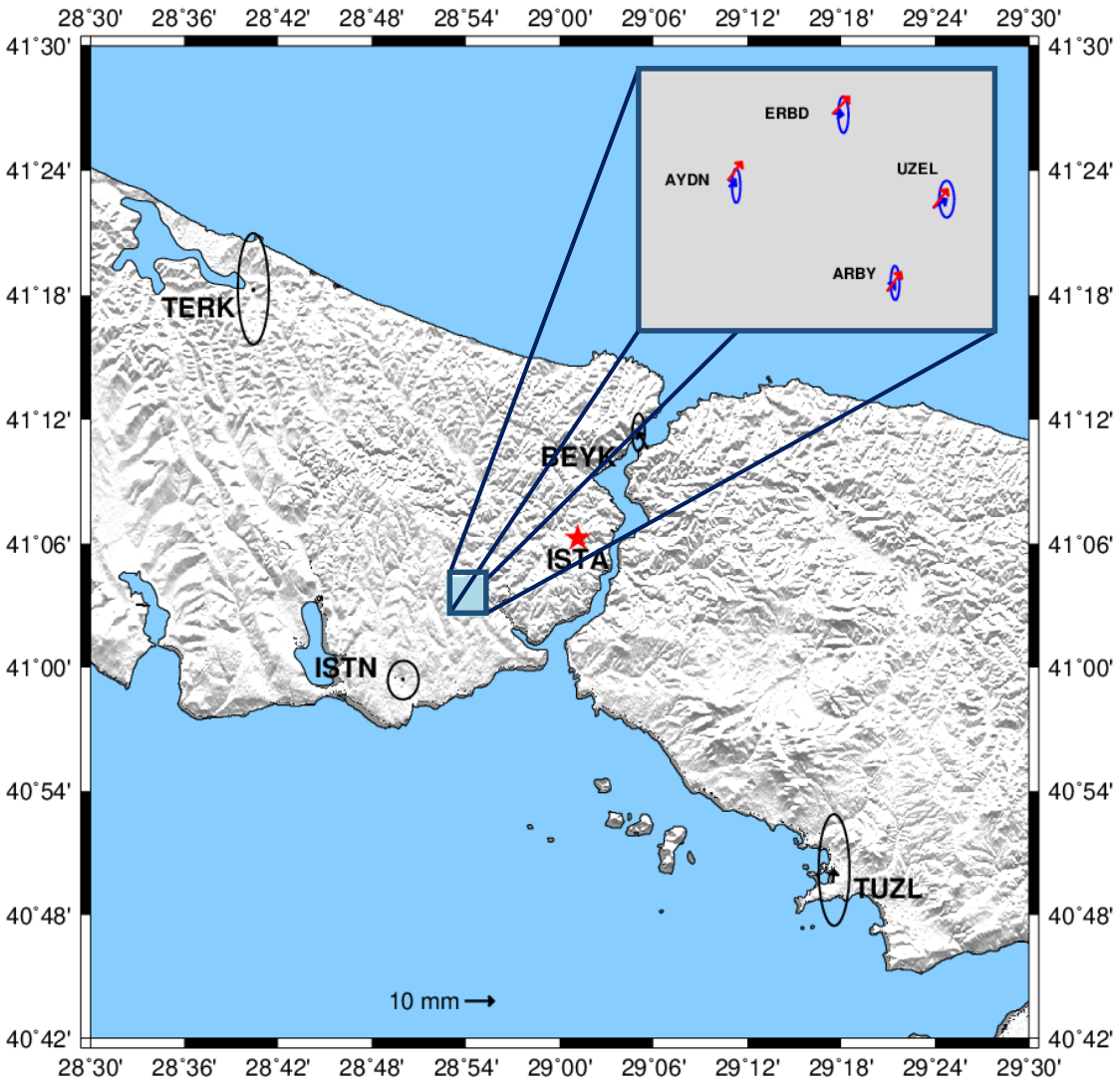
Tablo 5.45 ve 5.46 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar yatay düzlemde ve düşey doğrultuda tüm noktalarda istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca, obje noktalarında yatay ve düşey düzlemde hız yüklemesi yapılmasına karşın, bu parametreler anlamsız olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.53 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Düşey doğrultuda karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.53'te gösterilmiştir. Obje noktalarına ait karesel modelden kestirilen hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakın olmaktadır.

Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle vektörün altında yatay olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.54 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Yatay düzlemde ise karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.54'te gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörleri sınır değeri aşmakta ve hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakınsamıştır. Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin hata elipsleri de mavi renkle gösterilmiştir.

On birinci Senaryo: Yatay düzlem ve düşey doğrultuda küçük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 31 Temmuz, 02 ve 04 Ağustos 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.47 ve 5.48'de (kritik değer her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmektedir.

Tablo 5.47 On birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	15.29	-41.43	4.26	8.58	1.677
AYDN	14.25	-42.19	3.80	8.76	
ERBD	16.04	-42.09	3.60	8.75	
UZEL	15.58	-35.70	3.57	7.43	
BEYK	1.96	-8.95	0.89	1.73	
ISTN	2.86	-1.67	0.60	0.32	
TERK	3.76	0.39	0.88	0.07	
TUZL	5.93	-3.43	2.63	0.64	

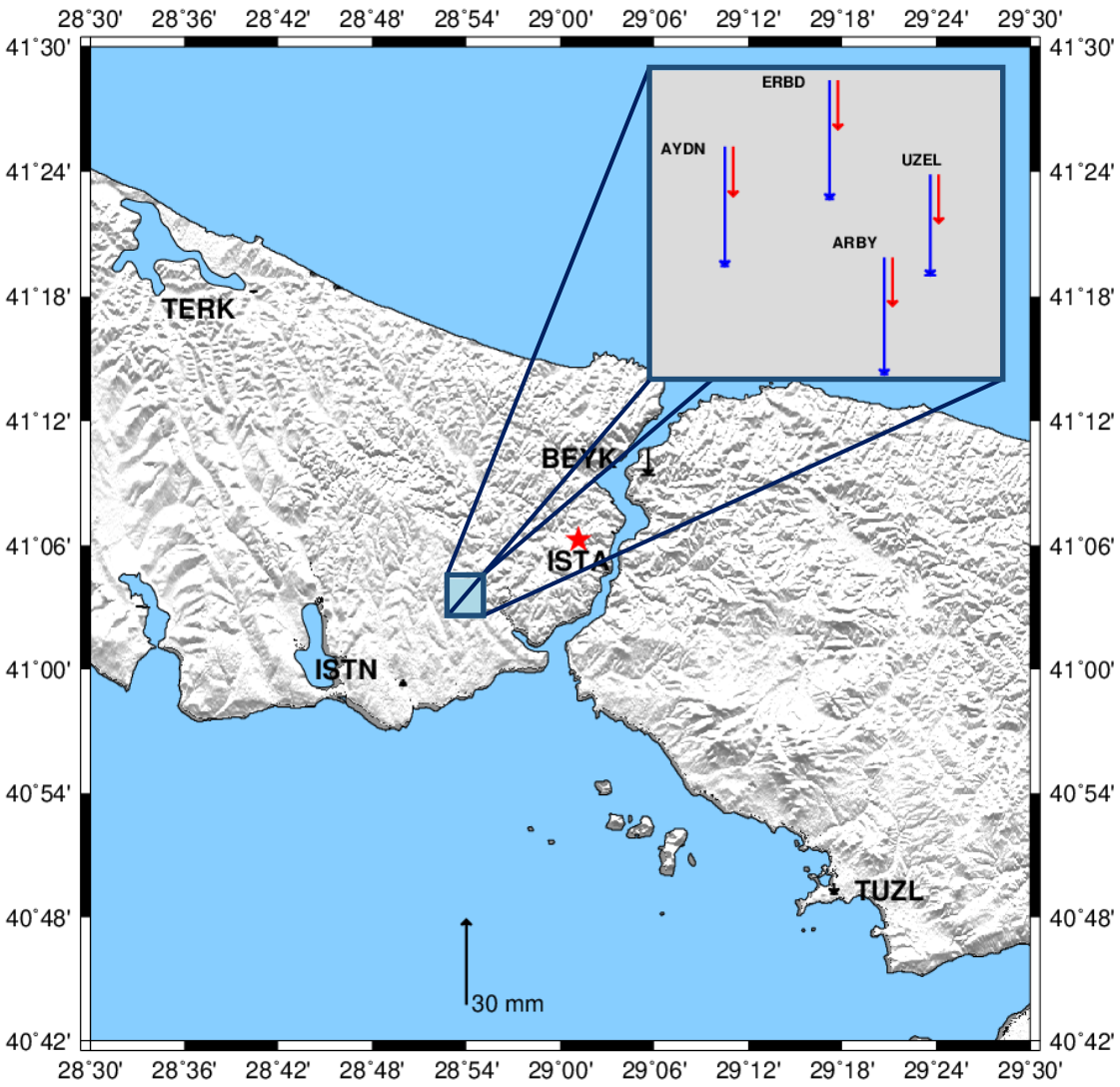
Tablo 5.48 On birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük		Test 2	
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu
ARBY	15.29	-41.43	2.83	5.08
AYDN	14.25	-42.19	2.47	5.17
ERBD	16.04	-42.09	2.44	5.18
UZEL	15.58	-35.70	2.44	3.90

On birinci senaryoda yatay düzlem ve düşey doğrultuda küçük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde ve düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı

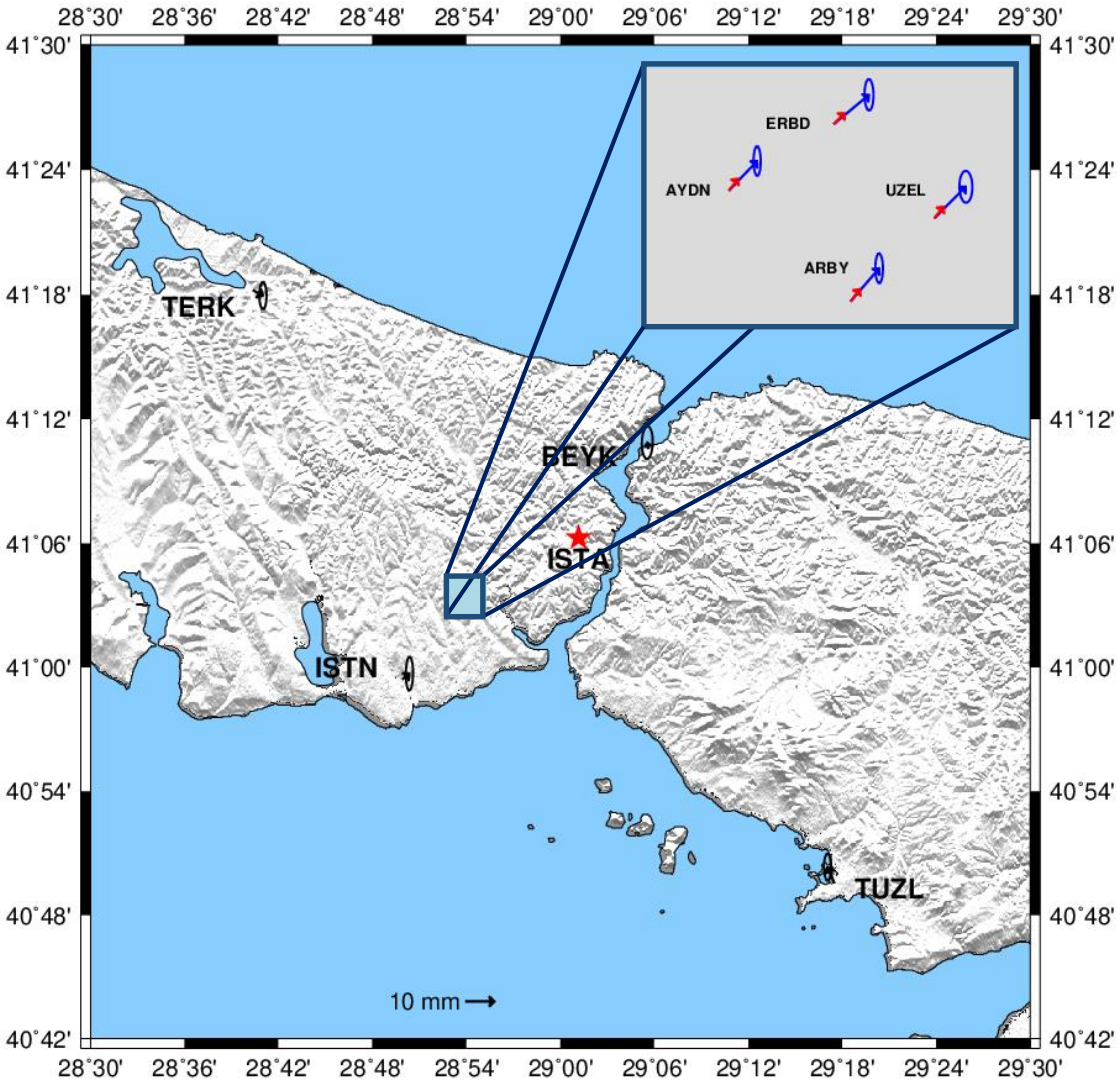
görülmektedir. Bunun yanında EKK yönteminin yayma etkisi nedeniyle gerçekte olmayan BEYK ve TUZL noktalarında da anlamlı hareketler ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.48'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerini içermektedir.



Şekil 5.55 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Düşey doğrultuda doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.55'te gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakındır. Doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin standart sapmaları da mavi renkle gösterilmiştir. Yatay düzlemde ise doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.56'da gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörleri sınır değeri aşmakta ve hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakınsamıştır.



Şekil 5.56 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir

Bir sonraki adımda on birinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.49 ve 5.50'de (kritik değer 1.711 olmak üzere her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir.

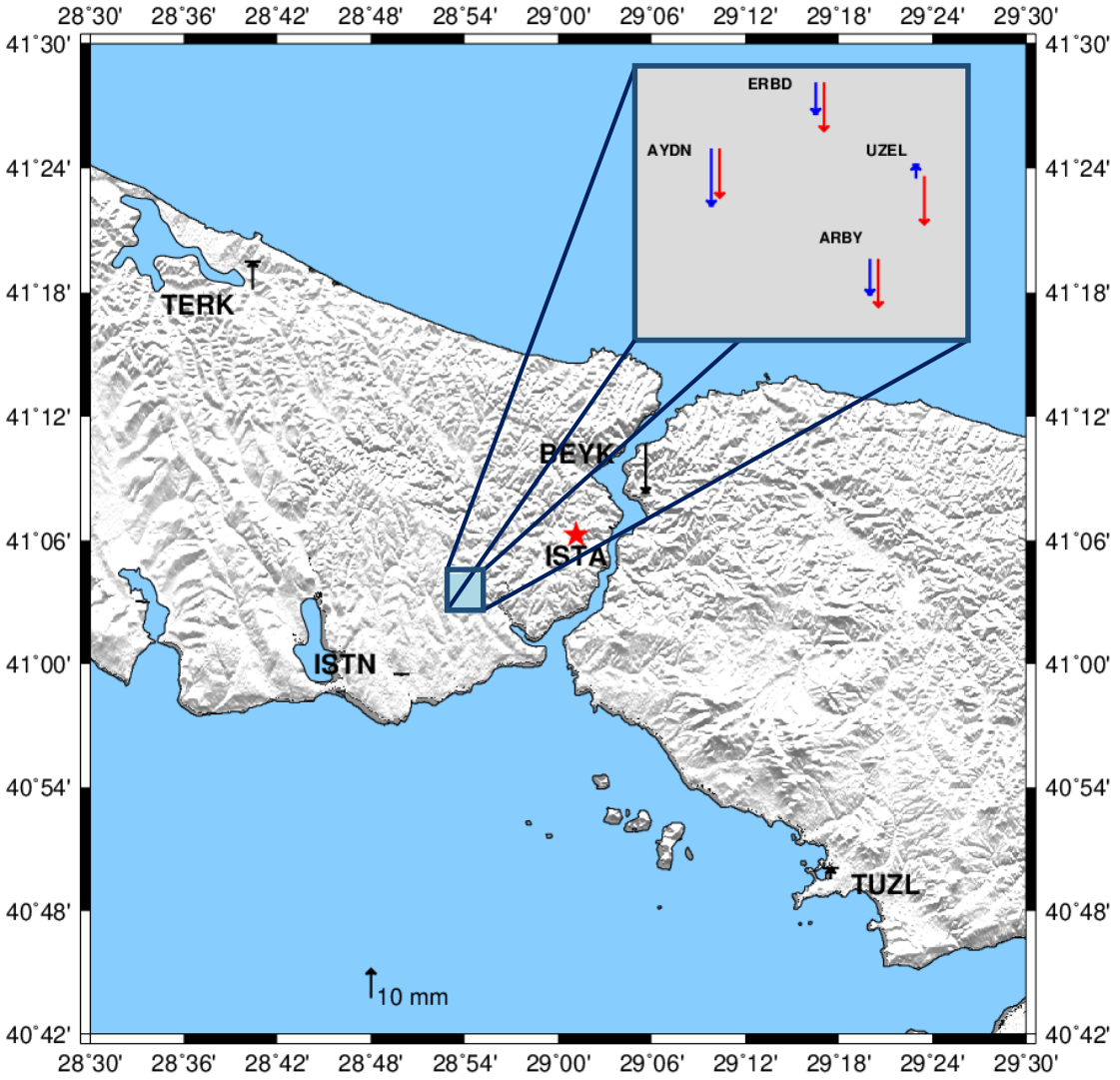
Tablo 5.49 On birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	11.24	6.97	-12.43	-22.49	3.63	2.03	1.24	3.02
AYDN	10.07	9.20	-20.12	-17.14	3.21	2.60	2.01	2.31
ERBD	13.26	6.67	-10.92	-24.20	3.94	1.85	1.09	3.26
UZEL	13.49	6.68	4.47	-31.17	3.98	0.69	0.45	4.20
BEYK	1.48	0.85	-17.03	6.28	0.82	0.15	1.58	0.78
ISTN	3.64	1.08	0.31	-1.24	1.22	0.11	0.03	0.15
TERK	7.73	3.02	9.68	-7.02	0.94	0.44	0.86	0.84
TUZL	11.10	4.91	3.65	-5.34	4.05	0.51	0.33	0.65

Tablo 5.50 On birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

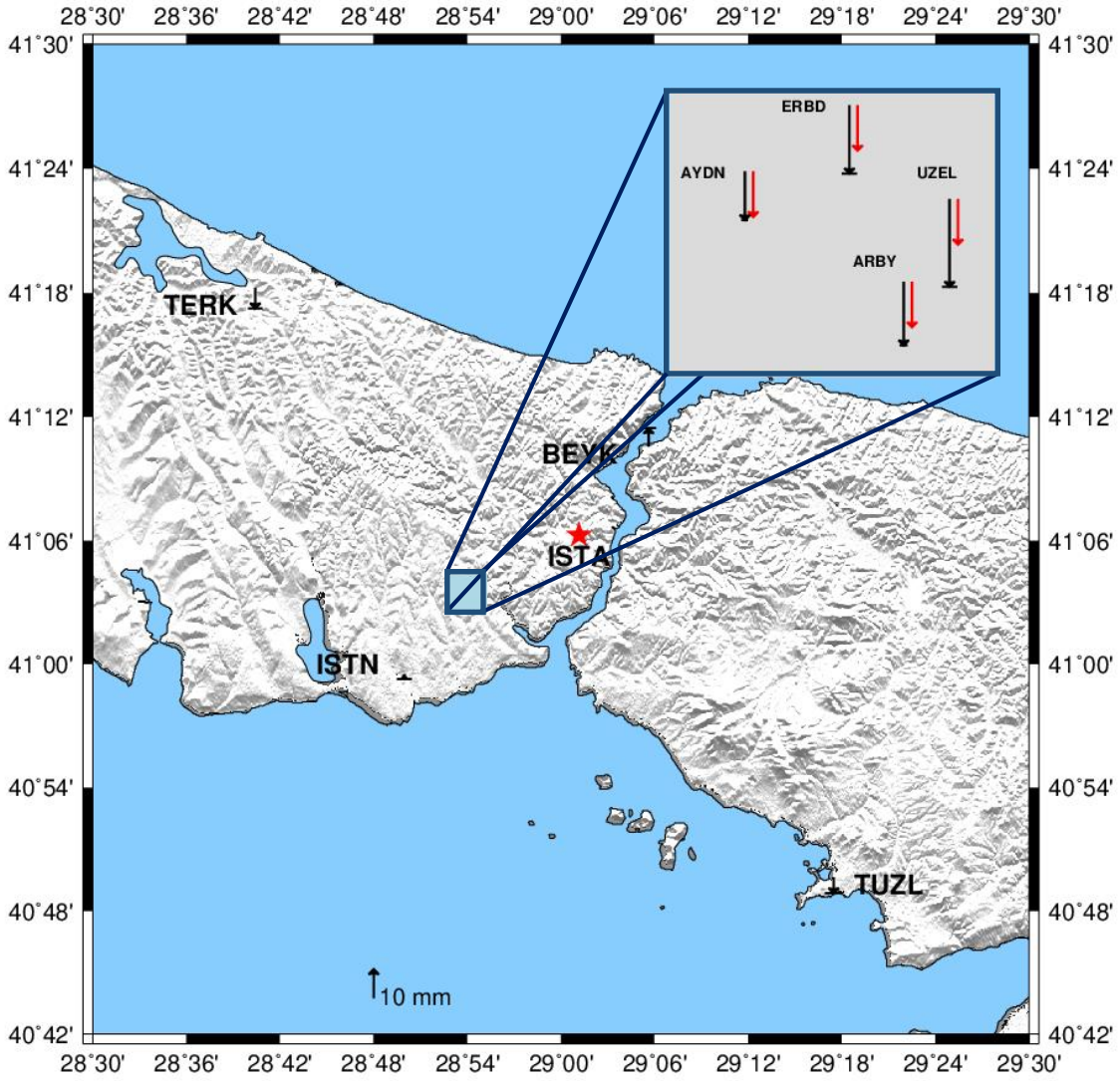
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 2			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	11.24	6.97	-12.43	-22.49	1.97	0.28	0.45	0.87
AYDN	10.07	9.20	-20.12	-17.14	1.62	0.90	0.28	0.15
ERBD	13.26	6.67	-10.92	-24.20	2.40	0.18	0.62	1.10
UZEL	13.49	6.68	4.47	-31.17	2.53	0.07	1.25	2.05

Tablo 5.49 ve 5.50 incelendiğinde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında AYDN noktası dışında diğer noktalarda farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Modelde ortaya çıkan anlamlı değerler yatay düzlemdeki büyüklüklerdir. Düşey doğrultuda UZEL noktasında anlamlı ivme parametresi hesaplanmıştır.



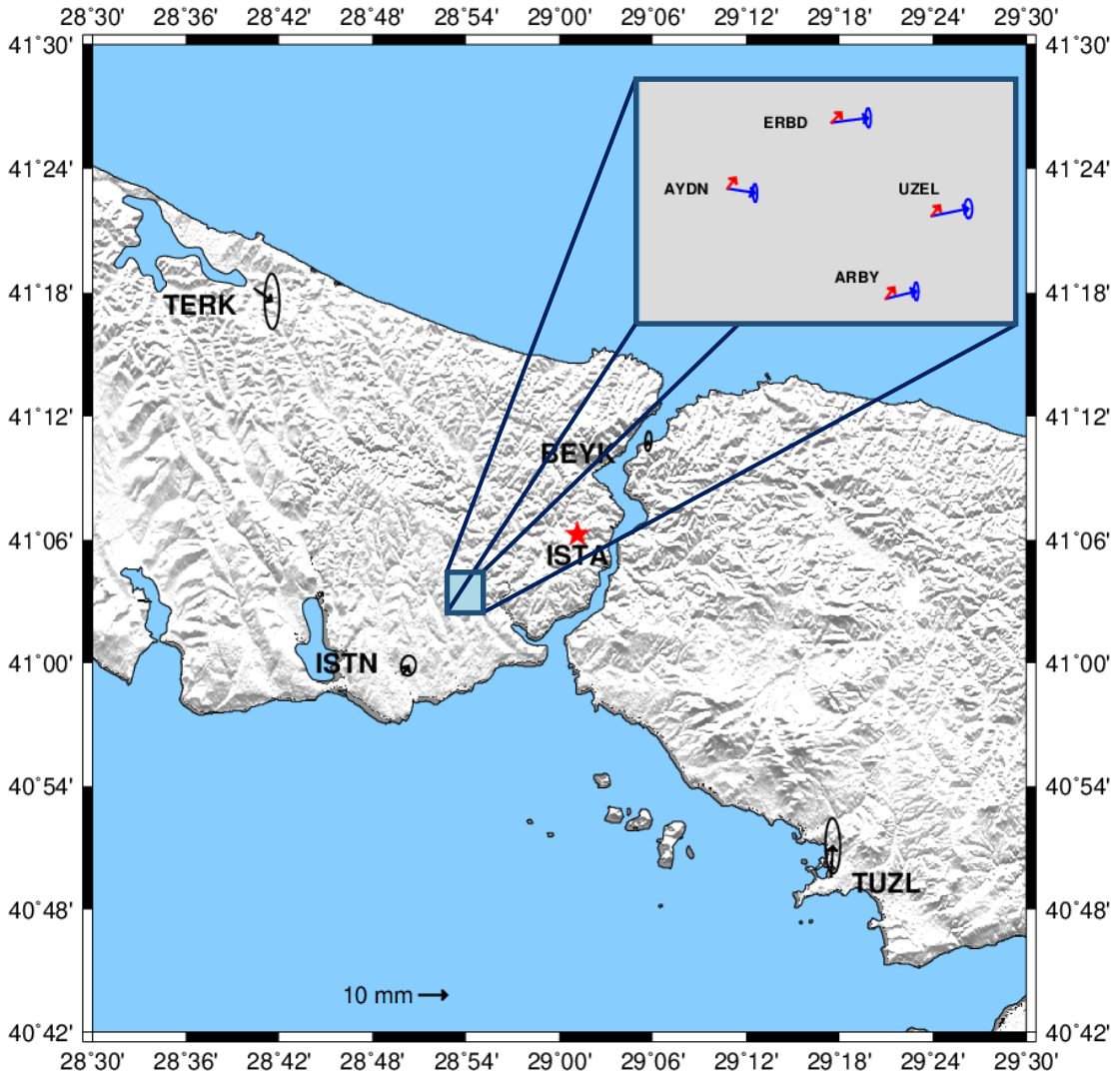
Şekil 5.57 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Düşey doğrultuda karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.57'te gösterilmiştir. Obje noktalarına ait karesel modelden kestirilen hız vektörlerinin yönleri UZEL noktası hariç gerçekte yükleme yapılan yönle aynıdır. Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle gösterilmiştir.



