TÜBİTAK

TUG

**DPT2007K20190**

# TÜRKİYE ULUSAL RADYO ASTRONOMİ GÖZLEMEVİ YER SEÇİMİ PROJESİ SONUÇ RAPORU

## TÜRKİYE ULUSAL RADYO ASTRONOMİ GÖZLEMEVİ İÇİN METEOROLOJİK, ATMOSFERİK ANALİZLER ve RADYO FREKANS (RF) ÖLÇÜMLERİ

**Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜK**
**(Yer Seçimi Komitesi Başkanı)**

**Erciyes Üniversitesi**
**Fen-Edebiyat Fakültesi**
**Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü**
**Kayseri**

**(Editör: Dr. Ferhat Fikri ÖZEREN)**

**Haziran 2009**

## ÖNSÖZ

Radyo dalgalarının elektromanyetik tayfın büyük bir kısmını kaplaması ve Yer atmosferinin bu frekans aralıklarında oldukça geçirgen olmasından dolayı, radyo astronomi çalışmaları günümüz astronomisinin büyük bir kısmını kapsamaktadır. 1886 yılında radyo dalgalarının Heinrich Hertz tarafından keşfedilmesiyle başlayan bu serüven, 1937 yılında Grote Reber tarafından bu günkü anladığımız anlamdaki radyo teleskopların ilk örneğinin kurulmasıyla astronomi çalışmalarında yeni bir sayfa açılmıştır.

Yaklaşık 60 yıllık geçmişinde büyük ilerleme kaydetmiş olan radyo astronomi, günümüzde pek çok ülkenin bir araya gelerek oluşturduğu çok büyük ölçekli projelerle varlığını göstermektedir. ALMA (Atacama Large Milimeter Array - Atacama Büyük Milimetre Dizgesi), SKA (Square Kilometer Array - Kilometrekare Dizgesi), VLA (Very Large Array - Çok Büyük Dizge), VLBA (Very Long Baseline Array - Çok Uzun Taban Çizgisi Dizgesi) ve VLBI (Very Long Baseline Interferometry - Çok Uzun Taban Çizgisi İnterferometresi) gibi büyük projelerde Türkiye'nin de yerini alabilmesi için, Türkiye'deki radyo astronomi çalışmalarına Tübitak Ulusal Gözlemevi (TUG) yürütücülüğünde Nisan 2007 tarihinde DPT-2007K20190 no'lu Devlet Planlama Teşkilatı Projesi ile başlanmıştır.

14.04.2007 tarih ve 2007/4 sayılı TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) Yönetim Kurulu Toplantısında alınan karar doğrultusunda oluşturulan "Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi Yer Seçimi Komitesi" 04 Mayıs 2007 itibarı ile göreve başlamış ve 31 Aralık 2008 itibarıyla görevini tamamlamıştır.

Bu proje ile tüm Türkiye için oluşturulan meteorolojik ve atmosferik atlas, topoğrafik ve depremsellik analizleri ve Radyo Frekans (RF) tayf ölçümleri, yapılan istasyonlar için özelleştirilmiş, analiz edilmiş ve karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Tayf ölçümlerinin ayrıntılı analizleri, radyo sakin bölge tespiti ve yeni ölçüm istasyonlarına ait meteorolojik-atmosferik ve topoğrafik incelemeler bu raporda verilmiştir.

Proje, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK), Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM), Tübitak - Uzay, TRT, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Harita Genel Komutanlığı ve Erciyes Üniversitesi ile işbirliği içerisinde yürütülmüş; kurumların fiziki, makine teçhizat, ve teknik insan gücü olanaklarından yararlanılmıştır.

Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Yer Seçim Çalışmaları ilk kez bu kadar kapsamlı ve kurumlararası işbirliği içerisinde, donanımlı olarak yapılmıştır. Ancak görülen eksiklikler ve yaşanılan aksaklıklar da düşünülerek bu çalışmanın kazanılan tecrübe ile daha kapsamlı olarak tekrarlanması yararlı olacaktır.

Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜK
Yer Seçimi Komitesi Başkanı

Haziran 2009, Kayseri

## PROJE EKİBİ

| Ünvanı, Adı SOYADI | Görev yeri | Görevi | Görev tanımı |
|---|---|---|---|
| Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜK | Erciyes Üniv. AUBB, Kayseri | Komite Başkanı | Yönetim, organizasyon, rapor |
| Yrd. Doç. Dr. Ferhat F. ÖZEREN | Erciyes Üniv. AUBB, Kayseri | Ekip Üyesi | TUG ve DPT ile ilişkiler |
| Dr. Sedat ONAY | TRT | Ekip Üyesi | RF ölçüm ve analiz |
| Şükriye ÖZ (MSc) | DMİGM | Ekip Üyesi | Meteoroloji ve topoloji analizleri |
| İpek ALTAN (MSc) | Erciyes Üniv. AUBB, Kayseri | Ekip Üyesi | RF, Meteoroloji ve topoloji analizleri |
| Oktay ÜNAL | İzmir Ege Üniv. | Ekip Üyesi | RF ölçüm ve analiz |
| Mehmet GÜLŞEN | BTK-Tayf Dairesi Başkanı | Destek | RF ölçüm ekipmanları ve teknik ölçüm elemanları destekleri |
| Ali Rıza ÖZDEMİR | BTK-Tayf Dairesi | Ekip Üyesi | RF ölçümleri ve analizi |
| Rami URFALIOĞLU | BTK-Tayf Dairesi | Ekip Üyesi | RF ölçümleri |
| Kemal ASLAN | BTK-Tayf Dairesi | Ekip Üyesi | RF ölçümleri |
| Mikail SARIKAYA | Erciyes Üniv. AUBB, Kayseri | Ekip Üyesi | RF ölçümleri |
| Nazlı Derya DAĞTEKİN | Erciyes Üniv. AUBB, Kayseri | Ekip Üyesi | RF ölçümleri |
| Muzaffer ÖZGÜLEŞ | Tübitak - Uzay | Destek | RF ölçüm ve analiz |
| Yrd. Doç. Dr. Ö. Galip SARAÇOĞLU | Erciyes Üniv. Müh. Fak. Elektrik Elektronik Müh. Böl. Kayseri | Destek | RF ölçüm ve analiz |
| Yrd. Doç. Dr. İbrahim DEVELİ | Erciyes Üniv. Müh. Fak. Elektrik Elektronik Müh. Böl.Kayseri | Destek | RF ölçüm ve analiz |

Kısaltmalar:

**AUBB:** Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, **BTK:** Bilgi Teknolojileri Kurumu, **RF:** Radyo Frekans, **DMİGM:** Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, **TUG:** TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, **DPT:** Devlet Planlama Teşkilatı, **TRT:** Türkiye Radyo Televizyon Kurumu

# TÜRKİYE ULUSAL RADYO ASTRONOMİ GÖZLEMEVİ İÇİN METEOROLOJİK, ATMOSFERİK ANALİZLER ve RADYO FREKANS (RF) ÖLÇÜMLERİ

## İçindekiler

ÖNSÖZ ....3
PROJE EKİBİ ....5
TABLOLAR LİSTESİ ....9
ŞEKİLLER LİSTESİ ....11
1. METEOROLOJİK PARAMETRELER ....13
1.1 BUHARLAŞMA ....14
1.2 BULUTLULUK ....14
1.3. SICAKLIK ....17
1.4 YAĞIŞLILIK ....17
1.5. BAĞIL NEM ....19
1.6 RÜZGAR HIZI VE YÖNÜ ....20
1.7 GÜNEŞLENME ŞİDDETİ VE SÜRESİ ....22
1.8 SİSLİ GÜNLER SAYISI ....23
1.9 ORAJLI, DOLULU VE FIRTINALI GÜNLER SAYISI ....23
1.10 KAR KALINLIĞI ....25
2. ATMOSFERİK PARAMETRELER ....27
2.1 ATMOSFER BASINCI ....27
2.2 DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI ....28
2.3 KISMİ SU BUHARI BASINCI ....34
2.4 RADYO KIRINIRLIK ....36
3. RADYO FREKANS ÖLÇÜMLERİ ....51
3.1 RADYO SAKİN BÖLGE KRİTERLERİ ....51
3.2 RADYO GİRİŞİMİ ....51
3.3 RADYO ASTRONOMİK ÖLÇÜMLER İÇİN KORUMA KRİTERLERİ ....52
3.4 RADYO ASTRONOMİ SİSTEMLERİNİN HASSASLIĞI ....53
3.4.1 Girişim Seviyelerini Hesaplamada Kullanılan Genel Etkenler ve Varsayımlar ....53
3.4.2 Özel Durumlar ....54
3.5 TAYF ÖLÇÜMLERİ ....58
3.5.1 Tayf Analizi ....58
3.5.2 Ölçüm Yöntemi ve Kullanılan Düzenekler ....58
3.5.3 MOBBC Sistemi ....59
3.5.4 Ölçüm Aletleri ....60
4. ÖLÇÜMLERİN YORUMU ....63
4.1 ÖLÇÜM SONUÇLARININ YORUMLANMASI ....75
5. SONUÇ ve ÖNERİLER ....86
TEŞEKKÜR ....87
KAYNAKLAR ....88

# TABLOLAR LİSTESİ

**Tablo 2.1** Atmosferik analizlerde kullanılan 187 istasyona ait hesaplanan doymuş su buharı ve kısmi buhar basıncı değerleri
**Tablo 2.2** Atmosferik analizlerde kullanılan 187 istasyona ait hesaplanan radyo kırınırlık ve radyo kırınırlık indeksi değerleri
**Tablo 3.1** Radyo astronomi sürekli bölge gözlemlerine zarar veren girişimin eşik değerleri
**Tablo 3.2** Radyo astronomi tayfsal çizgi gözlemlerine zarar veren girişimin eşik değerleri
**Tablo 3.3** VLBI gözlemleri için eşik girişim değerleri
**Tablo 3.4** Ölçümlerde kullanılan anten türleri ve frekans aralıkları
**Tablo 4.1** Ölçüm yerlerine ait meteorolojik ve atmosferik veriler
**Tablo 4.2** Ölçüm yerlerine ait koordinat ve yükseklik bilgiler

# ŞEKİLLER LİSTESİ

**Şekil 1.1** : DMİGM ait 1536 istasyonun Türkiye üstündeki dağılımı
**Şekil 1.2** : Meteorolojik analizler için seçilen 285 meteoroloji istasyonu
**Şekil 1.3** : Yıllık toplam buharlaşma değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.4** : Yıllık ortalama sabah (saat-07) bulutluluğu değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.5** : Yıllık ortalama öğlen (saat-14) bulutluluğu değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.6** : Yıllık ortalama akşam (saat-21) bulutluluğu değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.7** : Yıllık ortalama minimum sıcaklık değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.8** : Yıllık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.9** : Yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.10** : Yıllık ortalama maksimum yağış değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.11** : Korkuteli rüzgar yönü ve şiddet dağılımı
**Şekil 1.12** : Karaman rüzgar yönü ve şiddet dağılımı
**Şekil 1.13** : Aksaray rüzgar yönü ve şiddet dağılımı
**Şekil 1.14** : Yıllık ortalama bağıl nem değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.15** : Yıllık ortalama maksimum rüzgar hızı değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.16** : Yıllık ortalama güneşlenme şiddeti değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.17** : Yıllık ortalama güneşlenme süresi değerlerinin dağılımı
**Şekil 1.18** : Yıllık toplam sisli günler sayısının dağılımı
**Şekil 1.19** : Yıllık toplam orajlı günler sayısının dağılımı
**Şekil 1.20** : Yıllık toplam dolulu günler sayısının dağılımı
**Şekil 1.21** : Yıllık toplam fırtınalı günler sayısının dağılımı
**Şekil 1.22** : Yıllık ortalama maksimum kar kalınlığı değerlerinin dağılımı
**Şekil 2.1** : Atmosferik hesaplamalar için seçilen 187 meteoroloji istasyonu
**Şekil 2.2** : Yüzeydeki atmosfer basıncı değerlerinin dağılımı
**Şekil 2.3** : Farklı $P_w$ denklemlerin sıcaklığa göre dağılımlarının karşılaştırılması
**Şekil 2.4** : Goff & Gratch (46) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri
**Şekil 2.5** : Magnus&Teten (67) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri
**Şekil 2.6** : Bolton (80) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri
**Şekil 2.7** : Buck (81) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri
**Şekil 2.8** : Buck (96) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri
**Şekil 2.9** : Sonntag (94) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri
**Şekil 2.10** : Murphy (05) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri
**Şekil 2.11** : Su buharı ile yüksekliğin ilişkisi
**Şekil 2.12** : Kısmi buhar basıncının sıcaklıkla ilişkisi
**Şekil 2.13** : Buck (96) $P_w$ değerlerinden hesaplanmış e değerleri
**Şekil 2.14** : Farklı radyo kırınırlık denklemlerin sıcaklığa göre dağılımlarının Karşılaştırılması
**Şekil 2.15** : Radyo kırınırlık ile yüksekliğin ilişkisi
**Şekil 2.16** : Smith&Weintraub (53) formülünden hesaplanmış N değerleri
**Şekil 2.17** : Moreland (65) formülünden hesaplanmış N değerleri
**Şekil 2.18** : Rüeger (05) formülünden hesaplanmış N değerleri
**Şekil 3.1** : MOBBC aracı ve iç donanımı
**Şekil 3.2** : FSP40 tayf analizörü
**Şekil 3.3** : HL-50 log-periyodik anteninin görüntüsü ve dış koruması
**Şekil 3.4** : Türkiye deprem bölgeleri haritası ve ölçüm merkezleri
**Şekil 3.5** : Ölçüm merkezleri ve olası radyo sakin bölge alanları
**Şekil 3.6** : Karaman- Merkez ve Yazılı ölçüm istasyonlarına ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları
**Şekil 3.7** : Karaman- Akçaşehir Çakırdağ ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları
**Şekil 3.8** : Antalya-Korkuteli Elmalı ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları
**Şekil 3.9** : Burdur-Yeşilova ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları
**Şekil 3.10** : Antalya- Akçay ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları
**Şekil 3.11** : Antalya- Bozova ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları
**Şekil 3.12** : Antalya-Akçay, anten pozisyonu yatay $90^o$ dikey $45^o$ konumunda10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü

**Şekil 3.13** **:** Antalya-Akçay, anten pozisyonu yatay $90^{o}$ dikey $45^{o}$ konumunda 1GHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.14** **:** Antalya-Bozova, anten pozisyonu yatay $180^{o}$ dikey $45^{o}$ konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.15** **:** Antalya-Bozova, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $90^{o}$ konumunda 1.42GHz 'de alınmış HI radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.16** **:** Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay $180^{o}$ dikey $0^{o}$ konumunda 800 MHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.17** **:** Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $90^{o}$ konumunda 1.420 GHz'de alınmış HI radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.18** **:** Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $90^{o}$ konumunda 22.235 GHz'de alınmış $H_2O$ radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.19** **:** Antalya-Korkuteli-Uluca civarı, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $90^{o}$ konumunda 1.612 GHz'de alınmış OH radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.20** **:** Burdur-Yeşilova sonrası 10.km, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $45^{o}$ konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.21** **:** Burdur-Yeşilova sonrası 10.km, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $45^{o}$ konumunda 800 MHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.22** **:** Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $0^{o}$ konumunda 2.7 GHz-2.9 GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.23** **:** Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $90^{o}$ konumunda 1.420 GHz'de alınmış HI radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.24** **:** Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $90^{o}$ konumunda 22.235 GHz'de alınmış $H_2O$ radyo frekans ölçümü
**Şekil 3.25** **:** Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay $0^{o}$ dikey $90^{o}$ konumunda 1.612 GHz'de alınmış OH radyo frekans ölçümü
**Şekil 4.1** **:** Maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.2** **:** Sabah, öğlen ve akşam bulutluluk değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.3** **:** Toplam buharlaşma değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.4** **:** Maksimum yağışlılık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.5** **:** Bağıl nem değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.6** **:** Maksimum rüzgar hızı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.7** **:** Güneşlenme süresi değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.8** **:** Güneşlenme şiddeti değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.9** **:** Toplam kar kalınlığı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.10** **:** Sisli, orajlı, dolulu ve fırtınalı gün sayısı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.11** **:** Yüzeydeki atmosfer basıncı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.12** **:** Kısmi buhar basıncı ve doymuş su buharı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.13** **:** Radyo kırınırlık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.14** **:** Maksimum sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.15** **:** Minimum sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.16** **:** Ortalama sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı
**Şekil 4.17** **:** Bağıl nem değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı

## 1. METEOROLOJİK PARAMETRELER

Bir Radyo Gözlemevinin yer seçimde dikkate alınan iklimsel parametreleri, meteorolojik ve atmosferik olarak ikiye ayırabiliriz. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM)'ne ait 1536 adet meteoroloji istasyonunun (Şekil 1.1) içinden 285 tanesi (Şekil 1.2) bu çalışmada uygun verileri ve koşulları sağladığı için seçilmiştir. Bu seçim yapılırken meteoroloji istasyonlarının dağılımının homojen olmasına, verilerin bulunduğu bölgeyi iyi temsil edebilecek nitelikte olmasına ve seçilen istasyonların çalışmada kullanılacak iklimsel parametrelere ait verileri eksiksiz içermesine dikkat edilmiştir. Bu amaçla DMİGM 'den alınan referanslar çerçevesinde Büyük Klima ve Küçük Klima meteoroloji istasyonlarının verileri kullanılmıştır.

Her meteorolojik parametre için kullanılan istasyon sayısı yakın olmakla beraber değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan atmosferik ve meteorolojik ölçütler, literatür taramasında Dünya'daki çeşitli Radyo Gözlemevleri için yapılmış olan yer seçim çalışmaları ve Türkiye'de TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK MAM) 'nde yürütülmüş olan radyo teleskop yer seçim çalışması da incelendikten sonra belirlenmiştir. Literatür araştırması yapıldığında mevcut radyo gözlemevleri için çok farklı iklim ve coğrafi koşullar söz konusu olduğundan, incelenecek olan ölçütler için kesin standartlar tespit edilememiştir. Bu nedenle Türkiye'de kurulacak olan bir radyo gözlemevi için mevcut iklim ve topografya şartları altında değerlendirme yapmanın daha uygun olacağına karar verilmiştir. Meteorolojik analizlerde kullanılan veriler aşağıda sıralanmıştır;

- ✓ Buharlaşma (mm)
- ✓ Bulutluluk (x/10) ( Saat 7, 14 ve 21 için)
- ✓ Sıcaklık ($C^o$) ( Ortalama, Minimum Ortalama, Maksimum Ortalama Sıcaklık)
- ✓ Yağışlılık (mm)
- ✓ Bağıl Nem (%)
- ✓ Rüzgar Hızı ve Yönü (m/sn, kuvruz)
- ✓ Güneşlenme Şiddeti ve Süresi ($cal/cm^2$, saat)
- ✓ Sisli Günler Sayısı (gün)
- ✓ Orajlı, Dolulu, Fırtınalı Günler Sayısı (gün)
- ✓ Kar Kalınlığı (cm)

Tüm bu veriler hem Türkiye'nin bir meteorolojik atlasının çıkartılarak, parametrelere ait eğilimlerin incelenmesi için hem de elektromanyetik frekans ölçümleri yapılan bölgelerin meteorolojik parametrelerinin karşılaştırılması için analiz edilmiştir.

## 1.1 BUHARLAŞMA

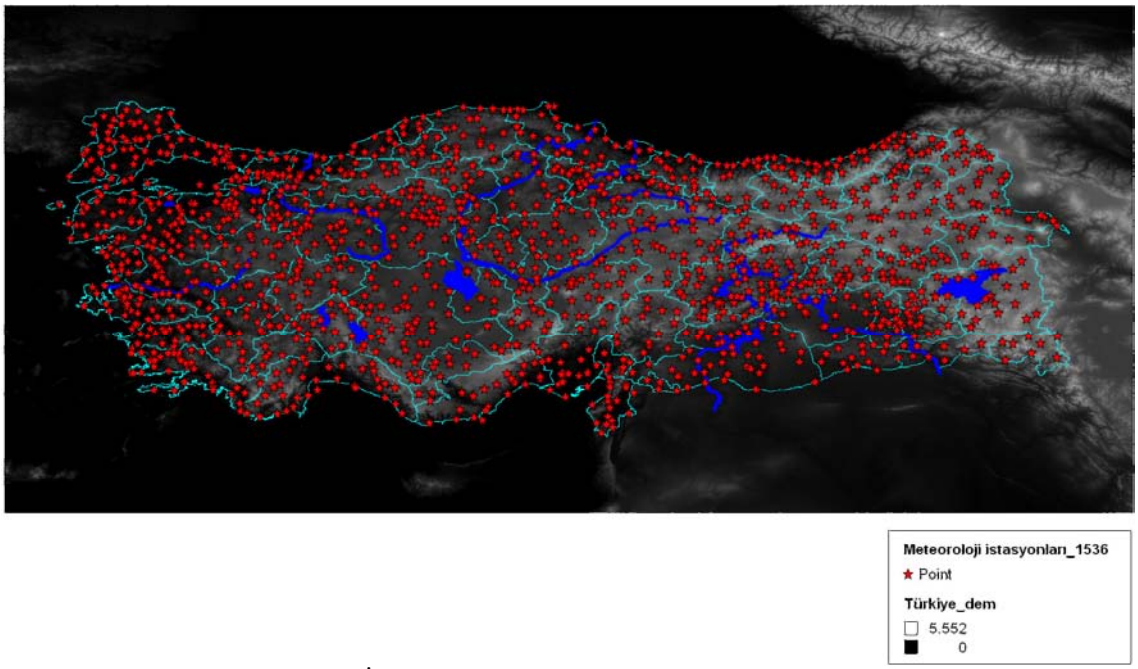
Uzun yıllara ait toplam buharlaşma verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.3'de uzun yıllara ait yıllık toplam değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş buharlaşma dağılımı görülmektedir.

Buharlaşmanın yüksek olması sıcaklığın yüksek olmasını gerektirir ve sonuçta ortamdaki nem miktarının yükselmesine neden olur ki buda radyo yayılımını olumsuz yönde etkiler. Karadeniz ve İç Anadolu'nun kuzey kısımları bu açıdan elverişlidir.

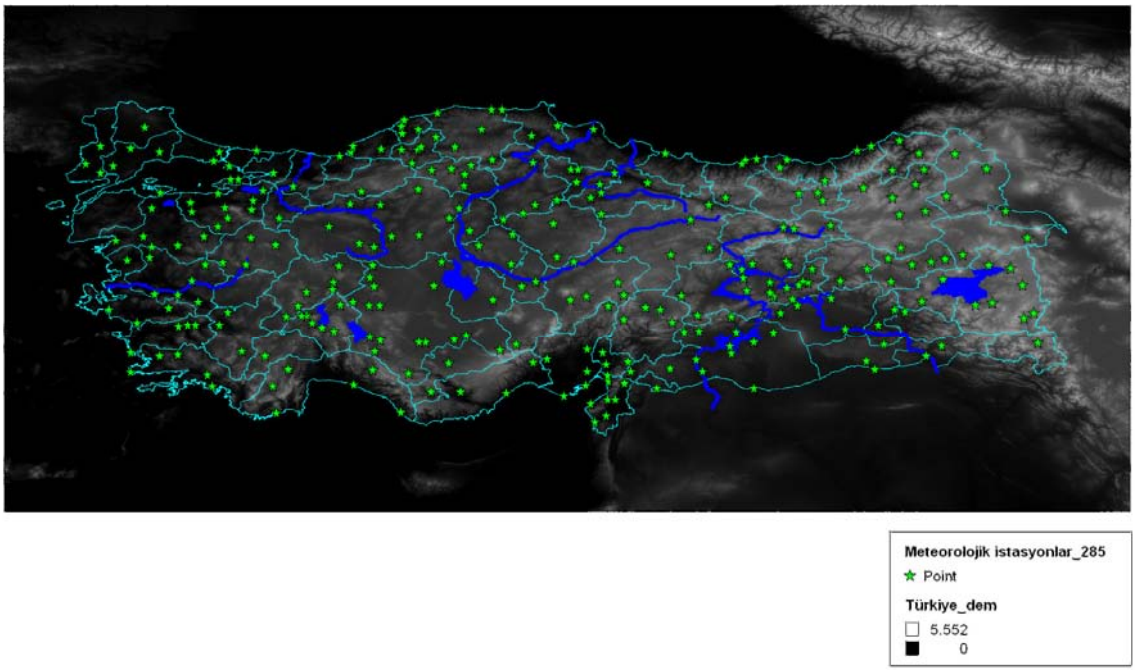
## 1.2 BULUTLULUK

Uzun yıllara ait toplam bulutluluk verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.4, Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş bulutluluk dağılımları görülmektedir. Bulutluluk verileri aynı gün içinde sabah 7, öğlen 14 ve akşam 21 saatlerinde alınmış ve uzun yıllar ortalamalarından bu değerler elde edilmiştir. Gün içinde alınmış saatlik ölçümler bize gece ve gündüz arasındaki farkları anlamamız açısından önemli bir avantaj sağlar.

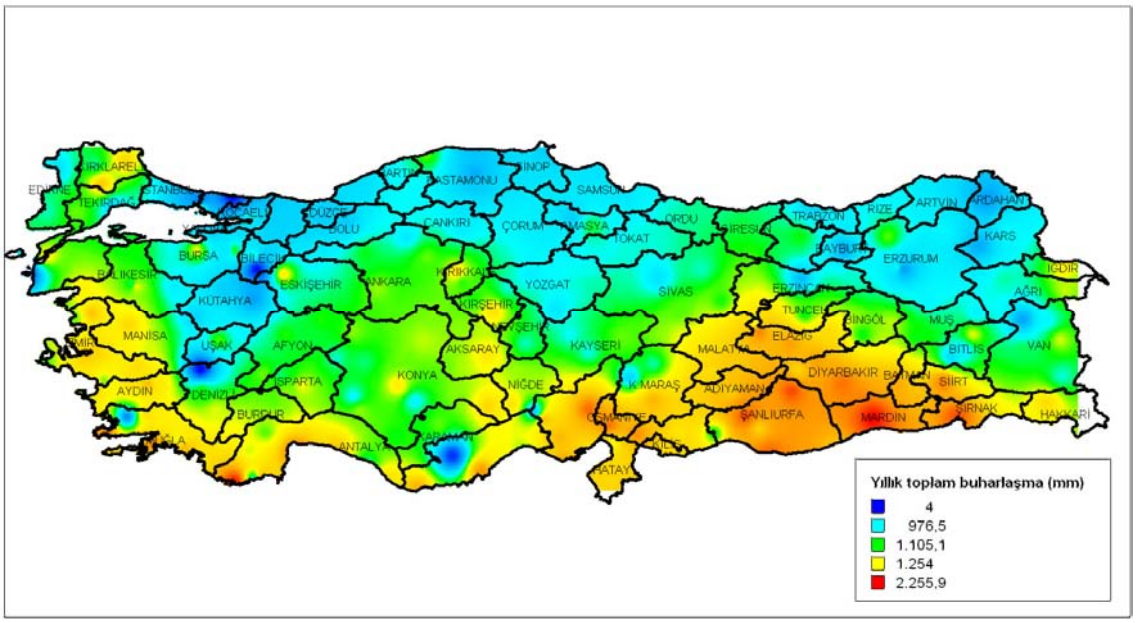
Eğilimler incelendiğinde sabah 7 ve akşam 21 dağılımları birbirine çok yakın iken öğlen 14 için yapılan gözlemler farklılık göstermektedir. Gece ve sabah bulutluluk daha azken öğlen saatleri günün en bulutlu saatleridir. Gözlemevleri için bulutluluk yüksek olması istenen bir parametre değildir, optik gözlemevlerinde olduğu gibi radyo gözlemevleri içinde bulutluluk, nemi gerektirdiğinden dolayı radyo dalga yayılımını kötü yönde etkiler, bu nedenle mümkün olduğu kadar bulutluluğun az olduğu yerler gözlemevleri için elverişlidir. Bu koşulların genellikle İç Anadolu ve Akdeniz yöresinde sağlandığı analizlerden görülmektedir. Bulutların gözlem yerinin aşağısında kaldığı TUG Bakırlıtepe gibi yerler, analizlerde bulutluluğun yoğun görüldüğü bölgeler olmalarına karşın gözlemevleri için elverişli olabilirler.



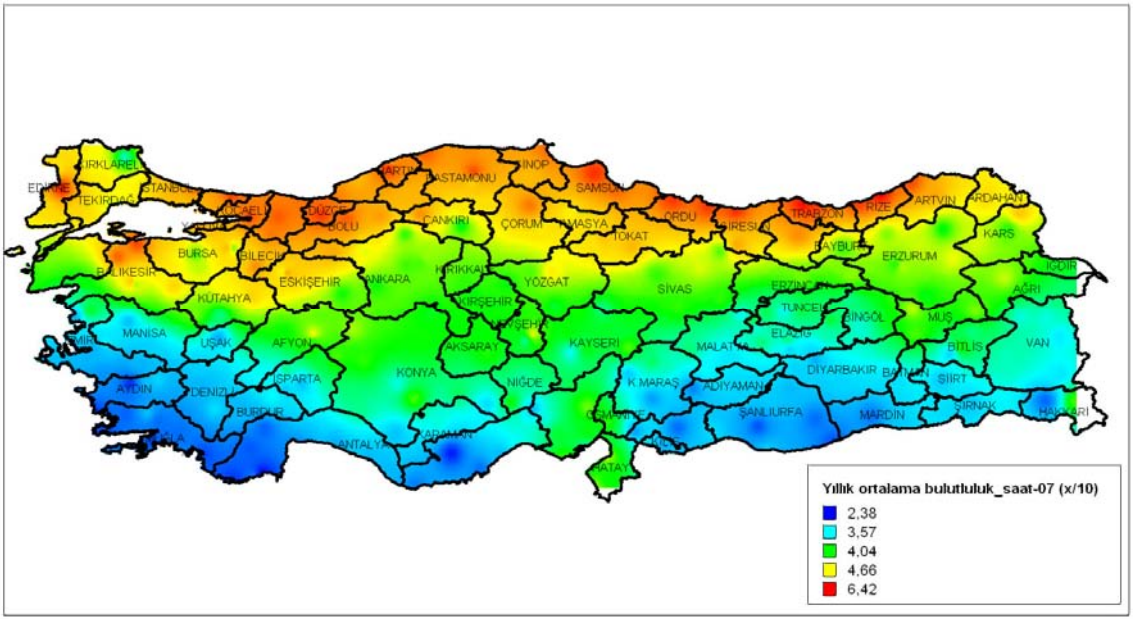

**Şekil 1.1:** DMİGM ait 1536 istasyonun Türkiye üstündeki dağılımı



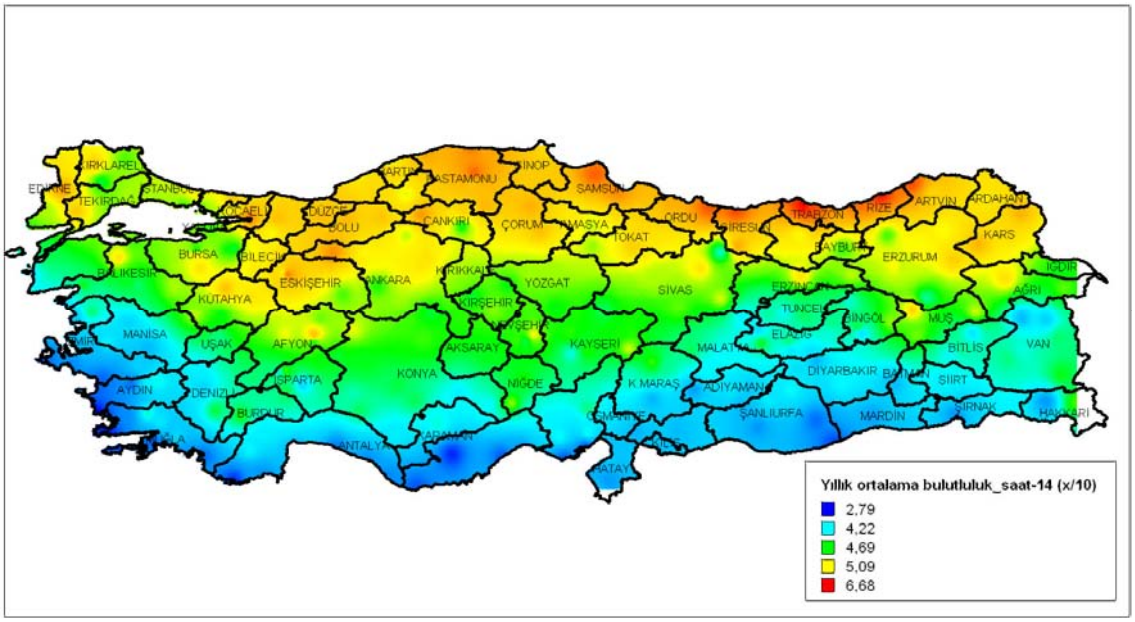

**Şekil 1.2:** Meteorolojik analizler için seçilen 285 meteoroloji istasyonu



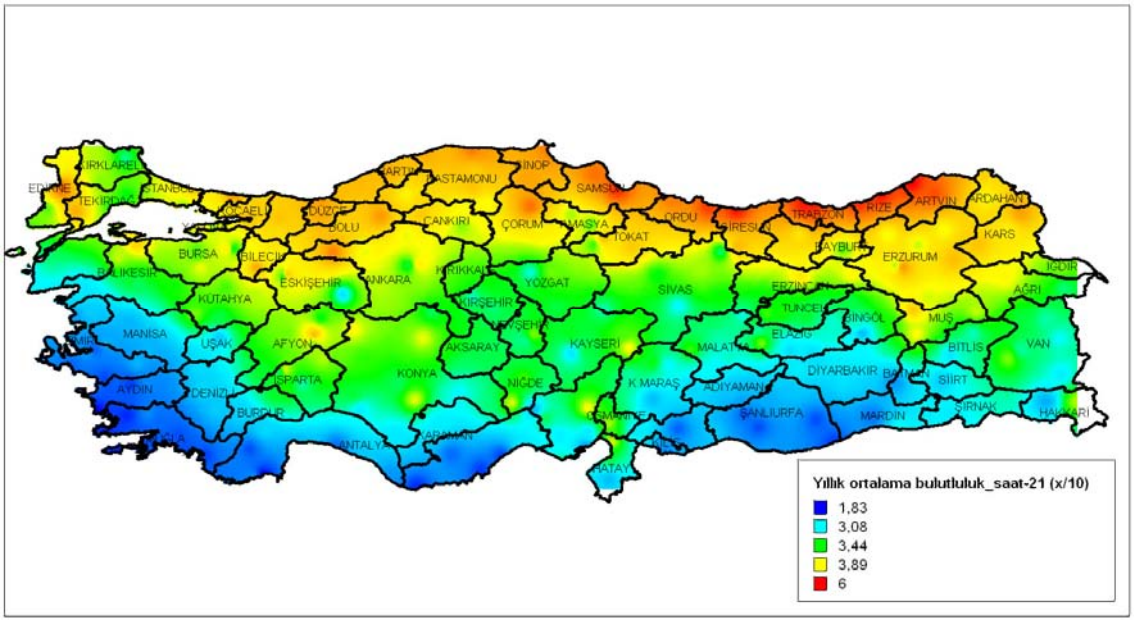

**Şekil 1.3:** Yıllık toplam buharlaşma değerlerinin dağılımı




**Şekil 1.4:** Yıllık ortalama sabah (saat-07) bulutluluğu değerlerinin dağılımı




**Şekil 1.5:** Yıllık ortalama öğlen (saat-14) bulutluluğu değerlerinin dağılımı




**Şekil 1.6:** Yıllık ortalama akşam (saat-21) bulutluluğu değerlerinin dağılımı

## 1.3. SICAKLIK

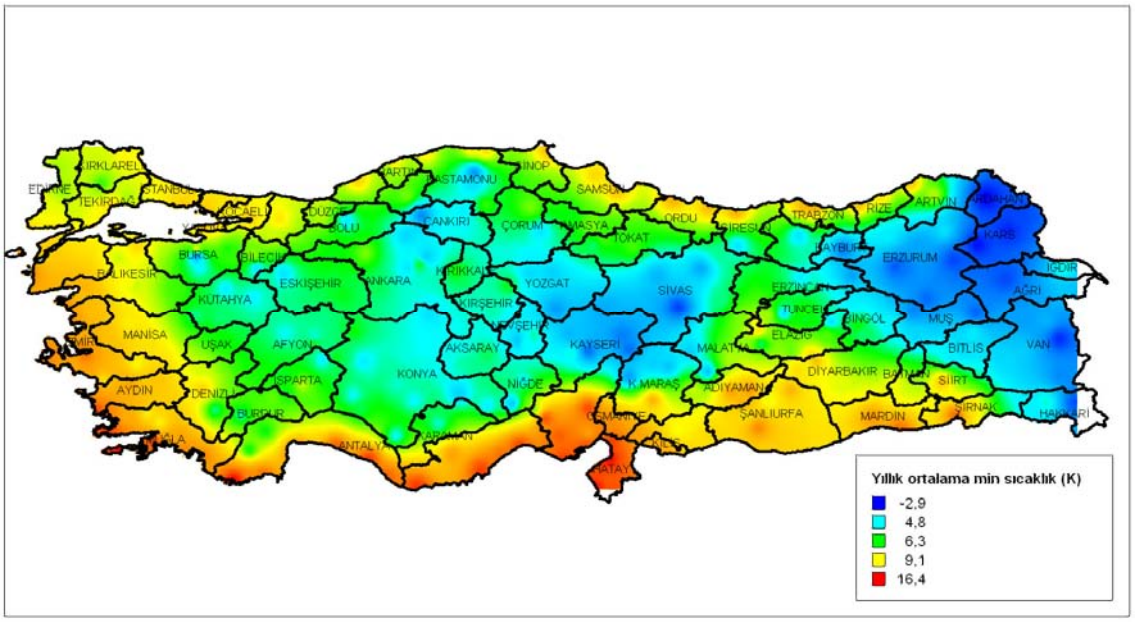
Şekil 1.7, Şekil 1.8 ve Şekil 1.9'da uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş ortalama sıcaklık, minimum sıcaklık ve maksimum sıcaklık dağılımları görülmektedir.

Sıcaklığın üç ayrı şekilde ele alınmasının nedeni en düşük, ek yüksek ve ortalama değerlerin uzun yıllar içindeki değişimlerini ayrıntılı olarak ele alabilmektir. Sıcaklık tek başına etkili bir parametre olmasa da (çok farklı iklime sahip bölgelerde kurulmuş gözlemevleri vardır) nem, buharlaşma, su buharı gibi parametrelerle birinci derecede ilişkili olduğu ve radyo kırınırlık ve su buharı hesaplamalarında kullanıldığı için analizlerde önem kazanmaktadır. Sıcaklığın çok düşük olması kar, yağış, dolu gibi parametreleri yükseltirken, çok yüksek olması da buharlaşma, nem ve dolayısıyla su buharının yükselmesine neden olur. Bu nedenle ortalama değer aralığı bizim için en uygun olanıdır.

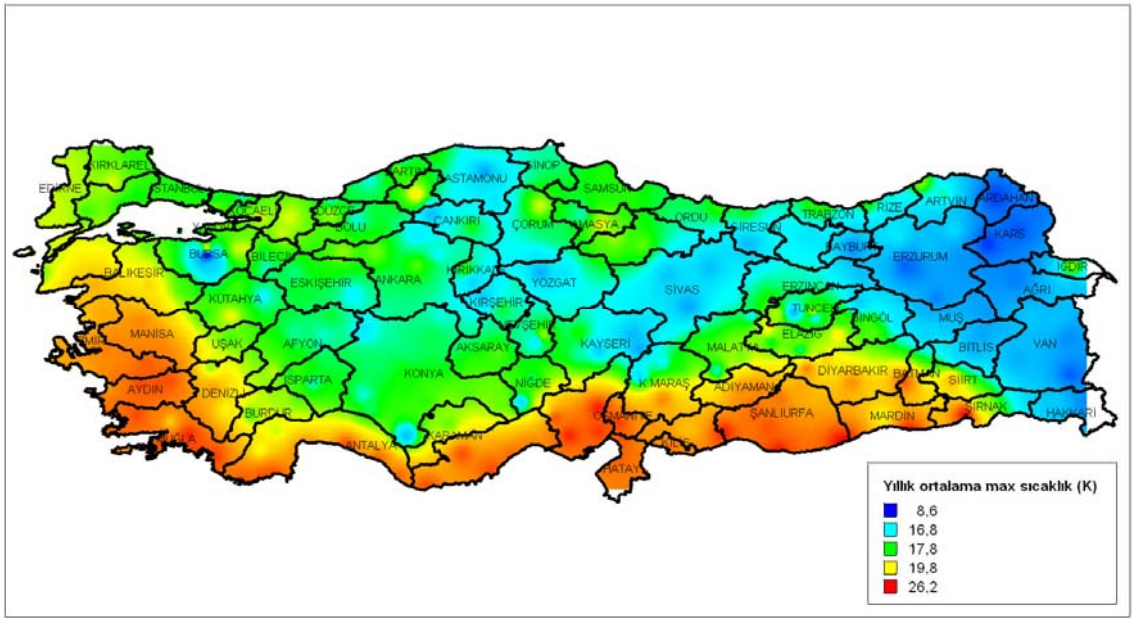
## 1.4 YAĞIŞLILIK

Uzun yıllara ait toplam yağış verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.10'da uzun yıllara ait en yüksek yağışlılık değerlerine göre ara değer kestirimi elde edilmiş dağılım görülmektedir. Yağışlılık, sıcaklık, havadaki su buharı miktarı, nem gibi birden fazla parametreyle ilişkilidir. Havadaki taneciklerin tuttuğu su buharı belli bir değere ulaşınca, yağışın türünü ortamın sıcaklığı belirler. İç Anadolu bölgesi, Doğu ve Güney Doğu Anadolu'nun bazı kısımları yağış bakımından fakir bölgelerdir.

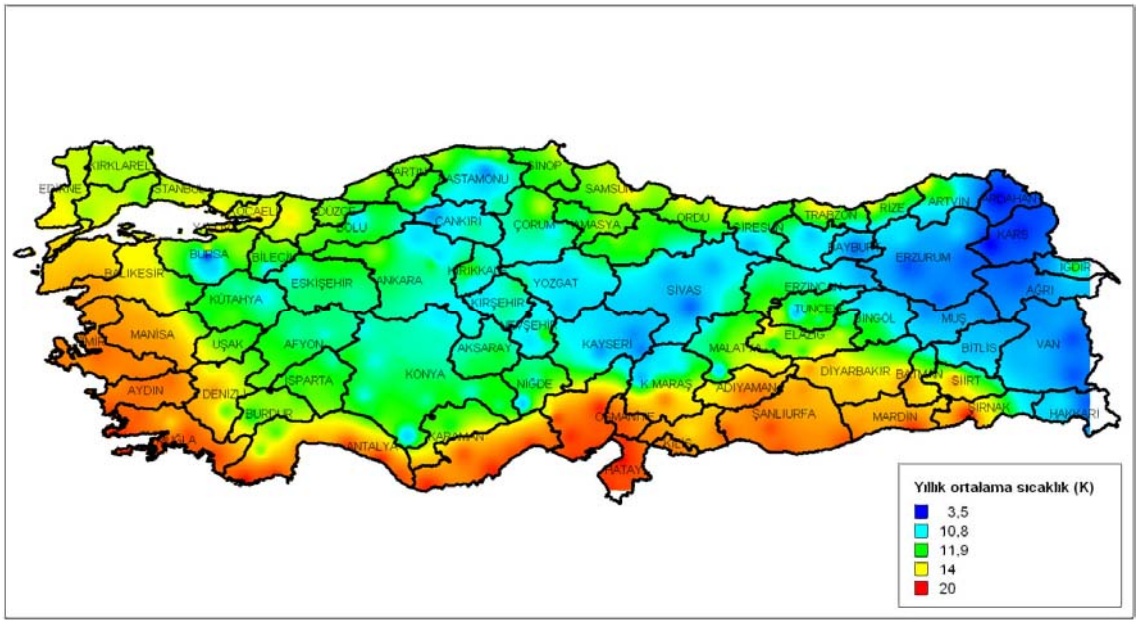
Yağış ortamdaki nem ve su buharı miktarı ile ilişkili olduğu için çok yağış alan bölgeler gözlemevleri için uygun yerler değildir. Havadaki kirlilik oranı ve toz gibi parametreleri azaltmasından dolayı yağış aynı zamanda bölgeye göre istenen bir parametre de olabilmektedir, bu nedenle yer seçimlerinde yağışın ortalama ve altı değere sahip olan bölgeler dikkate alınmıştır.



