



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Yöntemi ile Deprem Kaynaklı Yüzey Dalga Hareketlerinin İzlenebilirliğinin İncelenmesi

Baris Karadeniz¹, Mert Bezcioglu¹, Cemal Özer Yiğit¹, Ahmet Anıl Dindar², İbrahim Tiryakioğlu³, Burak Akpınar⁴, Bahadır Aktuğ⁵

¹ *Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.*

² *Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.*

³ *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.*

⁴ *Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul.*

⁵ *Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara.*

1 , 2



3



4



5





TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



İÇERİK

Yüksek Zamansal Çözünürlüklü GNSS PPP

Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama Tekniği (RT-PPP)

Deney Tasarımı ve Tanımı

GNSS Parametre Ayarları ve Veri Prosesleri

Harmonik Hareket Testlerinin Sonuçları

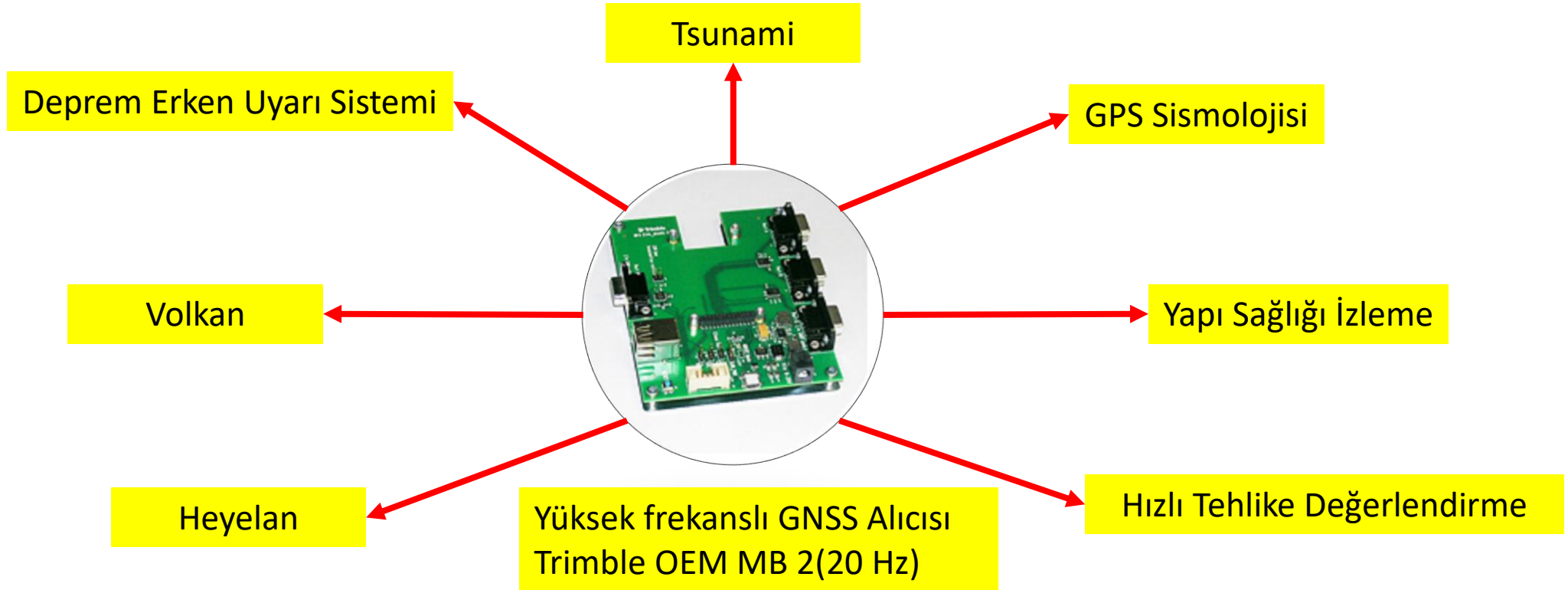
1999 Düzce Depremi ($M_w=6.9$) Simülasyonu

2020 Samos-Seferihisar ($M_w=7.0$) Depreminden Kaynaklı Yüzey Dalga Hareketleri ve Kosismik Yer Değiştirmelerin Gerçek Zamanlı Ürünlerle incelenmesi

Sonuçlar

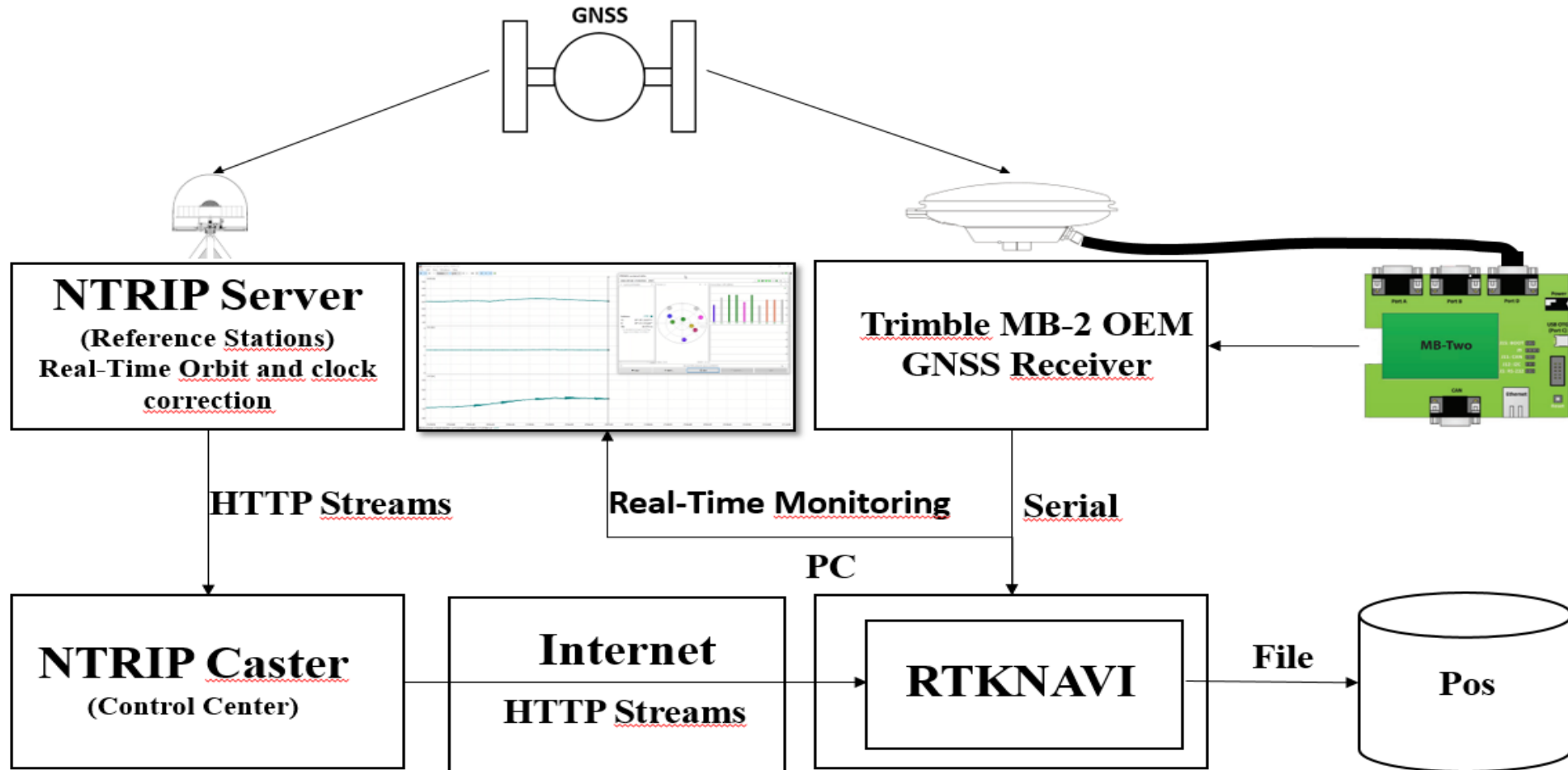


Yüksek Zamansal Çözünürlüklü GNSS-PPP





Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama Tekniği (RT-PPP)