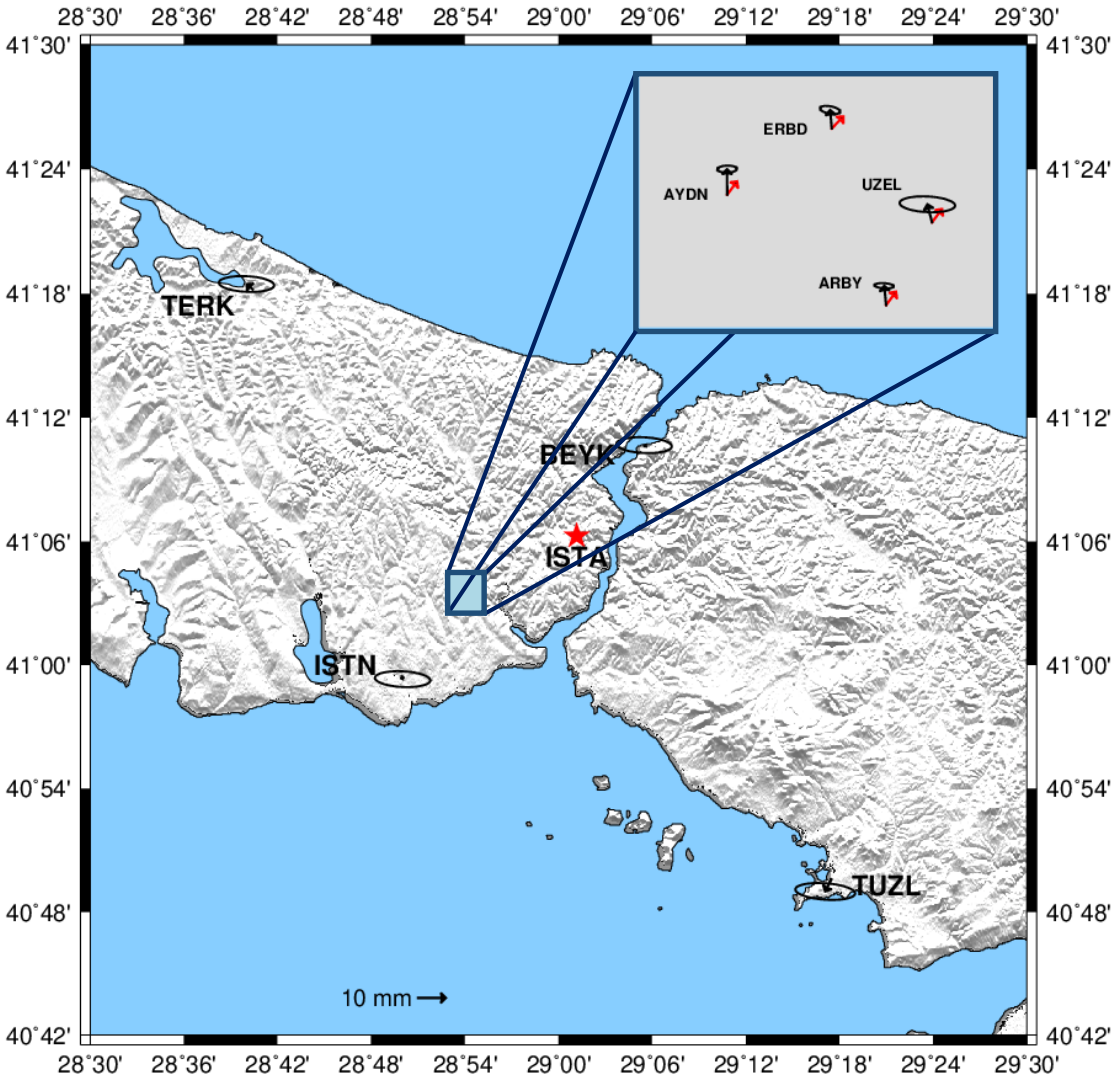
Şekil 5.58 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir.

Düşey doğrultuda karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen ivme vektörleri Şekil 5.58'da gösterilmiştir. Obje noktalarına ait karesel modelden kestirilen ivme vektörleri sınır değeri aşmakta ve vektörlerin yönleri gerçeğe yakınsamıştır (Şekil 5.58). Hız vektörü UZEL noktasında ters işaretli çıkmasının sonucu olarak ivme büyüklüğü diğer obje noktalarına göre daha büyük çıkmıştır. Aynı yorum ERBD noktasında hız parametresi ters işaretli çıkmasa da gözlenmektedir. Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla siyah ve kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.59 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Yatay düzlemde karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.59'da gösterilmiştir. Obje noktalarına ait karesel modelden kestirilen hız vektörleri sınır değeri aşmaktadır. Şekil 5.60'da ise ivme vektörleri gösterilmiştir. Hız ve ivme vektörlerinin bileşkesi gerçekte yükleme yapılan yer değiştirme yönüyle aynıdır (Şekil 5.59 ve 5.60). Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle olmak üzere kestirilen parametrelerin hata elipsleri de mavi renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.60 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir.

Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen ivme vektörü sırasıyla siyah ve kırmızı renkle gösterilmiştir.

On ikinci Senaryo: Yatay düzlem ve düşey doğrultuda büyük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de

06, 08 ve 10 Ağustos 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.51 ve 5.52'de (kritik değer 1.677 olmak üzere her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmektedir.

On ikinci senaryoda yatay düzlem ve düşey doğrultuda büyük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde ve düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir. Bunun yanında EKK yönteminin yayma etkisi nedeniyle gerçekte olmayan BEYK noktalarında da anlamlı hareketler ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.51 On ikinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

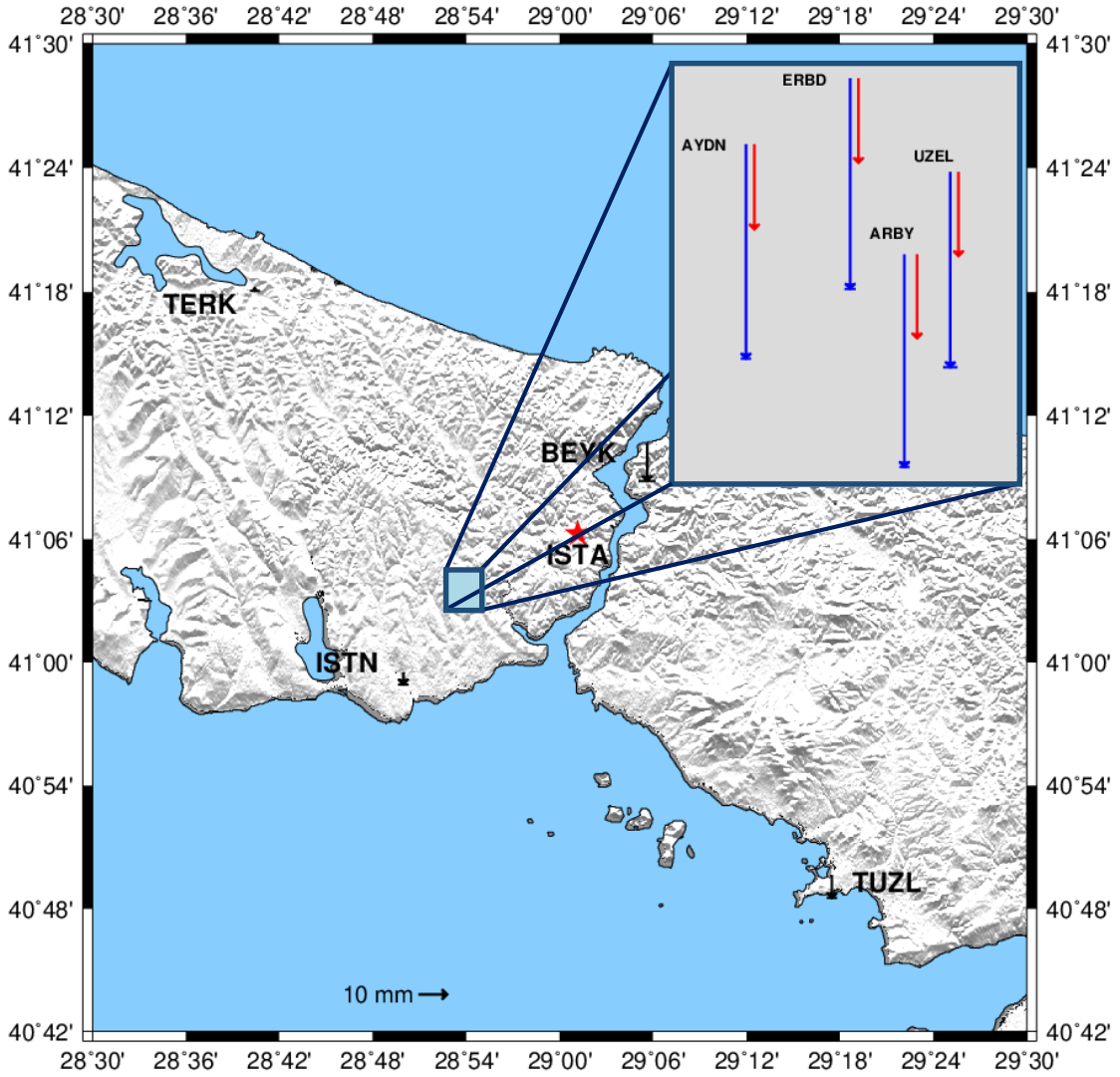
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	19.22	-76.12	4.58	12.37	1.677
AYDN	17.27	-76.73	3.94	12.50	
ERBD	20.20	-75.39	3.78	12.30	
UZEL	19.52	-69.95	3.85	11.33	
BEYK	2.61	-13.21	0.96	1.98	
ISTN	1.04	-3.89	0.16	0.57	
TERK	0.73	-1.05	0.23	0.15	
TUZL	1.74	-7.87	0.66	1.15	

Tablo 5.52'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 5.52 On ikinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük		Test 2	
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu
ARBY	19.22	-76.12	2.67	7.51
AYDN	17.27	-76.73	2.14	7.56
ERBD	20.20	-75.39	2.24	7.38
UZEL	19.52	-69.95	2.25	6.47

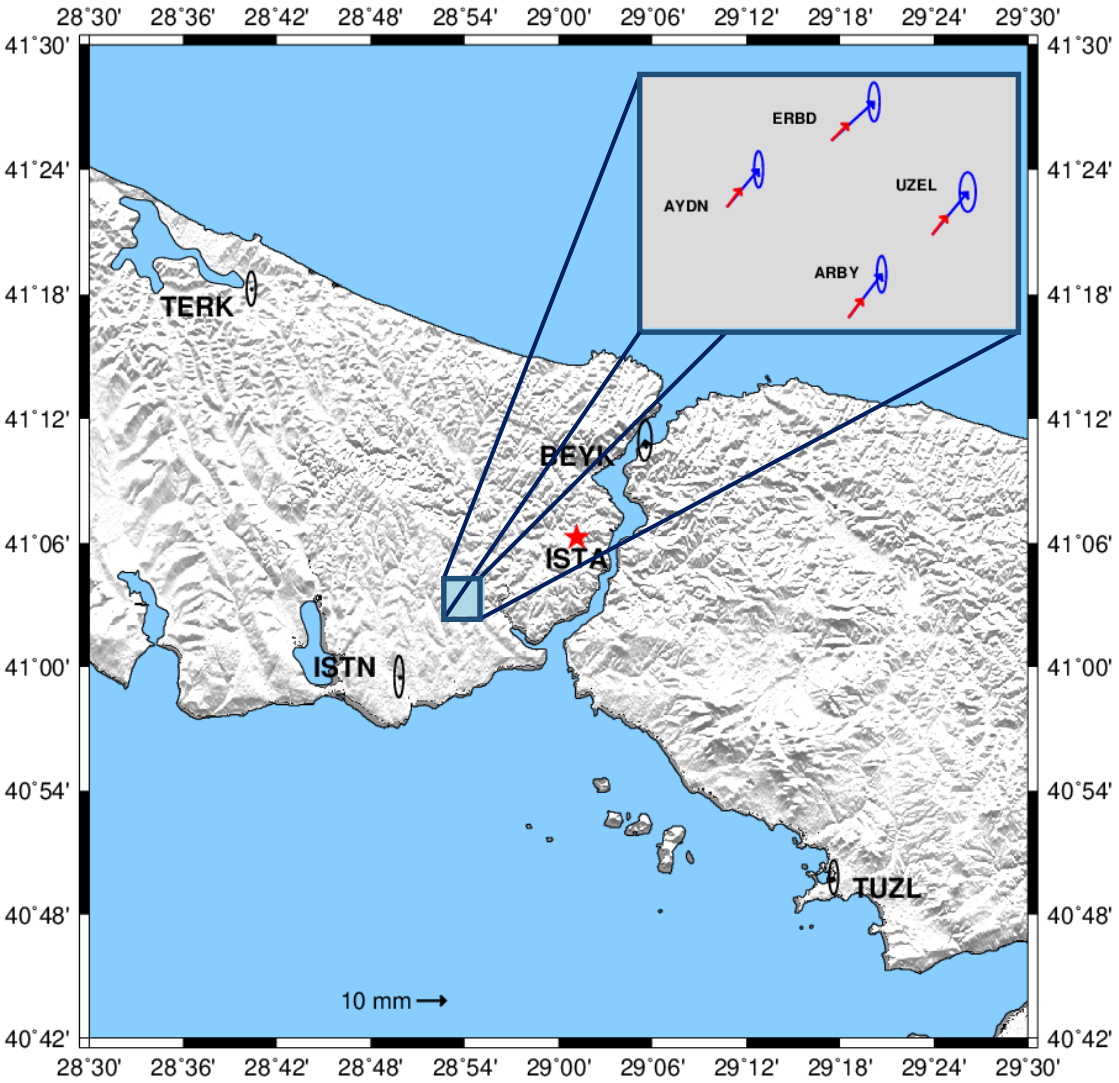
Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerini içermektedir. Bir sonraki adımda on birinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.53 ve 5.54'te (kritik değer 1.711 olmak üzere her iki tablo için de aynı olmak koşuluyla) verilmiştir.



Şekil 5.61 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Düşey doğrultuda doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.61'de gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakın ve standart sapmalarından oldukça büyüktür.

Doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörü sırasıyla mavi ve kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.62 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve doğrusal modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Yatay düzlemde ise doğrusal modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.62'de gösterilmiştir. Obje noktalarına ait doğrusal modelden kestirilen hız vektörleri sınır değeri aşmakta ve hız vektörlerinin yönleri gerçeğe yakınsamıştır.

Doğrusal modelle kestirilen hız vektörü ve onun hata elipsleri mavi renkle gerçekte yüklenen hız vektörü kırmızı renkle gösterilmiştir.

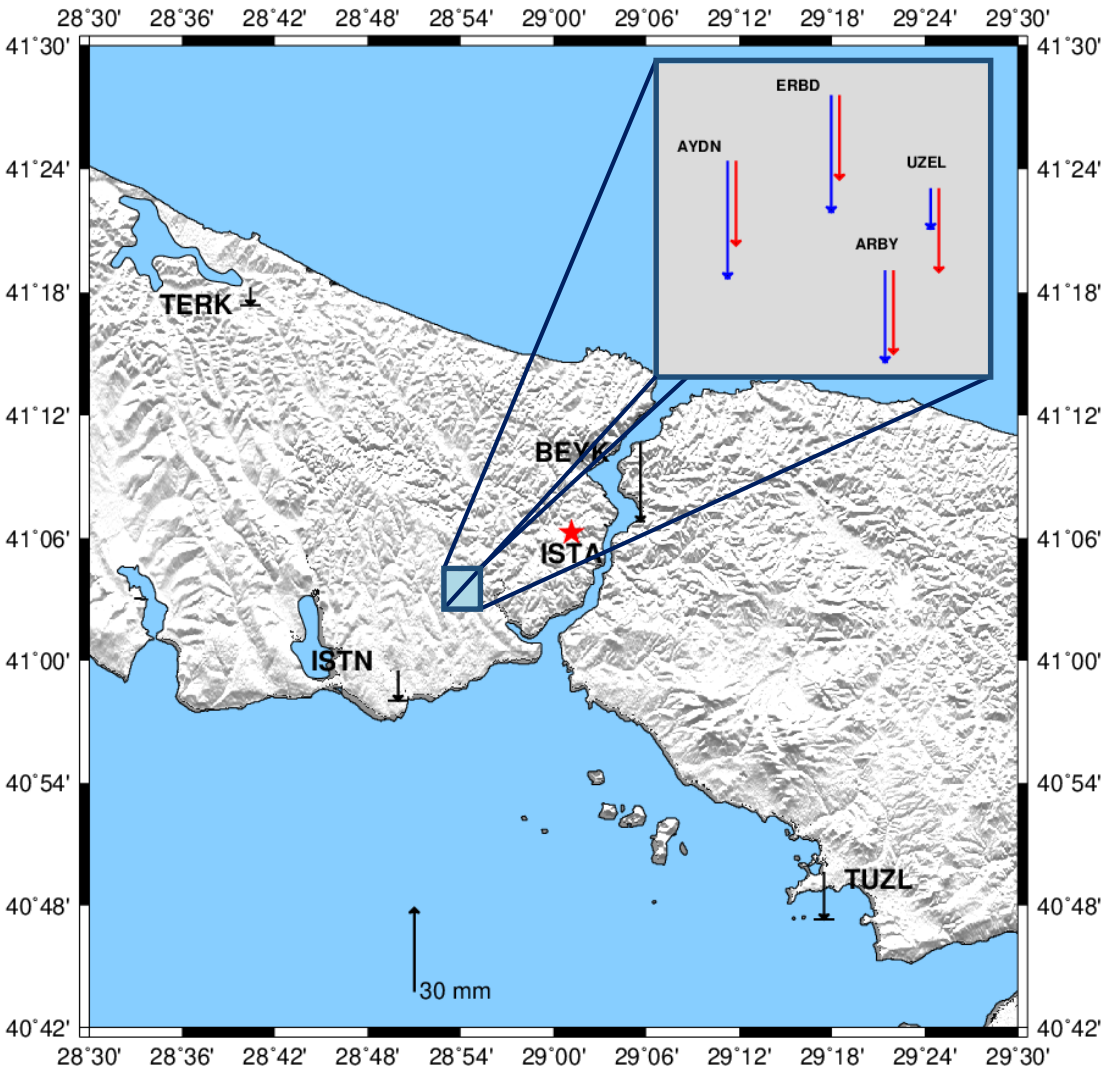
Tablo 5.53 On ikinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	16.23	6.20	-32.79	-33.34	5.08	1.65	2.55	3.52
AYDN	13.42	8.20	-42.05	-26.80	3.80	2.06	3.27	2.83
ERBD	20.71	6.30	-41.83	-25.86	5.66	1.76	3.26	2.73
UZEL	18.72	6.66	-14.29	-42.87	5.17	0.60	1.11	4.52
BEYK	3.64	3.41	-28.07	11.33	0.92	0.35	2.03	1.11
ISTN	13.03	10.03	-10.46	4.89	3.35	1.20	0.74	0.47
TERK	19.90	15.42	-6.15	4.41	2.02	1.70	0.42	0.41
TUZL	28.46	20.57	-16.77	6.66	4.20	1.70	1.18	0.64

Tablo 5.53 ve 5.54 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında UZEL noktası dışında yatay düzlem ve düşey doğrultuda beklenen durumlar hesaplanmıştır. Buna karşın referans noktalarında da anlamlı parametreler hesaplanmıştır. Yatay düzlemde; sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında AYDN noktası dışındaki obje noktalarında farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Düşey düzlemde ise bütün obje noktalarında sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

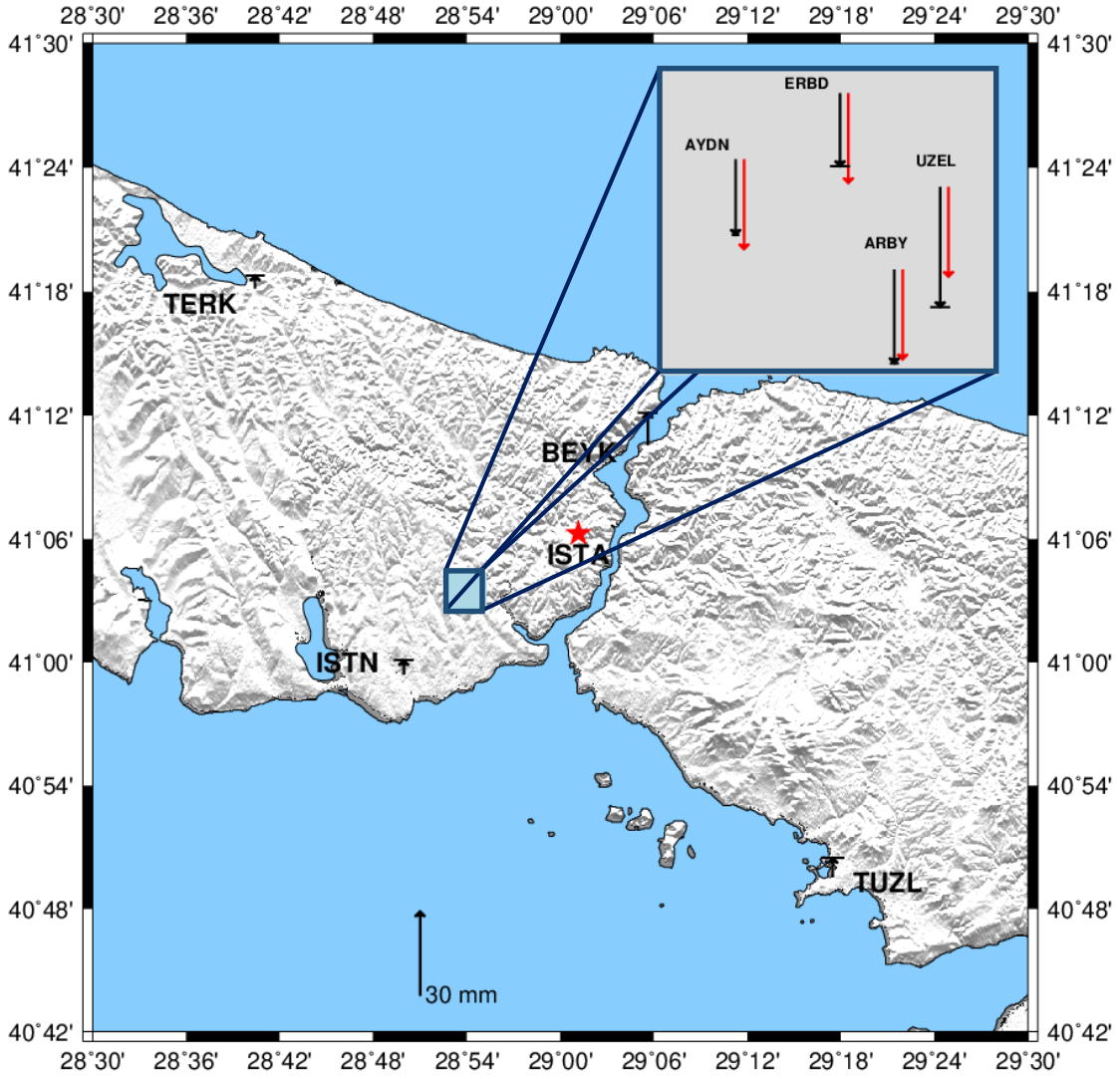
Tablo 5.54 On ikinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 2			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	16.23	6.20	-32.79	-33.34	2.58	0.48	0.22	0.14
AYDN	13.42	8.20	-42.05	-26.80	1.56	0.05	0.91	0.55
ERBD	20.71	6.30	-41.83	-25.86	3.42	0.47	0.91	0.65
UZEL	18.72	6.66	-14.29	-42.87	2.93	0.12	1.22	1.15



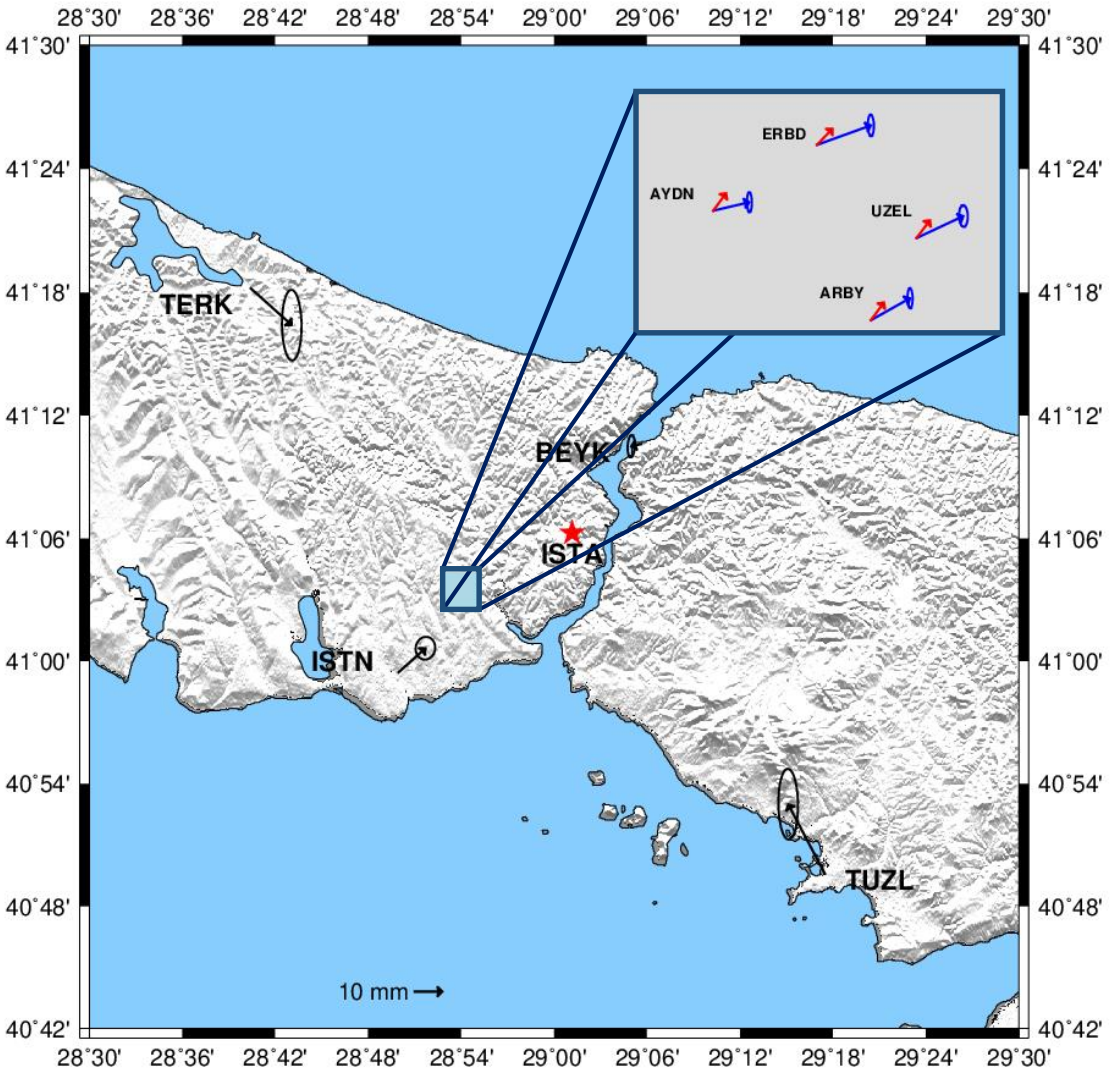
Şekil 5.63 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Düşey doğrultuda karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.57'te gösterilmiştir. Obje noktalarına ait karesel modelden kestirilen hız vektörlerinin yönleri gerçekte yükleme yapılan yönle aynıdır. Karesel modelle kestirilen hız vektörü ve standart sapmaları mavi renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.64 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir.