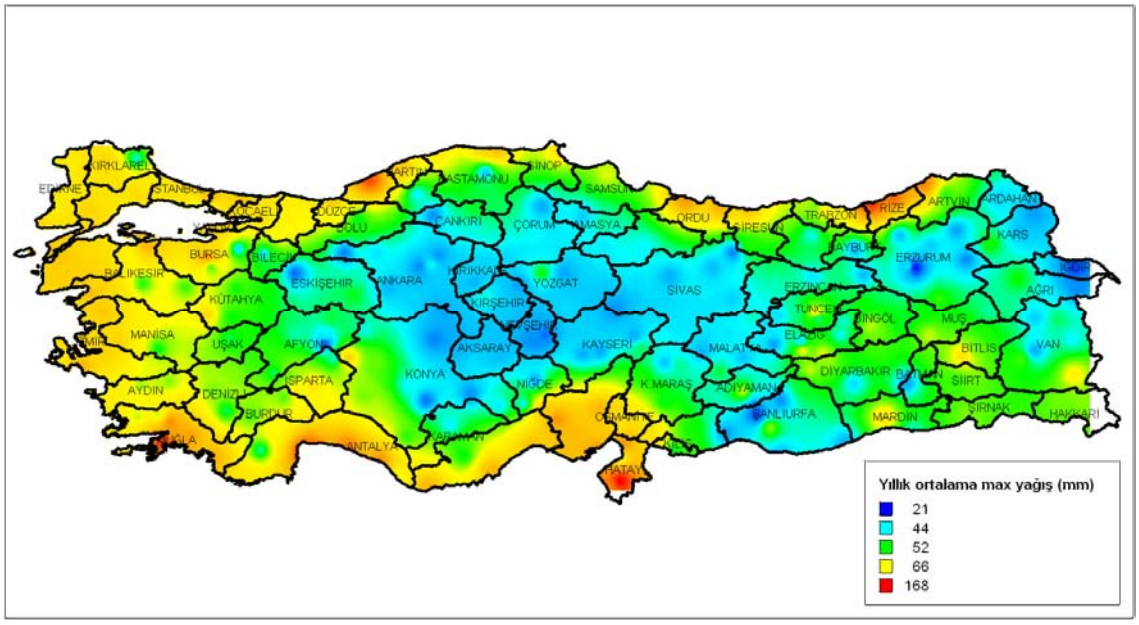

**Şekil 1.7:** Yıllık ortalama minimum sıcaklık değerlerinin dağılımı




**Şekil 1.8:** Yıllık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin dağılımı




**Şekil 1.9:** Yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin dağılımı




**Şekil 1.10:** Yıllık ortalama maksimum yağış değerlerinin dağılımı

## 1.5. BAĞIL NEM

Bağıl nem tüm bu meteorolojik parametrelerin içinde gözlemevleri için en önemli olanlarından biridir. Çünkü hem su buharı ($P_w$) hem de radyo kırınırlık (N) hesaplamalarında önemli bir rol oynar. Atmosferdeki radyo dalgalarının yayılımını etkileyen ve bir radyo gözlemevi

için en önemli ölçüt bu ikisidir. Nemin yüksek olması, su buharı miktarının yüksek olmasına ve radyo kırınırlık katsayısının büyümesine yani, atmosfere giren radyo dalgalarının daha fazla yön değiştirmesine neden olur. Bu nedenle gözlemevleri için mümkün olduğu derecede kuru havaya sahip bölgeler tercih edilmelidir.

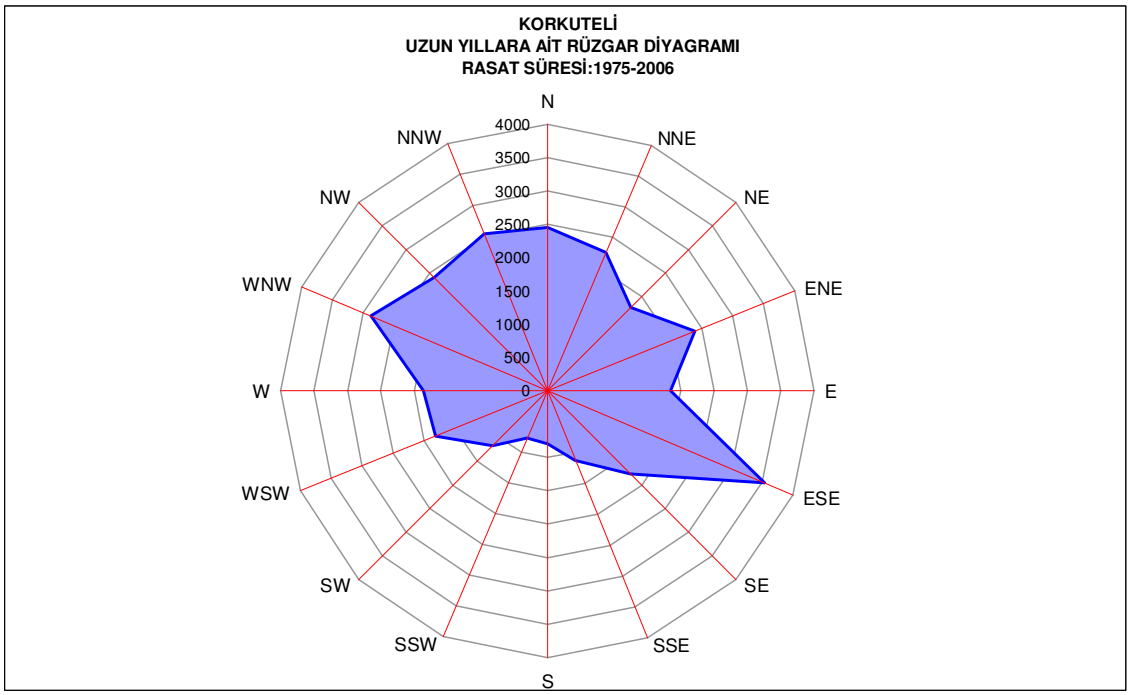
Uzun yıllara ait ortalama bağıl nem verileri analiz edilmiştir. Şekil-20 de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş bağıl nem dağılımı görülmektedir. Gözlemevlerinin deniz kenarlarına yapılmamasının başlıca nedeni de budur.

## 1.6 RÜZGAR HIZI VE YÖNÜ

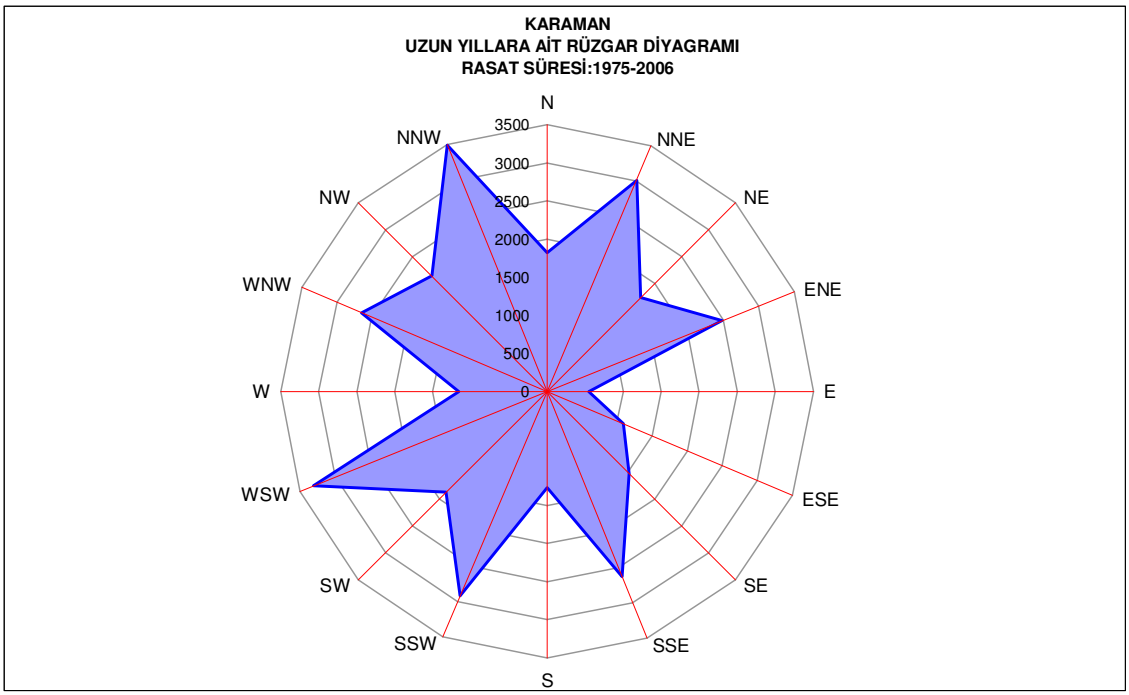
Uzun yıllara ait maksimum rüzgar hızı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.14 de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş rüzgar hızı dağılımı görülmektedir. Rüzgar yönleri de belirlenecek olan istasyonlar için örneklerde görülen şekilde hazırlanması planlanmaktadır. Rüzgar hızının yüksek olması daha çok ölçüm aletlerini etkileyen bir parametre olduğu ve hassasiyeti doğrudan etkileyebileceği için düşük olduğu bölgeler gözlemevleri için daha elverişlidir. Güney Doğu Anadolu bölgesi, Akdeniz'in iç kısımları ve İç Anadolu bölgesinin bazı kısımları bu yönden uygundur.

Rüzgar yönü analizleri pilot olarak seçilen, Afyon, Konya ve Bingöl bölgeleri için yapılmıştır. Korkuteli (Antalya), Karaman ve Aksaray bölgelerine ait rüzgar gülleri Şekil 1.11, Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'de gösterilmektedir. Bu bölgelerin seçilmesinin amacı elektromanyetik tayf ölçümlerinin bu bölgelerde yapılmış ve yapılacak olmasıdır. Aşağıdaki grafikler DMİGM'den alınmış olan 1997-2006 yılları arasında yapılan ölçümlerden elde edilen rüzgar yönü ve şiddeti verileri kullanılarak çizilmiştir.

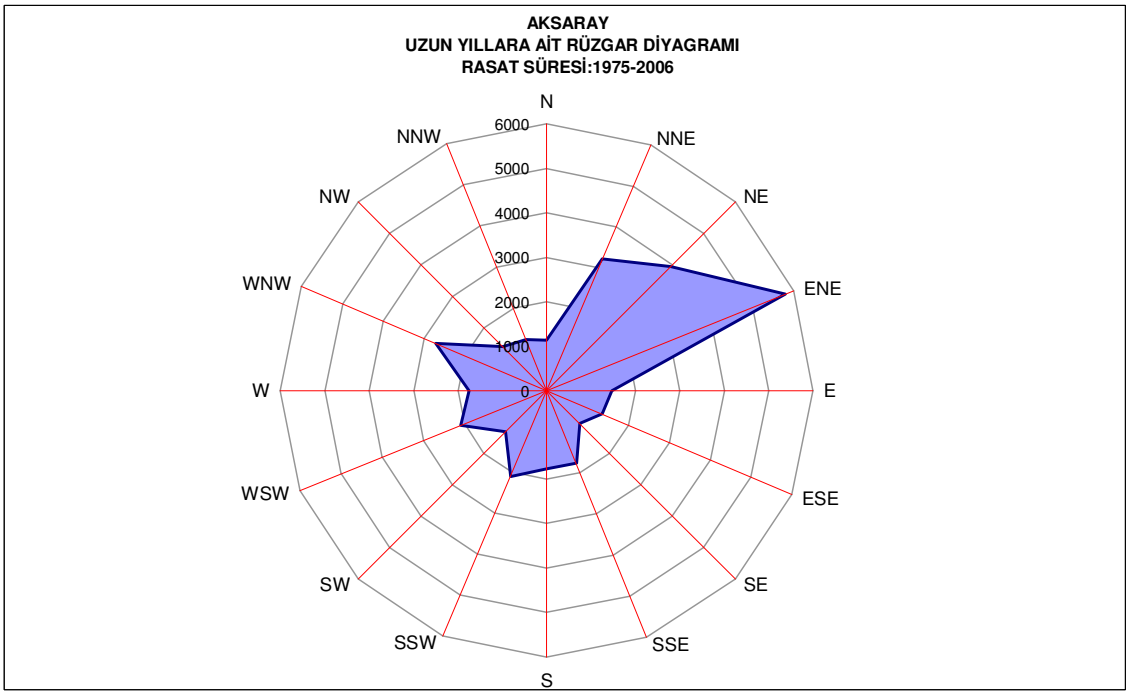
Bölgenin topoğrafik durumu incelendiği zaman rüzgar yönü önem kazanacaktır. Örneğin bulunduğunuz bölgede bir yükselti varsa ve o yönde bir rüzgar alıyorsanız, yükselti rüzgarı engelleyecektir ama bu bulutların daha zor dağılmasına neden olacaktır.



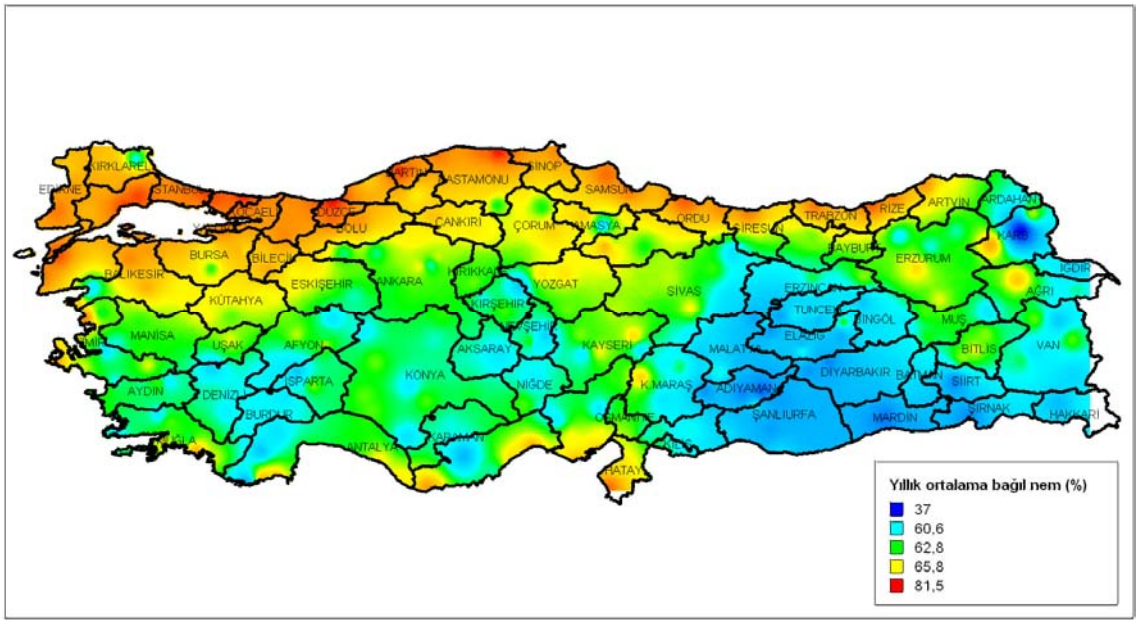

**Şekil 1.11:** Korkuteli rüzgar yönü ve şiddet dağılımı



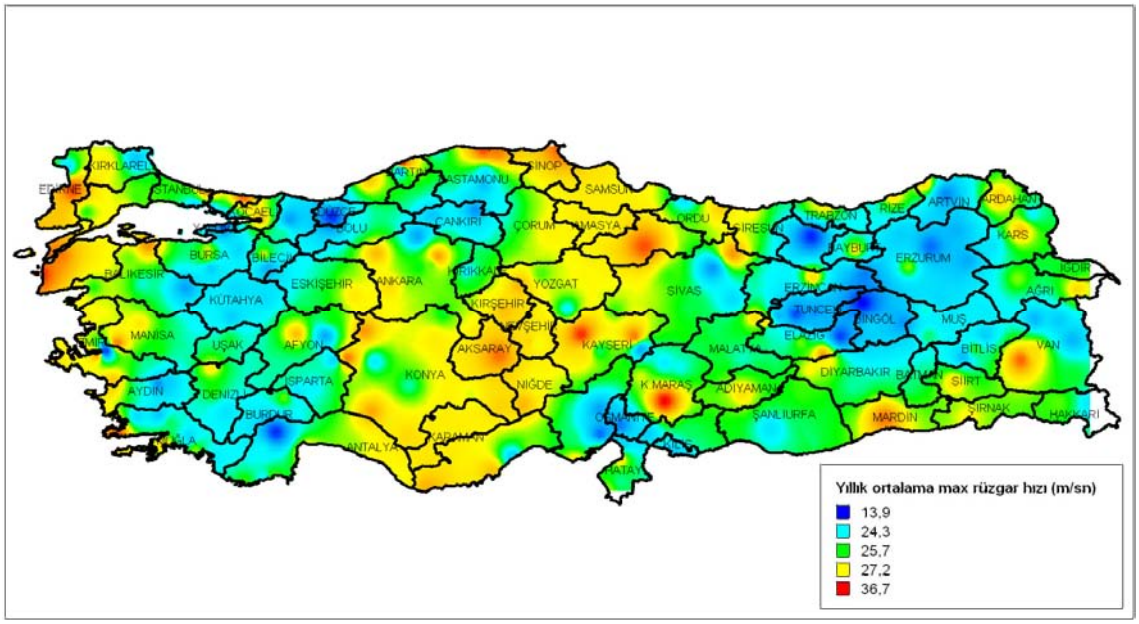

**Şekil 1.12:** Karaman rüzgar yönü ve şiddet dağılımı




**Şekil 1.13:** Aksaray rüzgar yönü ve şiddet dağılımı




**Şekil 1.14:** Yıllık ortalama bağıl nem değerlerinin dağılımı




**Şekil 1.15:** Yıllık ortalama maksimum rüzgar hızı değerlerinin dağılımı

## 1.7 GÜNEŞLENME ŞİDDETİ VE SÜRESİ

Uzun yıllara ait ortalama güneşlenme şiddeti ve süresi verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.16 ve Şekil 1.17'de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş güneşlenme şiddeti ve güneşlenme süresi dağılımları görülmektedir. Güneşlenme süresi ve şiddeti ortamın uzaydan gelen radyasyonu ne derece alabildiğinin bir ölçüsü olduğu için ve astronominin

her dalında tek ölçüm malzemesi radyasyon (ışınım) olduğu için, hem güneşlenme şiddetinin yüksek olması hem de süresinin uzun olması gözlemevleri için istenen bir olaydır.

### 1.8 SİSLİ GÜNLER SAYISI

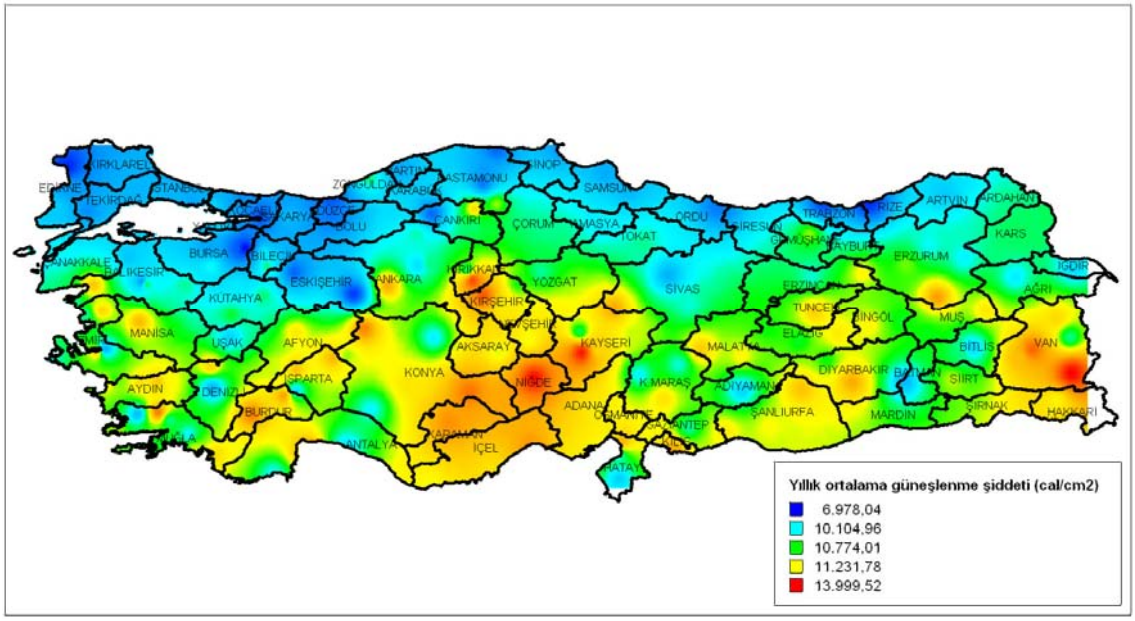
Uzun yıllara ait toplam sisli günler sayısı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.18'de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş sisli günlerin dağılımı görülmektedir.

Sis, ani sıcaklık değişimlerinin olduğu bölgelerde daha fazla görülür. Yani sıcaklıkla doğrudan ilişkili bir parametredir. Artışı havanın yoğunlaşmasına ve nem miktarının artmasına neden olur. Bu nedenle sisli günler sayısının az olduğu bölgeler gözlemevleri için daha elverişlidir ki, bu da Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgesinin pek çok kısmında sağlanmaktadır.

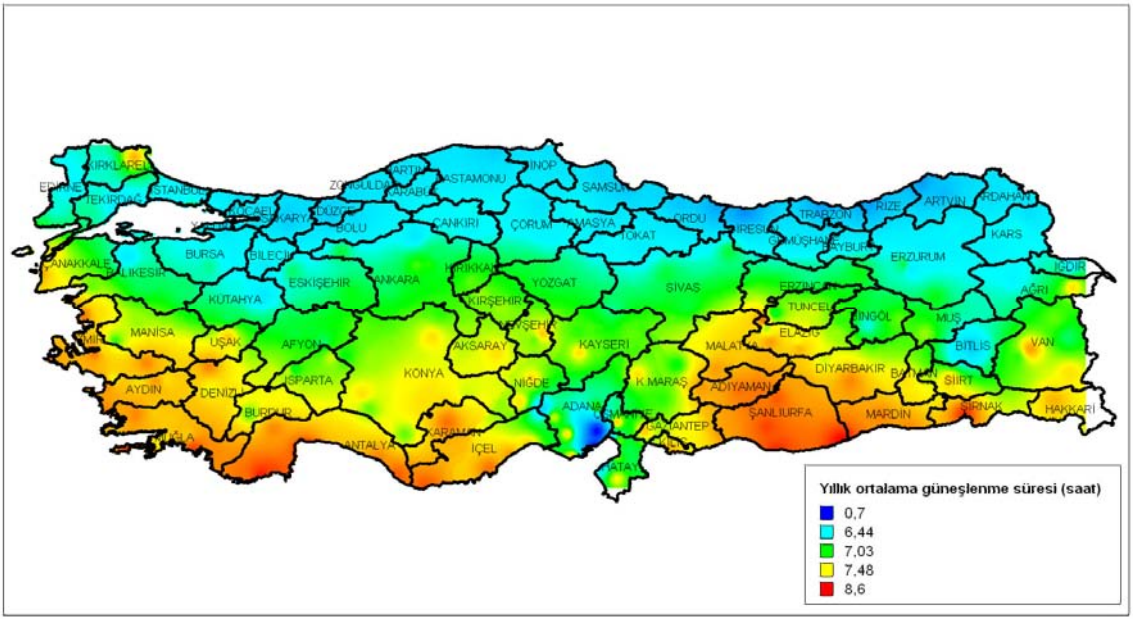
### 1.9 ORAJLI, DOLULU VE FIRTINALI GÜNLER SAYISI

Uzun yıllara ait yıllık toplam orajlı günler sayısı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.19'da uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş orajlı günlerin dağılımı görülmektedir. Orajlı günler yıldırım düşen günler olarak da adlandırılabilir. Yani havadaki elektrik olayların yoğunlaştığı günlerin sayısıdır. Bir gözlemevi için yıldırım olaylarının en az görüldüğü bölgeler tabi ki daha uygun olacaktır. Bu da en çok Güney Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgesinin bazı kısımlarında sağlanmaktadır.

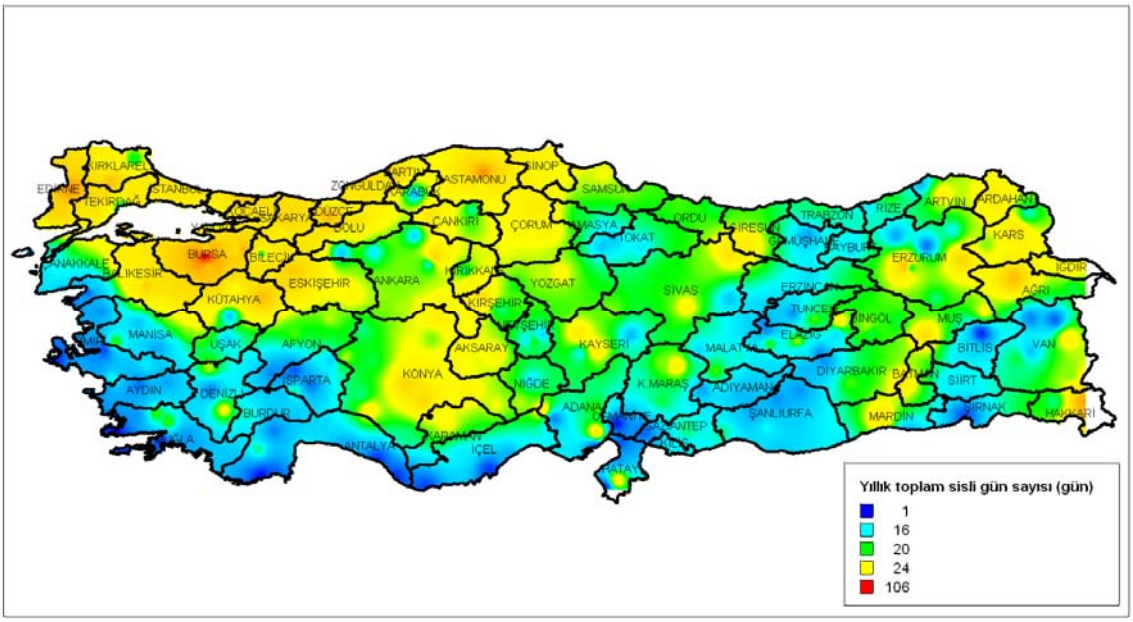
Uzun yıllara ait yıllık toplam dolulu günler sayısı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.20'de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş dolulu günlerin dağılımı görülmektedir. Dolu havadaki su buharı ve sıcaklıkla ilişkili olarak meydana gelen bir yağış çeşididir. Çoğunlukla sıcaklığın düşük olduğu Doğu Anadolu bölgesi ile mikroklima etkilerinin gözlendiği Akdeniz bölgesinde görülmektedir. Havadaki su buharı miktarının artması sonucunda gerçekleştiği için dolulu günlerin az olduğu bölgeler gözlemevleri için daha uygundur.




**Şekil 1.16:** Yıllık ortalama güneşlenme şiddeti değerlerinin dağılımı




**Şekil 1.17:** Yıllık ortalama güneşlenme süresi değerlerinin dağılımı



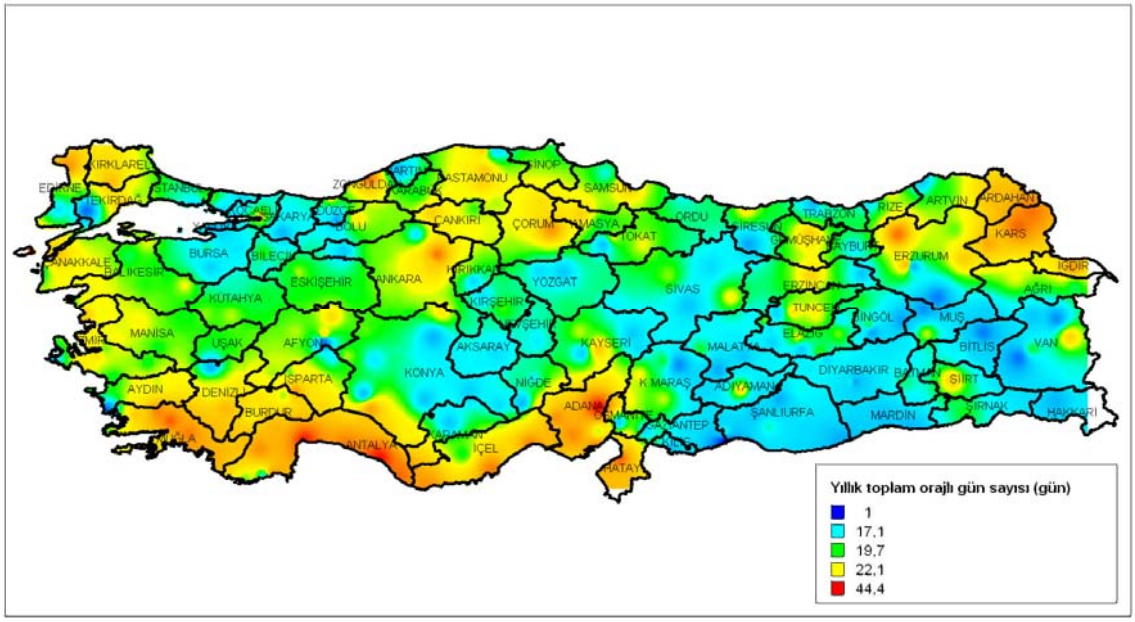

**Şekil 1.18:** Yıllık toplam sisli günler sayısının dağılımı

Uzun yıllara ait yıllık toplam fırtınalı gün sayısı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.21'de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş dolulu günlerin dağılımı görülmektedir. Ülkemizde düzenli olarak ve yıkım gücü yüksek fırtınalar çok görülmemekle beraber üç tarafı denizlerle kaplı bir coğrafyaya sahip olduğumuz için özellikle Marmara bölgesinin kıyı kesimlerinde, Karadeniz bölgesi ve İç Anadolu'nun bazı kısımlarında şiddetli rüzgarla beraber meydana gelen fırtınalar görülmektedir. Beklenildiği gibi fırtınaların sık görüldüğü bölgeler gözlemevleri için elverişli değildir.

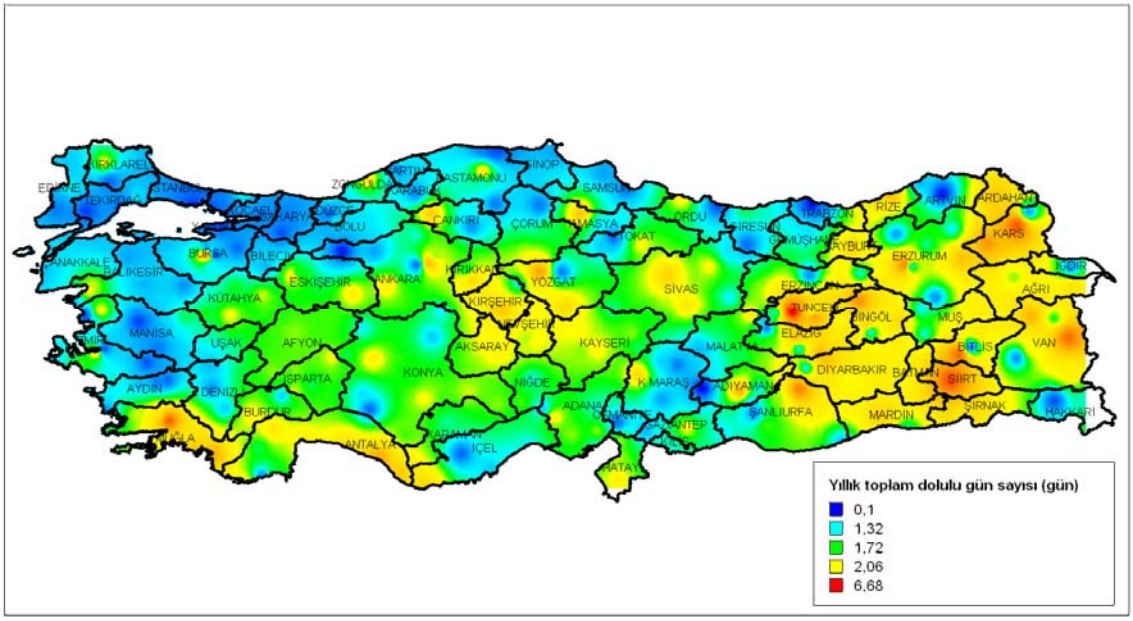
## 1.10 KAR KALINLIĞI

Uzun yıllara ait ortalama kar kalınlığı verileri analiz edilmiştir. Şekil 1.22'de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş kar kalınlığı dağılımı görülmektedir. Kar kalınlığı sıcaklığın düşük olduğu ve rakımın yüksek olduğu kısımlarda daha çok gözlenmektedir, bu da Doğu Anadolu bölgesine tekabül etmektedir.

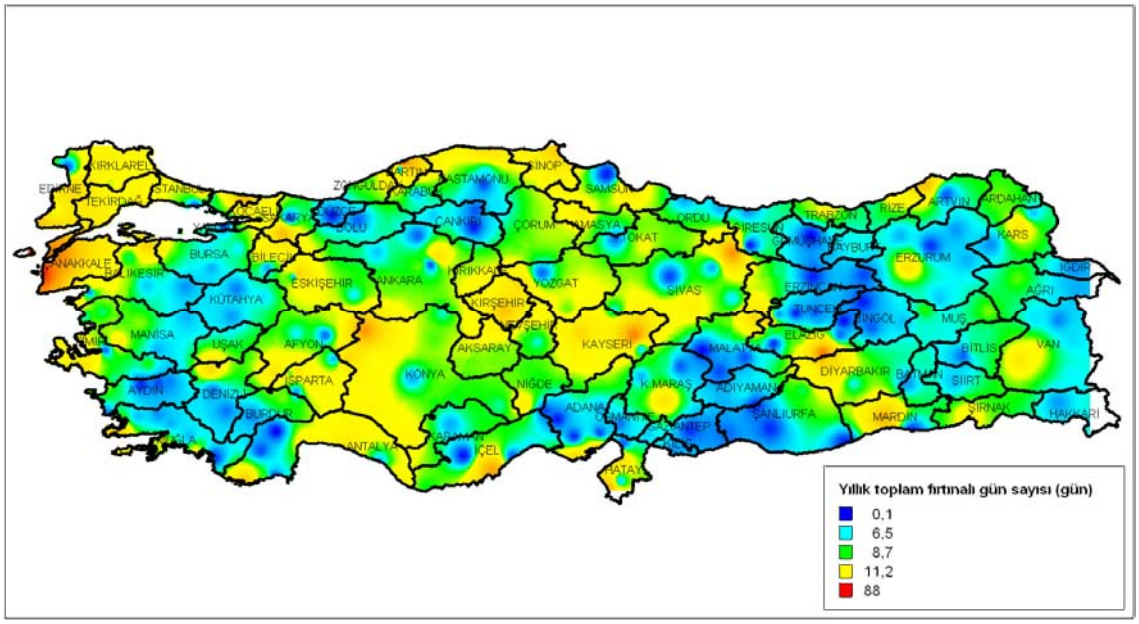
Kar yağışının yoğun olduğu bölgeler hem meteorolojik olarak hem de lojistik nedenlerle gözlemevleri için çok elverişli olamayabilir. Ayrıca radyo dalga yayılımını da etkileyen ve yansımayı arttıran bir parametre olduğu için seçimlerde kar yağışının düşük olduğu bölgeler dikkate alınmalıdır.



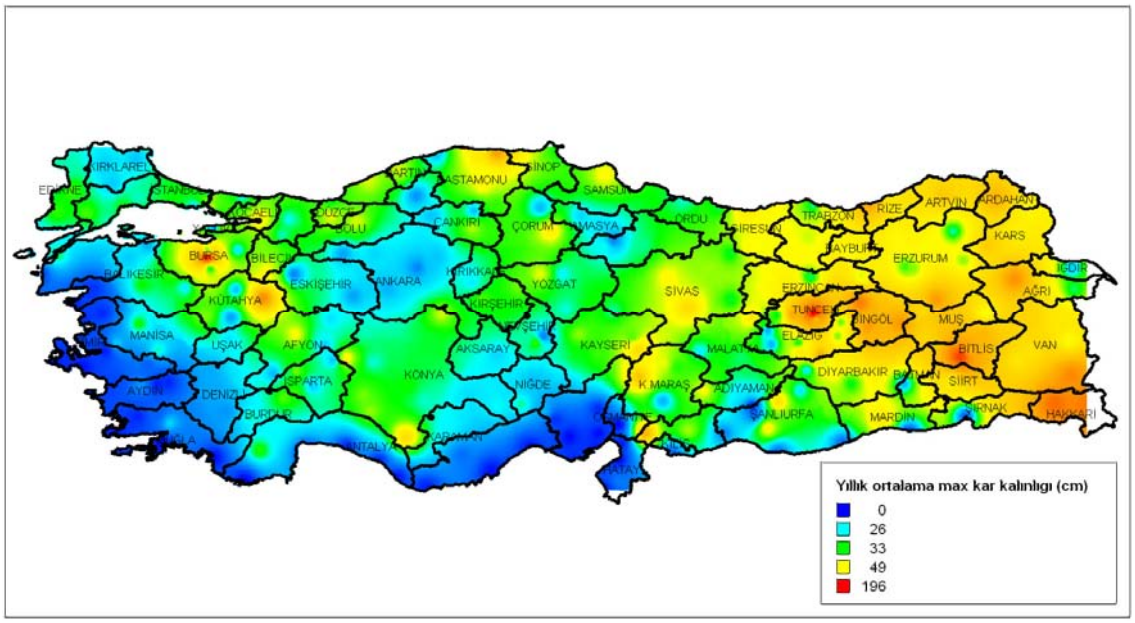

**Şekil 1.19:** Yıllık toplam orajlı günler sayısının dağılımı




**Şekil 1.20:** Yıllık toplam dolulu günler sayısının dağılımı




**Şekil 1.21:** Yıllık toplam fırtınalı günler sayısının dağılımı




**Şekil 1.22:** Yıllık ortalama maksimum kar kalınlığı değerlerinin dağılımı

## 2. ATMOSFERİK PARAMETRELER

Bir Radyo Gözlemevinin yer seçimde dikkate alınan diğer iklimsel parametreler atmosferik parametrelerdir. Yapılan literatür çalışmasında görülmüştür ki, atmosferik basınç, doymuş su buharı basıncı, kısmı buhar basıncı parametreleri yer seçiminde büyük rol oynamaktadır. Bunun nedeni radyo dalgalarının Yer atmosferine girdikleri andan itibaren atmosferik koşullar nedeniyle sapmaya uğramalarıdır. Bu sapmalara neden olan etmen atmosferin farklı kısımlarının farklı kırılma indekslerine sahip olmasıdır. Radyo kırınırlığı (N) olarak tanımlanan bu indeks, yukarda bahsettiğimiz atmosferik parametrelere ve bunlarla beraber sıcaklık, nem gibi diğer iklim parametrelerine bağlı olarak hesaplamakta ve değişim göstermektedir. Bu bölümde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan iklim verileri yardımıyla doymuş su buharı basıncı, kısmi buhar basıncı ve sonunda radyo kırınırlığının nasıl hesaplandığını, geçmişten günümüze kullanılmış olan farklı formüller ve bu hesaplamalar sonucunda elde edilen ara değer kestirimi ile haritalarının analiz edilmesi konularına değinilecektir. Meteorolojik analizler için DMİGM'nün tüm Türkiye çapında 1536 adet meteoroloji istasyonu içinden 285 istasyonu kullanıldı. Ancak atmosferik analizler için bu sayı 187'ye çekilmiştir (Şekil 2.1). Bunun nedeni seçilen istasyonların atmosferik parametrelerin hesaplamasında kullanılacak olan sıcaklık, bağıl nem ve atmosferik basınç değerlerini eksiksiz içermesidir. Analizlerde kullanılan atmosferik yer seçim parametreleri şu şekilde sıralanabilir:

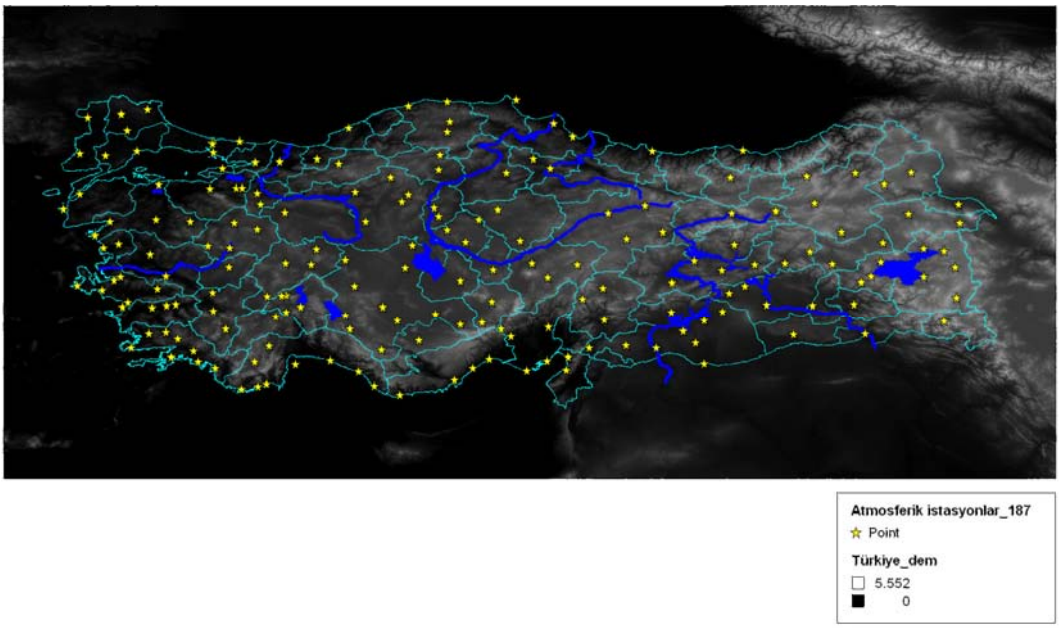
- Atmosfer Basıncı , P (hPa)
- Kısmi Su Buharı Basıncı, e (hPa)
- Doymuş Su Buharı Basıncı, $P_w$ (hPa)
- Radyo Kırınırlık, N (ppm)

### 2.1 ATMOSFER BASINCI

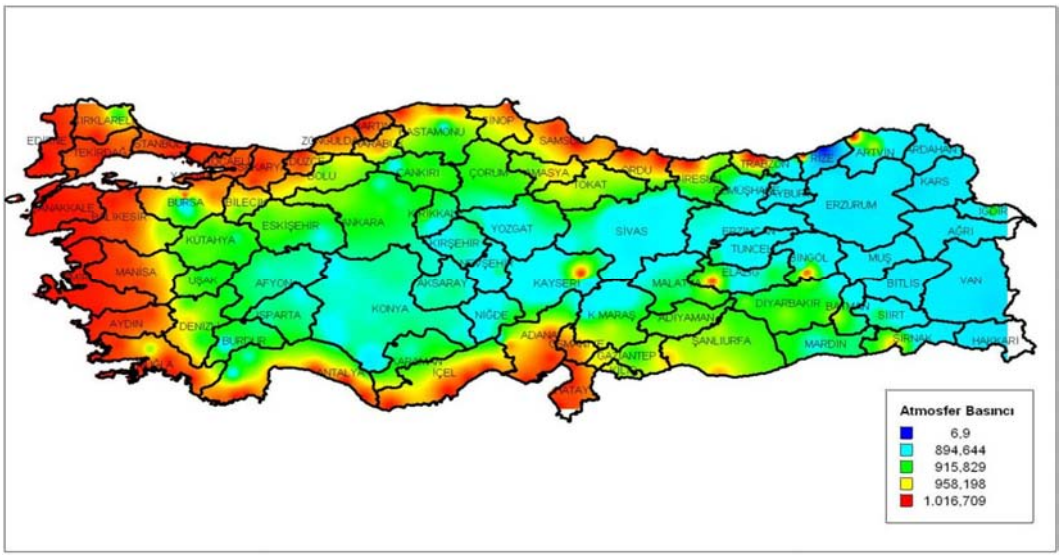
Basınç meteorolojik elemanların en önemlilerinden biridir. Bir yüzeyin birim alanına bu yüzey üstündeki hava sütununun yapmış olduğu etkiye *basınç kuvveti* denir. Uzun yıllara ait ortalama yüzeydeki atmosfer basıncı verileri analiz edilmiştir. Şekil 2.2'de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş atmosfer basıncı dağılımı görülmektedir. Atmosfer basıncı, kısmı buhar basıncı ve sıcaklık ile birlikte radyo kırınırlığı hesaplarında kullanılmıştır ve bu nedenle önemli bir parametredir.