Şekil 1. RT-PPP yönteminin şematik görünümü



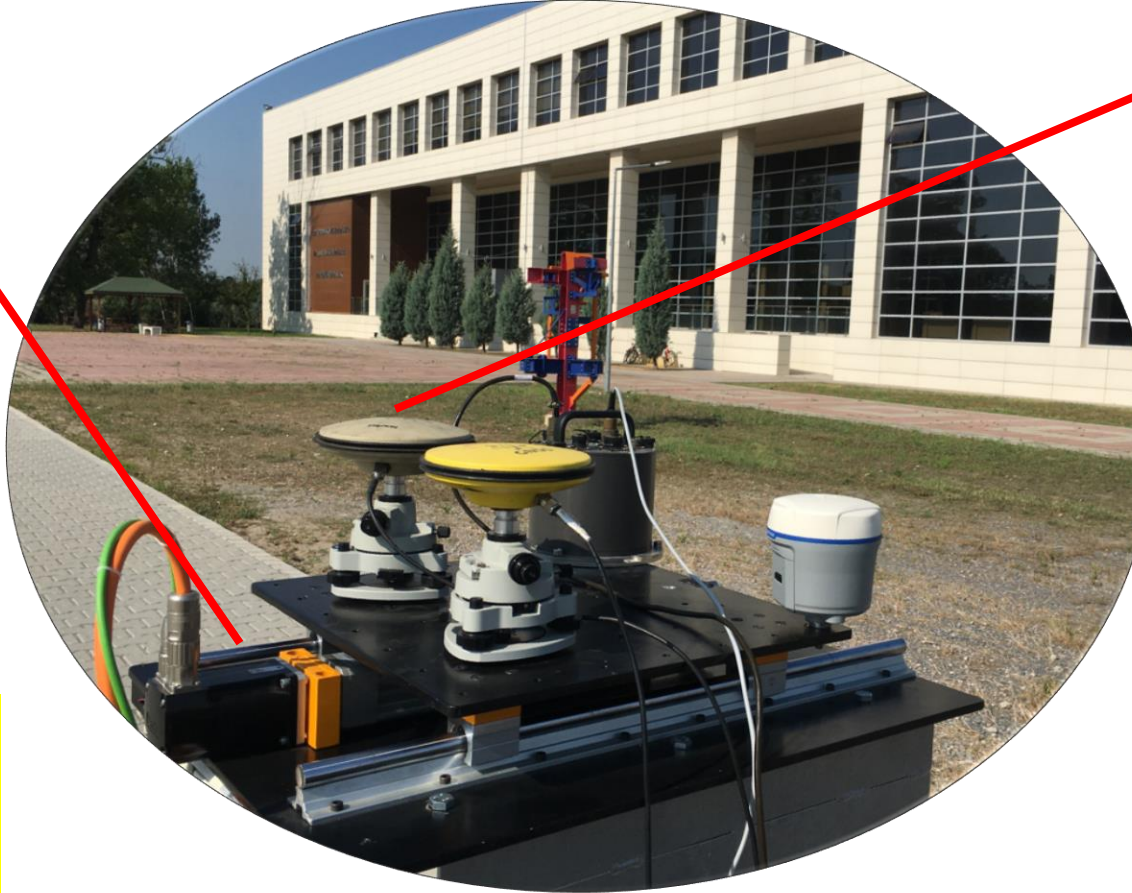
TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK) 2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI "Yapay Zekâ Çağında Jeodezi" 25-27 KASIM 2021



Deney Tasarımı ve Tanımı

LVDT SENSÖRÜ

Real-Time PPP



Bu çalışmada, 20 Hz örnekleme aralığına sahip GNSS alıcısı ile IGS-RTS'in ürettiği düzeltme ürünlerini kullanarak gerçek zamanlı hassas nokta konumlama (RT-PPP) yönteminin kısa süreli (20-60 sn) dinamik deplasmanları izleyebilme kabiliyeti, depremin yarattığı etkiyi simule edebilen ve rastgele harmonik hareketler üretebilen yatay yönlü sarsma tablasında harmonik salınımlar ve deprem yer hareketi simülasyonu yapılarak incelenmiştir.

YER: Gebze Teknik
Üniversitesi İnşaat
Mühendisliği Bölümü Binası
Ön kısmı

Şekil 2. Deneylerde kullanılan sarsma tablası, jeodezik ve geoteknik sensörler

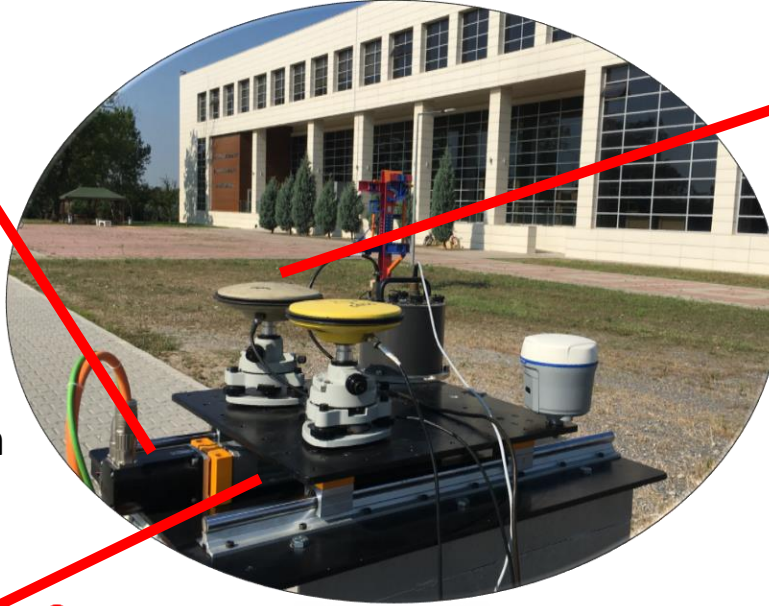


GNSS Parametre Ayarları ve Veri Prosesleri

Yatay Sarsma Tablası

Depremi yarattığı etkiyi simule edebilen ve rastgele harmonik hareketler üretebilen yatay yönlü sarsma tablasında ;

- Tek eksenli Hareket= 95 mm
- Tablanın toplam hareketi=190 mm
- Maksimum Hızı=400 mm/s'dir.



Real-Time PPP

RTS ürünü olan **IGC01** ürünün yayın akışının sağlanmasıyla elde edilen uydu yörünge ve saat düzeltmeleri ve kaydedilen ham gözlem verileri ile birlikte **Gerçek Zamanlı PPP** çözüm yapılmıştır. Ayrıca deneylerden sonra kaydedilen ham veriler **IGS-FINAL** ürünleri kullanılarak **PP-PPP** tekniğiyle değerlendirilmiştir. RT-PPP ve PP-PPP çözümü yapılırken **RTKLİB_demo5_34a** yazılımının RT-PPP için **rtknavi**, PP-PPP için **rtkpost** uygulaması kullanılmıştır.

LVDT SENSÖRÜ

Doğrusal yer değiştirmeyi ölçmek ve nispeten kısa mesafelerde konumlandırmak için kullanılırlar.

Real-Time PPP=İnternet+Düzeltilme(IGC01)



GNSS Parametre Ayarları ve Veri Prosesleri

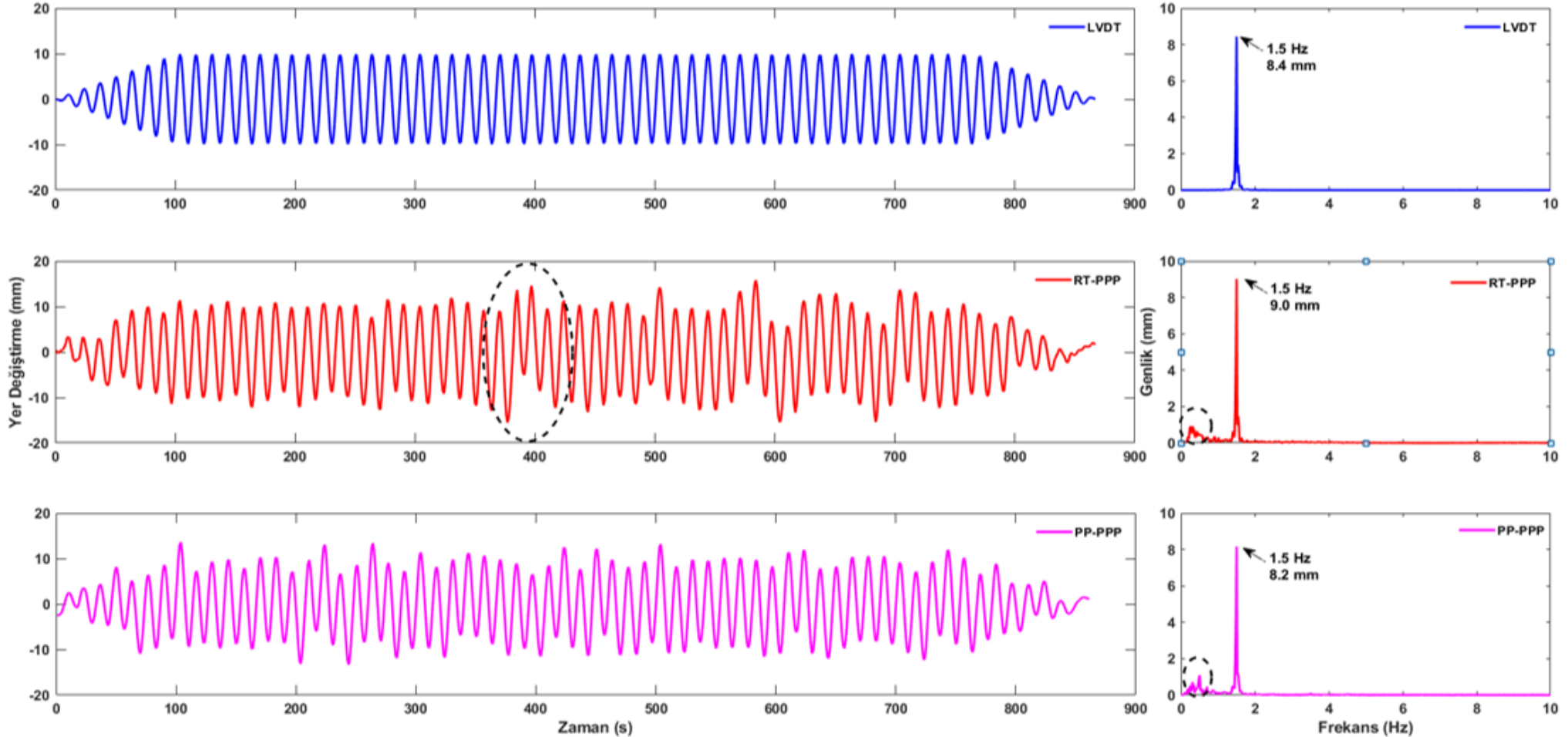
- Simülasyonu yapılan Düzce (1999) depremine ait deprem yer hareketlerini incelemek için **IGS-FINAL** ürünleri kullanılarak PP-PPP tekniği ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar LVDT sensör referans alınarak RT-PPP tekniği ile kıyaslanmıştır.
- Ayrıca 30 Ekim 2020' de meydana gelen **Mw=7.0** büyüklüğündeki **Samos-Seferihisar** depremi yer hareketleri, 1 Hz örneklem aralığına sahip sürekli gözlem yapan referans istasyonu olan **IZMI** noktasına ait GPS verileri gerçek zamanlı hassas uydu yörünge ve saat ürünleri kullanılarak(**MADOCA**, **CNES** ve **IGS-RTS**) gerçek zamanlı PPP yöntemiyle değerlendirilmiş ve **IGS-FINAL** ürünü kullanılarak PP-PPP tekniği ile karşılaştırılmıştır.