Düşey doğrultuda karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen ivme vektörleri Şekil 5.64'de gösterilmiştir. Obje noktalarına ait karesel modelden kestirilen ivme vektörleri sınır değeri aşmakta ve vektörlerin yönleri gerçeğe yakınsamıştır. Hız vektörü UZEL noktasında ters işaretli çıkmasının sonucu olarak ivme büyüklüğü diğer obje noktalarına göre daha büyük çıkmıştır. Aynı yorum ERBD noktasında hız parametresi ters işaretli çıkmasa da gözlenmektedir. Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen ivme vektörü sırasıyla siyah ve kırmızı renkle gösterilmiştir.

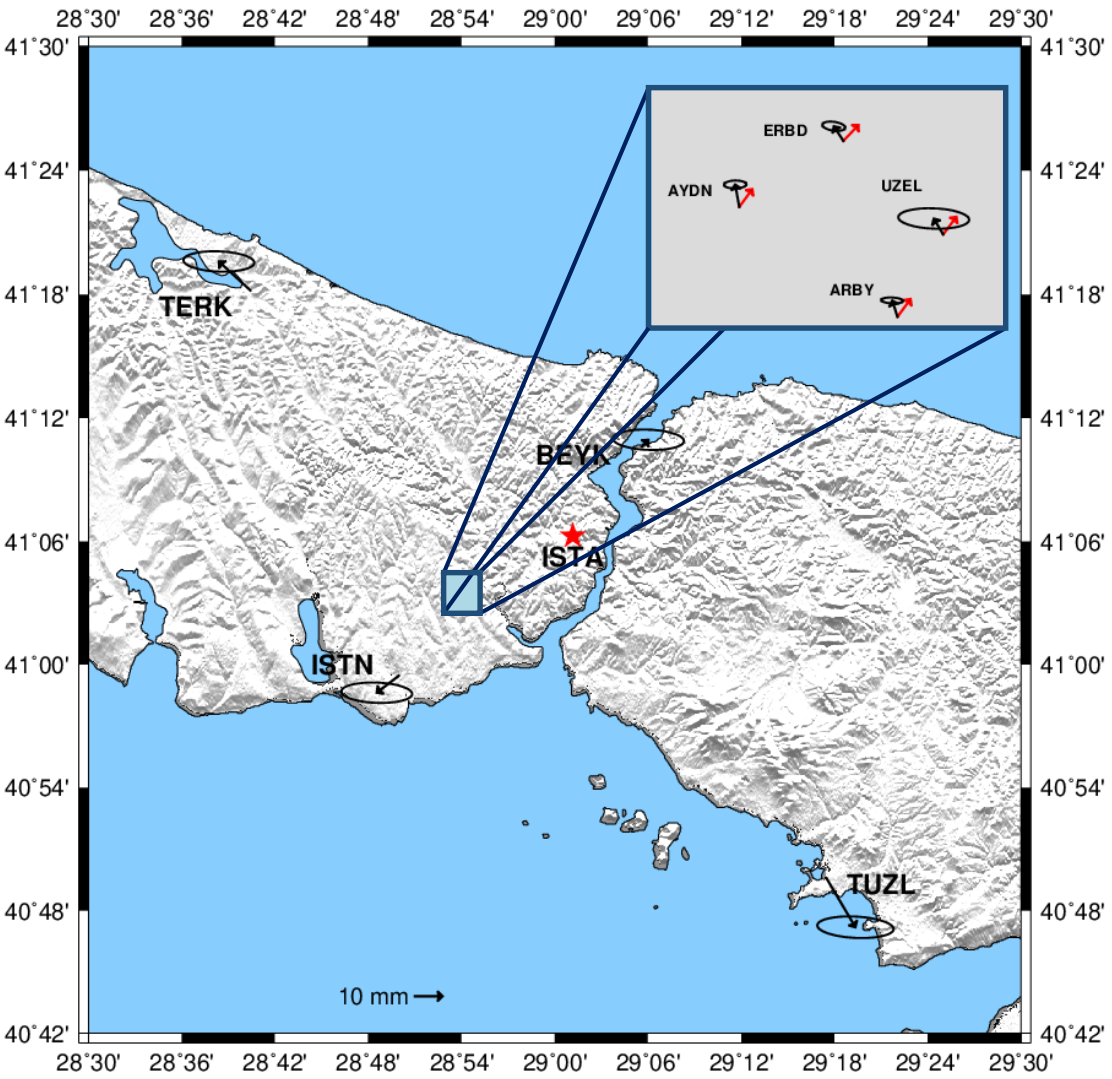


Şekil 5.65 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen hız vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve mavi renkle gösterilmektedir.

Yatay düzlemde karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen hız vektörleri Şekil 5.65'de gösterilmiştir. Obje noktalarına ait karesel modelden kestirilen hız vektörleri sınır değeri aşmaktadır. Karesel modelle kestirilen hız vektörü ve hata elipsleri mavi renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Şekil 5.66'da ise ivme vektörleri gösterilmiştir. Hız ve ivme vektörlerinin bileşkesi on birinci senaryoda olduğu gibi gerçekte yükleme yapılan yer değiştirme yönüyle aynıdır (Şekil 5.65 ve 5.66). Ayrıca on birinci senaryoya nazaran elde edilen hız ve

ivme vektörlerinin yönleri on ikinci senaryoda gerçekte yükleme yapılan yer değiştirme yönünden daha uzaklaşmaktadır.

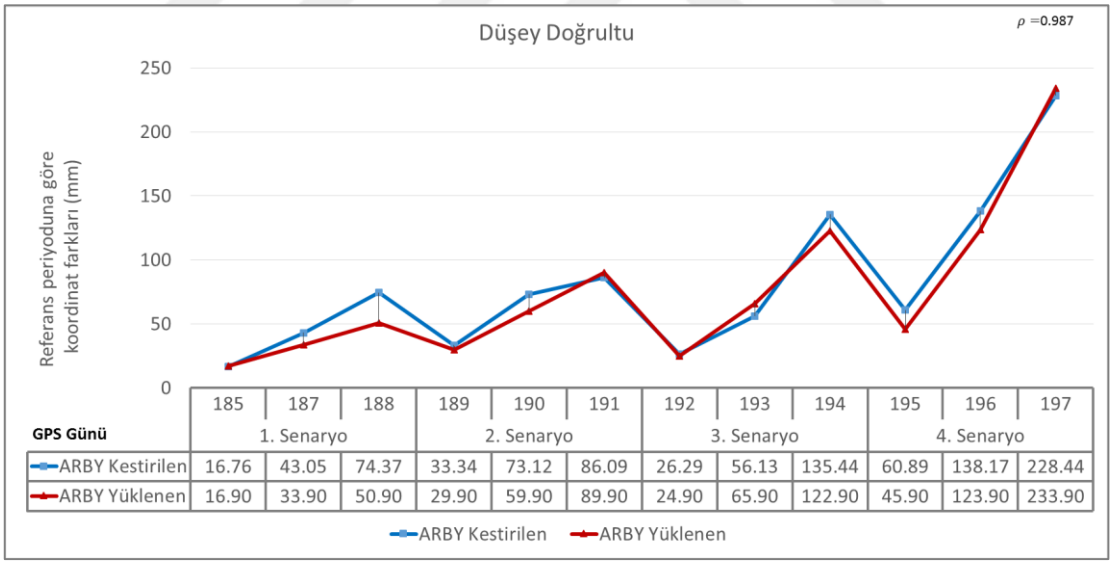


Şekil 5.66 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ve karesel modelle kestirilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir.

Karesel modelle kestirilen ve gerçekte yüklenen ivme vektörü sırasıyla siyah ve kırmızı renkle gösterilmiştir.

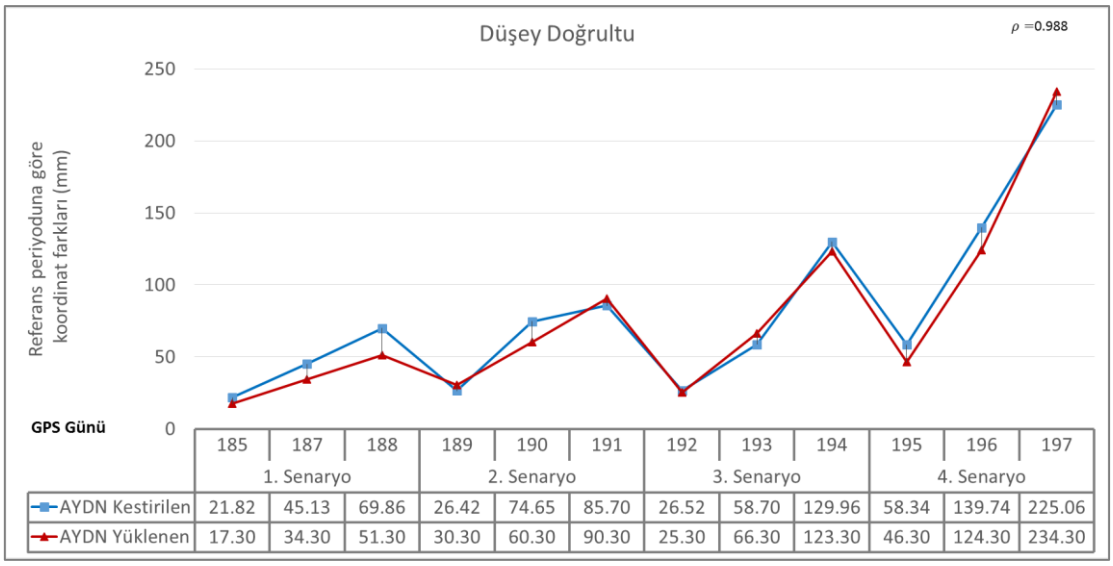
5.4.2 İkinci Yaklaşıma (Tüm Referans noktalarına dayalı) Göre Sonuçlar

Bu yöntemde; her bir senaryodaki obje noktalarının koordinatları, tüm referans noktaları datum tanımında yer alacak şekilde hesaplanmıştır. Kinematik deformasyon analizine geçilmeden önce referans noktalarında global eşdeğerlilik testi gerçekleştirilmiş ve analiz sonucunda bütün senaryolar için referans noktalarında herhangi anlamlı deformasyon tespit edilmemiştir. Bu durum belirlendikten sonra sadece obje noktalarını içerecek şekilde kinematik deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.3, 5.4 ve 5.5'te her bir obje noktası için noktalara yüklenmesi planlanan yer değiştirme büyüklükleri verilmişti. Bernese v5.2 analizi sonucunda hesaplanan yer değiştirme büyüklükleri ve sisteme yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Şekil 5.67 ve 5.82 arasında gösterilmektedir. ρ değeri iki veri kümesi arasındaki uyumu gösteren korelasyon değeridir. Değerler incelendiğinde yüklenen ve kestirilen büyüklüklerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

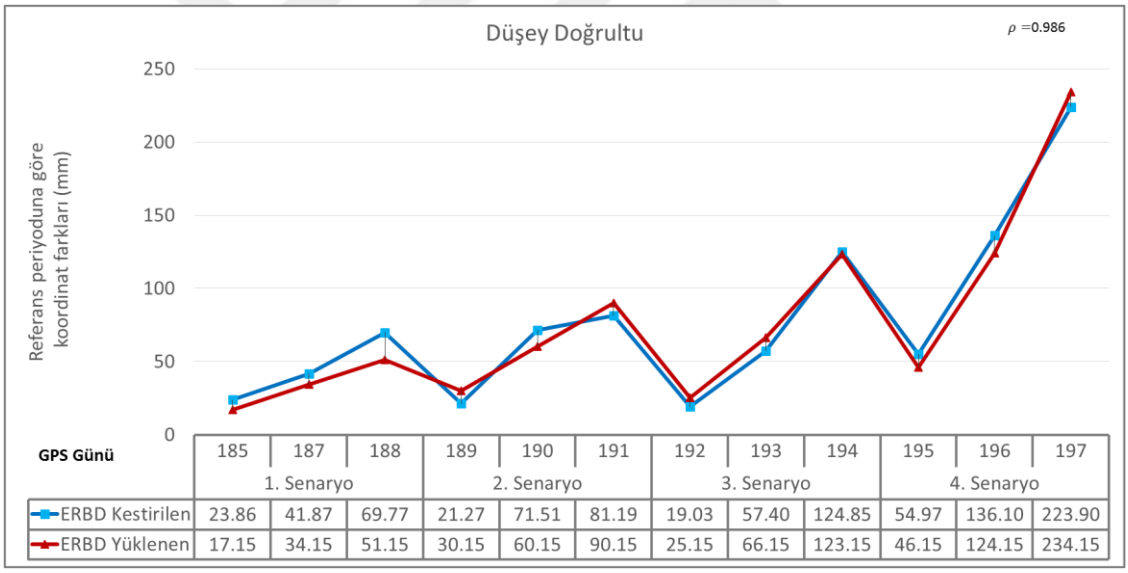


GPS Günü	185	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197
	1. Senaryo			2. Senaryo			3. Senaryo			4. Senaryo		
ARBY Kestirilen	16.76	43.05	74.37	33.34	73.12	86.09	26.29	56.13	135.44	60.89	138.17	228.44
ARBY Yüklenen	16.90	33.90	50.90	29.90	59.90	89.90	24.90	65.90	122.90	45.90	123.90	233.90

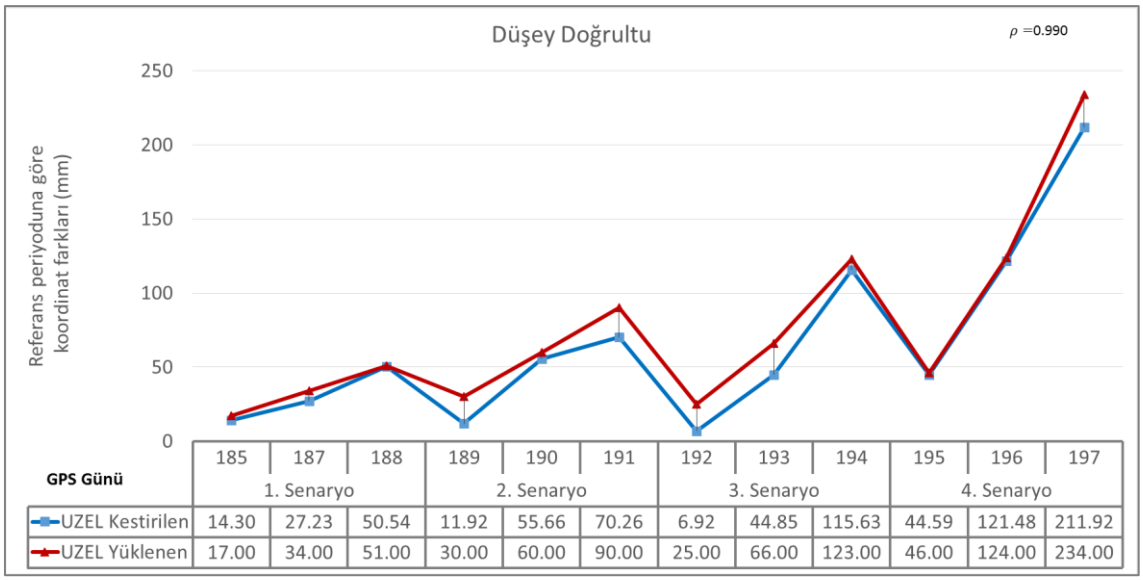
Şekil 5.67 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için ARBY noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



Şekil 5.68 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için AYDN noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri

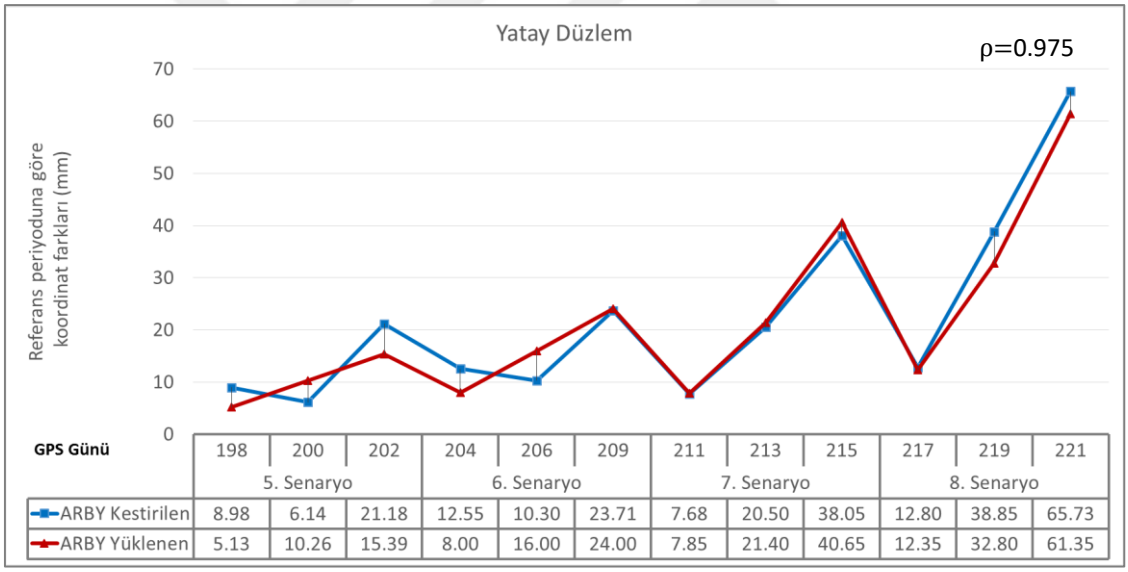


Şekil 5.69 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için ERBD noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



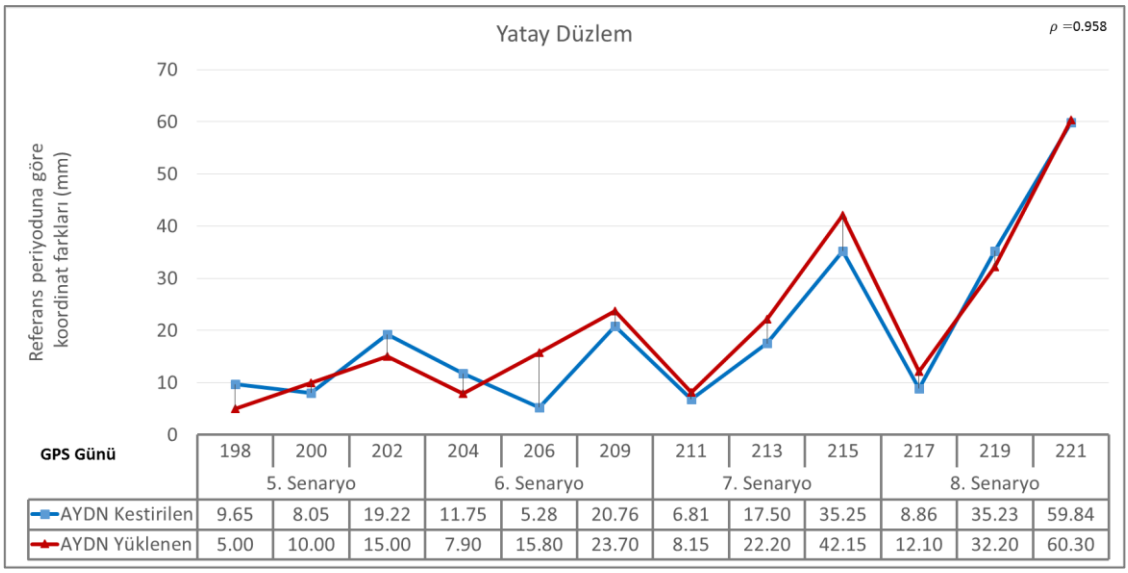
GPS Günü	185	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197
	1. Senaryo			2. Senaryo			3. Senaryo			4. Senaryo		
UZEL Kestirilen	14.30	27.23	50.54	11.92	55.66	70.26	6.92	44.85	115.63	44.59	121.48	211.92
UZEL Yüklenen	17.00	34.00	51.00	30.00	60.00	90.00	25.00	66.00	123.00	46.00	124.00	234.00

Şekil 5.70 Senaryo 1, 2, 3 ve 4 için UZEL noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



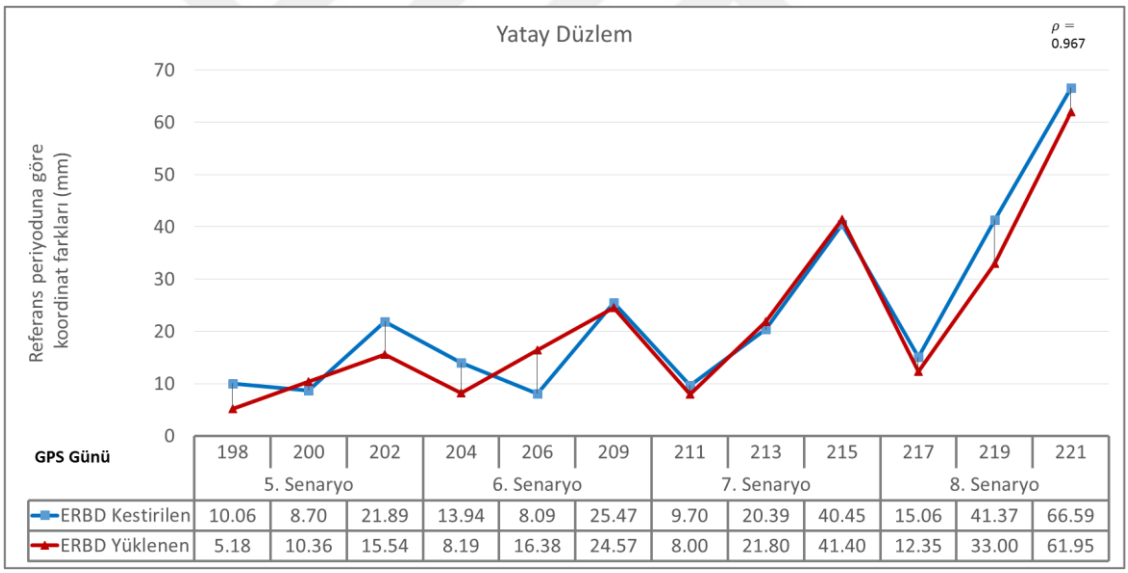
GPS Günü	198	200	202	204	206	209	211	213	215	217	219	221
	5. Senaryo			6. Senaryo			7. Senaryo			8. Senaryo		
ARBY Kestirilen	8.98	6.14	21.18	12.55	10.30	23.71	7.68	20.50	38.05	12.80	38.85	65.73
ARBY Yüklenen	5.13	10.26	15.39	8.00	16.00	24.00	7.85	21.40	40.65	12.35	32.80	61.35

Şekil 5.71 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için ARBY noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



