

Astronomik Gözlemler için GPS Tabanlı Su Buharı Kestirimi

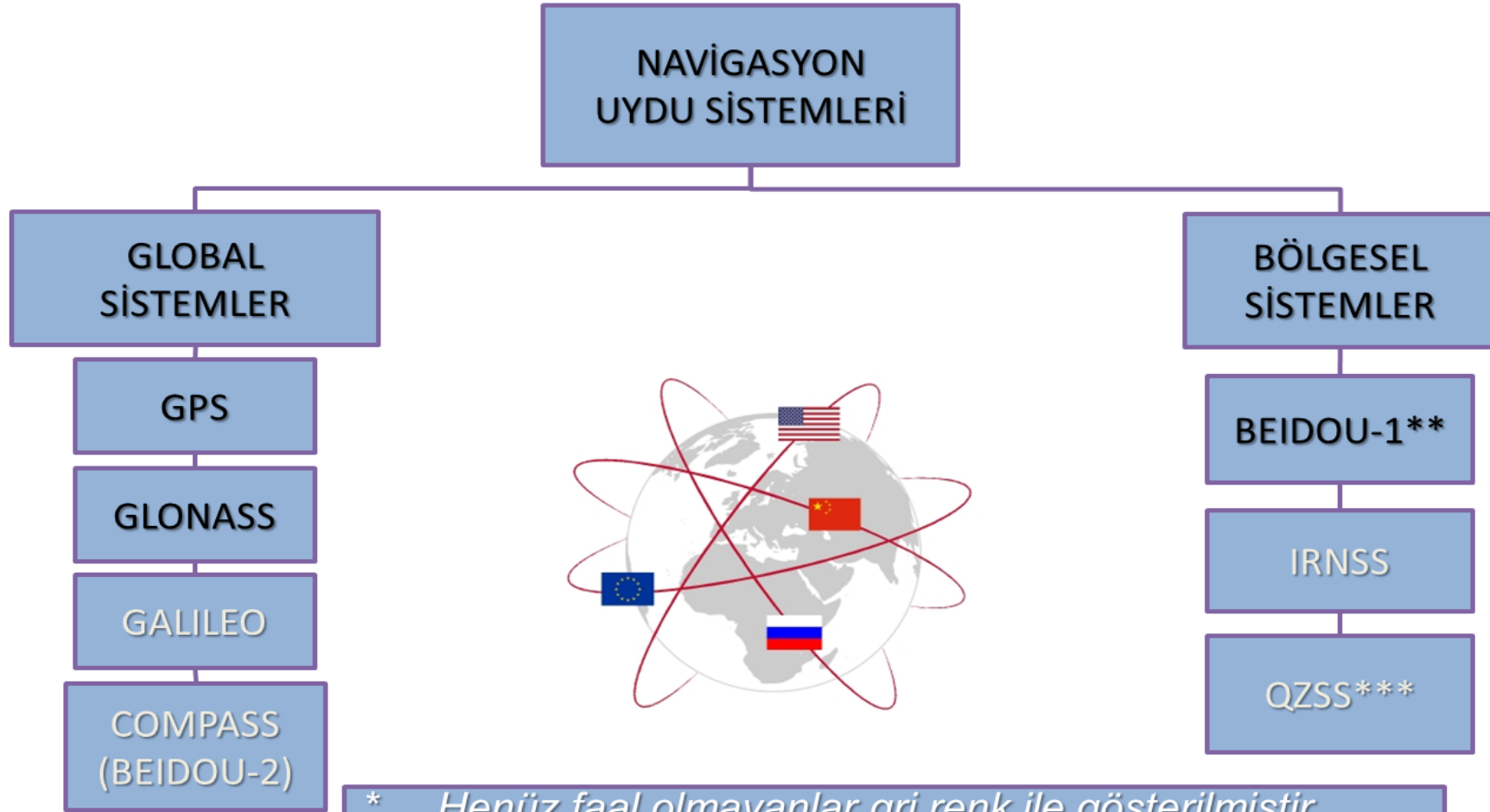
Prof.Dr. Bahadır AKTUĞ

*Ankara Üniversitesi
Jeofizik Mühendisliği Bölümü*

Giriş

- Atmosferdeki su buharı, meteorolojik yağış tahminlerinden, sinyal gecikmesine yol açması nedeniyle konumlama ve görüşü engellemesi nedeniyle de optik gözlem sistemlerine kadar birçok alanda önemli rol oynamaktadır.
- Su buharının konuma ve zamana bağlı değişiminin izlenmesi için farklı yöntemler olmakla birlikte, Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) gözlemleri herhangi bir noktaya özgü ve herhangi bir andaki su buharının yüksek duyarlıklı ve en ekonomik şekilde belirlenmesini sağlamaktadır.
- Atmosferdeki su buharının yaklaşık %75'lik bölümü atmosferin ilk üç kilometrelik kısmında bulunmaktadır. Bu nedenle, su buharının bir bölgedeki ortalama tahmin değerleri o bölgede yer alan yüksek rakımlı noktalarda doğru sonuç vermemektedir.
- Astronomik gözlem yapılan istasyonların görece olarak yüksek rakımda olması, söz konusu istasyonlara özgü olarak su buharı kestirimlerini gerekli kılmaktadır.

Global Navigasyon Uydu Sistemleri



* Henüz faal olmayanlar gri renk ile gösterilmiştir.

** Aynı zamanda iletişim sistemidir.

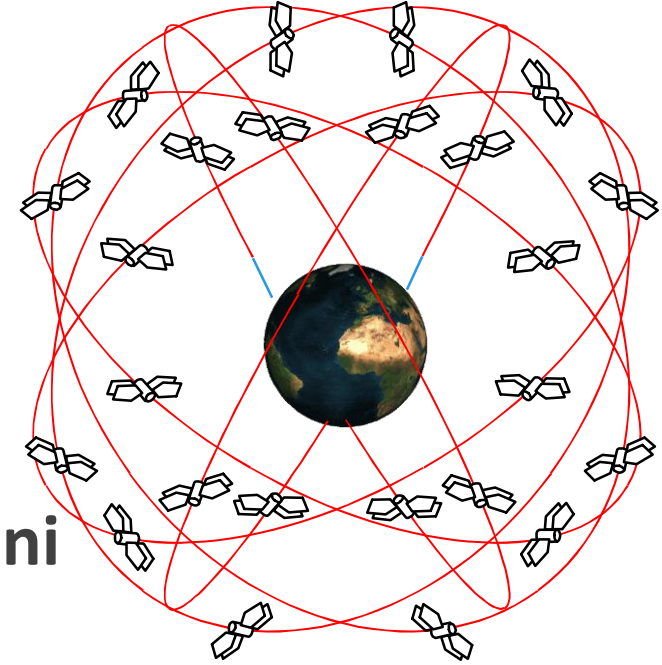
*** Bağımsız konumlama yeteneği sınırlıdır.

US Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir.