## 2.2 DOYMUŞ SU BUHARI BASINCI

Bir radyo astronomi gözlemevi yer seçimi için atmosferik olarak incelenmesi gereken en önemli parametreler su buharı ve radyo kırınırlığıdır. Milimetre ve milimetrealtı dalgaboylarında atmosfer sadece kısmen geçirgendir. Atmosferik moleküllerin, özellikle su buharının, basınçla genişlemiş geçişleri ışınımı hem salar hem de soğurur. Soğurma atmosferik sinyalleri zayıflatır ve salma alıcının kendi gürültüsüne eklenir. Sinyal/Gürültü oranı azalır. Eğer alıcılar kuantum belirsizliğiyle sınırlanırsa, atmosferik salma sistem gürültüsünün baskın kaynağı olabilir. Ayrıca, atmosferik su buharındaki çalkantı, teleskopun çözünürlüğünü ve de hassasiyetini düşürür. Su buharı atmosferik donukluğun birinci sebebi olduğundan, milimetre ve milimetrealtı astronomisi için en iyi yerler çok kuru havaya sahip olan yerlerdir.. Atmosferik su buharının ölçek uzunluğu (1/e) bölgesel koşullara ve hava koşulların bağlı olmakla beraber, genellikle 1-2 km'dir. Su atmosferde göreli olarak aşağıda kıstırıldığı için, aşırı kuru hava yüksek rakımlı yerlerin üstünde bulunabilir. Bölgesel etkilere ve topografyaya kuvvetlice bağlı olabileceğinden, atmosferik çalkantı su buharının genel dağılımından çok daha karmaşıktır.




**Şekil 2.1:** Atmosferik hesaplamalar için seçilen 187 meteoroloji istasyonu




**Şekil 2.2:** Yüzeydeki atmosfer basıncı değerlerinin dağılımı

Doyma seviyesindeki saf su buharı basıncına "*Sature olmuş ya da doymuş basınç*" adı verilir ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak su veya buz için hesaplanır. Saf su ya da buzun düzlem yüzeyiyle termodinamik dengeyi koruyabildiğinde, saf su buharı doymuş denir. Geçmişten günümüze doymuş su buharı hesaplamalarında farklı formüller kullanılmıştır. Su buharı sıcaklık ile üstel bir ilişki içerisindedir. Aşağıda farklı yıllara ait makalelerden alınmış deneysel formüller yer almaktadır.

Goff-Gratch Denklemi (1946)

$$\mathrm{Log}_{10} P_w = -3.90298 * \left(\frac{373.16}{T} - 1\right) + \left(5.02808 * \log_{10} \frac{373.16}{T}\right)$$

$$- 1.3816*10^{-7} * \left(10^{11.344\left(1-\frac{T}{373.16}\right)} - 1\right) + 8.1328*10^{-3} * \left(10^{-3.49149\left(\frac{373.16}{T}-1\right)} - 1\right)$$

$$+ \mathrm{Log}_{10}(1013.246) \quad (1)$$

T [K] ve $P_w$ [hPa] birimindedir.

Magnus&Teten (1967)

$$\mathrm{Log}_{10} P_w = 3.5\, t / (t + 233.3) + 0.7858 \quad (2)$$

t [°C] ve $P_w$ [hPa] birimindedir.

Bolton (1980)

$$P_w = 6.112 * e^{13.67 * t / (t + 243.5)} \quad (3)$$

t [°C] ve $P_w$ [hPa] birimindedir.

Buck (1981 & 1996)

$$P_w = 6.1121 * e^{13.502\, t / (240.97 + t)} \quad (1981) \quad (4)$$
$$P_w = 6.1121 * e^{(18.678 - t/231.5)t / (253.14 + t)} \quad (1996) \quad (5)$$

t [°C] ve $P_w$ [hPa] birimindedir.

Sonntag (1994)

$$\mathrm{Log}\, P_w = (-6096.9385 / T) + 16.635794 - (2.711193\, 10^{-2} * T) + (1.673952\, 10^{-5} * T^2)$$

$$+ (2.433502 * \mathrm{Log}(T)) \quad (6)$$

T [K] ve $P_w$ [hPa] birimindedir.

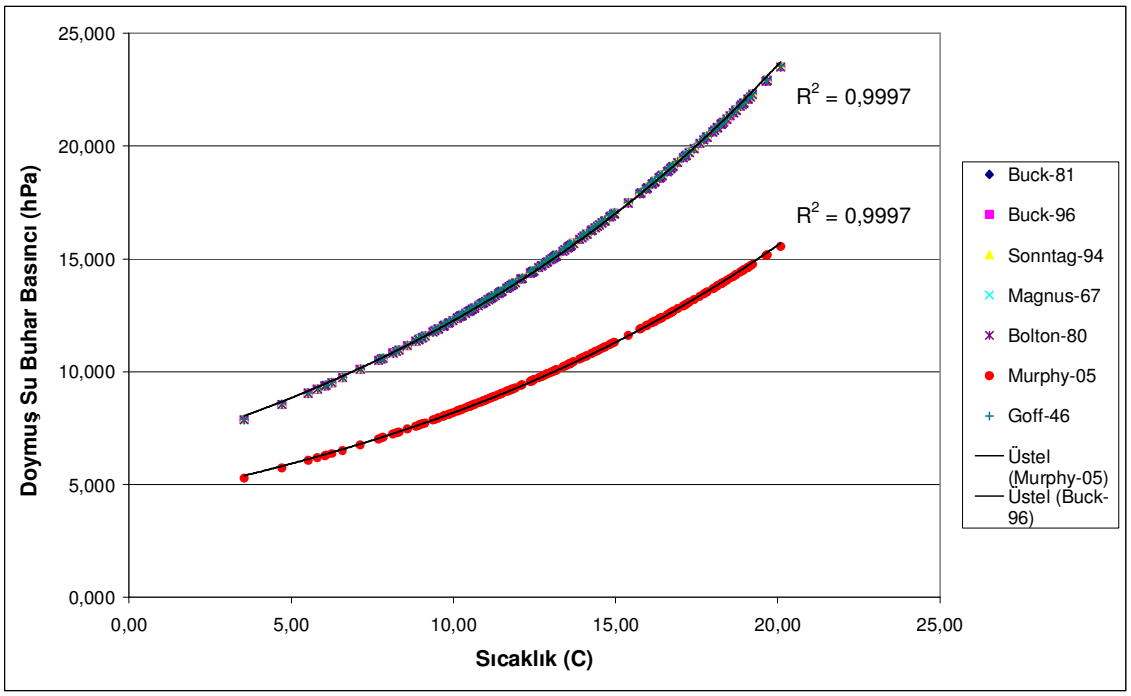
Murphy&Koop (2005)

$$\text{Log } P_w = [51.842763 - 6763.22 / T] - [1.21 \text{ Log}(T) + 0.000367\ T]$$
$$+ [\text{Tanh}\{0.0415\ (T - 218.8)\}\ *\ (53.878 - 1331.22 / T - 9.44523 \text{ Log}(T)$$
$$+ 0.014025\ T)] \qquad (7)$$

T [K] ve $P_w$ [Pa] birimindedir.

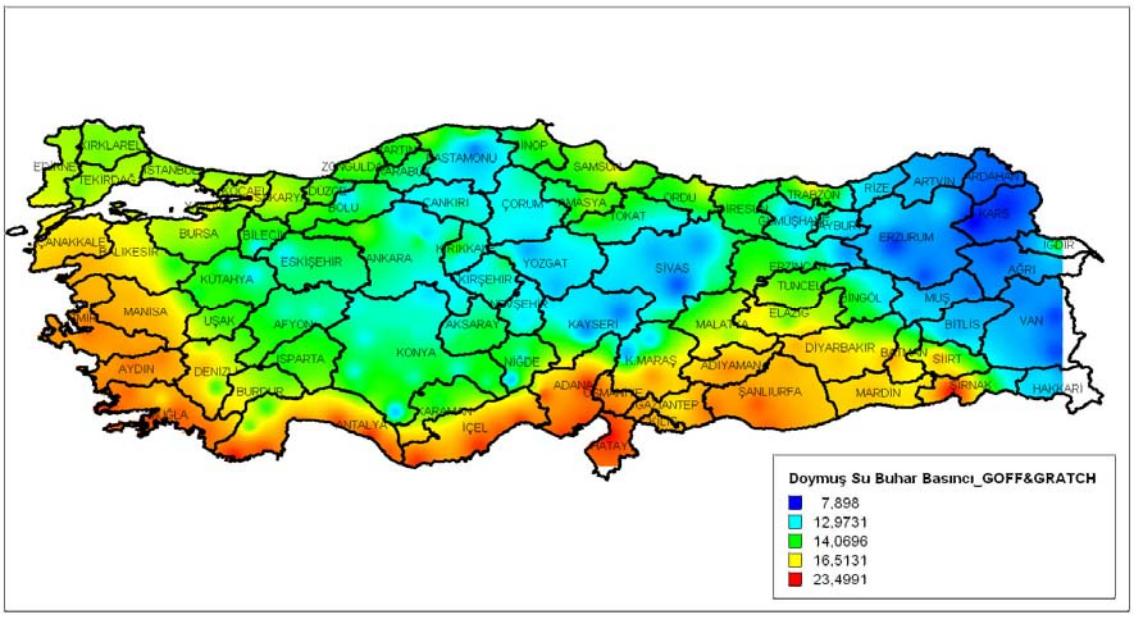
Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen $P_w$ değerlerinden ara değer kestirimi haritaları üretilmiştir. Goff-Gratch (46), Magnus (67), Bolton (80), Buck (81 ve 96) ve Sonntag'ın (94) denklemleri kullanılarak hesaplanan $P_w$ değerleri hemen hemen aynı sonuçları vermiştir ve ara değer kestirimi haritalarına bakıldığında aynı eğilimler görülmüştür. $P_w$ değerlerinin farklılığı nedeniyle ayrıca incelenmiş olan Murphy&Koop'un (05) denklemi hem aralarında en güncel olanıdır, hem de ara değer kestirimi haritasına bakıldığında diğer denklemlerden elde edilen eğilimlerle aynı eğilim sağlamıştır. Buz ve süper soğutulmuş suyun buhar basınçlarının en güncel incelemesi, Murphy ve Koop tarafından üretilmiş olan süper soğutulmuş suyun molar ısı kapasitesine ait yeni verilere dayandırılan bu formüldür.

Şekil 2.3'de 187 istasyon için farklı denklemlerle hesaplanmış olan $P_w$ değerlerinin sıcaklığa karşı dağılımları gösterilmektedir. $P_w$, sıcaklıkla üstel bir ilişkiye sahip olduğu için, verilerin üstüne üstel eğim çizgileri eklenmiştir ve bu eğim çizgilerine ait regresyon değerleri verişmiştir. $R^2$ değerlerinden de görüldüğü gibi su buharı basıncı doğrudan sıcaklıkla ilişkili bir parametredir. Murphy&Koop'un değerleri farklı bir veri aralığı vermesine rağmen dağılımı ve eğilimi diğer formüllerle uyumlu sonuçlar vermiştir.

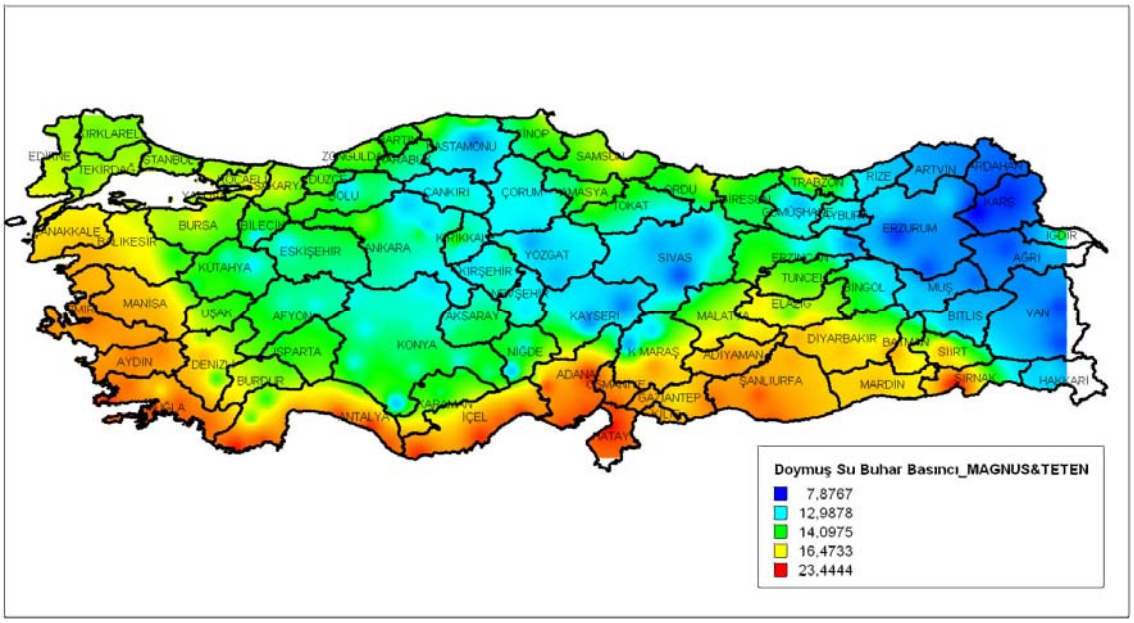



**Şekil 2.3:** Farklı $P_w$ denklemlerin sıcaklığa göre dağılımlarının karşılaştırılması

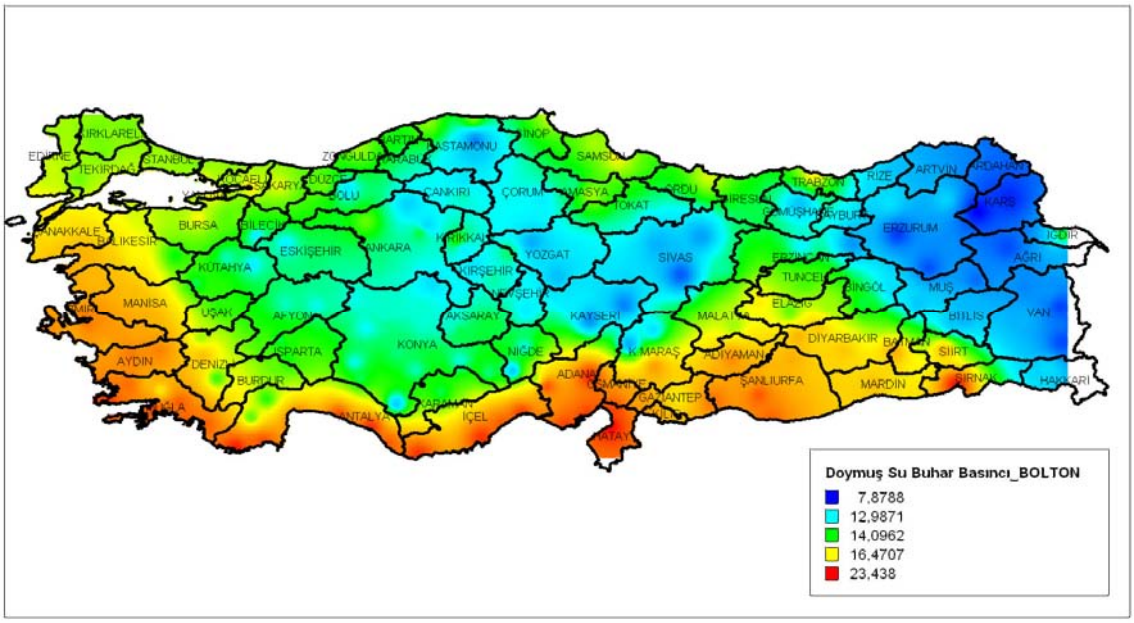
Bu çalışmada hesaplanan su buharı değerleri, yüzeydeki su buharını yani atmosferin en alt katmanında ki değeri gösterir. Atmosferin üst katmanlarına gidildikçe değerler değişmektedir, ancak bunun için radyosonda verilerinden yararlanılarak dikey anlamda yüksekliğin hesaba katıldığı bir hesaplama yapılması gerekmektedir. Bu ileri düzey çalışma bu tez konusunun kapsamı içinde değildir.



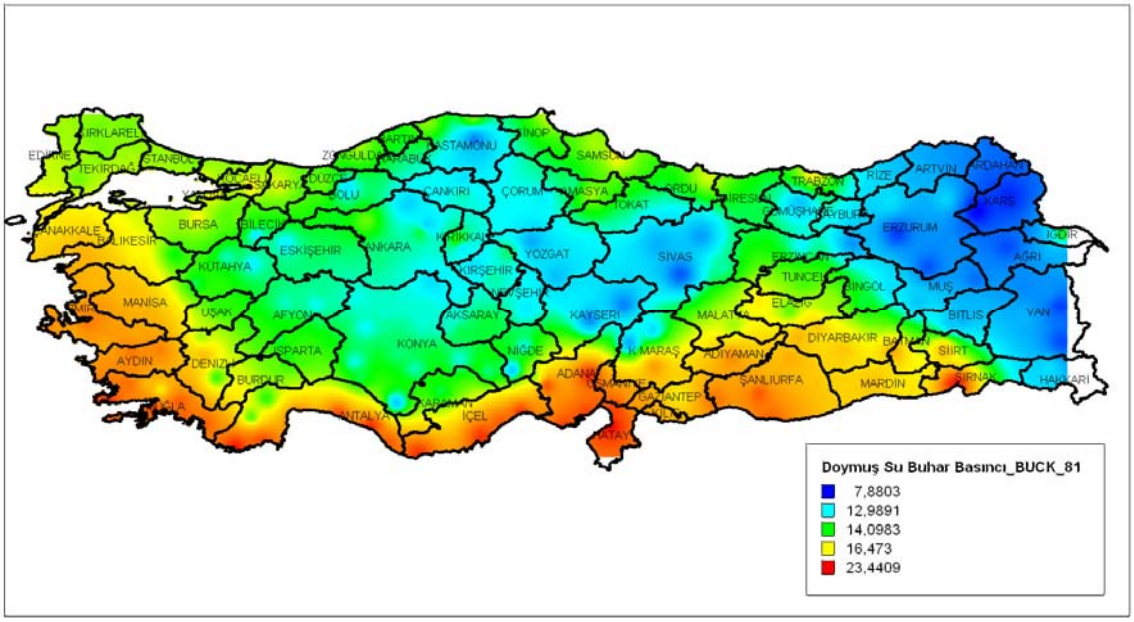

**Şekil 2.4:** Goff & Gratch (46) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri




**Şekil 2.5:** Magnus&Teten (67) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri

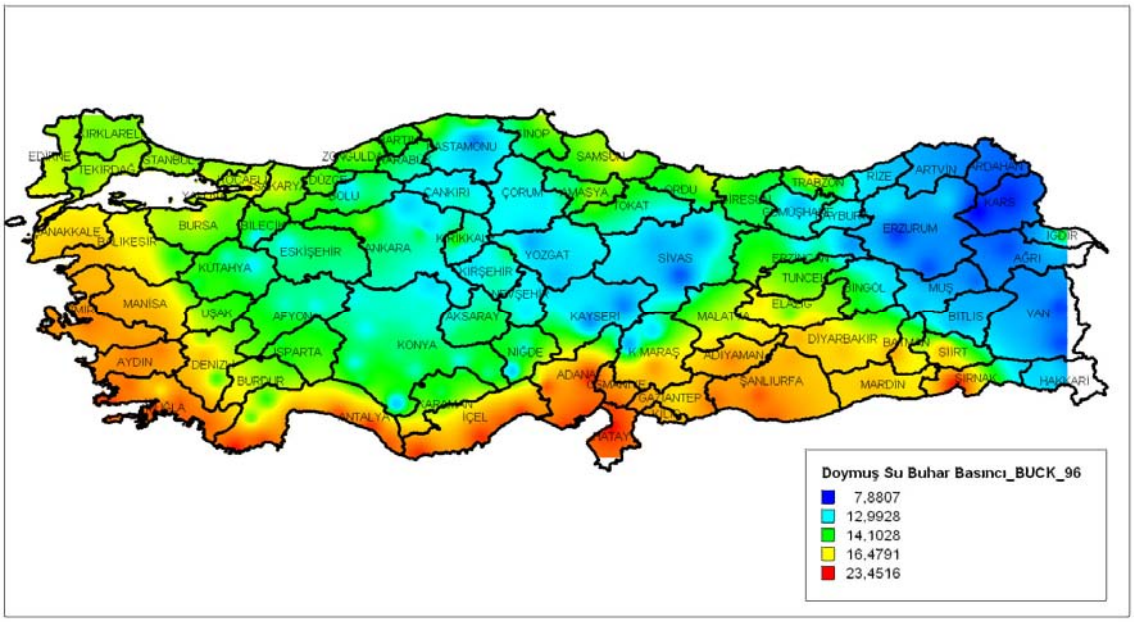



**Şekil 2.6:** Bolton (80) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri

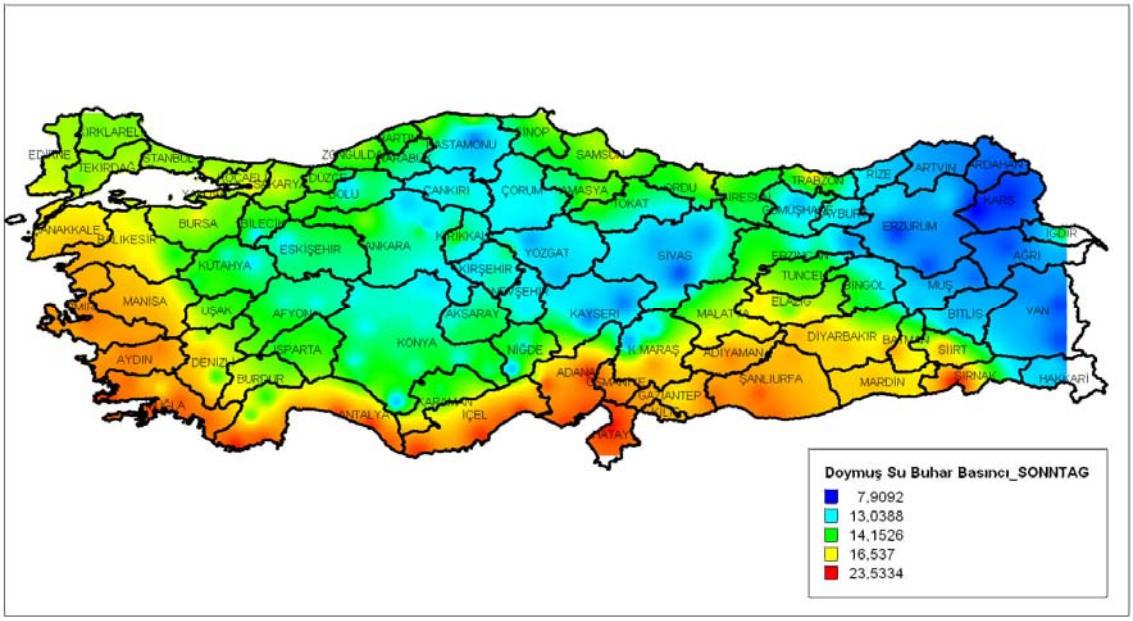



**Şekil 2.7:** Buck (81) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri

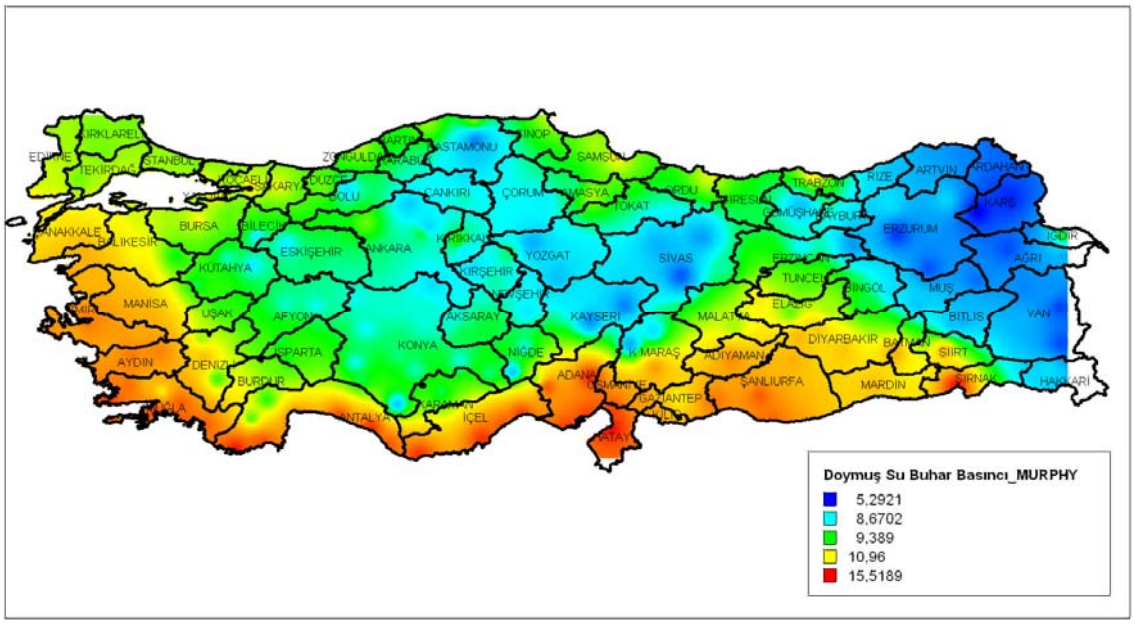
Radyo kırınırlık değerleri de su buharı yoluyla hesaplandığı için birinci derecede önem verilmesi gereken ölçüt su buharı olarak belirlenmiştir. Şekil 2.11'de Doymuş su buharı ile yüksekliğin ilişkisine bakılmıştır. $P_w$ değerleri için Buck'ın (96) formülünden hesaplanan veriler kullanılmıştır. Regresyon değerinden de anlaşılabileceği gibi aralarında kuvvetli bir ilişki bulunmamakla beraber, ara değer kestirimi haritalarından elde edilen eğilimlerde deniz seviyesinde su buharı miktarında artış olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni su buharının birinci derecede sıcaklıkla ilişkili olmasıdır.



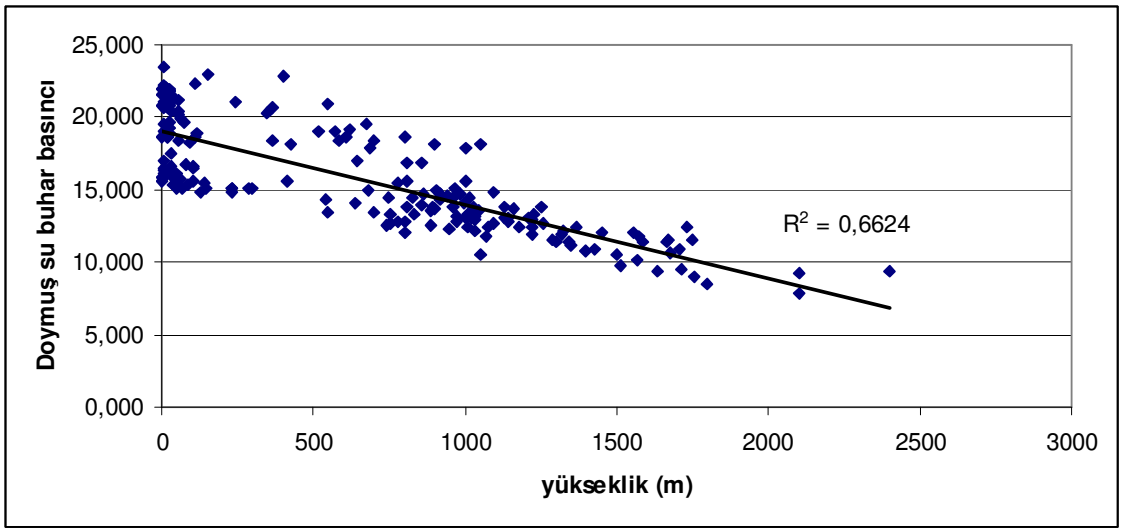

**Şekil 2.8:** Buck (96) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri




**Şekil 2.9:** Sonntag (94) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri




**Şekil 2.10:** Murphy (05) formülünden hesaplanmış $P_w$ değerleri




**Şekil 2.11**: Su buharı ile yüksekliğin ilişkisi

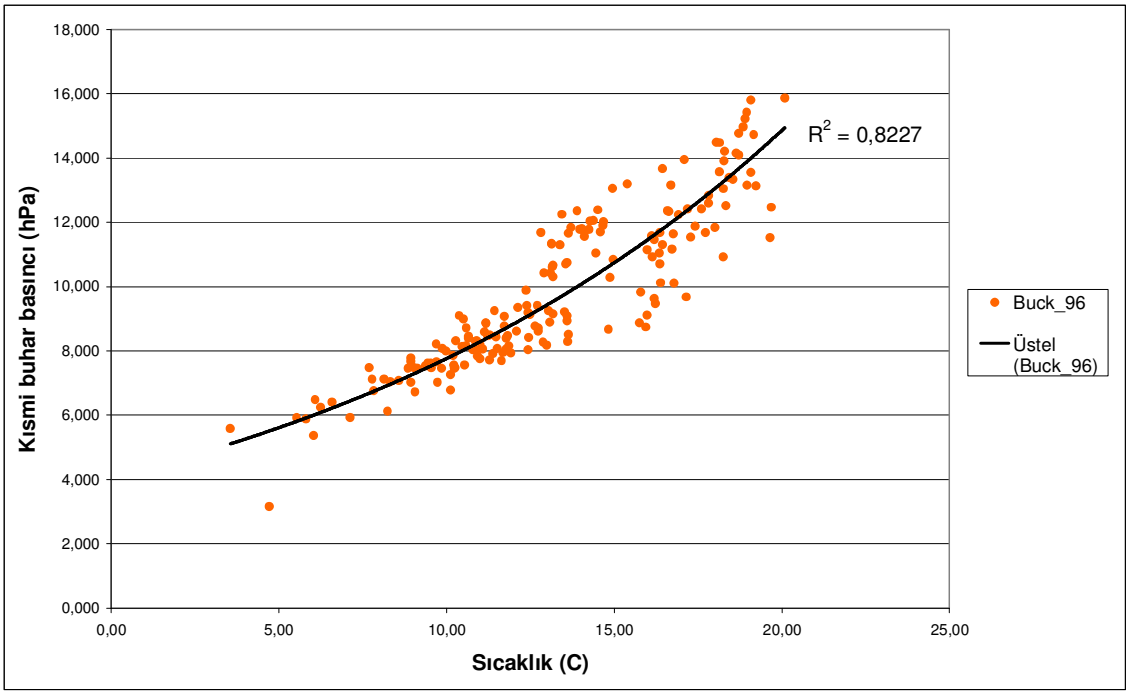
## 2.3 KISMİ SU BUHARI BASINCI

Havadaki su buharı zerreciklerinin artması, yer çekimi ve atmosfer basıncı ile de ilişkili olarak taneciğin kısmi buhar basıncının artmasına neden olur, buda havadaki bağıl nem miktarıyla ilişkili bir parametredir. Bir önceki bölümde hesaplanan doymuş su buharı basıncı değerlerini (Buck-96) kullanarak kısmi buhar basıncı hesaplanmıştır. Radyo kırınırlığı hesaplamalarında hem su buharı hem de kısmi buhar basıncı değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle kısmi su buhar basıncı önemli bir yer seçim parametresidir.

$$e = RH * \frac{P_w}{100} \qquad (7)$$

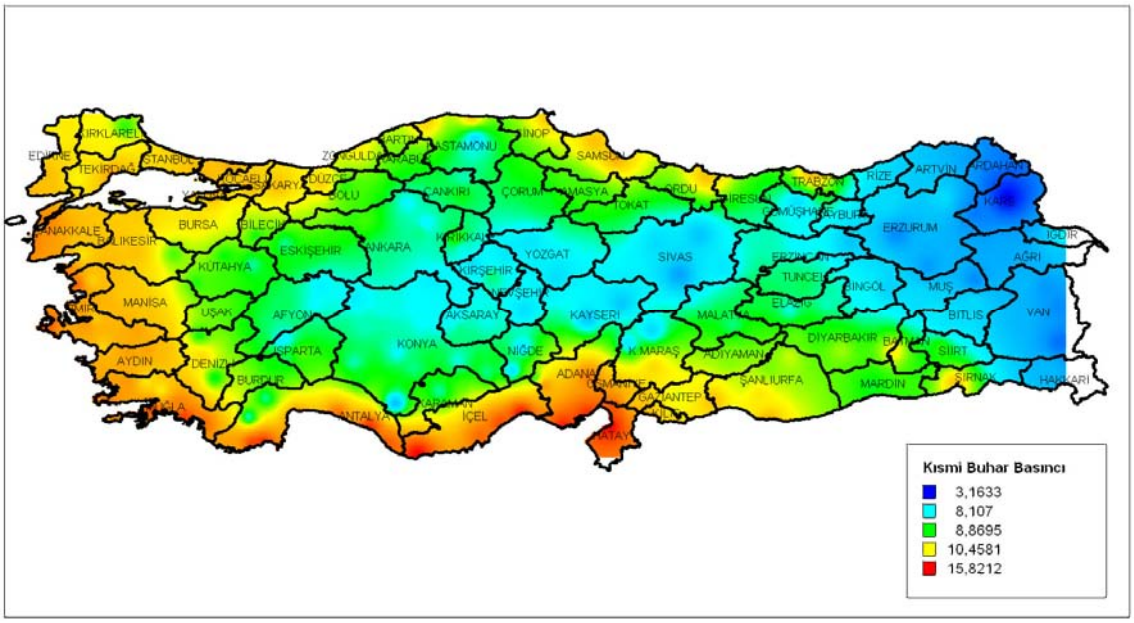
$P_w$ [hPa] ve RH [%] birimindedir.

Uzun yıllara ait ortalama kısmi buhar basıncı verileri analiz edilmiştir. Şekil 2.13'de uzun yıllara ait ortalama değerlere göre ara değer kestirimi elde edilmiş kısmi buhar basıncı dağılımı görülmektedir. Ara değer kestirimi eğilimi $P_w$ değerleri için elde edilen eğilimlerle büyük benzerlik göstermektedir. Şekil 2.12'de ise, kısmi buhar basıncının sıcaklıkla olan ilişkisine bakılmıştır. Doymuş su buharında olduğu gibi, kısmi buhar basıncı da sıcaklıkla üstel bir bağlılık göstermektedir.




**Şekil 2.12:** Kısmi buhar basıncının sıcaklıkla ilişkisi

Farklı deneysel formüller yardımıyla hesaplanmış olan doymuş su buharı ve kısmi su buharı değerleri için Tablo 2.1'e bakınız.




**Şekil 2.13:** Buck (96) $P_w$ değerlerinden hesaplanmış e değerleri

## 2.4 RADYO KIRINIRLIK

Uzayda bir noktada radyo kırınımı değişebilirliği, sıcaklık ve su buharı yoğunluklarındaki değişimler sebebiyle meydana gelir. Bu değişimler aylık da saniyelik de olabilir. Radyo kırınırlık (N) parametresini, kırınım indeksinin (n) zamansal ve alansal değişimi tanımlar. Su buharı havanın kırılma indeksini değiştirdiği için, atmosfer boyunca elektriksel yol uzunluğu değişir. Tek bir antenin açıklığının bir ucundan bir ucuna yol uzunluğu farkları gökyüzündeki ışının pozisyonunu değiştirir, bu durumda hem sonuçta elde edilen görüntülerin çözünürlüğünde hem de gözlemlerin kalibrasyonunda zararlı etkilere neden olur. Radyo frekansları için N parametresi, "kuru" ve "ıslak" terimlerin toplamı olarak gösterilmektedir.. Zaman içerisinde N hesaplamaları için farklı formüller kullanılmış ve dolayısıyla meteorolojik parametrelerin de hesaplamalardaki ağırlıkları değişmiştir. Genel olarak tüm N hesaplamalarında sıcaklık, bağıl nem, doymuş su buharı basıncı ve kısmı buhar basıncı değerlerinin farklı birleşimleri kullanılmaktadır. Radyo kırınırlık (N) ile atmosfer boyunca değişen radyo kırınım indeksi (n) arasında denklem (8)'deki gibi bir bağıntı vardır;

$$N = ( n-1 ) * 10^6 \quad (8)$$

Bir radyo dalgasının hızı atmosferdeki seyahati boyunca ortam yoğunluğuyla ters orantılı olarak değişir. Havanın radyo kırınım indeksi, vakum ortamdaki yayılma hızının atmosferin belirli basınç, sıcaklık ve nem koşulları altındaki hızına oranıdır. Bu oran, yani n, Yer yüzeyi yakınındaki standart koşullar altında yaklaşık olarak 1.0003 değerine sahiptir.

Bu çalışmada radyo kırınırlık değerlerini hesaplamak için aşağıdaki denklemlerden yararlanılmıştır;

Smith&Weintraub (1953)

$$N = (n-1)*10^6 = \frac{77.6}{T}\left[P + \frac{4810 P_w RH}{T}\right] \quad (9)$$

P [mbar] , T [K] , $P_w$ [mbar] ve RH [%] birimindedir.
Moreland (1965)

$$N = 77.6\frac{P}{T} + 3.73*10^5 \frac{e}{T^2} \quad (10)$$

P [hPa] , T [K] ve e [hPa] birimindedir.

Rüeger (2002)

En iyi ortalama katsayılı denklem;

$$N = 73.6890\frac{P_d}{T} + 71.2952\frac{e}{T} + 375463\frac{e}{T^2} \quad (11)$$

En iyi kullanılabilir katsayılı denklem;

$$N = 73.6890\frac{P_d}{T} + 71.2952\frac{e}{T} + 375463\frac{e}{T^2} \quad (12)$$

$$P_d = P - e \quad (13)$$

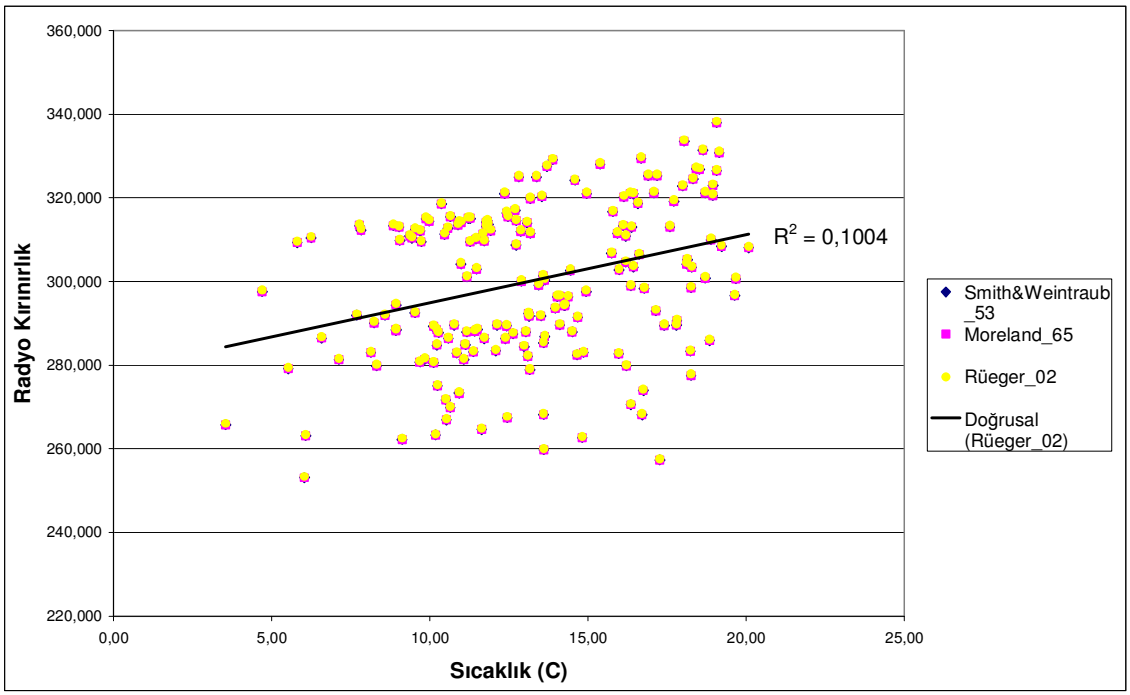
$P_d$ [hPa] , e [hPa] , P [hPa] ve T [K] birimindedir.

Radyo teleskop yer seçiminde veya herhangi bir yüksek frekans yayılımında genellikle, atmosferin en alt tabakasındaki radyo kırınırlığın dikey değişimi kırınım etkisinin tahmini için önemli bir parametredir. Araştırmacıların istatistiksel analizleri, atmosferin özellikle ilk 100m'si ve ilk kilometresindeki kuvvetli N değişimini göstermiştir.

