



ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ



GNSS Gözlemleriyle PWV Kestirimi ve Türkiye için Geliştirilen Modeller

Çetin MEKİK, İke DENİZ

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Geomatik Mühendisliği Bölümü**

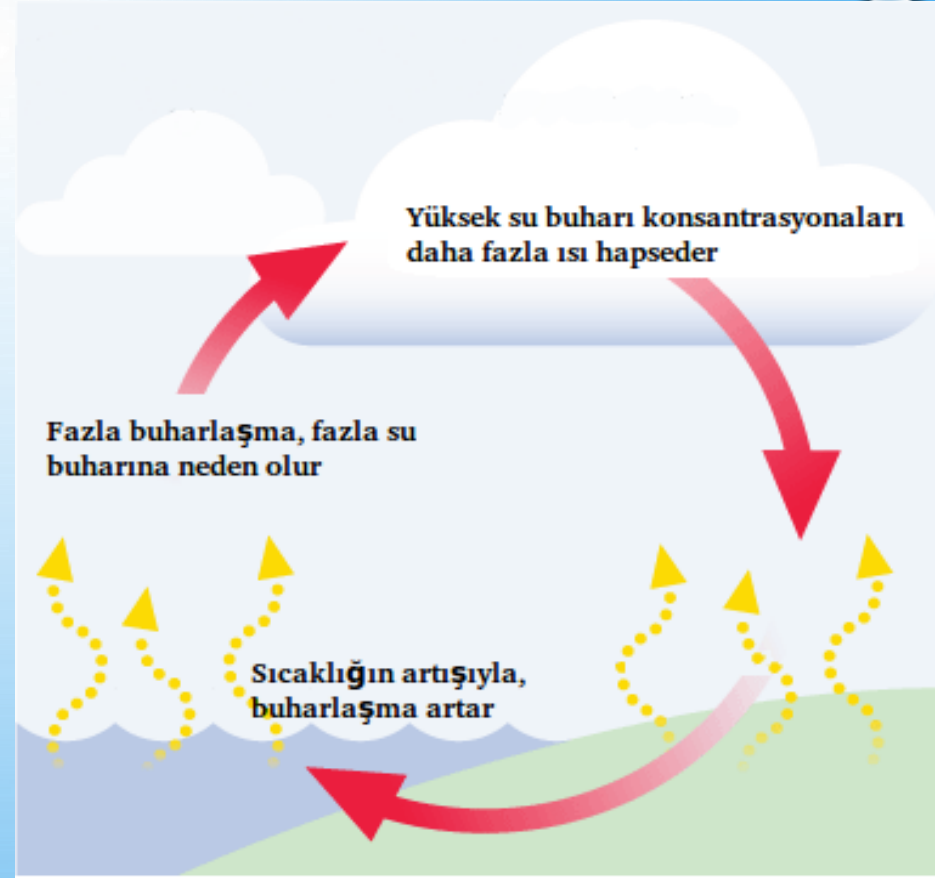
**AstroMeteo Çalıştayı
Atatürk Üniv. ATASAM- Erzurum
1-2 Şubat 2019**

İÇERİK

- Yoğuşabilir su buharı
- GPS ile Atmosferik Su Buharı Kestirimi
- Deneysel Modeller
- Türkiye için su buharı kestirimi
- TUSAGA-Aktif istasyonlarıyla uygulama
- Sonuçlar

Yoğuşabilir Su Buharı

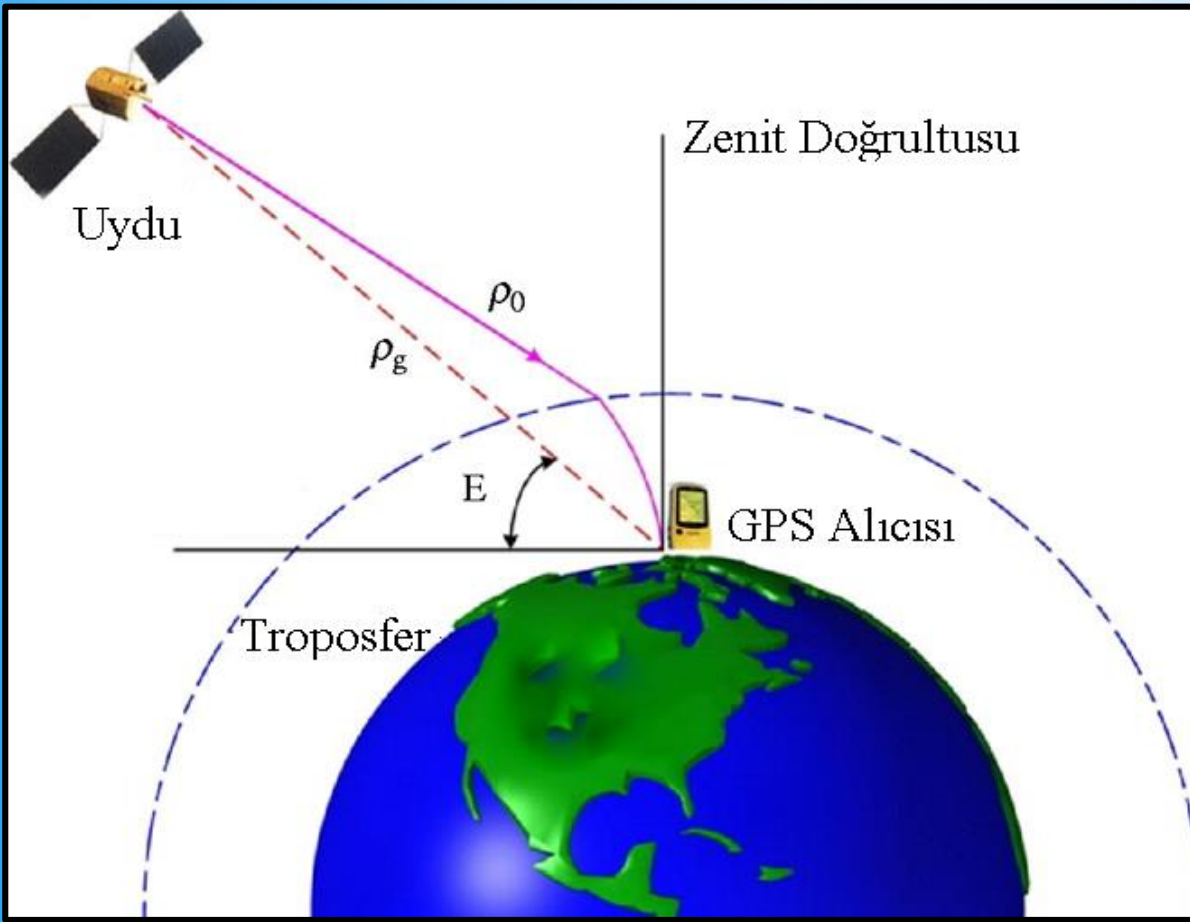
- Birçok süreçte yer alan önemli bir sera gazıdır.
- Kimyasal tepkimeci
- Su buharının mekânsal ve zamansal değişimleri, meteorolojik olayların oluşmasında birinci derecede etkindir.
- İklim değişimlerinin ve hava tahminlerinin; ekonomi, çevre, tarım vb. üzerindeki etkileri önemlidir.
- Global sıcaklıklar için termostat
- Isınmaya neden olur
- Yere gelen güneş radyasyonunu azaltarak bulutların oluşmasına ve global sıcaklığın azalmasına neden olur.