- 10 - 20 m seyrüsefer doğruluğu
- Bütün dünyada kaplama
- 24 saat kullanım
- Ortak bir koordinat Sistemi sağlar

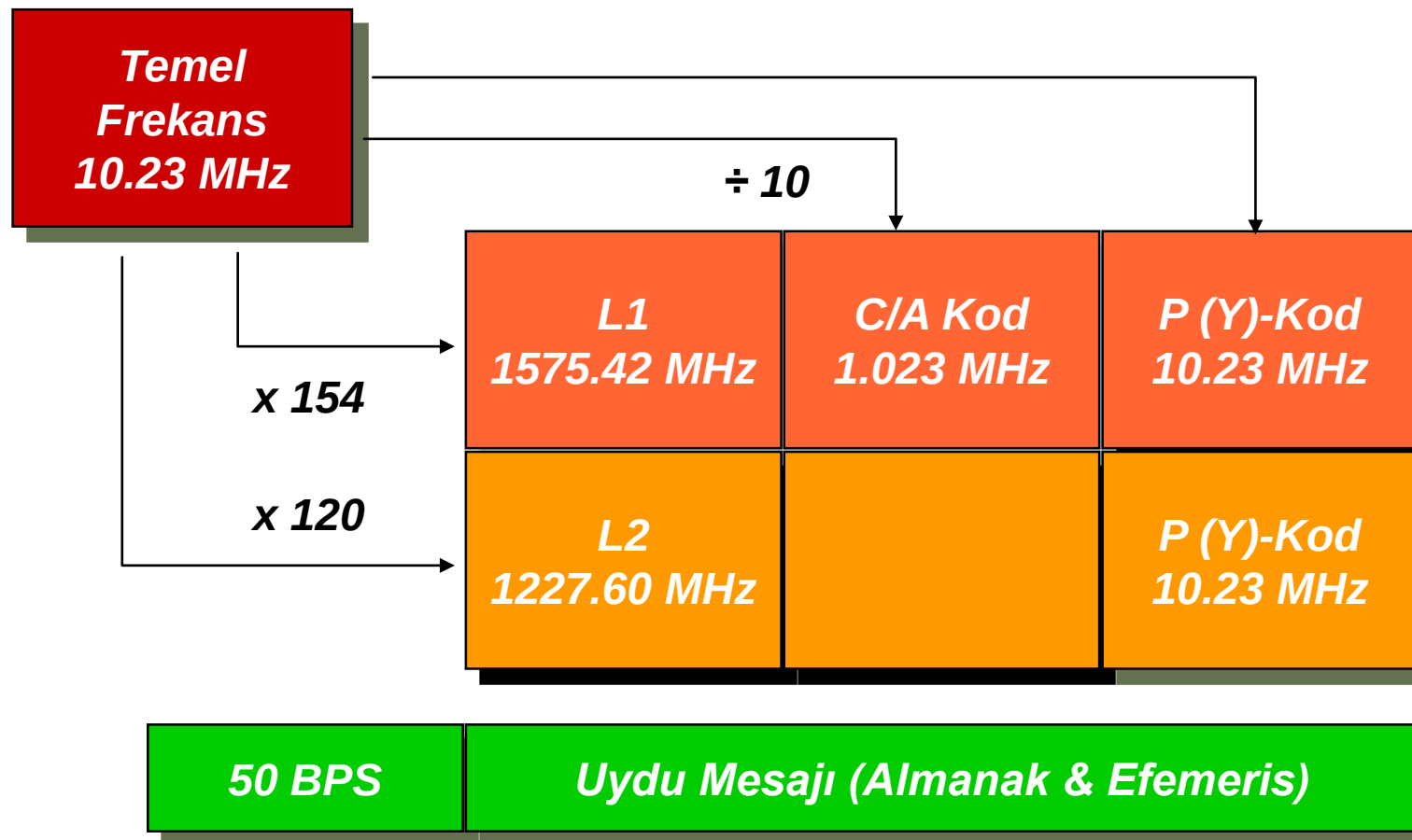
Mevcut seyrüsefer sistemlerinin yerini alması için tasarlanmıştır.

Sivil ve askeri kullanıcılara açıktır.



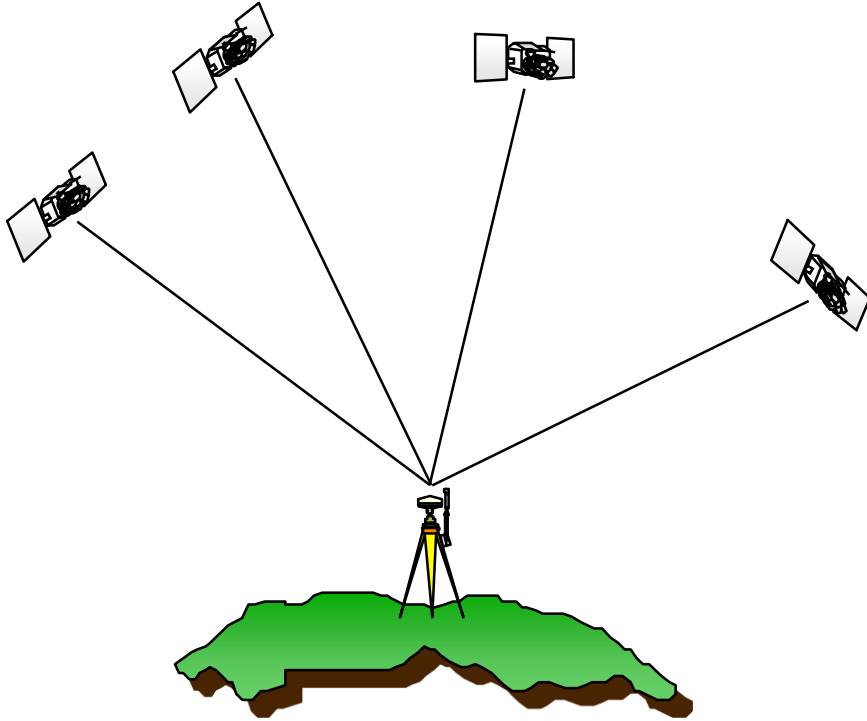
- Yer Belirleme,
- Navigasyon (Seyrüsefer),
- Hareketli kişi veya nesnelerin izlenmesi,
- Haritaların elde edilmesi,
- Hassas zamana dayalı işlerin yapılması,
- Jeodezik ve Jeodinamik amaçlı ölçmeler,
- Araç takip sistemleri,
- Turizm, tasarım, ormancılık, spor faaliyetlerinin yapılması,
- Hidrografik ölçmelerin yapılması,
- Arama-Kurtarma
- Hedef bulma
- Füze güdümü
- Uçakların, görüşün sınırlı ya da hiç olmadığı hava koşullarında iniş ve kalkışı gerçekleştirebilmek için kullanılabilmektedir.