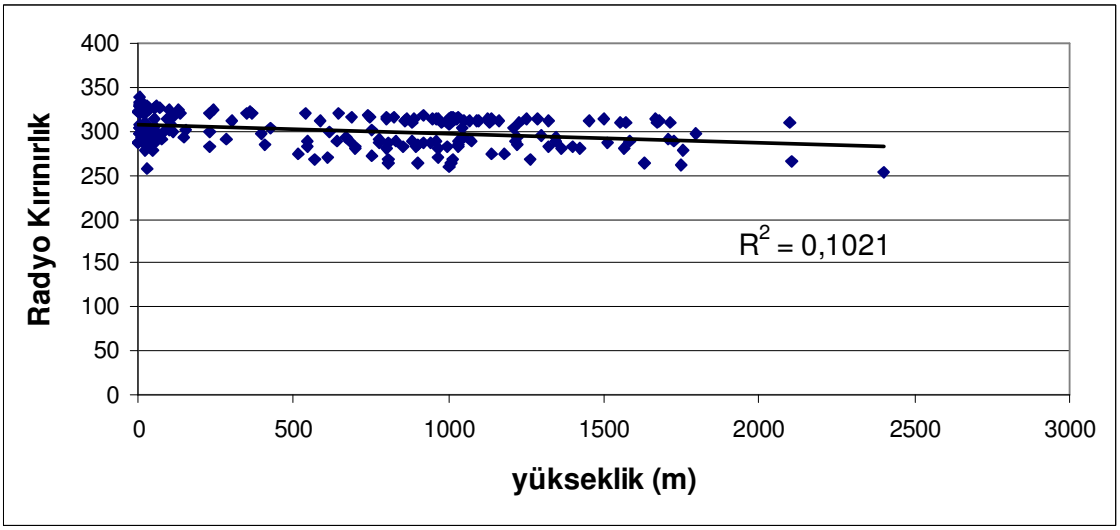
Bu çalışmadaki hesaplamalar belirli bir yüksekliğe ayarlanmış her meteoroloji istasyonunun bulunduğu noktaya (yüksekliğe) göre hesaplanmış yüzey kırınırlığı değerleridir. Atmosferin üst katmanlarına doğru gidildikçe mevcut formüllerin o şartları karşılayamayacağına karar verildiği için, radyosonda verileri ile yapılacak dikey anlamda yüksekliğinde hesaba katılacağı bir çalışma yapılması gündeme gerekmektedir. Fakat bu ileri düzey hesaplamalar bu tez konusunun kapsamı içinde değildir.

Şekil 2.14'de radyo hesaplanan radyo kırınırlık değerleriyle sıcaklık arasındaki ilişki gösterilmektedir. Grafikten de anlaşıldığı gibi N değerleriyle sıcaklık arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Bunun nedeni radyo kırınırlığın sıcaklık dışında, atmosfer basıncı, kısmi buhar basıncı ve doymuş su buharı basıncı gibi birden fazla parametreye bağlı olmasıdır. Yıllar içinde radyo kırınırlık hesaplamalarında kullanılan metotlarda değişim göstermiştir. Şekil 2.14'de ayrıca Smith&Weintraub (53), Moreland (65) ve Rüeger'e (02) ait formüllerden çok yakın sonuçlar elde edildiği de görülmektedir. Kullanılan formüller arasında en güncel olanı Rüeger'in 2002'de yayınladığı makalesinde kullandığı denklemlerdir. Kırk yıl önce kullanılan denklemler, mikrodalga EDM (Electronic Distance Meter – Elektronik Mesafe Ölçer) araçlarıyla ölçülen uzaklıkların indirgemesi için temeldi. O günden bu yana uzun-aralıklı EDM'lerin (EDM: $\lambda$ = 8 – 10 mm, f = 10 – 35 GHz) yerini GPS (Global Positining System – Global Konumlama Sistemi ) aldı. Günümüzde ise radyo dalgalarının hassas ölçümleri için GPS (GPS: $\lambda$ = 190 – 250 mm, f = 1.2 – 1.6 GHz) ve VLBI'yi (VLBI: $\lambda$ = 13 – 210 mm, f = 1.4 – 23 GHz) kapsayan formüller önem kazanmıştır. Rüeger'in formülleri bu yeni özellikleri içermesi bakımından önemlidir. Rüeger radyo kırınırlığının (N) elde hesaplanması için iki formül geliştirmiştir, birincisi "en iyi ortalamaya sahip katsayılara", ikincisi ise "en iyi kullanılabilirliğe sahip katsayılara" dayandırılmıştır. Denklem (11) ve (12)'de formüller ve katsayıları gözükmektedir. Her iki formülle de yapılan N hesaplamaları sonucunda değerlerde virgülden sonra ikinci basamaktan itibaren değişiklik olduğu görülmüş ve eğilimler karşılaştırıldığında birebir aynı dağılım gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada sadece en iyi ortalama katsayılarla hesaplanan N değerlerine yer verilmiştir.

Denklem (11) ile kırınım değerlerini hesaplarken havanın %0.0375'inin (375 ppm) $CO^2$ olduğu kabul edilmektedir. Denklemdeki $P_d$ değişkeni, 375 ppm karbon dioksidi içeren kuru hava basıncını göstermektedir ve atmosfer basıncından kısmi buhar basıncını çıkartarak bulunur ( $P_d = P - e$ ). Radyo kırınırlığının kuru bileşeni denklemin sol tarafındaki ilk terimle, su buharı bileşeni ise sağ tarafındaki ikinci ve üçüncü terimlerin toplamıyla ifade edilir. Bu formül Rüeger'in yaptığı son düzeltmelerle 2004 yılında son halini almıştır ve dağılmayan radyo dalga kırınırlığı için "ağırlıklı ortalama" formülü olarak adlandırılmaktadır.



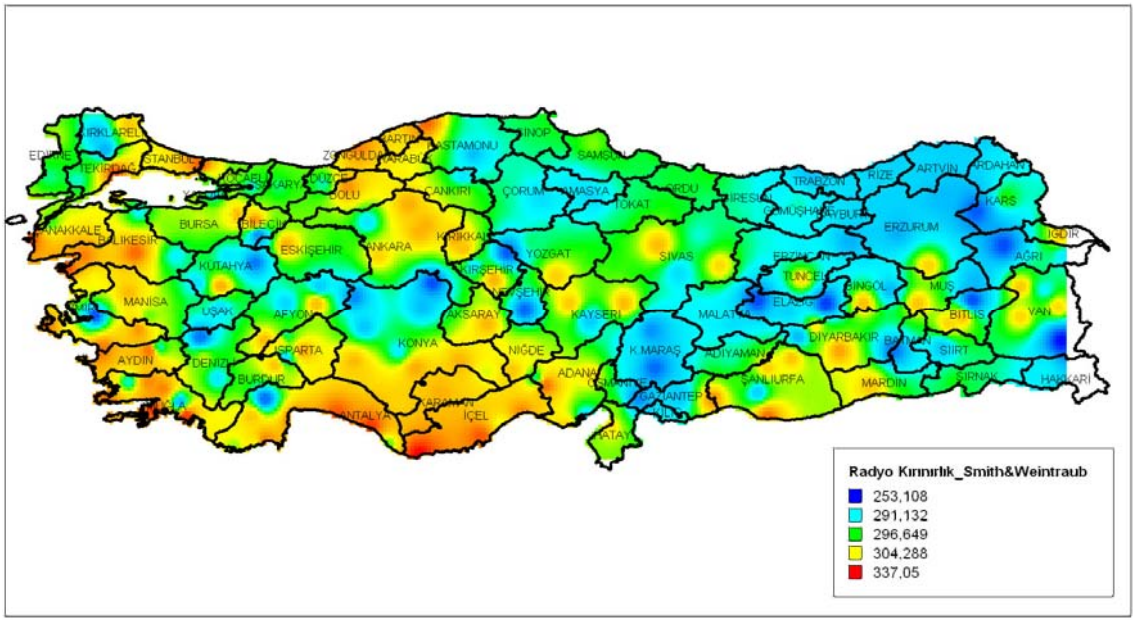

**Şekil 2.14:** Farklı radyo kırınırlık denklemlerin sıcaklığa göre dağılımlarının karşılaştırılması



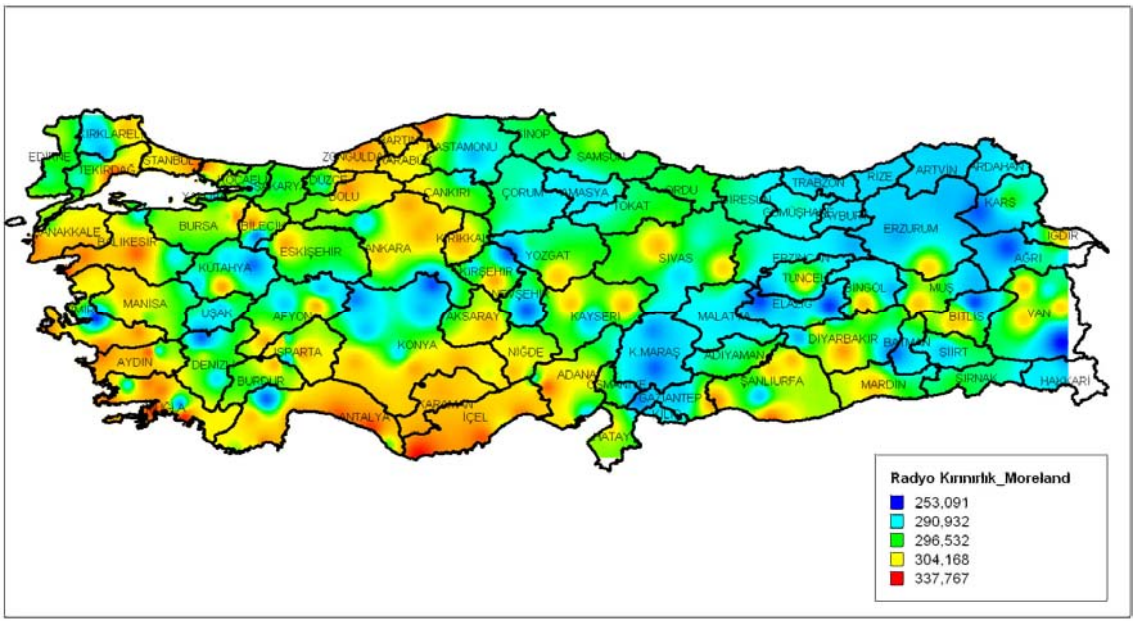

**Şekil 2.15:** Radyo kırınırlık ile yüksekliğin ilişkisi

Şekil 2.15'de görüldüğü gibi yükseklikle radyo kırınırlığı arasında doğrudan bir ilişki bulunmamaktadır. Atmosferin üst katmanlarına gidildikçe bu ilişki değişmektedir, ancak bunun için yüksekliğin hesaba katıldığı dikey hesaplamalar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada hesaplanan ve kullanılan N değerleri yüzey değerleridir.

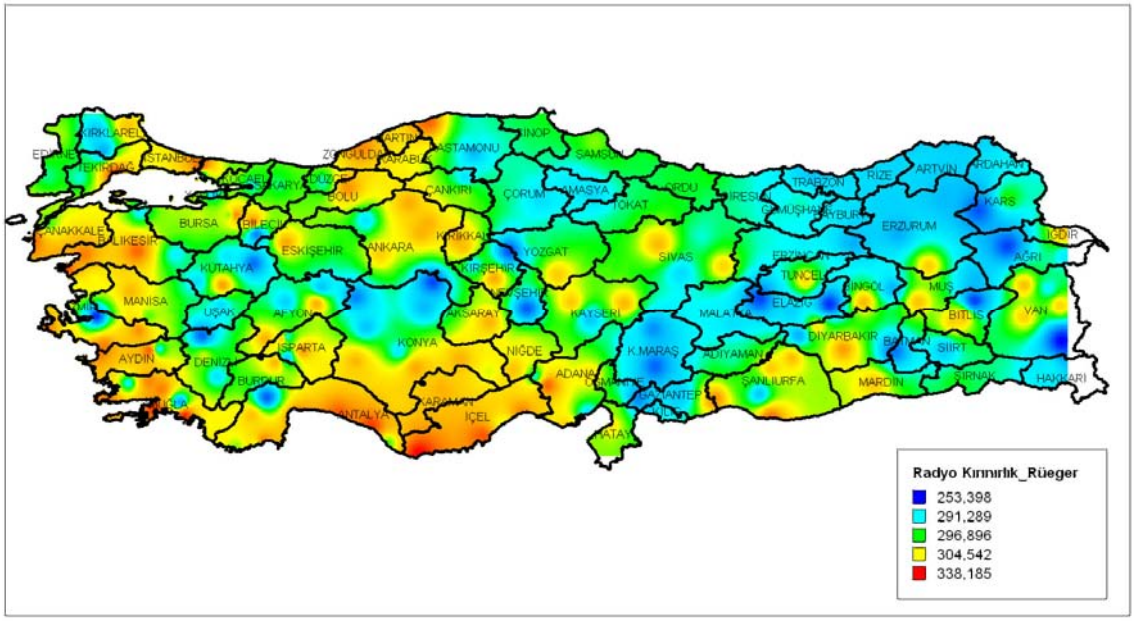
Farklı deneysel formüller yardımıyla hesaplanmış olan radyo kırınırlık ve radyo kırınırlık indeksi değerleri için Tablo 2.2'de verimiştir.




**Şekil 2.16:** Smith&Weintraub (53) formülünden hesaplanmış N değerleri




**Şekil 2.17:** Moreland (65) formülünden hesaplanmış N değerleri




**Şekil 2.18:** Rüeger (05) formülünden hesaplanmış N değerleri.

**Tablo 2.1:** Atmosferik analizlerde kullanılan 187 istasyona ait hesaplanan doymuş su buharı ve kısmi buhar basıncı değerleri

| NO | IST_ADI | Pw_Goff | Pw_Buck_81 | Pw_Buck-96 | Pw_Sonntag | Pw_Magnus | Pw_Bolton | Pw_Murphy | e_Buck_96 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ACIPAYAM | 14,6583 | 14,6227 | 14,6269 | 14,6790 | 14,6248 | 14,6179 | 9,7402 | 8,7762 |
| 2 | ADIYAMAN | 19,6017 | 19,5532 | 19,5611 | 19,6300 | 19,5570 | 19,5486 | 12,9758 | 9,6827 |
| 3 | AFSIN | 12,5128 | 12,4830 | 12,4858 | 12,5304 | 12,4837 | 12,4788 | 8,3319 | 7,4790 |
| 4 | AFYON | 13,2682 | 13,2364 | 13,2396 | 13,2869 | 13,2376 | 13,2320 | 8,8280 | 8,5925 |
| 5 | AGRI | 9,4243 | 9,4027 | 9,4037 | 9,4376 | 9,4007 | 9,4002 | 6,2993 | 6,4792 |
| 6 | AHLAT | 11,6063 | 11,5789 | 11,5811 | 11,6226 | 11,5789 | 11,5752 | 7,7360 | 7,4582 |
| 7 | AKCAKALE | 20,6817 | 20,6304 | 20,6391 | 20,7116 | 20,6343 | 20,6262 | 13,6812 | 11,8468 |
| 8 | AKHISAR | 18,3596 | 18,3142 | 18,3212 | 18,3859 | 18,3178 | 18,3094 | 12,1639 | 11,5790 |
| 9 | AKSARAY | 13,9250 | 13,8914 | 13,8951 | 13,9447 | 13,8931 | 13,8868 | 9,2592 | 8,1564 |
| 10 | ALANYA | 22,2396 | 22,1844 | 22,1942 | 22,2719 | 22,1882 | 22,1808 | 14,6979 | 14,7369 |
| 11 | ALATA_ERDEMLI | 21,0619 | 21,0097 | 21,0186 | 21,0924 | 21,0135 | 21,0056 | 13,9294 | 14,2086 |
| 12 | AMASYA | 15,6072 | 15,5691 | 15,5740 | 15,6294 | 15,5717 | 15,5642 | 10,3622 | 9,0952 |
| 13 | ANAMUR | 22,1289 | 22,0740 | 22,0837 | 22,1611 | 22,0778 | 22,0704 | 14,6257 | 15,8119 |
| 14 | ANKARA | 13,8975 | 13,8640 | 13,8676 | 13,9171 | 13,8656 | 13,8594 | 9,2411 | 8,4731 |
| 15 | ANTALYA | 21,2477 | 21,1949 | 21,2040 | 21,2784 | 21,1988 | 21,1909 | 14,0507 | 13,4009 |
| 16 | AYDIN | 20,1672 | 20,1172 | 20,1255 | 20,1963 | 20,1210 | 20,1128 | 13,3452 | 12,4174 |
| 17 | AYVALIK | 19,0382 | 18,9910 | 18,9985 | 19,0655 | 18,9948 | 18,9863 | 12,6075 | 13,1660 |
| 18 | BAFRA | 15,6479 | 15,6097 | 15,6146 | 15,6701 | 15,6123 | 15,6048 | 10,3889 | 11,6641 |
| 19 | BAHCEKOY | 14,8322 | 14,7962 | 14,8006 | 14,8532 | 14,7984 | 14,7914 | 9,8542 | 11,6924 |
| 20 | BALIKESIR_MEY | 16,6419 | 16,6010 | 16,6067 | 16,6656 | 16,6041 | 16,5961 | 11,0400 | 11,7077 |
| 21 | BANDIRMA | 16,1434 | 16,1039 | 16,1092 | 16,1664 | 16,1067 | 16,0989 | 10,7135 | 11,5664 |
| 22 | BASKALE | 9,3983 | 9,3768 | 9,3778 | 9,4115 | 9,3747 | 9,3742 | 6,2822 | 5,3641 |
| 23 | BATMAN | 18,6427 | 18,5966 | 18,6037 | 18,6694 | 18,6002 | 18,5918 | 12,3490 | 10,7158 |
| 24 | BERGAMA | 18,4535 | 18,4079 | 18,4149 | 18,4800 | 18,4115 | 18,4031 | 12,2253 | 11,4725 |
| 25 | BEYPAZARI | 15,0473 | 15,0107 | 15,0152 | 15,0686 | 15,0130 | 15,0059 | 9,9953 | 9,2494 |
| 26 | BEYSEHIR | 13,0670 | 13,0357 | 13,0388 | 13,0854 | 13,0368 | 13,0313 | 8,6959 | 8,3188 |
| 27 | BILECIK | 14,4007 | 14,3658 | 14,3699 | 14,4211 | 14,3678 | 14,3611 | 9,5712 | 9,8865 |
| 28 | BIRECIK | 20,3332 | 20,2827 | 20,2911 | 20,3625 | 20,2866 | 20,2784 | 13,4536 | 11,6877 |
| 29 | BITLIS | 11,8512 | 11,8232 | 11,8255 | 11,8679 | 11,8234 | 11,8193 | 7,8970 | 7,6275 |
| 30 | BODRUM | 21,9639 | 21,9094 | 21,9189 | 21,9957 | 21,9132 | 21,9056 | 14,5180 | 13,1514 |
| 31 | BOGAZLIYAN | 11,7955 | 11,7677 | 11,7699 | 11,8121 | 11,7678 | 11,7638 | 7,8604 | 7,5328 |
| 32 | BOLU | 12,6219 | 12,5919 | 12,5947 | 12,6397 | 12,5926 | 12,5877 | 8,4036 | 9,1060 |
| 33 | BOLVADIN | 13,0931 | 13,0617 | 13,0649 | 13,1115 | 13,0629 | 13,0574 | 8,7130 | 8,0872 |
| 34 | BORNOVA | 19,7636 | 19,7147 | 19,7227 | 19,7921 | 19,7185 | 19,7101 | 13,0816 | 11,5378 |
| 35 | BOZCAADA | 17,5215 | 17,4784 | 17,4847 | 17,5466 | 17,4818 | 17,4735 | 11,6157 | 13,2010 |
| 36 | BOZOVA URFA | 19,1473 | 19,0999 | 19,1074 | 19,1748 | 19,1037 | 19,0952 | 12,6789 | 10,1078 |
| 37 | BOZUYUK | 12,7319 | 12,7016 | 12,7045 | 12,7499 | 12,7024 | 12,6973 | 8,4758 | 8,9948 |
| 38 | BURDUR | 15,0867 | 15,0500 | 15,0545 | 15,1081 | 15,0524 | 15,0452 | 10,0211 | 8,8972 |
| 39 | BURSA | 16,4920 | 16,4515 | 16,4571 | 16,5155 | 16,4546 | 16,4466 | 10,9418 | 11,0427 |
| 40 | CANAKKALE | 17,0328 | 16,9909 | 16,9969 | 17,0571 | 16,9942 | 16,9860 | 11,2959 | 13,0536 |
| 41 | CANKIRI | 13,3123 | 13,2804 | 13,2836 | 13,3311 | 13,2816 | 13,2759 | 8,8570 | 8,8602 |

| NO | IST_ADI | Pw_Goff | Pw_Buck_81 | Pw_Buck-96 | Pw_Sonntag | Pw_Magnus | Pw_Bolton | Pw_Murphy | e_Buck_96 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 42 | CERMIK | 18,4771 | 18,4314 | 18,4384 | 18,5036 | 18,4350 | 18,4266 | 12,2407 | 9,4774 |
| 43 | CESME | 19,5274 | 19,4790 | 19,4869 | 19,5555 | 19,4828 | 19,4745 | 12,9273 | 13,9526 |
| 44 | CICEKDAGI | 13,7241 | 13,6911 | 13,6946 | 13,7435 | 13,6926 | 13,6865 | 9,1273 | 7,6964 |
| 45 | CIDE | 15,3851 | 15,3476 | 15,3523 | 15,4069 | 15,3501 | 15,3427 | 10,2167 | 11,2993 |
| 46 | CIHANBEYLI | 13,2242 | 13,1925 | 13,1958 | 13,2429 | 13,1937 | 13,1881 | 8,7992 | 8,0626 |
| 47 | CIZRE | 22,9279 | 22,8710 | 22,8813 | 22,9613 | 22,8747 | 22,8678 | 15,1468 | 11,5322 |
| 48 | CORUM | 12,8000 | 12,7695 | 12,7724 | 12,8181 | 12,7704 | 12,7652 | 8,5206 | 8,7236 |
| 49 | CUMRA | 13,3477 | 13,3156 | 13,3190 | 13,3665 | 13,3169 | 13,3112 | 8,8802 | 8,4709 |
| 50 | DALAMAN | 20,7469 | 20,6954 | 20,7041 | 20,7768 | 20,6993 | 20,6912 | 13,7237 | 14,4929 |
| 51 | DEMIRCI_MANIS | 15,1856 | 15,1486 | 15,1532 | 15,2071 | 15,1510 | 15,1438 | 10,0859 | 9,1526 |
| 52 | DENIZLI | 18,2078 | 18,1628 | 18,1697 | 18,2339 | 18,1664 | 18,1580 | 12,0646 | 11,1562 |
| 53 | DEVREKANI | 10,5261 | 10,5017 | 10,5032 | 10,5409 | 10,5007 | 10,4984 | 7,0252 | 7,4783 |
| 54 | DIKILI | 18,7379 | 18,6915 | 18,6988 | 18,7648 | 18,6952 | 18,6868 | 12,4112 | 13,6688 |
| 55 | DINAR | 14,7450 | 14,7092 | 14,7135 | 14,7659 | 14,7114 | 14,7044 | 9,7971 | 8,7104 |
| 56 | DIVRIGI | 13,4009 | 13,3687 | 13,3721 | 13,4198 | 13,3701 | 13,3642 | 8,9152 | 7,7157 |
| 57 | DIYARBAKIR | 17,9765 | 17,9321 | 17,9388 | 18,0022 | 17,9356 | 17,9272 | 11,9133 | 9,8305 |
| 58 | DOGUBEYAZIT | 11,4584 | 11,4314 | 11,4335 | 11,4745 | 11,4313 | 11,4277 | 7,6387 | 7,0316 |
| 59 | DORTYOL | 21,6370 | 21,5833 | 21,5926 | 21,6683 | 21,5871 | 21,5794 | 14,3047 | 14,1000 |
| 60 | DURSUNBEY | 14,1751 | 14,1408 | 14,1447 | 14,1951 | 14,1427 | 14,1362 | 9,4233 | 9,3497 |
| 61 | DUZCE | 15,1361 | 15,0992 | 15,1038 | 15,1575 | 15,1016 | 15,0944 | 10,0535 | 11,3430 |
| 62 | EDIRNE | 15,5970 | 15,5590 | 15,5639 | 15,6192 | 15,5616 | 15,5541 | 10,3556 | 10,7546 |
| 63 | EDREMIT | 18,6308 | 18,5847 | 18,5919 | 18,6575 | 18,5884 | 18,5799 | 12,3412 | 11,0436 |
| 64 | EGIRDIR | 14,7257 | 14,6900 | 14,6942 | 14,7466 | 14,6921 | 14,6852 | 9,7844 | 9,4190 |
| 65 | ELAZIG | 14,9982 | 14,9617 | 14,9662 | 15,0194 | 14,9640 | 14,9569 | 9,9631 | 8,1865 |
| 66 | ELMALI | 14,8906 | 14,8544 | 14,8588 | 14,9117 | 14,8567 | 14,8496 | 9,8925 | 8,2764 |
| 67 | EMIRDAG | 13,4900 | 13,4576 | 13,4610 | 13,5090 | 13,4590 | 13,4531 | 8,9737 | 7,9151 |
| 68 | ERCIS | 10,6271 | 10,6024 | 10,6040 | 10,6420 | 10,6015 | 10,5991 | 7,0917 | 6,7653 |
| 69 | EREGLI_KONYA | 13,5796 | 13,5470 | 13,5504 | 13,5988 | 13,5484 | 13,5425 | 9,0325 | 8,4419 |
| 70 | ERGANI | 17,9305 | 17,8863 | 17,8929 | 17,9562 | 17,8898 | 17,8814 | 11,8833 | 8,8749 |
| 71 | ERZINCAN | 12,9631 | 12,9321 | 12,9351 | 12,9814 | 12,9331 | 12,9277 | 8,6277 | 8,0456 |
| 72 | ERZURUM | 9,0720 | 9,0513 | 9,0522 | 9,0848 | 9,0490 | 9,0490 | 6,0670 | 5,9201 |
| 73 | ESENBOGA | 12,2887 | 12,2596 | 12,2622 | 12,3060 | 12,2601 | 12,2555 | 8,1846 | 7,9949 |
| 74 | ESKISEHIR_BOLGE | 12,8599 | 12,8292 | 12,8322 | 12,8780 | 12,8301 | 12,8249 | 8,5599 | 8,4564 |
| 75 | FETHIYE | 20,8514 | 20,7997 | 20,8085 | 20,8816 | 20,8036 | 20,7955 | 13,7920 | 13,5671 |
| 76 | FINIKE | 21,6370 | 21,5833 | 21,5926 | 21,6683 | 21,5871 | 21,5794 | 14,3047 | 14,7694 |
| 77 | GAZIANTEP | 16,9452 | 16,9036 | 16,9095 | 16,9694 | 16,9068 | 16,8987 | 11,2386 | 10,2810 |
| 78 | GAZIPASA | 21,0355 | 20,9833 | 20,9922 | 21,0660 | 20,9872 | 20,9792 | 13,9122 | 13,9179 |
| 79 | GEDIZ | 14,4576 | 14,4226 | 14,4267 | 14,4781 | 14,4246 | 14,4178 | 9,6086 | 9,2042 |
| 80 | GENC | 13,8608 | 13,8274 | 13,8311 | 13,8804 | 13,8290 | 13,8228 | 9,2170 | 8,0635 |
| 81 | GOKSUN | 11,4584 | 11,4314 | 11,4335 | 11,4745 | 11,4313 | 11,4277 | 7,6387 | 7,7862 |
| 82 | GOZTEPE_ISTAN | 16,3116 | 16,2716 | 16,2771 | 16,3348 | 16,2746 | 16,2667 | 10,8237 | 12,0450 |
| 83 | GUMUSHANE | 11,9232 | 11,8950 | 11,8973 | 11,9399 | 11,8952 | 11,8910 | 7,9443 | 7,6262 |
| 84 | GUNEY | 15,6072 | 15,5691 | 15,5740 | 15,6294 | 15,5717 | 15,5642 | 10,3622 | 8,9395 |
| 85 | HADIM | 12,0844 | 12,0558 | 12,0583 | 12,1015 | 12,0562 | 12,0518 | 8,0504 | 7,0300 |

| NO | IST_ADI | Pw_Goff | Pw_Buck_81 | Pw_Buck-96 | Pw_Sonntag | Pw_Magnus | Pw_Bolton | Pw_Murphy | e_Buck_96 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 86 | HAKKARI | 12,4045 | 12,3750 | 12,3777 | 12,4219 | 12,3756 | 12,3708 | 8,2607 | 6,7830 |
| 87 | HILVAN | 18,4535 | 18,4079 | 18,4149 | 18,4800 | 18,4115 | 18,4031 | 12,2253 | 9,6310 |
| 88 | HINIS | 9,5357 | 9,5138 | 9,5148 | 9,5491 | 9,5119 | 9,5111 | 6,3727 | 6,2417 |
| 89 | IGDIR | 13,9802 | 13,9465 | 13,9503 | 14,0000 | 13,9482 | 13,9419 | 9,2954 | 7,9377 |
| 90 | ILGAZ | 12,5379 | 12,5080 | 12,5108 | 12,5556 | 12,5088 | 12,5039 | 8,3484 | 8,3197 |
| 91 | ILGIN | 13,0323 | 13,0011 | 13,0042 | 13,0506 | 13,0022 | 12,9967 | 8,6731 | 8,3097 |
| 92 | INEBOLU | 15,1460 | 15,1091 | 15,1137 | 15,1675 | 15,1115 | 15,1043 | 10,0599 | 11,3353 |
| 93 | IPSALA | 15,9871 | 15,9480 | 15,9532 | 16,0098 | 15,9508 | 15,9430 | 10,6111 | 11,7894 |
| 94 | ISKENDERUN | 23,5618 | 23,5034 | 23,5141 | 23,5961 | 23,5069 | 23,5005 | 15,5600 | 15,8720 |
| 95 | ISLAHIYE | 19,1230 | 19,0757 | 19,0832 | 19,1505 | 19,0794 | 19,0710 | 12,6630 | 11,6407 |
| 96 | ISPARTA | 14,1378 | 14,1036 | 14,1075 | 14,1578 | 14,1055 | 14,0990 | 9,3988 | 8,6197 |
| 97 | ISPIR | 12,4961 | 12,4663 | 12,4691 | 12,5137 | 12,4670 | 12,4622 | 8,3209 | 7,4690 |
| 98 | IZMIR | 20,4488 | 20,3980 | 20,4065 | 20,4783 | 20,4019 | 20,3937 | 13,5291 | 12,8357 |
| 99 | KAHRAMANMARAS | 19,0745 | 19,0273 | 19,0348 | 19,1019 | 19,0310 | 19,0226 | 12,6313 | 11,1734 |
| 100 | KALE_DEMRE | 20,8776 | 20,8258 | 20,8346 | 20,9078 | 20,8297 | 20,8217 | 13,8091 | 14,4801 |
| 101 | KAMAN | 12,4877 | 12,4580 | 12,4607 | 12,5053 | 12,4587 | 12,4538 | 8,3154 | 7,5637 |
| 102 | KANGAL | 9,7551 | 9,7326 | 9,7338 | 9,7688 | 9,7309 | 9,7298 | 6,5173 | 6,4145 |
| 103 | KARAISALI | 21,1149 | 21,0625 | 21,0714 | 21,1454 | 21,0663 | 21,0584 | 13,9640 | 12,5164 |
| 104 | KARAMAN | 13,8517 | 13,8183 | 13,8219 | 13,8712 | 13,8199 | 13,8137 | 9,2110 | 8,4037 |
| 105 | KARAPINAR | 13,1541 | 13,1226 | 13,1258 | 13,1727 | 13,1238 | 13,1182 | 8,7531 | 8,1905 |
| 106 | KARATAS | 21,8817 | 21,8274 | 21,8370 | 21,9135 | 21,8313 | 21,8237 | 14,4644 | 15,2204 |
| 107 | KARS | 8,5683 | 8,5489 | 8,5495 | 8,5804 | 8,5460 | 8,5469 | 5,7347 | 3,1633 |
| 108 | KAS | 22,9706 | 22,9137 | 22,9239 | 23,0041 | 22,9173 | 22,9104 | 15,1746 | 12,4706 |
| 109 | KASTAMONU | 12,0520 | 12,0235 | 12,0259 | 12,0690 | 12,0238 | 12,0195 | 8,0291 | 8,2137 |
| 110 | KAYSERI | 12,6980 | 12,6677 | 12,6706 | 12,7159 | 12,6686 | 12,6635 | 8,4536 | 8,1345 |
| 111 | KEBAN | 16,9016 | 16,8601 | 16,8660 | 16,9257 | 16,8633 | 16,8551 | 11,2100 | 8,6691 |
| 112 | KESKIN | 12,7915 | 12,7610 | 12,7639 | 12,8095 | 12,7619 | 12,7567 | 8,5150 | 8,1689 |
| 113 | KIRECBURNU | 15,7193 | 15,6809 | 15,6859 | 15,7416 | 15,6836 | 15,6760 | 10,4357 | 11,8429 |
| 114 | KIRIKKALE | 14,5051 | 14,4700 | 14,4741 | 14,5257 | 14,4720 | 14,4653 | 9,6398 | 9,1332 |
| 115 | KIRKLARELI | 15,1064 | 15,0697 | 15,0742 | 15,1279 | 15,0720 | 15,0648 | 10,0340 | 10,4314 |
| 116 | KIRSEHIR | 13,4098 | 13,3776 | 13,3809 | 13,4287 | 13,3789 | 13,3731 | 8,9210 | 8,4969 |
| 117 | KIZILCAHAMAM | 12,2067 | 12,1777 | 12,1802 | 12,2238 | 12,1782 | 12,1736 | 8,1307 | 8,0755 |
| 118 | KOCAELI | 16,7389 | 16,6978 | 16,7035 | 16,7628 | 16,7009 | 16,6928 | 11,1035 | 12,0265 |
| 119 | KONYA | 13,6066 | 13,5739 | 13,5774 | 13,6258 | 13,5754 | 13,5694 | 9,0502 | 8,0785 |
| 120 | KORKUTELI | 14,4766 | 14,4415 | 14,4456 | 14,4971 | 14,4435 | 14,4368 | 9,6210 | 8,4218 |
| 121 | KOYCEGIZ | 21,0223 | 20,9702 | 20,9791 | 21,0527 | 20,9740 | 20,9660 | 13,9036 | 13,0490 |
| 122 | KOZAN | 22,3368 | 22,2814 | 22,2912 | 22,3692 | 22,2851 | 22,2778 | 14,7613 | 13,1295 |
| 123 | KULU | 12,4627 | 12,4330 | 12,4358 | 12,4802 | 12,4337 | 12,4289 | 8,2990 | 7,8594 |
| 124 | KUSADASI | 19,3182 | 19,2703 | 19,2780 | 19,3460 | 19,2741 | 19,2657 | 12,7905 | 12,2415 |
| 125 | KUTAHYA | 12,8513 | 12,8206 | 12,8236 | 12,8694 | 12,8216 | 12,8163 | 8,5543 | 8,3995 |
| 126 | LULEBURGAZ | 15,1757 | 15,1387 | 15,1433 | 15,1972 | 15,1411 | 15,1339 | 10,0794 | 10,6609 |
| 127 | MALATYA | 15,6479 | 15,6097 | 15,6146 | 15,6701 | 15,6123 | 15,6048 | 10,3889 | 8,5100 |
| 128 | MALAZGIRT | 10,1307 | 10,1072 | 10,1086 | 10,1449 | 10,1059 | 10,1042 | 6,7648 | 5,9337 |
| 129 | MALKARA | 15,1558 | 15,1190 | 15,1236 | 15,1774 | 15,1214 | 15,1141 | 10,0664 | 10,6167 |

| NO | IST_ADI | Pw_Goff | Pw_Buck_81 | Pw_Buck-96 | Pw_Sonntag | Pw_Magnus | Pw_Bolton | Pw_Murphy | e_Buck_96 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 130 | MANAVGAT | 21,3946 | 21,3415 | 21,3507 | 21,4256 | 21,3454 | 21,3375 | 14,1466 | 13,3442 |
| 131 | MARDIN | 18,1497 | 18,1049 | 18,1117 | 18,1757 | 18,1085 | 18,1001 | 12,0267 | 8,7480 |
| 132 | MARMARIS | 21,5290 | 21,4755 | 21,4848 | 21,5602 | 21,4794 | 21,4716 | 14,2342 | 14,1585 |
| 133 | MERSIN | 21,9502 | 21,8957 | 21,9053 | 21,9820 | 21,8995 | 21,8920 | 14,5091 | 15,4213 |
| 134 | MERZIFON | 13,5347 | 13,5022 | 13,5056 | 13,5539 | 13,5036 | 13,4977 | 9,0030 | 9,2514 |
| 135 | MILAS | 20,4359 | 20,3852 | 20,3937 | 20,4654 | 20,3891 | 20,3809 | 13,5207 | 12,6033 |
| 136 | MUGLA | 17,0548 | 17,0128 | 17,0188 | 17,0791 | 17,0161 | 17,0079 | 11,3102 | 10,8410 |
| 137 | MURADIYE_VAN | 10,9278 | 10,9022 | 10,9040 | 10,9431 | 10,9016 | 10,8988 | 7,2896 | 6,1280 |
| 138 | MUS | 11,9312 | 11,9030 | 11,9053 | 11,9480 | 11,9032 | 11,8990 | 7,9496 | 7,4766 |
| 139 | NAZILLI | 19,9393 | 19,8899 | 19,8980 | 19,9681 | 19,8937 | 19,8854 | 13,1964 | 11,8791 |
| 140 | NEVSEHIR | 12,7489 | 12,7185 | 12,7214 | 12,7669 | 12,7194 | 12,7143 | 8,4870 | 7,5692 |
| 141 | NIGDE | 13,1454 | 13,1139 | 13,1171 | 13,1639 | 13,1151 | 13,1095 | 8,7474 | 7,7653 |
| 142 | ODEMIS | 18,9175 | 18,8707 | 18,8781 | 18,9447 | 18,8745 | 18,8660 | 12,5287 | 12,3652 |
| 143 | OLTU | 12,1821 | 12,1532 | 12,1558 | 12,1993 | 12,1537 | 12,1492 | 8,1146 | 7,4636 |
| 144 | ORDU | 16,1329 | 16,0934 | 16,0987 | 16,1559 | 16,0963 | 16,0885 | 10,7067 | 11,7038 |
| 145 | OZALP | 9,2499 | 9,2288 | 9,2297 | 9,2629 | 9,2266 | 9,2263 | 6,1843 | 5,8793 |
| 146 | PALU | 15,6173 | 15,5792 | 15,5842 | 15,6395 | 15,5819 | 15,5743 | 10,3689 | 8,2908 |
| 147 | PINARBASI_KAY | 10,5910 | 10,5663 | 10,5679 | 10,6058 | 10,5654 | 10,5630 | 7,0679 | 7,1228 |
| 148 | POLATLI | 13,5706 | 13,5380 | 13,5415 | 13,5898 | 13,5395 | 13,5335 | 9,0266 | 8,4634 |
| 149 | POZANTI | 15,5261 | 15,4882 | 15,4931 | 15,5482 | 15,4908 | 15,4833 | 10,3091 | 9,2184 |
| 150 | SAKARYA | 16,2799 | 16,2400 | 16,2455 | 16,3031 | 16,2430 | 16,2351 | 10,8029 | 11,7780 |
| 151 | SALIHLI | 18,6427 | 18,5966 | 18,6037 | 18,6694 | 18,6002 | 18,5918 | 12,3490 | 11,6831 |
| 152 | SAMSUN | 16,4175 | 16,3772 | 16,3828 | 16,4409 | 16,3802 | 16,3723 | 10,8930 | 12,0577 |
| 153 | SANLIURFA | 21,0091 | 20,9570 | 20,9659 | 21,0395 | 20,9609 | 20,9529 | 13,8950 | 10,9232 |
| 154 | SARIKAMIS | 7,8980 | 7,8803 | 7,8807 | 7,9092 | 7,8767 | 7,8788 | 5,2921 | 5,5795 |
| 155 | SEFERIHISAR | 18,9657 | 18,9188 | 18,9262 | 18,9930 | 18,9225 | 18,9141 | 12,5602 | 12,3399 |
| 156 | SELCUK | 18,7379 | 18,6915 | 18,6988 | 18,7648 | 18,6952 | 18,6868 | 12,4112 | 11,3128 |
| 157 | SENIRKENT | 14,4576 | 14,4226 | 14,4267 | 14,4781 | 14,4246 | 14,4178 | 9,6086 | 8,0356 |
| 158 | SEYDISEHIR | 13,8060 | 13,7727 | 13,7764 | 13,8255 | 13,7743 | 13,7681 | 9,1811 | 8,7755 |
| 159 | SIIRT | 18,1962 | 18,1512 | 18,1581 | 18,2223 | 18,1548 | 18,1464 | 12,0570 | 9,1154 |
| 160 | SILE | 15,4454 | 15,4077 | 15,4125 | 15,4673 | 15,4103 | 15,4028 | 10,2562 | 12,2530 |
| 161 | SILIFKE | 22,1289 | 22,0740 | 22,0837 | 22,1611 | 22,0778 | 22,0704 | 14,6257 | 13,5594 |
| 162 | SIMAV | 13,8060 | 13,7727 | 13,7764 | 13,8255 | 13,7743 | 13,7681 | 9,1811 | 9,0786 |
| 163 | SINOP | 16,0598 | 16,0205 | 16,0258 | 16,0827 | 16,0234 | 16,0156 | 10,6588 | 11,7950 |
| 164 | SIVAS | 11,5282 | 11,5011 | 11,5032 | 11,5445 | 11,5010 | 11,4973 | 7,6847 | 7,4771 |
| 165 | SIVEREK | 18,6783 | 18,6321 | 18,6393 | 18,7051 | 18,6358 | 18,6274 | 12,3723 | 10,1212 |
| 166 | SOLHAN | 12,4045 | 12,3750 | 12,3777 | 12,4219 | 12,3756 | 12,3708 | 8,2607 | 7,2657 |
| 167 | SULTANHISAR | 19,6514 | 19,6027 | 19,6107 | 19,6797 | 19,6066 | 19,5982 | 13,0083 | 12,4135 |
| 168 | TATVAN | 11,3889 | 11,3621 | 11,3642 | 11,4049 | 11,3619 | 11,3585 | 7,5930 | 7,4549 |
| 169 | TAVSANLI | 13,3035 | 13,2716 | 13,2748 | 13,3222 | 13,2728 | 13,2671 | 8,8512 | 8,8809 |
| 170 | TEKIRDAG | 15,9042 | 15,8654 | 15,8705 | 15,9269 | 15,8681 | 15,8604 | 10,5569 | 12,3631 |
| 171 | TERCAN | 10,9873 | 10,9616 | 10,9634 | 11,0027 | 10,9610 | 10,9581 | 7,3288 | 7,0495 |
| 172 | TOMARZA | 10,8537 | 10,8284 | 10,8301 | 10,8690 | 10,8277 | 10,8250 | 7,2409 | 7,1262 |
| 173 | TRABZON | 16,7173 | 16,6762 | 16,6820 | 16,7411 | 16,6793 | 16,6713 | 11,0893 | 11,9109 |

| NO | IST_ADI | Pw_Goff | Pw_Buck_81 | Pw_Buck-96 | Pw_Sonntag | Pw_Magnus | Pw_Bolton | Pw_Murphy | e_Buck_96 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 174 | TUNCELI | 14,7450 | 14,7092 | 14,7135 | 14,7659 | 14,7114 | 14,7044 | 9,7971 | 8,6221 |
| 175 | ULUBORLU | 13,7604 | 13,7273 | 13,7309 | 13,7799 | 13,7289 | 13,7227 | 9,1512 | 7,9502 |
| 176 | ULUKISLA | 12,0601 | 12,0316 | 12,0340 | 12,0771 | 12,0319 | 12,0276 | 8,0344 | 7,6657 |
| 177 | USAK | 14,4291 | 14,3942 | 14,3982 | 14,4495 | 14,3962 | 14,3895 | 9,5899 | 9,4165 |
| 178 | VAN | 11,5516 | 11,5244 | 11,5265 | 11,5679 | 11,5243 | 11,5206 | 7,7000 | 6,7315 |
| 179 | YALOVA | 16,5561 | 16,5155 | 16,5211 | 16,5797 | 16,5185 | 16,5105 | 10,9838 | 12,3908 |
| 180 | YATAGAN | 18,3830 | 18,3376 | 18,3446 | 18,4094 | 18,3412 | 18,3328 | 12,1792 | 10,9334 |
| 181 | YENISEHIR | 14,9101 | 14,8739 | 14,8783 | 14,9313 | 14,8762 | 14,8691 | 9,9053 | 10,4297 |
| 182 | YENISEHIR_MEY | 15,1856 | 15,1486 | 15,1532 | 15,2071 | 15,1510 | 15,1438 | 10,0859 | 10,3042 |
| 183 | YOZGAT | 11,4584 | 11,4314 | 11,4335 | 11,4745 | 11,4313 | 11,4277 | 7,6387 | 7,6719 |
| 184 | YUMURTALIK | 21,8135 | 21,7594 | 21,7688 | 21,8451 | 21,7632 | 21,7556 | 14,4199 | 14,9770 |
| 185 | YUNAK | 13,0931 | 13,0617 | 13,0649 | 13,1115 | 13,0629 | 13,0574 | 8,7130 | 7,8389 |
| 186 | ZARA | 11,1827 | 11,1565 | 11,1584 | 11,1984 | 11,1561 | 11,1529 | 7,4574 | 7,0744 |
| 187 | ZONGULDAK | 15,5564 | 15,5185 | 15,5234 | 15,5786 | 15,5211 | 15,5136 | 10,3290 | 10,7111 |