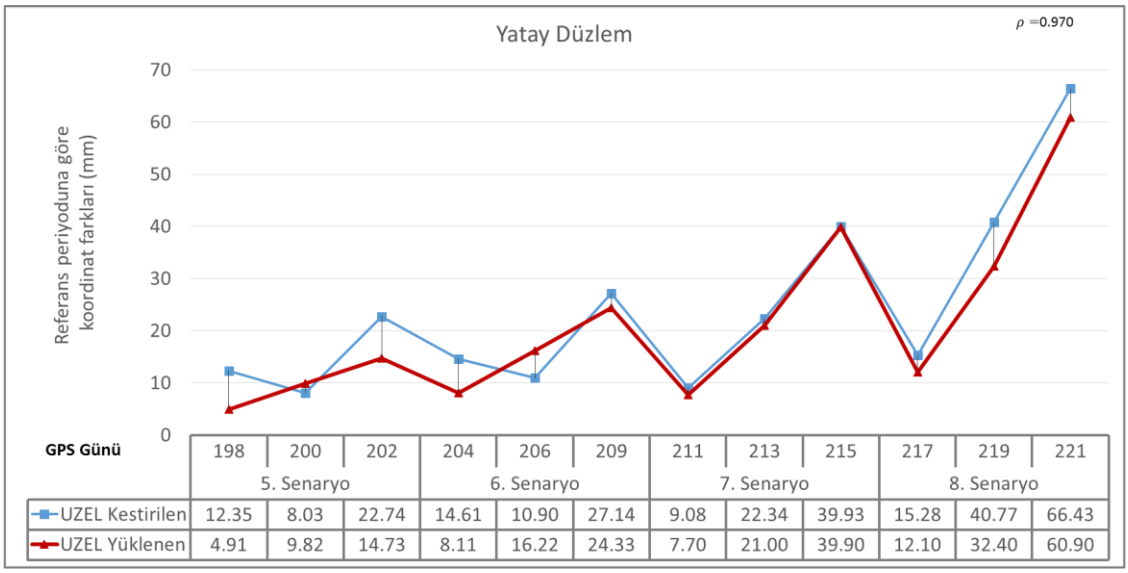
GPS Günü	198	200	202	204	206	209	211	213	215	217	219	221
	5. Senaryo			6. Senaryo			7. Senaryo			8. Senaryo		
AYDN Kestirilen	9.65	8.05	19.22	11.75	5.28	20.76	6.81	17.50	35.25	8.86	35.23	59.84
AYDN Yüklenen	5.00	10.00	15.00	7.90	15.80	23.70	8.15	22.20	42.15	12.10	32.20	60.30

Şekil 5.72 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için AYDN noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



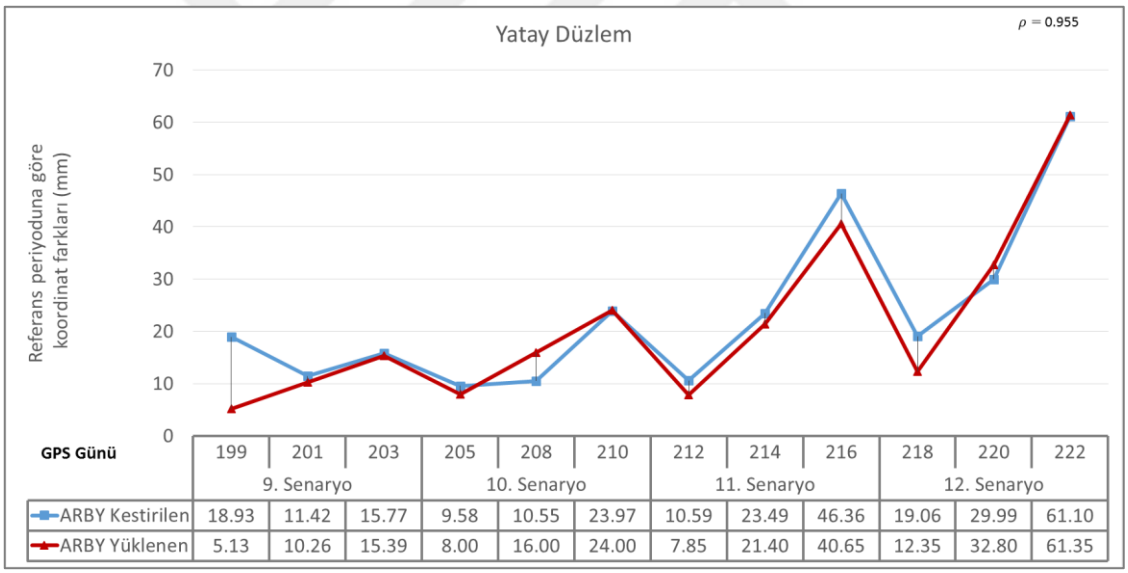
GPS Günü	198	200	202	204	206	209	211	213	215	217	219	221
	5. Senaryo			6. Senaryo			7. Senaryo			8. Senaryo		
ERBD Kestirilen	10.06	8.70	21.89	13.94	8.09	25.47	9.70	20.39	40.45	15.06	41.37	66.59
ERBD Yüklenen	5.18	10.36	15.54	8.19	16.38	24.57	8.00	21.80	41.40	12.35	33.00	61.95

Şekil 5.73 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için ERBD noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



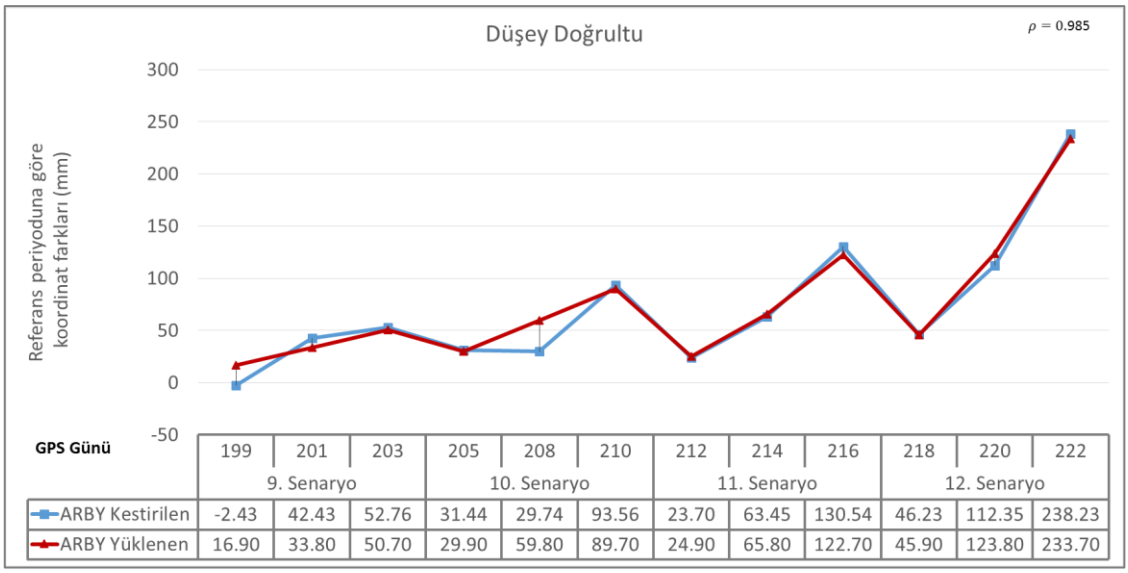
GPS Günü	198	200	202	204	206	209	211	213	215	217	219	221
	5. Senaryo			6. Senaryo			7. Senaryo			8. Senaryo		
UZEL Kestirilen	12.35	8.03	22.74	14.61	10.90	27.14	9.08	22.34	39.93	15.28	40.77	66.43
UZEL Yüklenen	4.91	9.82	14.73	8.11	16.22	24.33	7.70	21.00	39.90	12.10	32.40	60.90

Şekil 5.74 Senaryo 5, 6, 7 ve 8 için UZEL noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



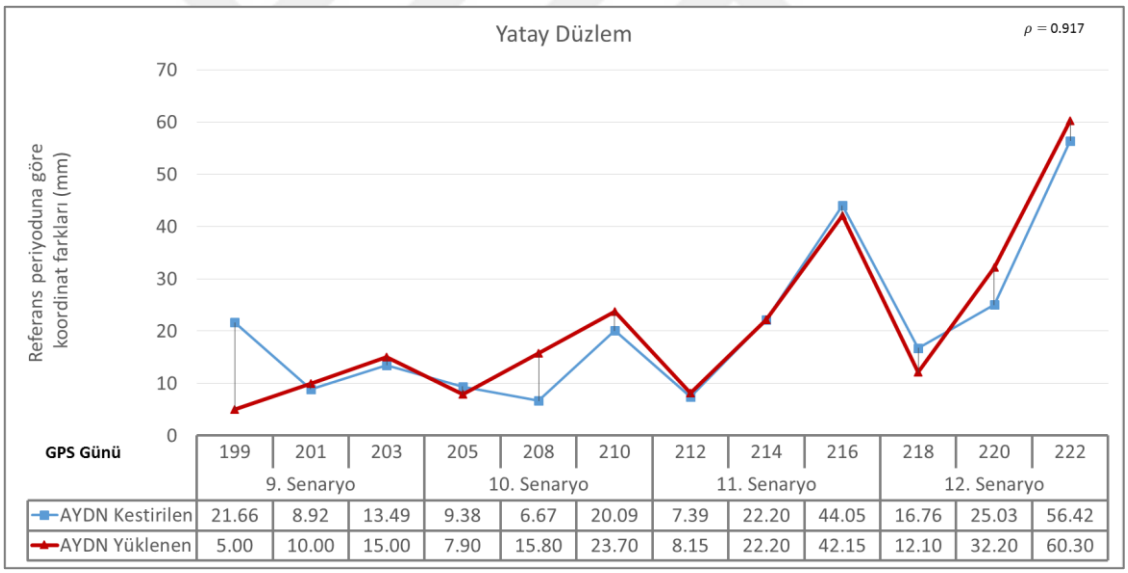
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
ARBY Kestirilen	18.93	11.42	15.77	9.58	10.55	23.97	10.59	23.49	46.36	19.06	29.99	61.10
ARBY Yüklenen	5.13	10.26	15.39	8.00	16.00	24.00	7.85	21.40	40.65	12.35	32.80	61.35

Şekil 5.75 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ARBY noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



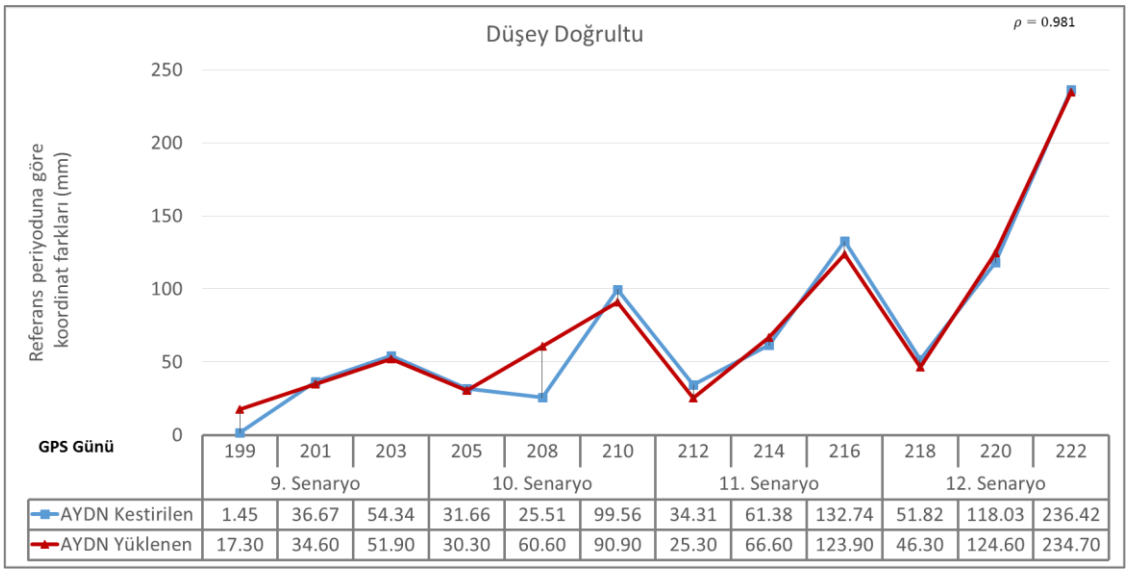
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
ARBY Kestirilen	-2.43	42.43	52.76	31.44	29.74	93.56	23.70	63.45	130.54	46.23	112.35	238.23
ARBY Yüklenen	16.90	33.80	50.70	29.90	59.80	89.70	24.90	65.80	122.70	45.90	123.80	233.70

Şekil 5.76 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ARBY noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



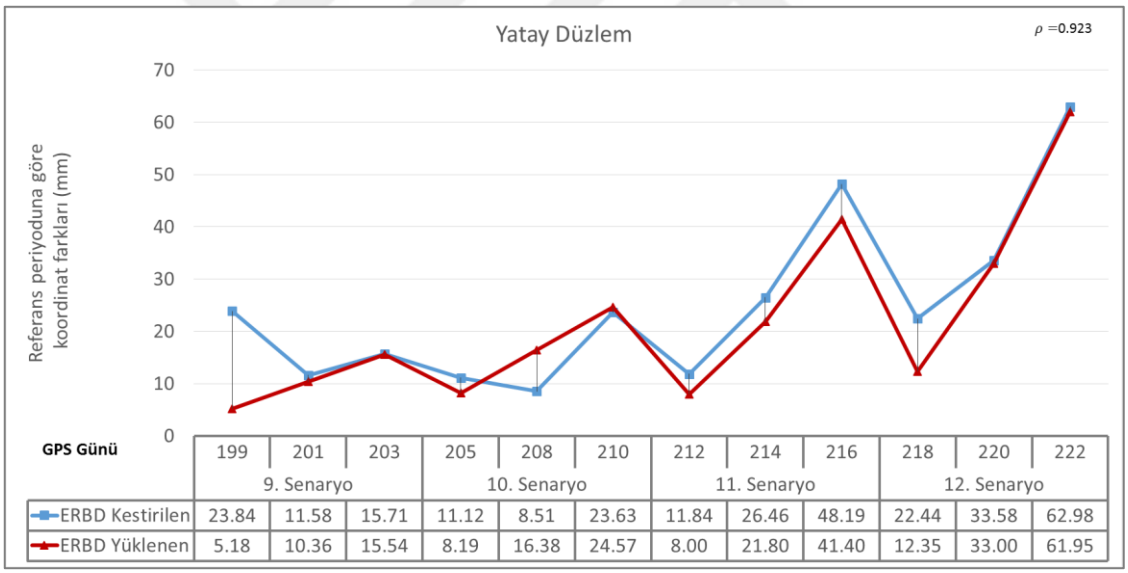
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
AYDN Kestirilen	21.66	8.92	13.49	9.38	6.67	20.09	7.39	22.20	44.05	16.76	25.03	56.42
AYDN Yüklenen	5.00	10.00	15.00	7.90	15.80	23.70	8.15	22.20	42.15	12.10	32.20	60.30

Şekil 5.77 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için AYDN noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



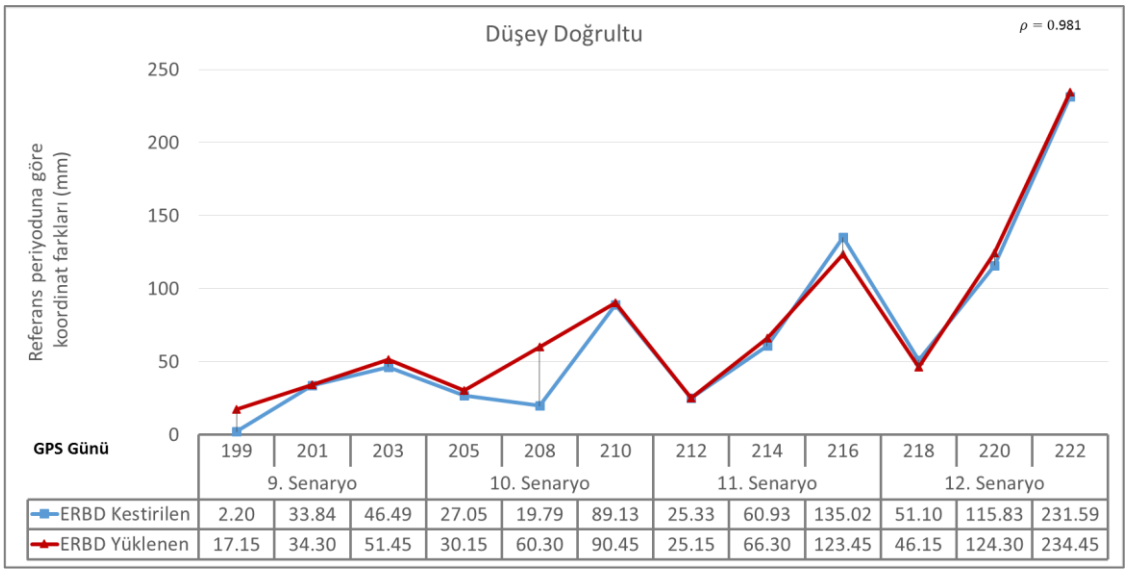
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
AYDN Kestirilen	1.45	36.67	54.34	31.66	25.51	99.56	34.31	61.38	132.74	51.82	118.03	236.42
AYDN Yüklenen	17.30	34.60	51.90	30.30	60.60	90.90	25.30	66.60	123.90	46.30	124.60	234.70

Şekil 5.78 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için AYDN noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



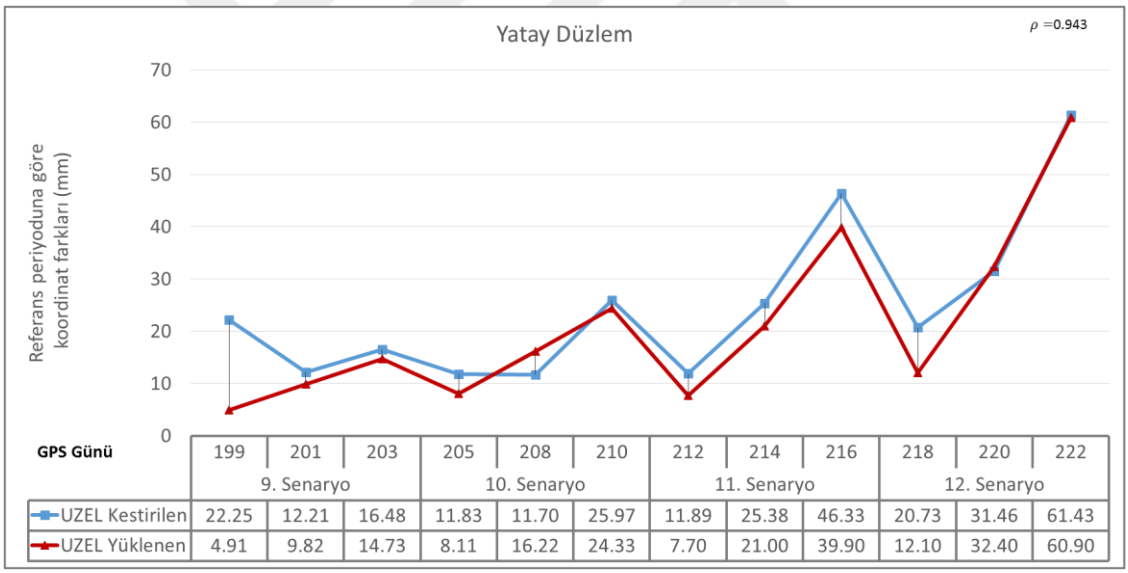
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
ERBD Kestirilen	23.84	11.58	15.71	11.12	8.51	23.63	11.84	26.46	48.19	22.44	33.58	62.98
ERBD Yüklenen	5.18	10.36	15.54	8.19	16.38	24.57	8.00	21.80	41.40	12.35	33.00	61.95

Şekil 5.79 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ERBD noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



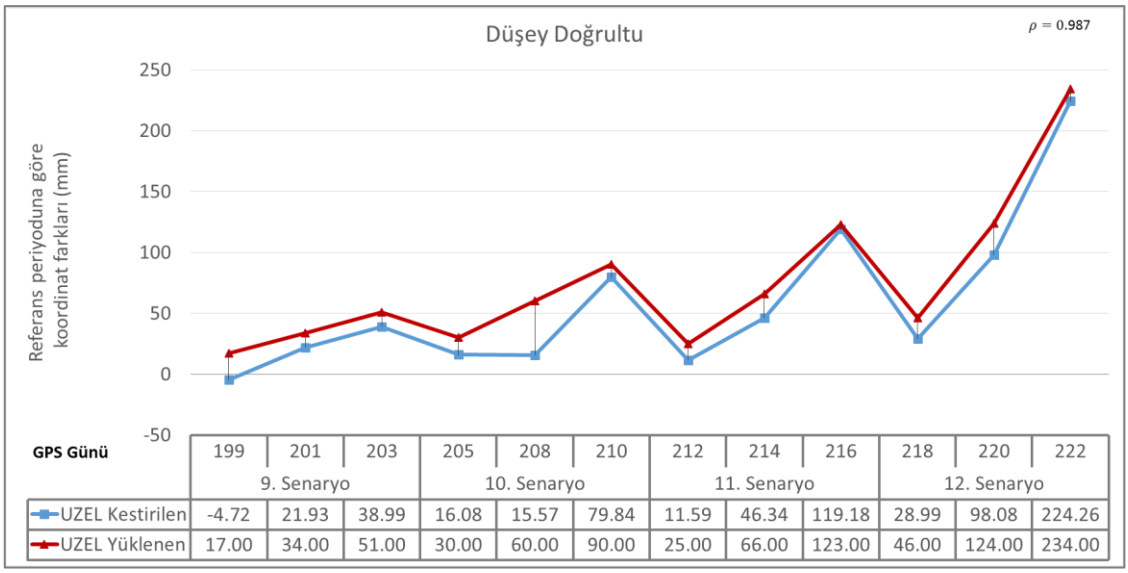
GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
ERBD Kestirilen	2.20	33.84	46.49	27.05	19.79	89.13	25.33	60.93	135.02	51.10	115.83	231.59
ERBD Yüklenen	17.15	34.30	51.45	30.15	60.30	90.45	25.15	66.30	123.45	46.15	124.30	234.45

Şekil 5.80 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için ERBD noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



GPS Günü	199	201	203	205	208	210	212	214	216	218	220	222
	9. Senaryo			10. Senaryo			11. Senaryo			12. Senaryo		
UZEL Kestirilen	22.25	12.21	16.48	11.83	11.70	25.97	11.89	25.38	46.33	20.73	31.46	61.43
UZEL Yüklenen	4.91	9.82	14.73	8.11	16.22	24.33	7.70	21.00	39.90	12.10	32.40	60.90

Şekil 5.81 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için UZEL noktası yatay düzlemde kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri



Şekil 5.82 Senaryo 9, 10, 11 ve 12 için UZEL noktası düşey doğrultuda kestirilen yer değiştirme büyüklükleri ve yüklenen yer değiştirme büyüklükleri

Birinci Senaryo: Sadece düşey doğrultuda, küçük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.3' de verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 4, 6 ve 7 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.55 ve 5.56'da verilmektedir.

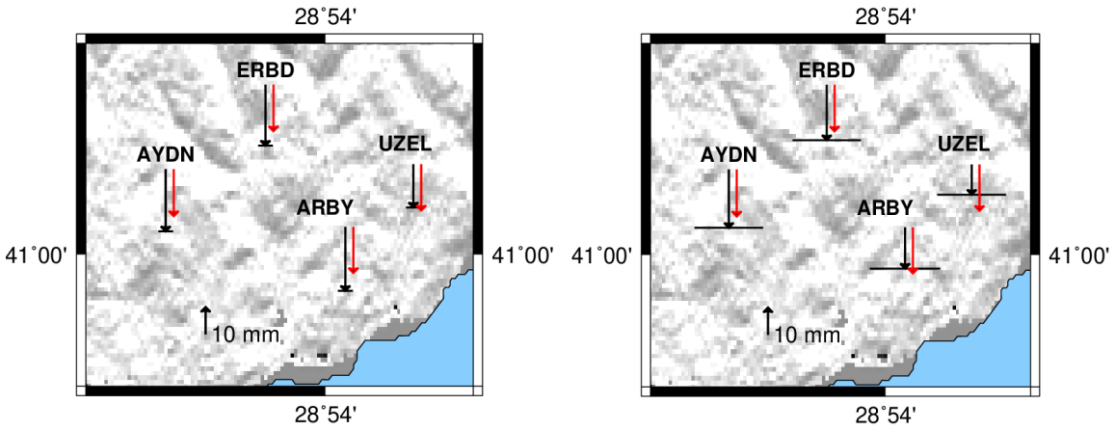
Tablo 5.55 Birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	0.52	-23.59	0.72	8.38	1.711
AYDN	0.70	-23.05	1.13	8.33	
ERBD	1.36	-22.57	2.13	8.17	
UZEL	2.04	-15.86	3.31	5.77	

Tablo 5.56 Birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
ARBY	-23.59	2.38	1.711
AYDN	-23.05	2.08	
ERBD	-22.57	1.96	
UZEL	-15.86	0.41	

Tablo 5.55 ve 5.56 incelendiğinde tüm obje noktalarında düşey düzlemde hız bileşeninde simülasyonda öngörüldüğü şekilde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Buna karşın ERBD ve UZEL noktalarında yatay düzlemde anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Sisteme yüklenen değerler ile analiz sonucunda elde edilen değerler kıyaslandığında aradaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 5.83 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Doğrusal modelde tüm obje noktalarında hız bileşeni anlamlı çıktığı için bir sonraki adımda karesel model analizleri gerçekleştirilmelidir. Karesel modele ilişkin sonuçlar Tablo 5.57 ve 5.58' de (kritik değer 1.782 iki tablo için de aynı olmak üzere) verilmiştir.