GPS Sinyal Yapısı

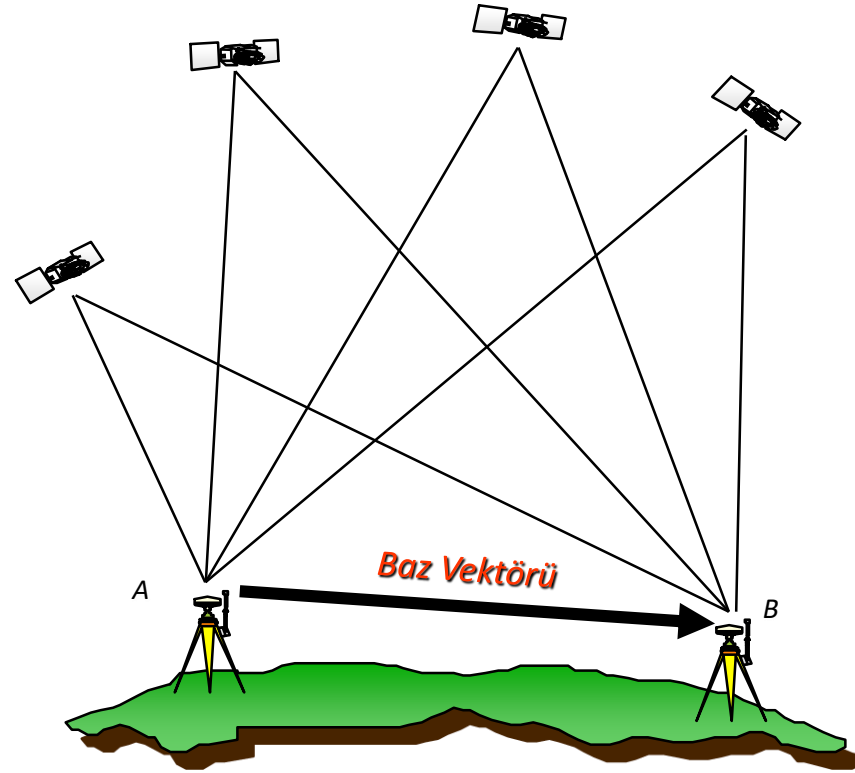


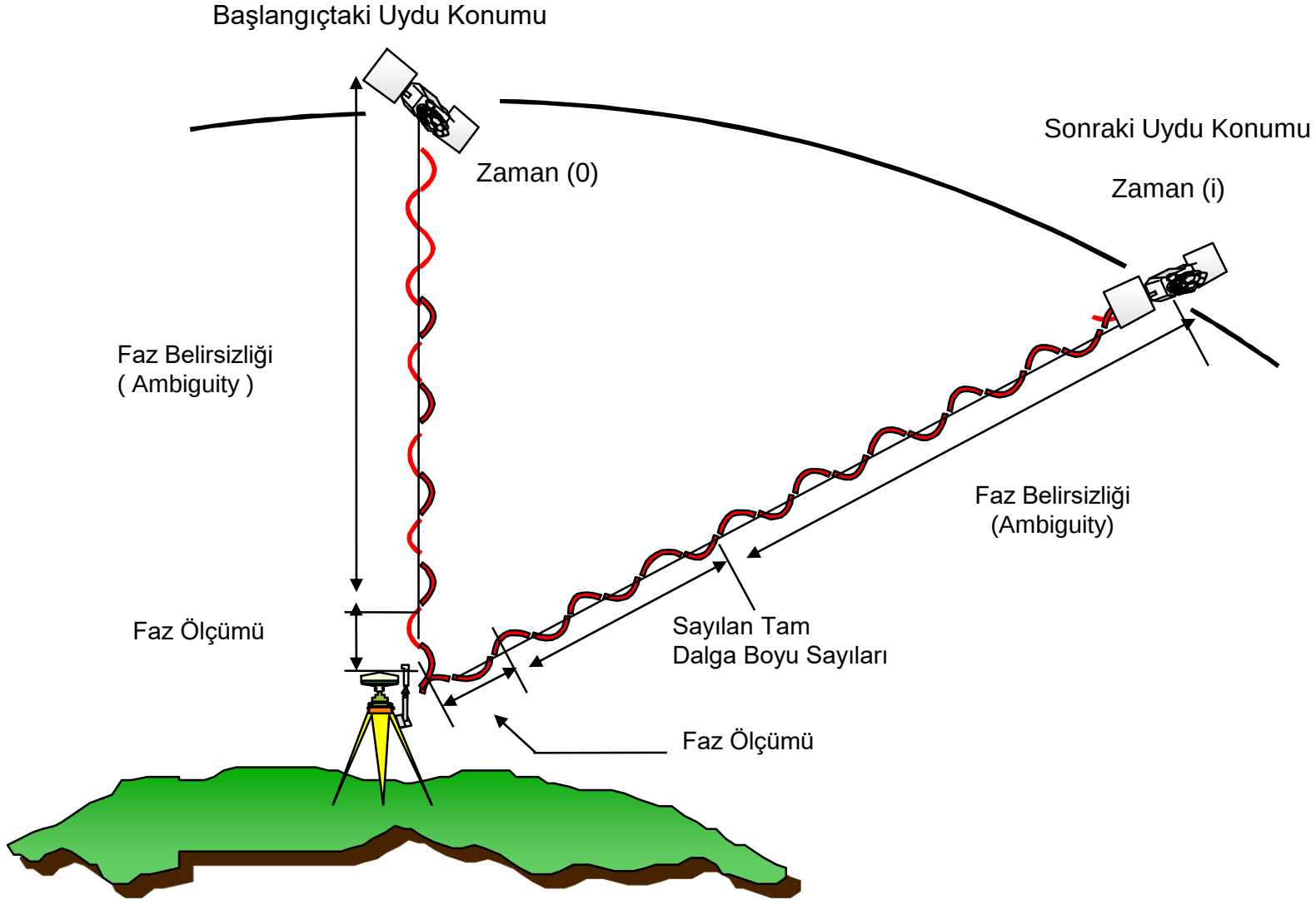
Global Navigasyon Uydu Sistemleri

1. Nokta konumlama



2. Göreli konumlama





- Troposfer, nötür atmosfer katmanı olarak düşünölebilir.
- Yeryüzünden yaklaşık 0-10 km arasında yer almakta olup, tüm hava olaylarının (yağış, sıcaklık vs.) meydana geldiğı katmandır.
- Havadaki tüm su buharının neredeyse tamamı troposferdedir. Bu nedenle, troposferin elektromanyetik sinyallere etkisi, kuru ve ıslak bileşenler olarak ayrı ayrı incelenir.
- Kuru bileşenin GNSS sinyallerine etkisi basınç, sıcaklık ve yaklaşık enlemin bir fonksiyonu olarak modellenenebilirken, ıslak bileşen çok daha değışken bir etki gösterir.

- Radyo sinyalleri, GPS uydularından yeryüzündeki GPS alıcılarına doğru yol alırken kısmen atmosferik su buharı tarafından geciktirilir.
- Sinyal gecikmesi kuru ve ıslak bileşen olarak iki şekilde incelenir
 - Gecikmenin «kuru» bileşenden kaynaklanan kısmı yüksek duyarlılıkla modellenenabilirken, çok daha değişken olan ve atmosferdeki su buharının neden olduğu «ıslak gecikme» ölçülerden hesaplanır.
 - Sinyal gecikmesinin «ıslak» kısmından daha sonra «Yağışa Dönüşebilir Su Buharı» elde edilebilir.

- GPS'in frekans bandında (1.2-1.5 GHz) dispersif davranan iyonosfer etkisi çift frekanslı alıcılar ile ayrıştırılabilir.
- Troposfer ise 30 GHz'e kadar olan frekanslarda dispersif değildir.
- Ülkemizde farklı amaçlar için tesis edilen ve 24 saat sabit GPS istasyon ağları kuvvetli yağışların tahmini açısından önemli bir potansiyele sahiptir.
- Söz konusu ağların en önemlisi, kuşkusuz tüm Türkiye ve KKTC'de homojen dağılımlı, 145 istasyondan oluşan Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı – Aktif (TUSAGA-Aktif)'dir.
- GPS'den elde edilen yağmura dönüşebilir su buharının (PW), radyosonde verisinin doğrulanması, iklim değişiminin izlenmesi ve sayısal hava tahmininin yapılmasını da içeren birçok uygulama alanı vardır.