**Tablo 2.2:** Atmosferik analizlerde kullanılan 187 istasyona ait hesaplanan radyo kırınırlık ve radyo kırınırlık indeksi değerleri

| NO | IST_ADI | N_Smith&Weintraub | n_S&W | N_Moreland | n_Mor | Rüeger | n_Rüe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ACIPAYAM | 287,4929 | 1,000287 | 287,4654 | 1,000287 | 287,8174 | 1,000288 |
| 2 | ADIYAMAN | 293,0028 | 1,000293 | 292,9734 | 1,000293 | 293,3299 | 1,000293 |
| 3 | AFSIN | 275,0329 | 1,000275 | 275,0090 | 1,000275 | 275,3452 | 1,000275 |
| 4 | AFYON | 284,8652 | 1,000285 | 284,8380 | 1,000285 | 285,1878 | 1,000285 |
| 5 | AGRI | 263,1559 | 1,000263 | 263,1346 | 1,000263 | 263,4571 | 1,000263 |
| 6 | AHLAT | 262,2575 | 1,000262 | 262,2336 | 1,000262 | 262,5559 | 1,000263 |
| 7 | AKCAKALE | 322,8140 | 1,000323 | 322,7782 | 1,000323 | 323,1726 | 1,000323 |
| 8 | AKHISAR | 313,3296 | 1,000313 | 313,2942 | 1,000313 | 313,6792 | 1,000314 |
| 9 | AKSARAY | 313,6909 | 1,000314 | 313,6652 | 1,000314 | 314,0463 | 1,000314 |
| 10 | ALANYA | 330,7891 | 1,000331 | 330,7450 | 1,000331 | 331,1529 | 1,000331 |
| 11 | ALATA_ERDEMLI | 303,3723 | 1,000303 | 303,3295 | 1,000303 | 303,7061 | 1,000304 |
| 12 | AMASYA | 285,2743 | 1,000285 | 285,2460 | 1,000285 | 285,5954 | 1,000286 |
| 13 | ANAMUR | 337,9838 | 1,000338 | 337,9364 | 1,000338 | 338,3548 | 1,000338 |
| 14 | ANKARA | 314,5022 | 1,000315 | 314,4755 | 1,000314 | 314,8584 | 1,000315 |
| 15 | ANTALYA | 327,0063 | 1,000327 | 326,9659 | 1,000327 | 327,3678 | 1,000327 |
| 16 | AYDIN | 313,0394 | 1,000313 | 313,0019 | 1,000313 | 313,3867 | 1,000313 |
| 17 | AYVALIK | 329,4316 | 1,000329 | 329,3915 | 1,000329 | 329,7978 | 1,000330 |
| 18 | BAFRA | 300,3996 | 1,000300 | 300,3633 | 1,000300 | 300,7364 | 1,000301 |
| 19 | BAHCEKOY | 324,9834 | 1,000325 | 324,9468 | 1,000325 | 325,3490 | 1,000325 |
| 20 | BALIKESIR_MEY | 324,1836 | 1,000324 | 324,1474 | 1,000324 | 324,5467 | 1,000325 |
| 21 | BANDIRMA | 289,6177 | 1,000290 | 289,5818 | 1,000290 | 289,9417 | 1,000290 |
| 22 | BASKALE | 253,1082 | 1,000253 | 253,0906 | 1,000253 | 253,3980 | 1,000253 |
| 23 | BATMAN | 270,5398 | 1,000271 | 270,5070 | 1,000271 | 270,8408 | 1,000271 |
| 24 | BERGAMA | 304,6028 | 1,000305 | 304,5677 | 1,000305 | 304,9423 | 1,000305 |
| 25 | BEYPAZARI | 287,9439 | 1,000288 | 287,9150 | 1,000288 | 288,2684 | 1,000288 |
| 26 | BEYSEHIR | 313,4981 | 1,000313 | 313,4717 | 1,000313 | 313,8538 | 1,000314 |
| 27 | BILECIK | 321,0094 | 1,000321 | 320,9784 | 1,000321 | 321,3719 | 1,000321 |
| 28 | BIRECIK | 319,1528 | 1,000319 | 319,1174 | 1,000319 | 319,5076 | 1,000320 |
| 29 | BITLIS | 310,3849 | 1,000310 | 310,3605 | 1,000310 | 310,7382 | 1,000311 |
| 30 | BODRUM | 322,9841 | 1,000323 | 322,9447 | 1,000323 | 323,3408 | 1,000323 |
| 31 | BOGAZLIYAN | 310,8518 | 1,000311 | 310,8277 | 1,000311 | 311,2057 | 1,000311 |
| 32 | BOLU | 318,4814 | 1,000318 | 318,4524 | 1,000318 | 318,8428 | 1,000319 |
| 33 | BOLVADIN | 314,1926 | 1,000314 | 314,1669 | 1,000314 | 314,5491 | 1,000315 |
| 34 | BORNOVA | 257,3536 | 1,000257 | 257,3186 | 1,000257 | 257,6380 | 1,000258 |
| 35 | BOZCAADA | 328,0296 | 1,000328 | 327,9890 | 1,000328 | 328,3953 | 1,000328 |
| 36 | BOZOVA URFA | 298,3423 | 1,000298 | 298,3116 | 1,000298 | 298,6755 | 1,000299 |
| 37 | BOZUYUK | 271,7125 | 1,000272 | 271,6839 | 1,000272 | 272,0202 | 1,000272 |
| 38 | BURDUR | 314,0238 | 1,000314 | 313,9960 | 1,000314 | 314,3784 | 1,000314 |
| 39 | BURSA | 302,6450 | 1,000303 | 302,6108 | 1,000303 | 302,9840 | 1,000303 |
| 40 | CANAKKALE | 297,6081 | 1,000298 | 297,5678 | 1,000298 | 297,9394 | 1,000298 |
| 41 | CANKIRI | 301,0517 | 1,000301 | 301,0236 | 1,000301 | 301,3926 | 1,000301 |
| 42 | CERMIK | 279,8149 | 1,000280 | 279,7859 | 1,000280 | 280,1277 | 1,000280 |

| NO | IST_ADI | N_Smith&Weintraub | n_S&W | N_Moreland | n_Mor | Rüeger | n_Rüe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 43 | CESME | 321,1541 | 1,000321 | 321,1117 | 1,000321 | 321,5097 | 1,000322 |
| 44 | CICEKDAGI | 264,6057 | 1,000265 | 264,5814 | 1,000265 | 264,9051 | 1,000265 |
| 45 | CIDE | 324,9488 | 1,000325 | 324,9136 | 1,000325 | 325,3142 | 1,000325 |
| 46 | CIHANBEYLI | 281,3283 | 1,000281 | 281,3028 | 1,000281 | 281,6471 | 1,000282 |
| 47 | CIZRE | 296,5980 | 1,000297 | 296,5635 | 1,000297 | 296,9256 | 1,000297 |
| 48 | CORUM | 286,3910 | 1,000286 | 286,3633 | 1,000286 | 286,7156 | 1,000287 |
| 49 | CUMRA | 315,0862 | 1,000315 | 315,0594 | 1,000315 | 315,4434 | 1,000315 |
| 50 | DALAMAN | 333,5135 | 1,000334 | 333,4697 | 1,000333 | 333,8817 | 1,000334 |
| 51 | DEMIRCI_MANIS | 311,5394 | 1,000312 | 311,5109 | 1,000312 | 311,8909 | 1,000312 |
| 52 | DENIZLI | 302,7248 | 1,000303 | 302,6907 | 1,000303 | 303,0627 | 1,000303 |
| 53 | DEVREKANI | 291,9453 | 1,000292 | 291,9210 | 1,000292 | 292,2785 | 1,000292 |
| 54 | DIKILI | 303,4704 | 1,000303 | 303,4287 | 1,000303 | 303,8065 | 1,000304 |
| 55 | DINAR | 314,5548 | 1,000315 | 314,5275 | 1,000315 | 314,9103 | 1,000315 |
| 56 | DIVRIGI | 309,5099 | 1,000310 | 309,4855 | 1,000309 | 309,8611 | 1,000310 |
| 57 | DIYARBAKIR | 316,6726 | 1,000317 | 316,6425 | 1,000317 | 317,0277 | 1,000317 |
| 58 | DOGUBEYAZIT | 288,5389 | 1,000289 | 288,5163 | 1,000289 | 288,8676 | 1,000289 |
| 59 | DORTYOL | 300,8428 | 1,000301 | 300,8004 | 1,000301 | 301,1733 | 1,000301 |
| 60 | DURSUNBEY | 289,5385 | 1,000290 | 289,5091 | 1,000290 | 289,8653 | 1,000290 |
| 61 | DUZCE | 292,3580 | 1,000292 | 292,3225 | 1,000292 | 292,6861 | 1,000293 |
| 62 | EDIRNE | 301,3667 | 1,000301 | 301,3332 | 1,000301 | 301,7052 | 1,000302 |
| 63 | EDREMIT | 321,0546 | 1,000321 | 321,0209 | 1,000321 | 321,4133 | 1,000321 |
| 64 | EGIRDIR | 317,0281 | 1,000317 | 316,9986 | 1,000317 | 317,3860 | 1,000317 |
| 65 | ELAZIG | 284,4594 | 1,000284 | 284,4338 | 1,000284 | 284,7806 | 1,000285 |
| 66 | ELMALI | 311,9826 | 1,000312 | 311,9567 | 1,000312 | 312,3354 | 1,000312 |
| 67 | EMIRDAG | 283,1757 | 1,000283 | 283,1507 | 1,000283 | 283,4965 | 1,000283 |
| 68 | ERCIS | 312,2978 | 1,000312 | 312,2758 | 1,000312 | 312,6544 | 1,000313 |
| 69 | EREGLI_KONYA | 302,9628 | 1,000303 | 302,9361 | 1,000303 | 303,3059 | 1,000303 |
| 70 | ERGANI | 306,7303 | 1,000307 | 306,7031 | 1,000307 | 307,0748 | 1,000307 |
| 71 | ERZINCAN | 289,5656 | 1,000290 | 289,5400 | 1,000290 | 289,8940 | 1,000290 |
| 72 | ERZURUM | 279,1468 | 1,000279 | 279,1273 | 1,000279 | 279,4668 | 1,000279 |
| 73 | ESENBOGA | 314,4225 | 1,000314 | 314,3970 | 1,000314 | 314,7800 | 1,000315 |
| 74 | ESKISEHIR_BOLGE | 315,4447 | 1,000315 | 315,4178 | 1,000315 | 315,8027 | 1,000316 |
| 75 | FETHIYE | 304,1617 | 1,000304 | 304,1208 | 1,000304 | 304,4971 | 1,000304 |
| 76 | FINIKE | 321,1597 | 1,000321 | 321,1153 | 1,000321 | 321,5128 | 1,000322 |
| 77 | GAZIANTEP | 283,0001 | 1,000283 | 282,9684 | 1,000283 | 283,3169 | 1,000283 |
| 78 | GAZIPASA | 298,4993 | 1,000298 | 298,4573 | 1,000298 | 298,8278 | 1,000299 |
| 79 | GEDIZ | 316,4255 | 1,000316 | 316,3966 | 1,000316 | 316,7830 | 1,000317 |
| 80 | GENC | 313,1867 | 1,000313 | 313,1613 | 1,000313 | 313,5416 | 1,000314 |
| 81 | GOKSUN | 288,3092 | 1,000288 | 288,2842 | 1,000288 | 288,6374 | 1,000289 |
| 82 | GOZTEPE_ISTAN | 294,2885 | 1,000294 | 294,2512 | 1,000294 | 294,6174 | 1,000295 |
| 83 | GUMUSHANE | 292,4834 | 1,000292 | 292,4590 | 1,000292 | 292,8161 | 1,000293 |
| 84 | GUNEY | 268,1979 | 1,000268 | 268,1701 | 1,000268 | 268,4996 | 1,000268 |
| 85 | HADIM | 309,4659 | 1,000309 | 309,4434 | 1,000309 | 309,8182 | 1,000310 |
| 86 | HAKKARI | 289,3035 | 1,000289 | 289,2819 | 1,000289 | 289,6326 | 1,000290 |

| NO | IST_ADI | N_Smith&Weintraub | n_S&W | N_Moreland | n_Mor | Rüeger | n_Rüe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 87 | HILVAN | 310,8218 | 1,000311 | 310,7924 | 1,000311 | 311,1701 | 1,000311 |
| 88 | HINIS | 310,4097 | 1,000310 | 310,3892 | 1,000310 | 310,7650 | 1,000311 |
| 89 | IGDIR | 312,0955 | 1,000312 | 312,0705 | 1,000312 | 312,4492 | 1,000312 |
| 90 | ILGAZ | 287,7469 | 1,000288 | 287,7204 | 1,000288 | 288,0734 | 1,000288 |
| 91 | ILGIN | 282,8819 | 1,000283 | 282,8555 | 1,000283 | 283,2025 | 1,000283 |
| 92 | INEBOLU | 291,8773 | 1,000292 | 291,8419 | 1,000292 | 292,2049 | 1,000292 |
| 93 | IPSALA | 293,5890 | 1,000294 | 293,5524 | 1,000294 | 293,9175 | 1,000294 |
| 94 | ISKENDERUN | 308,0566 | 1,000308 | 308,0094 | 1,000308 | 308,3921 | 1,000308 |
| 95 | ISLAHIYE | 273,9397 | 1,000274 | 273,9042 | 1,000274 | 274,2435 | 1,000274 |
| 96 | ISPARTA | 283,4086 | 1,000283 | 283,3814 | 1,000283 | 283,7288 | 1,000284 |
| 97 | ISPIR | 284,7825 | 1,000285 | 284,7587 | 1,000285 | 285,1061 | 1,000285 |
| 98 | IZMIR | 290,6866 | 1,000291 | 290,6478 | 1,000291 | 291,0076 | 1,000291 |
| 99 | KAHRAMANMARAS | 268,1085 | 1,000268 | 268,0745 | 1,000268 | 268,4061 | 1,000268 |
| 100 | KALE_DEMRE | 305,2213 | 1,000305 | 305,1777 | 1,000305 | 305,5571 | 1,000306 |
| 101 | KAMAN | 288,4646 | 1,000288 | 288,4405 | 1,000288 | 288,7924 | 1,000289 |
| 102 | KANGAL | 286,4525 | 1,000286 | 286,4315 | 1,000286 | 286,7802 | 1,000287 |
| 103 | KARAISALI | 324,4785 | 1,000324 | 324,4408 | 1,000324 | 324,8382 | 1,000325 |
| 104 | KARAMAN | 314,1908 | 1,000314 | 314,1643 | 1,000314 | 314,5467 | 1,000315 |
| 105 | KARAPINAR | 314,0921 | 1,000314 | 314,0661 | 1,000314 | 314,4484 | 1,000314 |
| 106 | KARATAS | 309,9837 | 1,000310 | 309,9381 | 1,000310 | 310,3234 | 1,000310 |
| 107 | KARS | 297,6142 | 1,000298 | 297,6038 | 1,000298 | 297,9557 | 1,000298 |
| 108 | KAS | 300,6990 | 1,000301 | 300,6618 | 1,000301 | 301,0303 | 1,000301 |
| 109 | KASTAMONU | 280,7191 | 1,000281 | 280,6928 | 1,000281 | 281,0380 | 1,000281 |
| 110 | KAYSERI | 311,2621 | 1,000311 | 311,2362 | 1,000311 | 311,6156 | 1,000312 |
| 111 | KEBAN | 262,6732 | 1,000263 | 262,6464 | 1,000263 | 262,9679 | 1,000263 |
| 112 | KESKIN | 312,7355 | 1,000313 | 312,7095 | 1,000313 | 313,0906 | 1,000313 |
| 113 | KIRECBURNU | 327,5216 | 1,000328 | 327,4847 | 1,000327 | 327,8892 | 1,000328 |
| 114 | KIRIKKALE | 315,4131 | 1,000315 | 315,3844 | 1,000315 | 315,7695 | 1,000316 |
| 115 | KIRKLARELI | 282,0902 | 1,000282 | 282,0576 | 1,000282 | 282,4071 | 1,000282 |
| 116 | KIRSEHIR | 315,0918 | 1,000315 | 315,0650 | 1,000315 | 315,4490 | 1,000315 |
| 117 | KIZILCAHAMAM | 315,0317 | 1,000315 | 315,0059 | 1,000315 | 315,3899 | 1,000315 |
| 118 | KOCAELI | 291,4026 | 1,000291 | 291,3655 | 1,000291 | 291,7279 | 1,000292 |
| 119 | KONYA | 288,5523 | 1,000289 | 288,5268 | 1,000289 | 288,8791 | 1,000289 |
| 120 | KORKUTELI | 267,4539 | 1,000267 | 267,4275 | 1,000267 | 267,7557 | 1,000268 |
| 121 | KOYCEGIZ | 277,5743 | 1,000278 | 277,5350 | 1,000278 | 277,8796 | 1,000278 |
| 122 | KOZAN | 308,3671 | 1,000308 | 308,3278 | 1,000308 | 308,7068 | 1,000309 |
| 123 | KULU | 263,3121 | 1,000263 | 263,2871 | 1,000263 | 263,6109 | 1,000264 |
| 124 | KUSADASI | 325,3188 | 1,000325 | 325,2816 | 1,000325 | 325,6809 | 1,000326 |
| 125 | KUTAHYA | 269,8390 | 1,000270 | 269,8124 | 1,000270 | 270,1448 | 1,000270 |
| 126 | LULEBURGAZ | 278,8813 | 1,000279 | 278,8480 | 1,000279 | 279,1944 | 1,000279 |
| 127 | MALATYA | 286,8211 | 1,000287 | 286,7946 | 1,000287 | 287,1443 | 1,000287 |
| 128 | MALAZGIRT | 281,3323 | 1,000281 | 281,3130 | 1,000281 | 281,6539 | 1,000282 |
| 129 | MALKARA | 291,6839 | 1,000292 | 291,6507 | 1,000292 | 292,0117 | 1,000292 |
| 130 | MANAVGAT | 326,7981 | 1,000327 | 326,7580 | 1,000327 | 327,1594 | 1,000327 |

| NO | IST_ADI | N_Smith&Weintraub | n_S&W | N_Moreland | n_Mor | Rüeger | n_Rüe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 131 | MARDIN | 311,5452 | 1,000312 | 311,5184 | 1,000312 | 311,8952 | 1,000312 |
| 132 | MARMARIS | 331,3781 | 1,000331 | 331,3355 | 1,000331 | 331,7437 | 1,000332 |
| 133 | MERSIN | 320,5727 | 1,000321 | 320,5265 | 1,000321 | 320,9243 | 1,000321 |
| 134 | MERZIFON | 288,1040 | 1,000288 | 288,0747 | 1,000288 | 288,4297 | 1,000288 |
| 135 | MILAS | 289,5409 | 1,000290 | 289,5028 | 1,000290 | 289,8608 | 1,000290 |
| 136 | MUGLA | 321,0025 | 1,000321 | 320,9691 | 1,000321 | 321,3624 | 1,000321 |
| 137 | MURADIYE_VAN | 290,1266 | 1,000290 | 290,1068 | 1,000290 | 290,4577 | 1,000290 |
| 138 | MUS | 312,4672 | 1,000312 | 312,4432 | 1,000312 | 312,8228 | 1,000313 |
| 139 | NAZILLI | 289,5005 | 1,000290 | 289,4645 | 1,000289 | 289,8213 | 1,000290 |
| 140 | NEVSEHIR | 266,8861 | 1,000267 | 266,8620 | 1,000267 | 267,1888 | 1,000267 |
| 141 | NIGDE | 304,1662 | 1,000304 | 304,1416 | 1,000304 | 304,5114 | 1,000305 |
| 142 | ODEMIS | 318,6422 | 1,000319 | 318,6045 | 1,000319 | 318,9968 | 1,000319 |
| 143 | OLTU | 281,4033 | 1,000281 | 281,3795 | 1,000281 | 281,7232 | 1,000282 |
| 144 | ORDU | 296,5170 | 1,000297 | 296,4807 | 1,000296 | 296,8488 | 1,000297 |
| 145 | OZALP | 309,3198 | 1,000309 | 309,3005 | 1,000309 | 309,6742 | 1,000310 |
| 146 | PALU | 259,8053 | 1,000260 | 259,7795 | 1,000260 | 260,0978 | 1,000260 |
| 147 | PINARBASI_KAY | 313,4136 | 1,000313 | 313,3905 | 1,000313 | 313,7715 | 1,000314 |
| 148 | POLATLI | 310,1886 | 1,000310 | 310,1618 | 1,000310 | 310,5400 | 1,000311 |
| 149 | POZANTI | 291,7435 | 1,000292 | 291,7148 | 1,000292 | 292,0720 | 1,000292 |
| 150 | SAKARYA | 294,1983 | 1,000294 | 294,1618 | 1,000294 | 294,5273 | 1,000295 |
| 151 | SALIHLI | 298,9657 | 1,000299 | 298,9300 | 1,000299 | 299,2985 | 1,000299 |
| 152 | SAMSUN | 296,3023 | 1,000296 | 296,2649 | 1,000296 | 296,6334 | 1,000297 |
| 153 | SANLIURFA | 283,3149 | 1,000283 | 283,2819 | 1,000283 | 283,6289 | 1,000284 |
| 154 | SARIKAMIS | 265,7815 | 1,000266 | 265,7628 | 1,000266 | 266,0870 | 1,000266 |
| 155 | SEFERIHISAR | 306,4031 | 1,000306 | 306,3655 | 1,000306 | 306,7436 | 1,000307 |
| 156 | SELCUK | 320,9316 | 1,000321 | 320,8971 | 1,000321 | 321,2899 | 1,000321 |
| 157 | SENIRKENT | 289,3720 | 1,000289 | 289,3468 | 1,000289 | 289,6992 | 1,000290 |
| 158 | SEYDISEHIR | 309,6437 | 1,000310 | 309,6160 | 1,000310 | 309,9941 | 1,000310 |
| 159 | SIIRT | 282,7331 | 1,000283 | 282,7052 | 1,000283 | 283,0497 | 1,000283 |
| 160 | SILE | 299,1521 | 1,000299 | 299,1139 | 1,000299 | 299,4871 | 1,000299 |
| 161 | SILIFKE | 326,4957 | 1,000326 | 326,4551 | 1,000326 | 326,8559 | 1,000327 |
| 162 | SIMAV | 286,3352 | 1,000286 | 286,3065 | 1,000286 | 286,6588 | 1,000287 |
| 163 | SINOP | 296,3934 | 1,000296 | 296,3568 | 1,000296 | 296,7251 | 1,000297 |
| 164 | SIVAS | 312,9876 | 1,000313 | 312,9636 | 1,000313 | 313,3441 | 1,000313 |
| 165 | SIVEREK | 312,9589 | 1,000313 | 312,9280 | 1,000313 | 313,3090 | 1,000313 |
| 166 | SOLHAN | 280,5650 | 1,000281 | 280,5418 | 1,000281 | 280,8838 | 1,000281 |
| 167 | SULTANHISAR | 325,2998 | 1,000325 | 325,2621 | 1,000325 | 325,6614 | 1,000326 |
| 168 | TATVAN | 313,3257 | 1,000313 | 313,3017 | 1,000313 | 313,6828 | 1,000314 |
| 169 | TAVSANLI | 287,8969 | 1,000288 | 287,8688 | 1,000288 | 288,2228 | 1,000288 |
| 170 | TEKIRDAG | 329,0711 | 1,000329 | 329,0327 | 1,000329 | 329,4400 | 1,000329 |
| 171 | TERCAN | 279,8765 | 1,000280 | 279,8537 | 1,000280 | 280,1956 | 1,000280 |
| 172 | TOMARZA | 282,9764 | 1,000283 | 282,9533 | 1,000283 | 283,2991 | 1,000283 |
| 173 | TRABZON | 282,4681 | 1,000282 | 282,4313 | 1,000282 | 282,7833 | 1,000283 |
| 174 | TUNCELI | 308,6967 | 1,000309 | 308,6697 | 1,000309 | 309,0456 | 1,000309 |

| NO | IST_ADI | N_Smith&Weintraub | n_S&W | N_Moreland | n_Mor | Rüeger | n_Rüe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 175 | ULUBORLU | 311,2753 | 1,000311 | 311,2503 | 1,000311 | 311,6282 | 1,000312 |
| 176 | ULUKISLA | 312,0555 | 1,000312 | 312,0310 | 1,000312 | 312,4105 | 1,000312 |
| 177 | USAK | 286,2966 | 1,000286 | 286,2670 | 1,000286 | 286,6195 | 1,000287 |
| 178 | VAN | 309,8149 | 1,000310 | 309,7933 | 1,000310 | 310,1680 | 1,000310 |
| 179 | YALOVA | 287,9360 | 1,000288 | 287,8977 | 1,000288 | 288,2572 | 1,000288 |
| 180 | YATAGAN | 320,2419 | 1,000320 | 320,2085 | 1,000320 | 320,5999 | 1,000321 |
| 181 | YENISEHIR | 300,0516 | 1,000300 | 300,0190 | 1,000300 | 300,3893 | 1,000300 |
| 182 | YENISEHIR_MEY | 319,7614 | 1,000320 | 319,7292 | 1,000320 | 320,1216 | 1,000320 |
| 183 | YOZGAT | 294,4016 | 1,000294 | 294,3769 | 1,000294 | 294,7368 | 1,000295 |
| 184 | YUMURTALIK | 285,8665 | 1,000286 | 285,8215 | 1,000286 | 286,1788 | 1,000286 |
| 185 | YUNAK | 273,3067 | 1,000273 | 273,2819 | 1,000273 | 273,6165 | 1,000274 |
| 186 | ZARA | 291,9050 | 1,000292 | 291,8822 | 1,000292 | 292,2377 | 1,000292 |
| 187 | ZONGULDAK | 320,3238 | 1,000320 | 320,2904 | 1,000320 | 320,6841 | 1,000321 |

# 3. RADYO FREKANS ÖLÇÜMLERİ

## 3.1 RADYO SAKİN BÖLGE KRİTERLERİ

Radyo-sakin bölge, arkaalan radyo frekans ışınım düzeyinin çok düşük olduğu alanlara denir. Radyo frekans tayfının kullanımı her geçen gün artmakta olduğundan, radyo sakinliği hızla azalan bir kaynaktır. Birçok kaynak için radyo frekanslardaki girişimden bağımsız olabilmek çok önemlidir ve gelecekteki radyo teleskopların kurulacağı yerler için de sakin-radyo bölgelerinin korunması özellikle önemlidir. Öncelikle, elektromanyetik sakinlik tüm dünyada tehdit altında olup aşırı bir korumaya ihtiyaç vardır. Mevcut mekanizmalar desteklenmekte fakat tam olarak uygun değildir. Elektromanyetik sessizlik koruma altına alınana kadar, özel rezervlerin kurulması için araştırmalar yapılmaktadır. Radyo astronomi için en önemli olan nokta, lisanslı vericilerin frekans tayfları arasında kalan alanlarıdır; buralarda istenmeyen sinyaller bulunabilir.

## 3.2 RADYO GİRİŞİMİ

Çeşitli türlerdeki radyo frekans girişimlerinin toplam etkileri gözlemsel radyo astronomi üzerinde artan bir negatif etkiye sahiptir. Radyo astronomik gözlemlerde görülen girişim problemleri girişim kaynaklarının uzaklıklarına bağlı olarak sınıflandırılabilir; bunlar *yerel*, *bölgesel* ve *global* girişim kaynaklarıdır.

Yerel problemler yakındaki sanayi alanları, kusurlu radyo ekipmanları ya da cep telefonu istasyonları gibi şeyleri içerir. Bu yerel problemler yerel çözümler gerektirir, örneğin kusurlu vericinin düzeltilmesi ya da yasaları kullanarak radyo astronomik gözlemevi etrafında bir radyo-sakin bölge kurulması gibi.

Bir bölgesel probleme örnek vermek istersek, yerel yayın planına bağlı olarak bir radyo astronomi bandının ya da komşu bandının TV yayını için kullanılmasını gösterebiliriz. Bölgesel problemler ülkelerin mevcut koşullarına ve yasalarına göre farklı çözümler gerektirmektedir.

Global girişim kaynakları Radyo Astronomi için en zararlı problemlerdir. Örnek olarak Yer kaynaklı olmayan uydu ve uydu sistemlerinin neden olduğu girişimler verilebilir. Bu nedenle çözümler, vericilerin uygun filtrelenmesinde ve sahte ve bant dışındaki salmaları azaltmak için kullanılan modülasyon tekniğinin seçiminde aranmalıdır.

Radyo teleskopların, ilgili ekipmanlarının ve elektronik cihazların dizayn edilmesi ve yapılmasında kendi kendilerine ürettikleri girişim riskini minimize etmek için çok dikkat edilmelidir. Bilgisayarlar ve teleskop kontrolü, sinyal işlemeyle ilişkili diğer elektronik cihazlar ve mikrodalga frekanslardaki tüm salmalar potansiyel girişim kaynaklarıdır.

Avrupa gözlemevlerinin çoğu birkaç kilometrelik (1-3 km) çaplarda radyo sakin bölgelere sahiptir. Bu bölgelerin radyo sakinliği yerel yönetimler tarafından korunmaktadır. Ayırma uzaklığı radyo astronomi istasyonunun karakteristiklerine (bir tek çanak anten, bir interferometre ya da bir VLBI ortaklığı gibi), kullanılan frekanslara ve araştırma önceliklerine (tayfsal çizgi ya da süreklilik gözlemleri) bağlıdır.

2003 yılından beri Kuzey Şili'de yapımı devam eden ALMA'ya (Atacama Büyük Milimetre Ağı) Avrupa büyük bir yatırım yapmaktadır. ALMA'nın radyo sakin bölgesinin kurulması için ilk adım 1998 yılında 18 km çaplı bir alanın korumaya alınmasıyla başlamıştır. İkinci adımda 2004 yılında vericilerin ALMA tarafından kullanılan radyo astronomi bantlarını kullanmasına izin verilmeyen 30 km yarıçaplı bir Koruma Bölgesi ve son olarak vericilerin ayarlanması gereken 120 km'lik bir Koordinasyon Bölgesi belirlenmiştir.

## 3.3 RADYO ASTRONOMİK ÖLÇÜMLER İÇİN KORUMA KRİTERLERİ

Radyo astronomik ölçümleri koruma ölçütleri ve girişim limitleri ITU-R (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) tarafından 769 nolu toplantı raporuyla belirlenmiştir. Bu ölçütler şu şekildedir:

Son elli yılda astronomik ilerlemelerin temelinde (radyo galaksilerin keşfi, kuasarların gözlemi, nötr hidrojenin direk ölçümü, çok uzak galaksilerin gözlemleri gibi ) radyo astronominin ve radyo astronomik gözlemlerin rolü vardır ve böylece evreni keşfetme adına büyük adımlar atılmıştır. Radyo astronominin gelişmesinde büyük teknolojik ilerlemelerin, özellikle alıcı ve görüntüleme tekniğinde ve radyo iletişim alanındaki gelişmeler büyük rol oynamıştır. Radyo astronomlar yeryüzünden 2MHz den 1000GHz aralığındaki atmosferik pencerede yararlı gözlemeler yapmıştır. Uzaya çanak konularak yapılacak uzay radyo astronomisinde yer atmosferine ve Yer'de diğer alanlarda kullanılan frekanslara takılmadan 10kHz in üzerinde bir radyo tayfında gözlem yapmak imkânı olacaktır. Girişimden korunmanın yolları radyo astronomiyi geliştirecektir. Radyo astronomik gözlemlerden daha fazla açısal çözünürlük elde etmek için gözlemler yüksek kazançlı antenler ya da ağlar ile yapılır bu yüzden alıcı sisteminin zarar durumu olmadığı sürece çoğunlukla ışın demeti girişiminin göz önünde tutulmasına ihtiyacı yoktur. Astronomik verilerin düşmesine yol açan birçok girişim olayı teleskopun uzak kısımlarından gelen verilerden kaynaklanır. Radyo astronomik alıcı cihazların hassaslığı özellikle milimetre dalga boylarında, iletişim ve radar sistemlerinde daha çok artar. Tipik radyo astronomik gözlemler birkaç dakika ile saatler arasında değişen integrasyon zamanı gerektirir. Fakat özelikle tayfsal çizgi gözlemleri gibi hassas gözlemler daha uzun kayıt zamanı gerektirebilir, neredeyse günler alır.

Bazı uzay araçlarından yayılan radyo sinyalleri radyo astronomik gözlemlerde girişime yol açabilir. Ve bunu önlemek yer seçim sırasında mümkün değildir. Yer kaynaklı bazı radyo sinyalleri de ay gibi uzay cisimlerinden yansıyarak geri döner ve buda gözlemler sırasında problem çıkarabilir. Bazı yüksek uzaysal çözünürlüklü interferometrik gözlem çeşitleri aynı radyo frekansında fakat farklı ülkelere yerleştirilmiş alıcılar ile anlık veri almayı gerektirir. 40 MHz'lik frekans civarındaki yayılma şartları Yer'de işletilen bir verici sistemi radyo astronomi için engel teşkil edecek bir girişime neden olabilir.

Ulusal ve uluslararası ilkelere göre frekanslar konusunda bir anlaşmaya varmak gerekir. WRC'lerin (Dünya Radyokomünikasyon Konferansı) radyo astronomi için iyileştirilmiş tahsisi özellikle 71 GHz'dir, fakat yinede tam bu aralıkta olan radyo servisleri ile dikkatli bir plan yapılmalıdır. Bu teknik ölçütleri Radyo Astronomi Servisi (RAS) düzenlemiştir. Bu düzenleme Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'te verilmiştir.

ITU-R'ın 769 nolu toplantısında alınan kararlara göre;

1. Radyo astronomlar olabildiğince yer seçim konusunda teşvik edilmeli.
2. Yönetim, radyo astronomların kullanacakları frekans ve alanında, kendi ya da komşu ülkelerinde, küresel bir çalışma yapılacağı zaman, bu konuda iş birliği ve ayarlama yapmalıdır.
3. Yönetim, radyo astronomik gözlemeleri korumak için elinden geleni yapmalı ve bunun için istenmeyen ışımaları minimuma indirgemeli. Özelikle yüksek irtifadaki kalkış platform istasyonlarından ve uçaklardan gelecek sinyallere karşı dikkatli olunmalı.
4. Frekans tahsisi için başvuru yazarken yönetimin gözlemevleri için uygun olan aralığa dikkat etmesi gerekir ve RAS tan bu şekilde frekans aralığı istenmelidirler. 40 MHz'in altında olan aralıkta TV yayınında kullanılabileceği için gözlemevlerinin direk olarak kullanabileceği bir aralık olmaz.

## 3.4 RADYO ASTRONOMİ SİSTEMLERİNİN HASSASLIĞI

### 3.4.1 Girişim Seviyelerini Hesaplamada Kullanılan Genel Etkenler ve Varsayımlar

#### 3.4.1.1 Zararlı Girişim Seviyesi Ölçütleri

Radyo astronomide gözlemin hassaslığı, radyometrenin güç seviyesindeki küçük değişimleri $\Delta P$ olarak ifade edilir. Hassaslık denklemi:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \tag{1}$$

$P$ ve $\Delta P$: gürültünün spektral yoğunluk gücü
$\Delta f_0$: bant aralığı
$t$: integrasyon zamanı
(1) denklemdeki $P$ *ve* $\Delta P$ sıcaklık birimi ve sabiti ile yazılabilir.

$$\Delta P = k\,\Delta T \quad \text{ve} \quad P = k\,T \tag{2}$$

Böylece hassaslık denklemini söyle yazabiliriz.

$$\Delta T = \frac{T}{\sqrt{\Delta f_0 t}} \tag{3}$$

$$T = T_A + T_R$$

Bu denklem, radyo teleskopun polarizasyonu için kullanılır. $T$, $T_A$ yani arka plan ışımasından, Yer atmosferinden ve Yer kaynaklı ışımalardan meydana gelen sıcaklık ile $T_R$, yani alıcının kendi iç gürültüsünden meydana gelen sıcaklığın toplamıdır.

Denklem (1) veya (3) radyo astronomik gözlemlerdeki girişim seviyesini bulabilmek için kullanılır. Sonuçlar Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

$$\Delta P_H = 0.1\ \Delta P\ \Delta f \qquad (4)$$

Özet olarak Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'deki değerler şu şekilde hesaplanmıştır.

– $\Delta T$, denklem (3)'ü kullanarak
– $\Delta P$, denklem (2)'yi kullanarak
– $\Delta P_H$, denklem (4)'ü kullanarak

Girişim genellikle pfd hasar terimleri ile verilebilir. Ya da bant aralığı veya spektral pfd $S_H$ bant aralığına düşen 1 Hz'dir. Girişim saçaklarının geliş doğrultusunda anten kazancı için verilen değerler eşyönlü antenler için olana eşittir. (etkin yüzey alanı $c^2/4\pi f^2$, olan) eşyönlü bir radyatörün kazancı 0 dBi'dir.

$S_H \Delta f$ (dB(W/m$^2$))'ın değerleri $\Delta P_H$ hesaplanarak bulunur.

$$20 \log f - 158.5 \text{ dB} \qquad (5)$$

3.4.1.2 İntegrasyon Zamanı

Hesaplanan hassaslıklar ve girişim seviyesi 2000s integrasyon zamanı baz alınarak Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir. İntegrasyon zamanı astronomik gözlemlerde geniş bir değer aralığını kapsar. Tek çanak ile yapılan sürekli ortam gözlemleri 2000s integrasyon zamanı ile verilir. Bununla beraber 2000s spektral çizgi gözlemleri için oldukça azdır. Bu tip gözlemler için integrasyon zamanı olarak 10 saat olmalı. Bu süre olduğunda girişim seviyesi 6 dB civarı olmaktadır ayrıntılar Tablo 3.2'de verilmiştir.

### 3.4.1.3 Anten Tepki Şablonu

Girişim radyo astronomide genelde antenin yan loblarından kaynaklandığı için gelen ana ışın demetinin girişim yaratmada pek bir önemi yoktur. 2 ile 30 GHz frekans aralığındaki geniş parabolik antenlerde yan lob modeli ITU-R SA 509 tavsiye mektubunda verilmiştir. Bu modelde yan lob seviyesi ana demet ekseninin açısal uzaklığı ile azalır ve $1° < \varphi < 48°$ için $32 - 25 \log \varphi$ (dBi)'e eşittir. Yinede Tablo 3.1 ve Tablo 3.3'e referansları alarak anten için kazanç ve tepki parametrelerini hesaplamakta fayda vardır.

Burada verilen modelde kayıp seviyesi ana demetten 19.05 derece olarak verilmiştir. Tabloda verilen anten sıcaklıları radyo astronomide kullanılan pratik sistemlerdendir. Nötr atmosferin iyonosferin etkilerini de içerir ve gözlemelere etki edecek diğer faktörlerden olan kozmik arkaalan ışınımına da değinilerek hesaplanmıştır.

### 3.4.2 Özel Durumlar

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilen seviyeler, yeryüzü kayaklarından karışan sinyallere uygulanabilir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilen ve girişim olarak kabul edilen zararlı pfd ve tayfsal

pfd, 0 dBi bir yan lobu boyunca alınır ve girişimin yakın yan lobu etkilemediği zamanlarda, yüksek duyarlıklı radyo astronomi gözlemleri için genel bir girişim ölçütü olarak kabul edilebilir.

#### 3.4.2.1 GSO Uydularından Alınan Girişim

GSO (Geostationary Orbit – Yeresabitlenmiş Yörünge) uydularından alınan girişim, kısmen önemli olan bir durumdur. Çünkü Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de hesaplanmış olan güç seviyeleri bir 0 dBi anten kazancından elde edilmiştir. Radyo astronomide zararlı olduğu kabul edilen bu girişimler, referans anteninin, uydunun 19.05 derecelik ısınım alanına girdiğinde etkili olur. GSO civarındaki yerleşmiş bazı vericilerin bir kısmı, radyo astronomi gözlemlerini, yörüngelerinden 38.1 derecelik bir gökyüzü alanında imkansızlaştırmaktadır. Gökyüzünde kullanılacak alandaki böyle büyük bir kayıp radyo astronomi gözlemlerine kısıtlamalar getirmektedir.

Genellikle, uydu doğrultusunda yapılan bir radyo gözlemi için, uydudan gelen girişimin engellenmesi pratik bir çözüm değildir. Bu yüzden yararlı bir çözüm, bir dizi radyo astronomi gözlemleriyle GSO'nun konumunun küresel koordinatlar cinsinden tespit edilmesidir. Eğer, herhangi bir zararlı girişimle karşılaşmaksızın, radyo teleskopumuzu, GSO'nun 5 derecelik alanı içerisine yönlendirmemiz mümkün ise, 10 derece genişliğinde bir gökyüzü alanı için, böyle bir teleskopla duyarlı bir ölçüm almamız mümkün değildir. Bu yüzden bu durum bir gözlemevi için önemli bir kayıptır. Bununla birlikte, kuzey ve güney enlemlerde yerleşmiş, aynı frekanslarda çalışan radyo teleskopların bir birleşimi için tüm gökyüzü kullanılabilir. Bu yüzden 5 derecelik bir değer, radyo teleskop ana anteni ve GSO arasında minimum açısal aralık olarak kabul edilebilir. ITU-R SA.509'un tavsiye raporundaki model anten karşılığında, ana ışın demetinden 5 derecelik bir açı altında yan lob seviyesi 15 dBi'dir.

#### 3.4.2.2 GSO Dışındaki Uydulardan Alınan Girişim

Bu durumda yani özellikle yere yakın uydular söz konusu olunca bazı takımyıldızları kapattıkları görülür. Bu durumdaki girişimi belirlemek için yan loblardan gelen sinyalleri yine dikkate almalıyız ITU-R SA.509'un tavsiye raporundaki modelde bunun ayrıntıları verilmiştir. Ayrıca ITU-R SA.1428'deki tavsiye raporundaki modele de başvurulmalıdır. Bu rapordaki adımlar çanak çapı 100 metreden büyük olan antenler için verilmiştir. Radyo navigasyon uyduları hakkındaki referans bilgileri de ITU-R M. 1583 tavsiye raporunda yer almaktadır.