Tablo 5.57 Birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	1.20	1.33	-15.05	-6.50	0.34	0.51	1.11	0.66
AYDN	2.78	2.28	-21.57	-1.13	0.78	0.87	2.31	0.12
ERBD	0.56	0.72	-20.45	-1.62	0.19	0.30	2.19	0.17
UZEL	1.74	1.65	-10.99	-3.72	0.50	0.67	0.83	0.38

Şekil 5.83'te doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve standart sapmaları siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.58 Birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	-15.05	-6.50	0.14	0.66	1.782
AYDN	-21.57	-1.13	0.32	0.12	
ERBD	-20.45	-1.62	0.25	0.17	
UZEL	-10.99	-3.72	0.45	0.38	

Karesel modele ilişkin sonuçlar incelendiğinde küçük genlikli düşey doğrultuda yer değiştirme yüklendiği durumda obje noktalarından AYDN ve ERBD noktalarında anlamlı hız parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca birinci senaryoda karesel modelde sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmıştır.

İkinci Senaryo: Sadece düşey doğrultuda, büyük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de

8, 9 ve 10 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.59 ve 5.60'da verilmektedir.

Tablo 5.59 İkinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

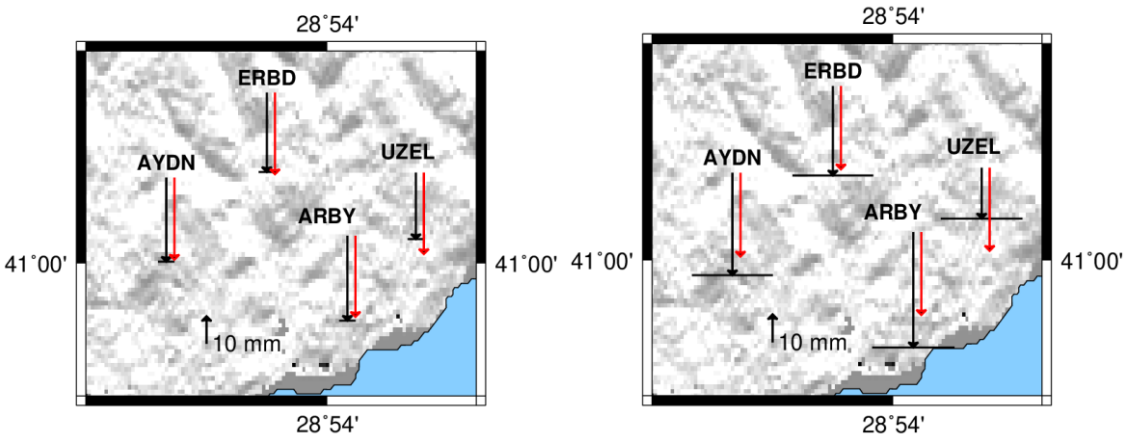
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	1.70	-31.28	2.02	10.02	1.711
AYDN	1.63	-31.05	2.09	10.07	
ERBD	1.90	-29.35	2.53	9.54	
UZEL	2.89	-24.45	3.69	7.86	

İkinci senaryoda yalnızca düşey doğrultuda büyük genlikli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da hem yatay düzlemde hem de düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.60 İkinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	-31.28	0.44	1.711
AYDN	-31.05	0.24	
ERBD	-29.35	0.26	
UZEL	-24.45	1.79	

Tablo 5.60'da sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların UZEL noktası hariç istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır. İkinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.61 ve 5.62'de (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir. Karesel modele ilişkin sonuçlar incelendiğinde düşey doğrultuda UZEL noktası hariç diğer noktalarda anlamlı hız parametreleri ve anlamsız ivme parametreleri hesaplanmıştır.



(a) (b)

Şekil 5.84 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

UZEL noktasında düşey doğrultuda sisteme yüklenen yer değiştirme büyüklüğünden daha küçük bir değer analiz sonucunda hesaplanmıştır. Yatay düzlemde ise obje noktalarında anlamlı bir parametre tespit edilmemiştir.

Tablo 5.61 İkinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	5.52	3.21	-41.76	8.02	1.35	1.08	2.71	0.71
AYDN	2.27	1.05	-37.13	4.68	0.55	0.36	2.44	0.42
ERBD	1.43	0.41	-32.40	2.41	0.39	0.15	2.14	0.22
UZEL	4.03	0.92	-18.24	-4.50	1.04	0.31	1.19	0.40

Şekil 5.84'te doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve standart sapmaları siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.62 İkinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	-41.76	8.02	0.77	0.71	1.782
AYDN	-37.13	4.68	0.45	0.42	
ERBD	-32.40	2.41	0.15	0.22	
UZEL	-18.24	-4.50	0.77	0.40	

Tablo 5.62'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır.

Üçüncü Senaryo: Sadece düşey doğrultuda, küçük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 11, 12 ve 13 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.63 ve 5.64'te verilmektedir.

Tablo 5.63 Üçüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	1.86	-39.35	1.89	9.79	1.711
AYDN	1.70	-38.58	1.82	9.74	
ERBD	2.29	-37.02	2.45	9.36	
UZEL	3.24	-32.65	3.40	8.26	

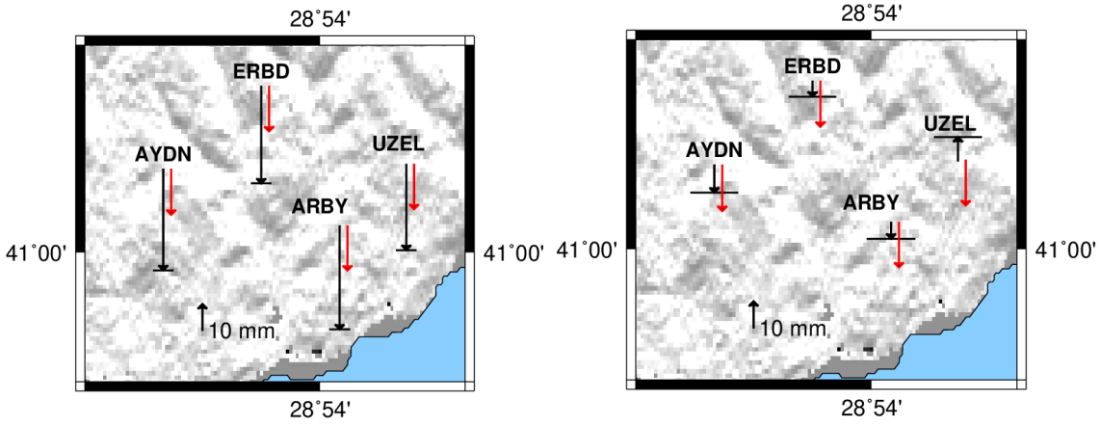
Üçüncü senaryoda düşey doğrultuda küçük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde ve düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir. Ayrıca, Tablo 5.64'te sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya

çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerini içermektedir. Bir sonraki adımda üçüncü senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.65 ve 5.66'da (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir.

Tablo 5.64 Üçüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
ARBY	-39.35	5.59	1.711
AYDN	-38.58	5.37	
ERBD	-37.02	5.03	
UZEL	-32.65	3.96	

Tablo 5.65 ve 5.66 incelendiğinde sistemde sadece düşey doğrultuda hareket olmasına karşın, obje noktalarında yatay düzlemde anlamlı hız parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca, düşey doğrultuda anlamlı çıkması beklenen hız parametreleri anlamsız olarak hesaplanmıştır.



(a) (b)

Şekil 5.85 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Obje noktalarında hesaplanan parametre değerleri ile gerçek değerler karşılaştırıldığında düşey doğrultuda sisteme yüklenen gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak uyuşumsuz çıkmıştır. Şekil 5.85'te doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve standart sapmaları siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

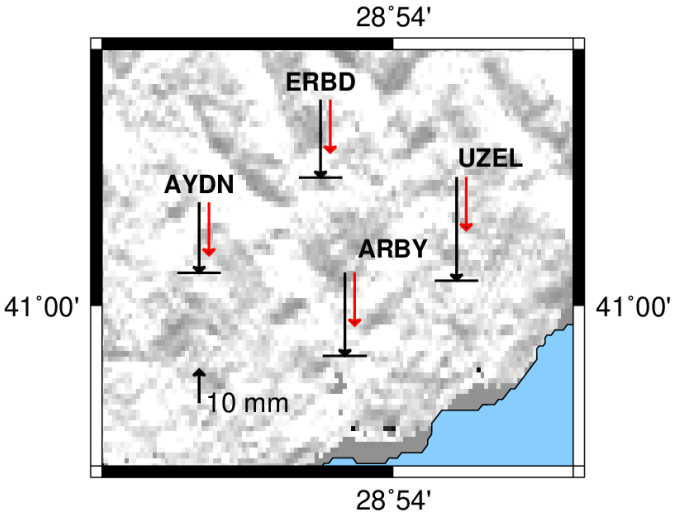
Tablo 5.65 Üçüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	5.40	2.79	-6.00	-25.37	2.29	1.57	0.64	3.71
AYDN	5.27	2.87	-10.31	-21.47	2.41	1.74	1.12	3.18
ERBD	6.69	3.64	-5.77	-23.75	3.03	2.17	0.63	3.53
UZEL	8.83	4.47	8.92	-31.60	3.84	2.56	0.97	4.69

Şekil 5.86'da karesel modelle kestirilen ivme vektörleri ve onların standart sapmaları siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.66 Üçüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	-6.00	-25.37	1.17	1.37	1.782
AYDN	-10.31	-21.47	0.76	0.81	
ERBD	-5.77	-23.75	1.24	1.15	
UZEL	8.92	-31.60	0.88	2.31	



Şekil 5.86 Gerçekte yüklenen ve karesel modelden elde edilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir.

Dördüncü Senaryo: Sadece düşey doğrultuda, büyük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 14, 15 ve 16 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.67 ve 5.68'de verilmektedir.

Tablo 5.67 Dördüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

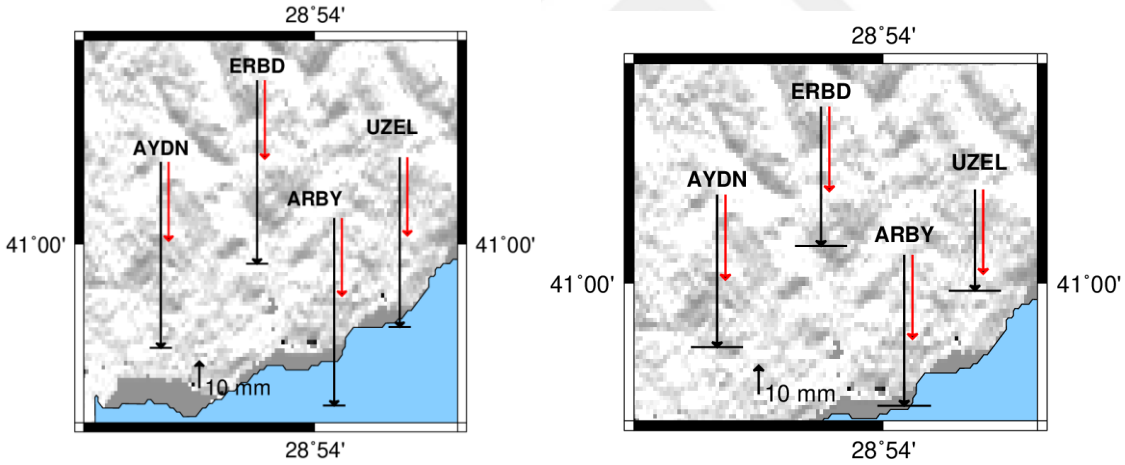
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	3.65	-72.48	3.41	16.59	1.711
AYDN	3.44	-71.87	3.31	16.68	
ERBD	3.71	-70.90	3.59	16.44	
UZEL	4.96	-65.54	4.71	15.18	

Dördüncü senaryoda düşey doğrultuda büyük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da hem düşey doğrultuda hem de yatay düzlemde anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.68 Dördüncü senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
ARBY	-72.48	9.74	1.711
AYDN	-71.87	9.65	
ERBD	-70.90	9.45	
UZEL	-65.54	8.23	

Tablo 5.68'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerini içermektedir. Bir sonraki adımda dördüncü senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.69 ve 5.70'de (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir.



Şekil 5.87 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Şekil 5.87'de doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve standart sapmaları siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.69 Dördüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

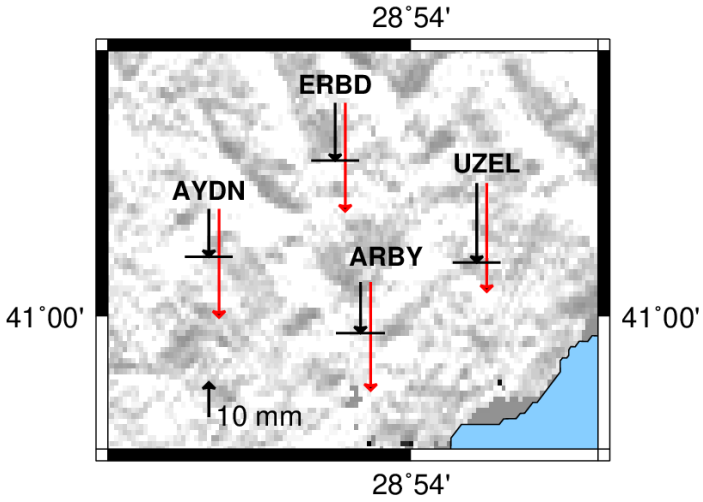
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	6.84	8.13	-53.94	-14.85	2.70	4.34	5.58	2.05
AYDN	10.76	10.12	-54.65	-13.90	4.19	5.33	5.79	1.95
ERBD	9.51	8.79	-49.86	-16.85	3.68	4.61	5.28	2.36
UZEL	4.91	6.51	-36.07	-23.33	1.89	3.45	3.81	3.27

Tablo 5.70 Dördüncü senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Düşey Doğrultu				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	-53.94	-14.85	2.49	2.36	1.782
AYDN	-54.65	-13.90	2.58	2.54	
ERBD	-49.86	-16.85	2.09	2.13	
UZEL	-36.07	-23.33	0.64	1.22	

Tablo 5.69 ve 5.70 incelendiğinde sistemde sadece düşey doğrultuda hareket olmasına karşın, obje noktalarında yatay düzlemde anlamlı hız ve ivme parametreleri belirlenmiştir. Obje noktalarında hesaplanan parametre değerleri ile gerçek değerler karşılaştırıldığında hesaplanan parametrelerin gerçek değerlerinden daha büyük ortaya çıktığı görülmektedir.

Şekil 5.88'da karesel modelle kestirilen ivme vektörleri ve standart sapmaları siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.88 Gerçekte yüklenen ve karesel modelden elde edilen ivme vektörü büyüklükleri (sırasıyla kırmızı ve siyah renkte) gösterilmektedir.

Beşinci Senaryo: Sadece yatay düzlemde, küçük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.4'te verilmiştir. Referans ölçümü 4 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 17, 19 ve 21 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.71 ve 5.72'de verilmektedir.

Tablo 5.71 Beşinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

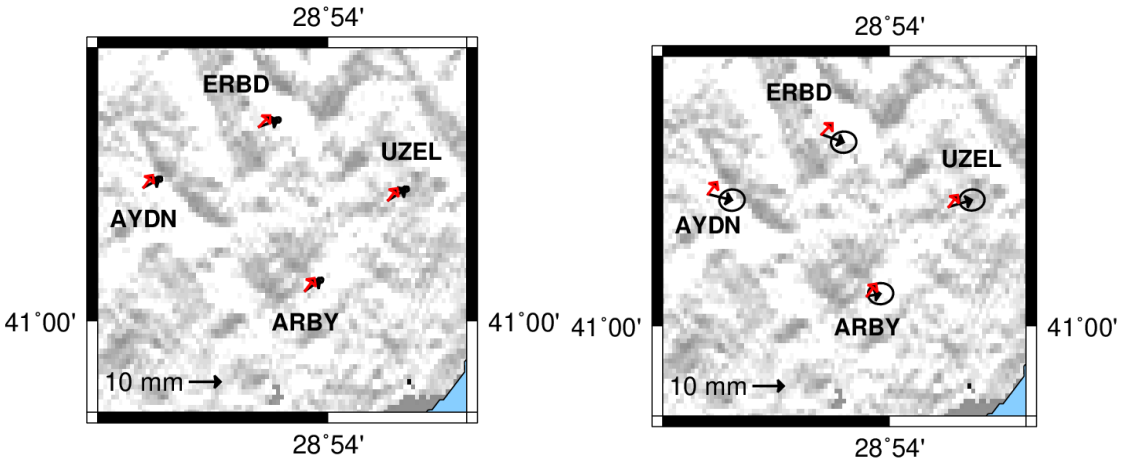
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	5.96	-0.99	6.97	0.27	1.711
AYDN	5.71	-1.28	6.78	0.35	
ERBD	6.41	0.36	7.75	0.10	
UZEL	6.77	5.37	7.98	1.48	

Beşinci senaryoda yatay düzlemde küçük genlikli hız ve ivmesiz bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde hız parametreleri anlamlı ve düşey doğrultudaki hız parametreleri anlamsız olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.72 Beşinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
ARBY	5.96	0.97	1.711
AYDN	5.71	0.85	
ERBD	6.41	1.49	
UZEL	6.77	2.20	

Tablo 5.72'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların UZEL noktası hariç istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır. Beşinci modelde ayrıca karesel model sonuçları da incelenmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.89 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Bu sonuçlar Tablo 5.73 ve 5.74'te (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir. Şekil 5.89'da doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve hata elipsleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.73 Beşinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	4.55	2.02	3.90	-3.72	1.29	0.65	0.25	0.32
AYDN	8.13	4.19	6.42	-5.82	2.27	1.40	0.40	0.50
ERBD	7.73	3.81	1.61	-0.88	2.14	1.24	0.10	0.07
UZEL	7.98	1.83	16.85	-8.82	2.23	0.66	1.07	0.75

Tablo 5.73 ve 5.74 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca, ARBY noktası dışında hız parametreleri anlamlı olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.74 Beşinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	4.55	2.02	0.16	0.65	1.782
AYDN	8.13	4.19	0.87	1.40	
ERBD	7.73	3.81	0.70	1.24	
UZEL	7.98	1.83	0.86	0.66	

Altıncı Senaryo: Sadece yatay düzlemde, büyük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.4'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 23, 25 ve 28 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.75 ve 5.76'da verilmektedir. Altıncı senaryoda yatay düzlemde büyük genlikli hız ve ivmesiz bir hareket modellenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde hız parametreleri anlamlı olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.75 Altıncı senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

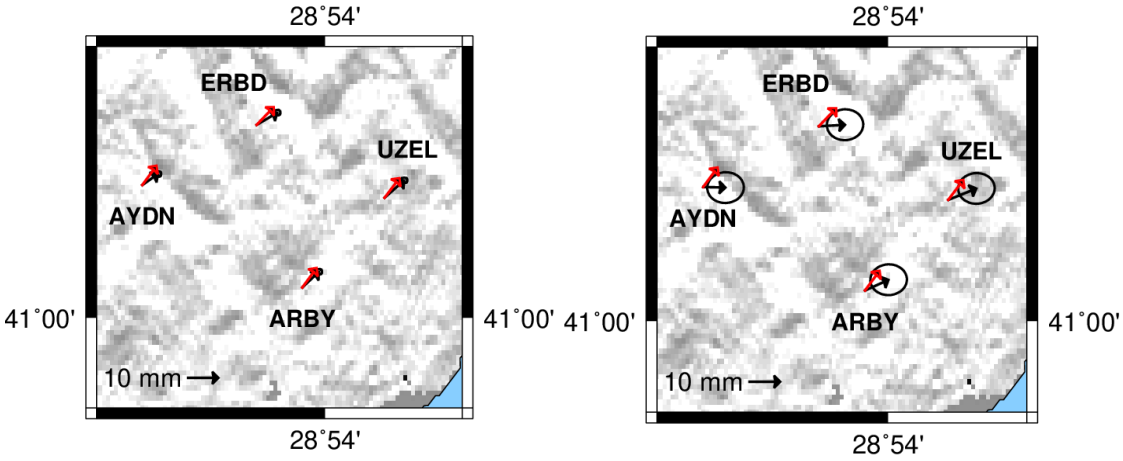
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	7.50	0.68	7.58	0.17	1.711
AYDN	6.34	-1.01	6.54	0.25	
ERBD	7.88	1.48	8.22	0.36	
UZEL	8.59	6.11	8.74	1.52	

Tablo 5.76 Altıncı senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	7.50	0.51	1.711
AYDN	6.34	1.61	
ERBD	7.88	0.32	
UZEL	8.59	0.49	

Tablo 5.76'da sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır. Altıncı modelde ayrıca karesel model sonuçları da incelenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.77 ve 5.78'de (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir. Tablo 5.77 ve 5.78 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Buna karşın, modelde sadece UZEL noktasındaki hız parametresi anlamlı olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.90'da doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve hata elipsleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.90 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Tablo 5.77 Altıncı senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	8.42	2.01	-13.72	10.57	1.61	0.52	0.62	0.68
AYDN	7.25	3.18	-6.25	3.91	1.44	0.77	0.28	0.25
ERBD	8.53	2.87	-1.27	2.06	1.69	0.70	0.06	0.13
UZEL	9.88	2.47	7.12	-0.70	1.91	0.65	0.32	0.04

Tablo 5.78 Altıncı senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	
ARBY	8.42	2.01	0.08	0.52	1.782
AYDN	7.25	3.18	0.13	0.77	
ERBD	8.53	2.87	0.07	0.70	
UZEL	9.88	2.47	0.34	0.65	

Yedinci Senaryo: Sadece yatay düzlemde, küçük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.4'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 30 Temmuz, 01 ve 03 Ağustos 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.79 ve 5.80'de verilmektedir.

Tablo 5.79 Yedinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	11.57	-0.66	16.93	0.23	1.711
AYDN	10.43	-2.30	15.43	0.82	
ERBD	12.21	-0.13	18.42	0.04	
UZEL	12.33	5.39	18.26	1.92	

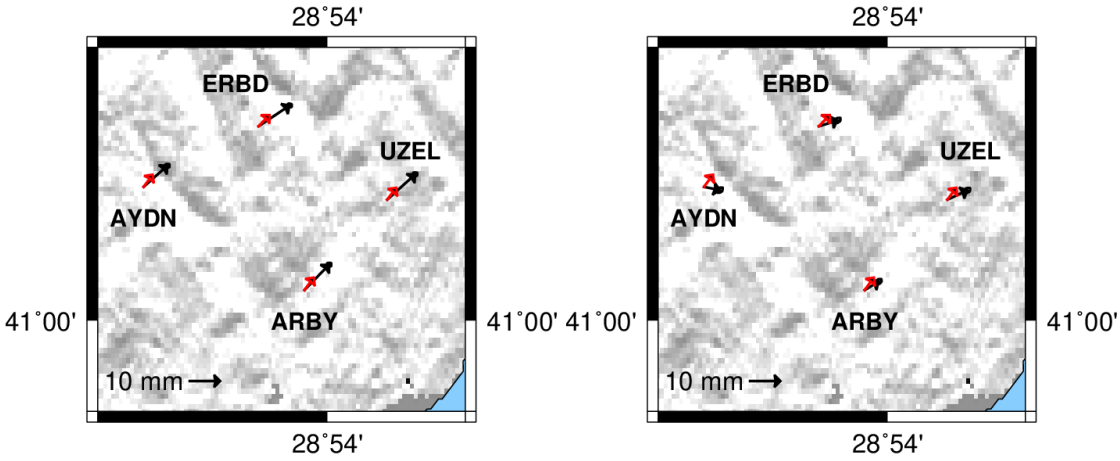
Tablo 5.80 Yedinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	11.57	9.43	1.711
AYDN	10.43	8.03	
ERBD	12.21	10.61	
UZEL	12.33	10.99	

Yedinci senaryoda yatay düzlemde küçük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde anlamlı ve sadece UZEL noktasında düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.80'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerine ait büyüklükleri içermektedir. Bir sonraki adımda

yedinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.81 ve 5.82'de (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir.



Şekil 5.91 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Şekil 5.91'de doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve hata elipsleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.81 Yedinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	5.33	5.15	2.84	-2.78	5.94	7.29	0.76	0.98
AYDN	5.27	6.58	-0.43	-1.50	6.08	9.13	0.12	0.53
ERBD	6.42	4.96	5.66	-4.58	7.34	7.12	1.51	1.62
UZEL	7.18	4.62	14.09	-6.87	8.13	6.49	3.78	2.44

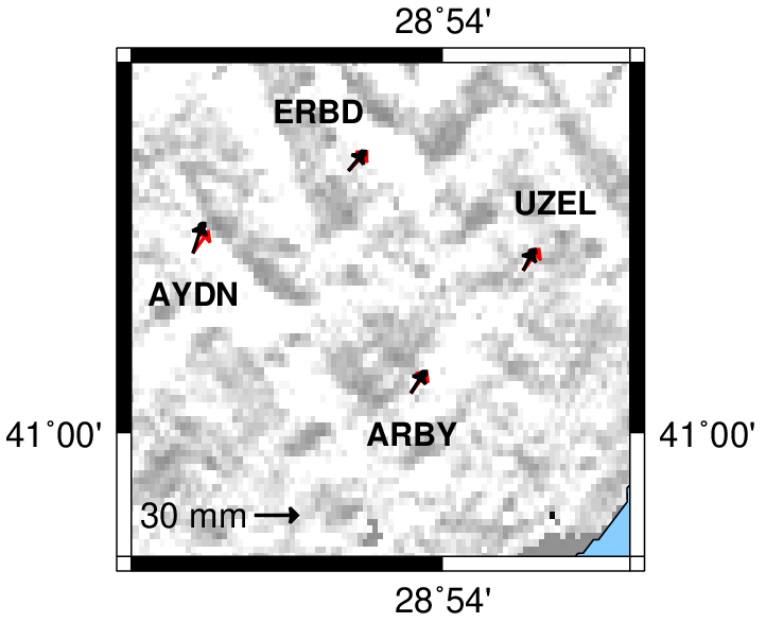
Tablo 5.81 ve 5.82 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar UZEL noktası hariç istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca, obje noktalarında

UZEL noktası hariç beklenen hız ve ivme parametreleri hesaplanmıştır. Düşey doğrultuda sistemde bir hareket olmamasına karşın ARBY ve AYDN noktalarında ivme parametreleri anlamlı çıkmıştır.