GNSS - TROPOSFERİK ZENİT GECİKMESİ (ZTD)

ZTD = Optik - Geometrik

ZTD = ZHD + ZWD



ZTD – PWV DÖNÜŞÜMÜ

HOGG VD. (1981)

SU BUHARI \rightarrow ZTD

ASKNE VE NORDIUS (1987)

ZTD \rightarrow ZWD \rightarrow SU BUHARI

GPS METEOROLOJİSİ

$$PWV = \frac{ZWD}{Q}$$

$$Q = 10^{-5} \left(k_2' + k_3 / T_m \right) R_w$$

$$PWV = \frac{ZWD}{10^{-6} (k_3 / T_m + k_2') \rho_v R_v}$$

$$T_m = \frac{\int \frac{e}{T} ds}{\int \frac{e}{T^2} ds}$$

ZTD – PWV DÖNÜŞÜMÜ: T_M MODELİ

- AĞIRLIKLIL ORTALAMA SICAKLIĞIN (T_M)
YÜZEY SICAKLIĞINA (T_S) BAĞLI OLARAK HESABI:

Bevis vd. (1992)

$$T_m = a + b T_s$$

(ABD'deki yaklaşık 9.000 radyosonda profili analizi)

ZTD – PWV DÖNÜŞÜMÜ: T_m

T_m modelleri tablosu

Araştırmacı adı	T_m modeli (K)	Karesel ortalama hatası (K)	Ülke
Bevis vd. (1992)	$T_m=70,2+ 0,72T_s$	4,74	Amerika
Solbrig (2000)	$T_m=54,7+ 0,77T_s$		Almanya
Liou vd. (2001)	$T_m=1,07T_s-31,5$	1,67	Tayvan
Baltink vd. (2002)	$T_m=83+ 0,67T_s$	2,7	Hollanda
Bokoye vd. (2003)	$T_m=78,92+ 0,69T_s$	4,31	Kanada
Ha vd. (2006)	$T_m=16,5+ 0,09T_s$		Güney Kore
Song (2006)	$T_m=1,01T_s-12,3$	1,95	Kuzey Kore
Raju vd. (2007)	$T_m=62,6+0,75T_s$	2,2	Hindistan
Bock vd. (2008)	$T_m=190+ 0,32T_s$	3,6	Afrika
Boutiouta ve Lahcene (2013)	$T_m=14,7+ 0,96T_s$	4,89	Cezayir
Sapucci (2014)	$T_m=110,578+ 0,56T_s+0,01p_s$		Brezilya
Mendes vd. (2000)	$T_m=50,4+ 0,78T_s$		Global
Schüler vd. (2001)	$T_m=86,9+ 0,64T_s$		Global

ZTD – PWV DÖNÜŞÜMÜ: Q MODELİ

• Q DÖNÜŞÜM FAKTÖRÜNÜN HESABI

Emardson ve Derks (2000)

$$PWV = \frac{ZWD}{Q}$$

(Avrupa'daki 120.000'den fazla radyosonda profilinin analizi)

- $Q_{fiziksel}$
- $Q_{polinom}$
- $Q_{yıllık}$
- Q_{hibrit}

$$Q_{hibrit} = a_0 + a_1 T_{\Delta} + a_2 T_{\Delta}^2 + a_3 \theta + a_2 \sin\left(2\pi \frac{t_D}{365}\right) + a_4 \left(2\pi \frac{t_D}{365}\right)$$

t_D yılın günü,

$T_{\Delta} = T_s - T_{ort}$, T_s yüzey sıcaklığı, T_{ort} ise ortalama yüzey sıcaklığı