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



Harmonik Salınımın Sonuçları



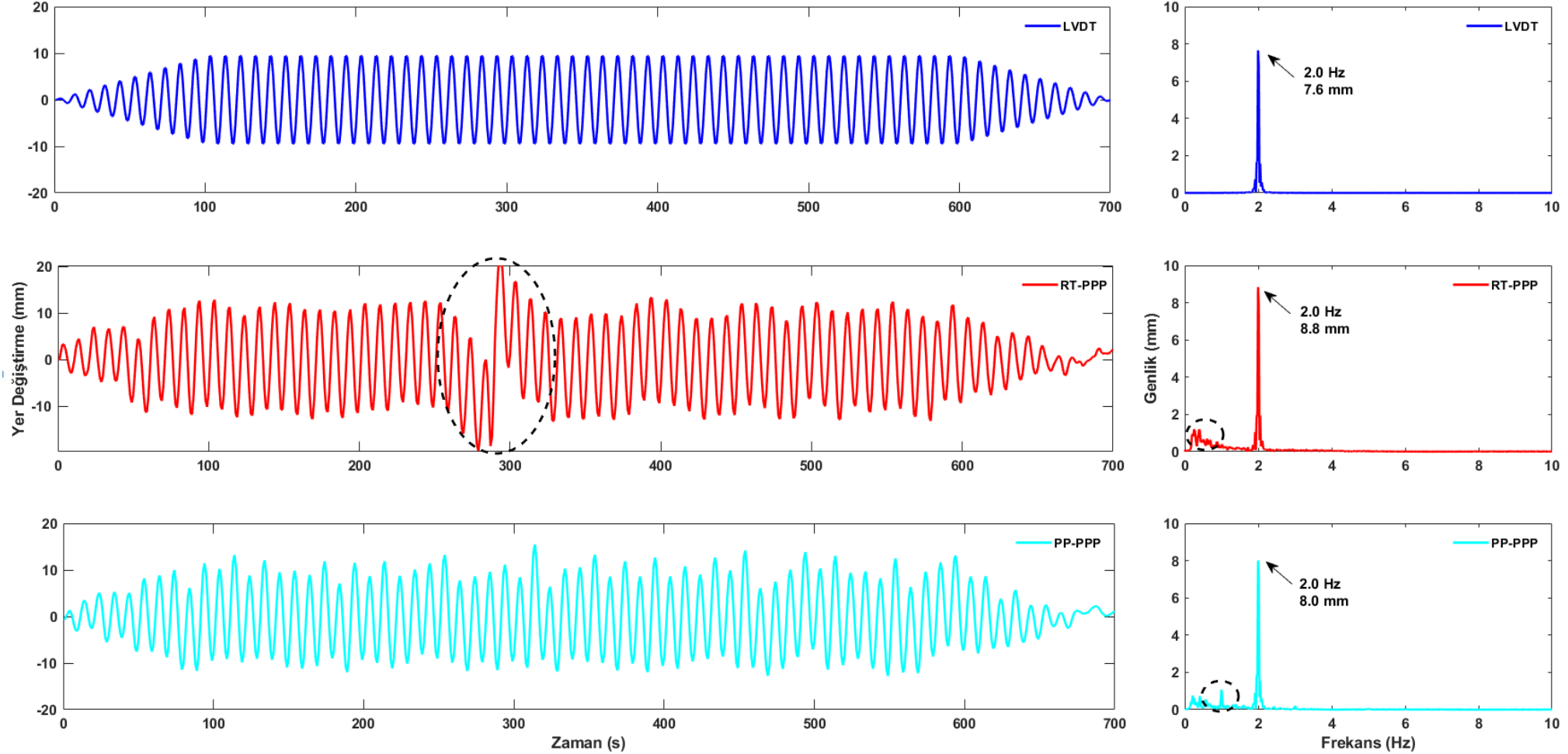
Şekil 3. Harmonik salınım sonucu LVDT, RT-PPP ve PP-PPP'den elde edilen 1. Duruma ait yer değiştirme zaman serileri ve ona karşılık gelen FFT spektrumları



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



Harmonik Salınımın Sonuçları



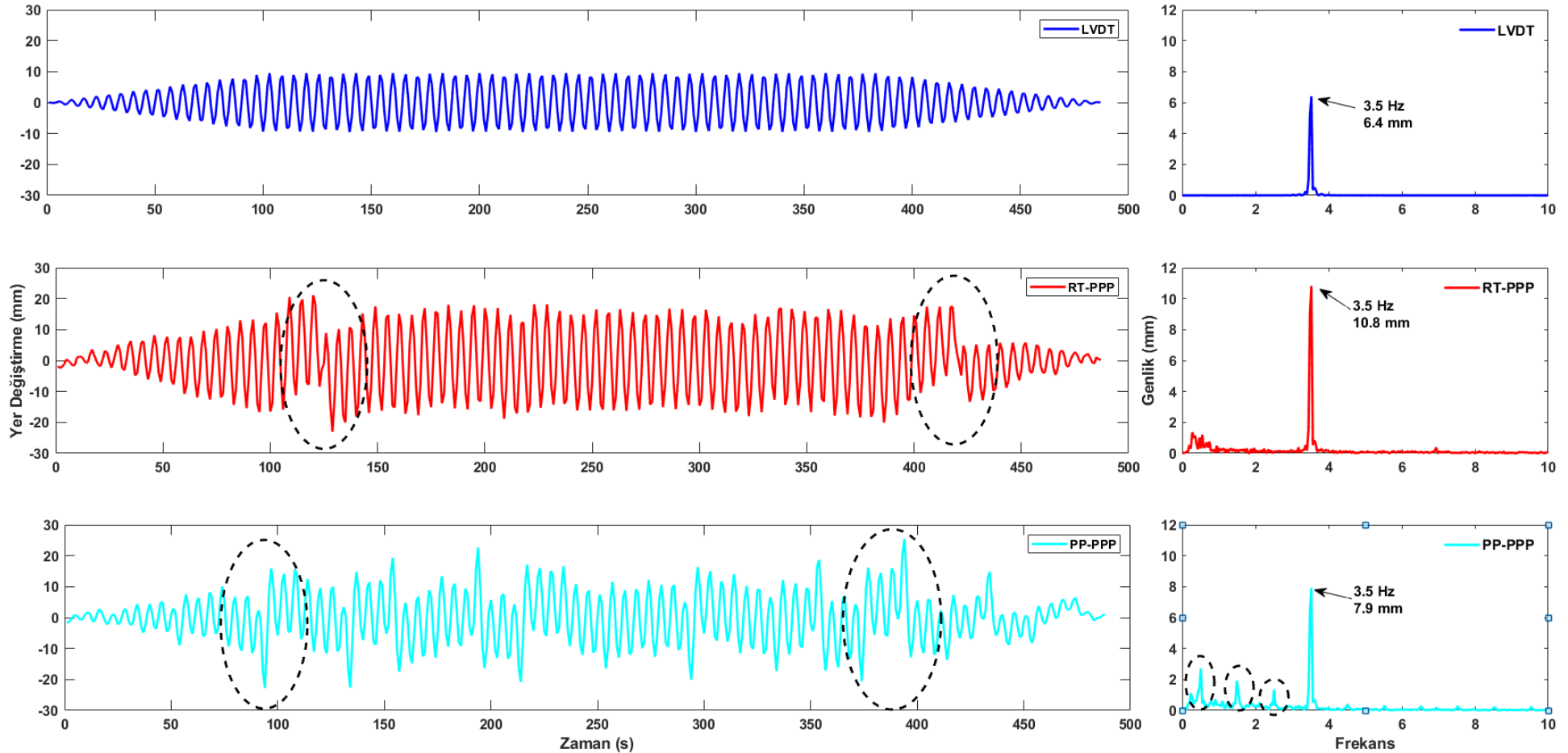
Şekil 4. Harmonik salınım sonucu LVDT, RT-PPP ve PP-PPP'den elde edilen 2. Duruma ait yer değiştirme zaman serileri ve ona karşılık gelen FFT spektrumları