- GNSS ile kod ölçüleri**

$$PR_{A[L1]}^i = S_{A[L1]}^i + c \cdot (\delta t_A - \delta t^i) + \delta S_{A[ION,L1]}^i + \delta S_{A[TROP]}^i + \varepsilon_{PR}$$

Kod ölçüsü

Uydu-Alıcı
Arasındaki
gerçek mesafe

Uydu-Alıcı
saat hataları

iyonosferik
Gecikme

Troposferik
Gecikme

- GNSS ile faz ölçüleri**

$$\begin{aligned} \Phi_{A[L1]}^i = & S_{A[L1]}^i - N_{A[L1]}^i \cdot \lambda_{L1} + \delta S_{A[CLK]}^i + \delta S_{A[HWB,L1]}^i + \delta S_{A[SYNC]}^i + \delta S_{A[ORI,L1]}^i \\ & + \delta S_{A[PCV,L1]}^i + \delta S_{A[REL]}^i - \delta S_{A[ION,L1]}^i + \delta S_{A[TROP]}^i + \varepsilon_{\Phi} \end{aligned}$$

Faz ölçüsü

Uydu-Alıcı
Arasındaki
gerçek mesafe

Relativistik
Etkiler

iyonosferik
Gecikme

Troposferik
Gecikme

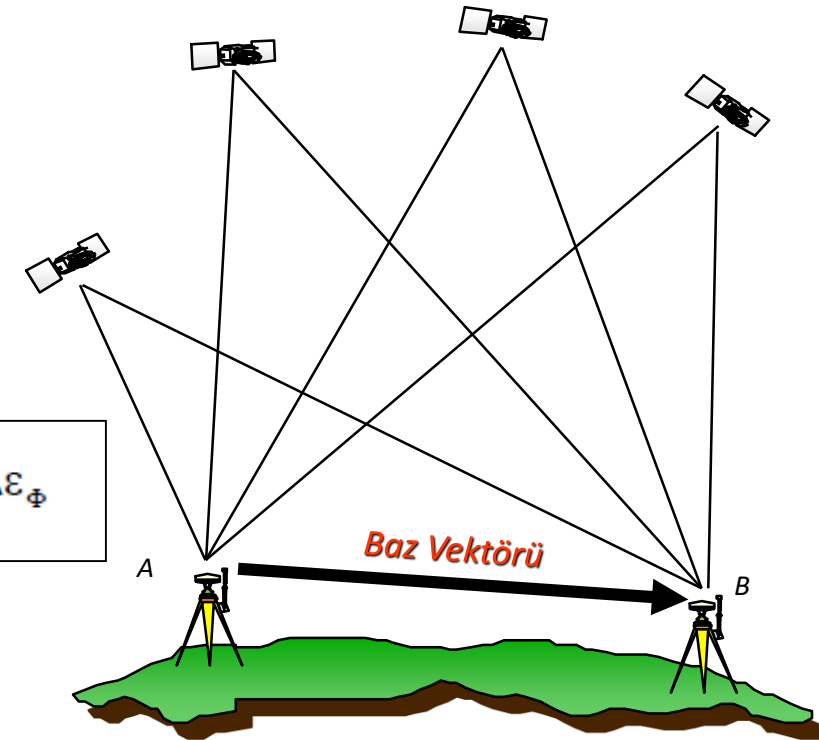
Uydu-Alıcı
saat hataları

İkili Farklara Göre GNSS Ölçülerinin Parametrizasyonu

$$\nabla\Delta\Theta_{AB[L1]}^{ij} = \nabla\Delta S_{A[L1]}^i - \nabla\Delta N_{A[L1]}^i \cdot \lambda_{L1} + c \cdot (\nabla\Delta\delta t_{AB} - \nabla\Delta\delta t^{ij}) \\ - \nabla\Delta\delta S_{A[ION,L1]}^i + \nabla\Delta\delta S_{A[TROP]}^i + \nabla\Delta\epsilon_{\Phi}$$



$$\nabla\Delta\Theta_{AB[L1]}^{ij} = \nabla\Delta S_{A[L1]}^i - \nabla\Delta N_{A[L1]}^i \cdot \lambda_{L1} - \nabla\Delta\delta S_{A[ION,L1]}^i + \nabla\Delta\delta S_{A[TROP]}^i + \nabla\Delta\epsilon_{\Phi}$$



Troposferik Gecikmenin Parametrizasyonu

$$\delta S_{A[NEU]}^i = m(\varepsilon_A^i)_{[HYD]} \cdot ZHD_A + m(\varepsilon_A^i)_{[WET]} \cdot ZWD_A \\ + m(\varepsilon_A^i)_{[AZI]} \cdot [G_{A[N]} \cdot \cos \alpha_A^i + G_{A[E]} \cdot \sin \alpha_A^i]$$

Islak gecikmenin
yatay gradyeni

azimut

$$\nabla \Delta \delta S_{AB[NEU]}^{ij} = (\delta S_{B[NEU]}^j - \delta S_{A[NEU]}^j) - (\delta S_{B[NEU]}^i - \delta S_{A[NEU]}^i)$$

İkili fark modeline göre
diferansiyel ıslak gecikme

Troposferik Gecikmenin Parametrizasyonu

$$\frac{\partial \nabla \Delta \Phi_{AB[a1,a2]}^{ij}}{\partial ZWD_A} = \left(\frac{a_1}{\lambda_{L1}} - \frac{a_2}{\lambda_{L2}} \right) \cdot [m(\epsilon_A^i)_{[WET]} - m(\epsilon_A^j)_{[WET]}]$$

$$\frac{\partial \nabla \Delta \Phi_{AB[a1,a2]}^{ij}}{\partial ZWD_B} = \left(\frac{a_2}{\lambda_{L2}} - \frac{a_1}{\lambda_{L1}} \right) \cdot [m(\epsilon_B^i)_{[WET]} - m(\epsilon_B^j)_{[WET]}]$$

İkili fark modeline göre,
diferansiyel faz ölçümlerinin
ıslak gecikmeye göre kısmi türevleri

Troposferik Gradyanların Parametrizasyonu

$$\frac{\partial \nabla \Delta \Phi_{AB[a1,a2]}^{ij}}{\partial C_{A[N]}} = \left[\frac{a_2 \cdot m(\epsilon_A^j)_{[AZI]}}{\lambda_{L2}} - \frac{a_1 \cdot m(\epsilon_A^j)_{[AZI]}}{\lambda_{L1}} \right] \cdot \cos \alpha_A^j + \left[\frac{a_1 \cdot m(\epsilon_A^i)_{[AZI]}}{\lambda_{L1}} - \frac{a_2 \cdot m(\epsilon_A^i)_{[AZI]}}{\lambda_{L2}} \right] \cdot \cos \alpha_A^i$$

$$\frac{\partial \nabla \Delta \Phi_{AB[a1,a2]}^{ij}}{\partial C_{A[E]}} = \left[\frac{a_2 \cdot m(\epsilon_A^j)_{[AZI]}}{\lambda_{L2}} - \frac{a_1 \cdot m(\epsilon_A^j)_{[AZI]}}{\lambda_{L1}} \right] \cdot \sin \alpha_A^j + \left[\frac{a_1 \cdot m(\epsilon_A^i)_{[AZI]}}{\lambda_{L1}} - \frac{a_2 \cdot m(\epsilon_A^i)_{[AZI]}}{\lambda_{L2}} \right] \cdot \sin \alpha_A^i$$