**Tablo 3.1:** Radyo astronomi sürekli bölge gözlemlerine zarar veren girişimin eşik değerleri

| Merkez frekans[1] $f_c$ (MHz) | Varsayılan bant aralığı $\Delta f$ (MHz) | Minimum anten gürültü sıcaklığı $T_A$ (K) | Alıcı gürültü sıcaklığı $T_R$ (K) | Sistem hassasiyeti[2] (gürültü değişimi) | | Eşik girişim seviyeleri[2] [3] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Sıcaklık $\Delta T$ (mK) | Tayfsal güç yoğunluğu $\Delta P$ (dB(W/Hz)) | Girdi gücü $\Delta P_H$ (dBW) | pfd $S_H \Delta f$ (dB(W/m²)) | tayfsal pfd $S_H$ (dB(W/(m² · Hz))) |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| 13.385 | 0.05 | 50 000 | 60 | 5 000 | −222 | −185 | −201 | −248 |
| 25.610 | 0.12 | 15 000 | 60 | 972 | −229 | −188 | −199 | −249 |
| 73.8 | 1.6 | 750 | 60 | 14.3 | −247 | −195 | −196 | −258 |
| 151.525 | 2.95 | 150 | 60 | 2.73 | −254 | −199 | −194 | −259 |
| 325.3 | 6.6 | 40 | 60 | 0.87 | −259 | −201 | −189 | −258 |
| 408.05 | 3.9 | 25 | 60 | 0.96 | −259 | −203 | −189 | −255 |
| 611 | 6.0 | 20 | 60 | 0.73 | −260 | −202 | −185 | −253 |
| 1 413.5 | 27 | 12 | 10 | 0.095 | −269 | −205 | −180 | −255 |
| 1 665 | 10 | 12 | 10 | 0.16 | −267 | −207 | −181 | −251 |
| 2 695 | 10 | 12 | 10 | 0.16 | −267 | −207 | −177 | −247 |
| 4 995 | 10 | 12 | 10 | 0.16 | −267 | −207 | −171 | −241 |
| 10 650 | 100 | 12 | 10 | 0.049 | −272 | −202 | −160 | −240 |
| 15 375 | 50 | 15 | 15 | 0.095 | −269 | −202 | −156 | −233 |
| 22 355 | 290 | 35 | 30 | 0.085 | −269 | −195 | −146 | −231 |
| 23 800 | 400 | 15 | 30 | 0.050 | −271 | −195 | −147 | −233 |
| 31 550 | 500 | 18 | 65 | 0.083 | −269 | −192 | −141 | −228 |
| 43 000 | 1 000 | 25 | 65 | 0.064 | −271 | −191 | −137 | −227 |
| 89 000 | 8 000 | 12 | 30 | 0.011 | −278 | −189 | −129 | −228 |
| 150 000 | 8 000 | 14 | 30 | 0.011 | −278 | −189 | −124 | −223 |
| 224 000 | 8 000 | 20 | 43 | 0.016 | −277 | −188 | −119 | −218 |
| 270 000 | 8 000 | 25 | 50 | 0.019 | −276 | −187 | −117 | −216 |

**Tablo 3.2:** Radyo astronomi tayfsal çizgi gözlemlerine zarar veren girişimin eşik değerleri

| Merkez frekans [1] $f_c$ (MHz) | Varsayılan bant aralığı $\Delta f$ (MHz) | Minimum anten gürültü sıcaklığı $T_A$ (K) | Alıcı gürültü sıcaklığı $T_R$ (K) | System hassaslığı [2] (gürültü değişimi) | | Eşik girişim seviyeleri [2] [3] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Sıcaklık $\Delta T$ (mK) | Tayfsal güç yoğunluğu $\Delta P$ (dB(W/Hz)) | Girdi gücü $\Delta P_H$ (dBW) | pfd $S_H \Delta f$ (dB(W/m$^2$)) | Tayfsal pfd $S_H$ (dB(W/(m$^2$ · Hz))) |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| 327 | 10 | 40 | 60 | 22.3 | –245 | –215 | –204 | –244 |
| 1 420 | 20 | 12 | 10 | 3.48 | –253 | –220 | –196 | –239 |
| 1 612 | 20 | 12 | 10 | 3.48 | –253 | –220 | –194 | –238 |
| 1 665 | 20 | 12 | 10 | 3.48 | –253 | –220 | –194 | –237 |
| 4 830 | 50 | 12 | 10 | 2.20 | –255 | –218 | –183 | –230 |
| 14 488 | 150 | 15 | 15 | 1.73 | –256 | –214 | –169 | –221 |
| 22 200 | 250 | 35 | 30 | 2.91 | –254 | –210 | –162 | –216 |
| 23 700 | 250 | 35 | 30 | 2.91 | –254 | –210 | –161 | –215 |
| 43 000 | 500 | 25 | 65 | 2.84 | –254 | –207 | –153 | –210 |
| 48 000 | 500 | 30 | 65 | 3.00 | –254 | –207 | –152 | –209 |
| 88 600 | 1 000 | 12 | 30 | 0.94 | –259 | –209 | –148 | –208 |
| 150 000 | 1 000 | 14 | 30 | 0.98 | –259 | –209 | –144 | –204 |
| 220 000 | 1 000 | 20 | 43 | 1.41 | –257 | –207 | –139 | –199 |
| 265 000 | 1 000 | 25 | 50 | 1.68 | –256 | –206 | –137 | –197 |

**Tablo 3.3:** VLBI gözlemleri için eşik girişim değerleri

| merkez frekans (MHz) | Eşik değer ($dB(W/m^2 \cdot Hz)$) |
|---|---|
| 325.3 | –217 |
| 611 | –212 |
| 1413.5 | –211 |
| 2695 | –205 |
| 4995 | –200 |
| 10650 | –193 |
| 15375 | –189 |
| 23800 | –183 |
| 43000 | –175 |
| 86000 | –172 |

## 3.5 TAYF ÖLÇÜMLERİ

Radyo gözlemevleri için meteorolojik ve atmosferik koşulların sağlanmasının yanı sıra en önemli gereklilik Radyo Sakin Bölgelerin tespit edilebilmesidir. Bu amaçla elektromanyetik tayf ölçümleri yapılmaktadır. Belirlenen frekans aralıklarında önce genel taramalar, bu tarama esnasında görülen pikler içinde bant aralığını azaltarak ayrıntılı taramalara yapılmaktadır. Bir sonraki aşamada gözlenen frekans piklerinin kaynakları tespit edilerek (TV, GSM gibi), yayının periyodu tespit edilmeli ve elimine edilip edilemeyecek bir yayın olduğu belirlenmelidir.

### 3.5.1 Tayf Analizi

Değişken elektriksel işaretler, zamanın ve frekansın bir fonksiyonudur. Bu nedenle, elektriksel işaretlerin zaman ve frekans düzlemindeki analizleri yapılmalıdır. Frekans düzleminde yapılan analize *Tayf Analizi* denir. Tayf analizinde herhangi bir işareti oluşturan değişik frekanslara ait işaretlerin enerji seviyeleri belirtilir. Bu analiz ile elektrik ve mekanik sistemlerin testine yarayan, elektriksel ve fiziksel bilgiler elde edilir.

Tayf analizöründe harmoniklerin genlik ve enerjileri hakkında bilgi edinilir ve CRT (osiloskopun katot ışınlı tüpü) ekranında bir grafik görüntü elde edilebilir. Tayf analizörü sınırları, filtre sayısına ve filtrelerin bant genişliklerine bağlıdır. Ses frekans uygulamalarında kullanılan bir analizörde yaklaşık 32 filtre bulunur. Tayf analizöründe, temel ve 2. harmoniklerin genlikleri elde edilir.

### 3.5.2 Ölçüm Yöntemi ve Kullanılan Düzenekler

Tayf ölçümlerinde kullanılmak üzere Telekomünikasyon Kurumu yapılan işbirliği sonucunda MOBBC sisteminin kullanılmasına karar verilmiştir. MOBBC sisteminin gerekli ölçümleri gerçekleştirebilmesi için istenilen frekanslardaki sinyallerin sistem tarafından alınmasını sağlar. Bu sinyaller anten alt sisteminde yer alan anten elemanları sayesinde alınmakta ve ölçüm/analiz alt sistemine iletilmektedir. Doğru ölçümleri alabilmek için havadaki sinyalleri maksimum seviyede toplayacak yeterli ve teknik özelliğe sahip olan antenler seçilmelidir. Bu nedenle her frekans aralığı için, o frekans aralığında ölçüm yapmaya uygun antenler belirlenmiştir. Anten türleri ve ölçüm yapabilecekleri frekans aralıkları Tablo 3.4'de verilmiştir. Bant aralıkları ve

ölçüm süresi, ölçüm yapılacak olan frekans aralıklarının karakteristiklerine göre belirlenmelidir. Fakat ölçümlerde izlenen genel prensip; geniş bant aralıklarıyla ölçümlere başlanması, kademe kademe bant aralığının daraltılmasıyla hareketliliğin görüldüğü frekanslarda ayrıntıya inilmesi şeklinde belirlenmiştir. Hem ölçümlerden daha iyi sonuç alınması için hem de ITU-R RA.769-2 *Radyo Astronomik Ölçümler İçin Koruma Ölçütleri*'nde belirtilmiş olan radyo gözlemevi radyo astronomik ölçüm ölçütleri nedeniyle antenlerin yerden 10-15 m dolayında yükseltilmesi gerekmektedir. MOBBC sitemine entegre olan hidrolik must (yükseltme düzeneği) kullanılarak alınan tayf ölçümlerinde bu ölçüt sağlanmıştır.

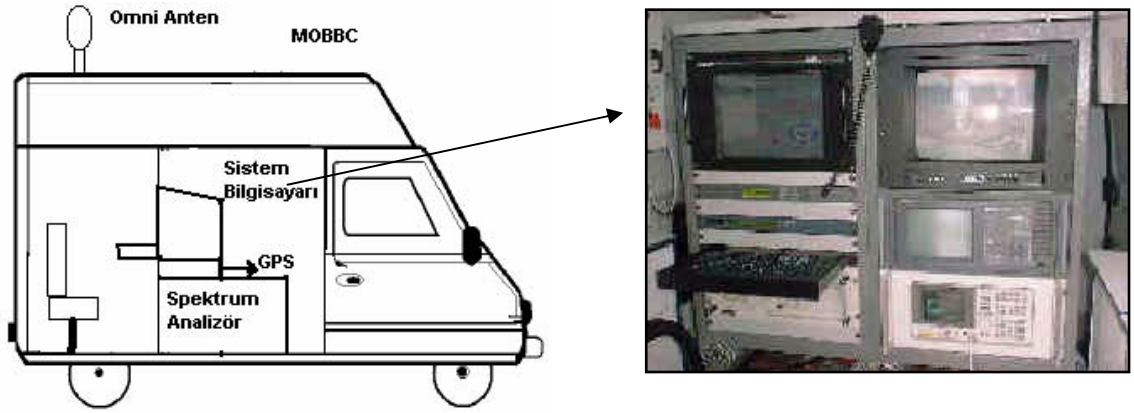
**Tablo 3.4:** Ölçümlerde kullanılan anten türleri ve frekans aralıkları

| Frekans Aralığı | Anten Türü |
|---|---|
| 20 MHz < v < 80 MHz | Dipol Anten |
| 80 MHz < v < 1,2 GHz | OMNİ – Yönlü Anten |
| 850 MHz < v < 26,5 GHz | Log – Periyodik Anten + Parabolik Anten |
| v > 26,5 GHz | Horn Anten (polarize) |

### 3.5.3 MOBBC Sistemi

Elektromanyetik alan şiddet dağılımının frekansa bağlı olarak incelenmesi için, sabit ölçümlerde MOBBC (Mobil Broadcast) sistemi kullanılmaktadır. MOBBC sistemi, havadaki yayını alma ve inceleme, kanal parametrelerini (taşıyıcı frekansı, alan şiddeti, işgal edilen band genişliği, modülasyon) ve video parametrelerini ölçme işlemlerini, meskün yerlerde veya şehir dışında gerçekleştirebilecek bir yapı sahiptir.

MOBBC sistemi bazı alt sistemlerden oluşur. Bunlar, ölçüm ve analiz alt sistemi (kontrol bilgisayarı, yazıcı, *Tayf Analizörü*, video analizörü, TV demodülatörü, renkli video monitörü), *Anten* alt sistemi ve *GPS* alt sistemidir.




**Şekil 3.1:** MOBBC aracı ve iç donanımı

MOBBC sisteminin gerekli ölçümleri gerçekleştirebilmesi için istenilen frekanslardaki sinyallerin sistem tarafından alınmasını sağlar. Bu sinyaller anten alt sisteminde yer alan anten

elemanları sayesinde alınmakta ve ölçüm/analiz alt sistemine iletilmektedir. Doğru ölçümleri alabilmek için havadaki sinyalleri maksimum seviyede toplayacak yeterli ve teknik özelliğe sahip olan antenler seçilmelidir.

Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System, GPS) cihazı, Uydudan aldığı sinyallerle bulunan noktanın koordinatlarını bir zaman senkronizasyonu algoritması kullanarak belirleme işlemini gerçekleştirir. MOBBC sisteminde bulunan GPS, MOBBC sistemi aracında sabitlenmiş yapıda bulunmaktadır. GPS'in sistemdeki görevi; MOBBC istasyonunun konumunu enlem, boylam ve yükseklik olarak belirlemektir.

### 3.5.4 Ölçüm Aletleri

Elektromanyetik tayf ölçümlerinde kullanılan ölçüm aletleri;

- ✓ Rohde&Schwarz, FSP40 Tayf Analizör ( 9 kHz – 40 GHz )
- ✓ OMNI – Yönlü Anten
- ✓ Rohde&Schwarz, HL050 Log – Periyodik Anten
- ✓ Linetech Inverter (Aracın aküsüne bağlanan bu cihaz aküden aldığı 12 Volt'u 220 Volt'a çıkartmak için kullanılır ve 1000 Watt gücündedir.)
- ✓ Kablo (Saf altın olup kullanılan antenler için özel üretilmiş bir kablodur, anten ve tayf analizör arasındaki ilişkiyi sağlar)
- ✓ Mast Düzeneği ve Polarizasyon Aparatı (TK'nın aracında olan hidrolik düzenek, anteni 15 m'ye kadar yükseltmek amacıyla kullanılmaktadır. Polarizasyon düzeneği ise antenin yatay ve düşey polarizayonlarının ayarlanması için yönlendirme amaçlı kullanılır.)

#### 3.5.4.1 Tayf Analizör

Ölçümlerde kullanılan R&S FSP40 tayf analizörünün özelliğinden dolayı ölçüm çıktılarımız bir veri seti şeklinde değil, grafik şeklinde alınmıştır. Bu nedenle analizler grafik üzerinden yapılacaktır. FSP40 tayf analizörü 9 kHz ile 40 GHz arasında çalışmaktadır. Bu tayf analizörün tercih edilmesinin sebebi, kurulması planlanan radyo teleskopun çalışma aralığının bu frekans aralığına uygun olmasıdır.



**Şekil 3.2:** FSP40 tayf analizörü

### 3.5.4.2 Ölçüm antenleri

Antenlerde Bulunan Genel Özellikler;

Yön: İstenen en önemli özelliklerden biri olup, yayının olduğu doğrultu ile ilgilidir. Özellikle yüksek frekansta ve yönlendirilmiş vericilerde, alıcı anteni verici antenine doğru yönlenmiş olmalıdır.

Güç: Antene gelen sinyallerin kayba uğratılmadan alıcıya tam güçle nakledilmesi, antenin direnci, antenle alıcıyı birbirine bağlayan iletken (transmisyon) hattın direnci ve alıcının giriş direncinin birbirine eşit olması ile mümkündür. Eğer bu üç elemandan (yani anten direnci, iletkenin direnci, alıcının giriş direnci) biri diğerine uymuyorsa, araya empedans (elemanın alternatif akıma karşı gösterdiği direnç) ayarlayıcı transformatörler koymak gerekir.

Polarizasyon: Yayınlanan dalganın polarizasyonu, elektrik alanın hareket yönü olarak tarif edilir. Elektrik alan toprak yüzeyine dik olarak hareket ediyorsa *"dikey polarizasyonlu anten"*, elektrik alan toprak yüzeyine yatay olarak hareket ediyorsa buna da *"yatay polarizasyonlu anten"* denir.

Verici anteni yatay polarizasyonlu ise alıcı antenin de yatay kurulması gerekir. Aksi takdirde verimli bir alış yapılamaz. Düşük ve orta frekanslarda dikey polarizasyonlu antenler kullanılır. Çünkü yerden yansıyan dalgalar da bu durumda iş görmektedir. Yüksek frekansta ise yatay polarizasyon tercih edilir. Sebebi ise, tabii ve kaynağı insan olan gürültü ve parazitlerden daha az etkilenmesidir. VHF (çok yüksek frekans, 30-300 MHz) ve UHF'de (ultra yüksek frekans, 300-3000 MHz) yatay veya dikey polarizasyon yeterli gelmektedir. Dikey polarizasyonlu bu antenlerde, diğer istasyonların karışmaları daha az olur. 100 MHz'in altındaki frekanslarda dikey polarizasyonlu antenler daha faydalı olmaktadır. Engebeli arazide daha çok dikey polarizasyon etkilidir. Yatay polarizasyonda antenin yerden yüksekliği çok önemli değildir. Özellikle frekans modülasyonlu ve puls (darbe) modülasyonlu sinyallerin yayılmasında yatay polarizasyon çok kullanılır.

HL050 R&S Lineer polarizasyonlu Log – Periyodik Yönlü Anten :

Log-periyodik antenlerin frekanstan bağımsız çalışması, doğrudan doğruya yüksek akımların bulunduğu ve aktif bölge olarak adlandırılan alanın geometrilerin üzerindeki yerleşimiyle bağlantılıdır. Genel olarak, dalga boyunun dörtte biri büyüklüğündeki elemanların üzerinde oluşan bu bölge, frekansın değişimiyle anten üzerinde hareket eder. Aktif bölgenin anten üzerinde gerekli elemanları bulabildiği ve yerleşebildiği durumlarda log-periyodik antenin işlevsel olduğu söylenebilirken, diğer durumlarda bu söylenemez. Ölçümlerde kullanılan R&S HL-50 anteninin çalışma frekansı 850 MHz ile 26.5 GHz arasındadır. Anten kazancı 8.5 dBi'dir. -30 ile +55 Co arasındaki sıcaklıklarda ve maksimum 180 k/sa'lik rüzgar hızında kullanılması uygundur. Polarizasyonu lineerdir.

OMNİ – Directional Anten :

Omni anten ortamdaki $360^{o}$ lik yarı küreden gelen tüm elektromanyetik dağımı bir seferde ölçer, yönlendirme gerekmez. Oldukça geniş bir frekans aralığında ölçüm yapabilme yeteneğine sahiptir. Geniş frekans aralıklarında yapılan genel tayf taramalarında bu antenden yararlanılmıştır. Çalışma aralığı 80 MHz - 1.2 GHz'dir.



**Şekil 3.3:** HL-50 log-periyodik anteninin görüntüsü ve dış koruması

# 4. ÖLÇÜMLERİN YORUMU

Türkiye'de kurulması planlanan Radyo Astronomi Gözlemevi yer seçim çalışmaları kapsamında hazırlanan bu çalışmasında, Dünya literatürü incelenerek radyo gözlemevleri için yer seçim ölçütleri ve yöntemleri belirlenmiş ve uygulanmıştır. Analizler meteorolojik-atmosferik ve radyo sakin bölge başlıkları altında iki bölümde yapılmıştır. İlk adımda Radyo Gözlemevleri için gerekli meteorolojik ve atmosferik parametrelerin belirlenmesi ve hesaplanması, hesaplamalarda kullanılan denklemlerin tarihsel gelişimi, analizler için gerekli veri tabanlarının oluşturulması, kullanılan analiz yöntemleri ve araçlar hakkında bilgi verilmesi, meteorolojik ve atmosferik parametrelerin alansal ve zamansal olarak incelenmesi ve ortak bir seçim ortamı hazırlanması adımları izlenmiştir. İkinci adımda ise, Radyo Astronomi Gözlemevleri için söz konusu olan radyo frekans etkilerinin incelenmesi, uygun ölçütlerin belirlenmesi, tayf ölçüm yöntemlerinin belirlenmesi, kullanılan ölçüm aletlerinin incelenmesi, seçilen ölçüm noktalarının depremsellik ve topoğrafik açıdan etüd edilmesi ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi adımları izlenmiştir.

Antalya, Burdur ve Karaman illerinde belirlenen yedi noktada gerçekleştirilen elektromanyetik tayf ölçümlerinde elde edilen sonuçlarla beraber atmosferik ve meteorolojik parametrelerin analiz edilmesi ve kıyaslanması amacıyla Tablo 4.1 oluşturulmuştur. Ölçüm için seçilen yerlerle, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün ölçüm istasyonlarının konumları (koordinatları) tam olarak çakışmadığı için, aşağıdaki parametreler için yazılan değerler oluşturulan ara değer kestirimi haritalarından alınmıştır. Böylelikle meteoroloji istasyonlarının dışında kalan alanlar da doğru bir şekilde temsil edilebilmiştir.

Şekil 4.1 ile Şekil 4.12 arasındaki grafiklerde meteorolojik verilerin dağılımları, Şekil 4.11 ile Şekil 4.13 arasındaki grafiklerde de atmosferik verilerin dağılımları gösterilmektedir. Şekil 4.14 ile Şekil 4.17 arasındaki grafiklerde ise Antalya (Elmalı, Korkuteli), Burdur ve Korkuteli istasyonlarının 12 aya ait maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri gösterilmektedir. Bu grafiklerin verilmesindeki amaç ölçüm yerlerinin yıllık ortalama eğilimleri hakkında bilgi sahibi olabilmektir.

**Tablo 4.1:** Ölçüm yerlerine ait meteorolojik ve atmosferik veriler

| ÖLÇÜM_YERLERİ | Antalya-Elmalı Korkuteli | Antalya-Akçay Ahatlı Köyü | Antalya Bozova | Burdur Yeşilova | Karaman Merkez | Karaman Yazılı | Karaman Akçaşehir Çakırdağ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Meteorolojik Veriler | | | | | | | |
| Maksimum_sıcaklık (C) | 19,7 | 21,8 | 19,6 | 19,4 | 18,6 | 18,9 | 19,1 |
| Minimum_sıcaklık (C) | 6,8 | 9,9 | 7,2 | 6,8 | 5,2 | 5,8 | 5,9 |
| Ort_sıcaklık (C) | 12,9 | 15,7 | 13,2 | 13,0 | 11,8 | 12,3 | 12,5 |
| Bulutluluk-7 (x/10) | 2,89 | 2,86 | 3,10 | 3,28 | 3,64 | 3,60 | 3,64 |
| Bulutluluk-14 (x/10) | 4,15 | 3,88 | 4,22 | 4,42 | 4,28 | 4,21 | 4,18 |
| Bulutluluk-21 (x/10) | 2,85 | 2,42 | 2,97 | 2,96 | 3,01 | 3,01 | 3,07 |
| Buharlaşma (mm) | 1184,2 | 1372,2 | 1202,1 | 1176,4 | 1157,4 | 1130,8 | 1155,8 |
| Yağışlılık (mm) | 68 | 65 | 68 | 60 | 43 | 46 | 46 |
| Bağıl nem (%) | 58,8 | 60,3 | 59,7 | 60,3 | 60,8 | 61,0 | 61,8 |
| Rüzgar hızı (km/sa) | 17,4 | 24,1 | 20,6 | 23,9 | 27,8 | 27,8 | 27,8 |
| Güneşlenme süresi (sa) | 7,96 | 8,04 | 7,78 | 7,45 | 8,09 | 7,97 | 7,63 |
| Güneşlenme şiddeti (cal/cm2) | 11351,50 | 11073,89 | 11422,70 | 11746,01 | 12415,00 | 12316,71 | 12261,44 |
| Kar kalınlığı (cm) | 26 | 21 | 27 | 26 | 25 | 26 | 24 |
| Sisli gün sayısı (gün) | 10,2 | 12,8 | 11,8 | 14,9 | 24,9 | 23,8 | 23,2 |
| Orajlı gün sayısı (gün) | 28,4 | 27,0 | 27,0 | 24,3 | 14,1 | 16,0 | 17,3 |
| Dolulu gün sayısı (gün) | 2,3 | 1,8 | 2,0 | 1,9 | 1,5 | 1,6 | 1,7 |
| Fırtınalı gün sayısı (gün) | 1,8 | 7,6 | 5,2 | 6,5 | 4,6 | 5,7 | 7,9 |
| Atmosferik Veriler | | | | | | | |
| Atmosfer basıncı (hPa) | 908,170 | 945,530 | 911,590 | 913,310 | 899,900 | 904,100 | 908,640 |
| Kısmi buhar basıncı (hPa) | 8,9300 | 10,9300 | 9,2500 | 9,6300 | 8,4200 | 8,7200 | 8,9400 |
| Doymuş su buharı basıncı (hPa) | 15,1100 | 18,2600 | 15,3400 | 15,8500 | 13,8400 | 14,2900 | 14,3200 |
| Radyo kırınırlık (ppm) | 277,816 | 307,219 | 287,825 | 299,209 | 314,525 | 314,175 | 311,971 |

Grafikler incelendiğinde:

1. Şekil 4.1'deki Sıcaklık değerleri göz önüne alındığında genel olarak sıcaklık dağılımı en yüksek olan yerin Antalya-Akçay Ahatlı Köyü olduğu, en düşük sıcaklık eğiliminin ise Karaman-Merkez'de gözlendiği grafiklerden görülmektedir. Sıcaklık değerlerinde hem çok yüksek hem de çok alçak değerler Radyo Astronomi Gözlemevleri için çok elverişli olmamaktadır. Bunun nedeni sıcaklığın tek başına değerlendirilmekten ziyade, diğer meteorolojik ve atmosferik parametrelerle ilişkilerinin değerlendirilmesidir. Diğer ölçüm yerlerinde ise bir birine yakın ortalama sıcaklık eğilimleri gözlenmektedir. Doğal olarak Karaman'daki ölçüm yerleri karasal iklimin etkisiyle daha düşük sıcaklık eğilimleri göstermektedir. Sıcaklıkla ilişkili bir diğer önemli kavram ise yükseklikliktir. Akdeniz bölgesinde olmalarına karşın Elmalı, Korkuteli ve Yeşilova'da daha ortalama sıcaklık değerlerinin izlenmesinin nedeni sahip oldukları yüksek rakımlardır. Aylara ait daha ayrıntılı sıcaklık dağılımları için Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'daki eğilimler incelenebilir.

2. Şekil 4.2'deki bulutluluk değerleri incelendiğinde, genel olarak sabah ve akşam bulutluklarının tüm ölçüm istasyonları için benzer ve öğlen bulutluluğuna göre daha düşük bir eğilim izlediği gözlenmektedir. Tüm saatlerde bulutluluğun en az gözlendiği istasyon Antalya-Akçay Ahatlı Köyü iken, Karaman-Akçaşehir Çakırdağ mevkii genel olarak en yüksek bulutluluk değerine sahip istasyondur. Burdur-Yeşilova ölçüm merkezinin sabah ve akşam bulutluluk değerleri ortalama değerlerde kalmasına rağmen, öğlen bulutluluğunun en yüksek görüldüğü yer de yine bu

istasyondur. Radyo Astronomi Gözlemevleri için havanın çoğunlukla açık olduğu ve bulutluluk değerlerinin hemen her saatte düşük olduğu yerler ideal yerlerdir. Bunun nedeni radyo astronominin optik astronomiden farklı olarak günün her saati gözlem yapabilme olanağını sağlamasıdır.

3. Şekil 4.3'deki yıllık toplam buharlaşma değerleri incelendiğinde Antalya-Akçay Ahatlı Köyünde buharlaşmanın en yüksek değerlere ulaştığı, diğer ölçüm merkezleri için buharlaşma değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber buharlaşma miktarının en düşük değerlere ulaştığı merkezin Karaman-Yazılı mevkii olduğu görülmektedir.

4. Şekil 4.4'de verilen maksimum yağış değerleri incelendiğinde, ölçüm istasyonları içinde en çok yağış alan bölgenin Antalya-Bozova, Elmalı ve Korkuteli üçgeni olduğu, Karaman'daki istasyonların ise karasal iklimin karakteristiği nedeniyle daha kurak olduğu yani daha az yağış olduğu gözlenmektedir.

5. Şekil 4.5'deki bağıl nem değerleri incelendiğinde tüm ölçüm noktalarının ortalama olarak aynı değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle mevcut noktalar için bağıl nemi ayırıcı bir ölçüt olarak görmemize gerek kalmamıştır. Antalya, Burdur ve Karaman illerine ait yılın 12 ayındaki bağıl nem dağılımın gösteren eğilim Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Not edilmelidir ki bağıl nem kısmi buhar basıncıyla birebir ilişkili bir parametredir.

6. Şekil 4.6'daki maksimum rüzgar hızı dağılımların bakıldığında Karaman bölgesindeki ölçüm istasyonları için yüksek rüzgar hızlarının söz konusu olduğu, buna karşılık Antalya-Elmalı Korkuteli mevkiinde rüzgar hızında kayda değer bir azalma olduğu görülmektedir. Rüzgar hızı ve yönü havanın temizlenmesi açısından olumlu olabileceği gibi özellikle ölçüm aletlerinin (teleskop, alıcı vb.) hassasiyeti açısından rüzgar hızı düşük olması istenen bir parametredir.

7. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'deki güneşlenme süresi ve şiddeti dağılımların bakıldığında, güneşlenme süresi en yüksek olan ölçüm noktasının Karaman-Merkez istasyonu olduğunu ve onu takiben Antalya-Akçay Ahatlı Köyünün geldiğini gözlemliyoruz. Genel olarak güneşlenme süresi değerleri 3.5-8.0 saat arasında birbirine yakın değerlerde değişmektedir. Güneşlenmenin en az olduğu bölge ise Burdur-Yeşilova istasyonudur. Güneşlenme şiddeti ise, Karaman ölçüm alanlarında en yüksek değerlerine ulaşırken sırasıyla Burdur ve Antalya istasyonların azalma göstermektedir. Gözlemevleri için ideal yer seçiminde her iki parametrenin de olabildiğinde yüksek olmasını istenir. Bunun nedeni tabi ki astronominin tek ölçüm kaynağının ışık yani radyasyon olmasıdır. Radyo astronominin önemli bir araştırma konusu olan Güneş'in radyo tayfı çalışmaları içinde hem güneşlenme süresinin hem de şiddetinin maksimum olması istenen bir durumdur.

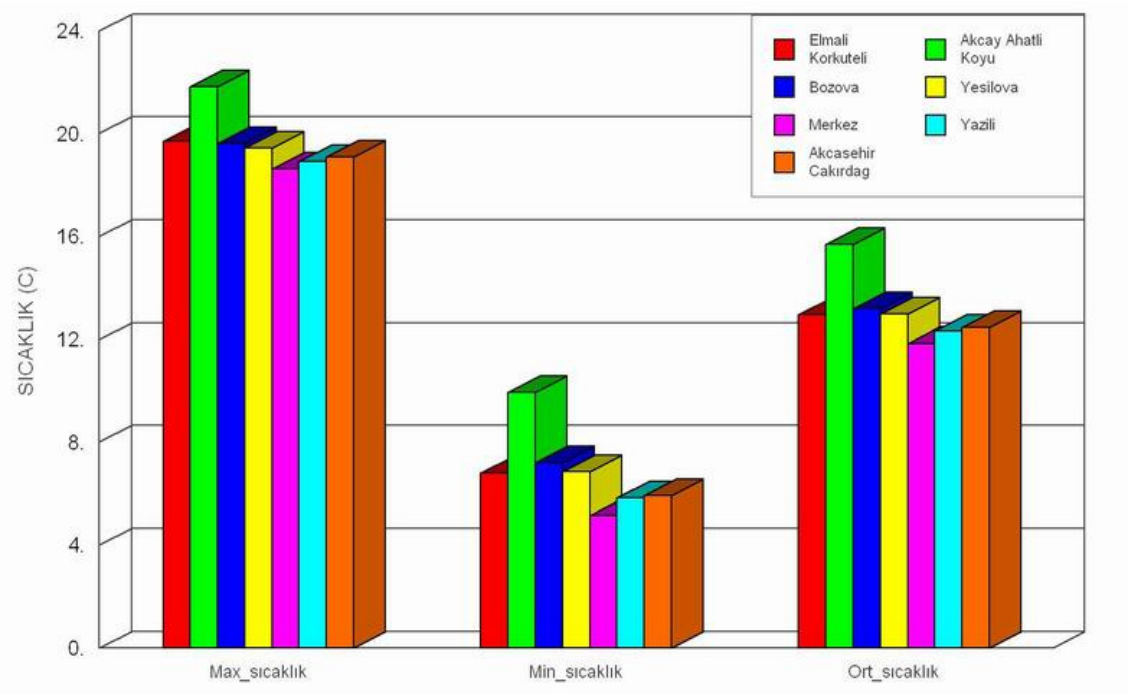
8. Şekil 4.9'da verilen yıllık toplam kar kalınlığı değerlerine bakıldığında, ölçüm merkezleri içinde en çok kar yağışı alan yerlerin Antalya-Bozova ve Korkuteli Elmalı olduğu ve yine Antalya-Akçay Ahatlı Köyü mevkiinin ölçüm istasyonları içinde kar yağışından en az etkilenen yer olduğu görülmektedir.

9. Şekil 4.10'da verilen sisli, dolulu, orajlı ve fırtınalı günler sayısı verilerine bakıldığında, Karaman istasyonların sis olayının yoğunlukla görüldüğü, Antalya ve Burdur'da işe orajlı gün sayısının fazla olduğu gözlenmektedir. Dolulu günler sayısı tüm istasyonlar için hemen hemen aynı olup yılda ortalama dört günü geçmemektedir. Fırtınalı gün sayısı için maksimum rüzgar hızı değerleriyle benzer olarak Antalya-Akçay Ahatlı Köyü, Burdur-Yeşilova ve Karaman-Akçaşehir Çakırdağ mevkiinde en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Bu bölgelerde yılda ortalama 6-8 gün fırtına görülme ihtimali vardır. Gözlemevleri için sayılan tüm bu parametrelerin minimum değerlere yakın olması istenen bir ölçütdür.

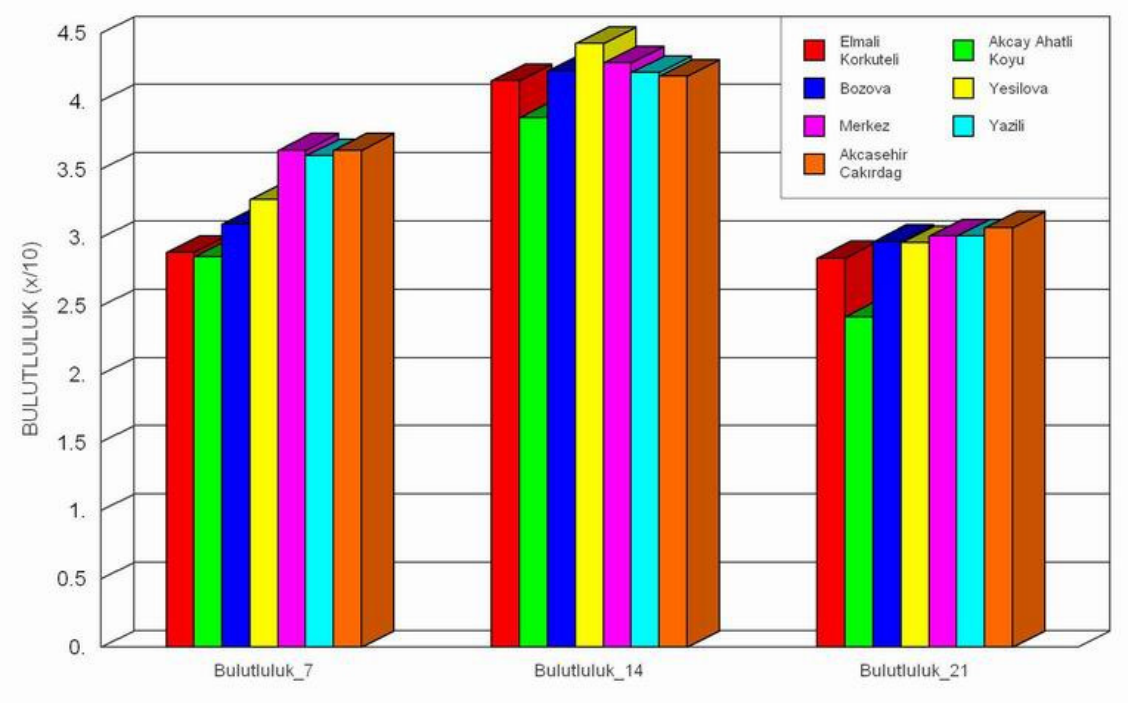
10. Şekil 4.11'deki yüzeydeki atmosfer basıncı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımına bakıldığında, genel olarak tüm istasyonların yakın basınç değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En yüksek atmosfer basıncı değeri ise Antalya-Akçay Ahatlı Köyü ölçüm yerinde gözlenmiştir. Atmosfer basıncı radyo kırınırlık hesaplamalarında kullanılan ve kırınırlıkla doğru orantılı olarak değişen bir parametredir.

11. Şekil 4.12'deki kısmi buhar basıncı ve doymuş su buharı basıncı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımına bakıldığında (her iki değer grubu için de Buck'ın 1996 yılında yayınladığı formülünden hesaplanan veriler kullanılmıştır), Antalya-Akçay Ahatlı Köyü ve Burdur-Yeşilova mevkilerinde her iki buhar basıncı değerinin de en yüksek değerlerine ulaştığı, Karaman bölgesindeki istasyonlarda ise karasal ikliminde etkisiyle buhar basıncı değerlerinin düştüğü gözlenmektedir. Radyo gözlemevleri için en önemli iki atmosferik parametreden biri olan su buharı basıncının, en düşük değerlere sahip olduğu bölgelerin Karaman yöresindeki istasyonlar ve Antalya-Elmalı Korkuteli istasyonu olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 4.13'deki radyo kırınırlık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı incelendiğinde görülmüştür ki, Karaman bölgesindeki istasyonlar diğer ölçüm yerleri içinde hesaplanan en yüksek kırınırlık değerlerine sahiptir. Bu durumda radyo kırınırlığı en düşük olan Elmalı Korkuteli istasyonunun tercih edilmesiyle, su buharı basıncı değerlerinin de uygunluğu sağlanabilir.

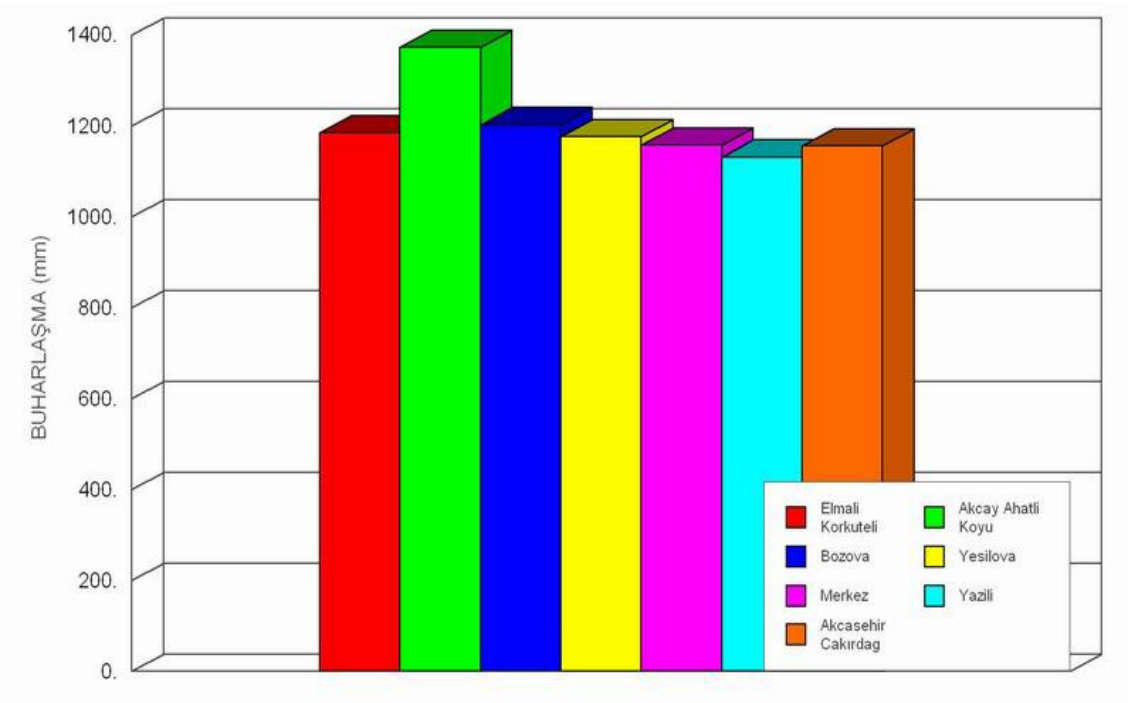
12. Ancak yer seçimlerinde dikkate alınması gereken bir başka parametre olan depremsellik unutulmamalıdır. Depremsellik dikkate alındığında Burdur ölçüm istasyonu 1. derece deprem kuşağında, Antalya ölçüm istasyonları 1. ve 2. derece deprem kuşaklarında ve Karaman ölçüm istasyonları ise 2. derecede deprem kuşağında yer almaktadır. Türkiye'nin depremsellik açısından en düşük riske sahip bölgesi Aksaray, Konya, Karaman ve Mersin şeridi üstünde kalan bölgedir.