ZTD – PWV DÖNÜŞÜMÜ: Q

Q FAKTÖRÜ KATSAYILARI

Katsayı	Model							
	Fiziksel		Polinom		Yıllık		Hibrit	
	Değer	σ	Değer	σ	Değer	σ	Değer	σ
a_0	$2,1404 \times 10^1$	1×10^0	6,458	2×10^{-4}	5,882	1×10^{-3}	6,457	2×10^{-4}
a_1	$1,2559 \times 10^4$	2×10^3	$-1,78 \times 10^{-2}$	2×10^{-5}	0,01113	3×10^{-5}	$-1,78 \times 10^{-2}$	3×10^{-5}
a_2	$-8,4026 \times 10^1$	7×10^1	$-2,2 \times 10^{-5}$	2×10^{-6}	0,064	4×10^{-4}	$-1,9 \times 10^{-5}$	2×10^{-6}
a_3	-	-	-	-	0,127	4×10^{-4}	$1,3 \times 10^{-2}$	3×10^{-4}
a_4	-	-	-	-	-	-	$0,4 \times 10^{-2}$	4×10^{-4}
KOH (%)	1,15		1,15		1,43		1,14	

YOĞUŞABİLİR SU BUHARI

Radyosonda Profil Gözlemleri



17062 Istanbul Observations at 12Z 10 Jan 2011

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1023.0	39	11.8	0.8	47	3.98	160	2	283.1	294.5	283.8
1000.0	209	9.8	0.8	53	4.07	255	1	282.9	294.6	283.6
941.0	711	5.4	1.0	73	4.39	349	3	283.4	296.0	284.2
925.0	851	5.4	1.2	74	4.53	15	3	284.8	297.8	285.6
911.0	976	5.8	2.5	79	5.05	12	4	286.5	301.0	287.4
.
.
.
11.1	30041	-45.3	.	.	.	263	53	824.4	.	824.4
11.0	30101	-45.5	.	.	.	265	55	825.8	.	825.8
10.8	30224	-45.9	.	.	.	262	52	828.7	.	828.7
10.0	30740	-42.5	.	.	.	250	37	859.8	.	859.8
9.5	31087	-41.5	876.2	.	876.2

Station information and sounding indices

Station number: 17062

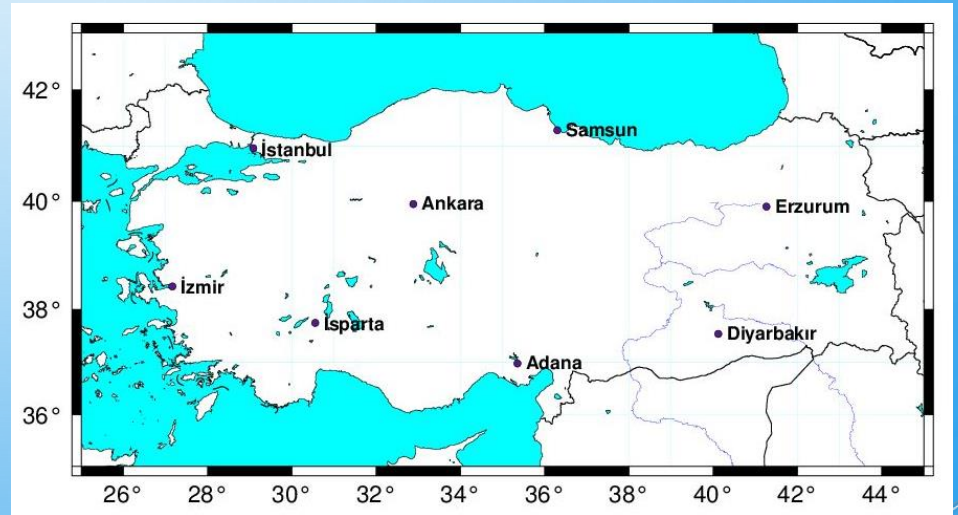
Observation time: 110110/1200

Station latitude: 40.96

Station longitude: 29.08

Station elevation: 39.0

Precipitable water [mm] for entire sounding: 14.34



Bir gözlem profil örneği

GPS İLE ATMOSFERİK SU BUHARI KESTİRİMİ

- 2011 YILINDAKİ RADYOSONDA İSTASYONUNUN 4.103 RADYOSONDA PROFİLLERİ PROFİL ANALİZİ ALGORİTMASI İLE DEĞERLENDİRİLMİŞTİR.