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



Harmonik Salınımın Sonuçları



Şekil 5. Harmonik salınım sonucu LVDT, RT-PPP ve PP-PPP'den elde edilen 3. Duruma ait yer değiştirme zaman serileri ve ona karşılık gelen FFT spektrumları



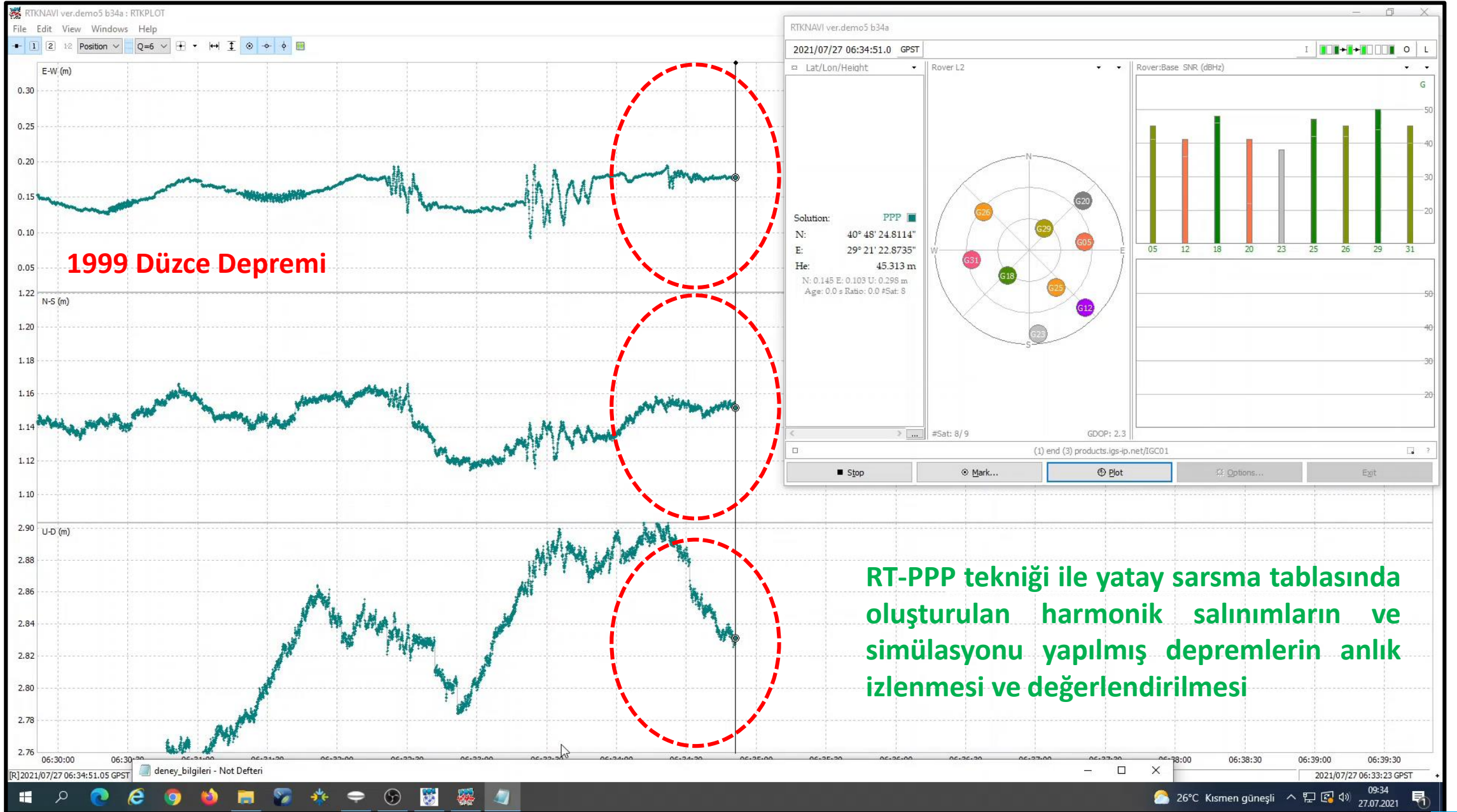
Harmonik Salınımın Sonuçları

Harmonik Salınım	RT-PP		PP-PPP	
	Frekans (Hz)	Genlik (mm)	Frekans (Hz)	Genlik (mm)
1. Durum	1.5	9	1.5	8.2
2. Durum	2	8.8	2	8
3. Durum	3.5	10.8	3.5	7.9

Tablo 1. Harmonik salınımlar sonucu RT-PPP ve PP-PPP yöntemleri ile FFT spektrumlarından elde edilen frekans ve genlik değerleri

Harmonik Salınım	RT-PPP			PP-PPP		
	KOH (mm)	Ortalama (mm)	Max. (mm)	KOH (mm)	Ortalama (mm)	Max. (mm)
1. Durum	2.2	0.0	6.2	2.2	0.0	5.6
2. Durum	2.9	0.0	12.6	2.6	0.0	6.7
3. Durum	5.5	0.0	14.4	4.5	0.0	16.2

Tablo 2. Tüm durumlar için elde edilen karesel ortalama hata, ortalama ve maksimum değerleri



RT-PPP tekniği ile yatay sarsma tablasında oluşturulan harmonik salınımların ve simülasyonu yapılmış depremlerin anlık izlenmesi ve değerlendirilmesi



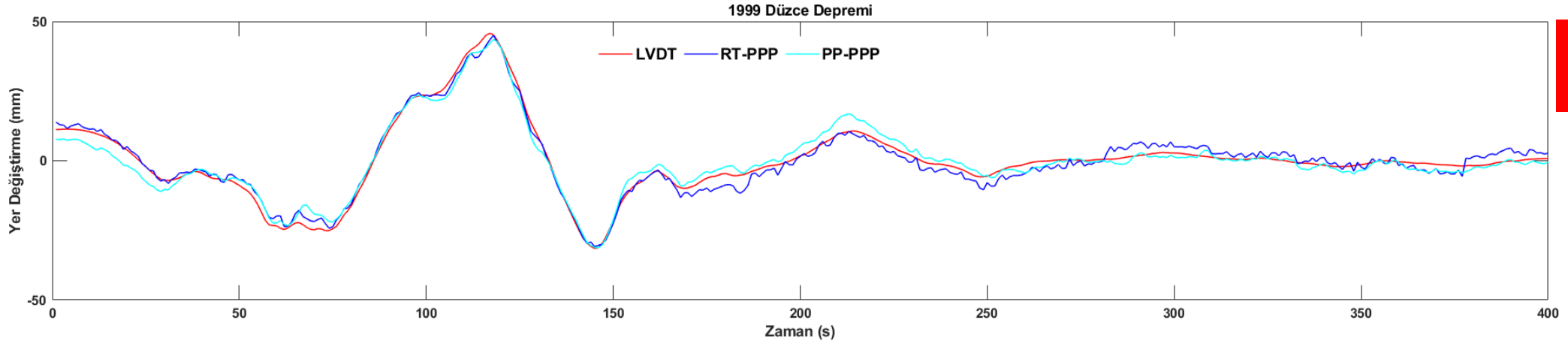
TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)

2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI

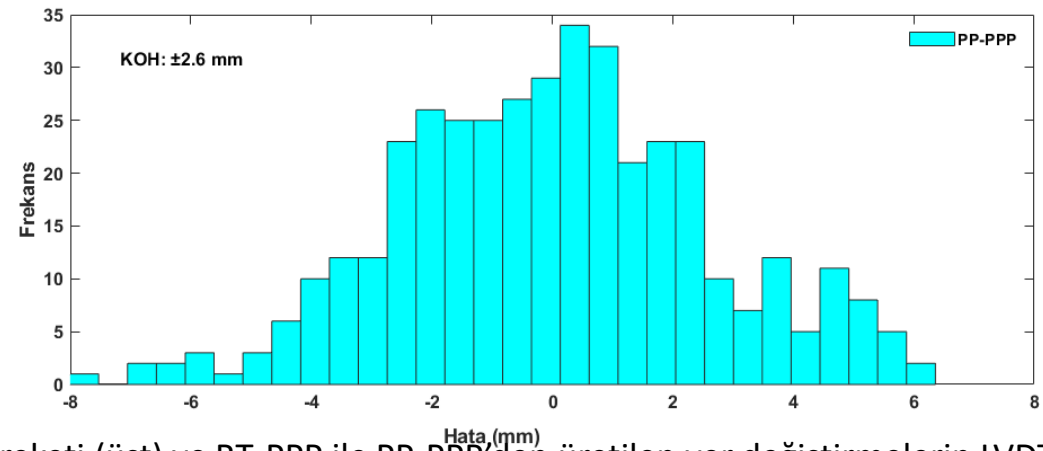
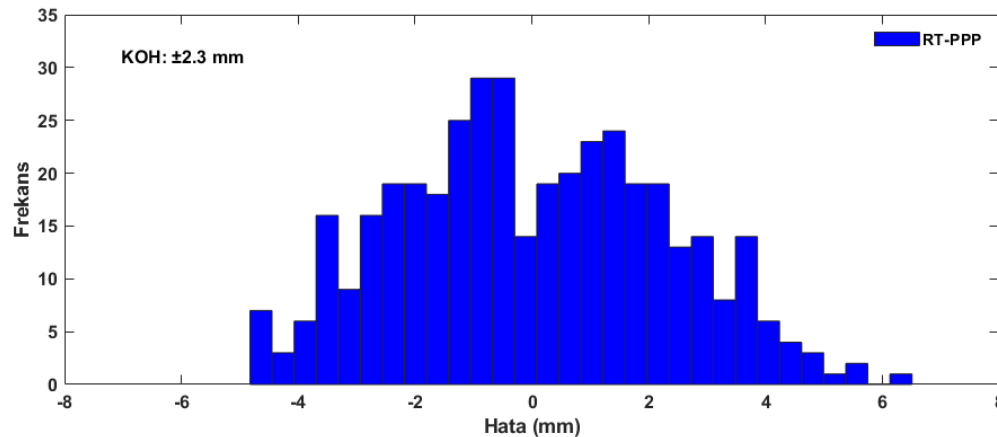
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