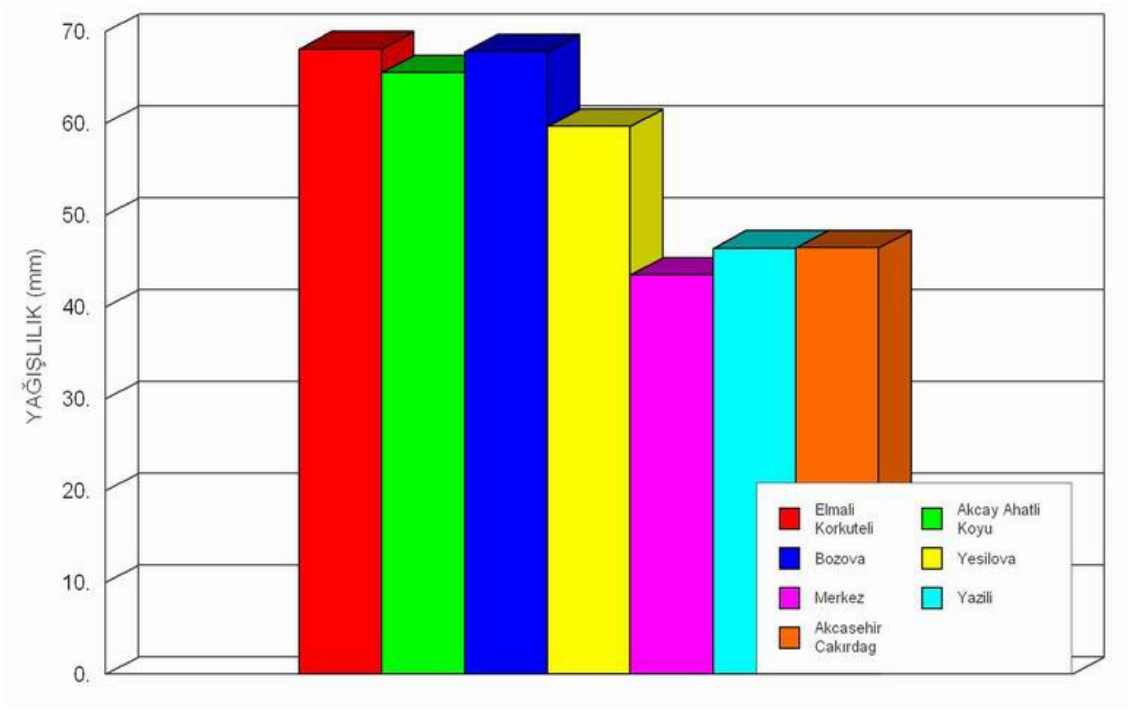

**Şekil 4.1:** Maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



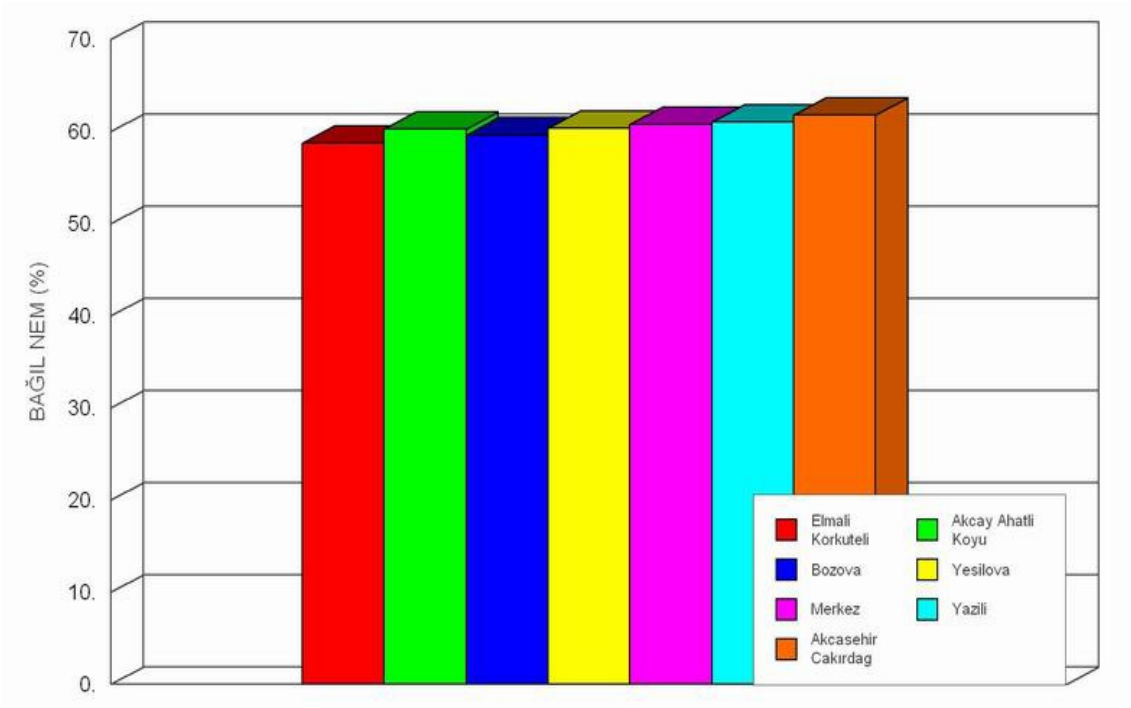

**Şekil 4.2:** Sabah, öğlen ve akşam bulutluluk değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



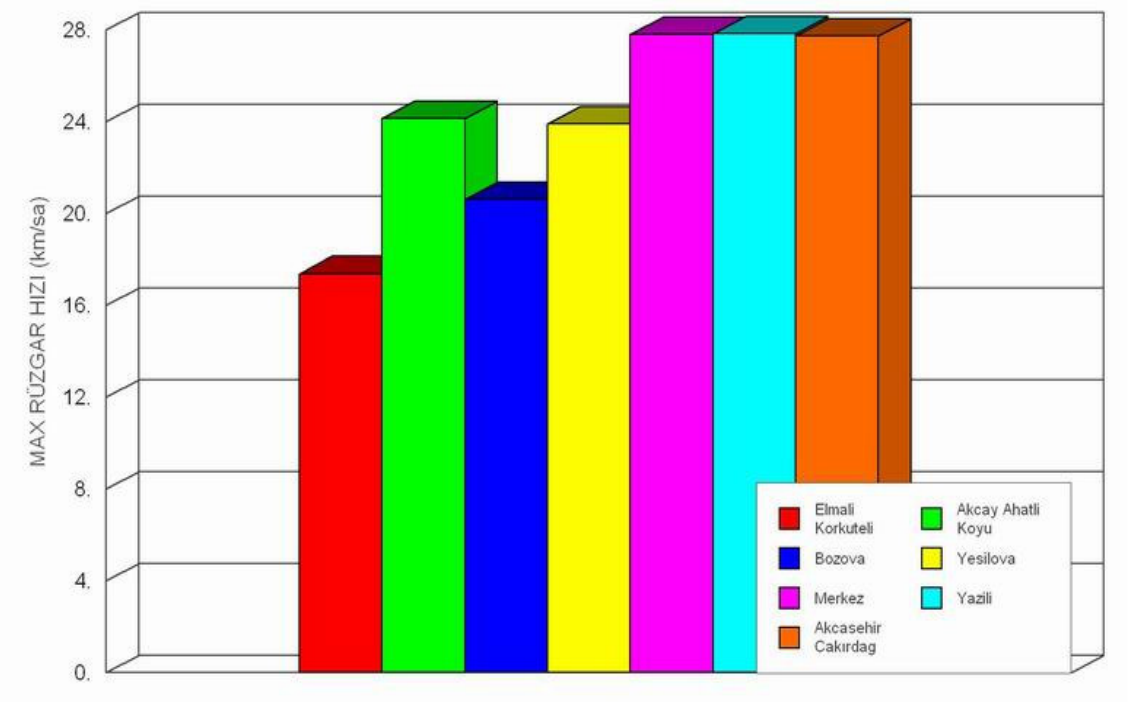

**Şekil 4.3:** Toplam buharlaşma değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



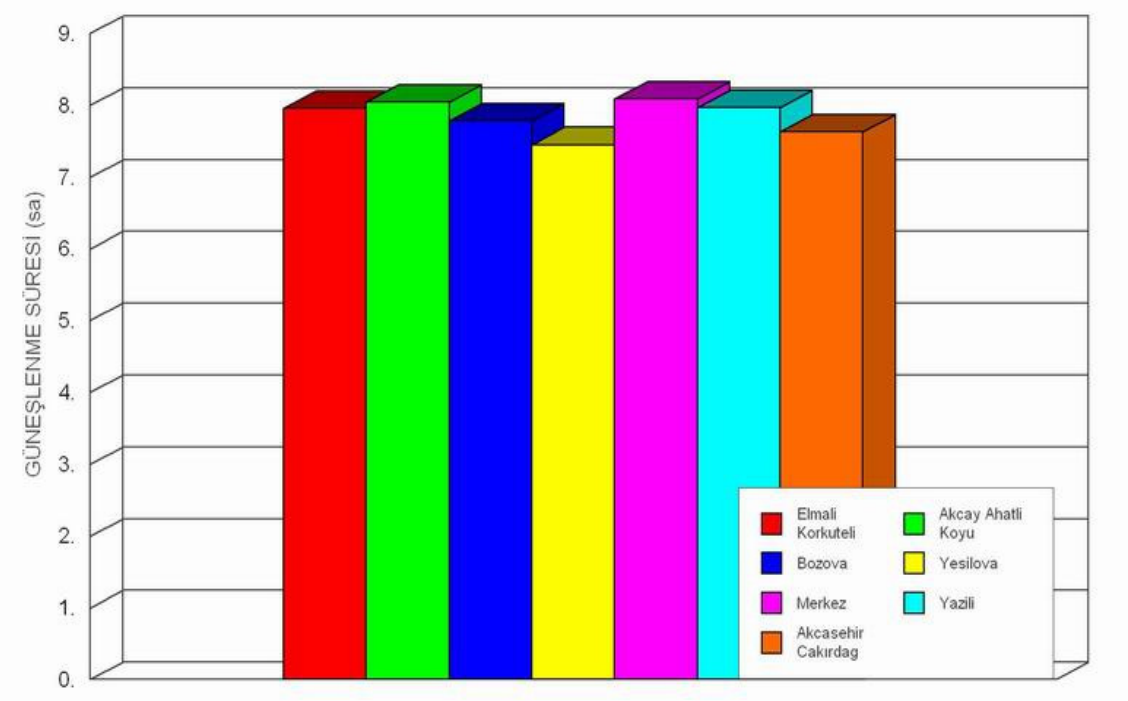

**Şekil 4.4:** Maksimum yağışlılık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



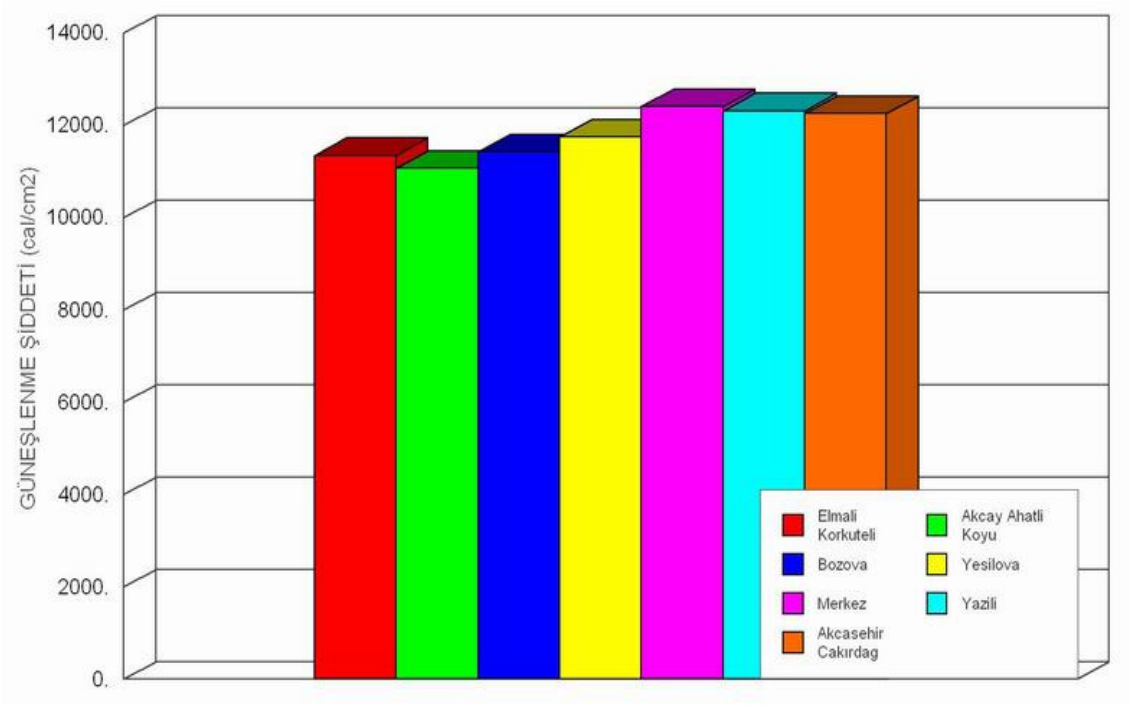

**Şekil 4.5:** Bağıl nem değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



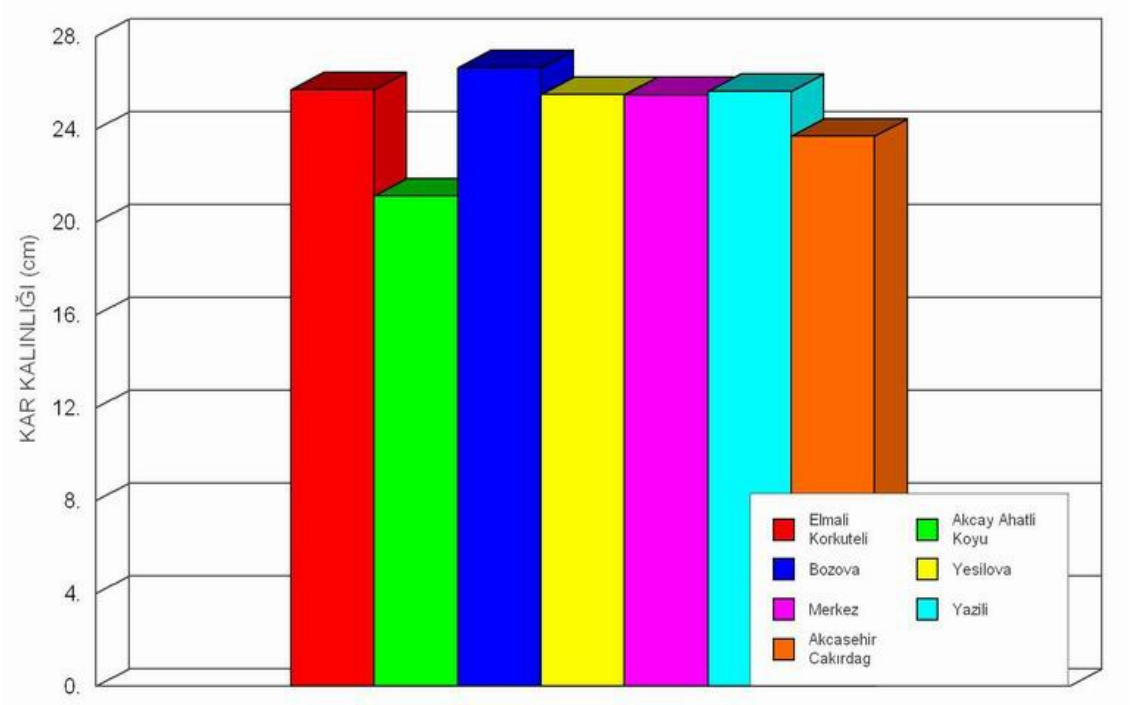

**Şekil 4.6:** Maksimum rüzgar hızı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



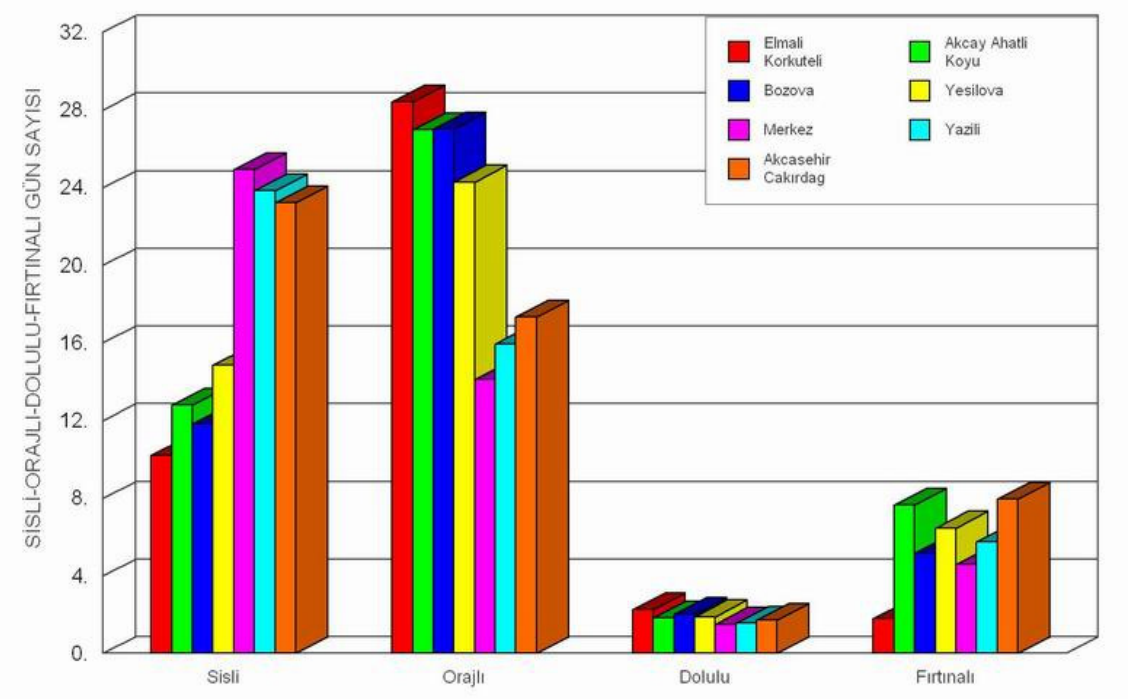

**Şekil 4.7:** Güneşlenme süresi değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



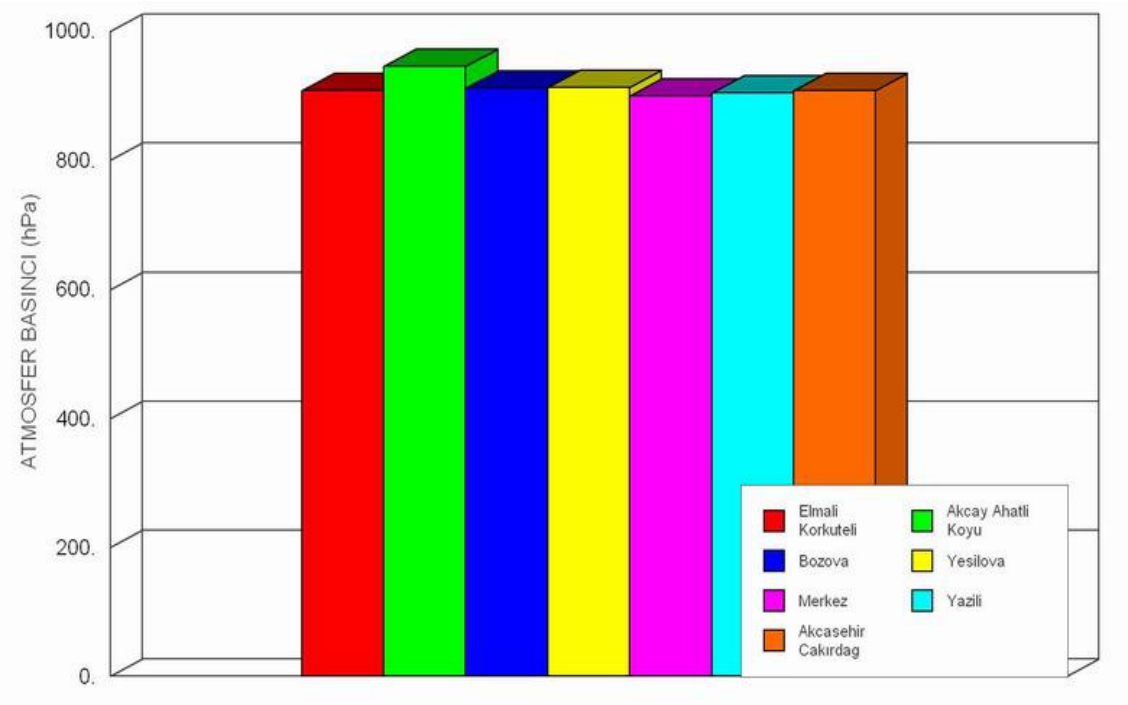

**Şekil 4.8:** Güneşlenme şiddeti değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



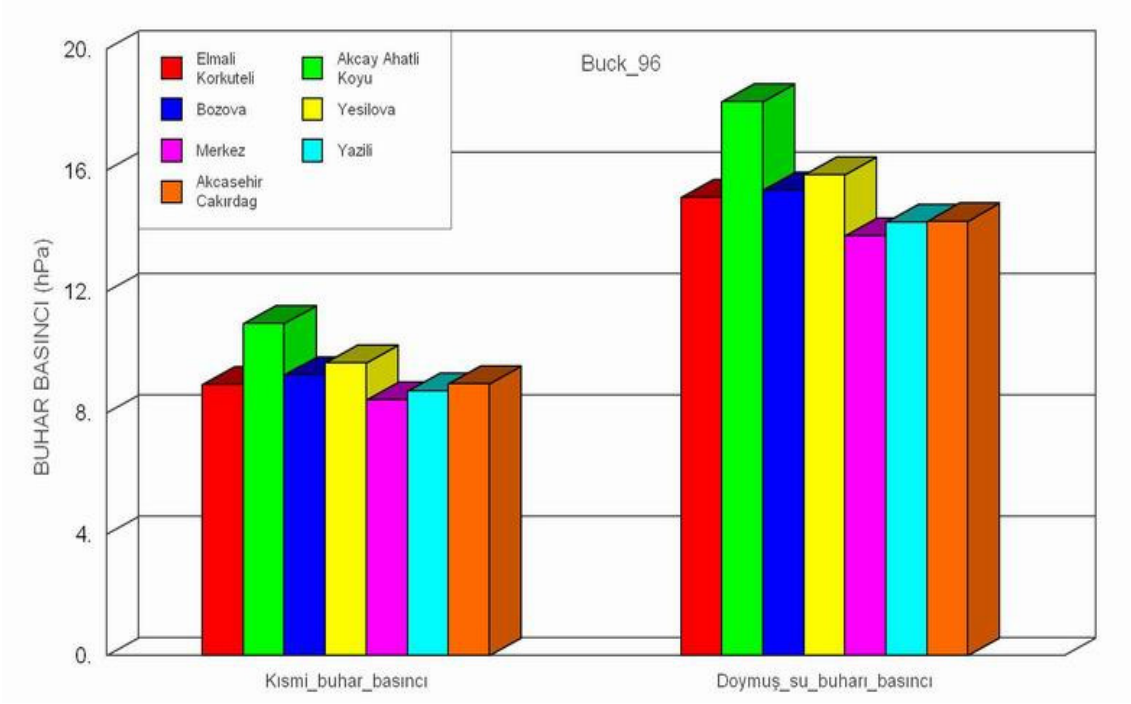

**Şekil 4.9:** Toplam kar kalınlığı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



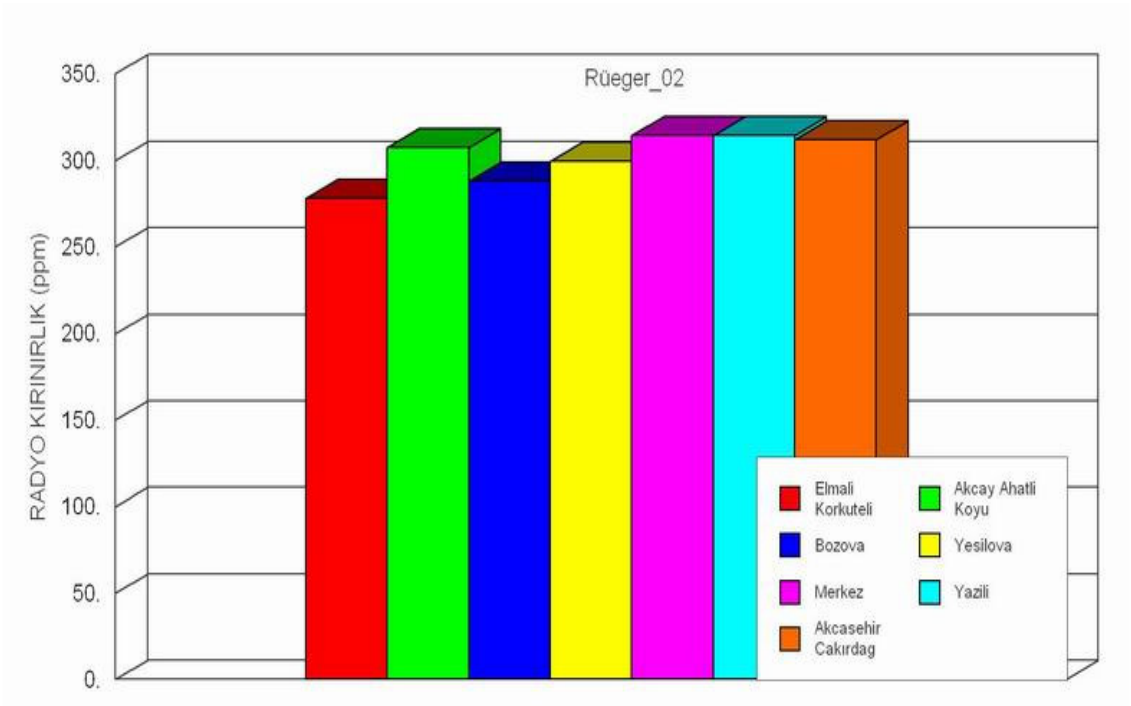

**Şekil 4.10:** Sisli, orajlı, dolulu ve fırtınalı gün sayısı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



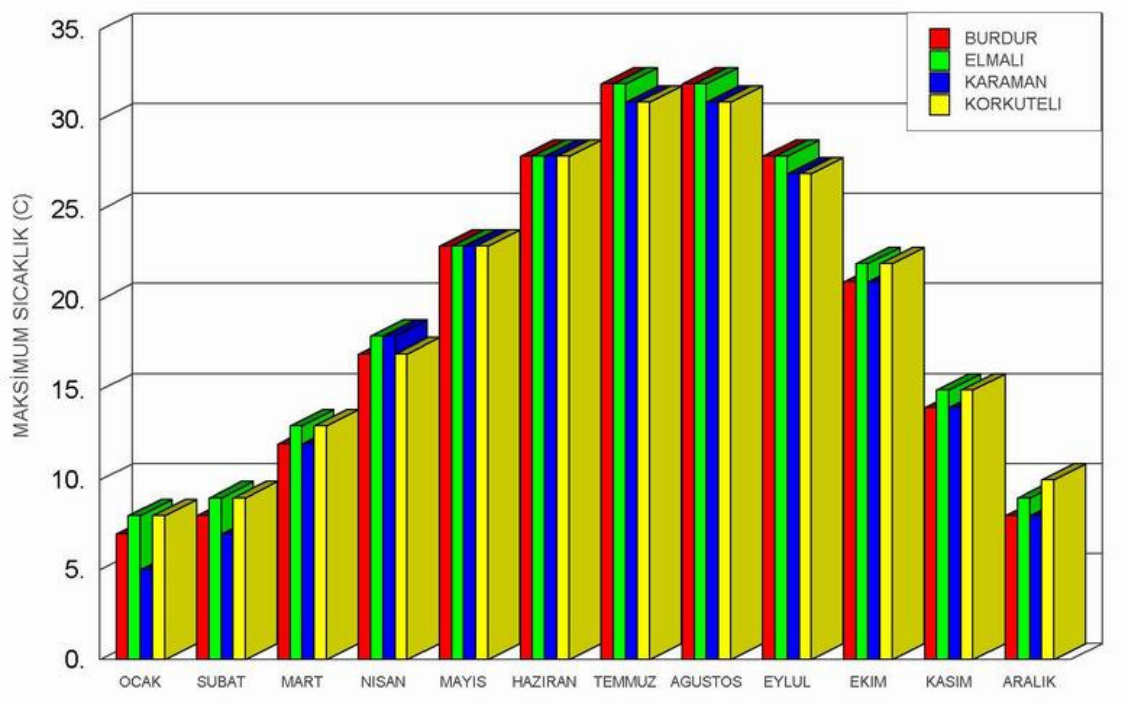

**Şekil 4.11:** Yüzeydeki atmosfer basıncı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



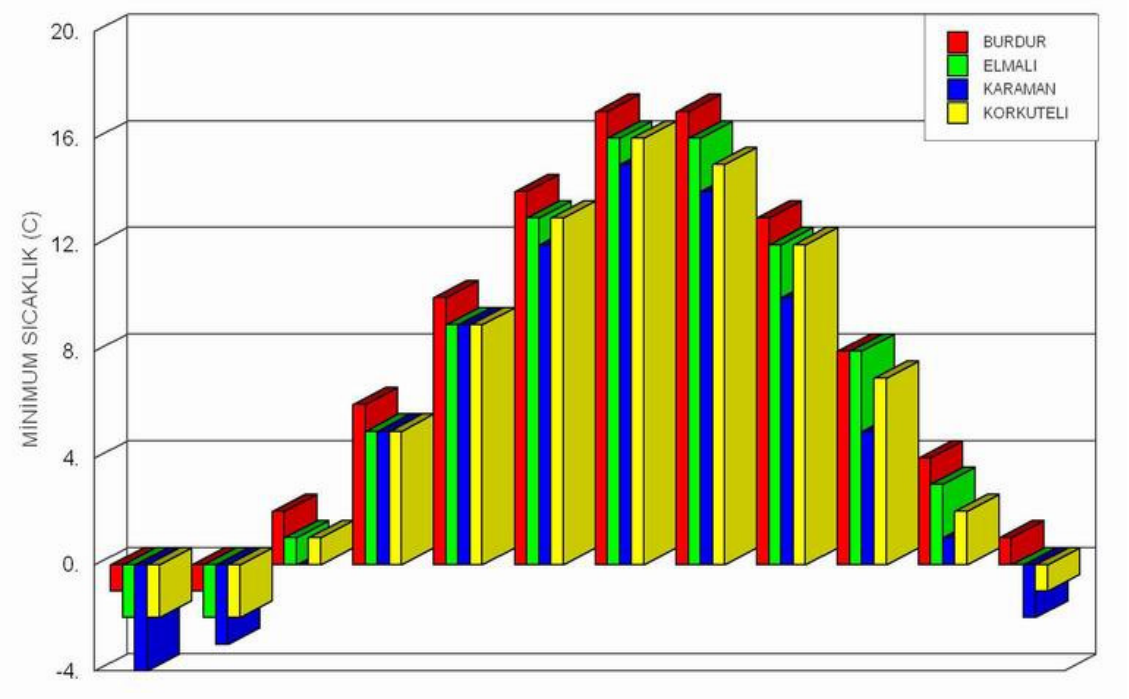

**Şekil 4.12:** Kısmi buhar basıncı ve doymuş su buharı değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



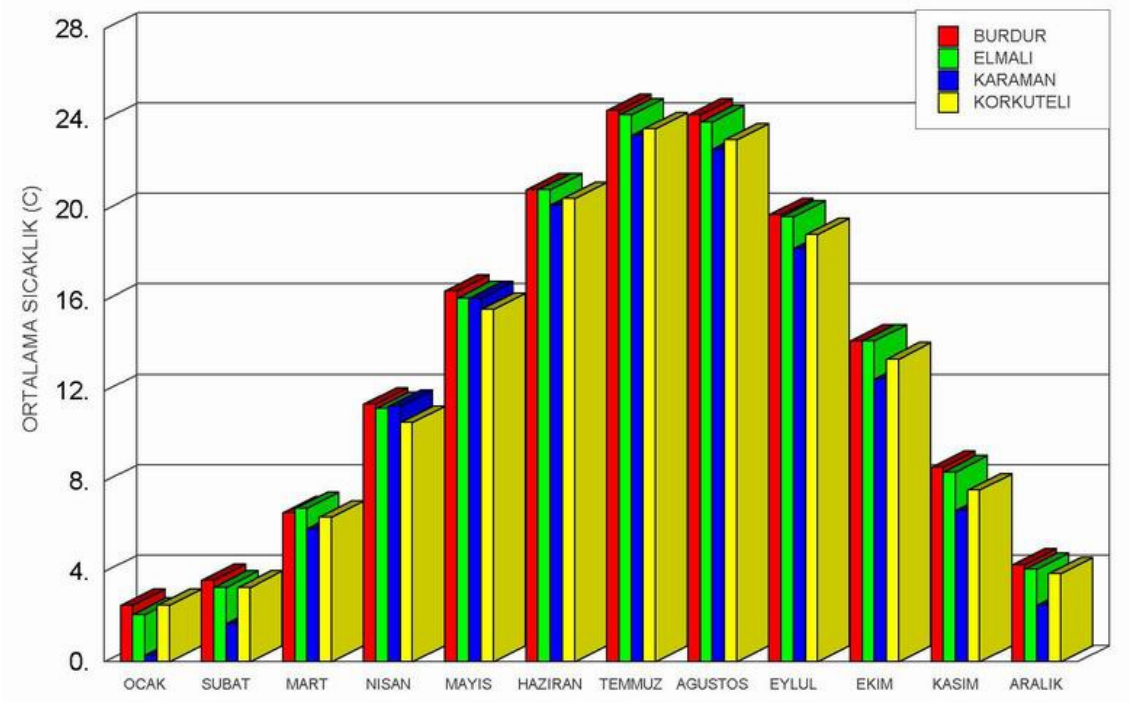

**Şekil 4.13:** Radyo kırınırlık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı



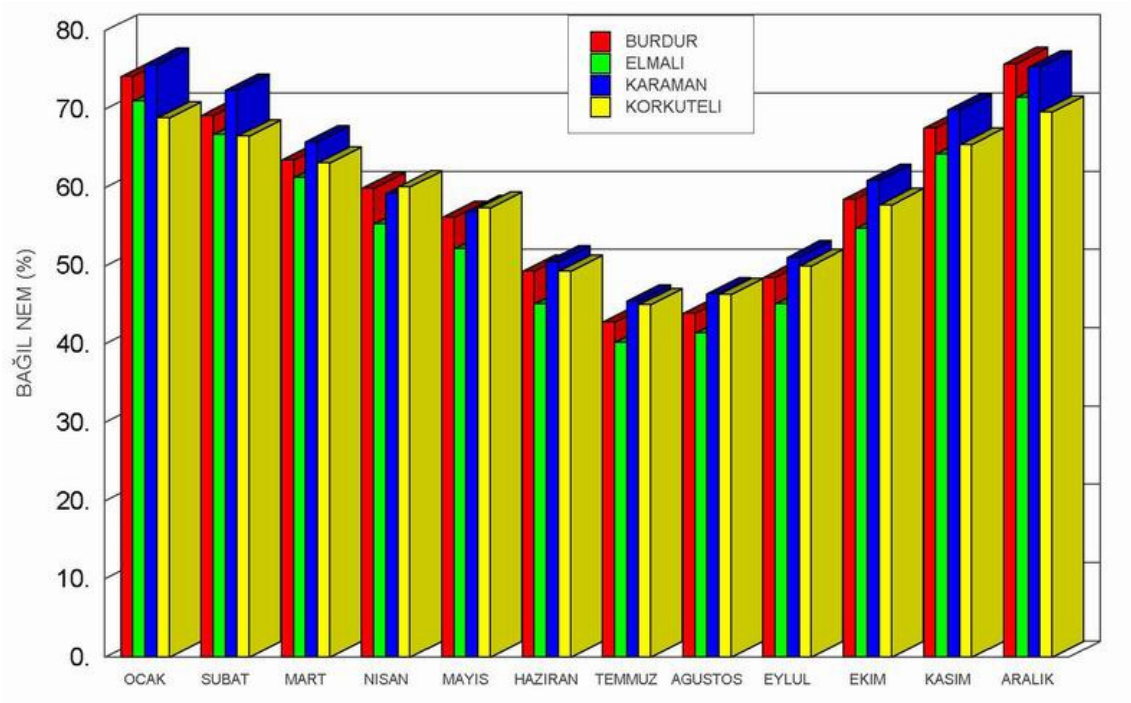

**Şekil 4.14:** Maksimum sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı




**Şekil 4.15:** Minimum sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı




**Şekil 4.16:** Ortalama sıcaklık değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı




**Şekil 4.17:** Bağıl nem değerlerinin ölçüm istasyonlarına göre dağılımı

## 4.1 ÖLÇÜM SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Elektromanyetik tayf ölçümleri için belirlenen Burdur, Antalya ve Karaman illerine gidilmiştir. Antalya ve Burdur yöresi hem TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne yakınlığı hem de yüksek ve dağlık bölgelerde atmosferik ve meteorolojik parametreleri sağladığı için seçilmiştir. Karaman yöresi ise Türkiye'nin aktif deprem kuşakları üzerinde yer alan bir ülke olduğu dikkate alındığında, en düşük deprem riskine sahip bölgedir (Bakınız Şekil 4.18). Bu üç ilde belirlenen yedi gözlem noktasından alınmış olan elektromanyetik tayflardan bazı örnekler aşağıda verilmektedir. Ölçümlere ait GPS ile alınmış koordinat ( ED-50 ) ve yükseklik bilgileri Tablo 4.2'de verilmektedir.

Ölçümlerde izlenen yöntem ve adımlar şu şekildedir;

HL-50 Log-periyodik anteniyle sırasıyla yatay ve dikey polarizasyonlarda 0 ile 270 derece aralığındaki kombinasyonlarla frekans ölçümleri alınmıştır. Yatay ve dikey polarizasyonlar özel olarak yapılan masta (yükseltme düzeneği) monte edilen polarizasyon aparatında parklı montajlarla sağlanmıştır. Ölçümler, grafiklerde verilmiş olan frekans aralıkları (span) ve bant aralıklarında (RBW) yapılmıştır. Referans olarak -22 dBm alınmıştır. Ölçümler, Omni antenin ve HL-50 log-periyodik antenin sırasıyla sisteme monte edilmesiyle 10 MHz – 1 GHz, 1 GHz – 2 GHz ve 2 GHz – 3 GHz gibi tayf aralıklarında yapılan taramalarla gerçekleştirilmiştir. Tarama esnasında görülen pikler frekans aralıkları küçültülerek tek tek incelenmiş ve yayınların kaynakları tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu ölçümler sırasında tespit edilen girişim etkileri ve frekans pikleri (GSM, TV yayını gibi) grafiklerin üzerine not edilmiştir.

**Tablo 4.2**: Ölçüm yerlerine ait koordinat ve yükseklik bilgileri

| IL_ADI | YER_ADI | Y_DD | X_DD | Z (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Antalya | Elmalı Korkuteli | 36,9947 | 30,1556 | 1142 |
| Antalya | Akçay Ahatlı Köyü | 36,6058 | 29,7333 | 1118 |
| Antalya | Bozova | 37,2353 | 30,2950 | 868 |
| Burdur | Yeşilova | 37,5689 | 29,8383 | 1169 |
| Karaman | Merkez | 37,1869 | 33,2192 | 1030 |
| Karaman | Yazılı | 37,1375 | 33,0936 | 1065 |
| Karaman | Akçaşehir Çakırdağ | 37,4039 | 33,4936 | 1108 |

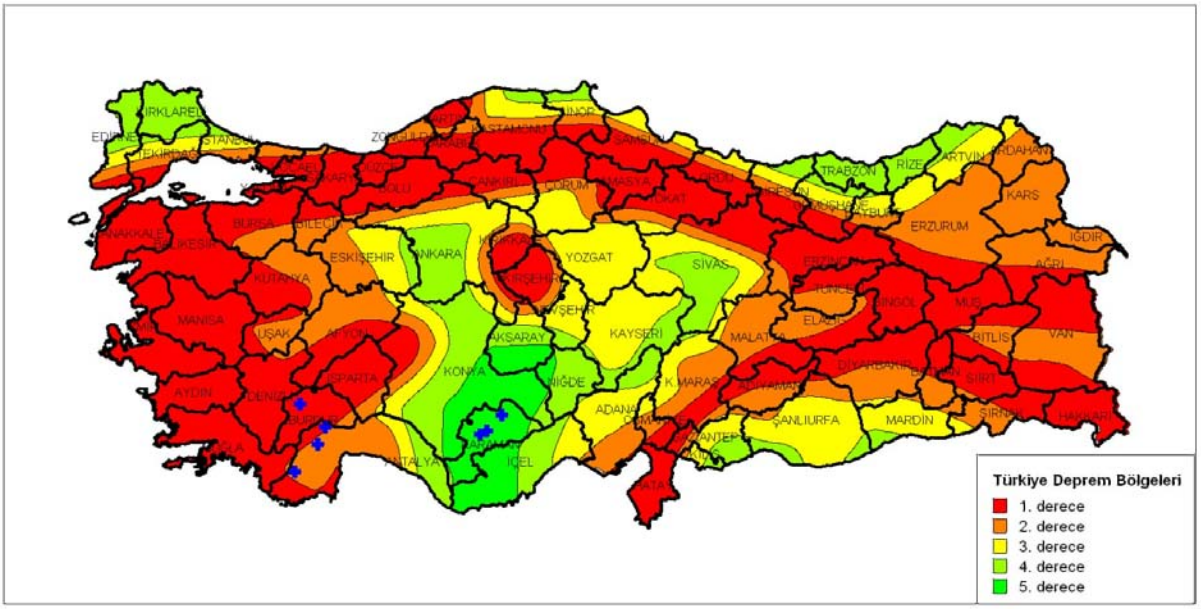
Bu ölçüm noktalarına ait koordinat bilgileri MapInfo'ya aktarılmış, daha sonra MapInfo içinde çalışan MapBasic araçlarından biri olan *Google Earth Connnection Utility* kullanılarak vektörel veriler Google Earth'e aktarılmıştır. Böylelikle Google Earth'ün uydu görüntüleri altlık veri olarak kullanılarak ölçüm yerlerinin konumları daha gerçekçi bir şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. ITU-R ölçütleri ve Dünya'daki diğer mevcut gözlemevlerinin kullandıkları radyo sakin bölge ölçütleri dikkate alınarak, bu ölçüm merkezleri etrafında Buffer (Tampon Bölge) analiziyle olası radyo sakin bölgeler oluşturulmuştur. Kuşak-1, 3 km çapa sahip bir dairesel bir alandır. Bu alan içinde radyo teleskoptan başka her hangi bir radyo girişimine neden olacak yayın yapan verici bulunmamalıdır. Avrupa gözlemevlerinin çoğu 1-3 km'lik radyo sakin bölgelere sahiptir. Kuşak-2 ve Kuşak-3, sırasıyla 20 ve 30 km'lik bir koruma alanlarını temsil etmektedir. Bu alanlar içinde yayın yapan vericilerin radyo astronomi gözlem frekanslarını kullanmaları yasaklanmıştır. Bu alanlara yaklaşık 100 km çapa sahip Kuşak-4'de eklenebilir. Bu alan "Koordinasyon Alanı" olarak adlandırılır ve bu koordinatlar içinde yayın yapan vericilerin frekans aralıklarında ayarlama yapma

zorunluluğu vardır. Şekil 4.19'de tayf ölçümlerinin yapıldığı merkezler ve bunlar etrafında oluşturulmuş olan olası radyo sakin bölge alanları gösterilmektedir. İçten dışa doğru alanlara ait çap bilgisi şu şekildedir;

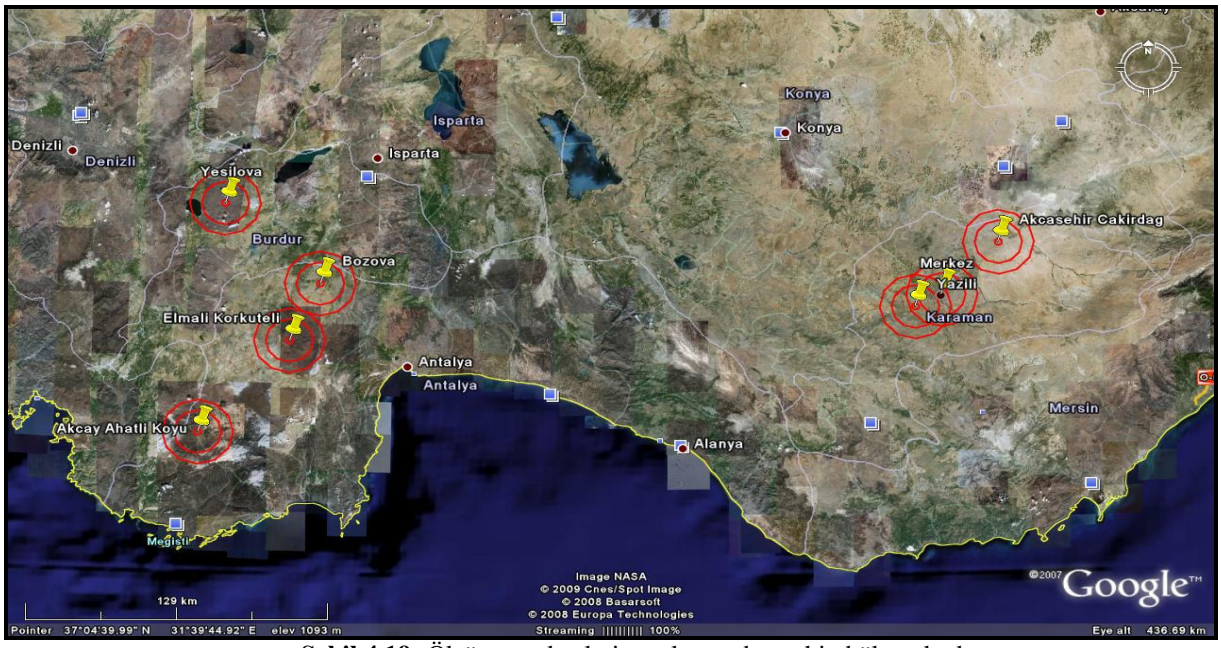
- ✓ Kuşak-1 (3 km) Radyo Sakin Bölge
- ✓ Kuşak-2 (20 km) Koruma Alanı-1
- ✓ Kuşak-3 (30 km) Koruma Alanı-2
- ✓ Kuşak-4 (100 km) Koordinasyon Alanı

Şekil 4.20 – Şekil 4.25 arsındaki şekillerde ölçüm yerlerine ait noktaların Google Maps Terrain (Arazi) Modeli üzerindeki konumları gösterilmektedir. Bölgenin topoğrafik yapısı hakkında fikir vermekle beraber, ileride dizge teleskoplara geçilebilesi için uygun düzlük alanları sağlayıp sağlayamadığına bakılabilmesi amacıyla oluşturulmuşlardır. Bunun yanı sıra bu ölçüm yerlerinde kurulacak olası radyo gözlemevleri için, olması gereken radyo sakin bölge sınırları tasvir edilmiştir. Kuşak-4 (100 km) bu çizimlere eklenmemiştir.