$$\frac{\partial \nabla \Delta \Phi_{AB[a1,a2]}^{ij}}{\partial C_{B[N]}} = \left[\frac{a_1 \cdot m(\epsilon_B^j)_{[AZI]}}{\lambda_{L1}} - \frac{a_2 \cdot m(\epsilon_B^j)_{[AZI]}}{\lambda_{L2}} \right] \cdot \cos \alpha_B^j + \left[\frac{a_2 \cdot m(\epsilon_B^i)_{[AZI]}}{\lambda_{L2}} - \frac{a_1 \cdot m(\epsilon_B^i)_{[AZI]}}{\lambda_{L1}} \right] \cdot \cos \alpha_B^i$$

$$\frac{\partial \nabla \Delta \Phi_{AB[a1,a2]}^{ij}}{\partial C_{B[E]}} = \left[\frac{a_1 \cdot m(\epsilon_B^j)_{[AZI]}}{\lambda_{L1}} - \frac{a_2 \cdot m(\epsilon_B^j)_{[AZI]}}{\lambda_{L2}} \right] \cdot \sin \alpha_B^j + \left[\frac{a_2 \cdot m(\epsilon_B^i)_{[AZI]}}{\lambda_{L2}} - \frac{a_1 \cdot m(\epsilon_B^i)_{[AZI]}}{\lambda_{L1}} \right] \cdot \sin \alpha_B^i$$

İkili fark modeline göre,
ölçülerin ıslak gecikme gradyanlarına
göre kısmi türevleri

refraktif index sinyal yolu refraktivite

$$d^{trop} = \int (n - 1) ds$$

$$N^{trop} = 10^{-6} (n - 1)$$

$$N^{trop} = N_{kuru}^{trop} + N_{ıslak}^{trop}$$

$$d^{trop} = 10^{-6} \int N_{kuru}^{trop} ds + 10^{-6} \int N_{ıslak}^{trop} ds$$

izdüşüm fonksiyonu

$$d^{trop} = d_{kuru}^{zenit} m_{kuru} + d_{ıslak}^{zenit} m_{ıslak}$$

$$m_{kuru} = \frac{1}{\cos Z}$$

GNSS Sinyal Gecikmesi

Toplam Zenit Gecikmesi

$$ZTD = ZHD + ZWD$$

Hidrostatik Zenit Gecikmesi

Islak Zenit Gecikmesi

Saastamoinen Modeli:

$$ZHD = \frac{0.002277 * P}{1 - 0.00266 * \cos 2\varphi - 0.00028 * h}$$

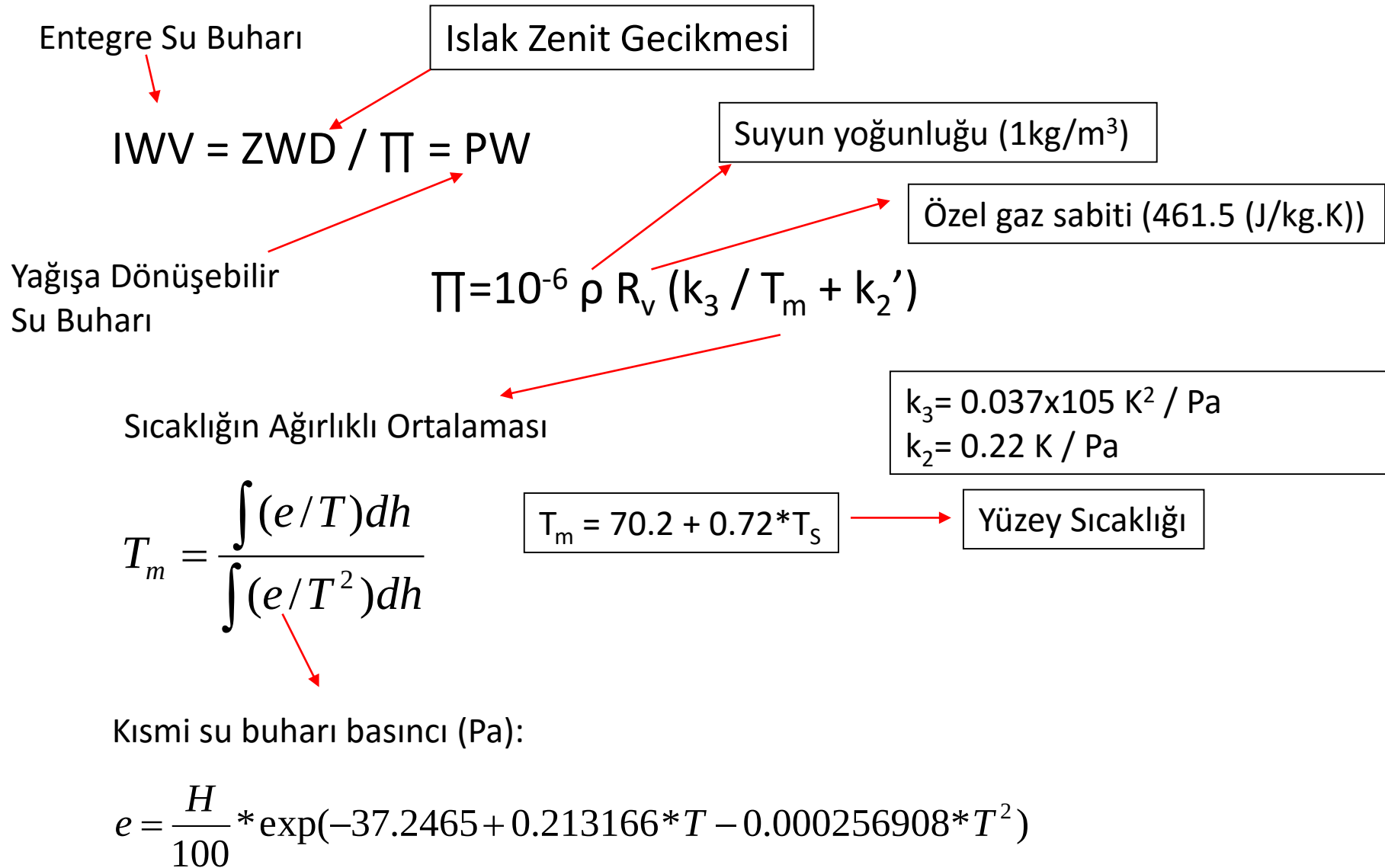
Yüzeydeki Basıncı (hPa/mbar)

Enlem

Deniz seviyesinden olan
Yükseklik (m)

$$ZWD = ZTD - ZHD$$

GNSS Sinyal Gecikmesi



GNSS Sinyal Gecikmesi

- T_m 'yi elde etmek için, bazen GPS istasyonlarında bulunması mümkün olmayan sıcaklığın düşey profillerine ve su buharı basıncına ihtiyaç vardır.
- Bu amaçla T_m ve yüzey sıcaklığı T_s arasında doğrusal bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.
- Söz konusu ilişki bölgeden bölgeye değişmekle birlikte, literatürde global olarak kullanılabileceği belirtilen parametre kümeleri de bulunmaktadır.