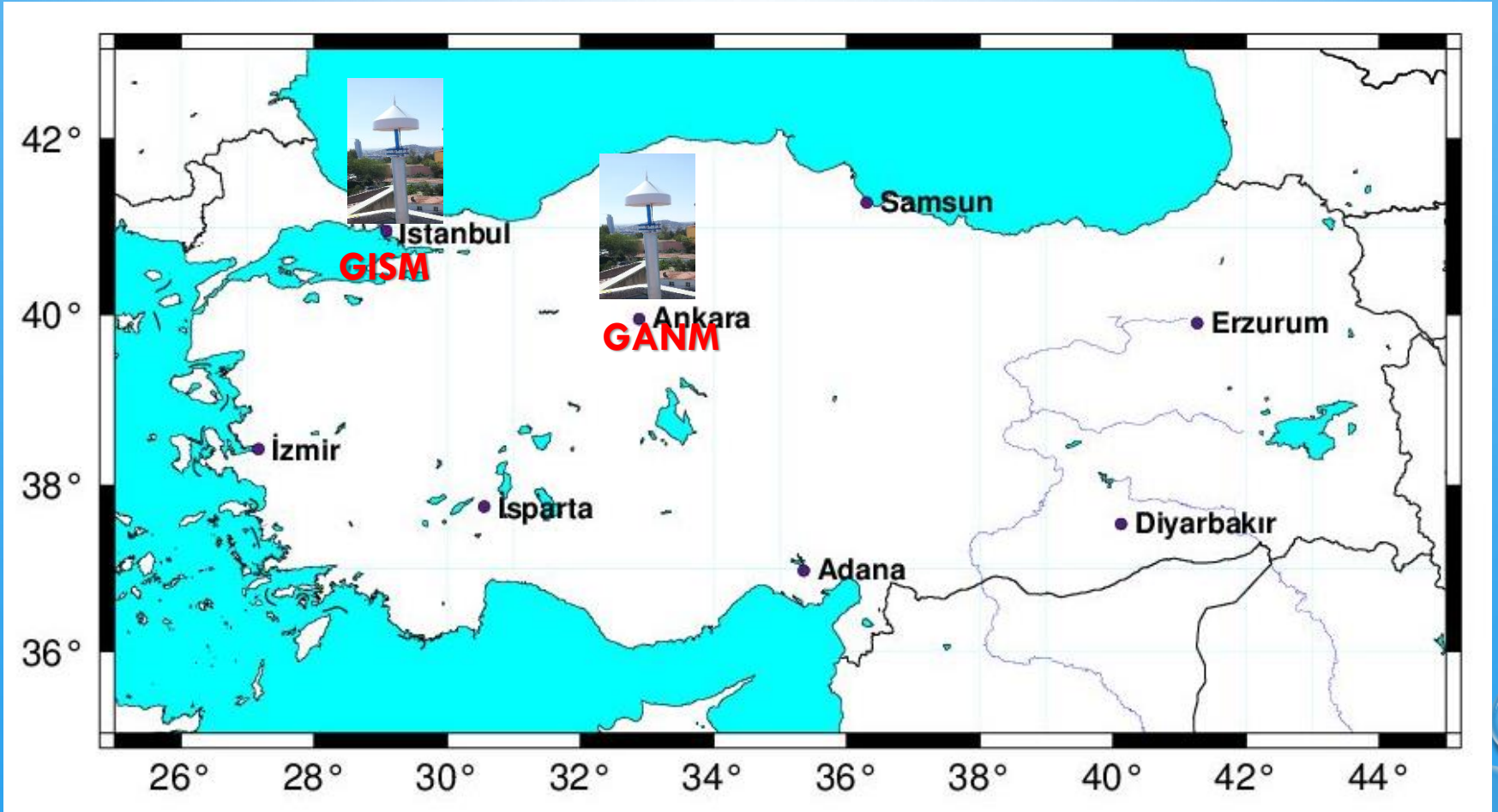
Türkiye için T_m ve Q dönüşüm modelleri

$$T_m = 48,546 + 0,796T_s$$

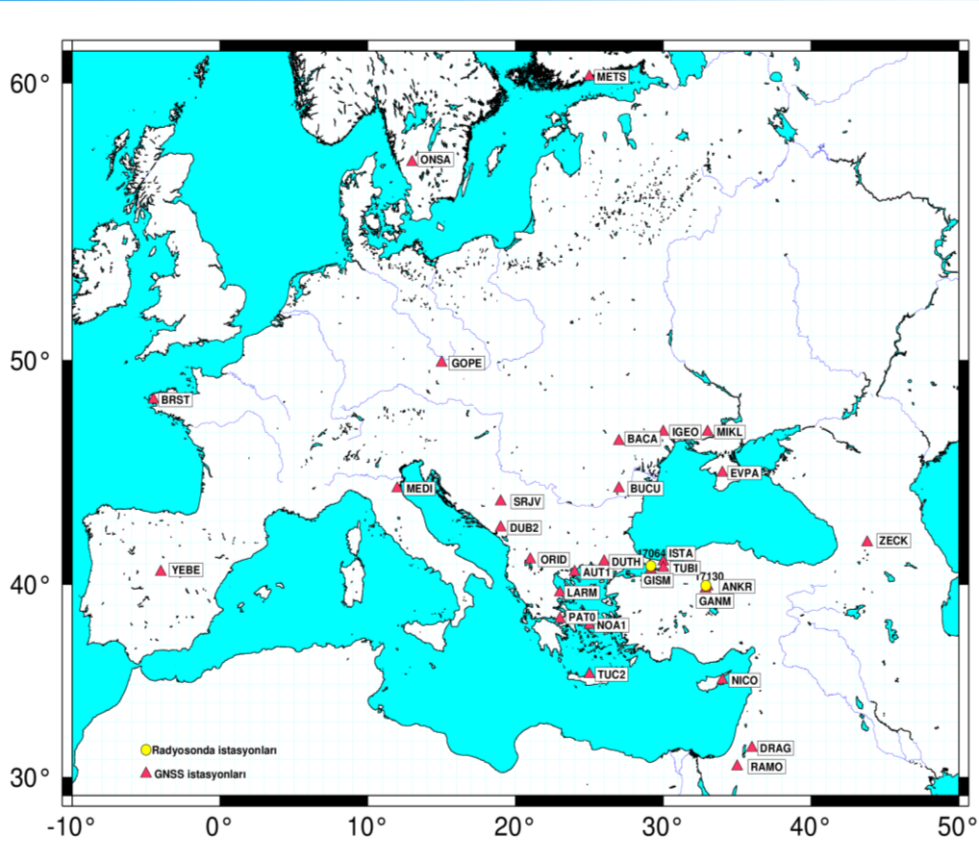
$$Q_{BEU} = [5.7053 - 0.0067 (T_s - 287.7620)] + 0.0130 \theta + 0.0833 H + 0.0709 \sin\left(2\pi \frac{t_D}{365}\right) + 0.1195 \cos\left(2\pi \frac{t_D}{365}\right)]$$