Simülasyonu Yapılmış Depremlerin Yüzey Dalga Hareketleri ve Kosismik Yer Değiştirmeleri



13 Temmuz 2021
UTC:12:01



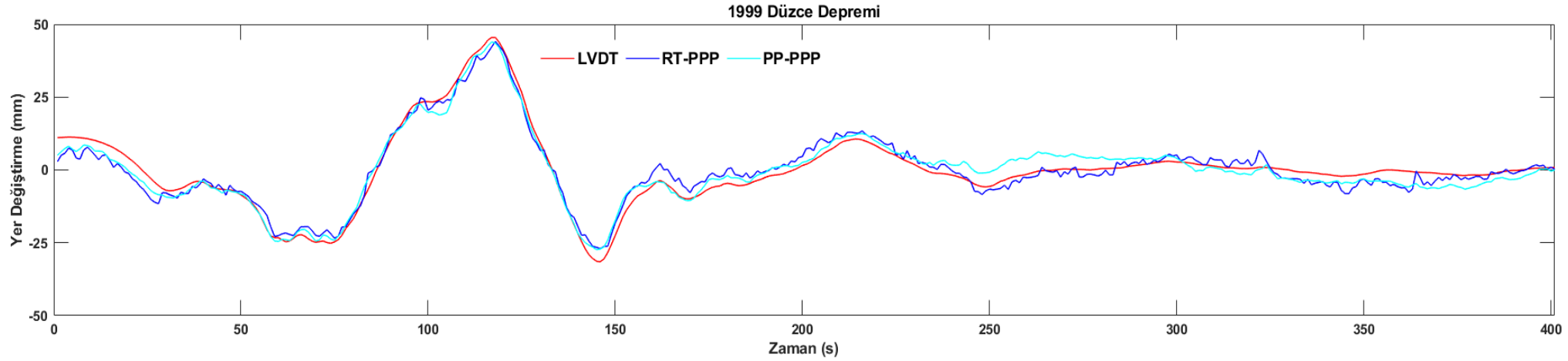
Şekil 6. 1999 Düzce depremi kaynaklı Sakarya noktasındaki yer hareketi (üst) ve RT-PPP ile PP-PPP'den üretilen yer değiştirmelerin LVDT den farklarının dağılımı ve Karesel ortalama hata değerleri



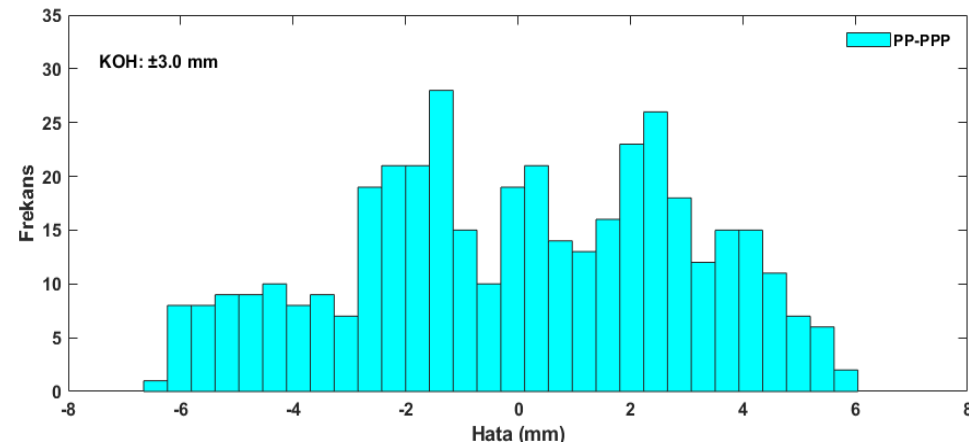
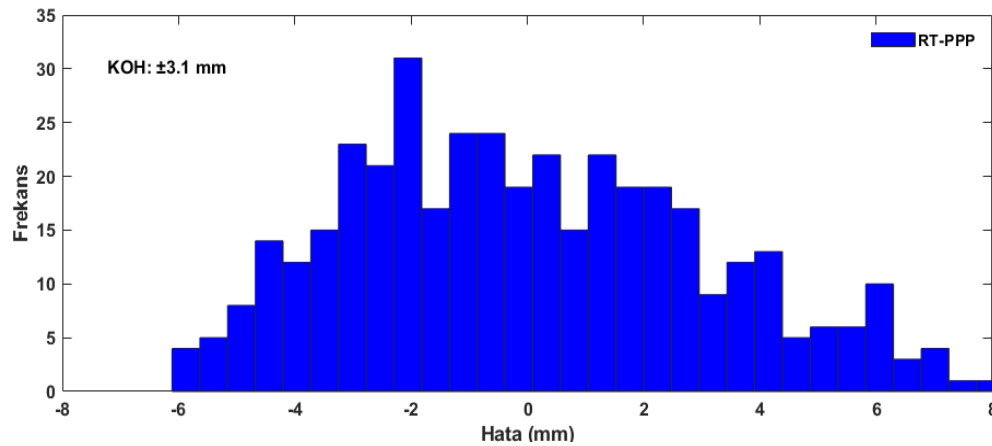
TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK) 2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI "Yapay Zekâ Çağında Jeodezi" 25-27 KASIM 2021



Simülasyonu Yapılmış Depremlerin Yüzey Dalga Hareketleri ve Kosismik Yer Değiştirmeleri



13 Temmuz 2021
UTC:13:37



Şekil 7. 13 Temmuz 2021 tarihinde yapılan deneylerde, 1999 tarihinde meydana gelen Düzce depremine ait LVDT, RT-PPP ve PP-PPP'den üretilen yer değiştirmeler ve LVDT referans alınarak diğer iki yönteme ait Karesel ortalama hata değerleri



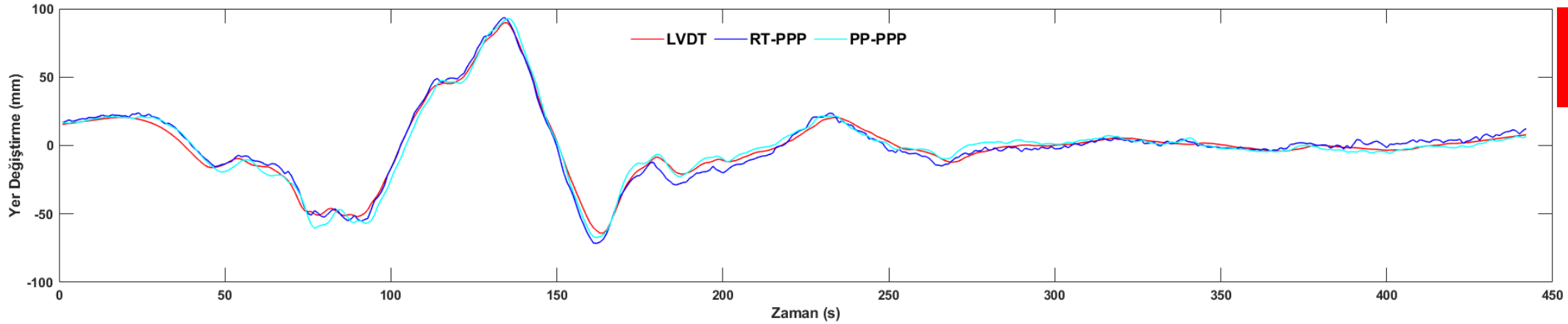
TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)