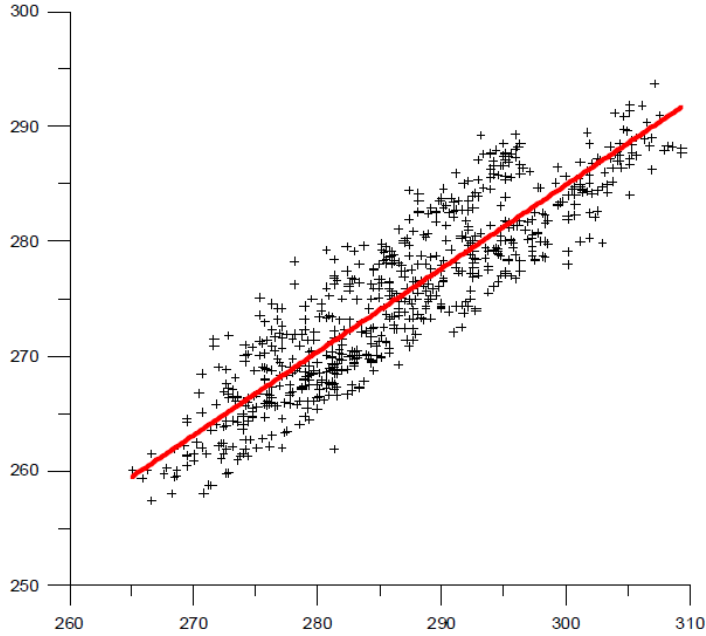
$$T_m = a + bT$$

$$T_m = 70.2[K] + 0.72T_s$$

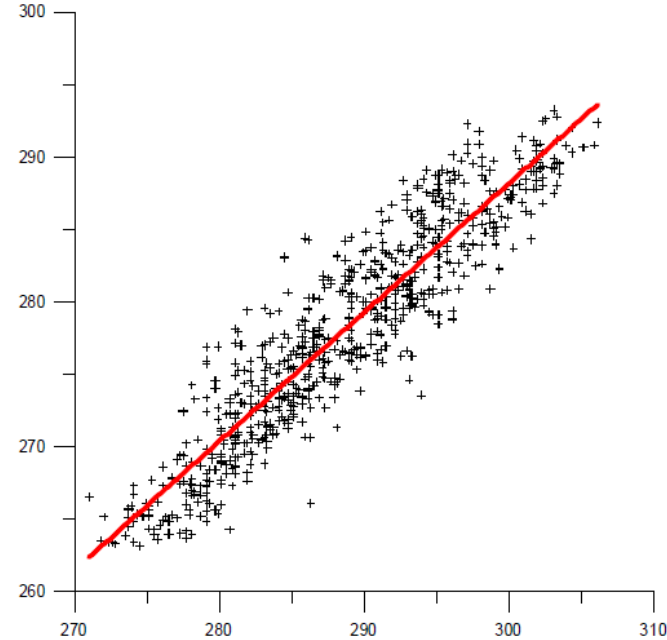
$$T_m = 54.7[K] + 0.77T_s$$

- Ortalama sıcaklık (T_m) ile yüzey sıcaklığı arasındaki ampirik katsayılar bölgeye, iklime göre farklılık göstermektedir.

Ankara



İstanbul



GPS verilerinden Troposferik Gecikme ve PW'lerin elde edilmesi

- GNSS ölçümlerinden elde edilen kuru/ıslak zenit gecikmeleri, PW değerlerinin standart sapma değerleri de hesaplanabilmektedir.
- Bu şekilde elde edilen sonuçların diğer gözlem sistemlerinden olan farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı araştırılabilir.

```
* Estimated atmospheric values for ANKR. Height estimate: 976.0215 +/- 0.0279 m.
* METUTIL Version 3.0 2009-08-27
* Input files: otropa.011 zankr0.011 ZTD-file sigmas scaled by 1.0
* Yr Doy Hr Mn Sec Total Zen Wet Zen Sig Zen PW Sig PW (mm) Press (hPa) Temp (K) ZHD (mm) Grad NS Sig NS Grad EW Sig EW (mm)
2010 11 0 0 0. 2139.10 66.80 8.30 10.31 1.28 909.40 273.50 2072.30 -30.20 17.90 40.40 23.20
2010 11 2 0 0. 2141.70 69.40 5.90 10.71 0.91 909.40 273.50 2072.30 -29.04 17.89 37.76 23.23
2010 11 4 0 0. 2148.90 76.60 5.80 11.83 0.90 909.40 273.50 2072.30 -27.88 17.88 35.12 23.25
2010 11 6 0 0. 2133.10 60.80 6.40 9.39 0.99 909.40 273.50 2072.30 -26.73 17.88 32.48 23.28
2010 11 8 0 0. 2124.20 51.90 5.30 8.01 0.82 909.40 273.50 2072.30 -25.57 17.87 29.83 23.30
2010 11 10 0 0. 2117.70 45.40 6.00 7.01 0.93 909.40 273.50 2072.30 -24.41 17.86 27.19 23.33
2010 11 12 0 0. 2118.50 46.20 5.80 7.13 0.90 909.40 273.50 2072.30 -23.25 17.85 24.55 23.35
2010 11 14 0 0. 2121.00 48.70 5.60 7.52 0.86 909.40 273.50 2072.30 -22.09 17.84 21.91 23.38
2010 11 16 0 0. 2119.60 47.30 5.80 7.30 0.90 909.40 273.50 2072.30 -20.93 17.83 19.27 23.40
2010 11 18 0 0. 2121.20 48.90 5.50 7.55 0.85 909.40 273.50 2072.30 -19.77 17.83 16.63 23.43
2010 11 20 0 0. 2122.70 50.40 5.60 7.78 0.86 909.40 273.50 2072.30 -18.62 17.82 13.98 23.45
2010 11 22 0 0. 2125.00 52.70 6.60 8.14 1.02 909.40 273.50 2072.30 -17.46 17.81 11.34 23.48
2010 12 0 0 0. 2123.30 51.00 8.00 7.87 1.24 909.40 273.50 2072.30 -16.30 17.80 8.70 23.50
```

- Ravinsonde gözlemleri, düşey bir profil boyunca farklı atmosferik parametrelerin ölçülmesi yöntemidir.
- Bu amaçla kullanılan balon, üzerindeki radyo yardımıyla ölçüm değerlerini istasyona iletir.