GPS İLE ATMOSFERİK SU BUHARI KESTİRİMİ PROJESİ (TÜBİTAK 112Y350)

MODELLERİN İSTANBUL VE ANKARA GNSS-RS İSTASYONLARINDA TEST EDİLMESİ



MODELLERİN İSTANBUL VE ANKARA GNSS-RS İSTASYONLARINDA TEST EDİLMESİ



GNSS verisi

Bernese GNSS
v5.0

$$ZTD = ZHD + ZWD$$

P, T, H

$$ZWD = ZTD - ZHD$$

T_s ve T_m
 Q

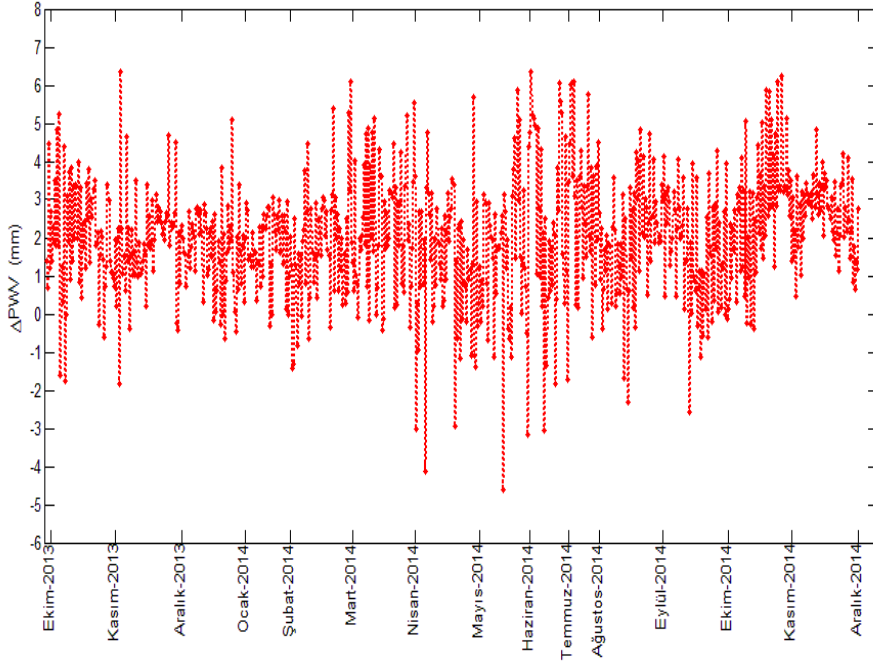
$$PWV = ZWD * K(T_m)^{-1}$$
$$PWV = ZWD * Q^{-1}$$

Ekim 2013 - Aralık 2014

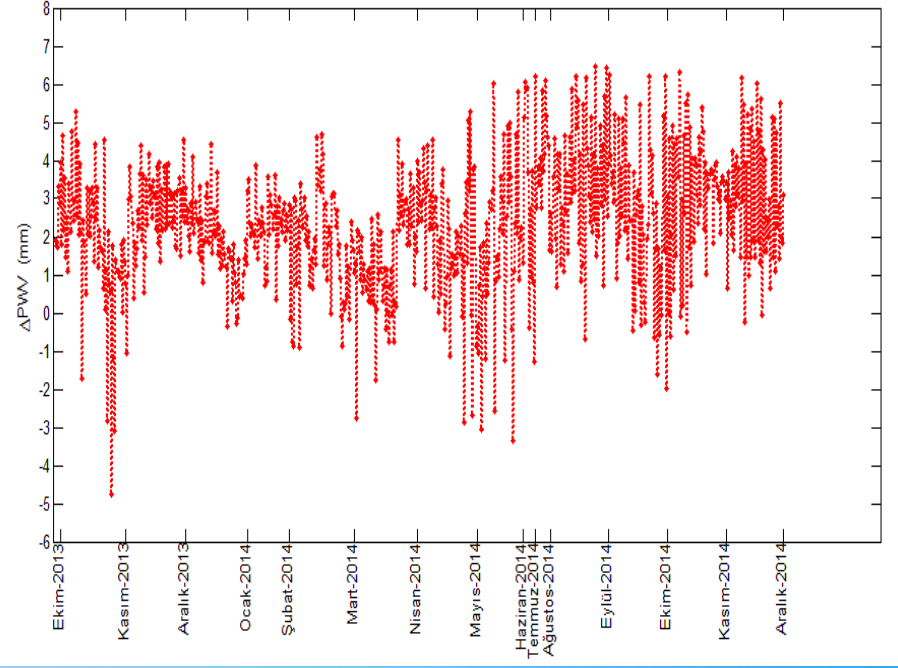
PWV kestiriminde kullanılan jeodezik ağ

MODELLERİN İSTANBUL VE ANKARA GNSS-RS İSTASYONLARINDA TEST EDİLMESİ

GANM PWV Farkları ($PWV_{RS} - PWV_{GNSS}$)