Tablo 5.82 Yedinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	5.33	5.15	0.22	1.21	1.782
AYDN	5.27	6.58	0.31	0.81	
ERBD	6.42	4.96	1.41	1.49	
UZEL	7.18	4.62	2.57	1.93	

Şekil 5.92'de karesel modelle kestirilen ivme vektörleri ve hata elipsleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.92 Gerçekte yüklenen ve karesel modelden elde edilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir.

Sekizinci Senaryo: Sadece yatay düzlemde, büyük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.4'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 05, 07 ve 09 Ağustos 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.83 ve 5.84'te verilmektedir.

Tablo 5.83 Sekizinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	20.58	-1.32	15.41	0.24	1.711
AYDN	18.50	-1.86	13.94	0.34	
ERBD	21.19	-1.02	16.32	0.18	
UZEL	21.04	4.62	15.90	0.83	

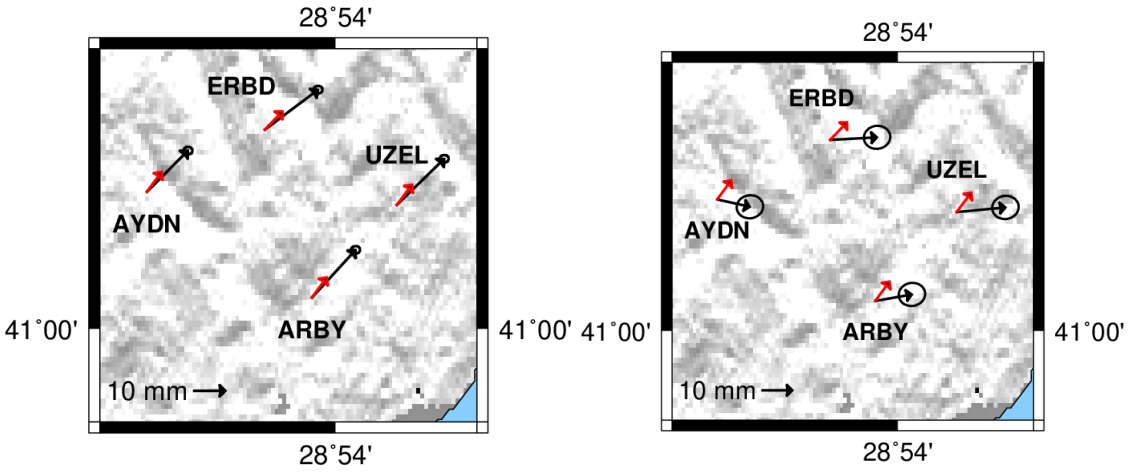
Tablo 5.84 Sekizinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük	Test 2	$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem		
	Hız (mm/yıl)		
ARBY	20.58	9.42	1.711
AYDN	18.50	7.99	
ERBD	21.19	10.01	
UZEL	21.04	9.77	

Sekizinci senaryoda yatay düzlemde büyük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde anlamlı, düşey doğrultuda anlamsız hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.84'te sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerine ait büyüklükleri içermektedir. Bir sonraki adımda

yedinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.85 ve 5.86'da (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.93 Gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Şekil 5.93'te doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve hata elipsleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.85 ve 5.86 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca, obje noktalarında yatay düzlemde hız ve ivme parametreleri anlamlı olarak hesaplanmıştır.

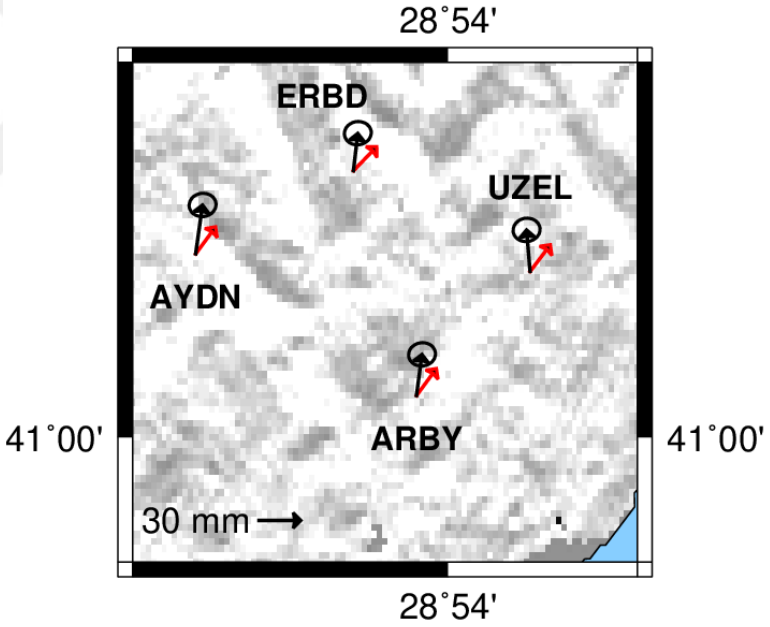
Tablo 5.85 Sekizinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	12.34	9.89	2.63	-2.85	3.18	3.09	0.15	0.23
AYDN	11.13	11.78	-11.09	7.05	2.86	3.67	0.65	0.57
ERBD	15.60	8.99	-14.06	9.93	4.04	2.81	0.83	0.80
UZEL	16.28	9.93	13.72	-6.79	4.19	3.09	0.80	0.54

Tablo 5.86 Sekizinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 2		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ ($\alpha = 0.05$)
	Yatay Düzlem				
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	
ARBY	12.34	9.89	1.12	0.59	1.782
AYDN	11.13	11.78	0.83	1.18	
ERBD	15.60	8.99	1.72	0.31	
UZEL	16.28	9.93	2.10	0.60	

Şekil 5.94'te karesel modelle kestirilen ivme vektörleri ve hata elipsleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.94 Gerçekte yüklenen ve karesel modelden elde edilen ivme vektörü büyüklükleri sırasıyla kırmızı ve siyah renkle gösterilmektedir.

Dokuzuncu Senaryo: Yatay düzlem ve düşey doğrultuda küçük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 18, 20 ve 22 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.87 ve 5.88'de (1.711 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmektedir.

Tablo 5.87 Dokuzuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ ($\alpha = 0.05$)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	5.30	-18.12	3.49	2.84	1.711
AYDN	4.53	-17.82	3.07	2.80	
ERBD	5.50	-15.68	3.77	2.46	
UZEL	5.70	-11.90	3.80	1.87	

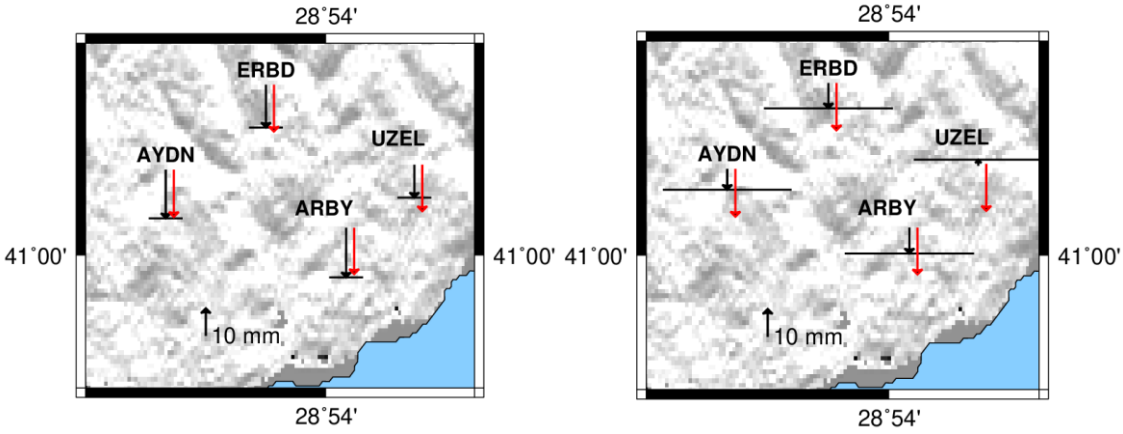
Dokuzuncu senaryoda yatay düzlemde ve düşey doğrultuda küçük genlikli hız ve ivmesiz bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde ve düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.88 Dokuzuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük		Test 2	
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu
ARBY	5.30	-18.12	0.11	0.19
AYDN	4.53	-17.82	0.32	0.08
ERBD	5.50	-15.68	0.22	0.23
UZEL	5.70	-11.90	0.53	0.80

Tablo 5.88'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkmaktadır. Dokuzuncu modelde ayrıca karesel model sonuçları da incelenmiştir.

Bu sonuçlar Tablo 5.89 ve 5.90'da (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir.



Şekil 5.95 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Şekil 5.95'te doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve standart sapmaları siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

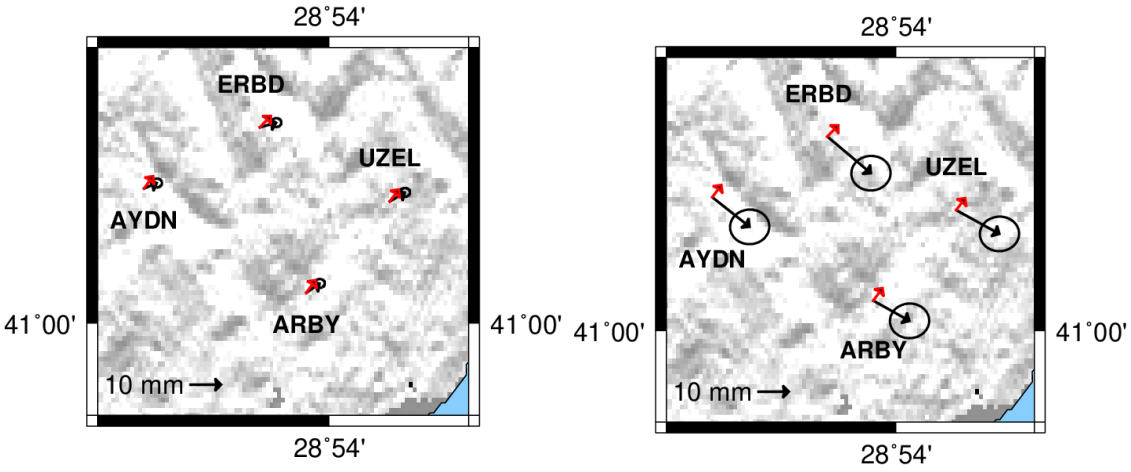
Tablo 5.89 Dokuzuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	13.52	9.35	-9.19	-6.58	2.30	2.04	0.38	0.37
AYDN	15.53	10.73	-7.39	-7.73	2.60	2.32	0.31	0.43
ERBD	18.58	12.41	-9.01	-4.85	3.10	2.68	0.38	0.27
UZEL	16.12	10.85	1.91	-10.36	2.75	2.38	0.08	0.58

Tablo 5.90 Dokuzuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 2			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	13.52	9.35	-9.19	-6.58	1.43	2.04	0.32	0.37
AYDN	15.53	10.73	-7.39	-7.73	1.76	2.32	0.41	0.43
ERBD	18.58	12.41	-9.01	-4.85	2.23	2.68	0.34	0.27
UZEL	16.12	10.85	1.91	-10.36	1.91	2.38	0.63	0.58

Tablo 5.89 ve 5.90 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar düşey doğrultuda istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ayrıca, obje noktalarında yatay ve düşey düzlemde hız yüklemesi yapılmasına karşın, yatay düzlemdeki hız ve ivme parametreleri anlamlı, düşey doğrultuda da parametreler anlamsız olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.96'da doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve hata elipsleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.96 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Onuncu Senaryo: Yatay düzlem ve düşey doğrultuda büyük genlikli, ivmesiz hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Referans ölçümü 4 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 24, 27 ve 29 Temmuz 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.91 ve 5.92'de (1.711 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmektedir.

Tablo 5.91 Onuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		Kritik Değer ($\alpha = 0.05$)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	7.27	-27.47	6.89	6.54	1.711
AYDN	5.82	-28.50	5.67	6.76	
ERBD	7.02	-25.19	6.91	6.00	
UZEL	7.98	-21.93	7.56	5.24	

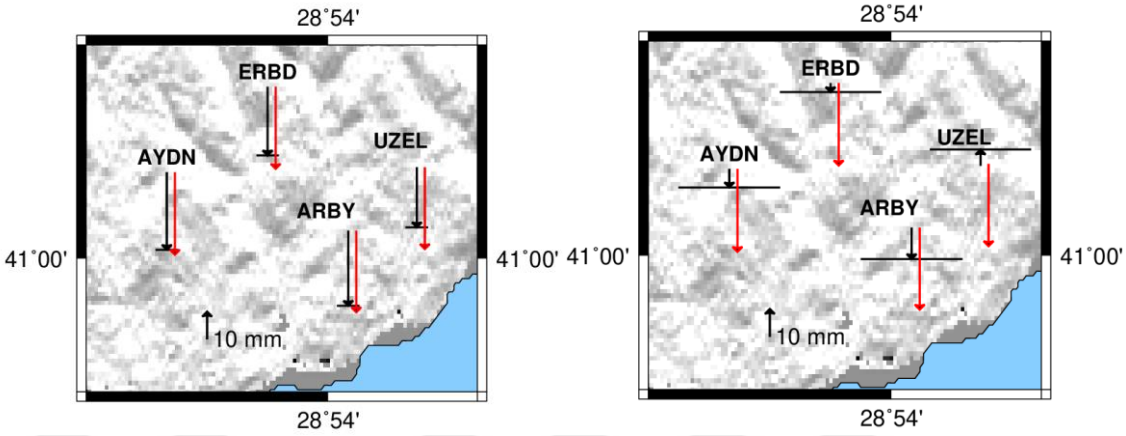
Tablo 5.92 Onuncu senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük		Test 2	
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)		
ARBY	7.27	-27.47	0.70	0.58
AYDN	5.82	-28.50	2.03	0.43
ERBD	7.02	-25.19	1.15	1.18
UZEL	7.98	-21.93	0.13	1.93

Onuncu senaryoda yatay düzlemde ve düşey doğrultuda büyük genlikli hız ve ivmesiz bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde obje noktalarında yatay düzlemde ve düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.92'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların AYDN ve UZEL noktalarında istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Onuncu modelde ayrıca karesel model sonuçları

da incelenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 5.93 ve 5.94'de (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.97 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Şekil 5.97'de düşey doğrultuya ait doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri standart sapmaları siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Tablo 5.93 Onuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl²)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	4.45	3.67	-11.22	-12.13	0.99	0.99	0.59	0.89
AYDN	6.41	5.82	-6.53	-16.36	1.33	1.56	0.34	1.20
ERBD	6.09	4.85	-3.06	-16.46	1.31	1.30	0.16	1.21
UZEL	6.44	3.89	5.69	-20.56	1.44	1.05	0.30	1.52

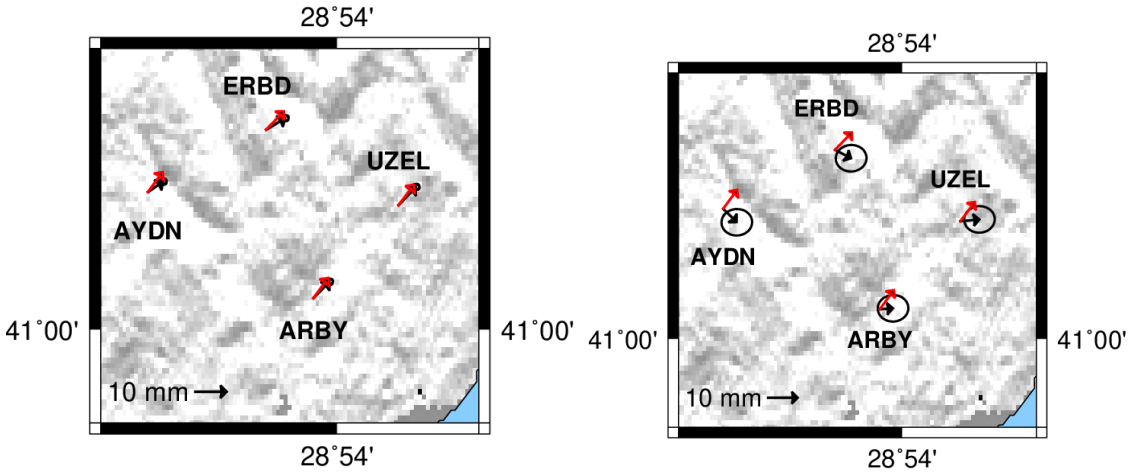
Tablo 5.93 ve 5.94 incelendiğinde sistemde karesel modelde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında farklar yatay

düzlemde ve düşey doğrultuda tüm noktalarda istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Ayrıca, obje noktalarında yatay ve düşey düzlemde hız yüklemesi yapılmasına karşın, hız parametreleri anlamsız olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.94 Onuncu senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 2			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	4.45	3.67	-11.22	-12.13	0.79	0.99	0.99	0.89
AYDN	6.41	5.82	-6.53	-16.36	0.31	1.56	1.26	1.20
ERBD	6.09	4.85	-3.06	-16.46	0.45	1.30	1.43	1.21
UZEL	6.44	3.89	5.69	-20.56	0.37	1.05	1.29	1.52

Şekil 5.98'de yatay düzleme ait doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve hata elipsleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.98 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

On birinci Senaryo: Yatay düzlem ve düşey doğrultuda küçük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 31 Temmuz, 02 ve 04 Ağustos 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.95 ve 5.96'da (1.711 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmektedir.

Tablo 5.95 On birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)			
ARBY	13.90	-38.65	12.21	8.31	1.711
AYDN	12.89	-39.41	11.41	8.51	
ERBD	14.76	-39.32	13.32	8.50	
UZEL	14.23	-32.93	12.67	7.13	

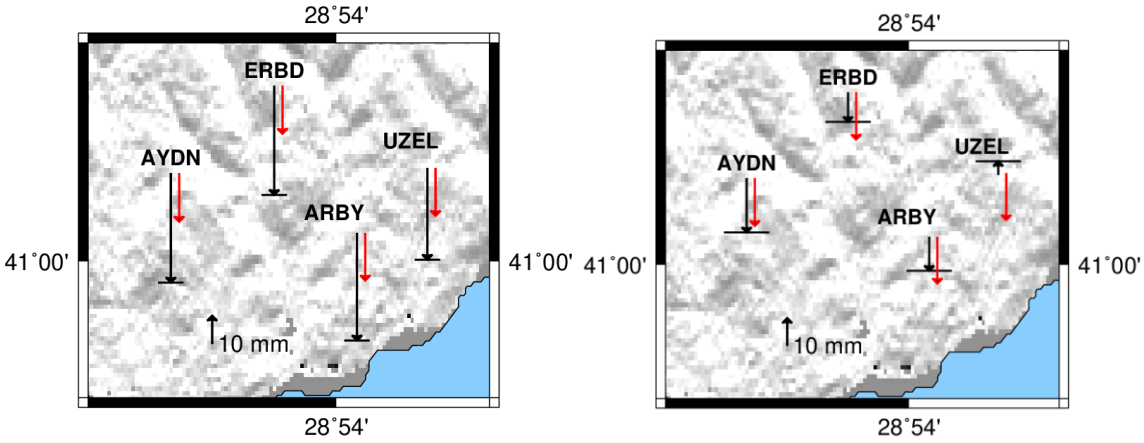
On birinci senaryoda yatay düzlem ve düşey doğrultuda küçük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde ve düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.

Tablo 5.96 On birinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

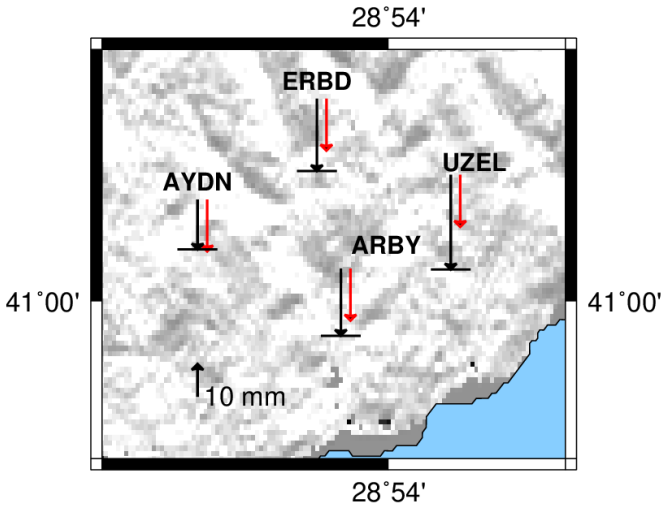
Noktalar	Hesaplanan Büyüklük		Test 2	
	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu
	Hız (mm/yıl)	Hız (mm/yıl)		
ARBY	13.90	-38.65	7.70	4.67
AYDN	12.89	-39.41	6.99	4.77
ERBD	14.76	-39.32	8.64	4.79
UZEL	14.23	-32.93	8.30	3.45

Tablo 5.96'da sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile

çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerini içermektedir. Şekil 5.99'de doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri



Şekil 5.99 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.



Şekil 5.100 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ivme vektörü (kırmızı renkte) ve karesel modelden kestirilen ivme vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

ve Şekil 5.100'de karesel modelle kestirilen ivme vektöleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

Bir sonraki adımda on birinci senaryoda karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.97 ve 5.98'de (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir.

Tablo 5.97 On birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

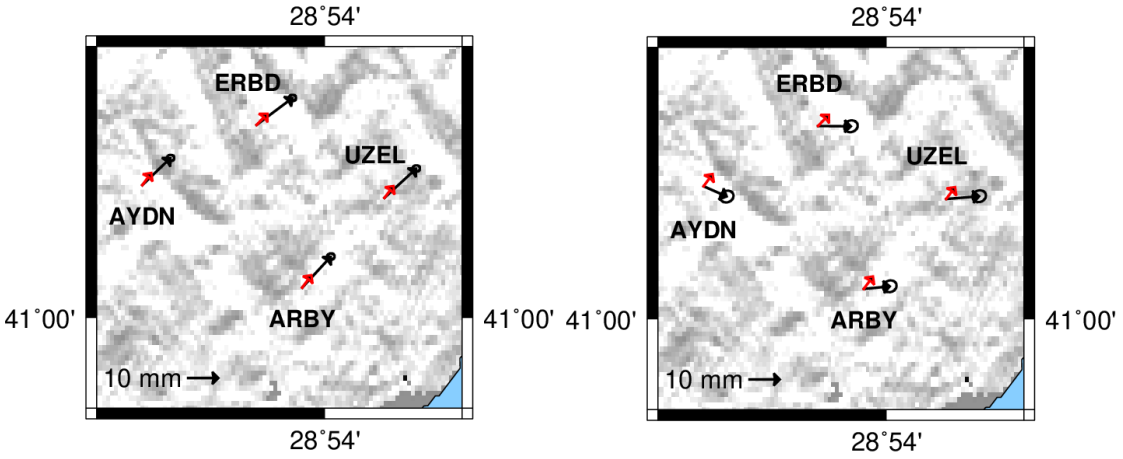
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	8.59	7.31	-12.13	-20.73	4.40	4.44	1.44	3.30
AYDN	8.29	9.64	-19.79	-15.40	4.15	5.85	2.36	2.46
ERBD	10.78	7.04	-10.62	-22.44	5.53	4.27	1.26	3.58
UZEL	10.88	6.81	4.78	-29.42	5.58	4.14	0.57	4.70

Tablo 5.98 On birinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 2			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	8.59	7.31	-12.13	-20.73	1.77	0.80	0.57	0.75
AYDN	8.29	9.64	-19.79	-15.40	1.65	2.21	0.30	0.10
ERBD	10.78	7.04	-10.62	-22.44	2.88	0.63	0.78	1.03
UZEL	10.88	6.81	4.78	-29.42	3.06	0.49	1.46	2.15

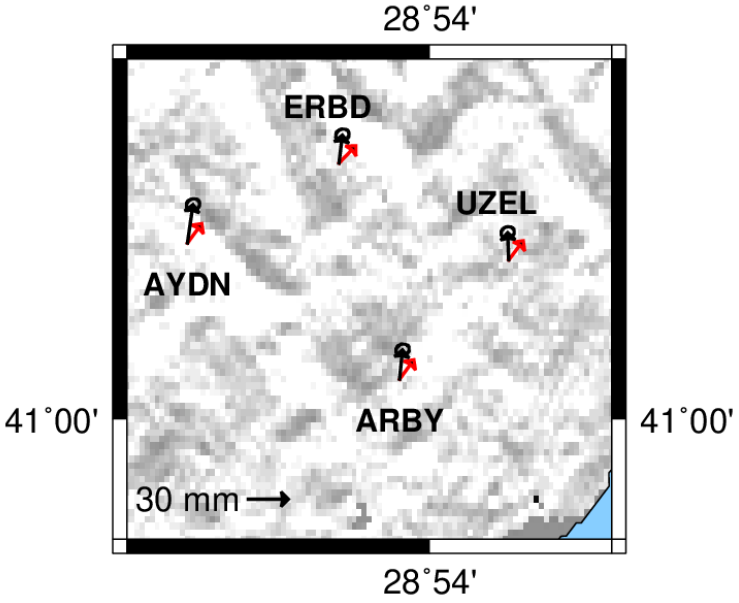
Tablo 5.97'de düşey doğrultuda sadece AYDN noktasında anlamlı hız ve ivme parametreleri hesaplanmıştır. Bununla beraber Tablo 5.98'de düşey doğrultu için karesel model ile hesaplanan sonuçlar incelendiğinde obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında ARBY noktası dışında diğer noktalarda farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Yatay düzlem için Tablo 5.97'de karesel modele ait parametre testi sonuçlarına göre bütün noktalarda hız ve ivme parametreleri anlamlıdır. Ayrıca Tablo 5.98'de gösterildiği üzere

sisteme yüklenen ve hesaplanan büyüklükler arasındaki farklar bütün obje noktalarında anlamsızdır.