2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI

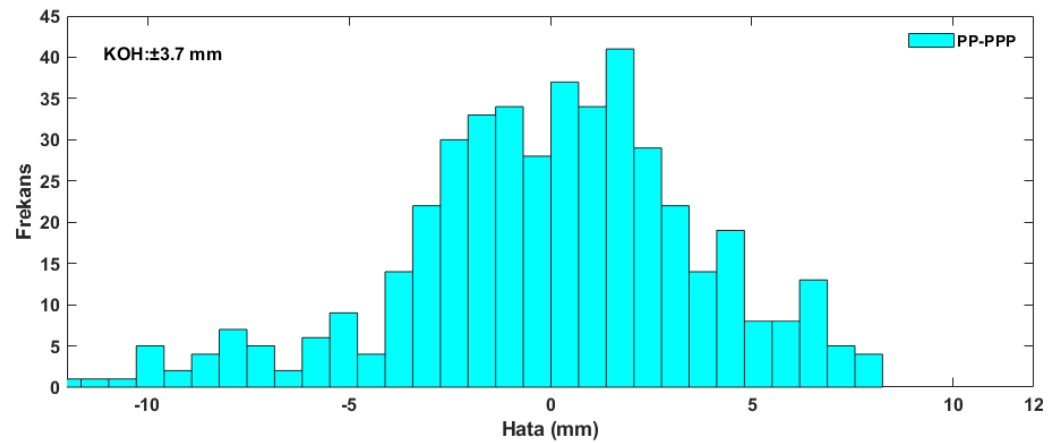
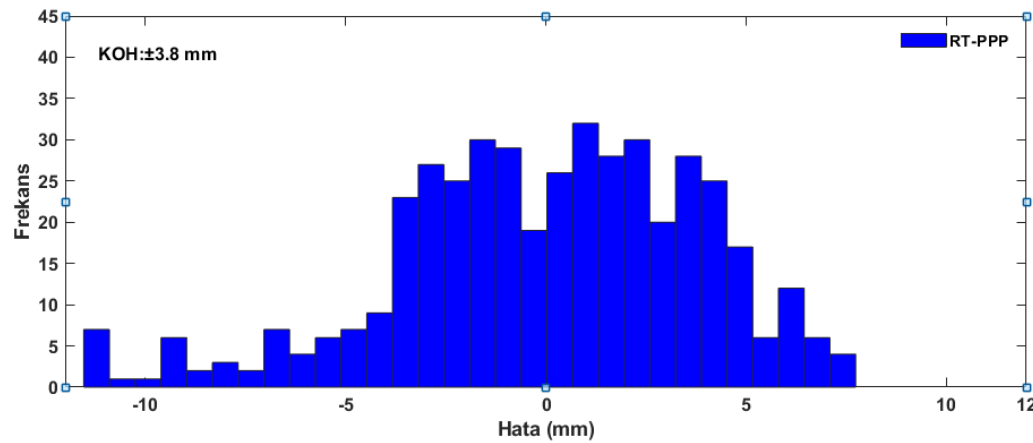
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



Simülasyonu Yapılmış Depremlerin Yüzey Dalga Hareketleri ve Kosismik Yer Değiştirmeleri



27 Temmuz 2021
UTC:05:07



Şekil 8. 27 Temmuz 2021 tarihinde yapılan deneylerde, 1999 tarihinde meydana gelen Düzce depremine ait LVDT, RT-PPP ve PP-PPP'den üretilen yer değiştirmeler ve LVDT referans alınarak diğer iki yöntemte ait Karesel ortalama hata değerleri



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)

2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI

"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



Gerçek Zamanlı Ürünlerle PPP çözümleri ve 2020 Samos-Seferihisar (Mw=7.0) Depreminden Kaynaklı Yüzey Dalga Hareketleri ve Kosismik Yer Değiştirmelerin incelenmesi



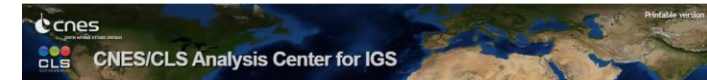
Şekil 9. Samos-Seferihisar depremine ait merkez üstü ve bu noktaya yakın istasyon noktaları

RT-PPP yöntemi için kullanılan Gerçek Zamanlı ve Sonradan Proses uydu ve saat düzeltmeleri;

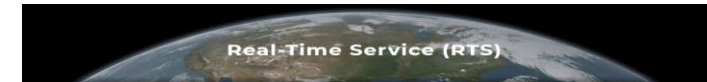
- MADOCA



- CNES



- IGS-RTS



- IGS-FINAL

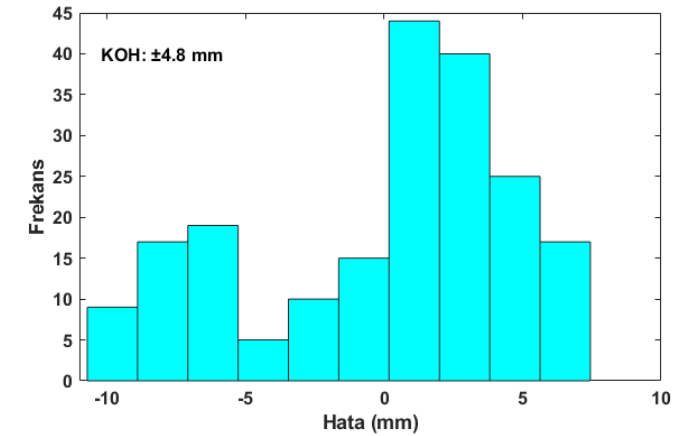
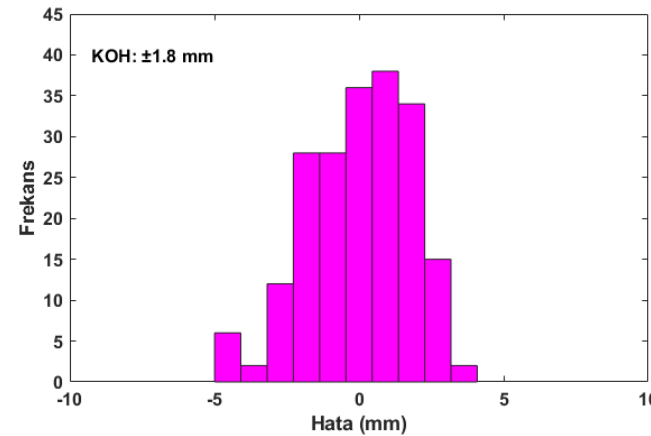
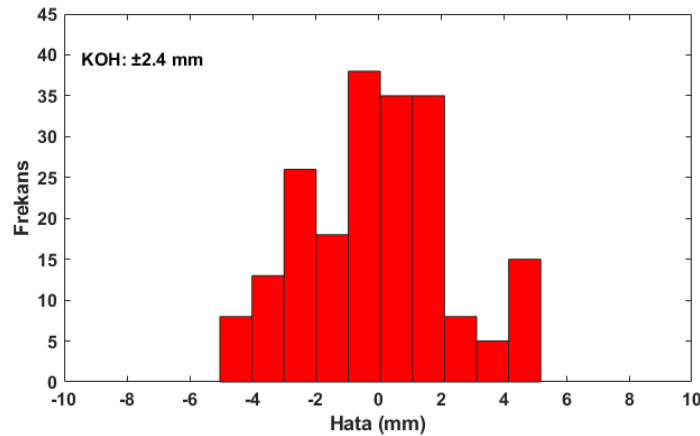
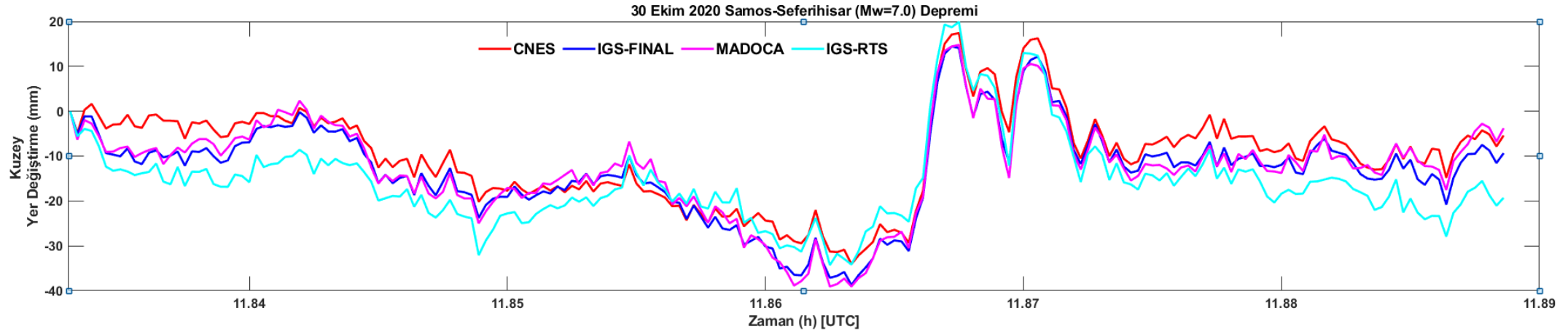




TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



2020 Samos-Seferihisar (Mw=7.0) Depreminden Kaynaklı Yüzey Dalga Hareketleri



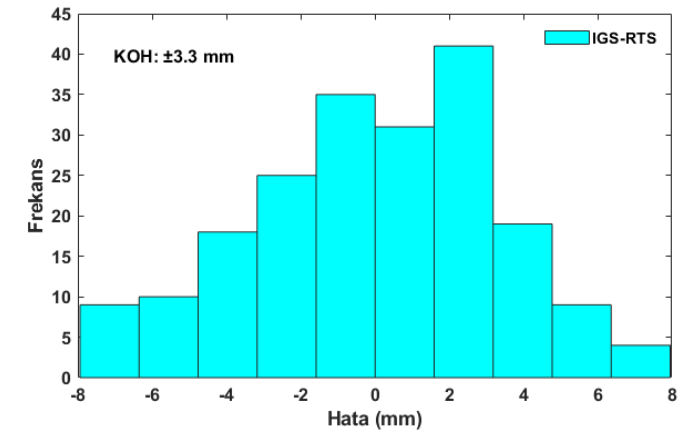
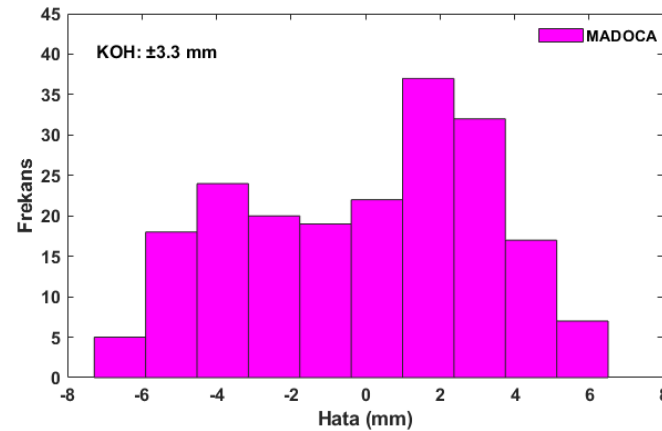
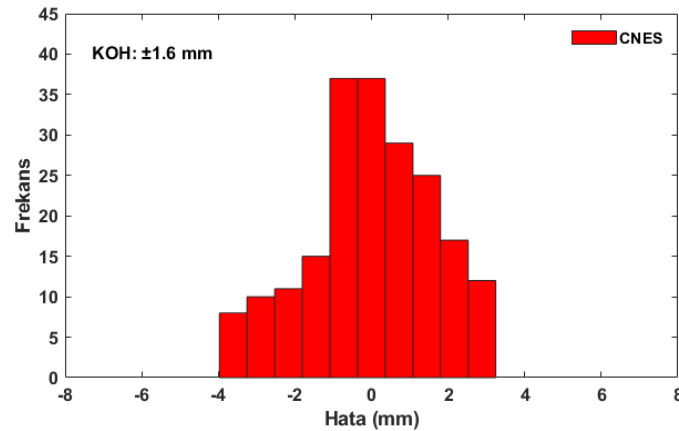
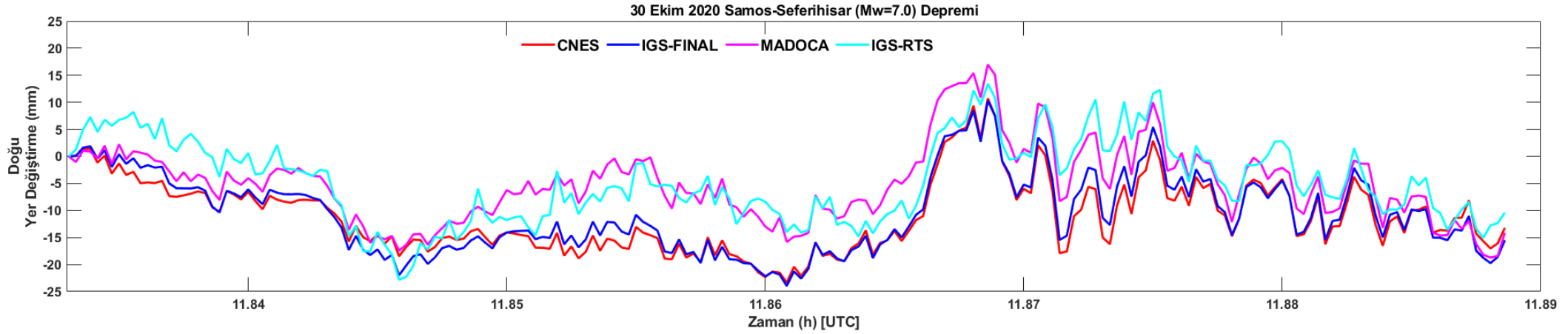
Şekil 10. İZMİ istasyonunun Kuzey bileşenine ait 4 farklı ürün kullanılarak RT-PPP(MADOCA,IGS-RTS,CNES) ve PP-PPP(IGS-FINAL) yöntemleriyle elde edilen yer değiştirme ve Karesel ortalama hata değerleri



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



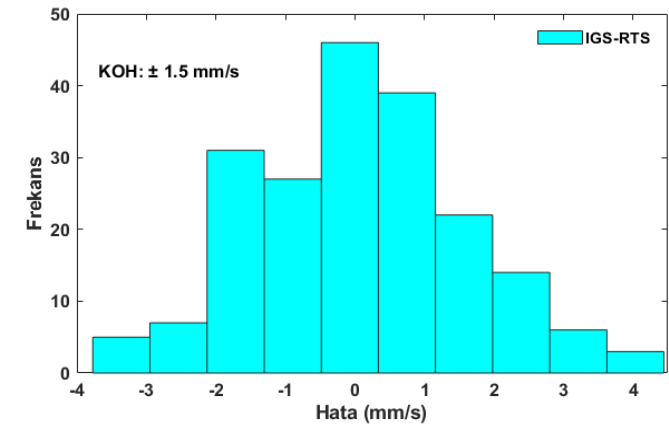
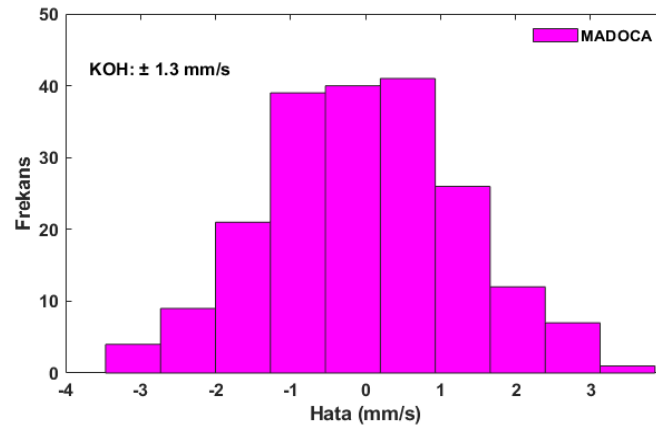
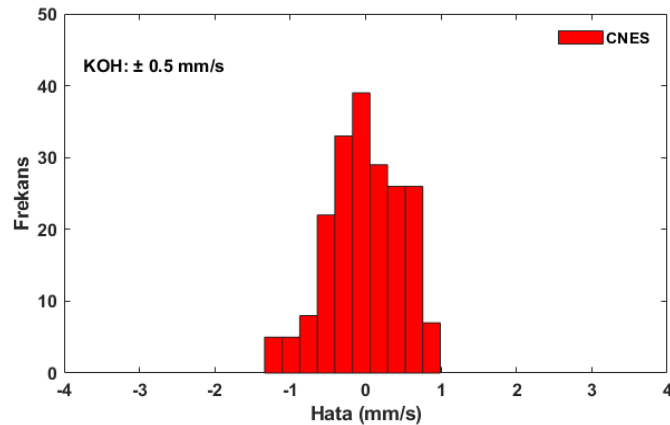
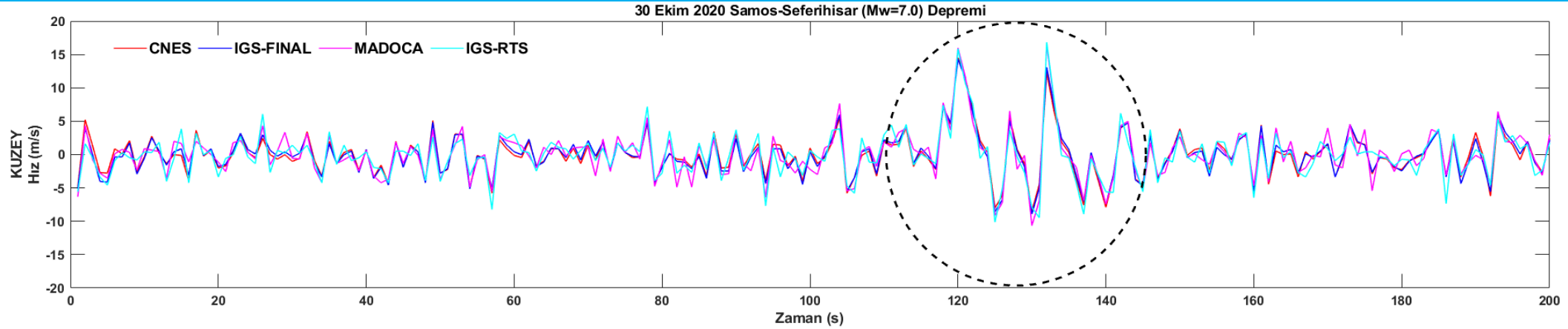
2020 Samos-Seferihisar (Mw=7.0) Depreminden Kaynaklı Yüzey Dalga Hareketleri



Şekil 11. IZMI istasyonunun Doğu bileşenine ait 4 farklı ürün kullanılarak RT-PPP(MADOCA,IGS-RTS,CNES) ve PP-PPP(IGS-FINAL) yöntemleriyle elde edilen yer değiştirme ve Karesel ortalama hata değerleri