GISM PWV Farkları ($PWV_{RS} - PWV_{GNSS}$)



$r = 0,87$

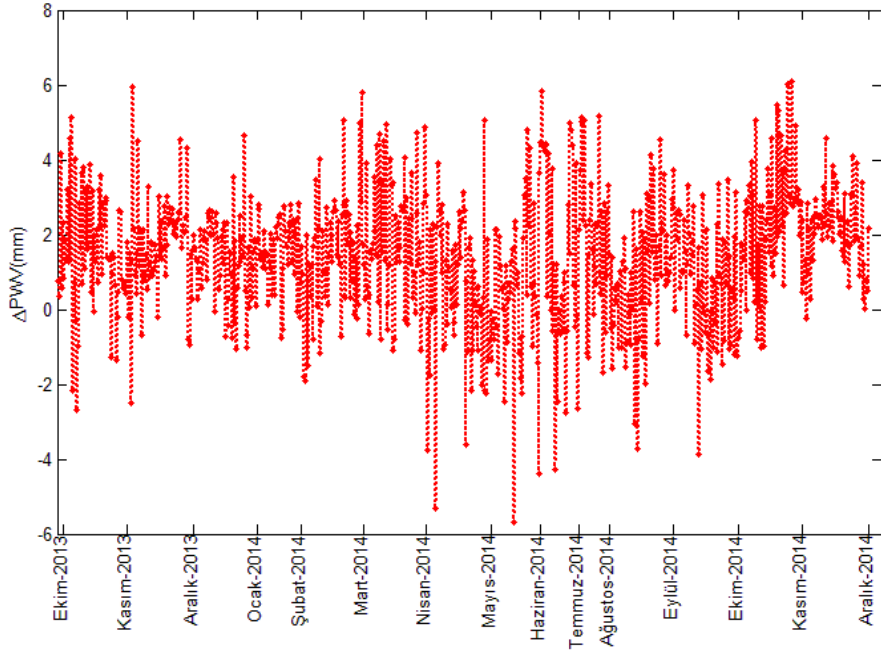
$r = 0,90$

GANM ve GISM istasyonlarında PWV_{GNSS} ile PWV_{RS} arasındaki farkların grafikleri

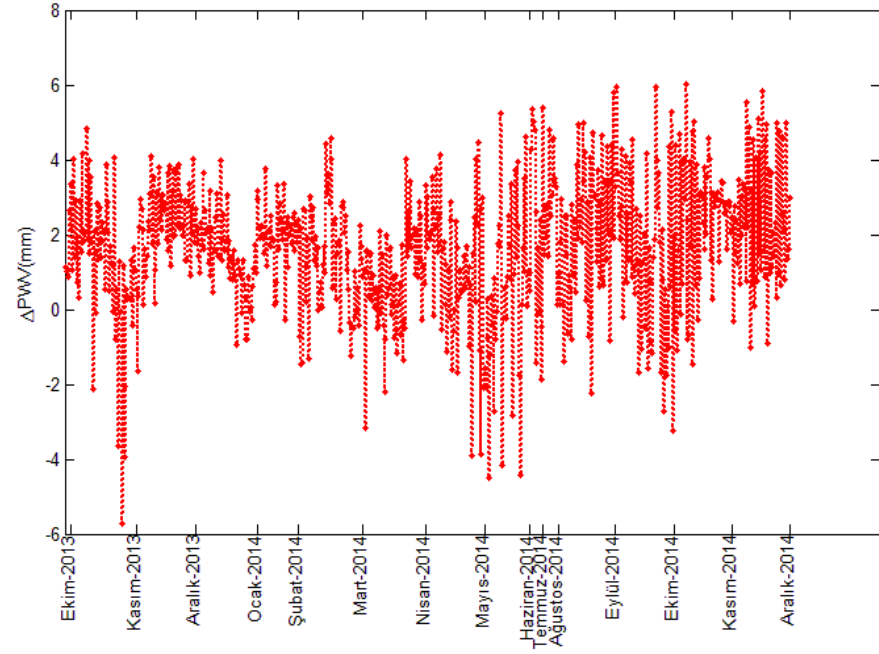
**Bernese v5.0
+ T_m model**

MODELLERİN İSTANBUL VE ANKARA GNSS-RS İSTASYONLARINDA TEST EDİLMESİ

GANM PWV Farkları ($PWV_{RS} - PWV_{GNSS}$)



GISM PWV Farkları ($PWV_{RS} - PWV_{GNSS}$)