(a) (b)

Şekil 5.101 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.



Şekil 5.102 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ivme vektörü (kırmızı renkte) ve karesel modelden kestirilen ivme vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Şekil 5.101'de yatay düzleme ait doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve Şekil 5.102'de karesel modelle kestirilen ivme vektöleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.

On ikinci Senaryo: Yatay düzlem ve düşey doğrultuda büyük genlikli, ivmeli hareket

Bu senaryoda obje noktalarına yüklenen yer değiştirme büyüklükleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Referans ölçümü 3 Temmuz 2018 tarihinde, diğer periyot ölçümleri de 06, 08 ve 10 Ağustos 2018 tarihlerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrusal model kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.99 ve 5.100'de (1.711 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmektedir.

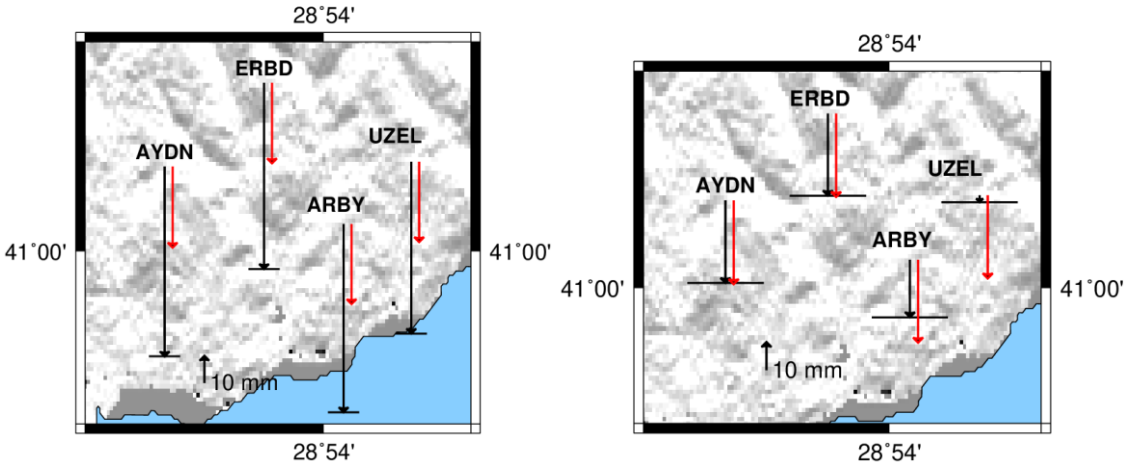
Tablo 5.99 On ikinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler		Test 1		$t_{f_k,1-\alpha/2}$ (α = 0.05)
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu	
ARBY	18.64	-70.81	12.49	11.97	1.711
AYDN	16.75	-71.45	11.36	12.12	
ERBD	19.79	-70.11	13.73	11.92	
UZEL	18.99	-64.66	12.77	10.88	

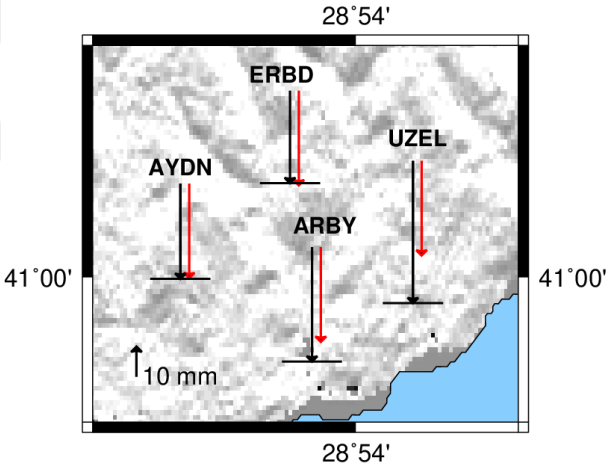
Tablo 5.100 On ikinci senaryo için doğrusal model ile hesaplanan büyüklükler ve sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

Noktalar	Hesaplanan Büyüklük		Test 2	
	Yatay Düzlem Hız (mm/yıl)	Düşey Doğrultu Hız (mm/yıl)	Yatay Düzlem	Düşey Doğrultu
ARBY	18.64	-70.81	7.13	6.91
AYDN	16.75	-71.45	6.00	6.98
ERBD	19.79	-70.11	8.05	6.79
UZEL	18.99	-64.66	7.32	5.83

On ikinci senaryoda yatay düzlem ve düşey doğrultuda büyük genlikli hız ve ivmeli bir hareket modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 4 obje noktasında da yatay düzlemde ve düşey doğrultuda anlamlı hız parametrelerinin hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 5.103 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.



Şekil 5.104 Düşey doğrultuda gerçekte yüklenen ivme vektörü (kırmızı renkte) ve karesel modelden kestirilen ivme vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Şekil 5.103'de düşey doğrultuya ait doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve Şekil 5.104'de karesel modelle kestirilen ivme vektöleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir. Tablo 5.100'de sisteme yüklenen büyüklükler ile hesaplanan büyüklükler karşılaştırıldığında

aradaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum ivmeli hareket içeren bir sistemin doğrusal model ile çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Modelden kestirilen hız parametresi hem hız hem de ivme parametrelerini içermektedir. Bir sonraki adımda on ikinci senaryo için karesel model uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 5.101 ve 5.102'de (1.782 kritik değer olmak üzere iki tablo için de aynıdır) verilmiştir.

Tablo 5.101 On ikinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler ve parametre anlamlılık test sonuçları

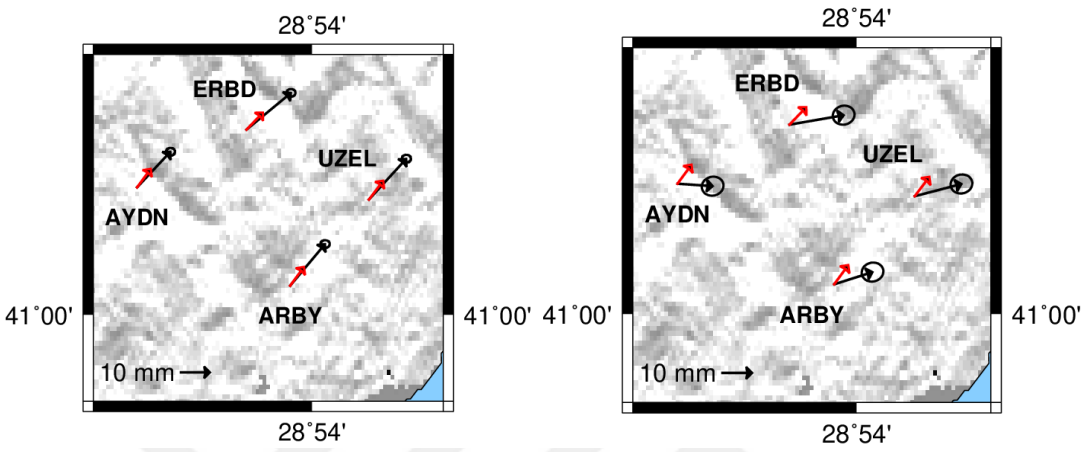
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 1			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	13.48	8.04	-20.63	-38.74	4.14	2.94	1.47	3.75
AYDN	11.79	10.17	-29.88	-32.21	3.67	3.72	2.13	3.12
ERBD	18.45	7.74	-29.67	-31.26	5.73	2.86	2.12	3.03
UZEL	16.17	8.15	-2.14	-48.27	4.99	3.00	0.15	4.66

Tablo 5.102 On ikinci senaryo için karesel model ile hesaplanan büyüklükler sisteme yüklenen gerçek değerlere göre test sonuçları

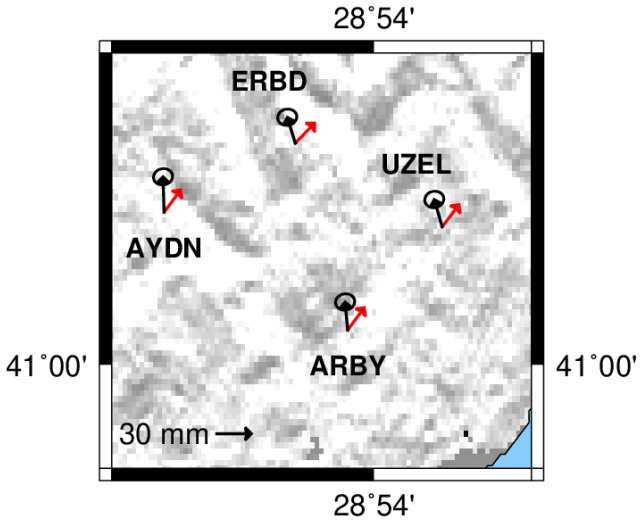
Noktalar	Hesaplanan Büyüklükler				Test 2			
	Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu		Yatay Düzlem		Düşey Doğrultu	
	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız (mm/yıl)	İvme (mm/yıl^2)	Hız	İvme	Hız	İvme
ARBY	13.48	8.04	-20.63	-38.74	1.68	0.02	0.66	0.65
AYDN	11.79	10.17	-29.88	-32.21	1.21	0.79	0.03	0.02
ERBD	18.45	7.74	-29.67	-31.26	3.18	0.10	0.03	0.07
UZEL	16.17	8.15	-2.14	-48.27	2.48	0.06	1.99	1.57

Tablo 5.101 ve 5.102'de düşey doğrultuya ait, karesel model ile hesaplanan sonuçlar incelendiğinde; sadece AYDN ve ERBD noktalarında anlamlı hız ve ivme parametreleri hesaplanmıştır. Yine düşey doğrultuda obje noktalarında sisteme yüklenen parametreler ile hesaplanan büyüklükler arasında ERBD ve UZEL noktaları dışında diğer noktalarda farklar istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Yatay düzlemde ise hız ve ivme büyüklükleri anlamlı olarak hesaplanmıştır. Bununla beraber Tablo 5.102'de UZEL noktasına ait hız parametresi dışında diğer noktalara

ait hesaplanan ve yüklenen değerler arasındaki farkların anlamsız olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 5.105'de yatay düzleme ait doğrusal ve karesel modelle kestirilen hız vektörleri ve Şekil 5.106'de karesel modelle kestirilen ivme vektöleri siyah renkle, gerçekte yüklenen hız vektörü ise kırmızı renkle gösterilmiştir.



Şekil 5.105 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen hız vektörü (kırmızı renkte), (a) doğrusal modelden ve (b) karesel modelden kestirilen hız vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.



Şekil 5.106 Yatay düzlemde gerçekte yüklenen ivme vektörü (kırmızı renkte) ve karesel modelden kestirilen ivme vektörü büyüklükleri (siyah renkte) gösterilmektedir.

Tablo 5.103 Karesel model sonuçlarına göre kestirilen parametreler ve test istatistiği

Senaryo numarası	Obje noktası	Kestirilen parametre (mm/yıl) - (mm/yıl²)				Test istatistiği (Test 1) – Kritik değer 1.782				Test istatistiği (Test 2) – Kritik değer 1.782			
		Yatay düzlem		Düşey doğrultu		Yatay düzlem		Düşey doğrultu		Yatay düzlem		Düşey doğrultu	
		Hız	İvme	Hız	İvme	Hız	İvme	Hız	İvme	Hız	İvme	Hız	İvme
1	ARBY	1.20	1.33	15.05	6.50	***0.34***	***0.51***	1.11	***0.66***	***0.34***	***0.51***	***0.14***	***0.66***
	AYDN	2.78	2.28	21.57	1.13	***0.78***	***0.87***	***2.31***	***0.12***	***0.78***	***0.87***	***0.32***	***0.12***
	ERBD	0.56	0.72	20.45	1.62	***0.19***	***0.30***	***2.19***	***0.17***	***0.19***	***0.30***	***0.25***	***0.17***
	UZEL	1.74	1.65	10.99	3.72	***0.50***	***0.67***	0.83	***0.38***	***0.50***	***0.67***	***0.45***	***0.38***
2	ARBY	5.52	3.21	41.76	8.02	***1.35***	***1.08***	***2.71***	***0.71***	***1.35***	***1.08***	***0.77***	***0.71***
	AYDN	2.27	1.05	37.13	4.68	***0.55***	***0.36***	***2.44***	***0.42***	***0.55***	***0.36***	***0.45***	***0.42***
	ERBD	1.43	0.41	32.40	2.41	***0.39***	***0.15***	***2.14***	***0.22***	***0.39***	***0.15***	***0.15***	***0.22***
	UZEL	4.03	0.92	18.24	4.50	***1.04***	***0.31***	1.19	***0.40***	***1.04***	***0.31***	***0.77***	***0.40***
3	ARBY	5.40	2.79	6.00	25.37	2.29	***1.57***	0.64	***3.71***	2.29	***1.57***	***1.17***	***1.37***
	AYDN	5.27	2.87	10.31	21.47	2.41	***1.74***	1.12	***3.18***	2.41	***1.74***	***0.76***	***0.81***
	ERBD	6.69	3.64	5.77	23.75	3.03	2.17	0.63	***3.53***	3.03	2.17	***1.24***	***1.15***
	UZEL	8.83	4.47	8.92	31.60	3.84	2.56	0.97	***4.69***	3.84	2.56	**0.88**	2.31
4	ARBY	6.84	8.13	53.94	14.85	2.70	4.34	***5.58***	***2.05***	2.70	4.34	2.49	2.36
	AYDN	10.76	10.12	54.65	13.90	4.19	5.33	***5.79***	***1.95***	4.19	5.33	2.58	2.54
	ERBD	9.51	8.79	49.86	16.85	3.68	4.61	***5.28***	***2.36***	3.68	4.61	2.09	2.13
	UZEL	4.91	6.51	36.07	23.33	1.89	3.45	***3.81***	***3.27***	1.89	3.45	***0.64***	***1.22***
5	ARBY	4.55	2.02	3.90	3.72	1.29	***0.65***	***0.25***	***0.32***	***0.16***	***0.65***	***0.25***	***0.32***
	AYDN	8.13	4.19	6.42	5.82	***2.27***	1.40	***0.40***	***0.50***	***0.87***	***1.40***	***0.40***	***0.50***
	ERBD	7.73	3.81	1.61	0.88	***2.14***	1.24	***0.10***	***0.07***	***0.70***	***1.24***	***0.10***	***0.07***
	UZEL	7.98	1.83	16.85	8.82	***2.23***	0.66	***1.07***	***0.75***	***0.86***	***0.66***	***1.07***	***0.75***
6	ARBY	8.42	2.01	13.72	10.57	1.61	***0.52***	***0.62***	***0.68***	***0.08***	***0.52***	***0.62***	***0.68***
	AYDN	7.25	3.18	6.25	3.91	1.44	***0.77***	***0.28***	***0.25***	***0.13***	***0.77***	***0.28***	***0.25***
	ERBD	8.53	2.87	1.27	2.06	1.69	***0.70***	***0.06***	***0.13***	***0.07***	***0.70***	***0.06***	***0.13***
	UZEL	9.88	2.47	7.12	0.70	***1.91***	***0.65***	***0.32***	***0.04***	***0.34***	***0.65***	***0.32***	***0.04***

Tablo 5.104 Karesel model sonuçlarına göre kestirilen parametreler ve test istatistiği (devamı)

Senaryo numarası	Obje noktası	Kestirilen parametre (mm/yıl) - (mm/yıl²)				Test istatistiği (Test 1) – Kritik değer 1.782				Test istatistiği (Test 2) – Kritik değer 1.782			
		Yatay düzlem		Düşey doğrultu		Yatay düzlem		Düşey doğrultu		Yatay düzlem		Düşey doğrultu	
		Hız	İvme	Hız	İvme	Hız	İvme	Hız	İvme	Hız	İvme	Hız	İvme
7	ARBY	5.33	5.15	2.84	2.78	***5.94***	***7.29***	***0.76***	***0.98***	***0.22***	***1.21***	***0.76***	***0.98***
	AYDN	5.27	6.58	0.43	1.5	***6.08***	***9.13***	***0.12***	***0.53***	***0.31***	***0.81***	***0.12***	***0.53***
	ERBD	6.42	4.96	5.66	4.58	***7.34***	***7.12***	***1.51***	***1.62***	***1.41***	***1.49***	***1.51***	***1.62***
	UZEL	7.18	4.62	14.09	6.87	***8.13***	***6.49***	3.78	2.44	2.57	1.93	3.78	2.44
8	ARBY	12.34	9.89	2.63	2.85	***3.18***	***3.09***	***0.15***	***0.23***	***1.12***	***0.59***	***0.15***	***0.23***
	AYDN	11.13	11.78	11.09	7.05	***2.86***	***3.67***	***0.65***	***0.57***	***0.83***	***1.18***	***0.65***	***0.57***
	ERBD	15.6	8.99	14.06	9.93	***4.04***	***2.81***	***0.83***	***0.8***	***1.72***	***0.31***	***0.83***	***0.8***
	UZEL	16.28	9.93	13.72	6.79	***4.19***	***3.09***	***0.8***	***0.54***	2.1	***0.6***	***0.8***	***0.54***
9	ARBY	13.52	9.35	9.19	6.58	***2.3***	2.04	0.38	0.37	***1.43***	2.04	***0.32***	***0.37***
	AYDN	15.53	10.73	7.39	7.73	***2.6***	2.32	0.31	0.43	***1.76***	2.32	***0.41***	***0.43***
	ERBD	18.58	12.41	9.01	4.85	***3.1***	2.68	0.38	0.27	2.23	2.68	***0.34***	***0.27***
	UZEL	16.12	10.85	1.91	10.36	***2.75***	2.38	0.08	0.58	1.91	2.38	***0.63***	***0.58***
10	ARBY	4.45	3.67	11.22	12.13	0.99	0.99	0.59	0.89	***0.79***	***0.99***	***0.99***	***0.89***
	AYDN	6.41	5.82	6.53	16.36	1.33	1.56	0.34	1.2	***0.31***	***1.56***	***1.26***	***1.2***
	ERBD	6.09	4.85	3.06	16.46	1.31	1.3	0.16	1.21	***0.45***	***1.3***	***1.43***	***1.21***
	UZEL	6.44	3.89	5.69	20.56	1.44	1.05	0.3	1.52	***0.37***	***1.05***	***1.29***	***1.52***
11	ARBY	8.59	7.31	12.13	20.73	***4.4***	***4.44***	1.44	***3.3***	***1.77***	***0.8***	***0.57***	***0.75***
	AYDN	8.29	9.64	19.79	15.4	***4.15***	***5.85***	***2.36***	***2.46***	***1.65***	***2.21***	***0.3***	***0.1***
	ERBD	10.78	7.04	10.62	22.44	***5.53***	***4.27***	1.26	***3.58***	2.88	***0.63***	***0.78***	***1.03***
	UZEL	10.88	6.81	4.78	29.42	***5.58***	***4.14***	0.57	***4.7***	3.06	***0.49***	***1.46***	2.15
12	ARBY	13.48	8.04	20.63	38.74	***4.14***	***2.94***	1.47	***3.75***	***1.68***	***0.02***	***0.66***	***0.65***
	AYDN	11.79	10.17	29.88	32.21	***3.67***	***3.72***	***2.13***	***3.12***	***1.21***	***0.79***	***0.03***	***0.02***
	ERBD	18.45	7.74	29.67	31.26	***5.73***	***2.86***	***2.12***	***3.03***	3.18	***0.1***	***0.03***	***0.07***
	UZEL	16.17	8.15	2.14	48.27	***4.99***	***3.00***	0.15	***4.66***	2.48	***0.06***	1.99	***1.57***

6
Bulgular ve Tartışma

KDA'da karesel model kullanılarak kestirilen hız ve ivme parametrelerine iki farklı test istatistiği uygulanmıştır. İlk olarak kestirilen parametrenin anlamlı olup olmadığı ve daha sonra da kestirilen büyüklük ile yüklenen büyüklük arasındaki farkın anlamlılığı test edilmiştir. Tablo 5.103'te kestirilen parametreler ve test istatistiği başlığı altında elde edilen sonuçlarda; kalın, italik ve altı çizili olacak şekilde gösterilen büyüklükler doğru test sonuçlarını ifade etmektedir. Ayrıca, Tablo A.1-A.12'de senaryolara ait karesel ve doğrusal model için anlamlı olarak bulunan noktalar gösterilmiştir. Taralı alanlar gerçekte yer değiştirmenin yükleme yapılmadığı alanı ifade etmektedir. Altı çizili olarak gösterilen obje noktaları ise parametrenin anlamlı olarak yer değiştirdiğini ancak kestirilen değerin gerçekte yüklenen değere istatistiksel anlamda eşit olmadığını ifade etmektedir. İtalik olarak gösterilen noktalar ise ISTA noktasına dayalı sonuçlarda anlamlı olarak hesaplanan referans noktalarıdır.

ISTA noktasına dayalı sonuçlar incelendiğinde; düşey doğrultuda, doğrusal hareket (ivmenin göz ardı ediliği) durumu için, karesel modelin obje noktalarındaki hız parametresini anlamlı bulduğu ve büyüklük olarak istatistiksel açıdan gerçekte yüklenen değere eşit bulunduğu tespit edilmiştir. Sisteme yüklenen karesel (doğrusal düzgün olmayan) hareket için doğrusal modelin bu aşamada gerçek değere göre istatisiksel açıdan eşit olmadığı gösterilmiştir. Karesel modelde küçük genlikli yer değiştirme için hızın anlamlılığı tespit edilemedikten sonra, büyük genlikli yer değiştirme olduğu durumda hem hız hem ivme parametreleri anlamlı bulunmuştur. Yatay düzlemde; yüklenen küçük genlikli düzgün doğrusal hareketin modellenmesinde, yine karesel model en başarılı sonucu vermiştir. Bunun yanında büyük genlikli yer değiştirme büyüklüğü için doğrusal modelde karesel modele göre oldukça fazla yayma etkisi ortaya çıktığı görülmektedir. Karesel hareket için elde edilen sonuçlarda doğrusal modelin hız parametresini anlamlı bulmasına karşın büyüklük olarak istatistiksel olarak gerçek değere eşit olmadığı görülmektedir. Bu

açıdan karesel model; ivmenin yüklendiği bu senaryolarda parametre anlamlılığının testpitinde ve gerçek değerle farkın istatistiki açıdan eşit bulunmasıyla doğrusal model barındıran diğer modellere nazaran başarılıdır. Düşey doğrultu & yatay düzlemde küçük genlikli yer değiştirme yüklemesi durumunda karesel harekete ilişkin analizlerde hem karesel hem doğrusal modelin başarısız olduğu gözükmektedir. Bununla beraber ivmenin yüklendiği yatay düzlemdeki hareket modellerinin karakteristiğinin ortaya çıkarılmasında yalnızca düşey doğrultu ve düşey doğrultu & yatay düzlem boyunca yüklenen senaryolara göre daha başarılı olmaktadır (Tablo A.1-A.6).

Referans noktalarının datumu tanımladığı mutlak ağ çözümünde; hem doğrusal modele ait sonuçlar, hem de karesel modele ait sonuçlar ISTA noktasına dayalı sonuçlara nazaran daha gerçeğe yakın bulunmuştur (Tablo A.7-A.12). Sonuçlarda referans noktalarının hareket etmediği global eşdeğerlik testiyle kanıtlanmıştır. Düşey doğrultuda ISTA dayalı çözümlerde olduğu gibi karesel modelle ivmenin yüklenmediği ilk iki senaryoda yine obje noktaları anlamlı olarak hesaplanmıştır. İkinci senaryoda ISTA dayalı sonuçlarda yatayda anlamlı hız parametresi olarak işaretlenen iki obje noktası karesel modelle beraber kullanılan kısmi iz minimum sonuçlarında sabit olarak bulunmuştur. Buna benzer şekilde sonuçlarda gerçeğe yakınlaşma yatay düzlemde daha belirgin olarak Tablo A.3 ve A.4'te görülmektedir. Yatay düzlem & düşey doğrultu için büyüklüklerin istatistiksel olarak gerçeğe yakın çıkmadığı ISTA dayalı sonuçların aksine referans noktalarına dayalı sonuçlarda doğrusal ve karesel model için kestirilen büyüklüklerin gerçek değere eşit olarak bulunduğu elde edilmiştir.

Bütün senaryolarda obje noktaları arasında en tutarsız sonuçlar UZEL noktasında ortaya çıkmıştır. Bölüm envanterinde halihazırda bulunan DHS bu nokta üzerine tesis edilmişti. Diğer üç DHS'de cetvel üzerinde sinyal kodlayıcı ve onun da üzerine tribrah ve adaptörüyle bağlantı sağlayan bir demir kalıp bulunmaktadır. Bu kalıbın, UZEL noktasında tesis edilen DHS'de, imal edilen DHS'lere nazaran daha ağır, büyük ve uzun olması uygulanan senaryoların çoğunluğunda diğer üç noktaya göre daha çok sapma göstermesinin önemli bir sebebidir. Ayrıca imal ettiğimiz sistemin her ne kadar kalibrasyonlarının yapıldığını, ergonomik ve sabit olduğunu ayrıca ölçümler

boyunca hareketsiz kaldığını iddiaa etsek de, yatayda uygulanan bir yer değiştirmenin aslında düşeyde de harekete sebep olması bu tarz makine teçhizatlarında mümkündür.