2020 Samos-Seferihisar (Mw=7.0) Depreminden Kaynaklı Yüzey Dalga Hızları



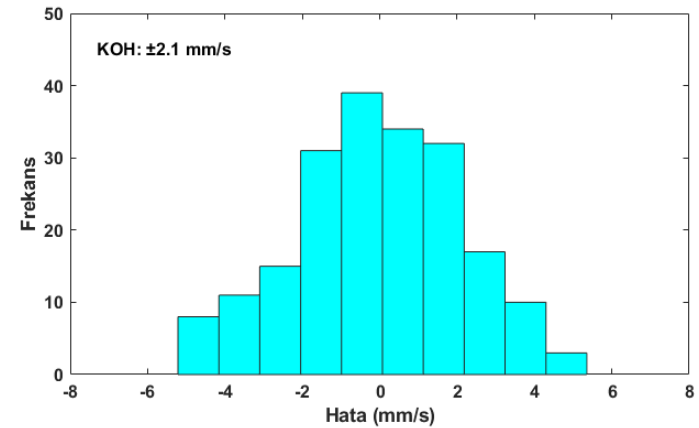
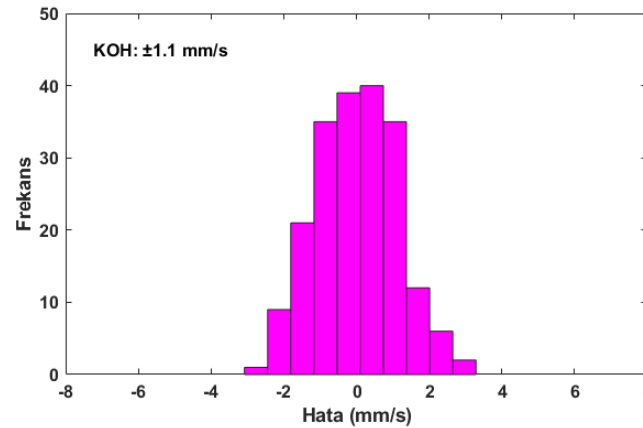
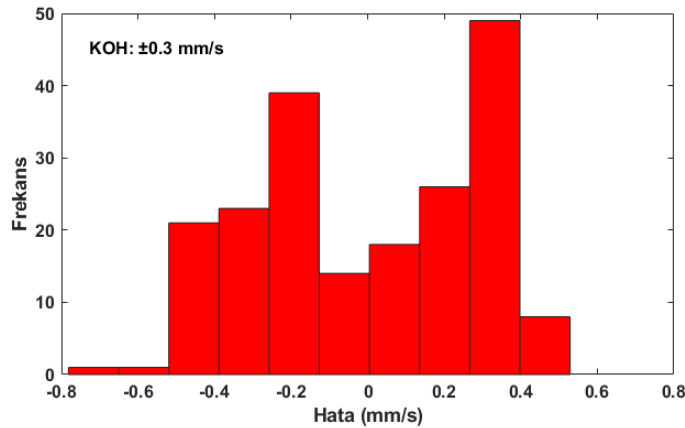
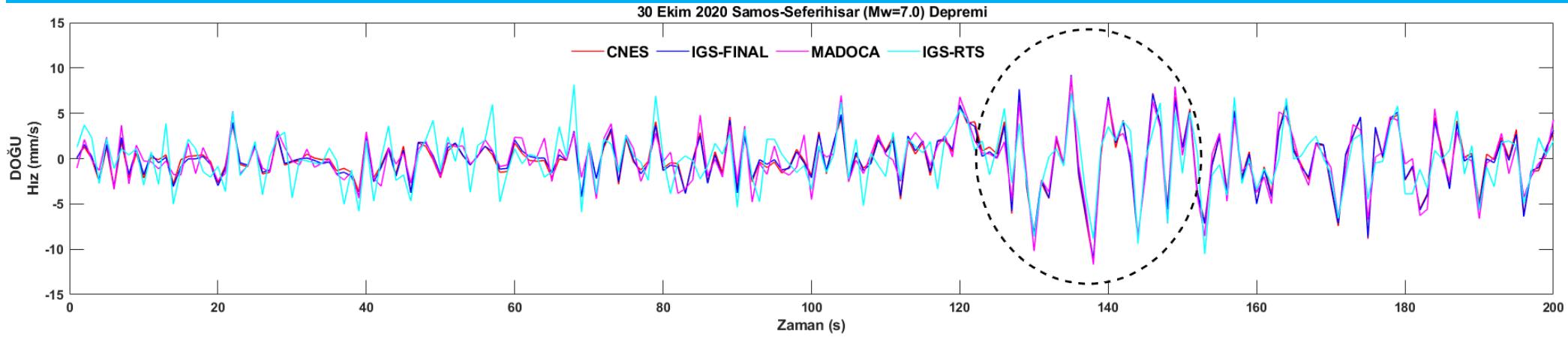
Şekil 12. IZMI istasyonunun Kuzey bileşenine ait 4 farklı ürün kullanılarak RT-PPP(MADOCA,IGS-RTS,CNES) ve PP-PPP(IGS-FINAL) yöntemleriyle elde edilen hızları ve bunlara ait Karesel ortalama hata değerleri



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



2020 Samos-Seferihisar (Mw=7.0) Depreminden Kaynaklı Yüzey Dalga Hızları



Şekil 13. İZMI istasyonunun Doğu bileşenine ait 4 farklı ürün kullanılarak RT-PPP(MADOCA,IGS-RTS,CNES) ve PP-PPP(IGS-FINAL) yöntemleriyle elde edilen hızlar ve bunlara ait karesel ortalama hata değerleri



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)
2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI
"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



Kosismik Yer Değiştirme Sonuçları

İZMİ NOKTASI	MADOCA		CNES		IGS-RTS		IGS-FINAL	
	Yer Değ. (cm)	KOH (cm)	Yer Değ. (cm)	KOH (cm)	Yer Değ. (cm)	KOH (cm)	Yer Değ. (cm)	KOH (cm)
KUZEY	3.2	0.7	3.6	0.5	4.2	0.8	3.4	0.6
DOĞU	1.9	0.8	2.9	0.4	1.0	0.7	2.8	0.6

Tablo 3. Gerçek zamanlı MADOCA, CNES, IGS-RTS ve IGS-FINAL ürünleri kullanılarak PPP yöntemi ile elde edilen kosismik yer değiştirmeler ve karesel ortalama değerleri



Sonuçlar

Gerçek Zamanlı Sarsma Tablası Deneyleri Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama Tekniği (RT-PPP):

- RT-PPP, LVDT sensörü referans alınarak ve PP-PPP karşılaştırılarak üç harmonik salınım deneyi ve 1999 yılında meydana gelen Düzce depremine dayalı olarak değerlendirilmiştir.
- Sarsma tablası deneyinde yapılan, harmonik salınım ve yüzey dalga hareketlerinin frekansının yakalanması açısından LVDT'ye göre, RT-PP ve PP-PPP çözümlerinden elde edilen sonuçların mm seviyesinde birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.
- Sonuçlara göre RT-PPP yönteminin yüksek örneklem aralığına sahip GPS gözlemlerinin anlık değerlendirilmesinde ve dinamik deplasmanların yakalanmasında etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Fakat RT-PPP'nin internet üzerinden düzeltmeleri alması hem internet bağlantısına hem de gelen düzeltmelerin akış hızına bağlı olarak RT-PPP yönteminin sonuçlarını olumsuz etkilemektedir.



Sonuçlar

Gerçek Zamanlı Ürünler ile sonradan değerlendirmeye Hassas Nokta Konumlama Tekniği (PP-PPP):

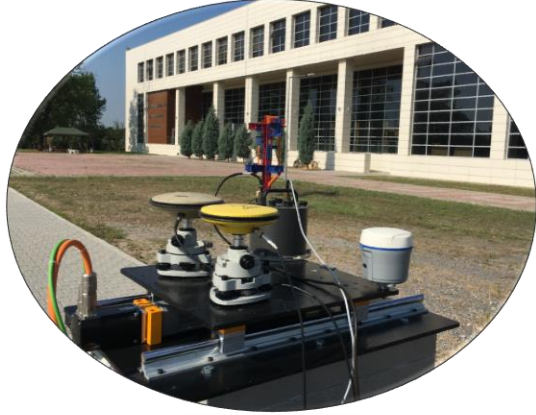
- 2020 yılında meydana gelen Samos-Seferihisar depreminin neden olduğu yer değiştirme dalga biçiminin ve sismik yüzey yer değiştirmesinin, gerçek zamanlı ürünlere (MADOCA, CNES ve IGS-RTS) dayalı PP-PPP yöntemi ile değerlendirilmiş ve IGS-FINAL ürününe dayalı PP-PPP yöntemi referans alınarak karşılaştırılmıştır.
- Sonuçlar, gerçek zamanlı hassas uydu yörünge ve saat ürünleri kullanılarak elde edilen sonuçların mm seviyesinde birbiri ile tutarlı olduğunu ayrıca yakın gerçek zamanlı PPP ile hızlı bir şekilde deprem yer hareketlerinin yakalanabileceği ve yeterli sayı/dağılımda nokta olması durumunda kinematik kosismik deformasyon değerleriyle deprem mekanizmasının hızlı bir kestirimi yapılabileceğini işaret etmiştir.



TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ KOMİSYONU (TUJK)

2021 YILI BİLİMSEL TOPLANTISI

"Yapay Zekâ Çağında Jeodezi"
25-27 KASIM 2021



BİZİ SABIRLA DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİZ...

Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konumlama (RT-PPP) Yöntemi ile Deprem Kaynaklı Yüzey Dalga Hareketlerinin İzlenebilirliğinin İncelenmesi

Baris Karadeniz¹, Mert Bezcioglu¹, Cemal Özer Yiğit¹, Ahmet Anıl Dindar², İbrahim Tiryakioğlu³, Burak Akpınar⁴, Bahadır Aktuğ⁵

¹ Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

² Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

⁴ Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

⁵ Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara.

1, 2



3



4



5