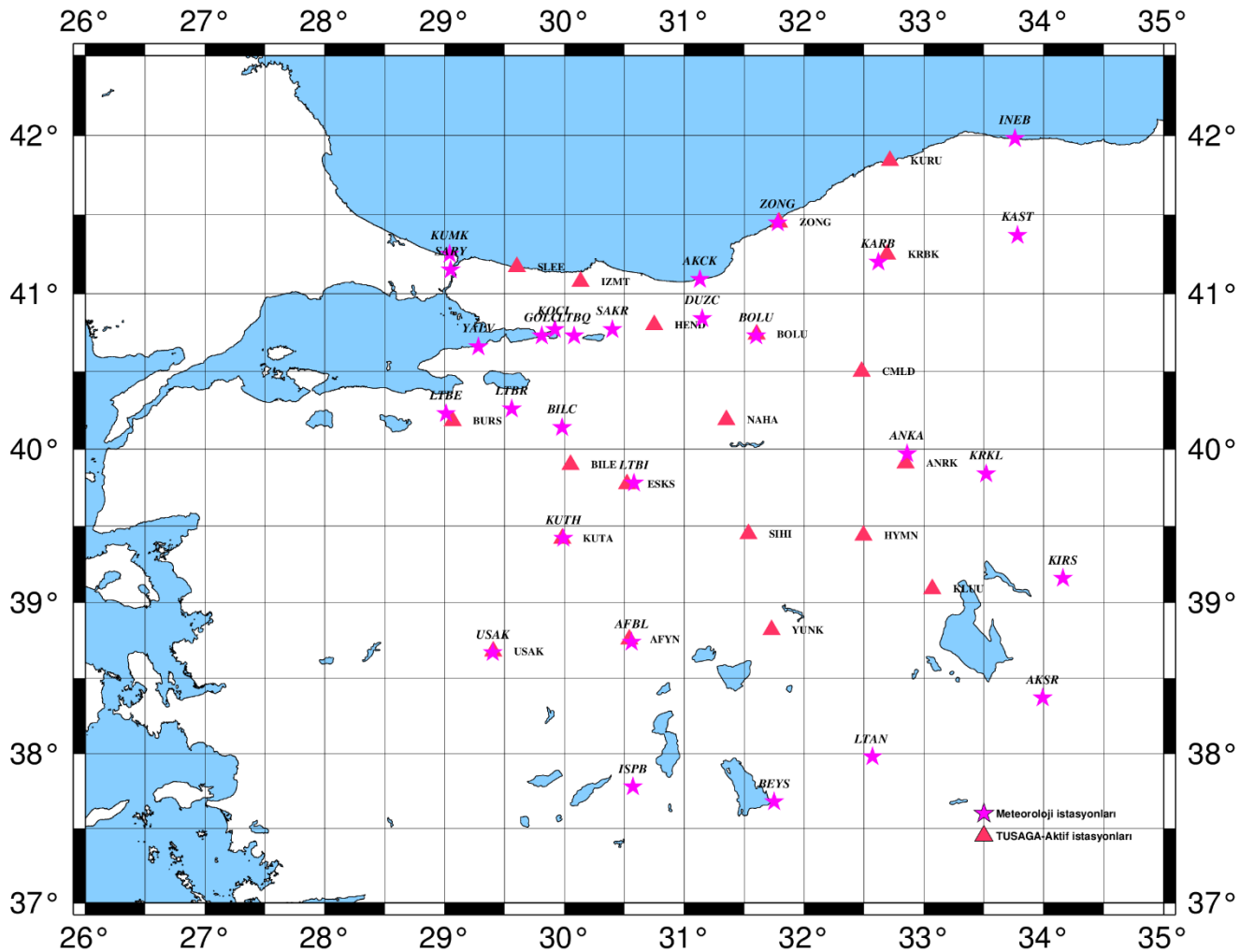
$r=0,87$

Ankara ve İstanbul istasyonlarında $PWV_{RS} - PWV_{GNSS}$ farklarının grafikleri