Radyosonde Profillerinden PW elde edilmesi

17130 Ankara Observations at 12Z 02 Sep 2016

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1000.0	71									
925.0	766									
912.0	891	26.4	7.4	30	7.13	80	6	307.5	329.6	308.9
900.0	1007	21.8	7.8	41	7.43	52	7	304.0	326.6	305.3
895.0	1055	21.3	7.7	41	7.42	40	8	303.9	326.5	305.3
862.0	1379	18.0	7.0	49	7.34	47	9	303.8	326.1	305.1
850.0	1499	17.0	6.0	48	6.94	50	9	303.9	325.1	305.2
849.0	1509	16.8	5.8	48	6.85	52	9	303.8	324.7	305.1
847.0	1529	16.6	5.8	49	6.86	55	9	303.9	324.8	305.1
825.0	1751	14.6	5.5	54	6.92	15	8	304.0	325.1	305.3
814.0	1865	13.6	5.4	58	6.95	50	9	304.1	325.3	305.4
799.0	2022	12.2	5.2	62	6.99	37	9	304.2	325.6	305.5
781.0	2213	10.8	4.6	65	6.84	20	10	304.7	325.6	306.0
776.0	2266	10.4	4.4	66	6.80	24	10	304.9	325.7	306.1
760.0	2438	9.0	2.1	62	5.89	35	10	305.2	323.4	306.3
750.0	2547	8.2	0.6	59	5.37	5	10	305.4	322.1	306.4
730.0	2770	6.4	-2.3	54	4.43	25	10	305.9	319.8	306.7
710.0	2999	4.6	-5.4	48	3.62	353	8	306.3	317.8	307.0
708.0	3022	4.5	-6.2	46	3.41	350	8	306.4	317.3	307.0
704.0	3068	4.2	-7.8	41	3.03	2	8	306.6	316.3	307.2
700.0	3114	4.0	-10.0	35	2.57	15	7	306.9	315.2	307.4
698.0	3137	4.0	-11.3	32	2.31	25	6	307.1	314.7	307.6
697.0	3149	4.0	-12.0	30	2.20	24	6	307.3	314.4	307.7
688.0	3255	5.2	-15.6	21	1.66	10	3	309.7	315.3	310.0
682.0	3326	6.0	-18.0	16	1.37	37	4	311.4	316.1	311.7
678.0	3374	6.5	-19.2	14	1.24	55	4	312.4	316.7	312.7
675.0	3410	6.8	-20.2	13	1.14	45	4	313.2	317.2	313.4
664.0	3545	6.2	-22.8	10	0.93	10	4	314.0	317.3	314.2
658.0	3618	5.6	-23.2	10	0.90	350	4	314.2	317.4	314.3
637.0	3880	3.5	-24.6	11	0.82	85	2	314.7	317.6	314.8
618.0	4125	1.5	-26.0	11	0.75	295	3	315.1	317.8	315.3
608.0	4256	0.4	-26.7	11	0.71	270	4	315.4	317.9	315.5
604.0	4310	0.0	-27.0	11	0.70	230	4	315.5	318.0	315.6
591.0	4481	-1.3	-26.2	13	0.76	100	3	316.0	318.7	316.1
581.0	4616	-2.3	-25.6	15	0.82	345	1	316.3	319.3	316.5
564.0	4850	-4.0	-24.6	18	0.93	270	6	317.0	320.3	317.1
556.0	4963	-4.9	-24.1	21	0.98	330	4	317.3	320.8	317.5
542.0	5164	-6.4	-23.2	25	1.09	295	3	317.8	321.7	318.0
537.0	5237	-6.9	-22.9	27	1.14	264	7	318.0	322.0	318.2
534.0	5281	-7.1	-23.9	25	1.04	245	9	318.3	322.0	318.5



Region	Type of plot	Year	Month	From	To	Station Number
Mideast	Text: List	2016	Sep	06/12Z	06/12Z	17095

Click on the image to request a sounding at that location or enter the station number above.



- ☐ Include frost point calculations.
- ☐ Recalculate Data

Radyosonde Profillerinden PW elde edilmesi

- Radyosonde ölçümleri herhangi bir katmadaki değerlere karşılık geldiğinden GNSS sonuçlarıyla karşılaştırmak için belirli düşey profil aralığında entegrasyon yapmak gerekir.

dh : katmanlar arasındaki yükseklik farkı

$$IWV = \int_{Z_b}^{Z_T} \rho_v dh = -\frac{1}{g} \int_{P_b}^{P_T} q dP$$

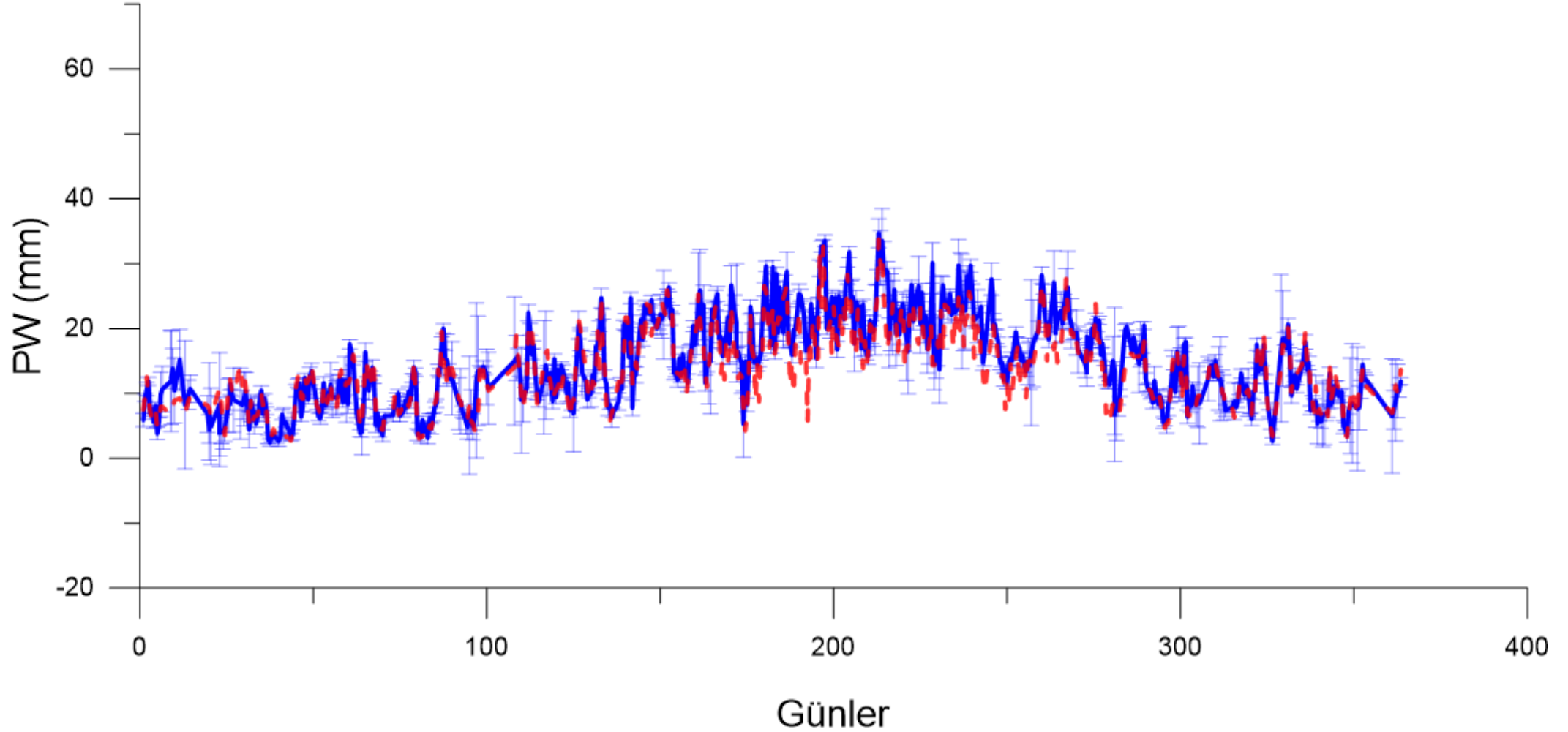
dP: thekatmanlar arasındaki basınç farkı (Pa)

q : kütle karışım oranı (kg/kg)

ρ_v

$Z_b - Z_T$ aralığında
su buharının
özellik ağırlığı (kg/m³)

GPS ve Radyosonde Profillerinin Karşılaştırılması



İstanbul'da sel felaketi: 31 ölü

Süleyman KAYA-Özkan ARSLAN-Hasan ÖRNEKOĞLU/İSTANBUL- DHA

Dün Trakya'yı esir alan ve 7 cana mal olan felaket bugün İstanbul'u vurdu. Marmara Bölgesi, 17 Ağustos depreminden beri ilk kez bu boyutta bir felaket yaşıyor. Pameks Tekstil Fabrikası'na servisle gelen 7 kadın çalışan bir anda sele kapıldı. İkitelli TIR parkında uyuyan 6 şoför uykularında can verdi. İkitelli ve Halkalı'da 8 ceset bulundu. Dün de Çatalca ve Silivri'de 3 kişi hayatını kaybetmişti. İki günde 31 can alan felaket havalimanına ulaşımı felç etti. 9 kişi