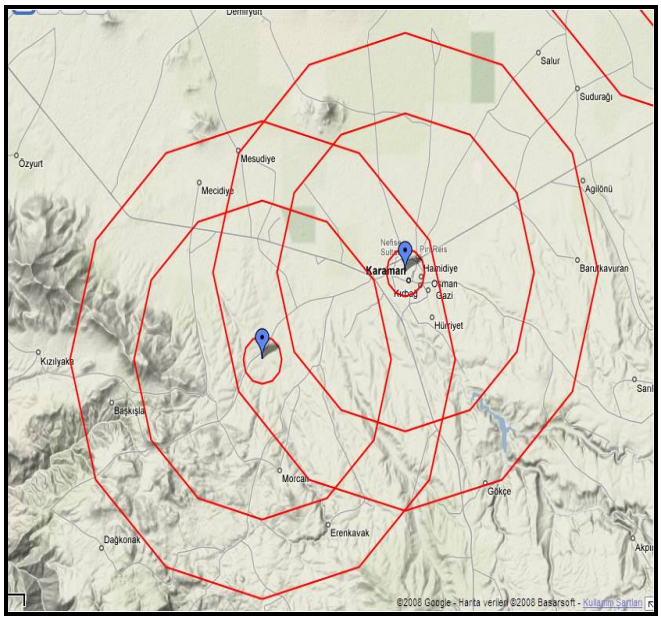
Şekil 4.26 – Şekil 4.39 arasındaki şekiller ise Antalya, Burdur ve Karaman'da belirlenen ölçüm noktalarında alınan tayf ölçümlerinden örnekler içermektedir. Ölçüm esnasında antenin yönlendirildiği yatay ve dikey açılar ile ölçümün yapıldığı frekans aralıkları, merkez frekansı, bant genişliği ve gürültü seviyesi bilgileri grafik üstünde verilmektedir. Yapılan ölçümlerde sadece genel olarak frekans taraması yapılmamış, aynı zamanda radyo astronomik olarak önemi olan belirli frekanslarda da ölçümler yapılmıştır (HI, $H_2O$, HO çizgileri gibi).



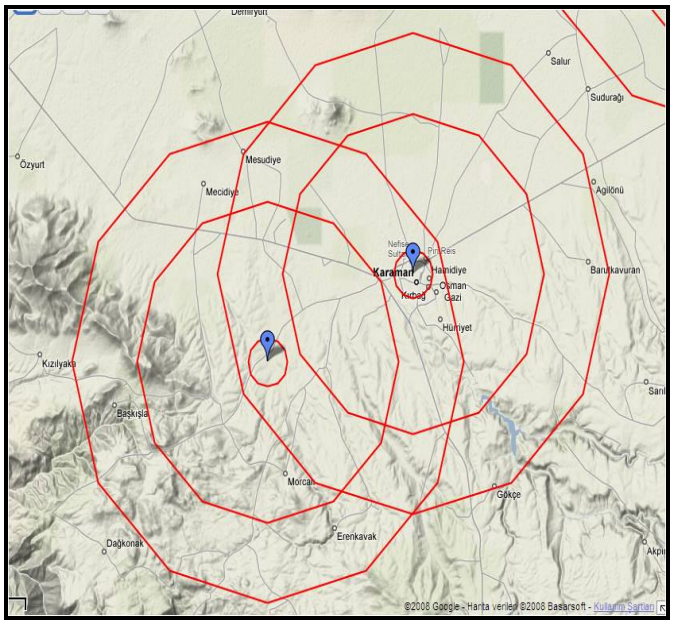

**Şekil 4.18:** Türkiye deprem bölgeleri haritası ve ölçüm merkezleri



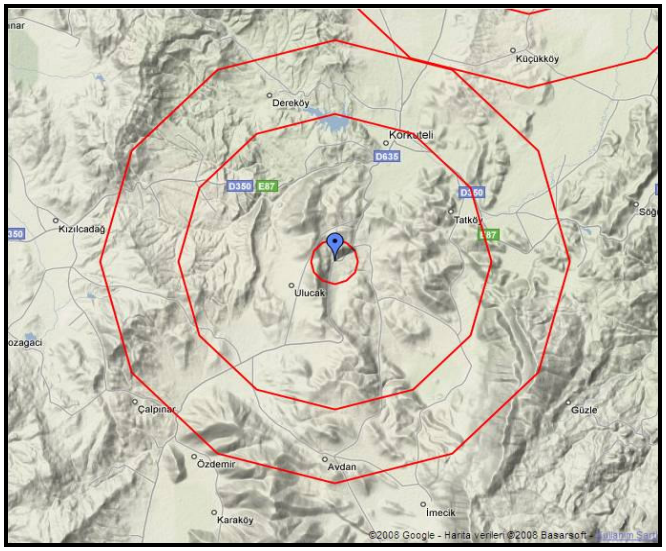

**Şekil 4.19:** Ölçüm merkezleri ve olası radyo sakin bölge alanları



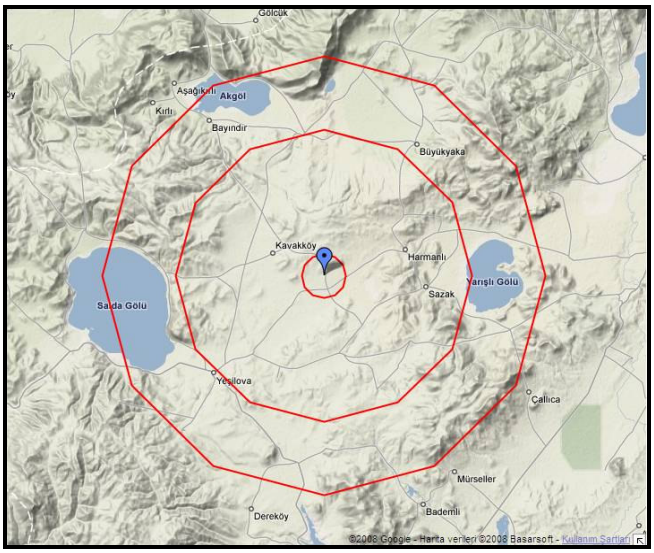

**Şekil 4.20:** Karaman - Merkez ve Yazılı ölçüm istasyonlarına ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları



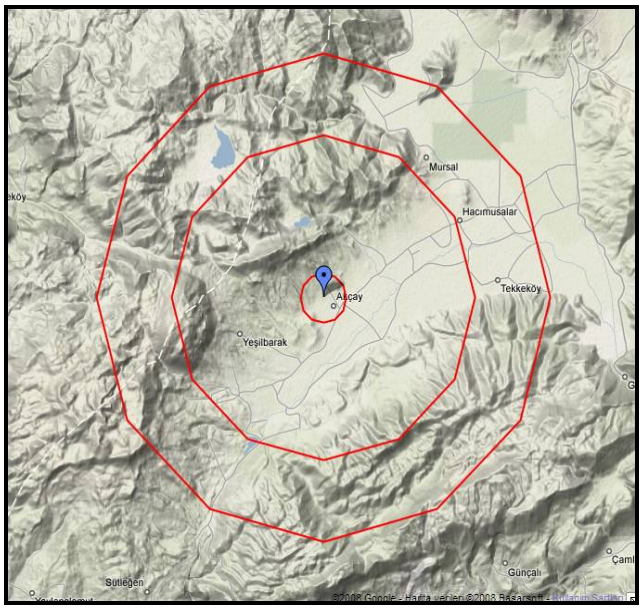

**Şekil 4.21:** Karaman – Akçaşehir - Çakırdağ ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge



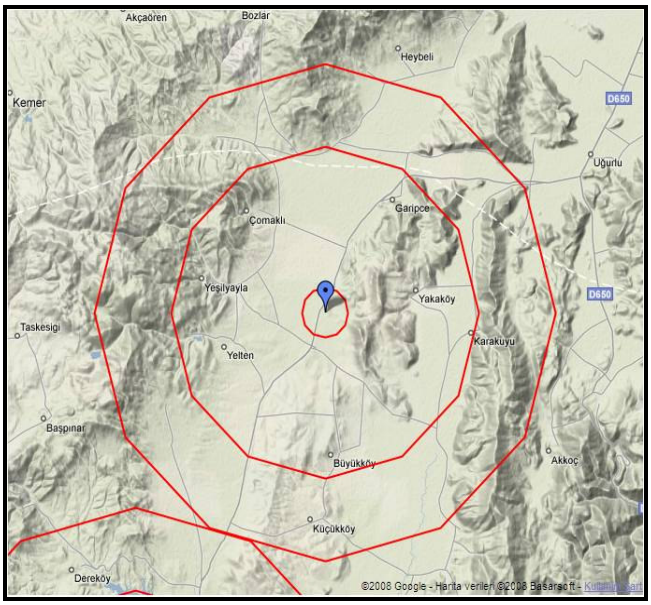

**Şekil 4.22:** Antalya – Korkuteli - Elmalı ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları



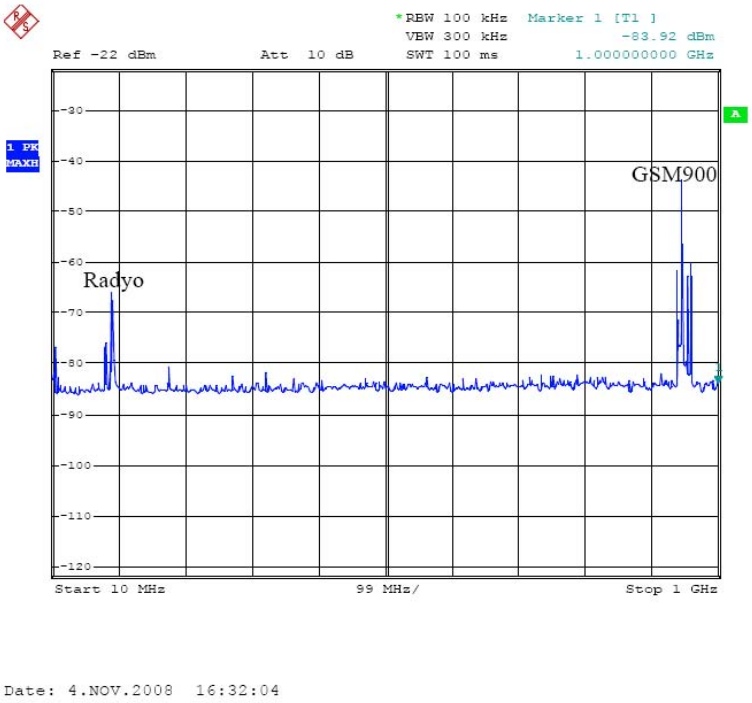

**Şekil 4.23:** Burdur - Yeşilova ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları



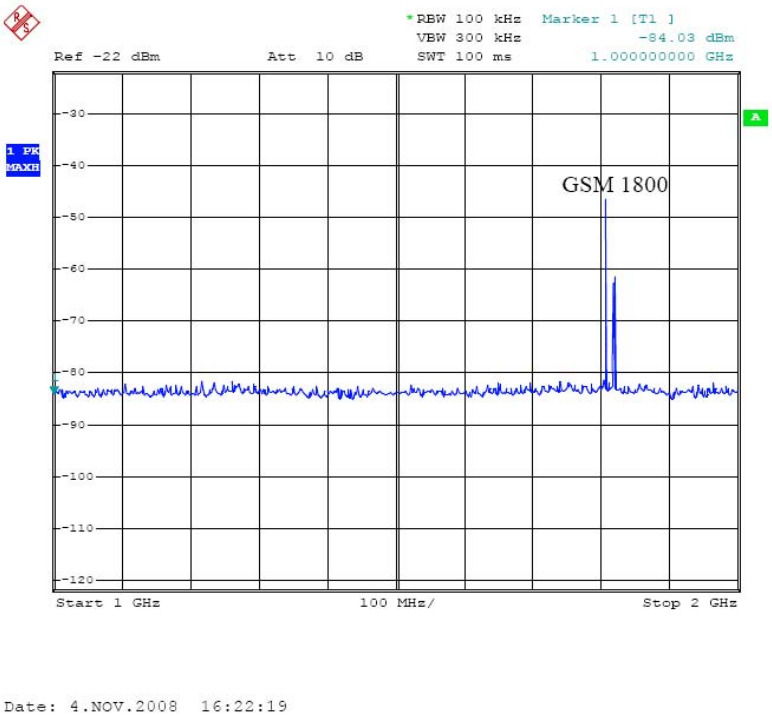

**Şekil 4.24:** Antalya - Akçay ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları



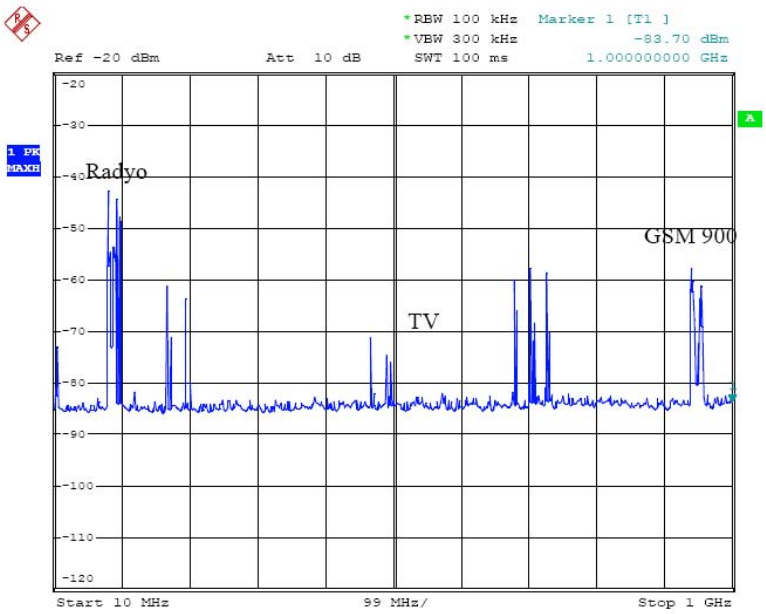

**Şekil 4.25:** Antalya - Bozova ölçüm istasyonuna ait topoğrafik harita ve olası radyo sakin bölge kuşakları



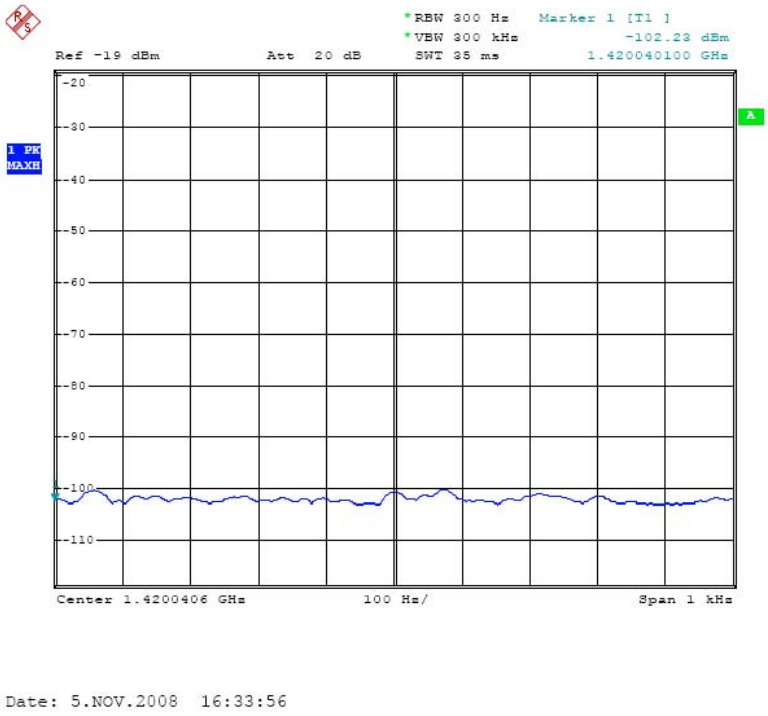

**Şekil 4.26:** Antalya-Akçay, anten pozisyonu yatay 90$^{o}$ dikey 45$^{o}$ konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



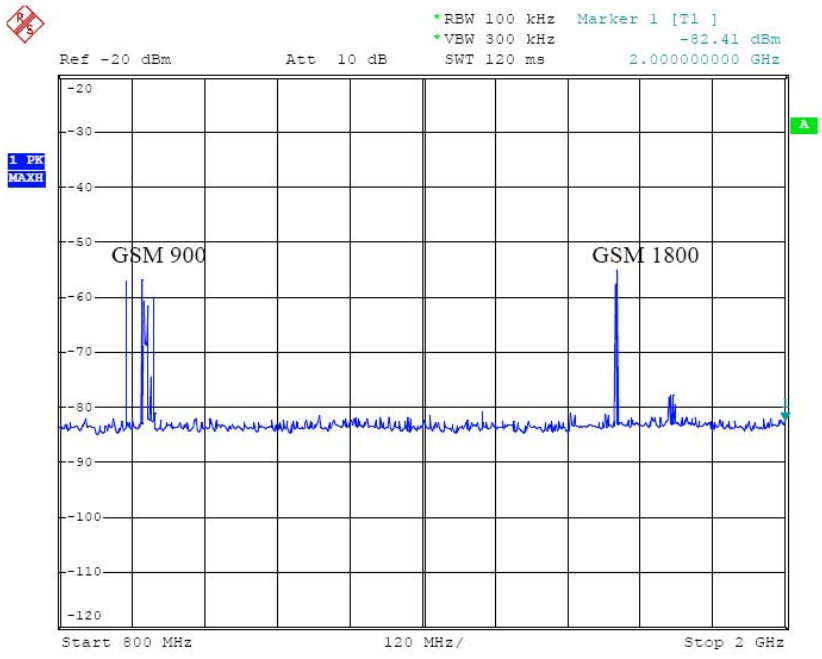

**Şekil 4.27:** Antalya-Akçay, anten pozisyonu yatay 90$^{o}$ dikey 45$^{o}$ konumunda 1GHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



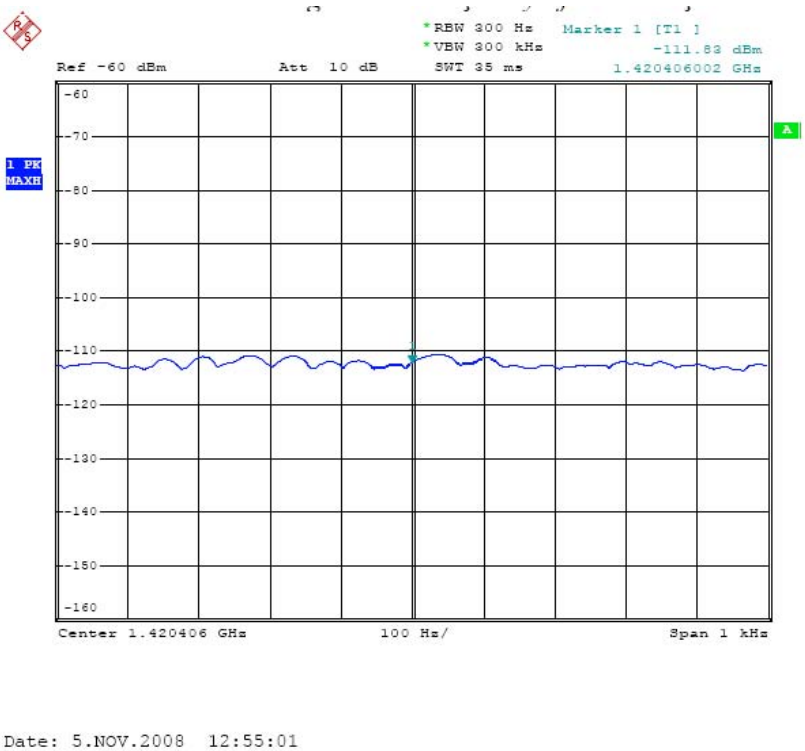

**Şekil 4.28:** Antalya-Bozova, anten pozisyonu yatay 180$^o$ dikey 45$^o$ konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



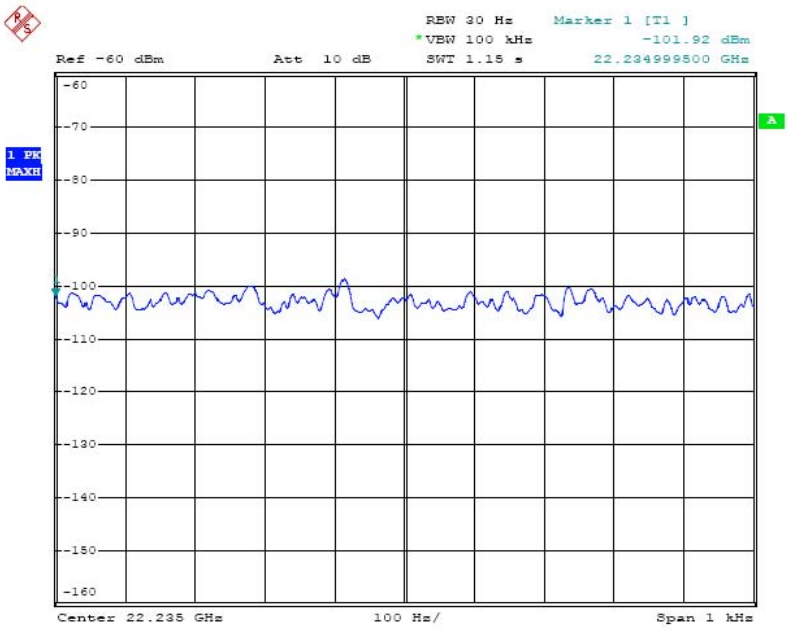

**Şekil 4.29:** Antalya-Bozova, anten pozisyonu yatay 0$^o$ dikey 90$^o$ konumunda 1.42GHz ‘de alınmış HI radyo frekans ölçümü



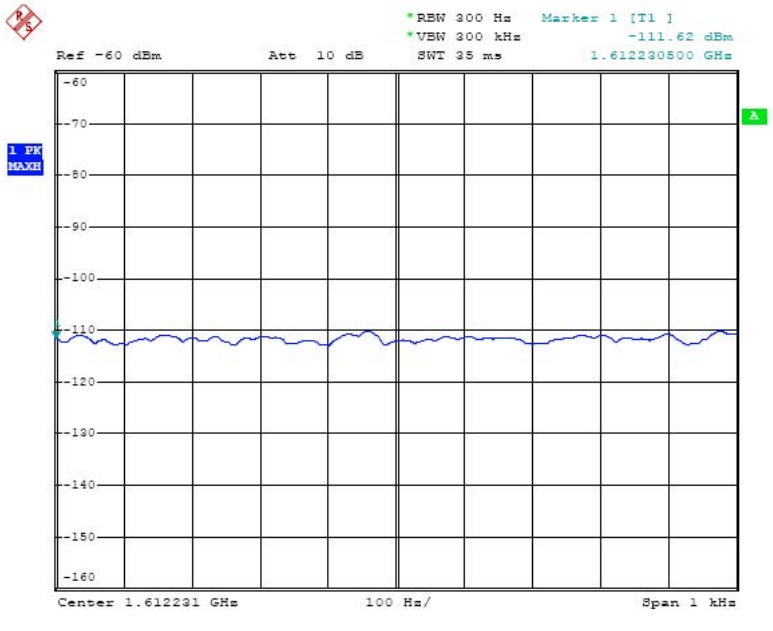

**Şekil 4.30:** Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 180 $^{o}$ dikey 0 $^{o}$ konumunda 800 MHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



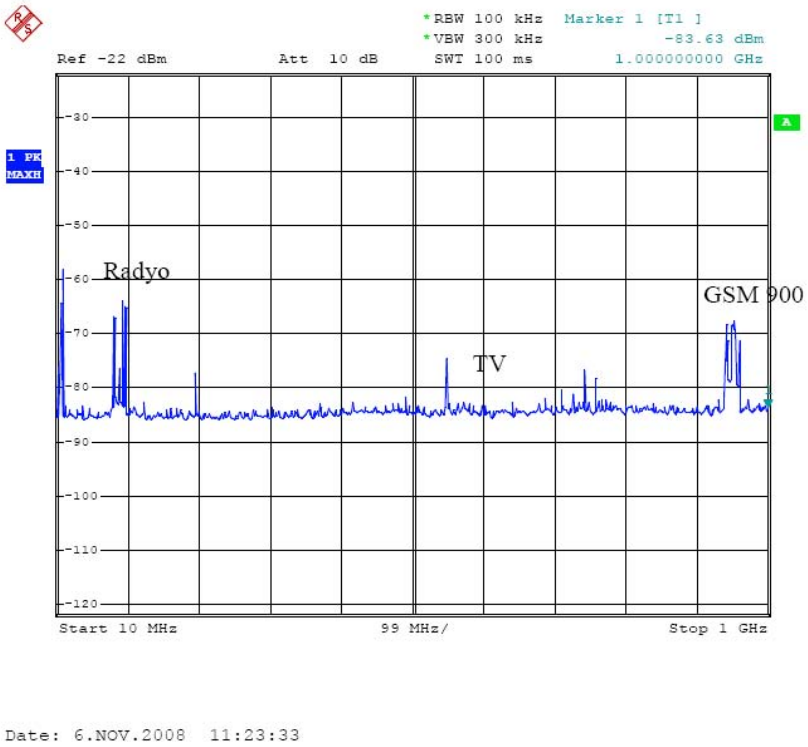

**Şekil 4.31:** Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 0 $^{o}$ dikey 90 $^{o}$ konumunda 1.420 GHz'de alınmış HI radyo frekans ölçümü



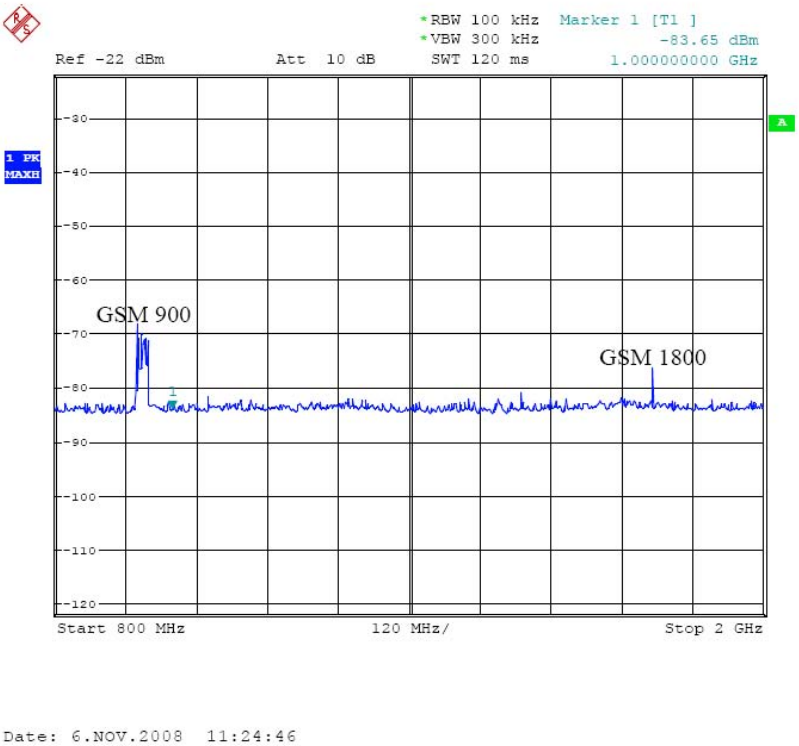

**Şekil 4.32:** Antalya-Korkuteli-Ulucak civarı, anten pozisyonu yatay 0 $^{o}$ dikey 90 $^{o}$ konumunda 22.235 GHz'de alınmış $H_2O$ radyo frekans ölçümü



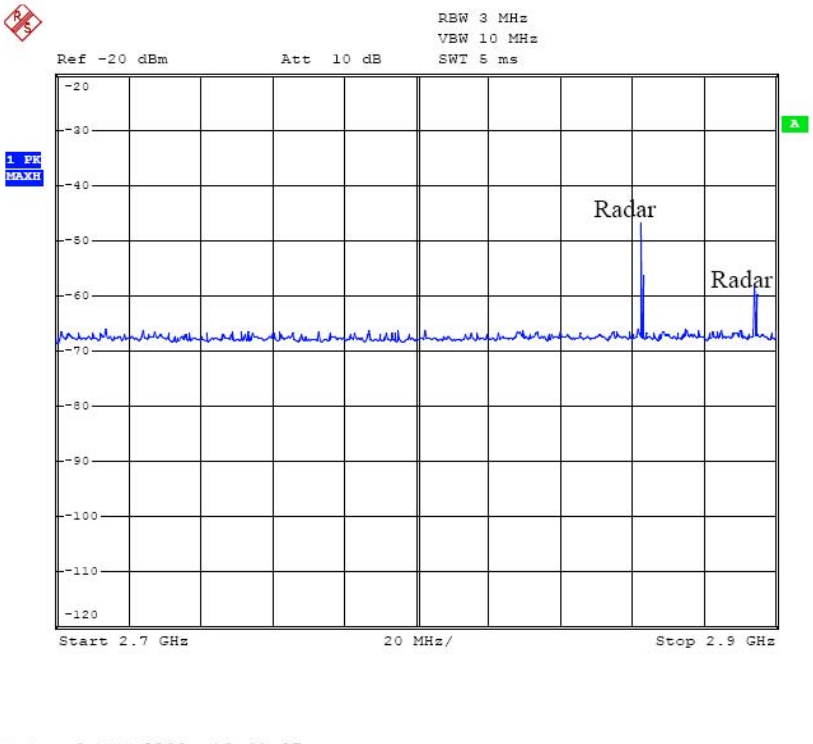

**Şekil 4.33:** Antalya-Korkuteli-Uluca civarı, anten pozisyonu yatay 0 $^{o}$ dikey 90 $^{o}$ konumunda 1.612 GHz'de alınmış OH radyo frekans ölçümü



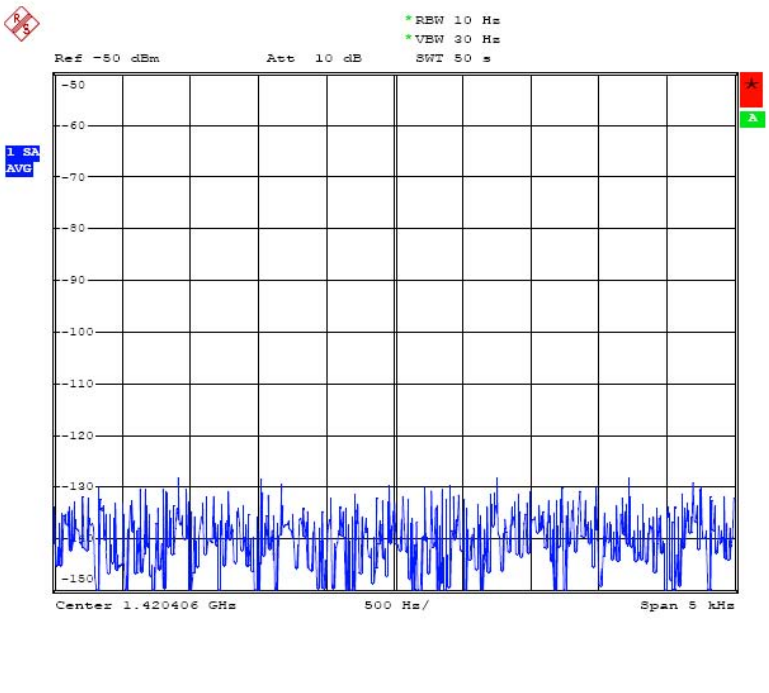

**Şekil 4.34:** Burdur-Yeşilova sonrası 10.km, anten pozisyonu yatay 0 º dikey 45 º konumunda 10 MHz-1GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



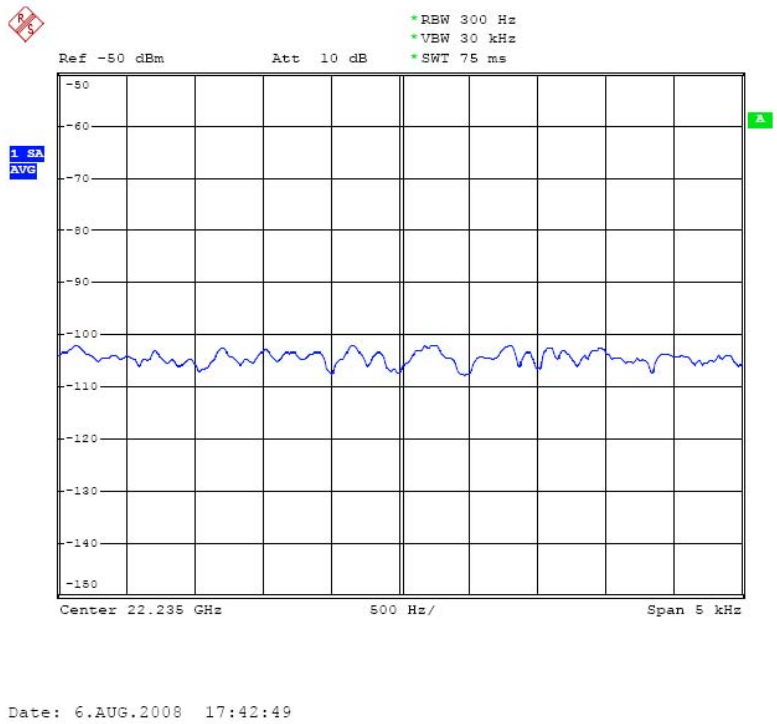

**Şekil 4.35:** Burdur-Yeşilova sonrası 10.km, anten pozisyonu yatay 0 º dikey 45 º konumunda 800 MHz-2GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü



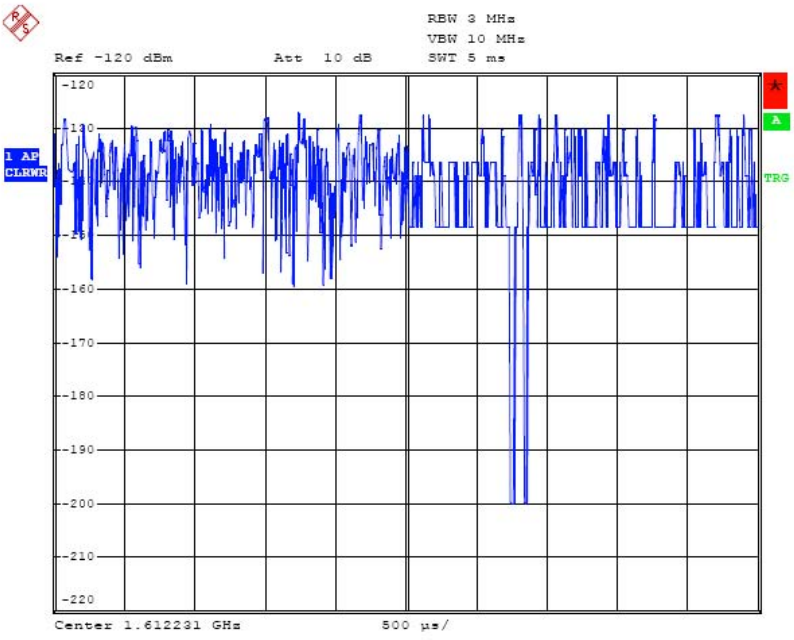

**Şekil 4.36:** Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0 $^{o}$ dikey 0 $^{o}$ konumunda 2.7 GHz-2.9 GHz aralığında alınmış radyo frekans ölçümü




**Şekil 4.37:** Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0 $^{o}$ dikey 90 $^{o}$ konumunda 1.420 GHz'de alınmış HI radyo frekans ölçümü




**Şekil 4.38:** Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0 $^{o}$ dikey 90 $^{o}$ konumunda 22.235 GHz'de alınmış $H_2O$ radyo frekans ölçümü




**Şekil 4.39:** Karaman-Yazılı sonrası 5.km, anten pozisyonu yatay 0 $^{o}$ dikey 90 $^{o}$ konumunda 1.612 GHz'de alınmış OH radyo frekans ölçümü

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç olarak meteorolojik, atmosferik verilerin yanında yapılan RF ölçümleri dikkate alındığında Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi için Antalya-Elmalı ve Karaman-Yazılı bölgelerinin 2 aday yer olduğu görülmektedir.

Karaman bölgesinde karasal ikliminde etkisiyle buhar basıncı değerlerinin düşük olması Radyo Astronomi Gözlemevleri için en önemli iki atmosferik parametreden biri olan su buharı basıncının en düşük değerlere sahip olması, bunun yanısıra yer seçimlerinde dikkate alınması gereken bir başka parametre olan depremsellik açısından yine Karaman ilinin 2. derecede deprem kuşağında yer alması bu ilimizi öne çıkarmaktadır.

Ancak ölçüm için gidilen Karaman-Yazılı bölgesinde uzun kilometrelerce uzanan yüksek gerilim hatları tespit edilmiştir. Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi için önerilen bu mevki, Kuşak-1 (3 km) Radyo Sakin Bölge, Kuşak-2 (20 km) Koruma Alanı-1 bölgeleri olarak koruma altına alındığında sorun çözülmüş olacaktır.

**TEŞEKKÜR**

Türkiye Ulusal Radyo Astronomi Gözlemevi Yer Seçimi Ekibi olarak Proje destekleri için

TÜBİTAK Başkanlığı'na,
DPT'ye
TUG Yönetim Kurulu ve TUG Müdürlüğü'ne
BTK Tayf Dairesi Başkanı Mehmet GÜLŞEN ve Ali Rıza ÖZDEMİR'e
TÜBİTAK-Uzay Müdürü Dr. Uğur LELOĞLU'na
DMİGM'ne
TRT Genel Müdürlüğü'ne

teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. CRAF Hand Book of Radio Astronomy, CRAF An ESF Expert Committee, Third Editon – 2005
2. Recommendation ITU-R RA.769-2, Protection criteria used for radio astronomical measurement, 1992-1995-2003
3. Storey M., Radio-quietness and optical-darkness as environmental credits-notes based on a colloquium presented to CSIRO AYNF, October 30, 2000
4. Samson C.A.; Office of Telecommunications OT Report 75-59, Refractivity Gradients in the Northern Hemisphere, http://www.its.bldrdoc.gov/pub/ot/ot-75-59/, April 1975
5. Rüeger Jean M., Refractivity Index Formulae for Radio Waves, FIG XXII International Congress Washington, D.C. USA, April 19-26 2002
6. Vömel Holger, Saturetion vapor pressure formulations, CIRES, University of Colorado, Boulder, http://cires.colorado.edu/~voemel/vp.html
7. Buck Arden L., New Equaiton for Computing Vapor Pressure and Enchancement Factor, 15 August 1981
8. Cohen Jim, Radio-quiet zones national and international perspectives, 17th International Wroclaw Symposium and Exhibition On Electromagnetic Compatibility, Wroclaw, 29 June – 1 July 2004
9. Ambrosini Roberto, RFI selection criteria for new radio telescopes, 17th International Wroclaw Symposium and Exhibition On Electromagnetic Compatibility, Wroclaw, 29 June – 1 July 2004
10. Otárola A. et al., European Site Testing at Chajnantor: a Step Towards the Large Southern Array, The Messenger, No.94 – December 1998
11. Emerson Darrel et al., Why Single-Dish?, Single-Dish Radio Astronomy: Techniques and Applications, Astronomical Society of the Pacific Conference Series Volume 278
12. Salter C.J. et al., Single-Dish Radio Telescopes of the World, Single-Disk Radio Astronomy: Technigues and Applications ASP Conference Series, Vol. 278, 2002
13. Simon J.E. et al., Atmospheric Conditions at a Site for Submilimeter Wavelength Astronomy, NRAO
14. Tecim, V. Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulama Alanları, İlkem Ofset Basım Yayın, İzmir, 2001
15. Özel M.E.. et al., Technical Report MAM-TR-05, Site Selection Consideration For The Proposed Radio Telescope, April 1992
16. Aslan Zeki et al., Ulusal Gözlemevi Yer Seçimi, 16 haziran 1987
17. Wu.S., Zhu. B. et al., Initial Analysis of Sites for SKA in China, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China May 30, 2003
18. Argentina Committee, The SKA Argentina Site Report, SKA, March 26, 2004
19. Shuttle Radar Topography Mission, SRTM Turkey Images, http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/turkey.html
20. World Meteorological Organization, http://worldweather.wmo.int/014/m014.htm
21. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Deprem bölgeleri haritası, http://www.deprem.gov.tr/linkhart.htm
22. McHenry M.A., Steadman K., Spectrum Occupancy Measurements Location 5 of 6, NRAO, October 10-11 2004, Revision 3
23. Associated Universities, Inc., Planing Document for the Establisment and Operation of a Radio Astronomy Observatory, New York, 1956
24. ALMA, Chajnantor Site Studies, http://www.tuc.nrao.edu/alma/site/, May 1995

25. Radford Simon et al., Alma Project Book, Chapter 14, 25 July 2001
26. National Radio Astronomy Observatory, National Radio Quiet Zone, http://www.gb.nrao.edu/nrqz/nrqz.shtml
27. Munoz-Tunon C. et al., Instrument and Tools for Site Testing, GW3-ESO-Site Evaluation, February 2006
28. Bustos Ricardo et al., 52 Years of Climatological Data for the Chajnantor Area, ALMA MEMO 333, 2000
29. Rohde&Schwarz, FSP-40 Spectrum Analyzer, www.teknetelectronics.com/DataSheet/ROHDE_SCHW/ROHDE_FSPSeries24447.pdf
30. Rohde&Schwarz, HL-050 Log Periodic Antenna, http://www2.rohde-schwarz.com/product/HL050.html