$r=0,90$

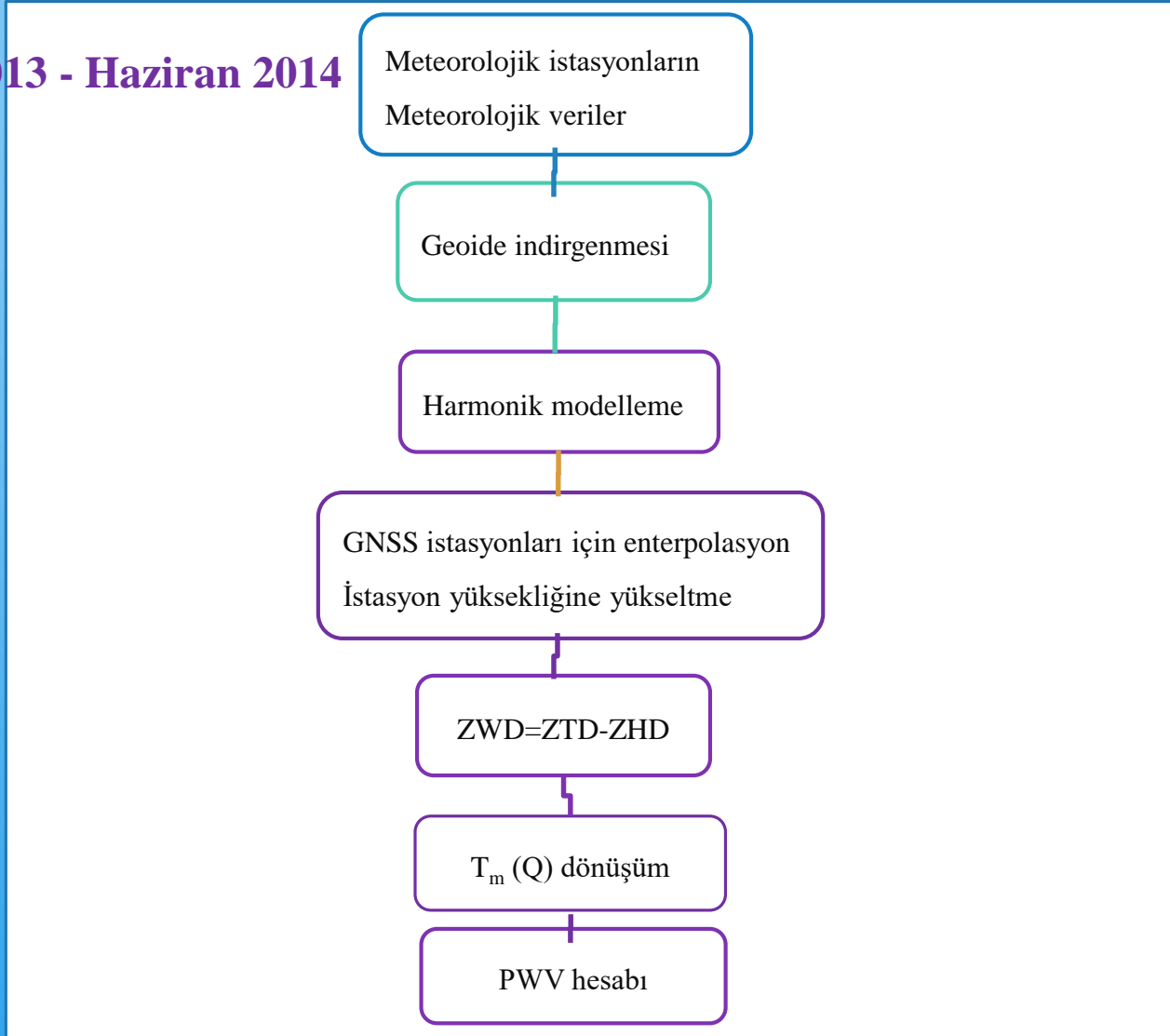
**Bernese v5.0
+ Q model**

GPS İLE ATMOSFERİK SU BUHARI KESTİRİMİ PROJESİ



GPS İLE ATMOSFERİK SU BUHARI KESTİRİMİ PROJESİ

Haziran 2013 - Haziran 2014

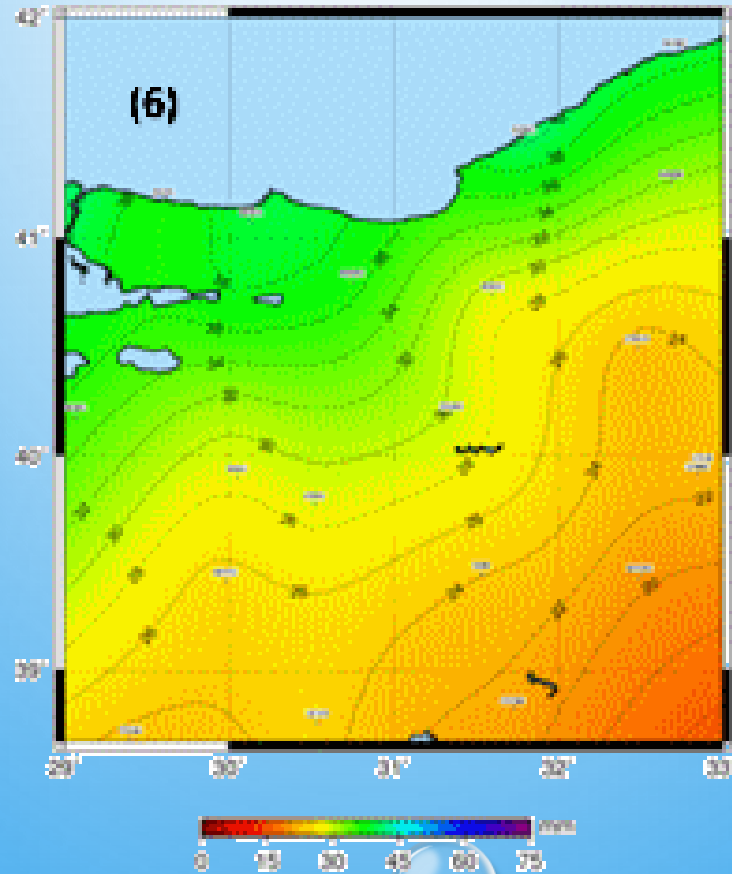


$$\begin{aligned} m_{\text{Tort.}} &= \pm 1,74 \text{ K,} \\ m_{\text{Port.}} &= \pm 0,95 \text{ hPa,} \\ m_{\text{Hort.}} &= \pm \% 14,88 \end{aligned}$$

GPS İLE ATMOSFERİK SU BUHARI KESTİRİMİ PROJESİ

$$m_{PWV} = \pm 0,50-1,32 \text{ mm}$$

1 Ağustos 2013



SONUÇLAR

- PWV_{RS} 'in karesel ortalama hatası 1 mm alınır, bu proje sonucunda geliştirilen dönüşüm modelleri ile PWV_{GNSS} 'in karesel ortalama hatası 1,3 mm olarak bulunmuştur.
- Tüm TUSAGA-Aktif istasyonlarının meteorolojik parametreleri enterpolasyon yöntemi ile üretim çalışmalarına devam edilecektir.
- Geliştirilen modeller, TUSAGA-Aktif istasyonlarında gerçek zamana yakın PWV kestiriminde kullanılabilir. Böylelikle, hava tahmini ve iklim araştırmalarına önemli bir veri sağlanabilir.



TEŞEKKÜRLER

PROF. DR. ÇETİN MEKİK

DR. ÖĞR. ÜYESİ İLKE DENİZ



ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