7
Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında deprem araştırmaları ve tektonik hareketlerin modellenmesi kapsamında hem mesleğimizde hem de farklı meslek dalları ile gerçekleştirilen çalışmalarda sıklıkla kullanılan KDA modellerinin sonuçlarının doğruluğu ve güvenirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların doğru ve güvenilir olması, sonuçlara dayalı yorumlamaların sağlıklı olması açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda üç farklı yaklaşım: tümevarım, tümdengelim ve karesel modeller hem ivme büyüklüğünün göz önüne alındığı hem de göz ardı edildiği durumlar için ayrı ayrı dikkate alınmıştır. İlk olarak GPS ağında yer değiştirme büyüklükleri "yer değiştirme küresine" dayanarak hesaplanmış ve üretilen 10 000 yapay ölçü kümesinin her birinin üzerinde bu yaklaşımlar kullanılarak hız ve ivme parametresine ait sonuçlar araştırılmıştır. Hem vektörel hem de parametrik test kullanılarak istatistiksel anlamlılık sonuçları her bir yaklaşım için çözümlenmiştir. Modellerin güvenirlikleri OBO kullanılarak ölçülmüştür. Karesel modelin; ivmenin yapay ölçülere yüklendiği ve yüklenmediği her iki durum için parametrik ve vektör test sonuçlarına göre diğer iki yaklaşımdan daha güvenilir olduğu görülmektedir. Ayrıca, karesel modelde parametrik ve vektör sonuçları birbirine benzer sonuçlar bulunmuştur. İvmenin yüklendiği durumda, hız parametresine ait OBO ivme parametresinin kestirimindeki güvenirliğe bağlıdır. Bu yansıma hızın güvenirliğine kötü anlamda etki etmiştir. İvme yüklense de yüklenmese de tümevarım ve tümdengelim modellerinde doğrusal model aşaması başarısız sonuçların ortaya çıkmasında etkendir. EKK yönteminin yayma etkisi, art arda gelen dengeleme aşamalarının kullanılmasıyla katlanarak büyümektedir. Sonuçta karesel model; hız ve ivme parametrelerinin analizinde KDA kullanan bir araştırmacı için olmazsa olmaz bir modeldir. Karesel modelde vektör test kullanılarak yer değiştiren nokta sayısı birken hesaplanan en yüksek OBO ivme yüklenmediği durumda %83.50 ve ivme yüklendiği durumda %78.06'dır. Yer değiştiren nokta sayısı iki olduğunda OBO ivmenin yüklenmediği ve yüklendiği durum için sırasıyla %71.49 ve %64.90'dır.

Araştırmacıların KDA sonuçlarını bu analizler ışığında yorumlaması önem arz etmektedir.

Tezin diğer uygulama kısmında ise, TÜBİTAK projesi kapsamında YTÜ Davutpaşa kampüsü İnşaat Fakültesi çatılarında 4 adet obje noktası belirlenerek üzerlerine DHS'ler yerleştirilmiştir. Önceden planlanan 12 senaryo için küçük genlik ve büyük genlikte yer değiştirme büyüklükleri elde edilmiştir. 37 gün süren ölçümlerde GPS alıcıları her ölçümden sonra kapatılmış ve sonraki gün her ölçümden önce tekrardan açılmıştır. Alet yüksekliği her gün 3 kez tekrarlı olacak şekilde ölçülerek ölçünün ortalaması kaydedilmiştir. DHS sistemi yalnızca belirlenen senaryolar amacında hareket ettirilerek "gerçek" olduğu varsayılan büyüklük evrensel sayaçta okunarak noktanın yer değişimi sağlanmıştır. Belirlenen obje noktalarında bütün senaryolar için 8-saatlik statik oturum gerçekleştirilmiştir. Daha sonra seçilen 5 adet referans noktası ile GPS deformasyon ağı oluşturularak çözümler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Bernese v5.2 yazılımıyla deformasyon ağı bağıl konumlama yöntemiyle çözümler yapılmıştır. Şekil 5.11 ile 5.14 arasında her bir obje noktasında düşey doğrultuda yer değiştirme senaryolarına ait gerçekte yüklenen değerleri ve bağıl konumlama yöntemiyle ISTA'ya dayalı elde edilen koordinatların ilk ölçme gününe yani referans periyoduna göre koordinat farkları gösterilmiştir. Düşey doğrultudaki bu 4 senaryo için de sonuçların birbiriyle oldukça uyumlu olduğunu korelasyon katsayısı ortaya koymaktadır. Şekil 5.15 ile 5.18 arasında gösterilen yatay düzleme ait 4 senaryonun da aynı şekilde yüksek korelasyonlu olduğu görülmektedir. Ancak, 5.19 ve 5.26 arasında gösterilen düşey doğrultuda ve yatay düzlemde yer değiştirme yüklendiği duruma ait senaryolarda, yatay düzlemin özellike 9. Senaryosunda "gerçek" büyüklük ile yazılımdan elde edilen koordinat farkı gözle görülür şekilde büyümüştür. Bu fark korelasyon katsayısına da yansımaktadır. Yalnızca yatay düzlemde ve yalnızca düşey doğrultuda hareket verilen duruma göre elde edilen sonuçlar arasındaki fark büyümüştür. Elde edilen sonuçlar yalnızca ISTA'ya dayalı çözümlerde değil aynı zamanda referans noktalarının datum tanımına katkı sağladığı kısmi-iz çözümlerinde de aynıdır.

Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında akademik yazılım sonuçlarına dayalı olarak hesaplanan koordinat değişiklikleri ile gerçekte sisteme yüklenen koordinat

değişiklikleri arasında bir uyum olduğu görülmektedir. Yazılımdan elde edilen sonuçlara göre gerçekleştirilen KDA model sonuçları dikkate alındığında, bir önceki simülasyon adımında olduğu gibi karesel yaklaşımın diğer yaklaşımlara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca, ağda hiyerarşik bir yapı oluşturulmasında tüm noktalar obje noktası olarak düşünüldüğünde, EKK kestiriminin yayma etkisi nedeniyle referans noktalarında da anlamlı hareketler ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bu durumdan kaçınmak amacıyla ağların referans ve obje noktaları olarak dikkate alınması KDA sonuçlarının güvenirliğini artıracaktır. Ancak ağın mutlak olarak öngörülmesi adımında öncelikle referans noktalarında anlamlı yer değiştirme olmadığının global eşdeğerlik testiyle kanıtlanması gerekmektedir. Sonuç olarak tüm bulgular dikkate alındığında araştırmacıların KDA'yı tercih ettiklerinde çalışma alanını referans ve obje noktaları olarak ayırmaları ve karesel yaklaşımı kullanmaları önerilmektedir. Fakat bu durumda da elde edilen sonuçların güvenirliği %80 olarak öngörülmektedir. Bu oran da aslında yüksek hassasiyet gerektiren deformasyon analizi çalışmaları için yeterli değildir. Gelecek çalışmalar için, EKK kestiriminin yayma etkisini giderecek kestirim yöntemlerinin araştırılması, bağıl GNSS değerlendirme yöntemlerinin dışında PPP tekniğinden elde edilen çözümlerin KDA'da kullanılması ve oluşturulacak yeni sistemle dinamik etkilerin de dikkate alındığı deformasyon analiz modelleri çalışma konuları olarak karşımıza çıkmaktadır.

A
Senaryolarda Ortaya Çıkan Sonuçlar

Tablo A.1 Mutlak deformasyon ağında düşey doğrultuda küçük ve büyük genlikli hızın yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Doğrusal Hareket	
		Düşey Doğrultu	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	1.Senaryo	2.Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
	Yatay Düzlem	ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
Karesel Model	Düşey Doğrultu	AYDN, ERBD	ARBY, AYDN, ERBD
	Yatay Düzlem		

Tablo A.2 Mutlak deformasyon ağında düşey doğrultuda küçük ve büyük genlikli hız ve ivmenin yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Karesel Hareket	
		Düşey Doğrultu	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	3. Senaryo	4. Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
Karesel Model	Düşey Doğrultu	-	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
	Yatay Düzlem		

Tablo A.3 Mutlak deformasyon ağında yatay düzlemde küçük ve büyük genlikli hızın yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Doğrusal Hareket	
		Yatay Düzlem	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	5.Senaryo	6.Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	-	-
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
Karesel Model	Düşey Doğrultu	-	-
	Yatay Düzlem	AYDN, ERBD, UZEL	UZEL

Tablo A.4 Mutlak deformasyon ağında yatay düzlemde küçük ve büyük genlikli hız ve ivmenin yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Karesel Hareket	
		Yatay Düzlem	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	7. Senaryo	8. Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	UZEL	-
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
Karesel Model	Düşey Doğrultu		-
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL

Tablo A.5 Mutlak deformasyon ağında yatay düzlemde küçük ve büyük genlikli hızın yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Doğrusal Hareket	
		Yatay Düzlem & Düşey Doğrultu	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	9	10
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
Karesel Model	Düşey Doğrultu	-	-
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	-

Tablo A.6 Mutlak deformasyon ağında yatay düzlemde küçük ve büyük genlikli hız ve ivmenin yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Karesel Hareket	
		Yatay Düzlem & Düşey Doğrultu	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	11. Senaryo	12. Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
Karesel Model	Düşey Doğrultu	AYDN	AYDN, ERBD
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL

Tablo A.7 ISTA dayalı düşey doğrultuda küçük ve büyük genlikli hızın yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Doğrusal Hareket	
		Düşey Doğrultu	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	1.Senaryo	2.Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL, *BEYK*
	Yatay Düzlem	ERBD, UZEL	TUZL
Karesel Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD	ARBY, AYDN, ERBD
	Yatay Düzlem	AYDN	ARBY, AYDN

Tablo A.8 ISTA dayalı düşey doğrultuda küçük ve büyük genlikli hız ve ivmenin yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Karesel Hareket	
		Düşey Doğrultu	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	3. Senaryo	4. Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *BEYK*	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
	Yatay Düzlem	-	-
Karesel Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL, BEYK, ISTN, TUZL

Tablo A.9 ISTA dayalı yatay düzlemde küçük ve büyük genlikli hızın yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Doğrusal Hareket	
		Yatay Düzlem	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	5.Senaryo	6.Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	*BEYK*	AYDN, *BEYK, ISTN, TUZL*
	Yatay Düzlem	*TERK*	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *TUZL*
Karesel Model	Düşey Doğrultu	-	-
	Yatay Düzlem	AYDN, ERBD *BEYK, TERK*	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *ISTN*

Tablo A.10 ISTA dayalı yatay düzlemde küçük ve büyük genlikli hız ve ivmenin yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Karesel Hareket	
		Yatay Düzlem	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	7. Senaryo	8. Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	*BEYK*	-
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *TERK, TUZL*
Karesel Model	Düşey Doğrultu	*BEYK*	-
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL, *BEYK*	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *ISTN, TUZL*

Tablo A.11 ISTA dayalı yatay düzlemde küçük ve büyük genlikli hızın yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Doğrusal Hareket	
		Yatay Düzlem & Düşey Doğrultu	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	9	10
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	-	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	ARBY, UZEL
Karesel Model	Düşey Doğrultu	-	-
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL	-

Tablo A.12 ISTA dayalı yatay düzlemde küçük ve büyük genlikli hız ve ivmenin yüklendiği senaryolara ait parametre anlamlılık sonuçları

		Karesel Hareket	
		Yatay Düzlem & Düşey Doğrultu	
Kestirilen Model	Yer değiştirme doğrultusu	11. Senaryo	12. Senaryo
Doğrusal Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *BEYK*	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *BEYK*
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *TUZL*	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL
Karesel Model	Düşey Doğrultu	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *BEYK*	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *BEYK*
	Yatay Düzlem	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *TUZL*	ARBY, AYDN, ERBD, UZEL *ISTN, TERK, TUZL*

B
GPS Simülasyon Ağında OBO ve EKK Yayma Etkisi

Tablo B.1 Doğrusal hareket için m=1 iken tümdengelim modelinden kestirilen hız parametresine ait OBO

	Analiz Sonucu Anlamlı Bulunan Nokta Sayısı				
Test Yöntemi	**OBO**	**1**	**2**	**≥3**	**0**
$\bar{v}_v$	36.40	0	23.01	31.86	0
$\bar{v}_v$	35.37				

Tablo B.2 Doğrusal hareket için m=1 iken tümdengelim modelinden kestirilen hız parametresine ait OBO

	Analiz Sonucu Anlamlı Bulunan Nokta Sayısı				
Test Yöntemi	**OBO**	**1**	**2**	**≥3**	**0**
$\bar{v}_p$	51.62	0	23.18	22.18	0
$\bar{v}_p$	49.68				

Kaynakça

Acar, M., Ozludemir, M. T., Erol, S., Celik, R. N., & Ayan, T. (2008). Kinematic landslide monitoring with Kalman filtering. *Natural Hazards and Earth System Science*, *8*(2), 213-221.

Ayan, T. (1992). Uyuşumsuz ölçüler testi. *Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi*, *72*, 38-46.

Aydin, C., Arslan, N., & Demirel, H. (2004). Deformasyon Analizinde Duyarlık. *HKMO Dergisi*, *90*, 12-18.

Baarda, W. (1973). S-transformations and criterion matrices. *Netherlands geodetic commission.*

Baarda, W. (1968). A Testing Procedure For Use in Geodetic Networks, vol. 2, No. 5. *Netherlands Geodetic Commission, Delft*.

Betti, B., Biagi, L., Crespi, M., & Riguzzi, F. (1999). GPS sensitivity analysis applied to non-permanent deformation control networks. *Journal of Geodesy*, *73*(3), 158-167.

Cai, J., Wang, J., Wu, J., Hu, C., Grafarend, E., & Chen, J. (2008). Horizontal deformation rate analysis based on multiepoch GPS measurements in Shanghai. *Journal of Surveying Engineering*, *134*(4), 132-137.

Caspary, W. (1988). A robust approach to estimating deformation parameters. In *Proc. of the 5th Canadian Symp. on Mining Surveying and Rock Deformation Measurements* (pp. 124-135). Dept. of Surveying Engineering Univ. of New Brunswick, Fredericton, NB.

Caspary, W. F., Haen, W., & Borutta, H. (1990). Deformation analysis by statistical methods. *Technometrics*, *32*(1), 49-57.

Chen, Y. Q., & Chrzanowski, A. (1994). An approach to separability of deformation models. *ZfV*, *2*, 96-103.

Cooper, M. A. R. (1987). *Control surveys in civil engineering*. Nichols Pub Co.

Dach, R., Lutz, S., Walser, P., & Fridez, P. (2015). Bernese GNSS Software version 5.2. User manual, Astronomical Institute. *Bern: University of Bern, Bern Open Publishing. https://doi. org/10.7892/boris*, *72297*.

Demirel, H. (1987). S Transformasyonu ve Deformasyon Analizi, Türkiye 1. *Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, *593*, 608.

Demirel, H., (2003). Dengeleme Hesabı, YTÜ Lisans Ders Notları, İstanbul.

Doğan, U., Ergintav, S., Demirel, H., Çakmak, R., & Özener, H. (2003). Estimation of the time-dependent crustal movements of the Izmit Earthquake. Journal of Geodynamics, 36(5), 615-632.

Duchnowski, R. (2011). Robustness of strategy for testing levelling mark stability based on rank tests. *Survey Review*, *43*(323), 687-699.

Duchnowski, R., & Wiśniewski, Z. (2014). Comparison of two unconventional methods of estimation applied to determine network point displacement. *Survey review*, *46*(339), 401-405.

Durdag, U. M., Hekimoglu, S., & Erdogan, B. (2018). Reliability of models in kinematic deformation analysis. *Journal of surveying engineering*, *144*(3), 04018004.

Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., & Mader, G. L. (2001). Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration. *Journal of geodesy*, *75*(12), 633-640.

Erdoğan, B. (2011). Deformasyon analizi güvenilirliğinin farklı yöntemler için araştırılması. Fen Bilimleri Enstitüsü Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Erdogan, B., Hekimoglu, S., Durdag, U. M., & Ocalan, T. (2019). Empirical estimation of the power of test in outlier detection problem. *Studia Geophysica et Geodaetica*, *63*(1), 55-70.

Erdogan, B., Hekimoglu, S., & Durdag, U. M. (2017). Theoretical and empirical minimum detectable displacements for deformation networks. *FIG Working Week 2017 Surveying the world of tomorrow–From digitalisation to augmented reality*.

Erdogan, B. (2014). An outlier detection method in geodetic networks based on the original observations. *Boletim de Ciências Geodésicas*, *20*(3), 578-589.

Erdogan, B., & Hekimoglu, S. (2014). Effect of subnetwork configuration design on deformation analysis. *Survey review*, *46*(335), 142-148.

Even-Tzur, G. (2006). Datum definition and its influence on the reliability of geodetic networks. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, *131*(2), 87-95.

Ghitau, D. (1970). *Modellbildung und Rechenpraxis bei der Nivellitischen bestimmung säkularerLandhebungen*. Universität, Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät.

Hampel, F. R., Ronchetti, E. M., Rousseeuw, P. J., & Stahel, W. A. (1986). *Robust statistics* (pp. 29-30). New York: Wiley.

Hekimoğlu, Ş., Demirel, H., & Aydın, C. (2002). Reliability of the conventional deformation analysis methods for vertical networks.

Hekimoğlu, Ş., & Koch, K. R. (1999). How can reliability of the robust methods be measured. *Proceedings of the Third Turkish-German Joint Geodetic Days, Istanbul*, 179-196.

Hekimoğlu, Ş., Erdoğan, B., & Butterworth, S. (2010). Increasing the efficacy of the conventional deformation analysis methods: alternative strategy. *Journal of Surveying Engineering*, *136*(2), 53-62.

Hekimoğlu, Ş., Erdoğan, B., Soycan, M., & Durdağ, U. M. (2014). Univariate approach for detecting outliers in geodetic networks. *Journal of surveying engineering*, *140*(2), 04014006.

Heunecke, O. (1995). *Zur Identifikation und Verifikation von Deformationsprozessen mittels adaptiver KALMAN-Filterung:(Hannoversches Filter)* (Doctoral dissertation, Fachrichtung Vermessungswesen der Univ.).

Holdahl, S. R. (1975). Models and strategies for computing vertical crustal movements in the United States. *IUGG-Generalversammlung, Grenoble*.

Kamiński, W., & Nowel, K. (2013). Local variance factors in deformation analysis of non-homogenous monitoring networks. *Survey Review*, *45*(328), 44-50.

Kashani, I., Wielgosz, P., & Grejner-Brzezinska, D. A. (2004). On the reliability of the VCV Matrix: A case study based on GAMIT and Bernese GPS Software. GPS Solutions, 8(4), 193-199.

Kenner, S. J., & Segall, P. (2000). Postseismic deformation following the 1906 San Francisco earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *105*(B6), 13195-13209.

Koch, K. R. (1985). Ein statistisches auswerteverfahren für deformationsmessungen. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, *92*(3), 97-108.

Koch, K. R. (1999). *Parameter estimation and hypothesis testing in linear models*. Springer Science & Business Media.

Kuang, S. (1991). *Optimization and Design of Deformation Schemes*. Technical Report 157. New Brunswick, Canada, University of New Brunswick, 179p.

Kutterer, H. (1998). Quality aspects of a GPS reference network in Antarctica–a simulation study. *Journal of Geodesy*, *72*(2), 51-63.

Liu, Q. (1998). Time-dependent models of vertical crustal deformation from GPS-leveling data. *Surveying and Land Information Systems*, *58*(1), 5-12.

Mälzer, H., Schmitt, G., & Zippelt, K. (1979). Recent vertical movements and their determination in the Rhenish Massif. In *Developments in Geotectonics* (Vol. 13, pp. 167-176). Elsevier.

Mälzer, H., Hein, G., & Zippelt, K. (1983). Height changes in the Rhenish Massif: determination and analysis. In *Plateau Uplift*(pp. 164-176). Springer, Berlin, Heidelberg.

Moon, P., & Spencer, D. E. (1988). Rectangular Coordinates (x, y, z). Field Theory Handbook, Including Coordinate Systems. Differential Equations, and Their Solutions, 9-11.

MPS Abkant Pres Lineer Enkoder. (t.y.). *Opkon/Urunler/Manyetik-Lineer-Enkoder* sekmesi altında. Erişim adresi http://www.opkon.com.tr/Content/Upload/Urun/Dosya/MPS_28052018.pdf, Erişim Tarihi: 23.05.2019

Niemeier, W. (1982). Principal component analysis and geodetic networks-some basic considerations. In *Proc. of the meeting of FIG study group 5B*.

Niemeier, W. (1985). Deformationsanalyse. *Geodätische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung II, Kontaktstudium, ed. H. Pelzer, Wittwer, Stuttgart*.

Nowel, K., & Kamiński, W. (2014). Robust estimation of deformation from observation differences for free control networks. *Journal of geodesy*, *88*(8), 749-764.

Nowel, K. (2016). Investigating efficacy of robust M-estimation of deformation from observation differences. *Survey review*, *48*(346), 21-30.

Öztürk, E., Konak, H., & Atasoy, V. (2006). Deprem bölgelerinde yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi. Harita Dergisi, 135, 52-63.

Pelzer, H. (1971). Zur Analyse geodatischer Deformations-messungen. *Munchen, Verlag der Bayer. Akad. d. Wiss; Munchen, Beck [in Komm.] 1971.*, *164*.

Pelzer, H. (1985). Statische, kinematische und dynamische Punktfelder. *Vortrage des Kontaktstudiums, Geodatische Netze in Landesund Ingenieuvermessung II, Hannover*, 225-262.

Pelzer, H. (1986, September). Application of kalman-and wiener-filtering on the determination of vertical movements. In *The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements in Western Europa, Hannover, Determinarion of Heights and Height Changes* (pp. 539-555).

Pelzer, H. (1987). Deformationsuntersuchungen auf der Basis Kinematischer Bewegungungsmodelle. *AVN*, *94*(2), 49-62.

Pope, A. J. (1976). *The statistics of residuals and the detection of outliers* (No. NOS-65-NGS-1).

Santos, M. C., Vaníček, P., & Langley, R. B. (1997). Effect of mathematical correlation on GPS network computation. Journal of surveying engineering, 123(3), 101-112.

Schaffrin, B. (1986). New estimation/prediction techniques for the determination of crustal deformations in the presence of prior geophysical information. *Tectonophysics*, *130*(1-4), 361-367.

Schaffrin, B., & Bock, Y. (1994). Geodetic deformation analysis based on robust inverse theory. *Manuscripta Geodaetica*, *19*(1), 31-44.

Shahar, L., & Even-Tzur, G. (2014). Definition of dynamic datum for deformation monitoring: carmel fault environs as a case study. *Journal of Surveying Engineering*, *140*(2), 04014002.

Snow, K., & Schaffrin, B. (2007). GPS-network analysis with BLIMPBE: An alternative to least-squares adjustment for better bias control. *Journal of Surveying Engineering*, *133*(3), 114-122.

Teunissen, P. J. G. (2018). Distributional theory for the DIA method. *Journal of geodesy*, *92*(1), 59-80.

Velsink, H. (2015). On the deformation analysis of point fields. *Journal of Geodesy*, *89*(11), 1071-1087.

Welsch, W., & Heunecke, O. (2001). Models and terminology for the analysis of geodetic monitoring observations. *Official report of the ad-hoc committee of FIG working group*, *6*, 390-412.

Wiśniewski, Z. (2014). M-estimation with probabilistic models of geodetic observations. *Journal of Geodesy*, *88*(10), 941-957.

Wolf, H. (1975). Ausgleichungsrechnung. Formeln zur praktischen Anvendungen. *Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn*, 143.

Ghilani, C. D. (2017). Adjustment computations: spatial data analysis. John Wiley & Sons.

Yalçinkaya, M., & Bayrak, T. (2005). Comparison of static, kinematic and dynamic geodetic deformation models for Kutlugün landslide in northeastern Turkey. *Natural Hazards*, *34*(1), 91-110.

Yu, E., & Segall, P. (1996). Slip in the 1868 Hayward earthquake from the analysis of historical triangulation data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *101*(B7), 16101-16118.

Zaminpardaz, S., & Teunissen, P. J. G. (2019). DIA-datasnooping and identifiability. *Journal of geodesy*, *93*(1), 85-101.

Zienkiewicz, M. H. (2015). Application of M split estimation to determine control points displacements in networks with unstable reference system. *Survey review*, *47*(342), 174-180.

Zienkiewicz, M. H., Hejbudzka, K., & Dumalski, A. (2017). Multi split functional model of geodetic observations in deformation analyses of the Olsztyn Castle. *Acta Geodyn. Geomater*, *14*(2), 195-204.

Zippelt, K. (1986). Recent vertical movements in the Testnet Pfungstadt conception, application and results of the Karlsruhe approach. In *The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe* (pp. 599-617).

Tezden üretilen yayınlar

İletişim: utkandurdag@gmail.com.tr

Makale

1. Durdağ U.M., Hekimoğlu Ş., Erdoğan B., "Reliability of Models in Kinematic Deformation Analysis", JOURNAL OF SURVEYING ENGINEERING-ASCE, 144, pp.1-15, 2018

Konferans Bildirisi

1. Durdağ U.M., Erdoğan B., Öcalan T., Hekimoğlu Ş., Doğan A.H., "A case study on the accuracy of results from kinematic deformation models", EGU General Assembly 2019, Viyana, AVUSTURYA, 7-12 Nisan 2019, pp.1-1

Proje

1. Bahattin ERDOĞAN, "Kinematik Deformasyon Analiz Modelinin Doğruluğunun Doğrusal Hareket Sistemleri Yardımıyla Araştırılması", TÜBİTAK Projesi, 3001, 2018 Mart- devam ediyor, Bursiyer.