 ZİRAAT TÜRKİYE KUPASI

 **SABAH**
TÜRKİYE'NİN EN İYİ HABER SİTESİ

[ANA SAYFA](#) [PLUS](#) [SPOR](#) [GÜNAYDIN](#) [GÜNDEM](#) [EKONOMİ](#) [YAŞAM](#) [DÜNYA](#) [SABAH TV](#) [E](#)

Felaketin bilançosu: 31 ölü, 9 kayıp

ANASLAR Giriş Tarihi: 09.09.2009 07:39 Güncelleme Tarihi: 09.09.2009 22:27

 Paylaş

 tweetle

 paylaş

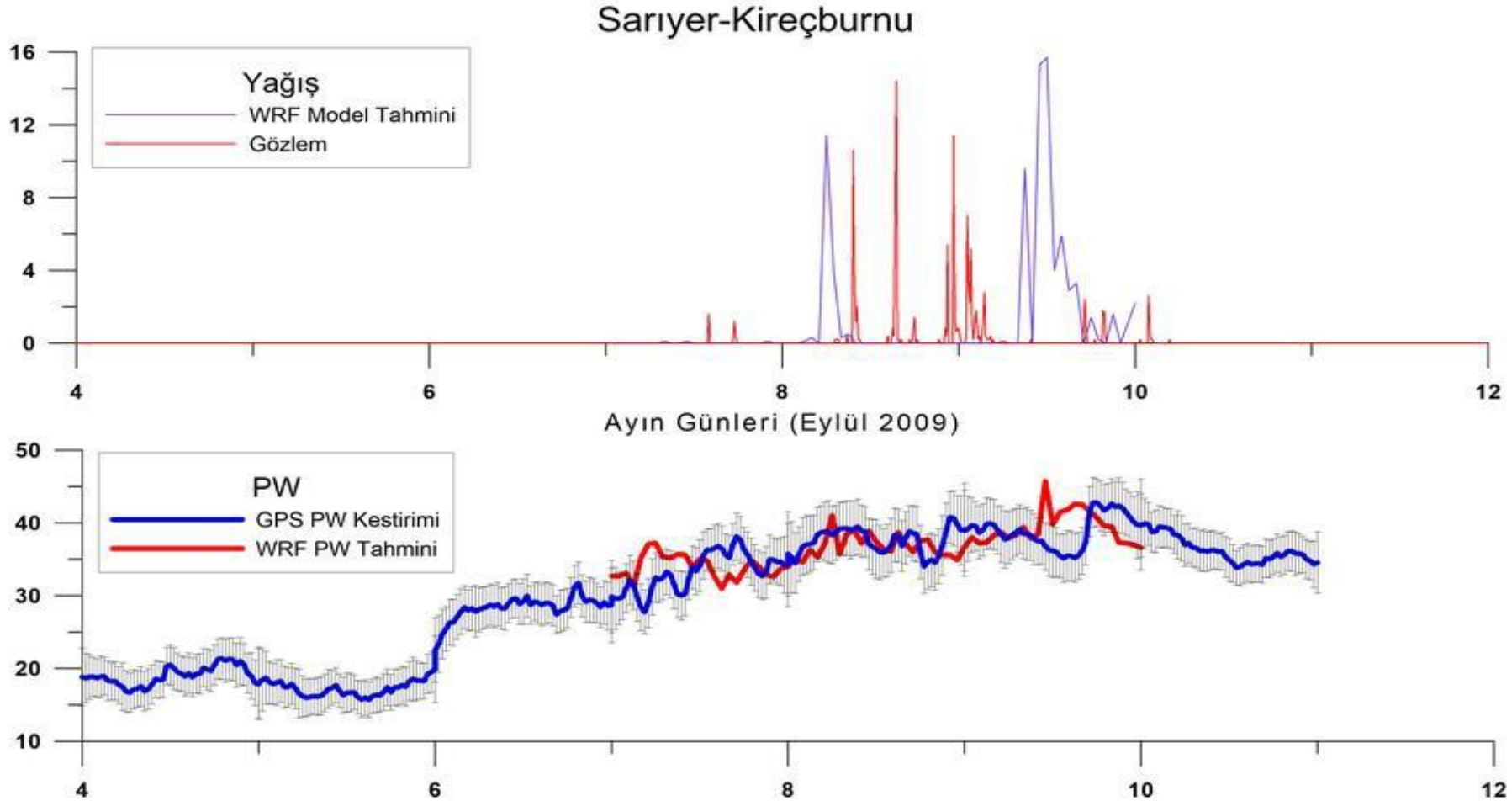
 A A





İkitelli'de Basın Ekspres yolunda gece başlayan sağanak yağış nedeniyle sel meydana geldi. İstanbul'da sel sularına kapılan 26 kişi hayatını kaybetti. Tekirdağ'da da meydana gelen sellerde 5 kişi hayatını kaybetti.

Sayısal Hava Tahmin Modelleri ve GNSS PW Karşılaştırması



Sonuç ve Öneriler

- **GPS'ten elde edilen PW değerleri meteorolojik gözlemler ve gerçekleşen yağışlarla uyumludur. Bu durum GPS-PW'nin su buharının analiz & tespitinde kullanılabilir olduğu görülmektedir.**
- **Global Konumlama Sistemi gözlemleri ile IPWV değerlerini ekonomik olarak hesaplamak mümkündür.**
- **Meteoroloji uydularının aksine, GNSS gözlemleri ile bulutlu hava koşullarında da IPWV verilerinin elde edilmesi mümkündür.**
- **Ravinsonde'ye göre yüksek zamansal (5-15 dakikaya kadar) ve mekânsal çözünürlükte (Türkiye'deki mevcut sabit GPS altyapısı dikkate alındığında ~100 km) IPWV değerleri elde edilebilmektedir.**
- **WRF sayısal tahmin modelinin PW ve yağış sapmalarının, bazı noktalarda çok büyük/küçük değerler alabilmektedir.**
- **Astronomik Gözlem İstasyonları özel konumlarından dolayı, mevcut hava tahmin sistemlerinin, bulutluluk/yağış koşullarının değerlendirilmesinde yeterli olmayabileceği değerlendirilmektedir.**

Sonuç ve Öneriler

Buna karşın,

- GNSS ile elde edilen PWV veriler katman bilgisine sahip olmayıp sinyal güzergahı boyunca entegre değere karşılık gelmektedir.
- Söz konusu entegre değerlerin ters çözümüyle yüksekliğe bağlı değişimlerin hesaplanması mümkün olmakla birlikte (tomografi), çok yoğun bir GNSS ağı altyapısı olmadan (~10 km aralıklı) alt katmanlar için yüksekliğe bağlı PWV verisi elde etmek mümkün değildir.
- Sonuç olarak, GNSS IPWV değerleri düşey olarak entegre edilen değerlerin yatay olarak ortalamasına (15° yükseklik açısı ve 3 km yükseklik için ~22 km çaplı daire içinde) karşılık geldiği söylenebilir.
- Bununla birlikte, su buharının üst katmanlardaki yatay değişimi (gradyeni) de GNSS ölçümleriyle elde edilebilmektedir.



İlgi ve sabrınız için teşekkürler...